

Bạn đang truy cập nguồn tài liệu chất lượng cao do www.mientayvn.com phát hành. Đây là bản xem trước của tài liệu, một số thông tin và hình ảnh đã bị ẩn đi. Bạn chỉ xem được toàn bộ tài liệu với nội dung đầy đủ và định dạng gốc khi đã thanh toán. Rất có thể thông tin mà bạn đang tìm bị khuất trong phần nội dung bị ẩn.

.....
Liên hệ với chúng tôi: thanhlam1910_2006@yahoo.com hoặc frbwrthes@gmail.com

.....
Thông tin về tài liệu

Số thứ tự tài liệu này là (số thứ tự tài liệu dùng để tra cứu thông tin về giá của nó): 1841

Định dạng gốc: .pdf

.....
Xem giá cả và hình thức thanh toán tại đây: www.mientayvn.com/bg_thanh_toan.html

Tập tin có cài pass (bạn sẽ nhận được pass sau khi đã thanh toán):

www.mientayvn.com/DICH_THUAT/N_Nanophotonic_1841.rar

.....
Các tài liệu được tặng miễn phí kèm theo: www.mientayvn.com/Tai_lieu_cung_chu_de/1841.doc

.....
CHÚNG TÔI RẤT MUỐN CUNG CẤP TÀI LIỆU NÀY MIỄN PHÍ CHO CÁC HỌC SINH, SINH VIÊN NGHÈO, HOẶC CÓ HOÀN CẢNH ĐẶC BIỆT KHÓ KHĂN. ĐỂ NHẬN ĐƯỢC TÀI LIỆU NÀY MIỄN PHÍ, HÃY THỰC HIỆN THEO CÁC YÊU CẦU Ở MỤC 1, 3, 5, 8, 9, 10 TRONG LIÊN KẾT SAU ĐÂY: http://mientayvn.com/Trao_oi_tai_nguyen.html

Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây

**DỊCH VỤ
DỊCH
TIẾNG
ANH
CHUYÊN
NGÀNH
NHANH
NHẤT VÀ
CHÍNH
XÁC
NHẤT**

Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tao dung niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

Tài liệu này được dịch sang tiếng việt bởi:

www.mientayvn.com

Từ bản gốc:

<https://docs.google.com/?tab=mo&authuser=0&pli=1#folders/0B2JJMzJbJcwX3NHU3lfajRUVVk>

Liên hệ:

thanhlam1910_2006@yahoo.com hoặc frbwrthes@gmail.com

Dịch tài liệu của bạn:

http://www.mientayvn.com/dich_tiang_anh_chuyen_nghanh.html

Nanophotonic (tạm dịch là quang tử nano) hoặc quang học nano là môn học nghiên cứu ánh sáng thang nano. Nó là một nhánh của ngành quang học, nghiên cứu tương tác của ánh sáng với những hệ thống có kích thước nhỏ hơn bước sóng. Những lĩnh vực nghiên cứu của quang học nano bao gồm: kính hiển vi quang học quét truyền quét (NSOM), kính hiển vi quét đầu dò với độ phân giải cao kích thích quang (photoassisted scanning tunnelling microscopy), và quang học Plasmon bề mặt. Kính hiển vi truyền thống sử dụng những thành phần phát sinh nhiễu xạ để phân giải. Những đồ gia đình nhiễu xạ (thông gọi là tiêu chuẩn Rayleigh), ánh sáng chỉ có thể hội tụ thành một vệt với đường kính khoảng $\frac{1}{2}$ bước sóng ánh sáng. Cũng như các nhà khoa học và kỹ thuật quan tâm đến tính của những vật liệu và hiện tượng kích thước vài nano mét, vì vậy cần phải sử dụng những kỹ thuật khác với kỹ thuật truyền thống. Kính hiển vi đầu dò quét (SPM) sử dụng một đầu dò (thông thường là một mũi kim hoặc siêu nhỏ), nó có tác dụng kích thích các bề mặt hoặc truyền những thông tin về bề mặt để thu thập và phân tích. Những ngành như những thí nghiệm có kích thước nano trong thế gian gần đây đã thúc đẩy lĩnh vực nghiên cứu này.

Phạm vi nghiên cứu của nanophotonics bao gồm hai chủ đề chính: 1) nghiên cứu tính chất của ánh sáng kích thước nano 2) chế tạo ra những thí nghiệm có hiệu suất cao cho các ứng dụng trong kỹ thuật.

Những nghiên cứu này đã tạo ra những tiến bộ mới trong cách mạng hóa ngành viễn thông qua việc cung cấp những thí nghiệm không có hiệu suất giao thoa, vận tốc cao, tiêu tán năng lượng thấp cũng như những công nghệ quang học công nghệ quang học trên chip.

Thành phần của một hệ thống nanophotonic bao gồm:

- Nguồn sáng
- Các bộ ghép
- Công nghệ quang học
- Bộ điều biến quang
- Các bộ dẫn kênh chia bước sóng
- Bộ khuếch đại
- Laser
- Bộ cách ly

- M ch tu n hoàn quang h c.

Các tài li u b ng ti ng Anh v l nh v c này r t nhi u nh ng tài li u b ng ti ng Vi t còn th a th t. Mà ây l i là m t l nh v c công ngh m i v i nh ng ng d ng y ti m n ng trong t ng lai. Vì v y, tôi xin c gi i thi u v i các c gi *Các bài gi ng v nanophotonics* c a giáo s Vladimir M. Shalaev khoa K thu t i n và máy tính, i h c Purdue. Khóa h c này bao g m t ng c ng 20 bài gi ng (các b n có th t i mi n phí các bài gi ng này b ng ti ng Anh t i trang web <http://cobweb.ecn.purdue.edu/~ece695s/>).

Vì nhi u lí do khách quan và ch quan, tôi ch a th d ch h t toàn b các bài gi ng này mà ch xin gi i thi u v i các b n c gi 5 ch ng u tiên c a khóa h c này. Giáo trình này dành cho các ***h c viên cao h c chuyên ngành quang h c, v t lý i n t ng d ng*** và b t c ai quan tâm n l nh v c y ti m n ng này. Ph n b tíc ki n th c v sóng i n t do ng i d ch t thêm vào. Ngoài ra còn m t s thí nghi m o v sóng i n t mà các c gi có th d dàng tìm c t i trang http://mientayvn.com/Cao%20hoc%20quang%20dien%20tu/Sach/Mot_so_van_de_ve_luong_tu_hoc_dien_tu/Nanophotonic/phan_cuc.html

Nguy n Thanh Lâm

Liên h và trao i v môn h c: thanhlam1910_2006@yahoo.com

PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL

Các phương trình Maxwell có thể được viết dưới những dạng khác nhau. Ở đây chúng ta dùng những phương trình Maxwell vi mô ở dạng vi phân của chúng. Những phương trình này được viết dưới dạng tổng quát (từ f đến j), trong đó những kí tự in đậm biểu diễn những đại lượng vectơ và những kí tự thường biểu diễn những đại lượng vô hướng.

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (2.1a,b)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}, \quad \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \dot{\mathbf{D}}, \quad (2.1c,d)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}, \quad \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M}. \quad (2.1e,f)$$

Trong đó

\mathbf{E} là vectơ cường độ điện trường, đơn vị là $V/m = V \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$

\mathbf{D} là vectơ cảm ứng điện, $As/m = C/m$

\mathbf{H} là vectơ cường độ trường từ, A/m

\mathbf{B} là vectơ cảm ứng từ, $V \cdot s/m^2 = T = Wb/m^2$

ρ là mật độ điện tích, $As/m^3 = C/m^3$

\mathbf{j} là vectơ mật độ dòng điện, A/m^2

\mathbf{P} là vectơ phân cực điện môi, là số momen lưỡng cực điện trên một đơn vị thể tích

As/m^2

\mathbf{M} là vectơ từ độ, là số momen lưỡng cực từ trên một đơn vị thể tích, $V \cdot s/m^2$

ϵ_0 và μ_0 là hằng số điện môi chân không

λ, μ, ν là độ từ thẩm chân không

∇ là toán tử Nabla, trong hệ tọa độ Đề Các

là một chấm trên dấu một đại lượng nào đó có nghĩa là

là vi phân đại lượng đó theo thời gian

Tác dụng toán tử vào các trường vô hướng và vectơ thường được kí hiệu

$$\begin{aligned}\nabla \cdot f(\mathbf{r}) &= \text{grad } f, \\ \nabla \cdot \mathbf{A}(\mathbf{R}) &= \text{div } \mathbf{A}, \\ \nabla \times \mathbf{A}(\mathbf{r}) &= \text{curl } \mathbf{A},\end{aligned}$$

Và toán tử Laplace được định nghĩa là

$$\Delta \equiv \nabla^2.$$

Nếu tác dụng toán tử Laplace vào đại lượng vô hướng ρ chúng ta thu được

$$\Delta \rho = \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} \quad (2.2)$$

Nếu tác dụng vào trường vectơ \mathbf{E} sẽ dẫn đến

$$\Delta \mathbf{E} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} \\ \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} \\ \frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial z^2} \end{pmatrix}. \quad (2.3)$$

Phương trình (2.1 a,b) chứng tỏ rằng các điện tích tự do là nguồn của cảm ứng điện và cảm ứng từ không có nguồn. Phương trình (2.1 c,d) cho biết trường điện và từ biến thiên theo thời gian có thể tạo ra nhau như thế nào. Thêm vào đó, trường H còn có thể được tạo ra do mật độ dòng điện vĩ mô. Phương trình (2.1 e,f) là những phương trình trong vật liệu ở dạng tổng quát. Từ đó, chúng ta rút ra rằng cảm ứng điện là tổng của cường độ điện trường và độ phân cực.

Bằng cách áp dụng toán tử div vào (2.1 d) chúng ta thu được phương trình liên tục cho điện tích

$$\text{div } \mathbf{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (2.4)$$

Nó tương ứng với định luật bảo toàn điện tích trong một hệ kín.

Dạng tích phân của 2.1 có thể thu được từ dạng vi phân bằng cách lấy tích phân và dùng các định luật Gauss và Stokes.

$$\int \rho(\mathbf{r}) dV = \oint \mathbf{D} \cdot d\mathbf{f} \quad (2.5a)$$

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{f} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \quad (2.5b)$$

ở đây dV , $d\mathbf{f}$ và $d\mathbf{s}$ tương ứng là các yếu tố vi phân thể tích, mặt và đường.

Ở dạng vi mô, phương trình Maxwell chứa tất cả các điện tích như là nguồn của trường điện $E_{\text{tổng}}$ bao gồm tất cả các electron, proton liên kết với nguyên tử, ký hiệu là $\lambda_{\text{tổng}}$ chứ không chỉ các điện tích tự do λ . Tương tự, không chỉ mật độ dòng điện vĩ mô phải được dùng như là nguồn của $H_{\text{tổng}}$ mà còn tất cả các spin và những hạt mang điện có quỹ đạo $j_{\text{tổng}}$ phải được đưa vào như là mật độ dòng điện liên kết $j_{\text{liên_ket}}$. Do đó, việc chuyển sang các đại lượng vi mô có thể thực hiện bằng cách lấy trung bình theo thể tích nhỏ (lớn hơn một nguyên tử nhưng nhỏ hơn được sóng ánh sáng và thay thế $\lambda_{\text{tổng}}$ bằng $-\nabla \cdot P$ và $j_{\text{liên_ket}}$ bằng $P + \text{curl } M$).

II. BỨC XẠ ĐIỆN TỬ TRONG CHÂN KHÔNG

Trong chân không, chúng ta có những điều kiện sau:

$$\mathbf{P} = 0; \quad \mathbf{M} = 0; \quad \rho = 0; \quad \mathbf{j} = 0. \quad (2.6)$$

Sử dụng (2.1 e), (2.1 c,d) có thể được viết là:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \dot{\mathbf{H}} \quad \text{and} \quad \nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \dot{\mathbf{E}} \quad (2.7a,b)$$

Áp dụng $\nabla \times$ vào (2.7a) và $\nabla \times$ vào (2.7b), chúng ta thu được:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\mu_0 \nabla \times \dot{\mathbf{H}} \quad \text{and} \quad \nabla \times \dot{\mathbf{H}} = \varepsilon_0 \ddot{\mathbf{E}}. \quad (2.8)$$

Sử dụng tính chất của toán tử $\nabla \times$ chúng ta tìm được:

$$-\mu_0 \varepsilon_0 \ddot{\mathbf{E}} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}. \quad (2.9)$$

Với (2.6), (2.3) và (2.1a) chúng ta thấy rằng:

$$\nabla \mathbf{E} = 0 \quad (2.10)$$

Và (2.9) rút về phương trình sóng thông thường, được viết cho trường điện:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \ddot{\mathbf{E}} = 0. \quad (2.11)$$

Một phương trình tương tự có thể thu được cho cường độ trường từ. Nghiệm của phương trình này là tất cả những sóng có dạng:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 f(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t). \quad (2.12)$$

Ở đây E_0 là biên độ, f là một hàm tùy ý sao cho đạo hàm bậc hai của nó tồn tại. Khi thế nghiệm (2.12) vào phương trình (2.11) chúng ta sẽ thu được hệ thức giữa ω và k :

$$\frac{\omega}{k} = \left(\frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \right)^{1/2} = c \quad \text{with} \quad k = |\mathbf{k}| = 2\pi/\lambda_v. \quad (2.13)$$

Trong (2.13), c là vận tốc ánh sáng trong chân không và λ là bước sóng ánh sáng trong chân không. Trong tất cả các dạng nghiệm có thể có của (2.12), trong những phần sau, chúng ta sẽ tập trung vào một loại nghiệm đơn giản nhất, có tên là sóng điều hòa phẳng có thể được viết dưới dạng

$$E(\mathbf{r}, t) = E_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)]. \quad (2.14)$$

Đối với tất cả các sóng (không chỉ trong chân không), vận tốc pha v_{ph} và vận tốc nhóm v_g được định nghĩa là

$$v_{ph} = \frac{\omega}{k}; \quad v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \text{grad}_{\mathbf{k}} \omega, \quad (2.15)$$

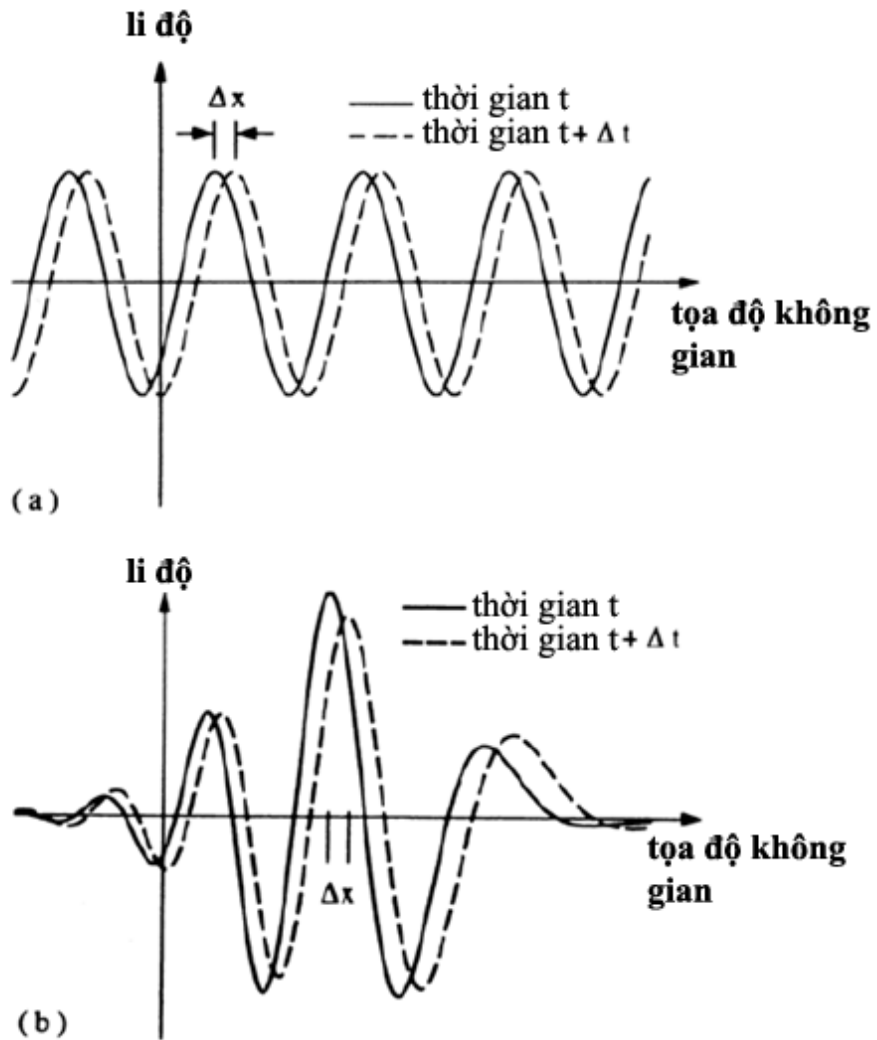
ở đây, vận tốc pha v_{ph} là vận tốc lan truyền của một pha nào đó, (chẳng hạn, cực đại của một sóng đơn sắc) trong khi vận tốc nhóm v_g cho biết vận tốc lan truyền của tâm khối của bó sóng với tần số ở giữa là ω và bao quanh một khoảng tần số nhỏ $\Delta\omega$ như được biểu diễn tương ứng trong hình 2.1 a,b. Công thức (2.15) có giá trị tổng quát. $\text{Grad}_{\mathbf{k}}$ ở phía phải của (2.15) có nghĩa là lấy vi phân đối với \mathbf{k} , nó được dùng thay cho biểu thức đơn giản $\frac{d}{dk}$ trong môi trường không đẳng hướng.

Xem ảnh động tại <http://mientayvn.com/Vat-li-chat-ran/Phonon-1/ba-song.swf.html>

(bạn có thấy vận tốc chuyển động của các bó sóng chậm hơn vận tốc chuyển động của các pha sóng bên trong nó không?)

Từ (2.13) và (2.15), đối với trường hợp đặc biệt của sự truyền sóng điện từ trong chân không chúng ta tìm được

$$v_{ph} = v_g = c = (\mu_0 \epsilon_0)^{-1/2} \quad (2.16)$$



Hình 2.1. Sóng điều hòa (a) và bó sóng (b) được biểu diễn tại hai thời điểm khác nhau t và $t + \Delta t$ để minh họa cho khái niệm vận tốc pha và vận tốc nhóm.

■ Bây giờ, chúng ta muốn tìm hiểu xem những ý nghĩa gì được hàm chứa trong các phương trình Maxwell. Thế (2.12) hoặc (2.14) vào (2.10)

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = iE_0 \cdot \mathbf{k} \exp[i(\mathbf{k}r - \omega t)] = 0. \quad (2.17)$$

■ Điều này có nghĩa là

$$\mathbf{E}_0 \perp \mathbf{k} \quad (2.18)$$

Hoặc nói cách khác, sóng điện từ là sóng ngang đối với \mathbf{k} . Chúng ta có thể rút ra được những gì từ các phương trình Maxwell cho các trường khác? Từ (2.7), đối với sóng phẳng chúng ta có

$$\mathbf{H} = (\omega\mu_0)^{-1} \mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mathbf{H}_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)] \quad (2.19a)$$

Với

$$\mathbf{H}_0 = (\omega\mu_0)^{-1} \mathbf{k} \times \mathbf{E}_0. \quad (2.19b)$$

Hơn nữa, với (2.1c, d) và (2.6), chúng ta có

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)] = \epsilon_0 \mathbf{E}_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)], \quad (2.19c)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)] = \omega^{-1} \mathbf{k} \times \mathbf{E}_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)]. \quad (2.19d)$$

Theo (2.19b), sóng điện từ cũng là sóng ngang theo \mathbf{B} và trường điện và từ vuông góc với nhau, nghĩa là một cách tổng quát, chúng ta có

$$\mathbf{D} \perp \mathbf{k} \perp \mathbf{B} \perp \mathbf{E}. \quad (2.19e)$$

Thêm vào đó, trong chân không và môi trường đẳng hướng chúng ta có

$$\mathbf{E} \parallel \mathbf{D} \quad \text{and} \quad \mathbf{H} \parallel \mathbf{B}. \quad (2.19f)$$

Như chúng ta sẽ thấy sau này trong mối quan hệ với (2.17) và (2.43), (2.44), trong vật chất người ta thường có sóng ngang, nó tuân theo (2.19e) nhưng thêm vào đó, sóng dọc cũng tồn tại trong những điều kiện nào đó

Mật độ dòng năng lượng của trường điện từ là

$$\mathbf{\Pi} = \mathbf{D} \times \mathbf{B}, \quad \mathbf{\Pi} \parallel \mathbf{k} \quad (2.20)$$

Và mật độ năng thông được định nghĩa bởi vectơ Poynting

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (2.21)$$

Với $\mathbf{S} // \mathbf{n}$ trong chân không và môi trường đẳng hướng

S là hàm biến đổi nhanh theo không gian và thời gian. Giá trị trung bình $\langle S \rangle$ là cường độ I hoặc mật độ năng lượng. Đối với sóng phẳng điều hòa, cường độ tỉ lệ với bình phương biên độ. Đối với sóng phẳng đơn sắc đang khảo sát ở đây, chúng ta có

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2} |\mathbf{E}_0 \times \mathbf{H}_0| = \frac{1}{2} \frac{1}{c\mu_0} \mathbf{E}_0^2 = \frac{1}{2} \frac{c}{\mu_0} \mathbf{B}_0^2 = \frac{1}{2} c\mu_0 \mathbf{H}_0^2. \quad (2.22)$$

Phương trình (2.20) và (2.21) cũng có đúng trong môi trường vật chất

III. SÓNG ĐIỆN TỪ TRONG MÔI TRƯỜNG VẬT CHẤT

Phần này sẽ được khảo sát sơ lược trong bài giảng

Lí thuyết điện từ: PHAS3201, Winter 2008

5. Những phương trình Maxwell và sóng điện từ

1 Dòng điện dịch

Chúng ta đã có hầu hết những kiến thức để phát biểu đầy đủ các phương trình Maxwell; tuy nhiên, chúng ta không xét chi tiết cách rút ra những phương trình này. Đặc biệt, khi xét trường từ, chúng ta đã đề cập rằng cần phải tính đến trường điện biến đổi theo thời gian trong định luật Ampere. Chúng ta sẽ xem xét thử xem những đòi hỏi này đến từ đâu, và nó có thể được hiểu từ phương trình liên tục như thế nào.

Chính xác hóa định luật Ampere

- Xét tụ điện đang nạp với dòng điện I
- Định luật Ampere ở dạng nguyên thủy của nó là

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \int_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} da \quad (1)$$

- Tích phân được lấy dọc theo đường cong kín C bao quanh dây chứa dòng điện
- Cũng xét hai bề mặt khác nhau:
 1. Bề mặt cắt dây (đồng phẳng với C)
 2. Bề mặt không cắt dây (cách xa C)
- Những điều này sẽ cho hai câu trả lời khác nhau
- For 1, we find I, while for 2, we find zero

TAKE NOTES

2 Những phương trình Maxwell

Chúng ta phát biểu những phương trình Maxwell dưới dạng vi phân và tích phân, và rút ra phương trình sóng cho \mathbf{H} và \mathbf{E} của những vật liệu tuyến tính, đẳng hướng.

Dạng vi phân

- Bây giờ chúng ta có thể phát biểu tập hợp đầy đủ các phương trình Maxwell

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \text{ (Ampère-Maxwell)} \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \text{ (Faraday)} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \text{ (Coulomb-Gauss)} \quad (4)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \text{ (Biot-Savart+)} \quad (5)$$

Dạng tích phân

- Dạng tích phân

$$\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \left(\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \cdot \mathbf{n} da \quad (6)$$

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot \mathbf{n} da = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (7)$$

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot \mathbf{n} da = \int_v \rho dv \quad (8)$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da = 0 \quad (9)$$

Những phương trình sóng

- Bây giờ chúng ta cần khảo sát trường điện và từ
- Chúng ta cần tìm một phương trình cho mỗi trường
- Giả sử môi trường đồng nhất, tuyến tính và đẳng hướng
- Thì $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ và $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$
- Chúng ta bắt đầu với phương trình Ampere - Maxwell
- Chúng ta cũng giả sử rằng môi trường có độ dẫn điện đồng nhất g , sao cho $\mathbf{J} = g \mathbf{E}$

TAKE NOTES

Phương trình cho H

- Chúng ta tìm được:

$$\nabla^2 \mathbf{H} - g\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (10)$$

- Đây là phương trình sóng cho H, với sự tắt dần tỉ lệ với $g\mu$
- Một điện trở sẽ tiêu tán năng lượng (ví dụ: kim loại, plasma)
- Khi môi trường không dẫn điện $g \rightarrow 0$, chúng ta có:

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \quad (11)$$

- Lập lại quy trình này cho E

TAKE NOTES

Phương trình cho E

- Chúng ta tìm được:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - g\mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (12)$$

- Đây là phương trình sóng cho E; như trước, nếu $g \rightarrow 0$ chúng ta có:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \epsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (13)$$

- Chú ý rằng vận tốc của sóng là $c = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$
- Chúng ta có thể tìm các phương trình cho \mathbf{D} và \mathbf{B} dựa vào mối liên hệ tuyến tính của chúng với \mathbf{E} và \mathbf{H}
- Nghiệm sẽ là sóng phẳng:

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}_0 e^{i(\mathbf{k}_H \cdot \mathbf{r} - \omega_H t)} \quad (14)$$

3 Sóng phẳng

Một chú ý chung: bạn thấy rằng người ta có thể dùng i và j để biểu diễn $\sqrt{-1}$. Trong kĩ thuật thường dùng j . Nhưng ở đây dùng i hay j là tùy bạn

Giải phương trình cho \mathbf{H}

- Giả sử rằng $\mathbf{k} = (0, 0, k)$ nằm dọc theo trục z
 - $\nabla^2 \mathbf{H} = -k^2 \mathbf{H}$
 - $\partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2 = -\omega^2 \mathbf{H}$
 - Như chúng ta tiên đoán, chúng ta sẽ thấy rằng nếu $k^2 / \omega^2 = \epsilon \mu$, thì sóng phẳng sẽ là nghiệm của phương trình sóng cho \mathbf{H}
 - Vận tốc pha là $c = 1 / \sqrt{\epsilon \mu}$
 - Định luật Faraday cho biết mối quan hệ giữa \mathbf{E} và \mathbf{B} : Những nghiệm của các phương trình sóng của chúng có liên quan với nhau như thế nào
- TAKE NOTES

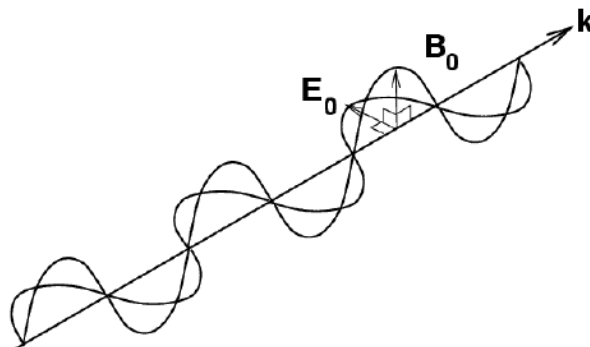
Sóng điện từ

- Để thỏa mãn định luật Faraday thì $\mathbf{k}_B = \mathbf{k}_E = \mathbf{k}$
- Also $\omega_B = \omega_E = \omega$ và $\phi_B = \phi_E = \phi$
- Mối liên hệ giữa trường điện và từ là:

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E}_0 = \omega \mathbf{B}_0 \quad (15)$$

- \mathbf{k} nằm dọc theo phương truyền sóng

Minh họa



Hình 1: Sóng điện từ phân cực tuyến tính hoặc phân cực phẳng

- \mathbf{B} vuông góc với \mathbf{k} , \mathbf{E}
- Bởi vì $\nabla \cdot \mathbf{E} = i\mathbf{k} \cdot \mathbf{E} = 0$, \mathbf{k} & \mathbf{E} vuông góc với nhau.
- Sóng điện từ là sóng ngang (TEM)

TAKE NOTES

4 Phân cực

E_0

- Chúng ta đã thảo luận trường hợp đặc biệt: ánh sáng phân cực phẳng hoặc tuyến tính
- Nói chung, E_0 là số phức
- Chúng ta giả sử rằng sóng truyền theo trục z , $k = (0, 0, k)$
- E_x & E_y có biên độ và pha độc lập nhau

$$\mathbf{E}_0 = E_{0x}e^{i\phi_x}\mathbf{i} + E_{0y}e^{i\phi_y}\mathbf{j} \quad (16)$$

- Chúng ta có $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0e^{i(kz - \omega t)}$
- Những thành phần khác nhau liên hệ với nhau như thế nào ?

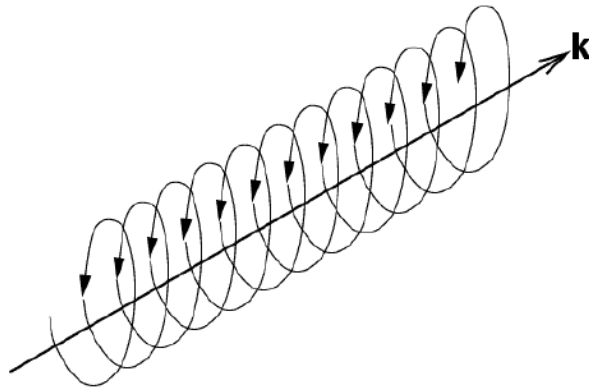
TAKE NOTES

Quan hệ pha

- Phần thực của E là:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{Re} = & \cos(kz + \phi_x) (E_{0x} \cos(\omega t) \mathbf{i} + E_{0y} \cos(\omega t - \phi) \mathbf{j}) \\ & + \sin(kz + \phi_x) (E_{0x} \sin(\omega t) \mathbf{i} - E_{0y} \sin(\omega t - \phi) \mathbf{j}) \end{aligned} \quad (17)$$

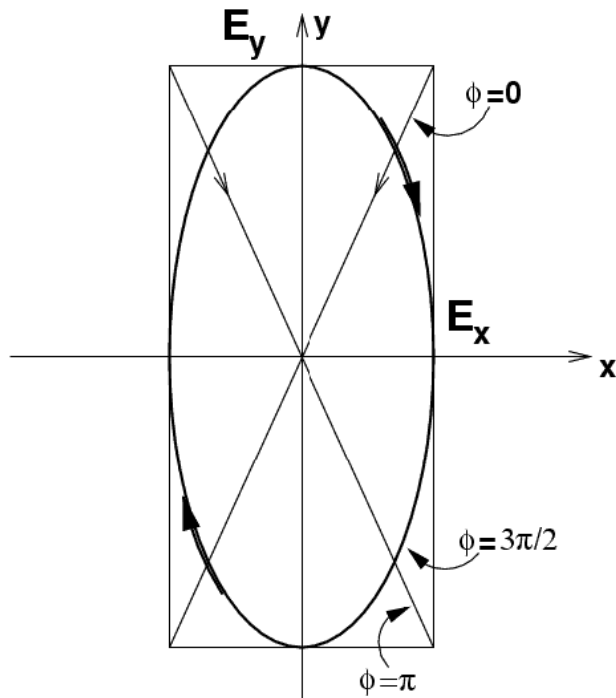
- Độ lệch pha giữa E_{0x} & E_{0y} là ϕ
- Đầu của vecto trường tạo thành đường xoắn ốc



Hình 2: Đường do đầu của vecto trường điện vạch ra của sóng điện từ phẳng phân cực elip

Phân loại

- $\phi = 0$ hoặc π : phân cực phẳng hoặc tuyến tính
- $\phi = \pi/2$ hoặc $3\pi/2$ với $E_{0x} = E_{0y}$: phân cực tròn
- $E_{0x} \neq E_{0y}$, $\phi \neq 0$: Phân cực elip



Hình 3: đường được vạch ra do vectơ trường điện trong một mặt phẳng cho trước theo thời gian trong phân cực elip; truyền ra ngoài trang giấy

Phân loại

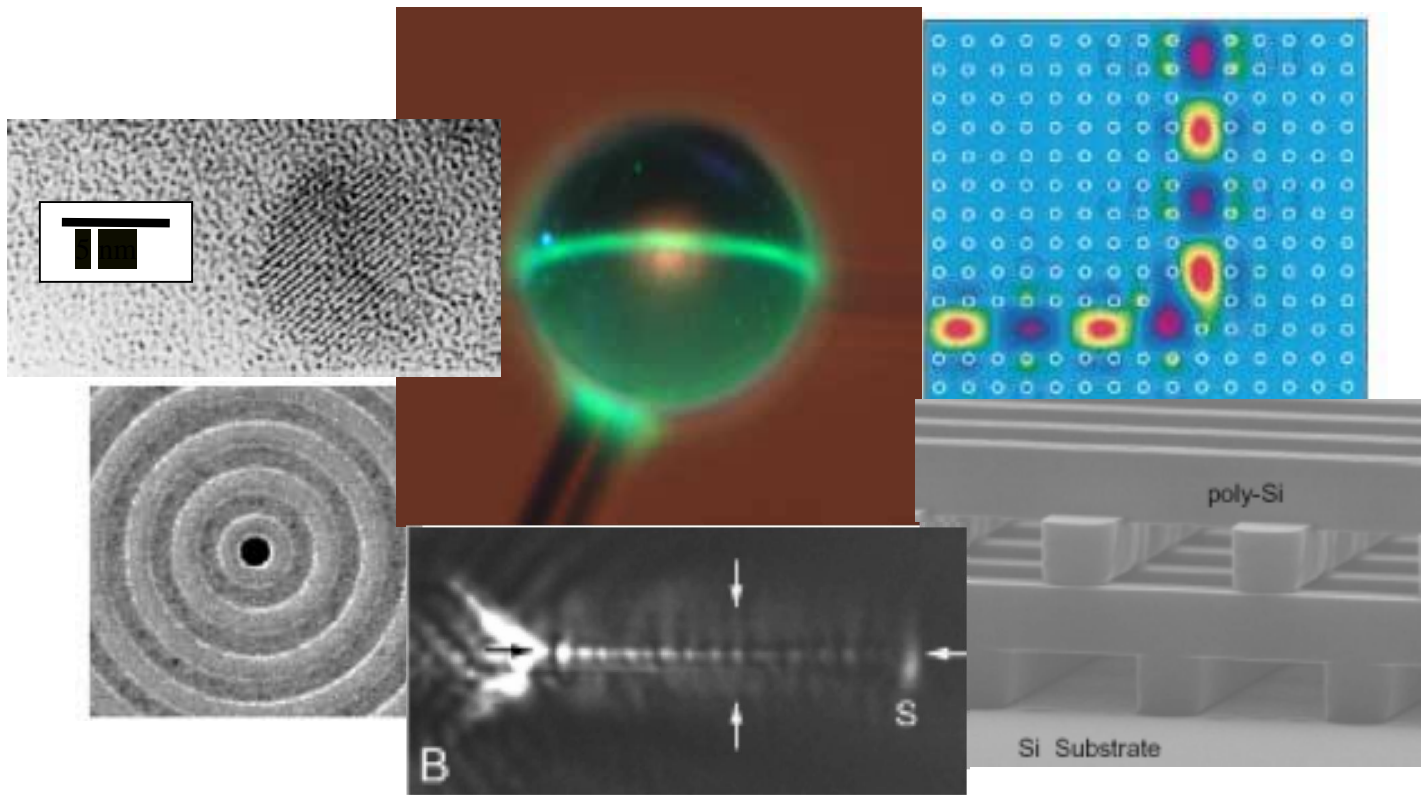
- Nếu $E_{0x} \neq E_{0y}$ đối với phân cực phẳng thì mặt phẳng ở tại góc $\theta = \tan^{-1}(E_{y0}/E_{x0})$
- Ánh sáng không phân cực có nghĩa là độ phân cực của nó biến đổi ngẫu nhiên theo thời gian (chỉ có thể cho phổ liên tục)
- Những nguồn sáng (đây tóc bóng đèn, mặt trời) thuộc loại này
- Ánh sáng phân cực một phần là hỗn hợp của những loại đặc biệt, hoặc ánh sáng có một mặt phẳng bị áp đặt (dùng bộ lọc Polaroid)
- Tính chất cơ bản là quan hệ giữa vectơ x và y trong trường

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Quang tử nano



Tổng quan về khóa học

Phần I: Giới thiệu về tương tác của ánh sáng với vật chất

Rút ra phương trình sóng trong vật chất từ những phương trình Maxwell

Tính chất điện của môi trường bán dẫn và kim loại ở dạng khối

Tương tác của ánh sáng với cấu trúc nano và cấu trúc micro (so sánh độ dày)

Phần II: Tinh thể Photonic

Các hiệu ứng gián tiếp trong môi trường tuần hoàn (Lý thuyết Bloch)

Môi trường tuần hoàn theo 1, 2 và 3 chiều

Ứng dụng: Phân tích tán xạ ngược, lọc công suất, tạo ánh sáng

Sinh vật ánh sáng, Hiệu ứng siêu lăng kính, Siêu tinh thể photonic

Phần III: Quang học kim loại (những tính năng gì mới)

Tương tác của ánh sáng với những cấu trúc nano kim loại 1, 2 và 3 chiều

Định ánh sáng để giải thích nhiễu xạ

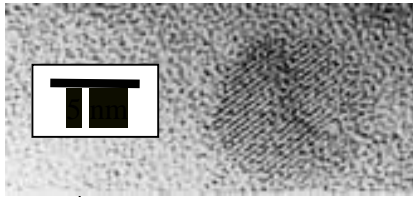
Kính hiển vi quang học trường gần

Sợi truyền qua khe hẹp như hình ống sóng

Mô tả có hệ thống khúc xạ âm

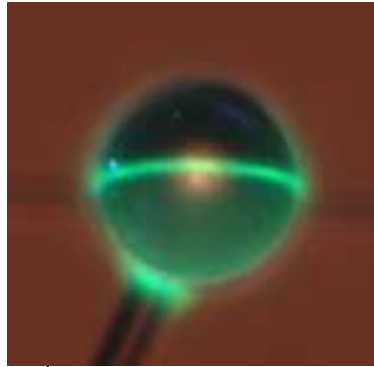
Thụ kính lý tưởng

Tóm tắt bằng hình

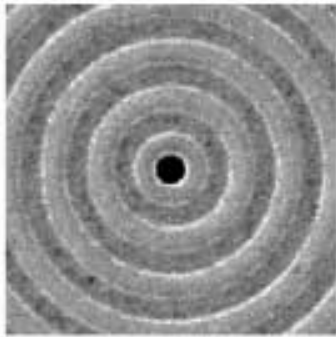
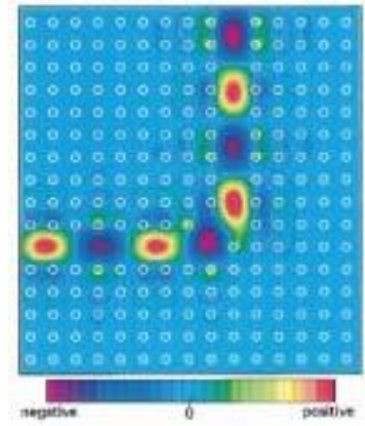


CS, MSc, PhD Thesis

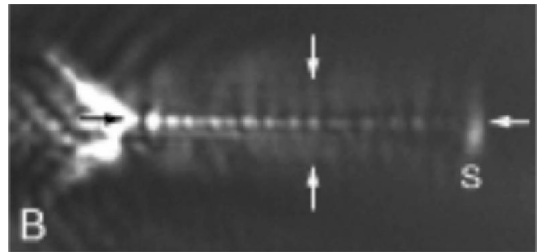
K.V. Yakovlev et al. Phys Rev Lett 85, 574, 2000



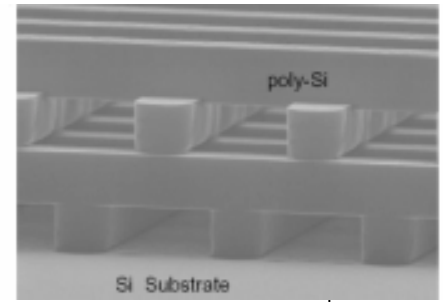
A.D. Ioannopoulos et al. Nature vol. 386, 671-673, 1997



Thiel et al. Chem Lett 26, 1972-1974, 2001



M.R. Kent et al. Europhys Lett 60, 663-665, 2002



S. Sun et al. Nature vol. 394, 351-3, 1998

ng c

Nh ng b c t phá th ng lên quan n v t li u

Th i k á, Th i k i kim lo i, Th i k i Si,...

Con ng i ã nh n ra c i i ch c a các v t li u có trong th ien nhiên

H i n nay nh ng nh à khoa h c có th th i k nh ng v t li u có c u trúc nano có nh ng
l i nh n ng m

Có th h i k nh ng v t li u m i v i tính ch t quang h c có ích không

Có 

Nh ng h i n t ng k x y ra khi chi u c a c u trúc vào c ánh sáng
khoa h chày s nghiên c u nh ng h i n t ng ó là gì, v t i sao chúng x y ra

Th i b quang h c có th nh n m c nào

Các nhà khoa h c ã i t th u kính l n n s i quang h c, n tinh th photonic
n...

Nh i u x th i t i p nh ng gi i h n c b n ph i không?

L i gi i cho v n : quang h c kim lo i / plasmonics

Tác động của ánh sáng với vật chất

Những phương trình Maxwell

Phương trình phân kỳ	Phương trình xoáy
$\nabla \cdot D = \rho_f$	$\nabla \times B = \mu_0 \left(\frac{\partial D}{\partial t} + J_f \right)$
$\nabla \cdot B = 0$	$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} + J_f$

D = Vectơ cảm ứng điện

E = Vectơ cường độ trường điện

ρ_f = mật độ điện tích

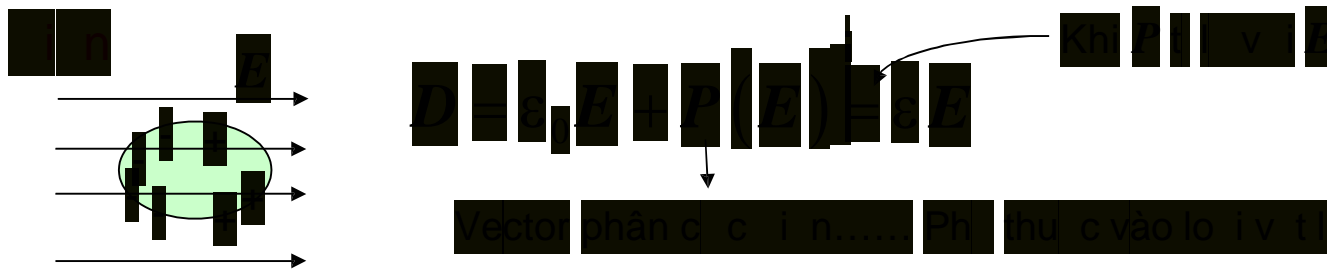
B = Vectơ cảm ứng từ

H = Vectơ cường độ từ trường

J_f = Mật độ dòng điện

Những thức cơ bản

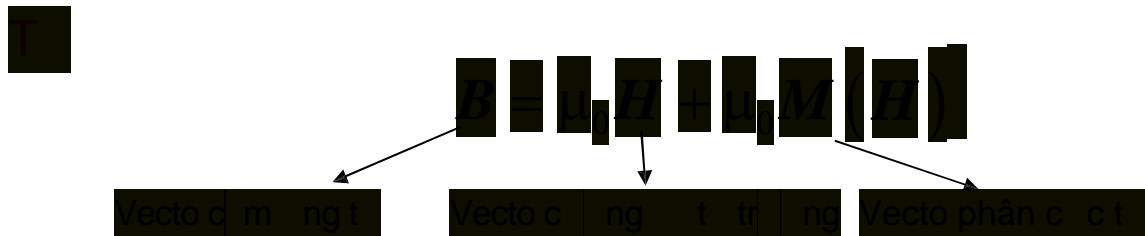
Cách thức cơ bản thì tỉ lệ phụ thuộc vào hình học của môi trường và vị trí phân bố các môi trường



ϵ_0 = Hằng số điện môi của chân không = $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2 \text{ (F/m)}$

ϵ = Hằng số điện môi phụ thuộc vào loại vật liệu

μ_0 = thông lượng từ trong chân không = thông lượng từ trong môi trường = thông lượng từ đo ở phần cực của vật liệu



μ_0 = thông lượng từ của chân không = $4 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

Chú ý: Từ bây giờ chúng ta sẽ tập trung vào những vật liệu

$M = \chi H \Rightarrow B = \mu_0(H + \chi H)$

Các ph ng trình phân k

Ch ng minh ph ng trình $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$

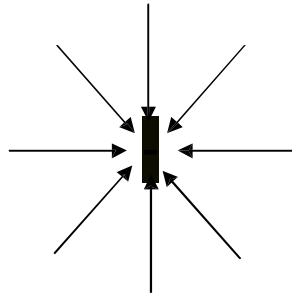
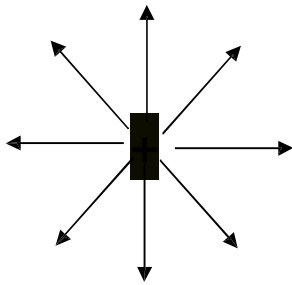
Coulomb

• i n tích cùng d u y nhau (+ và + ho c - và -)

• i n tích khác d u hút nhau (+ và -)

• Ong ta gi i thích i u này b ng khái ni m tr ng i n $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$

→ M i i n tích c nh ng ng s c g n v i ng



• Ong ta nh n th y Nh ng i n tích l nh n t o r a l tác ng l n nhau m nh n n

• Coulomb ã gi i thích i u này là do tr ng m nh h n (nh i u ng s c h n)

Các phương trình phân kỳ

nhân Gauss (Gauss 1777-1855)

$$\int_V \text{div } \mathbf{F} \, dV = \int_S \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} \, dS = \int_V \rho \, dV$$

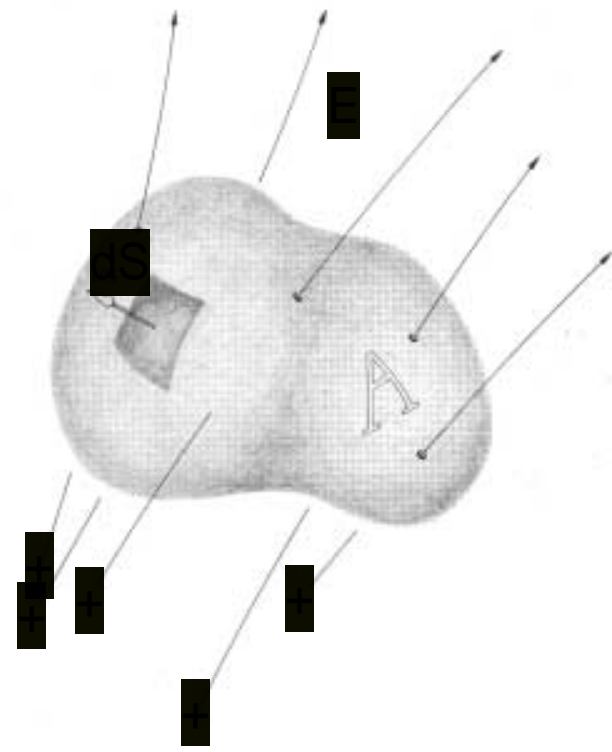
liên quan đến tích kép theo

lý thuyết Gauss (trường vectơ)

$$\int_V \text{div } \mathbf{F} \, dV = \int_S \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} \, dS$$

thứ 2 điều kiện

$$\int_V \text{div } \mathbf{F} \, dV = \int_S \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} \, dS \Rightarrow \int_V \text{div } \mathbf{F} \, dV = \int_V \rho \, dV$$



$$\int_V \text{div } \mathbf{F} \, dV = \int_V \rho \, dV$$

Phương trình phân kỳ

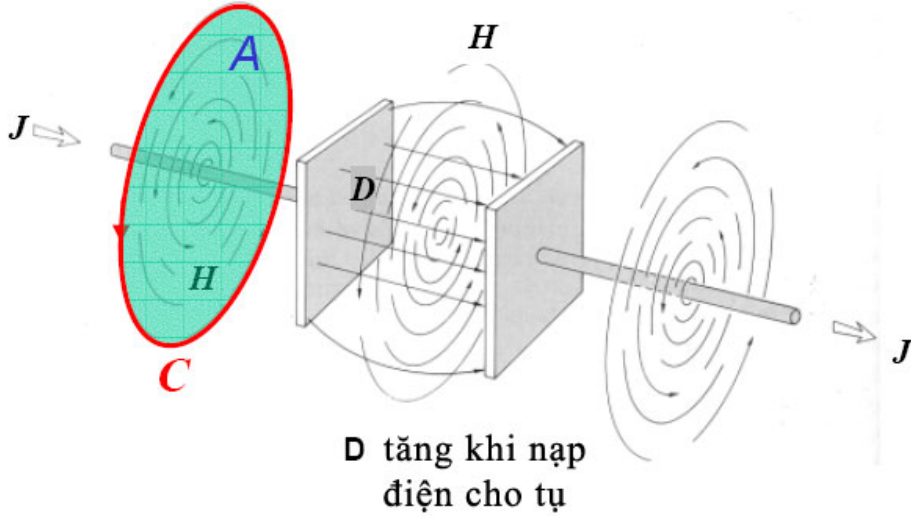
$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

điều kiện cần để

$$\int_V \text{div } \mathbf{B} \, dV = 0$$

Các phương trình xoáy

Chứng minh phương trình: $\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$



Ampere (1775-1836)

$$\int_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_A \left(\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \right) \cdot d\mathbf{S} \Rightarrow \text{Từ trường được cảm ứng do: } \begin{cases} \nearrow \text{Sự thay đổi thông lượng điện} \\ \searrow \text{Dòng điện} \end{cases}$$

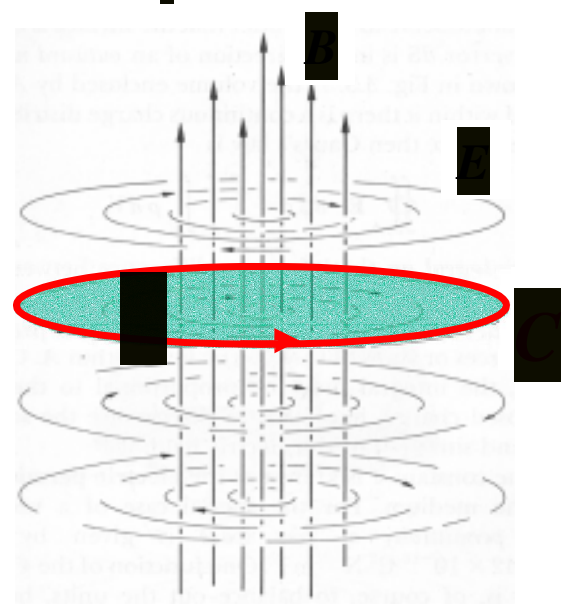
Các phương trình xoáy

Ampere $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \nabla \times \mathbf{A}$
 Poisson $\nabla^2 \mathbf{A} = -\mathbf{J}$
 Stokes $\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$

$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$
 $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \nabla \times \mathbf{A}$

Pt xoáy con $\nabla \times \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}$
 c rút ra $\nabla \times \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}$
 $\nabla \times \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}$

$\nabla \times \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega}$
 Stokes $\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$



Tóm tắt các phương trình Maxwell

Phương trình phân kỳ

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Phương trình số 1 và 2
kết thúc trên các điện tích
tích hợp các điện tích

Phương trình xoáy

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

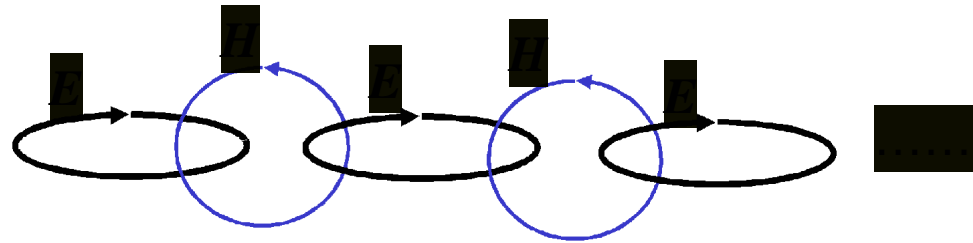
$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$$

Sự thay đổi thông lượng làm phát
sinh từ trường
Dòng điện làm phát sinh từ trường

Chú ý: Không có hằng số nào (chẳng hạn như ϵ_0, μ_0, \dots) xuất hiện khi các phương trình được viết ở dạng này.

Phân trình sống

Chỉ định sự tiến hóa sống



nhân tố xoay | nhân tố thay | độ n | n | n | nhân tố thay | vật | n | thay | độ n | n | nhân tố thay

Công cụ thực tế

Mục tiêu | Rút ra pt sống

Nghiệm | Sống truyền v
Vật c (phay)



điểm khởi | Nhân tố | nhân tố xoay

Phương trình sóng cho từ trường riêng

$$\text{Mô tả } \vec{V} \times \vec{B} = \vec{V} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right)$$

Sắc độ xoay của $\vec{V} \times \vec{B} = \vec{V} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right)$ Chết v. từ u.c. $\vec{V} = 0$

$$\vec{V} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right) = \vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right)$$

Bước 1: Tìm cách thu gọn phương trình vi phân ch. phụ thuộc vào \vec{A}

→ Áp dụng toán tử rot vào cả hai vế của (*)

$$\vec{\nabla} \times \vec{V} \times \vec{B} = \vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right)$$

Bước 2: Thay vào

$$\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right) \right) = \vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right)$$

$$\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla} \times \vec{A} \right) = \vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \vec{\nabla} \phi \right)$$

Điện từ trường gì ng. n. t. ph. sóng

Phương trình sóng cho điện trường

Số sóng

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t)$$
$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t) \cos(\omega t - kx)$$
$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t) \cos(\omega t - kx)$$

Dùng hình vectơ

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t) \cos(\omega t - kx)$$

Kác nhân

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} [\cos(A+B) + \cos(A-B)]$$

2) Không thay đổi dạng k trong không gian

Hình

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t) \cos(\omega t - kx)$$

giải phương trình này có thể tìm $P(E)$

2) Tìm $P(E)$... có thể dùng nh luật Ohm $V(E) = \sigma E$
chúng ta sẽ xét ở đây sau đây gì gì s r n g
 $P(E)$

Môi trường i n m

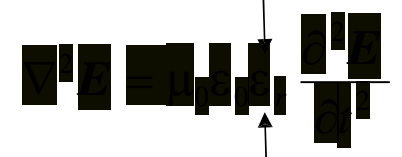
Môi trường ng nh t, ng h, ng và tuy n tnh

I tuy n tnh v β $P = \beta_1, \beta_2, \beta_3$

Y là m t h n g s c g là c m i n



t c nh n g nh ch s c t h c



Rút ra t

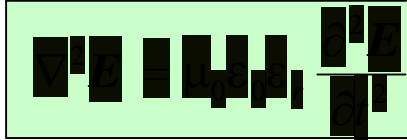
nh ngh a h n g s i n m là $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \gamma$

Chú ý || Trong môi trường s ng h n g t a không nh nh t ph song song $P = \sum \beta_i$

Chú ý || Trong môi trường phi tuy n $P = \beta_1, \beta_2, \beta_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_7, \gamma_8, \gamma_9, \gamma_{10}$

Tính chất của sóng điện từ trong vật lý u kh

Chúng ta đã nghiên cứu về sóng điện từ



Vận tốc của sóng điện từ trong môi trường

Vận tốc của sóng điện từ

So sánh $v = \frac{c}{n} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r} \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$ và $v = \frac{c}{n} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r} \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$

→ $v = \frac{c}{n} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r} \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$

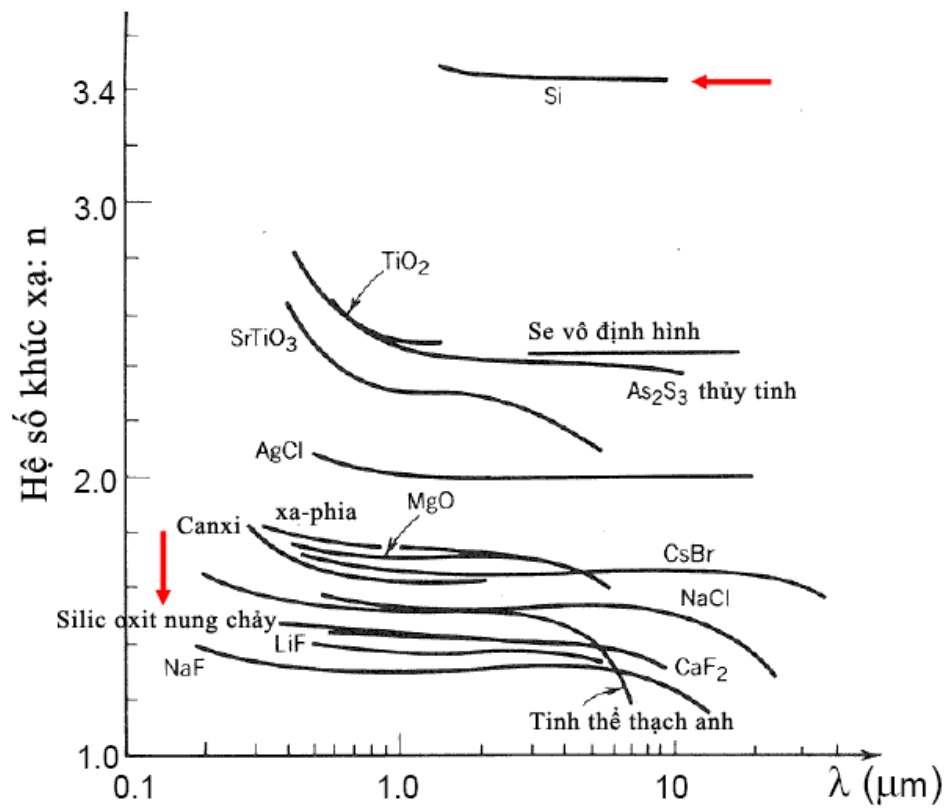
$$\text{với } \epsilon_r = 1, \mu_r = 1 \Rightarrow v = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \sqrt{\frac{1}{(8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-2}) \cdot (4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2})}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Hệ số khúc xạ quang học

Hệ số khúc xạ quang học nhúng a là $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$

Chú ý: Vì tính phân cực của ánh sáng khác nhau nên n_{\parallel} và n_{\perp} khác nhau

Hệ số khúc xạ của các vật liệu khác nhau



Hệ thống tần số

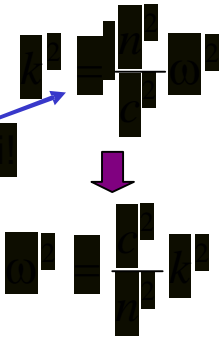
Hệ thống tần số $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$

Để rút ra tính chất động học $\omega_n, \zeta, \sigma, \tau$ ta cần tìm nghiệm của phương trình đặc trưng

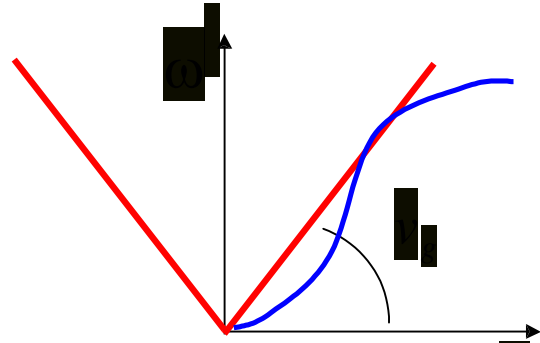
Thế vào $s^2 + s + 1 = 0 \Rightarrow \text{Re} \{s\} = -\zeta \omega_n, \text{Im} \{s\} = -\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$

1
1
1

1. Tần số



2. Kiểm tra



Vận tốc nhóm

$$\frac{d\omega}{d\sigma} = \frac{d\omega}{d\zeta} \frac{d\zeta}{d\sigma} = \frac{1}{\omega_n} \frac{d\omega_n}{d\sigma} = \frac{1}{\omega_n} \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

Vận tốc pha

$$\frac{d\phi}{d\sigma} = \frac{d\phi}{d\zeta} \frac{d\zeta}{d\sigma} = \frac{1}{\omega_n} \frac{d\omega_n}{d\sigma} = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

Sóng điện từ

Nghịch nghĩa

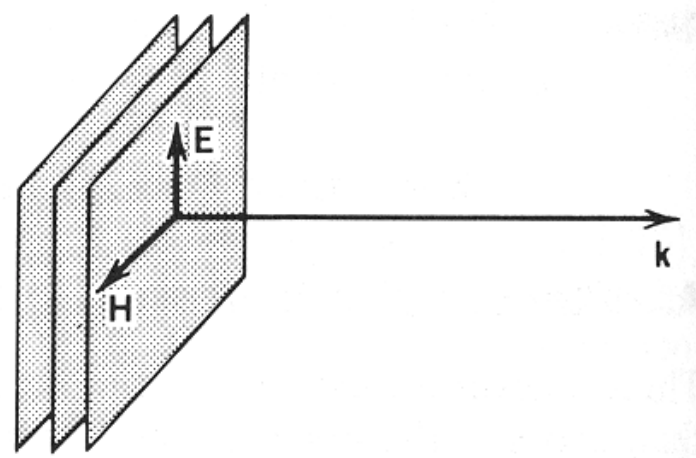


Sóng phẳng



Kiểm tra các
nghịch nghĩa

EM wave



Những phương trình Maxwell và ứng dụng trong truyền dẫn

Ứng dụng quang học

I

Ứng dụng trong quang học



Truyền ánh sáng trong môi trường tán xạ

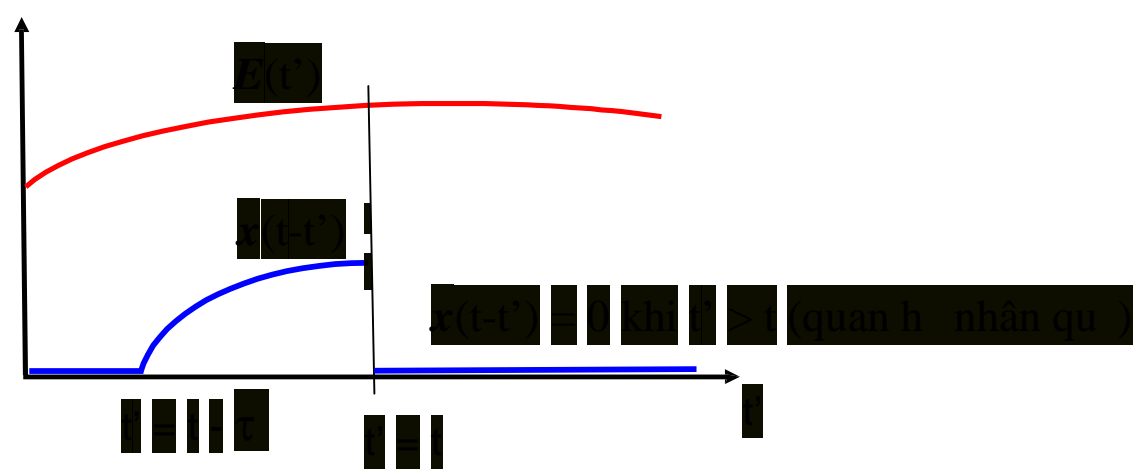
Quan hệ giữa P và E là:

$$H \text{ in } c \int P \, dV = \int E \, dV \quad \text{giới hạn áp dụng cho}$$

$$\text{trong trường } P = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{dE}{dt} \quad \text{đường}$$

Đồ thị áp dụng của E trên nhúng không thời gian

Hàm E là một hàm vô hạn kéo dài trong không thời gian

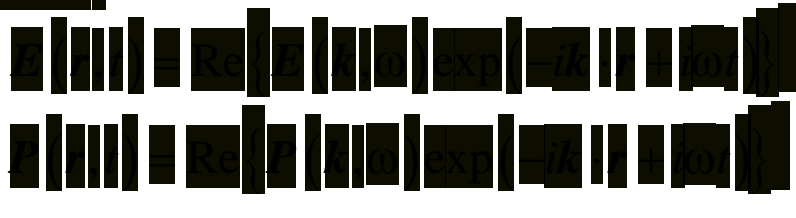


Sóng điện từ trong môi trường tán xạ

Quan hệ giữa E và H trong



Sóng điện từ



Hệ thống các biến số phức



áp dụng ch. m. c. và t. ch. → sóng thái phức thu c.

Ước lượng độ phức tạp tính hệ số χ của $\exp(i\omega t)$ kiểm tra ước lượng

Nó có ứng dụng

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_0 [1 + \chi(\omega)]$$

Hấp thụ và tán sắc sóng điện từ

Vật liệu trong suốt có thể được mô tả bởi hệ số khúc xạ thực n

$$\text{Sóng điện từ: } E(z, t) = \text{Re} \left\{ E(z, \omega) \exp(-ikz + i\omega t) \right\}$$

$$\text{Hệ thức tán sắc } \omega^2 = \frac{c^2}{n^2} k^2 \Rightarrow k = \pm \frac{\omega}{c} n$$

Vật liệu hấp thụ có thể được mô tả bởi n phức:

$$n = n' + in''$$

$$\text{Suy ra: } k = \pm \frac{\omega}{c} (n' + in'') = \pm \left(\frac{\omega}{c} n' + i \frac{\omega}{c} n'' \right) \equiv \pm \left(\beta - i \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\text{Xét dấu + : } E(z, t) = \text{Re} \left\{ E(z, \omega) \exp \left(\underbrace{-i\beta z}_{\text{Sóng chạy}} - \underbrace{\frac{\alpha}{2} z}_{\text{Phân rã}} + i\omega t \right) \right\}$$

Chú ý: $\beta = \frac{\omega}{c} n' = k_0 n'$ \Rightarrow n' đóng vai trò như hệ số khúc xạ thông thường

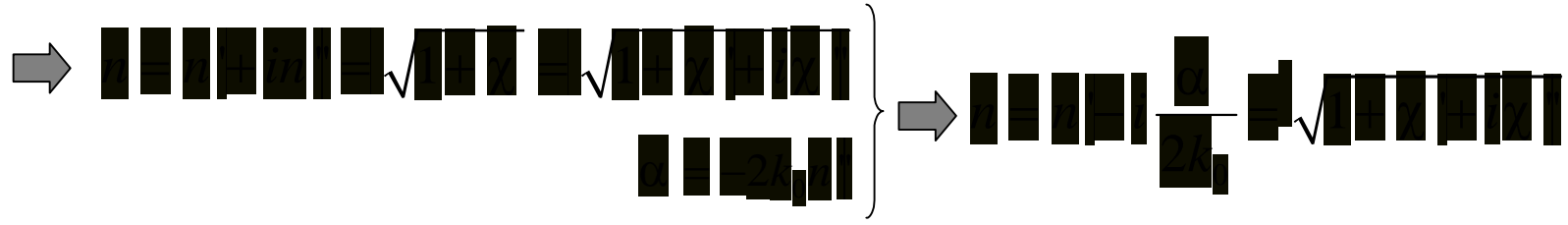
$\alpha = -2 \frac{\omega}{c} n'' = -2k_0 n''$ \Rightarrow α là hệ số hấp thụ

Hệ phương trình và tán sắc sóng liên tục

Trong trường hợp cấu trúc đồng nhất các trục xác định các vận tốc khác nhau trong hướng



||



Trong trường hợp phương trình

$k_x^2 \ll 1$ và $k_y^2 \ll 1$



Hệ khúc xạ

$k_x = \frac{\omega}{v_x} - k_y$

Hệ phương trình

$k_x = -2k_y$ $k_y = k_z$

Tóm tắt

Phương trình Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_f, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}, \quad \nabla \times \mathbf{H} = \dot{\mathbf{D}} + \mathbf{j}_f$$

Phương trình xoáy điện từ

$$\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{j}_f, \quad \mathbf{E} = -\nabla \phi - \dot{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}$$

(under certain conditions)

Mô hình tuyến tính, đồng nhất, đẳng hướng

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}, \quad \mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A}$$

Phương trình sóng vector $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$

$$\nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} = -\frac{1}{\epsilon_0} \nabla \times \nabla \times \mathbf{j}_f$$

Trong trường Dạng hàm giữa \mathbf{E} và \mathbf{H}

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\mathbf{j}_f(\mathbf{r}', t')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d\mathbf{r}', \quad \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{4\pi} \int \frac{\dot{\mathbf{j}}_f(\mathbf{r}', t') \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} d\mathbf{r}'$$

Đây là kết quả quan trọng

Chương 4 tiếp theo

Phần thứ 5 và 6 có liên quan tới

- Kramers-Kronig

- Tần số bán rớt phụ thuộc vào ϵ trong vật lý u-th

Rút ra cho công thức vật lý

- Liên mô (Hệ thống ngườ Urbach làm màu...)

- Bán dẫn (Vùng năng lượng excitons)

- Kim loại (Plasmons, plasmon-polaritons)

Các phương trình và hệ thức thường dùng

Phương trình Maxwell Phương trình phân kì $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$ Phương trình xoáy $\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$
 $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$

Hệ thức thường dùng: $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon_0 + \epsilon_0 \chi \mathbf{E} = \epsilon_0 (1 + \chi) \mathbf{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$
 $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M} = \mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \chi_m \mathbf{H} = \mu_0 (1 + \chi_m) \mathbf{H} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$

Định luật Gauss $\int_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_A \epsilon \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \rho dv$

Maxwell (also) $\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_A \left(\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \right) \cdot d\mathbf{S}$

Quan hệ động giữa P và E: $\mathbf{P}(\mathbf{r}, t) = \epsilon_0 \int_{-\infty}^{+\infty} dt' \chi(t-t') \mathbf{E}(\mathbf{r}, t')$ và $\mathbf{P}(\mathbf{k}, \omega) = \epsilon_0 \chi(\omega) \mathbf{E}(\mathbf{k}, \omega)$

Vật liệu hấp thụ và tán sắc: $\mathbf{E}(z, t) = \text{Re} \left\{ \mathbf{E}(z, \omega) \exp \left(-i\beta z - \frac{\alpha}{2} z + i\omega t \right) \right\}$

ở đây $\beta = \frac{\omega}{c} n' = k_0 n'$, hệ số hấp thụ $\alpha = -2 \frac{\omega}{c} n'' = -2k_0 n''$

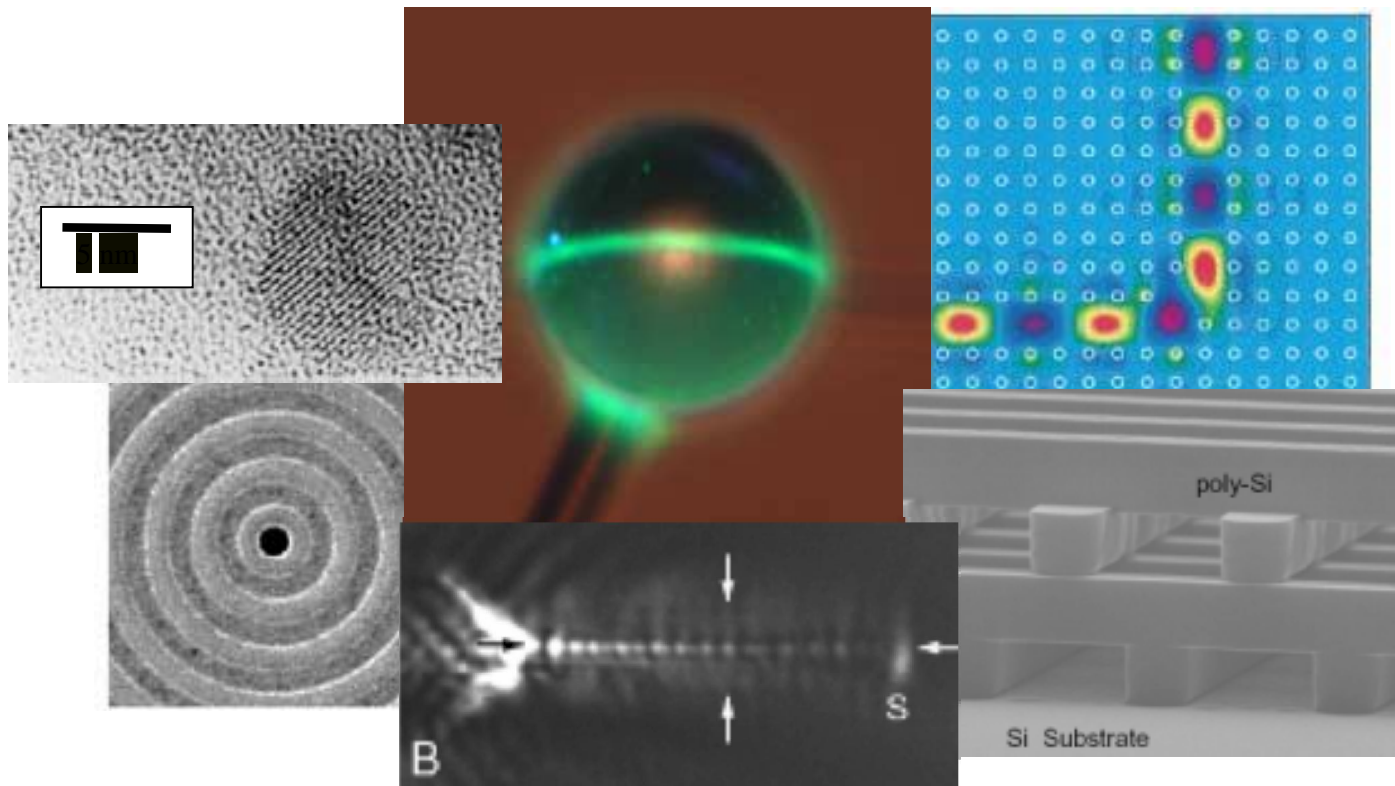
Các định lí toán học

Hệ thức vecto $\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}$
 $\nabla \cdot \epsilon \mathbf{E} = \epsilon \nabla \cdot \mathbf{E} + \mathbf{E} \cdot \nabla \epsilon$

Định lí Gauss $\int_A \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \nabla \cdot \mathbf{F} dv$

Stokes $\oint_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = \int_A (\nabla \times \mathbf{F}) \cdot d\mathbf{S}$

Chương 2: Tán xạ trong vật lý u



Những gì đã học trong chương trình cũ?

Ph Maxwe

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_f$$

Những chỉ in m a vector

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \dot{\mathbf{D}} + \mathbf{j}_f$$

Trong môi trường đồng nhất

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_f}{\epsilon_0}, \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}}$$

trong những từ kí nào đó

Môi trường tuyến tính, đồng nhất và đẳng hướng

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$$

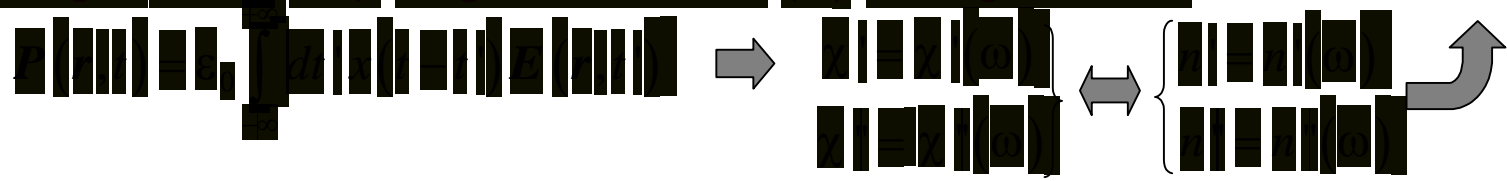
Phương trình sóng

$$\nabla^2 \mathbf{E} = -\frac{\rho_f}{\epsilon_0} - \frac{1}{c^2} \ddot{\mathbf{A}}$$

Nghĩa sóng điện từ

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \text{Re} \left\{ \sum_{\mathbf{k}} \mathbf{E}_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}) \exp(-i\omega t) \right\} \quad \text{where } \mathbf{k} \cdot \mathbf{E}_{\mathbf{k}} = 0 \text{ and } \omega = c|\mathbf{k}|$$

Trong thực tế, áp dụng các vật chất không lý tưởng



Hôm nay: Nguồn gốc vi mô của

Định luật Ohm và các hiệu ứng vật lý thú vị

- Mô hình Lorentz (Mô hình dao động tự nhiên)

- Định luật Ohm và các hiệu ứng thú vị

- Bán dẫn (Vùng năng lượng vùng cấm, excitons)

- Kim loại (Định luật Ohm, dao động Plasma, chuyển dịch liên vùng)

Phân tích và các ứng dụng liên quan

- Kramers-Kronig

Những ưu tiên

- Định luật Ohm và các hiệu ứng thú vị

Định luật Ohm và các hiệu ứng thú vị

n' và n'' với χ' và χ'' với ε' và ε''

Tất cả những cặp (n' và n'', χ' và χ'', ε' và ε'') mô tả cùng một tính chất vật lí

Trong khi giải quyết vấn đề nhiều khi người ta thích dùng đại lượng này hơn đại lượng kia

n' và n'' được dùng khi khảo sát sự lan truyền sóng

$$E(z, t) = \text{Re} \left\{ E(z, \omega) \exp \left(-i\beta z - \frac{\alpha}{2} z + i\omega t \right) \right\} \quad \text{ở đây } \beta = k_0 n' \text{ và } \alpha = -2k_0 n''$$

Sự lan truyền pha Hấp thụ

χ' và χ''
ε' và ε'' } được dùng khi thảo luận về nguồn gốc của những hiệu ứng quang học

Như chúng ta sẽ thấy hôm nay...

Những mối quan hệ nội tại

Chẳng hạn: n và ε

Từ $n = \sqrt{\varepsilon_r}$ →

$$n' + in'' = \sqrt{\varepsilon_r' + i\varepsilon_r''}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_r' &= (n')^2 - (n'')^2 \\ \varepsilon_r'' &= 2n'n'' \end{aligned} \quad \text{và}$$

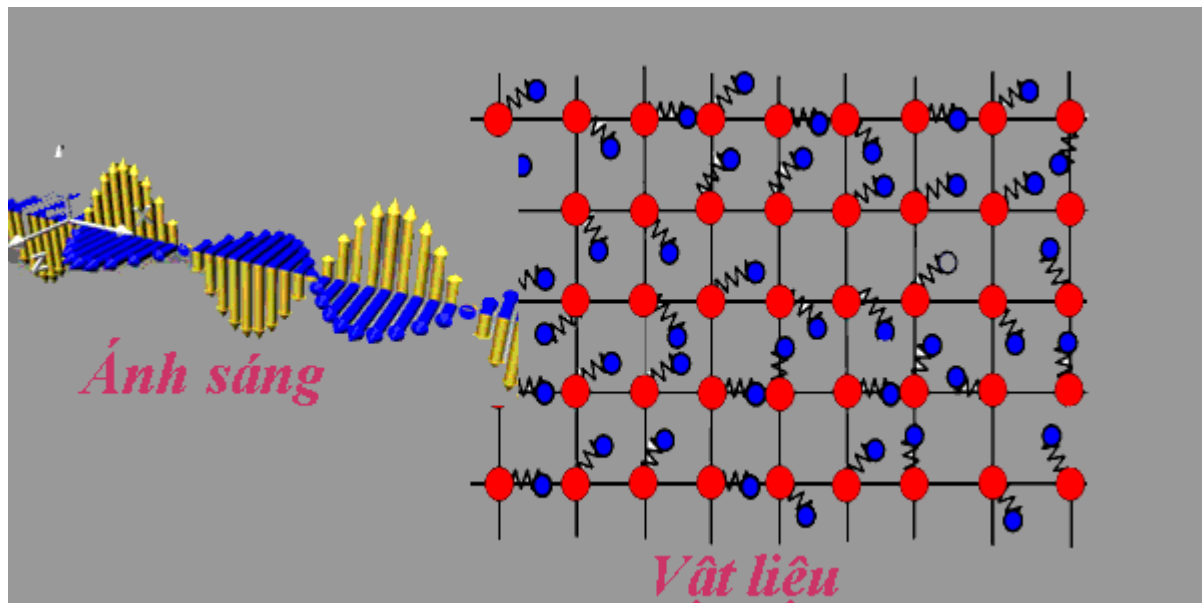
$$\begin{aligned} n' &= \sqrt{\frac{\sqrt{(\varepsilon_r')^2 + (\varepsilon_r'')^2} + \varepsilon_r'}{2}} \\ n'' &= \sqrt{\frac{\sqrt{(\varepsilon_r')^2 + (\varepsilon_r'')^2} - \varepsilon_r'}{2}} \end{aligned}$$

Phiên bản này do www.nientay.vn biên soạn

Mô hình dao động của nguyên tử trong mô hình Lorentz

Mô hình dao động của nguyên tử trong mô hình Lorentz là bức tranh mô tả về nguyên tử trong tác động của nguyên tử và trường. Nó thu hút sự chú ý của nhiều người, tuy nhiên, mô hình này là công cụ để mô tả bản chất của nguyên tử và trường.

Lorentz là nhà vật lý người Hà Lan, lúc mới học về điện từ học ông đã khám phá ra rằng ánh sáng là sóng điện từ. Tuy nhiên, ông đã bị thất vọng khi kết quả của lý thuyết điện từ và cơ học cổ điển. Do đó, ông đã đưa ra mô hình bài toán về tác động của nguyên tử trong trường theo các thuật ngữ của vật lý cổ điển. Lorentz xem nguyên tử như một vật thể (nhân) gắn với một vật thể khác như một lò xo (electron) bằng một lò xo. Lò xo có độ cứng k và tác động của trường điện từ vào nguyên tử tích của electron.



Lorentz không chỉ ra vị trí của lò xo gắn electron với nguyên tử, tuy nhiên ông giả thuyết rằng lực tác động của chúng là đàn hồi tuân theo định luật Hooke $F(x) = -kx$ với x là độ lệch chuyển vị từ vị trí cân bằng. Trong cơ học cổ điển, giả thuyết này có nghĩa là gia tốc bằng $a = -\frac{k}{m}x$ là gia tốc electron nguyên tử. Do đó các kết quả do nó liên quan tới cổ giả tr

Nếu vật lý cổ điển tác động của trường điện thì các electron sẽ di chuyển khỏi vị trí cân bằng. Sự dao động của trường điện trong sóng điện từ làm electron dao động điều hòa. Tác động của trường có thể bỏ qua vì nó tỉ lệ với trường điện. Lorentz cũng xét tới độ dãn trong mô hình của mình.

Áp dụng lý thuyết nhiễu loạn tính các vận tốc chuyển động

Trạng thái của electron liên kết trong trường điện từ

Tính chất quang học của môi trường phụ thuộc vào các electron liên kết

Mô hình Lorentz

Nhiệm vụ chính trong vật lý nguyên tử xem như dao động tử điều hòa

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -\nabla V(\mathbf{r}) - e \mathbf{E}(t) \quad (\text{điều kiện biên } \mathbf{r} \rightarrow \infty, \dot{\mathbf{r}} = 0)$$

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} + m \omega_0^2 \mathbf{r} + C \mathbf{r} = -e \mathbf{E}_0 \exp(-i\omega t)$$

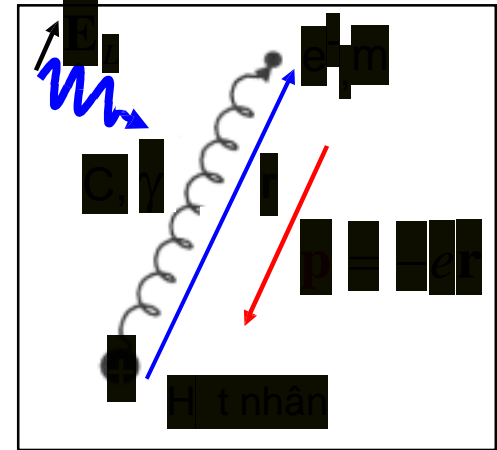
Momen lưỡng cực cổ điển của nguyên tử này là $\mathbf{p} = -e \mathbf{r}$

$$m \frac{d^2 \mathbf{p}}{dt^2} + m \omega_0^2 \mathbf{p} + C \mathbf{p} = e^2 \mathbf{E}_0 \exp(-i\omega t)$$

Nghiệm của phương trình này có dạng

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 \exp(-i\omega t) + \mathbf{p}_1 \exp(-i\omega_0 t) + \mathbf{p}_2 \exp(-i\omega_1 t) + \mathbf{p}_3 \exp(-i\omega_2 t) + \mathbf{p}_4 \exp(-i\omega_3 t) + \mathbf{p}_5 \exp(-i\omega_4 t)$$

$$\Rightarrow \text{không } \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \mathbf{p}_4, \mathbf{p}_5 \Rightarrow \text{Giải tìm } \mathbf{p}_0 \text{ và } E_1$$



phân tích nguyên tử

Xác định phân tích nguyên tử

$$Ph\ n\ t\ L\ c\ -\ n\ o\ p\ -\ i\ m\ o\ p\ -\ C\ o\ =\ e\ D$$



$$H\ a\ d\ -\ n\ o\ p\ -\ H\ a\ d\ -\ e\ D$$

Chia 2 v cho m

Chia 2 v cho m



$$D\ =\ n\ o\ p\ -\ a\ -\ n\ o\ p\ -\ D$$

Chia 2 v cho m

$$X\ (a) = \frac{C\ o\ -\ n\ o\ p\ -\ H\ a\ d\ -\ n\ o\ p\ -\ H\ a\ d\ -\ e\ D}{C\ o\ -\ n\ o\ p\ -\ H\ a\ d\ -\ n\ o\ p\ -\ H\ a\ d\ -\ e\ D}$$

Chia 2 v cho m

Chia 2 v cho m

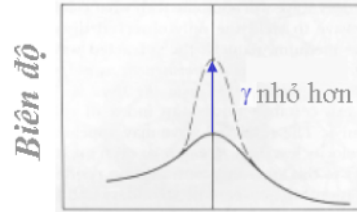
Đặc tính của độ phân cực nguyên tử

Đáp ứng của vật chất (**P**) không tức thời \Rightarrow phụ thuộc vào ω

- Độ phân cực nguyên tử:
$$\alpha(\omega) = \frac{p_0}{\epsilon_0 E_L} = \frac{e^2}{\epsilon_0 m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega} = A \exp i\theta(\omega)$$

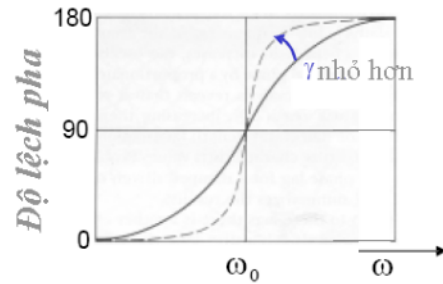
- Biên độ

$$A = \frac{e^2}{\epsilon_0 m} \frac{1}{\left[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2 \right]^{1/2}}$$



- Độ lệch pha giữa α với E :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$



Quan hệ giữa phân bố nguyên tử (n_i) và các trường điện từ

Trường điện từ trong môi trường đẳng hướng

Momen lưỡng cực của các nguyên tử: $\vec{p}_i = q \vec{d}_i$

Vecto phân cực: $\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i q \vec{d}_i = \sum_i q_0 \vec{V}_i \cdot \vec{D}_i$

Đã trình bày trong bài Maxwell

Tổng trên tất cả các nguyên tử

$$\chi_{ij}(\omega) = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_k \frac{q_k^2}{m_k} \frac{1}{\omega_k^2 - \omega} \delta_{ij}$$

→ $\vec{P} = \epsilon_0 \sum_i \frac{N_i q_i^2}{m_i} \frac{1}{\omega_i^2 - \omega} \vec{E}$

→ Các môi trường vô mô s là

$$\chi_{ij}(\omega) = \frac{N_i q_i^2}{m_i} \frac{1}{\omega_i^2 - \omega} \delta_{ij}$$

→ Plasma có nghĩa là $\omega_p^2 = \frac{N_e q_e^2}{\epsilon_0 m_e} \gg \omega_i^2$

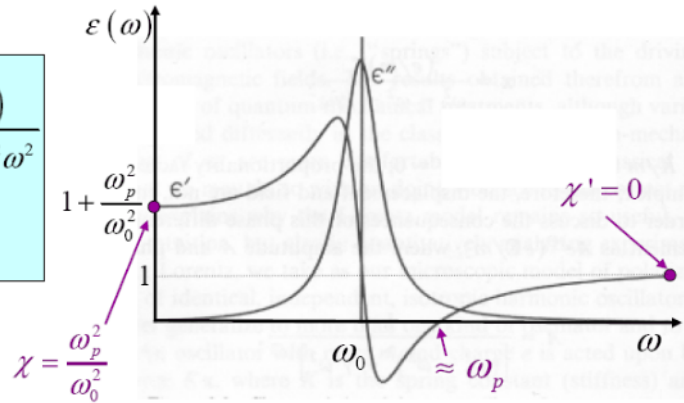
Ghi nhớ: ϵ và n liên hệ trực tiếp với χ

ϵ phụ thuộc tần số

• Hệ thức giữa ϵ với χ : $\epsilon = 1 + \chi = 1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}$

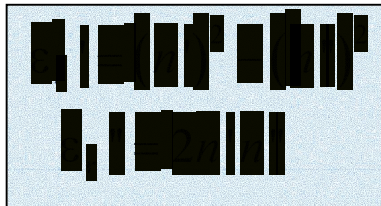
➡ $\epsilon' + i\epsilon'' = 1 + \chi' + i\chi'' = 1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega}$

$$\epsilon' = 1 + \chi'(\omega) = 1 + \frac{\omega_p^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2}$$
$$\epsilon'' = \chi''(\omega) = \frac{\omega_p^2\gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2}$$



Truyền sóng điện từ - Định luật

Hệ thống hai tụ điện



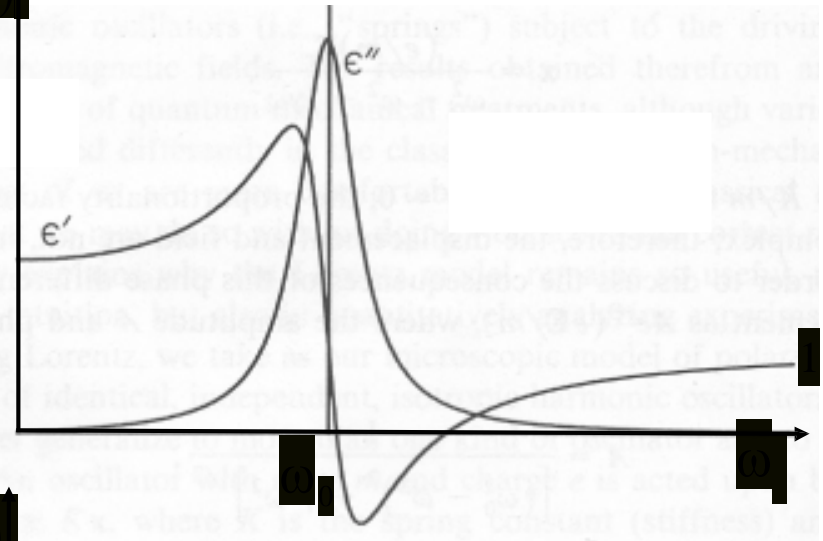
$\epsilon_0 > \epsilon_1$ | $\epsilon_2 > \epsilon_1$ → $\epsilon_2 > \epsilon_1 > \epsilon_0$

$\epsilon_2 > \epsilon_1$ | $\epsilon_0 > \epsilon_1$ → $\epsilon_2 > \epsilon_1 > \epsilon_0$ (phần thu ở mặt nhẵn)

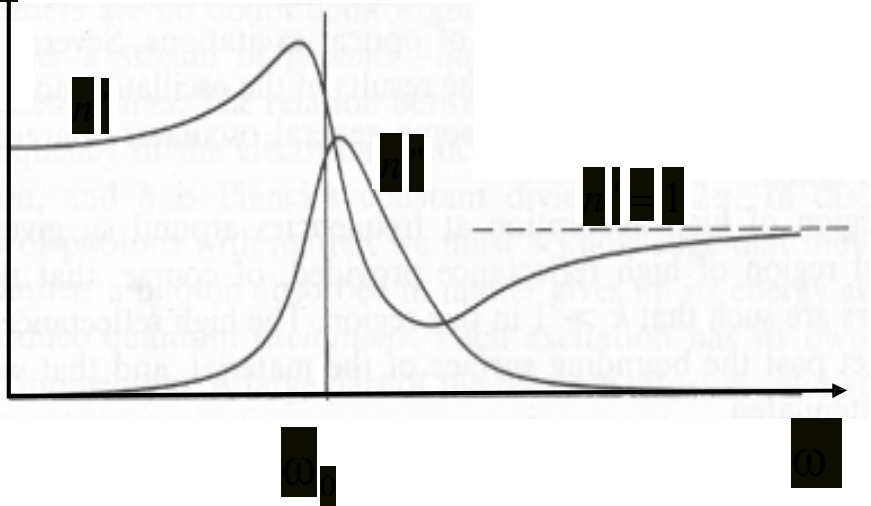
Hệ thống hai tụ điện

$\epsilon_2 > \epsilon_1$ | $\epsilon_0 > \epsilon_1$ → $\epsilon_2 > \epsilon_0$

Đồ thị



Đồ thị



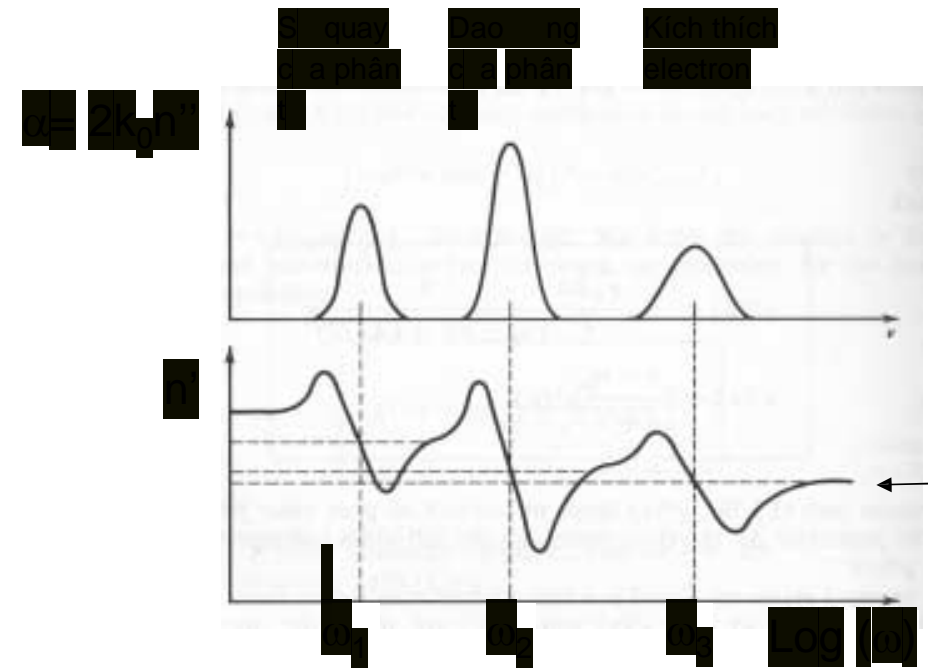
Mô hình quang phổ cổ điển

Trong hệ cô lập, nguyên tử có hai vị trí năng lượng

Trạng thái năng lượng thấp do chuyển động của nguyên tử (thấp) và electron (cao)

→
$$H = \sum_i \left[\frac{1}{2} m_i \dot{r}_i^2 + V(r_1, r_2, \dots, r_N) \right]$$
 đây là mô hình electron/nguyên tử bằng hình học

Ví dụ về sự phụ thuộc cổ điển của ω và ν



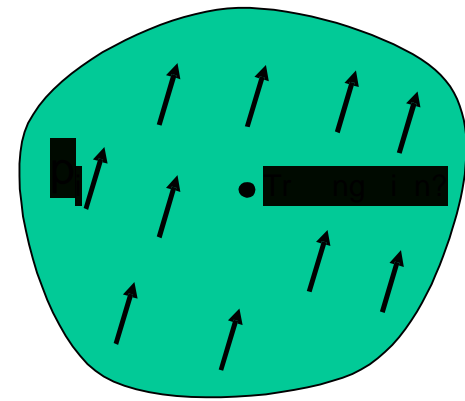
hình ảnh minh họa hình dao động của nguyên tử

Trị lượng quan hệ giữa phân bố α và β

Thế năng nhiệt



Chất rắn



Nguyên tử ở mức năng lượng 1 Chùm ánh sáng

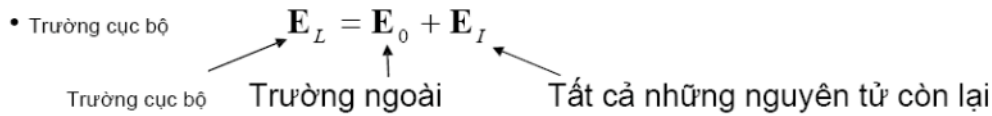
2) Trị lượng đo các mức năng lượng của nguyên tử khác nhau nên

Trị lượng của



Độ cảm điện của chất rắn

Trường cục bộ



Trường lưỡng cực cảm ứng

- Ví dụ: Đối với đối xứng lập phương: $\mathbf{E}_I = \frac{\mathbf{P}}{3\epsilon_0}$ (Trong các sách vật lí chất rắn, chẳng hạn. Kittel, Ashcroft..)

⇒ $\mathbf{E}_L = \mathbf{E}_0 + \frac{\mathbf{P}}{3\epsilon_0}$ (Hệ thức tương tự có thể rút ra cho bất kì chất rắn nào)

Độ phân cực của chất rắn

- Chất rắn bao gồm nhiều loại nguyên tử, giả sử loại nguyên tử j có mật độ N_j

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \sum_j N_j \alpha_j \mathbf{E}_L = \epsilon_0 \sum_j N_j \alpha_j \left(\mathbf{E}_0 + \frac{\mathbf{P}}{3\epsilon_0} \right) = \epsilon_0 \sum_j N_j \alpha_j \mathbf{E}_0 + \sum_j N_j \alpha_j \frac{\mathbf{P}}{3}$$

\downarrow
 P_j

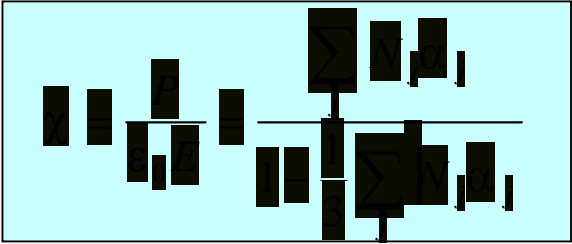
⇒ $\mathbf{P} \left(1 - \frac{1}{3} \sum_j N_j \alpha_j \right) = \epsilon_0 \sum_j N_j \alpha_j \mathbf{E}_0$ ⇒

$$\chi = \frac{P}{\epsilon_0 E} = \frac{\sum_j N_j \alpha_j}{1 - \frac{1}{3} \sum_j N_j \alpha_j}$$

Hệ thức Clausius-Mossotti

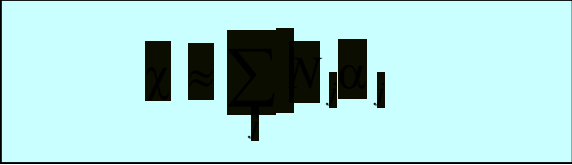
phân bố cách trị

• ϵ_m



• Khí môi trường nguyên tử

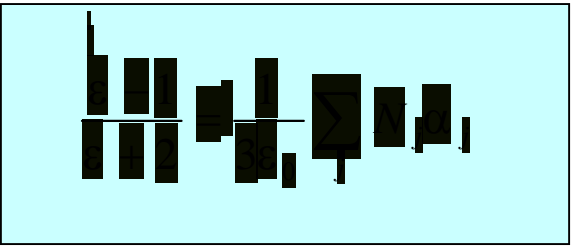
...hỗn hợp phân cực yếu



• Trường hợp của không khí và thủy tinh

Clausius-Mossotti

• Theo định nghĩa $\epsilon_m = \frac{D}{E}$

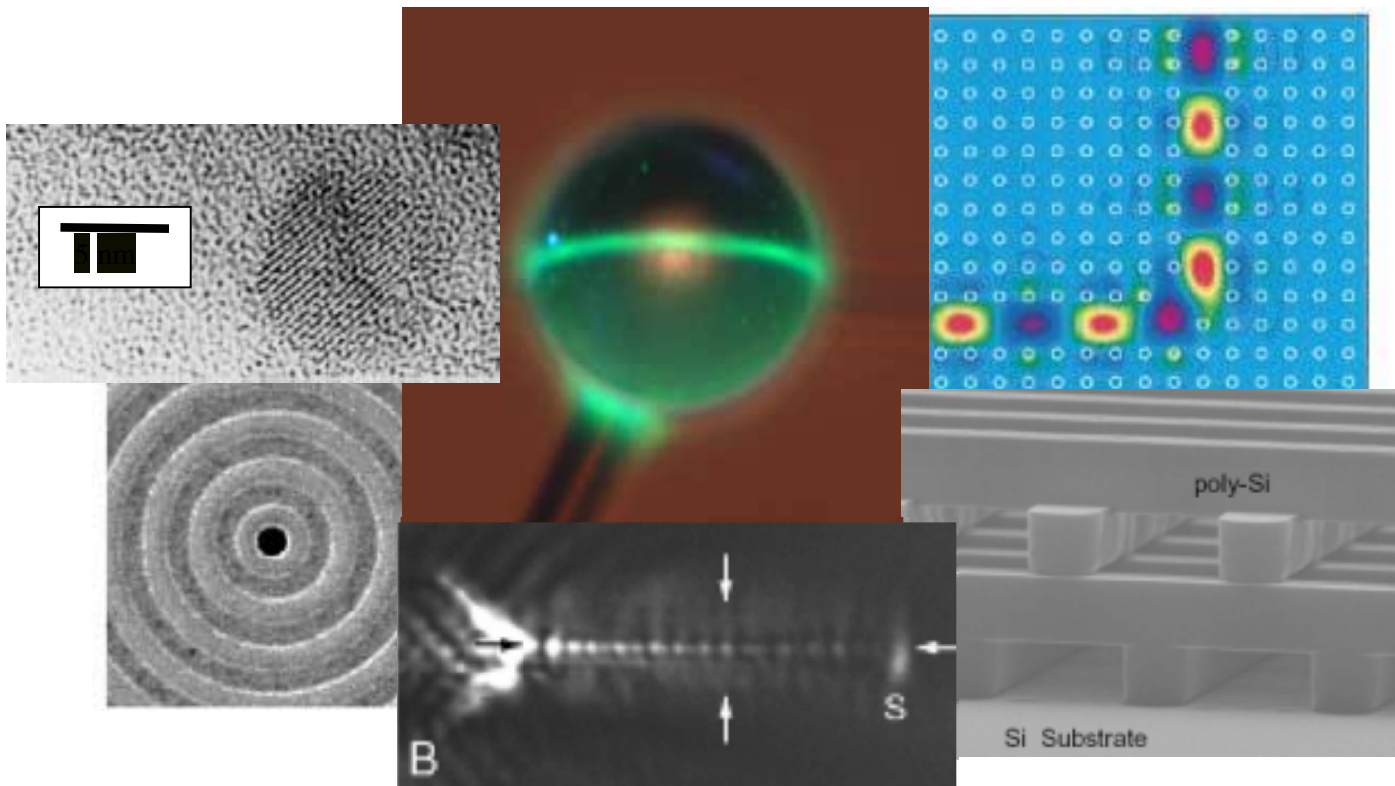


• $S_p \times p_i$

• Kết luận: ϵ_m của môi trường có liên hệ với phân cực nguyên tử

• Điều này rất tổng quát!

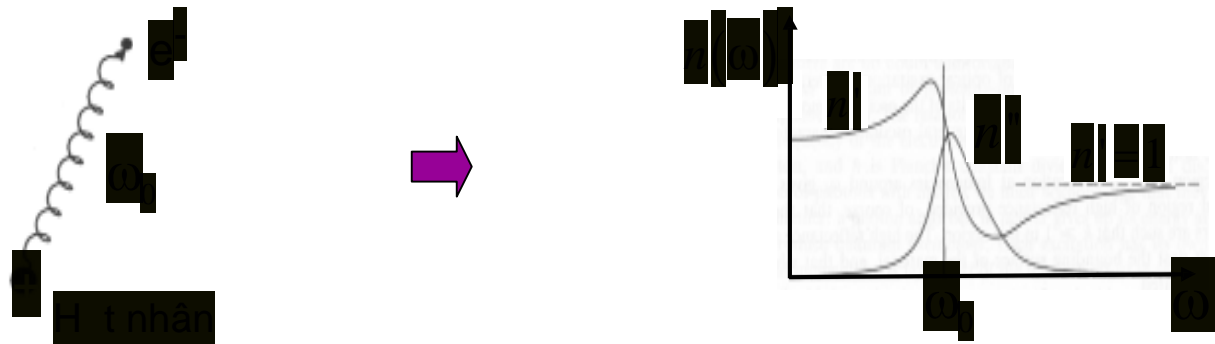
Chương III: Tính chất quang học của vật liệu u-không và nano



Chương trình

5. Phổ thu hẹp sắc a trong vật lý u th

Mô hình Lorentz (mô hình dao động t u hóa)



Hôm nay chúng ta nghiên cứu tính chất quang học của vật lý u

l n mô (H p th m ng âm màu...)

Bán d n (Vùng n ng l ng u Urbach excitons...)

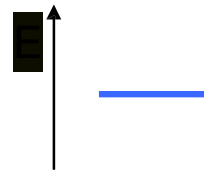
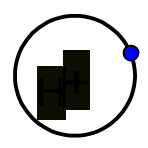
Kim lo (áp ng do các electron liên k t và electron t do dao ng plasma...)

Tính chất quang học của phân tử, hạt nano và vi h

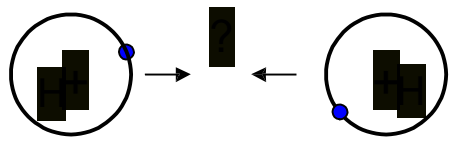
Phân loại vật chất: Khí môi, Bán dẫn, Kim loại

Liên kết và vùng năng lượng

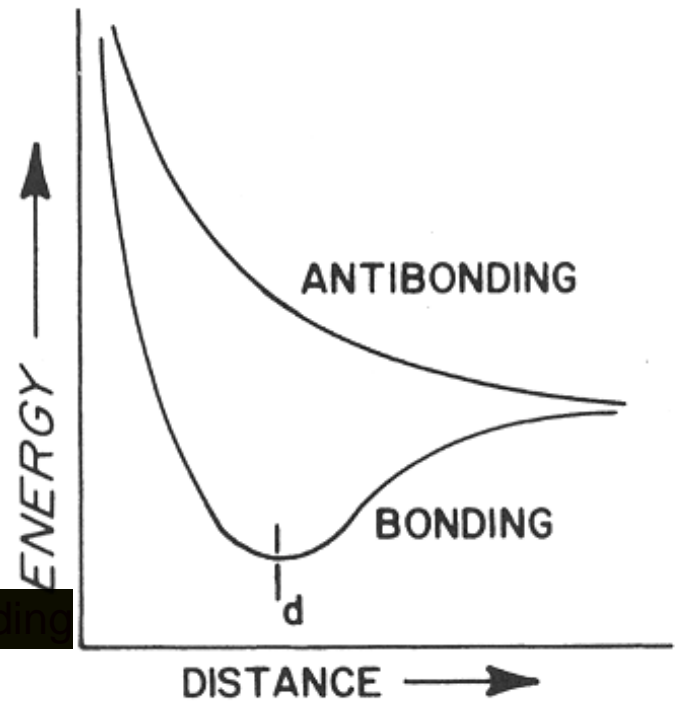
Một nguyên tử chỉ có 1 n Hydro, Phương trình Schrödinger



Hai nguyên tử hình thành liên kết



Mỗi electron đóng góp một trạng thái



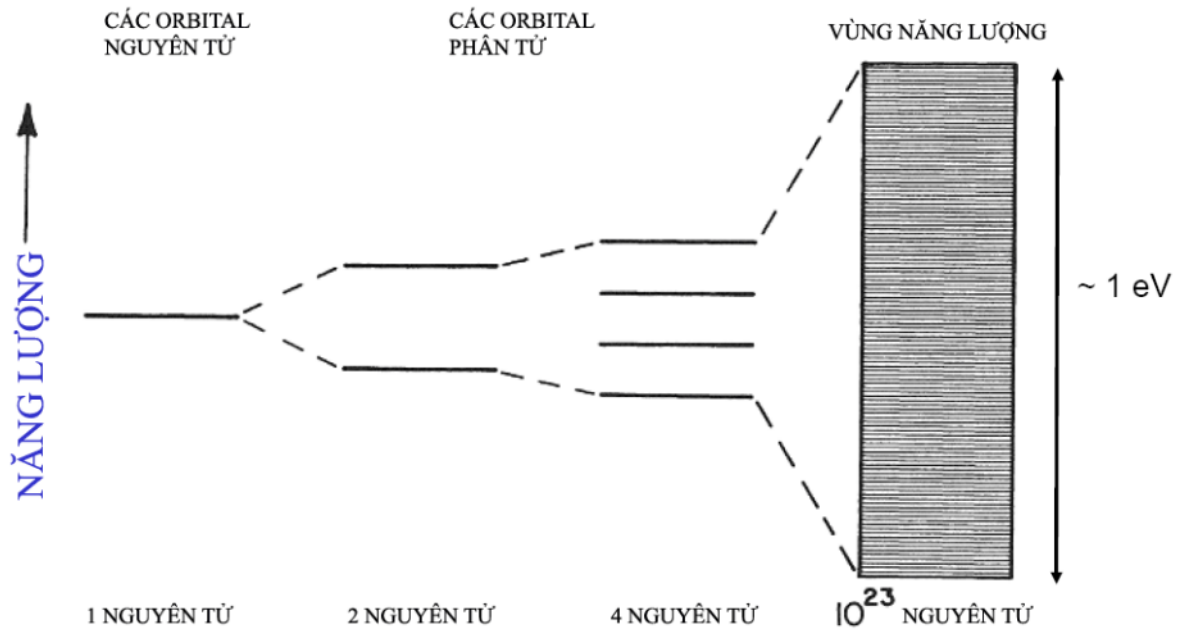
Khoảng cách cân bằng là sau tương tác

Chú ý: energy (năng lượng), distance

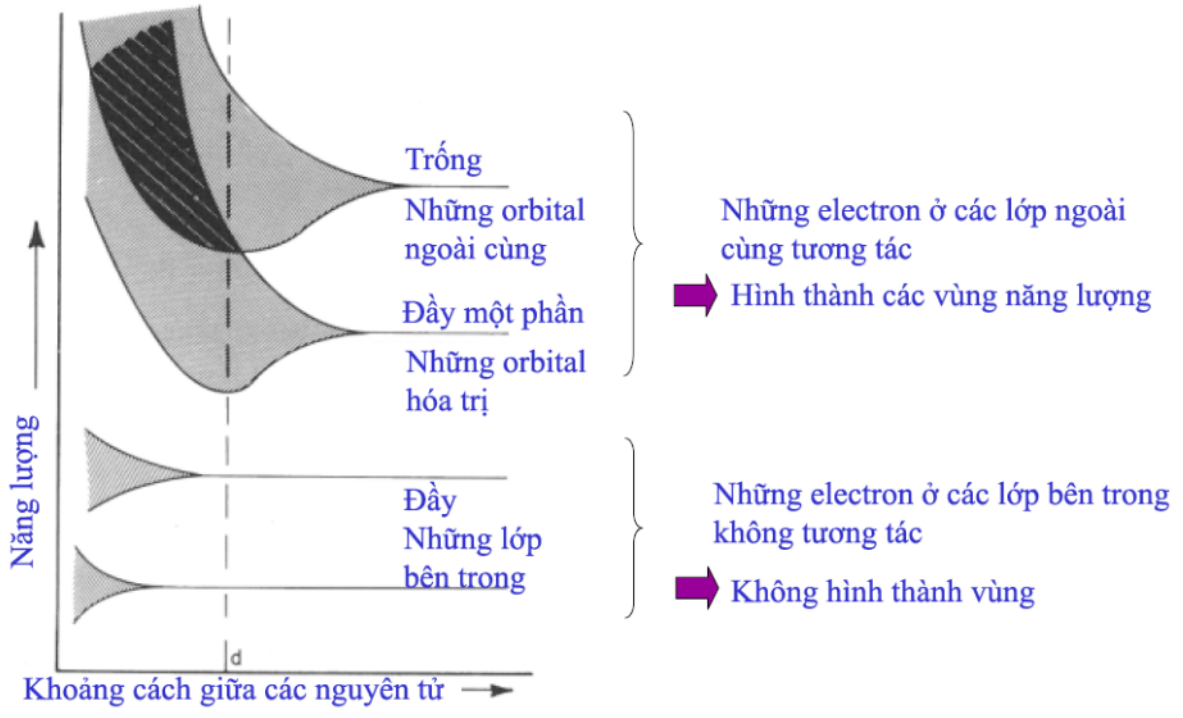
(khoảng cách) bonding (liên kết), antibonding

(phản liên kết)

Phân loại vật chất



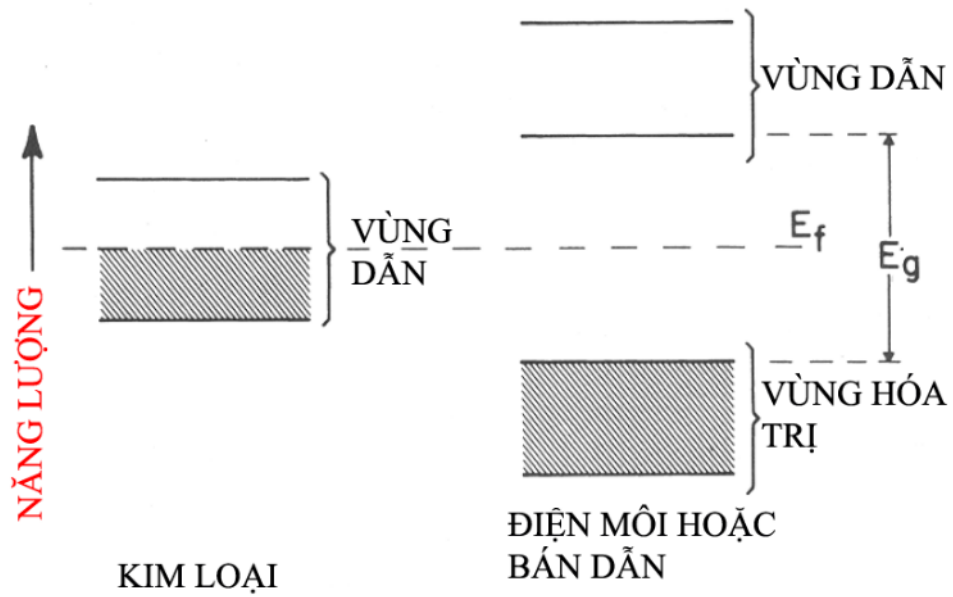
- Nguyên lí Pauli: Chỉ hai electron có cùng trạng thái điện tử (một là spin $1/2$ và một là spin $-1/2$)



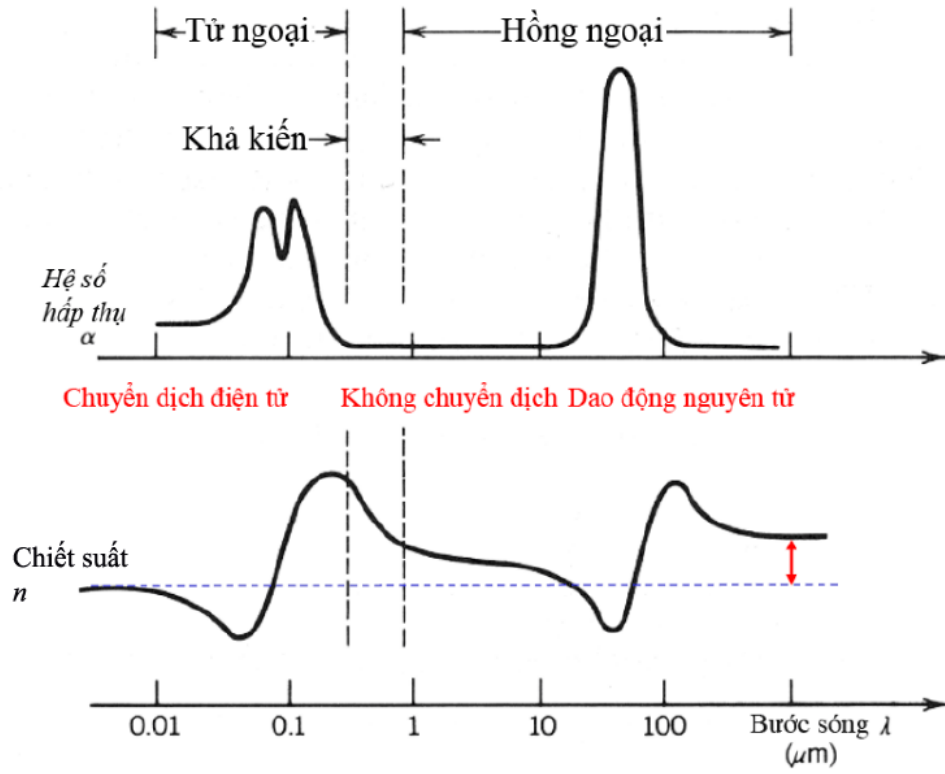
Phân loại vật chất

Điện môi, bán dẫn, và kim loại

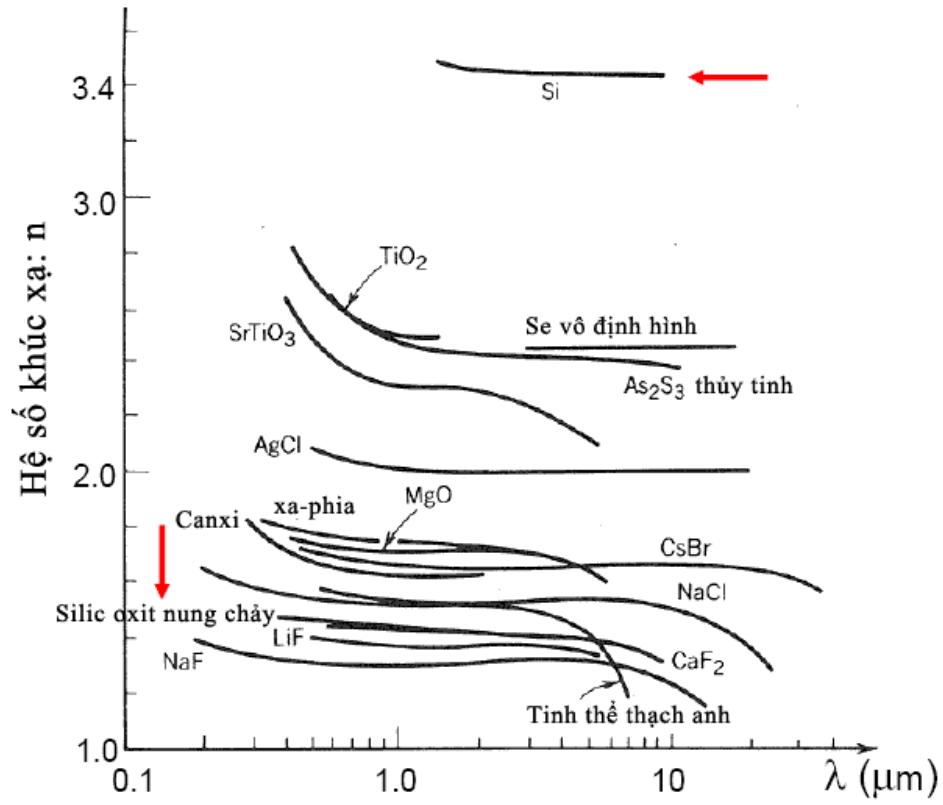
- Phân loại dựa trên cấu trúc vùng



Tán xạ và hấp thụ trong điện môi



Hệ số khúc xạ đặc biệt của các vật liệu quang học



Tâm màu



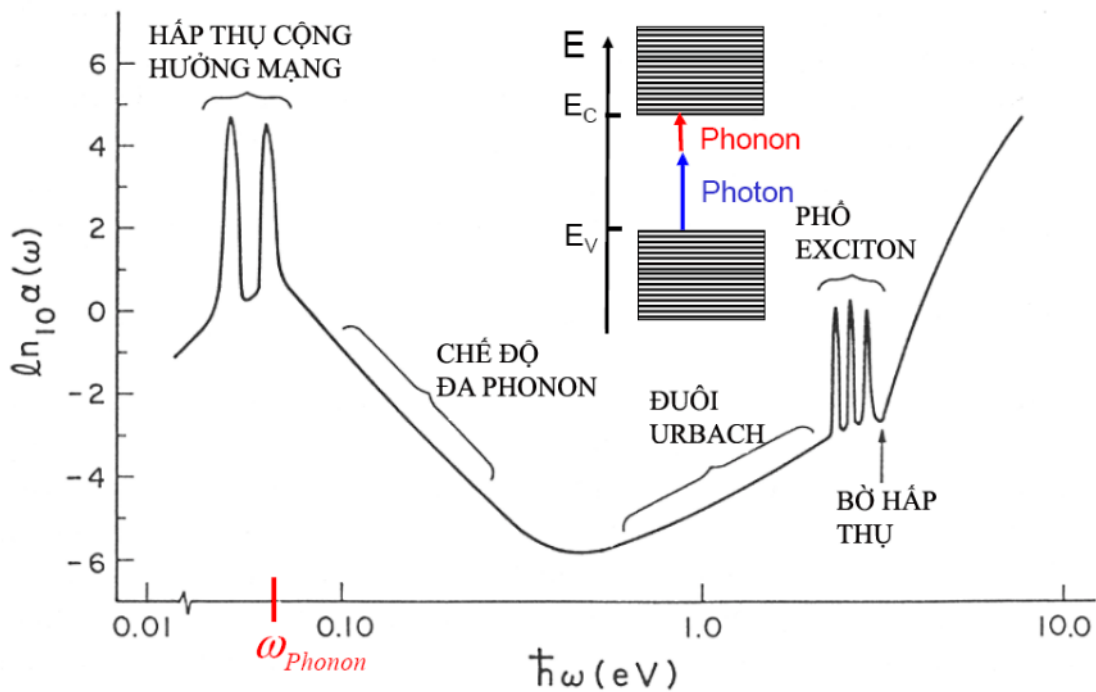
Tâm môi có E_{CAF} nên không thể hiện tính hấp thụ ... hoc?

Bức xạ chùm ion hoặc tia X chiếu vào làm phôi ra những màu ... p

Do sự hình thành những tâm màu (hấp thụ) ... (Xem bài tập về nhà)

Những quá trình hấp thụ trong bán dẫn

Phổ hấp thụ của bán dẫn điển hình

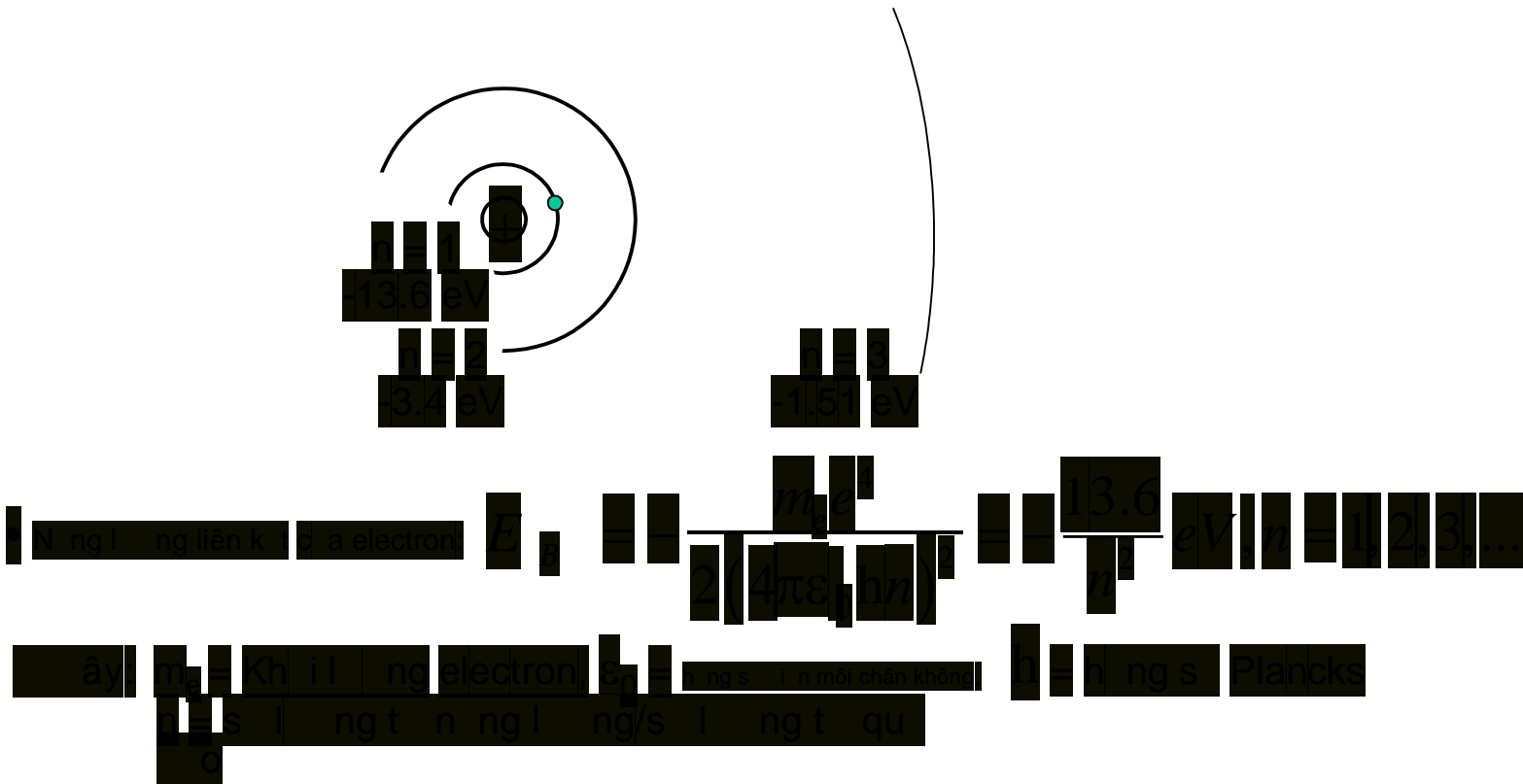


Các Exciton Liên kết electron và lỗ trống bằng lực Coulomb

Tính lượng tử nguyên tử hydro

Electron quay quanh trục ng trục ng trục v electron quay quanh hạt nhân nguyên tử hydro

1913 Niels Bohr Electron chuyển động trên những quỹ đạo xác định



Đường liên kết của electron

Khối lượng electron m_e trong một chu kỳ $\hbar = h/2\pi$ Planck's

đường liên kết của electron m_e trong một chu kỳ $\hbar = h/2\pi$ Planck's

đường liên kết của electron m_e trong một chu kỳ $\hbar = h/2\pi$ Planck's

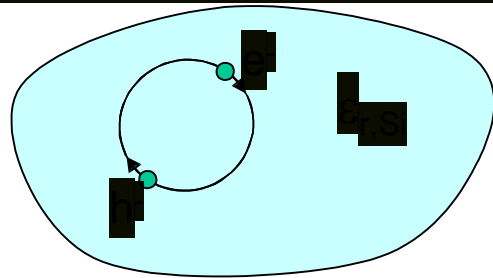
Năng lượng liên kết của electron vi mô

Electron quay quanh hạt nhân

Quỹ đạo electron cổ điển là bán kính quỹ đạo hóa học nguyên tử Hydro

Dùng khối lượng hiệu dụng rút gọn thay cho $m_e \rightarrow m_e^* = m_e + m_p$

Chính xác cho hình ảnh của một nguyên tử của Si (hình)



→ Năng lượng liên kết electron $E_n = \frac{m_e^* v^2}{2} = 3.6eV$ $n = 1, 2, 3, \dots$

Giá trị n hình ảnh bán kính $E_n = 10meV \sim 100meV$

Chú ý Bán kính Bohr Exciton $\sim 5nm$ gấp nhiều lần hình ảnh của

Tính chất quang học của kim loại (xác định)

Dòng điện được cảm ứng bởi trường điện biến đổi theo thời gian

- Xét trường biến đổi theo thời gian: $\mathbf{E}(t) = \text{Re}\{\mathbf{E}(\omega) \exp(-i\omega t)\}$
- Phương trình chuyển động của electron trong kim loại: $m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -m \frac{\mathbf{v}}{\tau} - e\mathbf{E}$ } thời gian hồi phục $\sim 10^{-14}$ s } ➔
- Tìm nghiệm ở trạng thái dừng: $\mathbf{v}(t) = \text{Re}\{\mathbf{v}(\omega) \exp(-i\omega t)\}$
- Thế \mathbf{v} vào trong phương trình chuyển động: $-i\omega m \mathbf{v}(\omega) = -\frac{m\mathbf{v}(\omega)}{\tau} - e\mathbf{E}(\omega)$
- Suy ra: $\mathbf{v}(\omega) = \frac{-e}{m(1/\tau - i\omega)} \mathbf{E}(\omega)$ } ➔
- Mật độ dòng điện theo định nghĩa là: $\mathbf{J}(\omega) = -nev$ mật độ electron
- Vì thế: $\mathbf{J}(\omega) = \frac{(ne^2/m)}{(1/\tau - i\omega)} \mathbf{E}(\omega)$

Tính chất quang học của kim loại

Xác định điện dẫn suất

• Từ trang trước: $\mathbf{J}(\omega) = \frac{(ne^2/m)}{(1/\tau - i\omega)} \mathbf{E}(\omega)$

• Định nghĩa điện dẫn suất: $\mathbf{J}(\omega) = \sigma(\omega) \mathbf{E}(\omega)$

$$\sigma(\omega) = \frac{(ne^2/m)}{(1/\tau - i\omega)} = \frac{\sigma_0}{(1 - i\omega\tau)}$$

ở đây $\sigma_0 = \frac{ne^2\tau}{m}$

Cả electron liên kết và electron dẫn đều đóng góp vào ϵ

• Từ phương trình xoáy: $\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} = \frac{\partial \epsilon_B \mathbf{E}(t)}{\partial t} + \mathbf{J}$

• Đối với trường biến đổi theo thời gian: $\mathbf{E}(t) = \text{Re}\{\mathbf{E}(\omega) \exp(-i\omega t)\}$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \epsilon_B \mathbf{E}(t)}{\partial t} + \mathbf{J} = -i\omega \epsilon_B(\omega) \mathbf{E}(\omega) + \sigma(\omega) \mathbf{E}(\omega) = -i\omega \epsilon_0 \left(\epsilon_B(\omega) - \frac{\sigma(\omega)}{i\epsilon_0 \omega} \right) \mathbf{E}(\omega)$$

$\epsilon_{EFF}(\omega)$

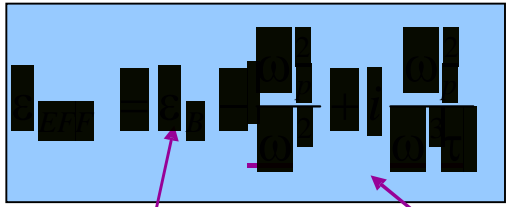
Dòng được cảm ứng do trường xoay chiều được mô hình hóa bởi ϵ_{EFF}

• Đối với trường biến đổi theo thời gian: $\epsilon_{EFF} = \epsilon_B - \frac{\sigma}{i\epsilon_0 \omega} = \epsilon_B + i \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega}$

↑
Các electron liên kết
↓
Các electron dẫn

Tính chất quang học của kim loại

Hình sóng điện từ mô tả như sau

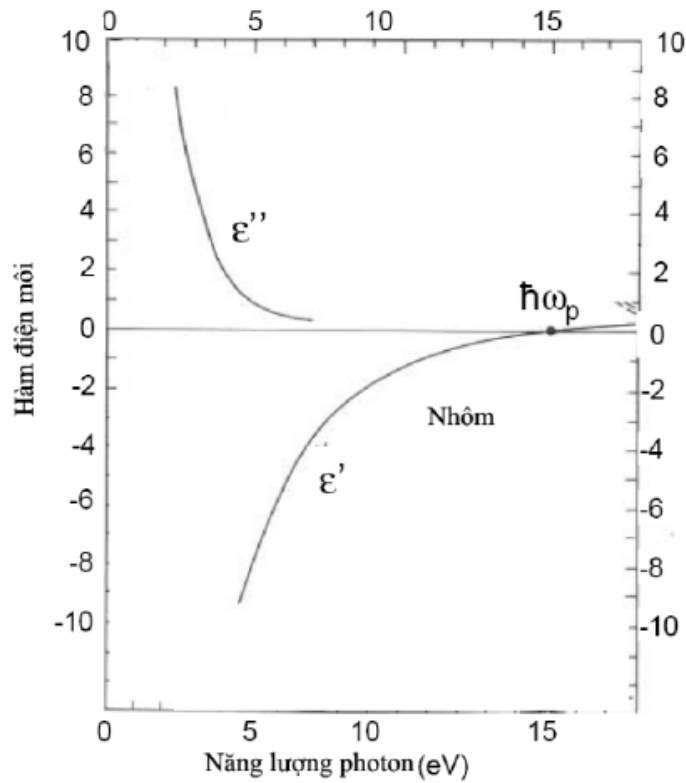


Các electron liên kết

Các electron tự do

Những hiệu ứng này có ý nghĩa như thế nào về kim loại thực tế

Tính chất của nhôm (trường hợp đơn giản)



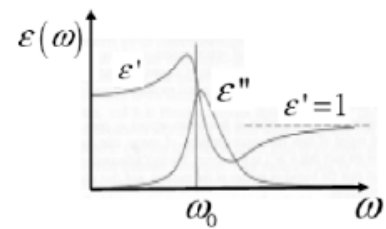
$$\epsilon_{EFF} = \epsilon_B - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} + i \frac{\omega_p^2}{\omega^3 \tau}$$

- Chỉ các electron dẫn
đóng góp vào: ϵ_{EFF}

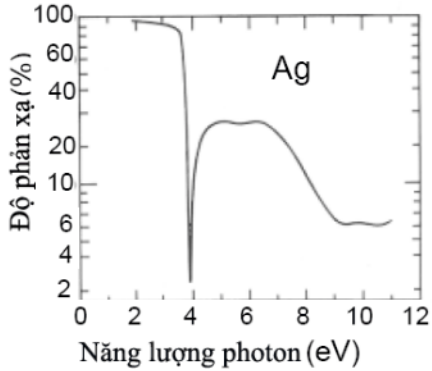
$$\Rightarrow \epsilon_B \approx 1$$

$$\epsilon_{EFF, Al} \approx 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} + i \frac{\omega_p^2}{\omega^3 \tau}$$

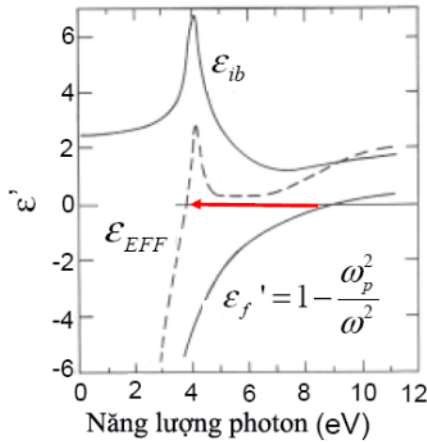
- Phù hợp với:



Ag: Các hiệu ứng chuyển dịch liên vùng



- Ag biểu hiện tính chất phản xạ lí thú
- Cả electron dẫn và electron liên kết đóng góp vào ϵ_{EFF}



- Tính chất này là do sự chuyển dịch liên vùng

Kích thích các electron liên kết

Liên vùng

- Đối với Ag: $\epsilon_B = \epsilon_{ib} \neq 0$



$$\epsilon_{EFF} = \epsilon_{ib} - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} + i \frac{\omega_p^2}{\omega^3 \tau}$$

Ti p theo

Ảnh sáng t ng tác v i nh ng v t th nh d d

Tán x ánh sáng do dao ng t l ng c c i u hòa

H t nanc

i n môi...Tán x Rayleigh (b u tr i xanh)

Bán d n...H p th c ng h ng t E_{GA} thu nh quang ph thu c kích th t

Kim lo i...H p th c ng h ng t i n s plasma b m không phát x ánh sáng

H t micro

Nh ng h t v i các chi u vào c

Tán x có khuynh h ng c i ng c ng

không ph thu c (mây tr ng)

Nh ng hình c u micro v i ng kính l n h n r t nhi u so v

Hình dung v i các tia m t cách tr c giác

C u vòng đo tán s c

ng đ ng b c ng h ng lasers v.v.

Tương tác của ánh sáng với nhúng cấu trúc nh

Phân

Tán xạ ánh sáng do dao động điện từ của nhúng cấu trúc nh

Các hiện tượng

Hiện tượng... Tán xạ Rayleigh (bước sóng ngắn)

Bán dẫn... Hệ thống nhúng cấu trúc nh... E_{gap}... thu nhận quang phổ thu hẹp kích thước...

Kim loại... Hệ thống nhúng cấu trúc nh... plasma bề mặt... không phát xạ ánh sáng

Hệ thống micro

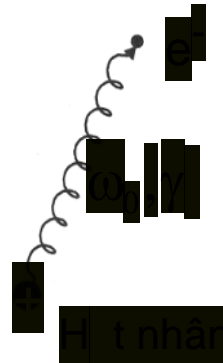
Nhiệm vụ của các chi tiết vào kho nhúng cấu trúc nh

- Tán xạ và phát xạ của nhúng cấu trúc nh
- Có thể xem chùm sáng bao gồm các tia
- Cấu trúc đo tán xạ của H₂O
- Ứng dụng trong công nghệ nhúng cấu trúc nh... lasers, v.v....

Tác động của ánh sáng vi mô và tính chất

Hiện tượng làm các electron chuyển mức năng lượng

Xét mô hình Lorentz

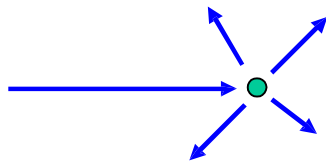


$$m \ddot{x} = -kx - qE_0 \cos(\omega t)$$

phần cơ nguyên tử

Nhiệm vụ tính dao động số bức xạ

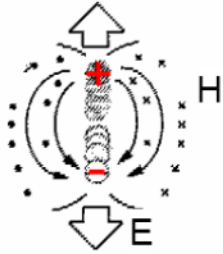
Bức xạ này là sóng ánh sáng bức xạ



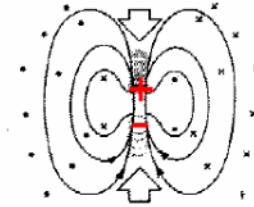
Quá trình này diễn ra như thế nào?

Điện tích dao động phát ra sóng điện từ

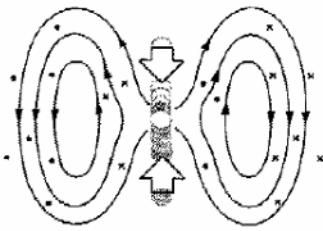
Trường điện và từ phát ra từ sự dao động điện tích



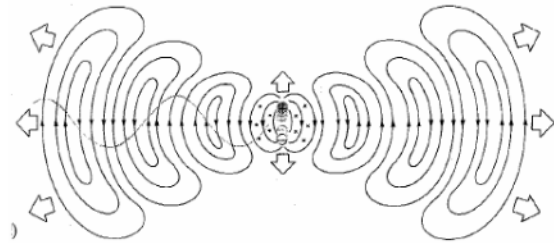
Đường sức điện trường bắt đầu tại các điện tích dương và kết thúc tại các điện tích âm



Đường sức từ là các đường khép kín



Sự bắt đầu của một sóng điện từ



Sau vài chu kì
Bức xạ \perp hướng dao động

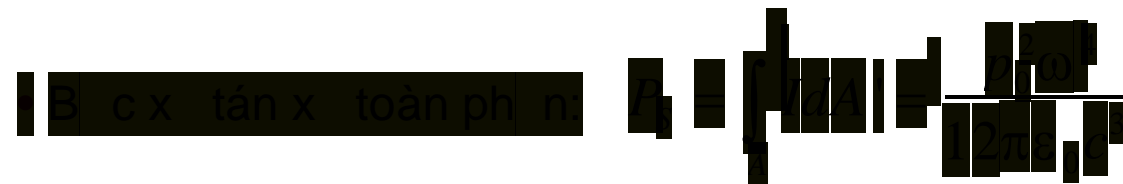
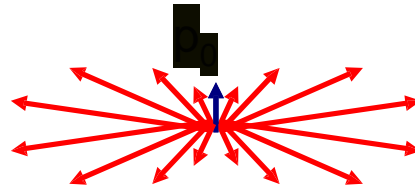
Điện tích dao động phát ra sóng điện từ

Bức xạ phát ra phụ thuộc vào góc



Đặc tính của Anten lưỡng cực ngắn
- Anten lưỡng cực ngắn có tính đối xứng
- Anten lưỡng cực ngắn có tính đẳng hướng

Đường bức xạ



Mặt kín bao quanh I = tổng số

Bức xạ phát ra từ dao động tử Lorentz

Cường độ tán xạ từ dao động tử Lorentz

- Cường độ tán xạ do lưỡng cực: $I = \frac{p^2 \omega^4}{32 \pi^2 \epsilon_0 c^3 r^2} \sin^2 \theta$
- Mô hình Lorentz: $\mathbf{p} = \frac{e^2}{m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega} \mathbf{E}_L$

- Mô hình Lorentz:
$$I_S = \frac{e^4 \omega^4}{32 \pi^2 m^2 \epsilon_0 c^3 r^2} \left(\frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega} \right)^2 E_L^2 \sin^2 \theta$$

Kết luận

- Tán xạ mạnh nhất gần cộng hưởng
- Tán xạ mạnh nhất khi ω cao hơn hoặc λ ngắn hơn
- Tán xạ xuất hiện ở cả những hướng trước và sau

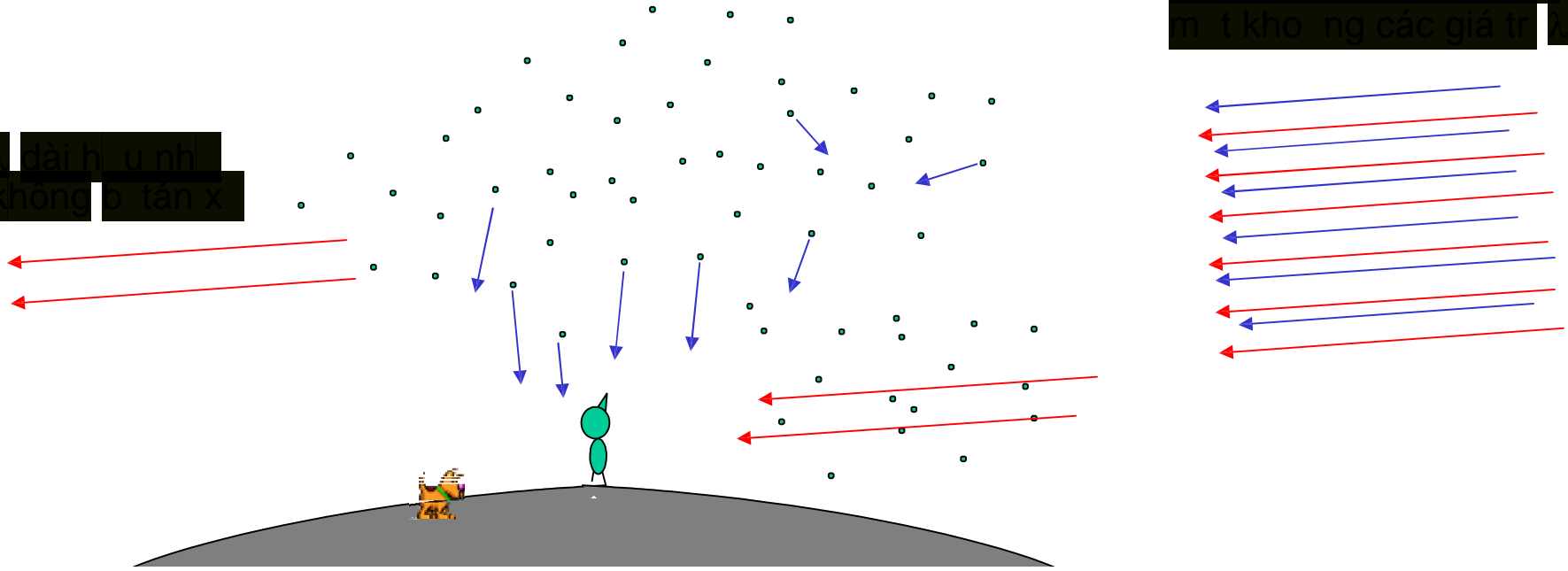
cường độ đi vào

Bụi trời xanh

Tán xạ không có nghĩa là nhiễu xạ

Ánh sáng mặt trời chỉ là một tập hợp các giá trị

Ánh sáng mặt trời không phải là nhiễu xạ



Trong phân tử khí quyển phân tử O_2 và N_2 có $n_2 > n_1$

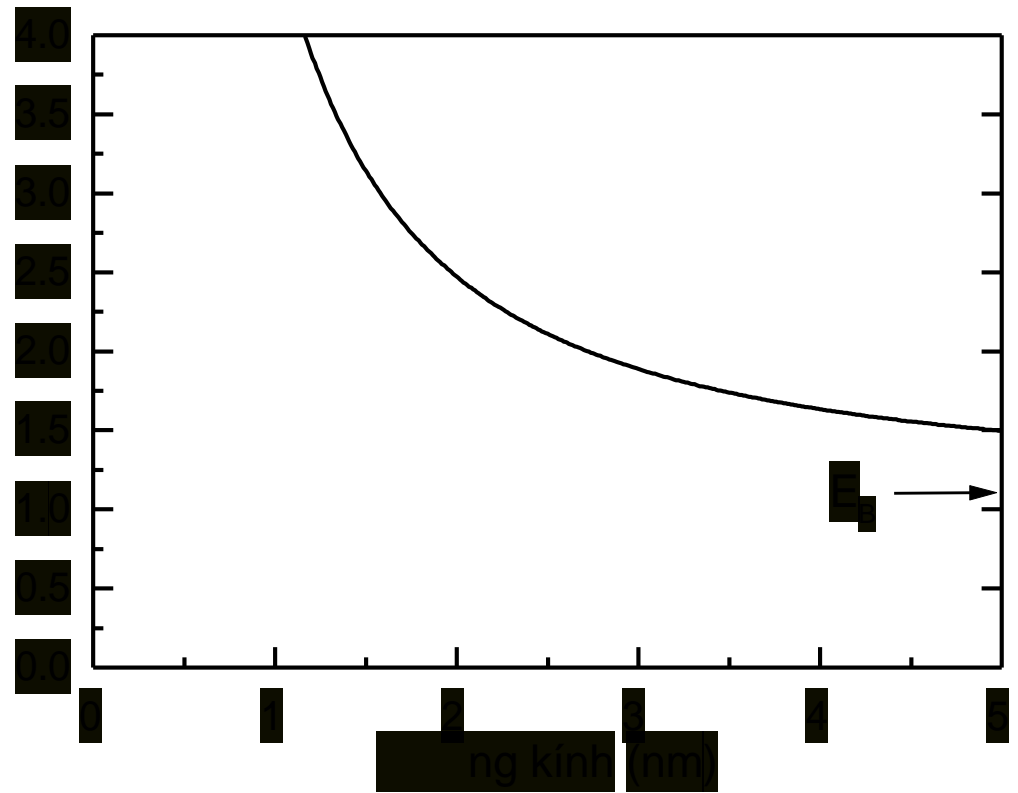
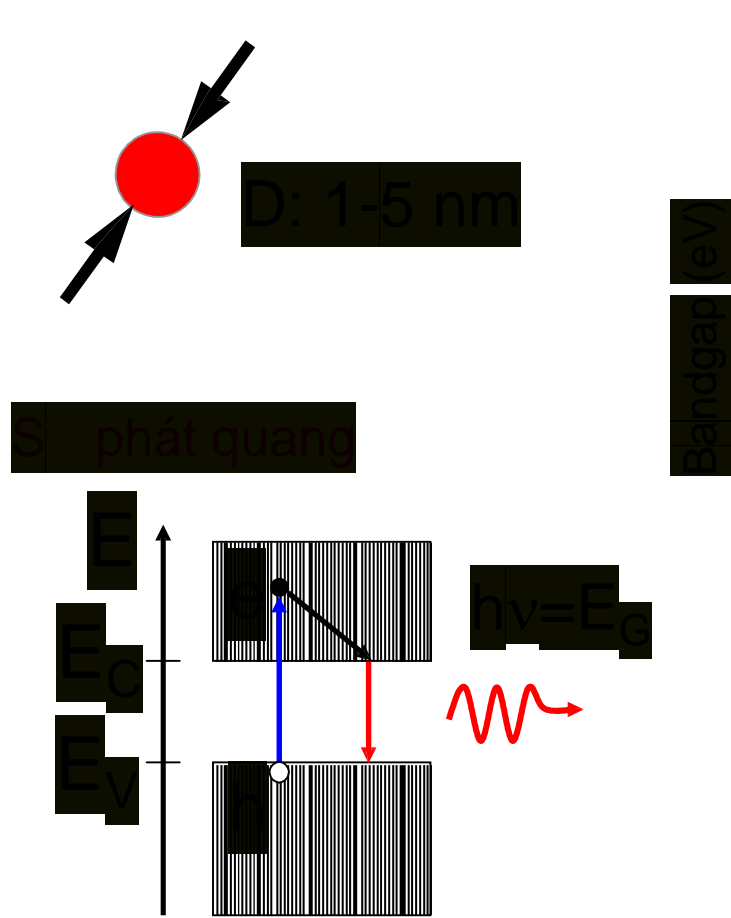
$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1} \right) \approx \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1} \right)$$

Ánh sáng nhìn thấy \Rightarrow Tán xạ tổng cộng 24% ánh sáng nhìn thấy

• Tán xạ cho các hạt nano trong môi trường

Hạt nano bán dẫn

Ví dụ: hình thoi nano Si (bandgap nhỏ) là ringer nger lger vùng c m

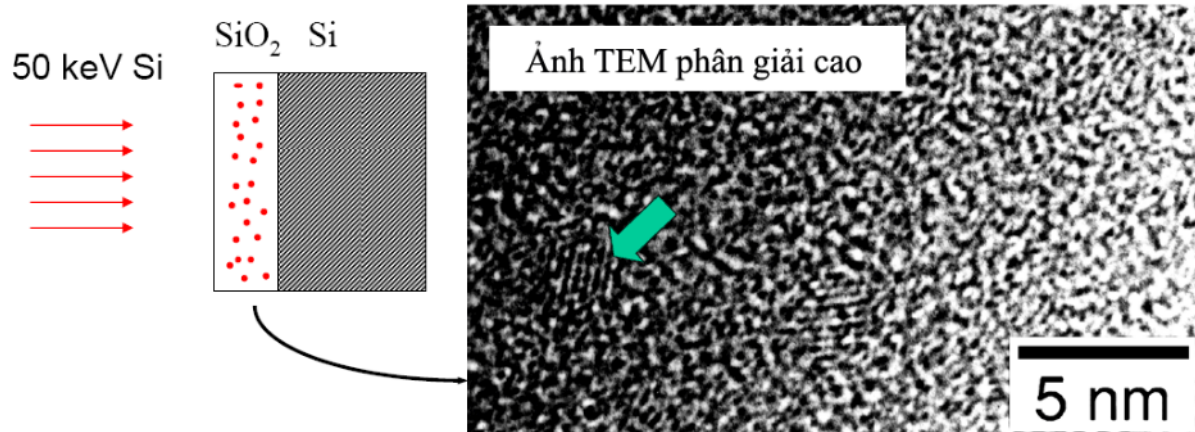


C. Delerue et al. Phys. Rev. B 48, 11024 (1993)

Chế tạo tinh thể nano Si bằng phương pháp tổng hợp chùm Ion

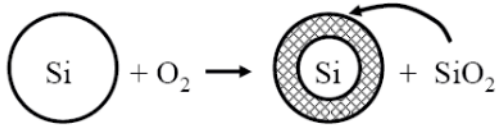
Tổng hợp tinh thể nano

- Cấy 5×10^{16} Si @ 50 keV \rightarrow 100 nm SiO_2
- Luyện nhiệt $1100^\circ\text{C}/10$ phút trong chân không
- Rửa bằng khí hidro để
 - 1) làm sạch những sai hỏng phát sáng
 - 2) Tăng phần tinh thể nano nhạy cảm quang

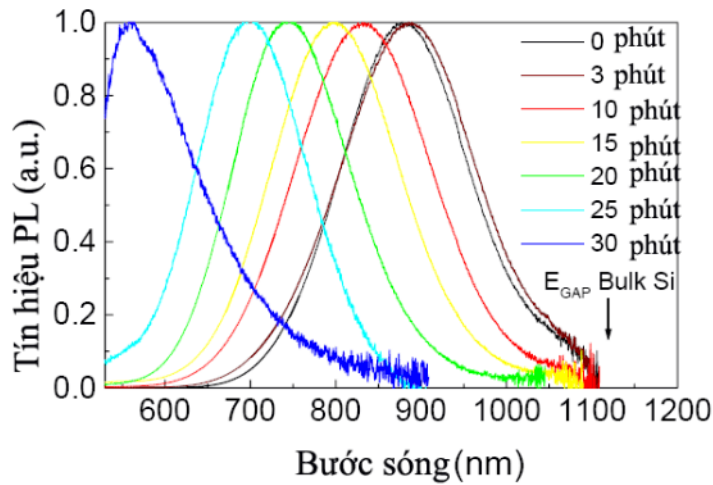


Điều chỉnh bước sóng phát ra $\lambda_{\text{Emission}}$ của tinh thể nano Si bằng quá trình oxy hóa

- Quá trình oxy hóa của tinh thể nano Si ở $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$



- Có thể điều chỉnh bước sóng đỉnh lớn hơn 300 nm



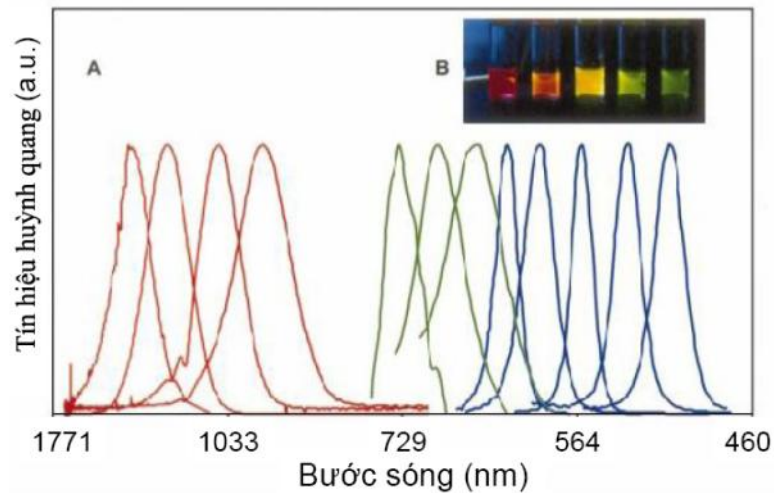
Các thông số thực nghiệm

$$P = 10 \text{ mW/mm}^2$$

$$\lambda_{\text{EXC}} = 458 \text{ nm}$$

$$T = 293 \text{ K}$$

Tính chất quang học phụ thuộc vào vật liệu và kích thước



- Vùng đỏ: Tinh thể nano InAs đường kính 2.8, 3.6, 4.6, và 6.0 nm
- Vùng xanh lá cây: Tinh thể nano InP đường kính 3.0, 3.5, và 4.6 nm.
- Vùng xanh da trời: Tinh thể nano đường kính CdSe 2.1, 2.4, 3.1, 3.6, và 4.6 nm

M.Bruchez và các cộng sự. (Nhóm Alivisatos), Science, 2013, 281 (2014)

Dán nhãn vật lý u sinh học bằng tinh thể nano bán dẫn



nh qua kính hiển vi ứng tế bào nguyên bào sợi a chu

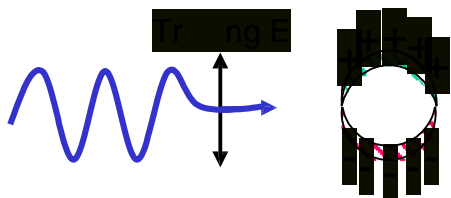
Dán nhãn bằng hạt nano bán dẫn

Exciton bằng sóng 363-nm, quan sát được trong vùng khả kiến

Kích thích hạt nano kim loại

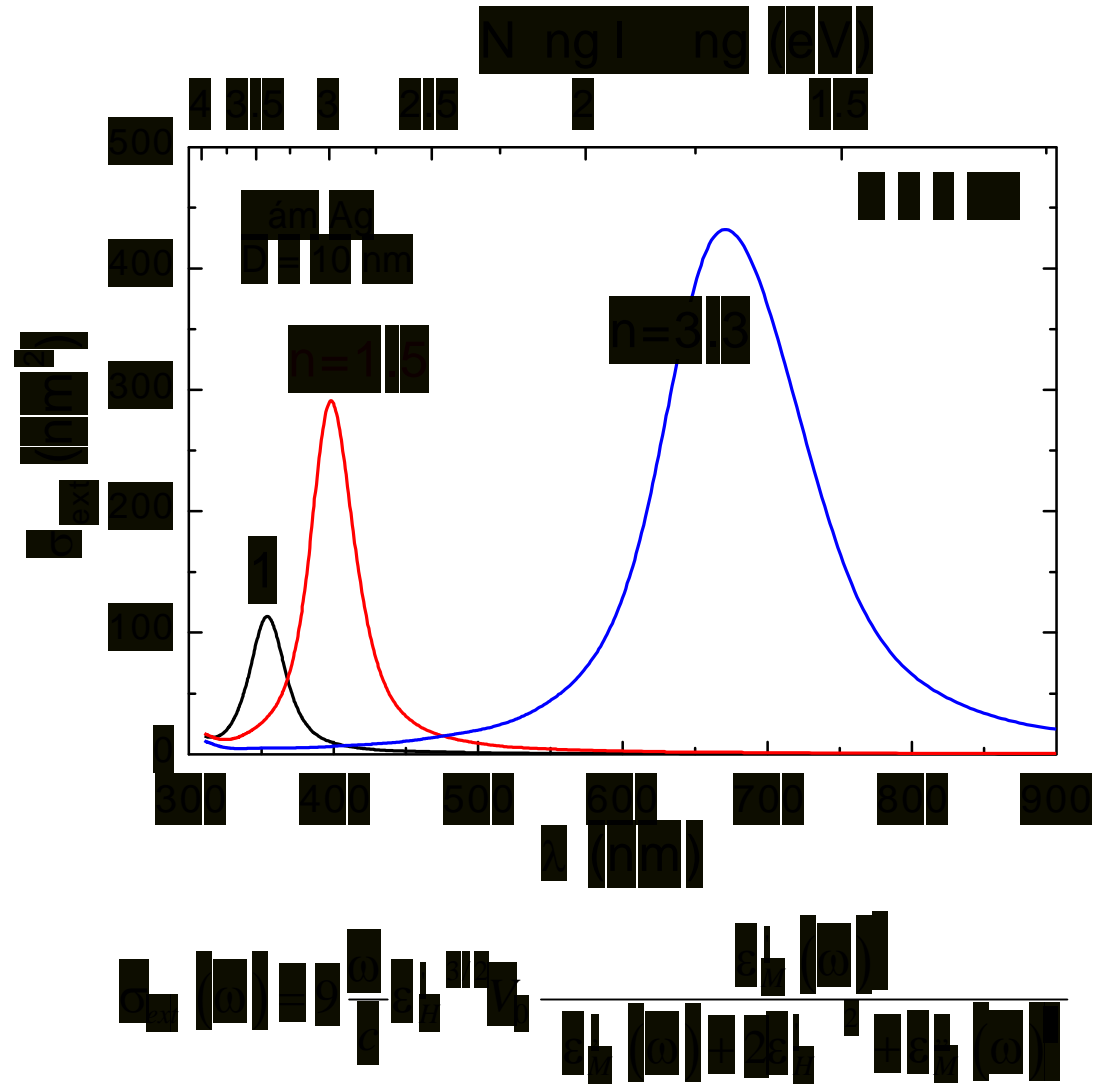
Thế tích = V_0

$$H_N = \sum_{\mathbf{k}} \sum_{\mathbf{k}'} \epsilon_{\mathbf{k}, \mathbf{k}'} E_{\mathbf{k}} E_{\mathbf{k}'}$$



Ma trận ch

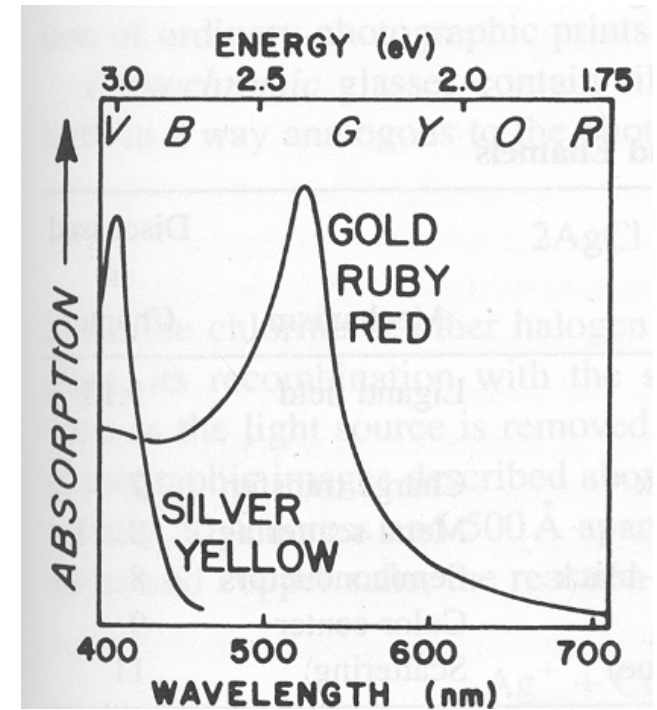
$$H_{\mathbf{k}, \mathbf{k}'} = \epsilon_{\mathbf{k}, \mathbf{k}'} E_{\mathbf{k}} E_{\mathbf{k}'}$$



Bài tập về nhà



Ứng dụng của hạt nano kim loại



Bình thủy tinh có chứa các hạt nano vàng

Hạt nano Ag có thể nhuộm màu vàng

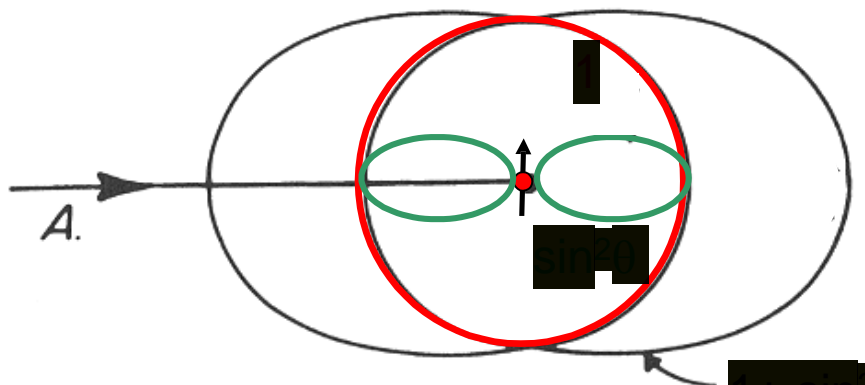
Hạt nano Au có thể nhuộm màu

Thủy tinh nóng chảy hòa tan 0.1% Au

Làm lõi nhúng các hạt nano kim loại và hình thành hạt nano

Tán xạ ánh sáng bởi hạt có kích thước $a \approx \lambda$

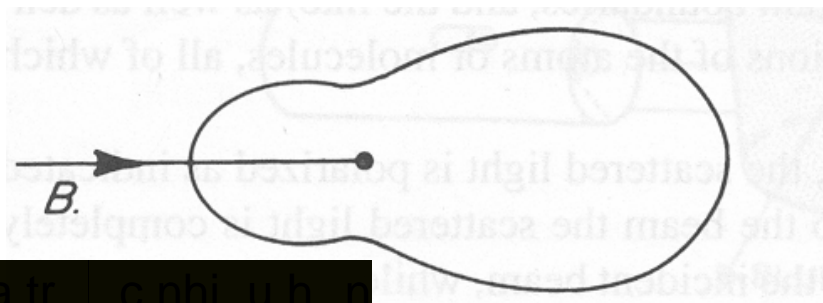
Tán xạ tỉ lệ với λ^{-1} (ngược chiều kích thước) $\propto \lambda^{-1}$



• Cường độ tròn đều ở phần còn ngoài mặt phẳng

• Cường độ cong màu lên bởi hiệu ứng tán xạ của các phân tử có tính ưu tiên

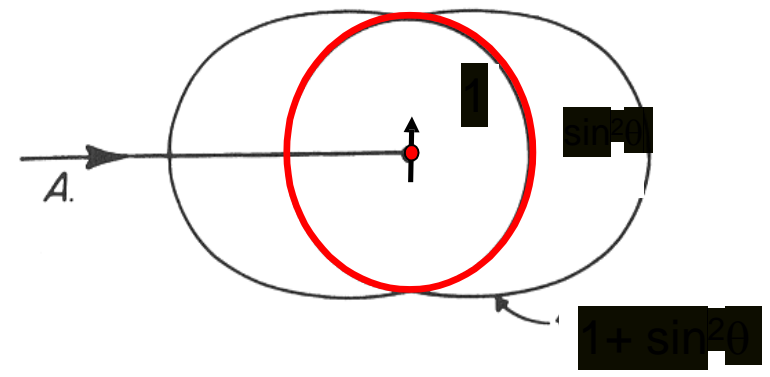
Tán xạ ánh sáng bởi hạt có kích thước $a \ll \lambda$



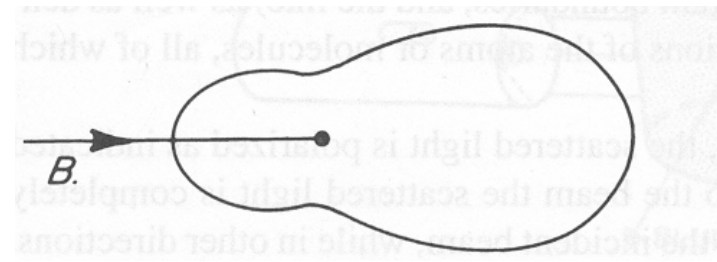
• Tán xạ về phía trước chiếm ưu thế

Tính tác động của ánh sáng violet có bước sóng ngắn

1. Hình ảnh

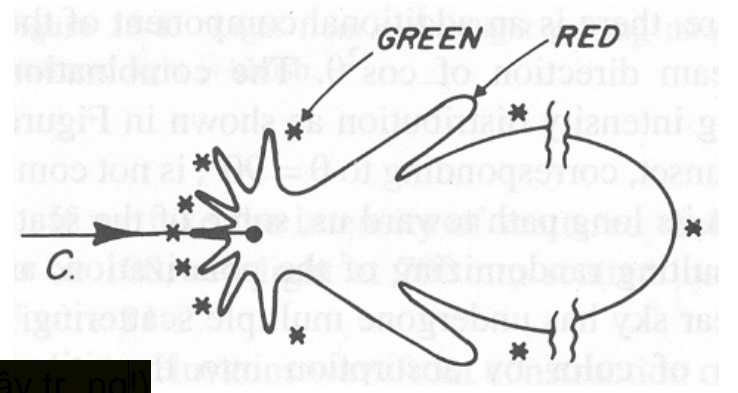


2. Hình ảnh



• Tán xạ violet phía trước hình nón

3. Hình ảnh



• Tán xạ violet phía trước hình nón

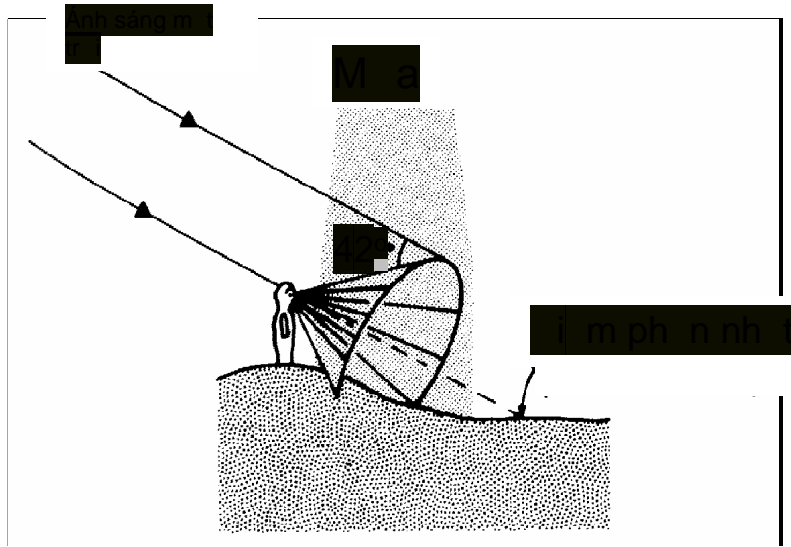
• Cường độ tán xạ của các màu khác nhau là gì? (nhau) (màu trắng)

• Như vậy có thể tán xạ xuất hiện các hình ảnh khác nhau (v) (các màu khác nhau)

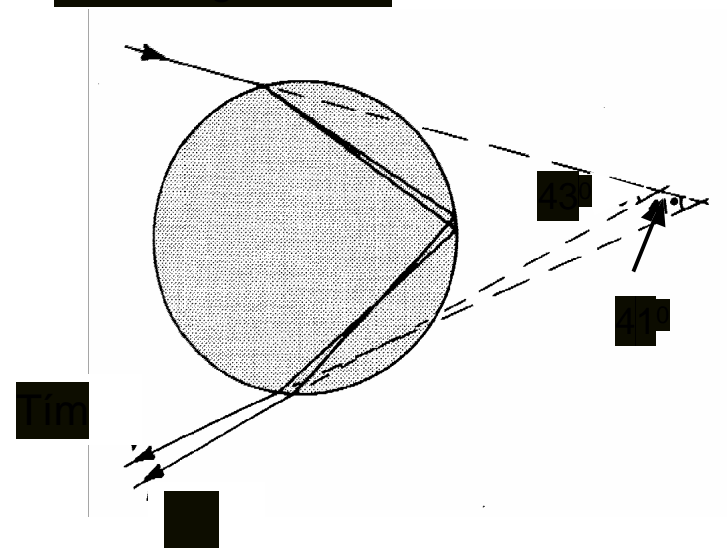
Tính tác của ánh sáng và hình ảnh có độ > > >

Quan niệm ánh sáng là các chùm tia hội nên thích

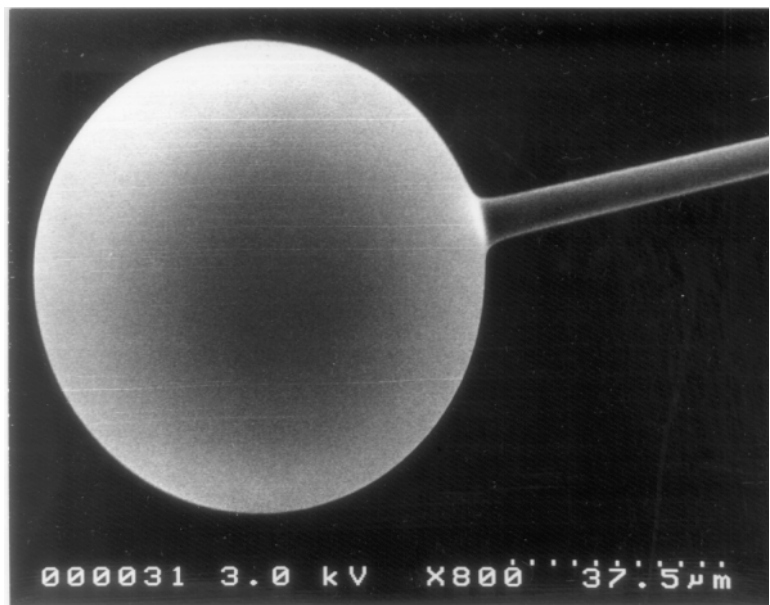
Với thị giác hình ảnh có độ > > >



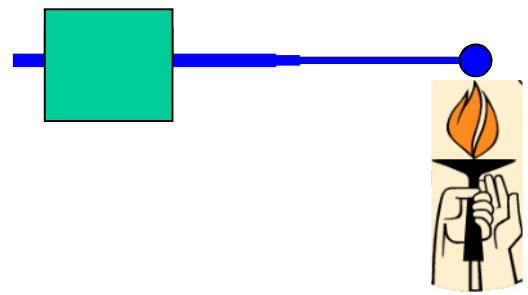
Ảnh sáng m. lư



Quả cầu micro vĩ mô kính hiển vi



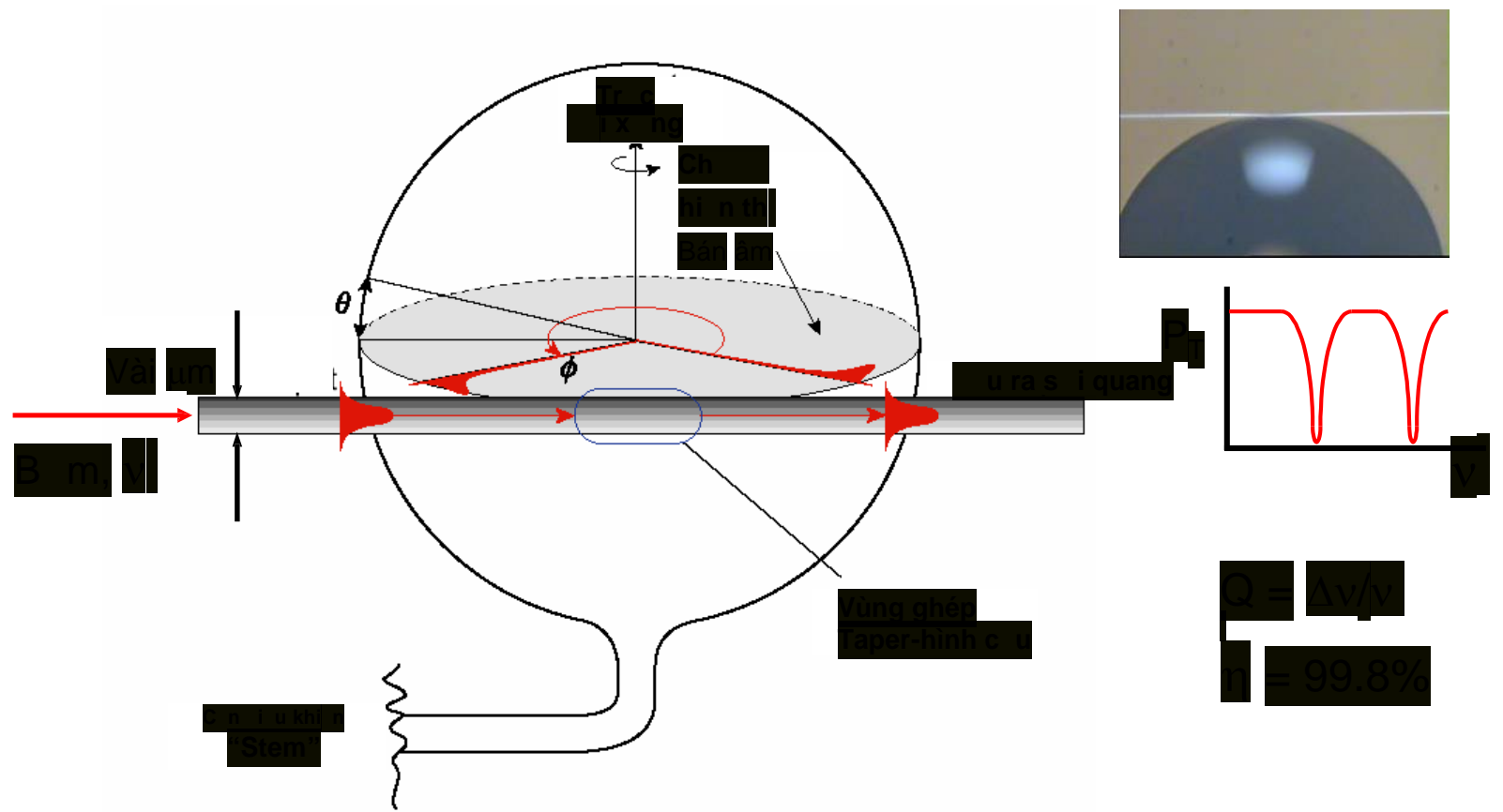
Quả cầu micro SiO₂ kính hiển vi 100 μm



Tổng hợp quả cầu micro

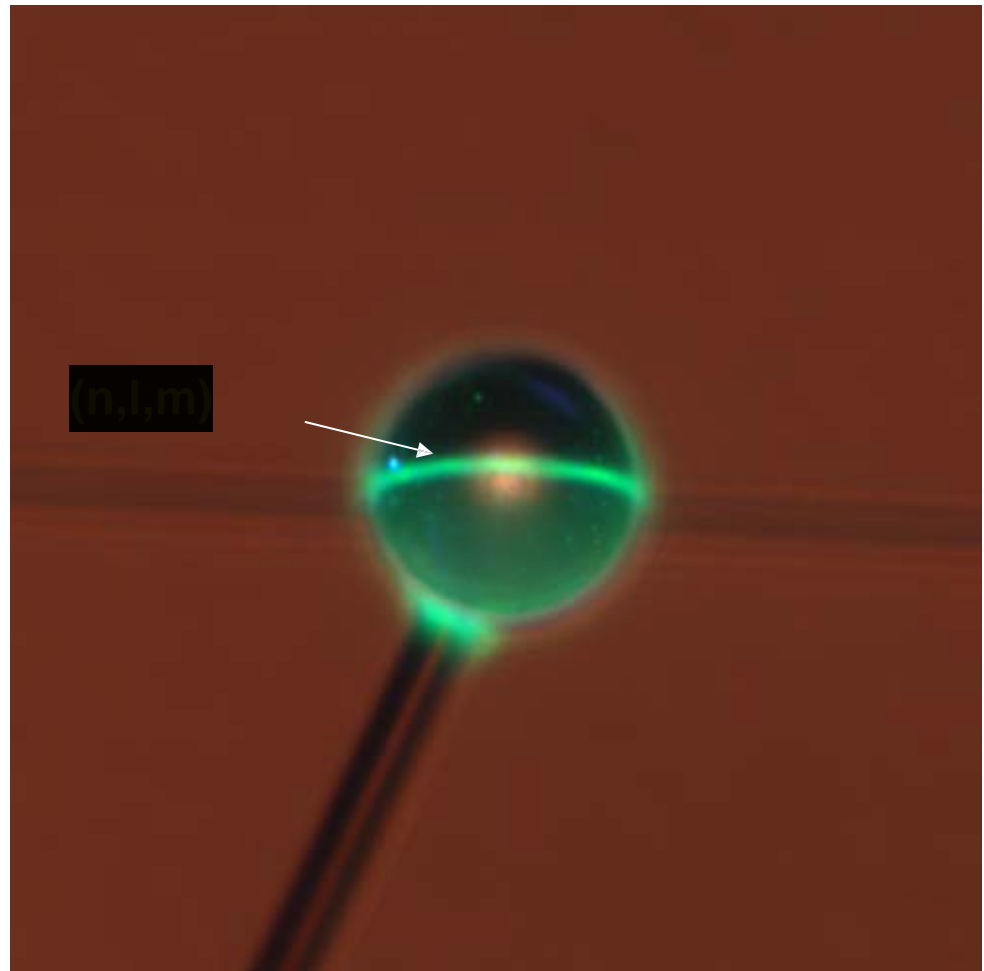
Chiếu ánh sáng vào quai cườ micro SiO₂

Chiếu ánh sáng vào quai cườ n thì vòng lộn âm lượng s i quang cườ n nh



Wing Dal, Oskar Painter, and Kerry Vahala, Phys Rev Lett 85, 24, 2000

Quả cầu micro - c pha nh - ng ion Er



T - ng t - qu - o electron

Hình c - u - c pha Er h - t - ng nh - Lase | (c - n xem xét - m - t mát v -

l - i ph - n h -

Hình cấu trúc micro đóng vai trò như buồng cộng hưởng micro

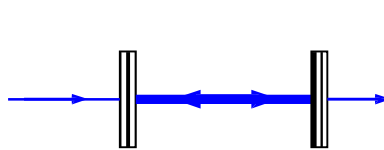
đặc tính

- Xác định bằng hệ số phẩm chất $Q = \frac{\text{Thời gian sống photon}}{\text{Chu kỳ quang học}}$
- Giá trị Q vào cỡ 10^3 - 10^4 được xem là tuyệt vời
- Giá trị Q của buồng cộng hưởng hình cấu trúc micro SiO_2 $< 10^4$
 - Thời gian tồn tại của photon $< 1 \mu\text{s}$
 - Photon chuyển động tròn 10^9 lần khi $D = 100 \mu\text{m}$
- Q sau cùng 10^{10} bằng hiệu ứng bất tính chất riêng của vật liệu
- M.L. Gorodetsky, A.A. Savchenkov, and V.S. Ilchenko, *Opt. Lett.* **21**, 453 (1996)

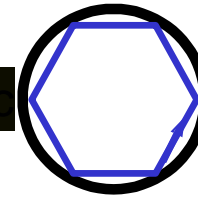
Hình cấu trúc micro: Thiết bị và ứng dụng

Số sánh với các bộ phận công nghệ thông tin

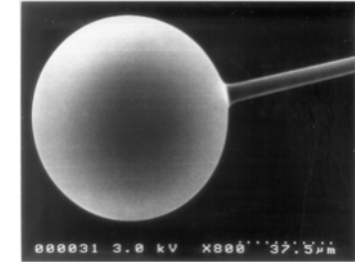
Ví dụ



hỗ trợ



hỗ trợ



Những hình ảnh công nghệ 100x

Thiết bị và ứng dụng

- Micro-laser đồng bộ công nghệ
- Bức xạ quang học công nghệ
- Cảm biến vi mô nhúng
- Thiết bị ghép kênh theo dài sóng cho ngành viễn thông
- Quang học phi tuyến
- Những thí nghiệm liên quan công nghệ

Tóm tắt

Tương tác của ánh sáng với nhúng vật thể nhỏ (đặc biệt)

Tán xạ ánh sáng do dao động điện từ của các hạt nhỏ

Hạt nano

Tiêu tán... Tán xạ Rayleigh (bước sóng ngắn)

Bán dẫn... Hệ thống nhúng hạt nano (GAP) hình quang phổ thu hẹp kích thước

Kim loại... Hệ thống nhúng hạt nano plasmon bề mặt, không phát sáng

Hạt micro

Nhúng hạt vi chi vào các bộ lọc sóng → Tán xạ về phía trước (tần số cao)
→ không phát xạ (mây truyền)

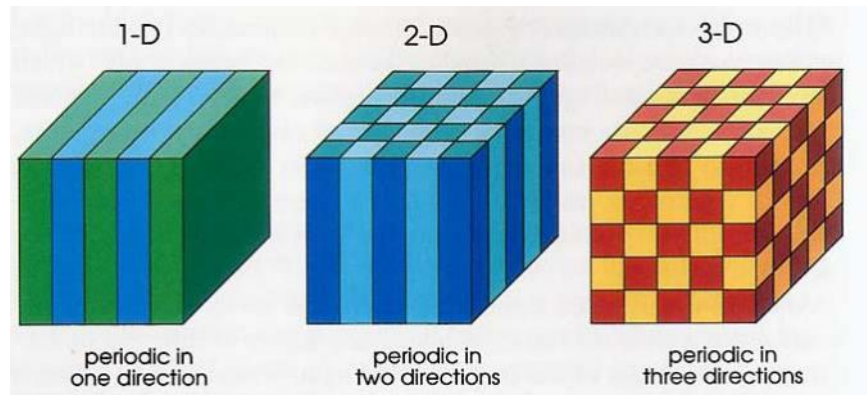
Hình cấu trúc micro với kính lúp hiển vi điện tử siêu phân giải

→ Có thể dùng khái niệm tia sáng

→ Cấu trúc do tán xạ của các hạt

→ Ứng dụng: bộ nhúng nhúng nhúng lasers
v.v...

Tính chất Photonic: Giới thiệu



Tính chất Photonic:

Số sóng k phụ thuộc vào các vật thể có tính phân cực (hoặc độ phân cực) của chúng.
Hằng số n mô tả các sóng ánh sáng trong vật liệu.

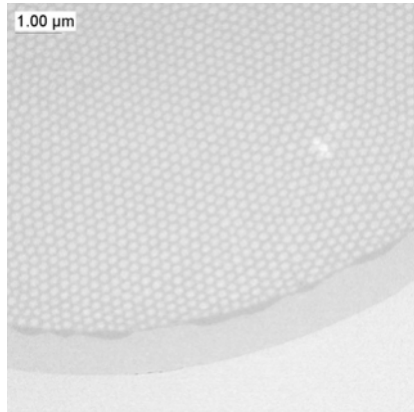
'A worm ahead of its time'

Sâu Sea Mouse

và lông của nó



20cm



Ảnh sáng / bình thường



Ảnh sáng / không bình thường

<http://www.physics.usyd.edu.au/~nicolae/seamouse.htm>

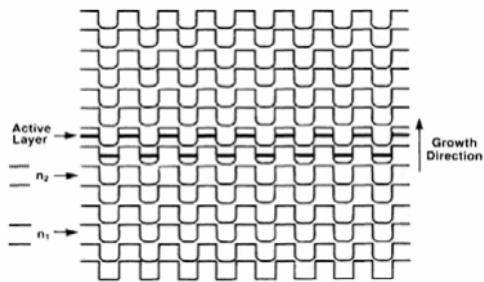
Tiến trình nghiên cứu năm 1987.....



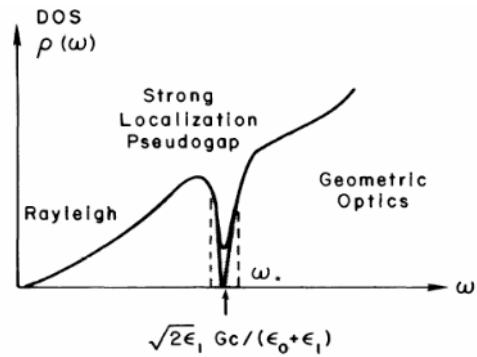
E. Yablonovitch
 Phát hiện cấu trúc băng thông và vùng cấm tần số trong các cấu trúc tinh thể quang tử
Physical Review Letters, vol. 58, pp. 2059, 1987



S. John
 Sự cục bộ hóa photon mạnh mẽ trong nhúng siêu mạng tinh thể quang tử
Physical Review Letters, vol. 58, pp. 2486, 1987

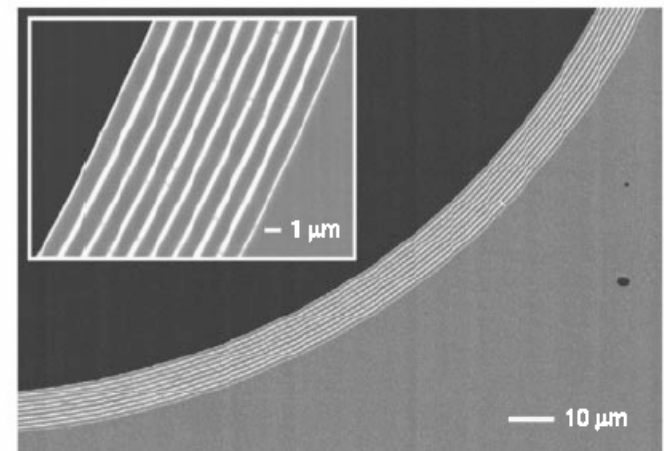
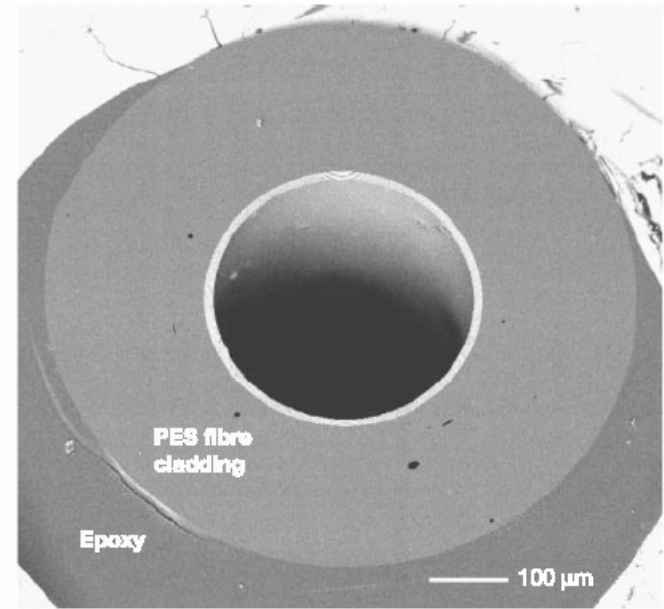
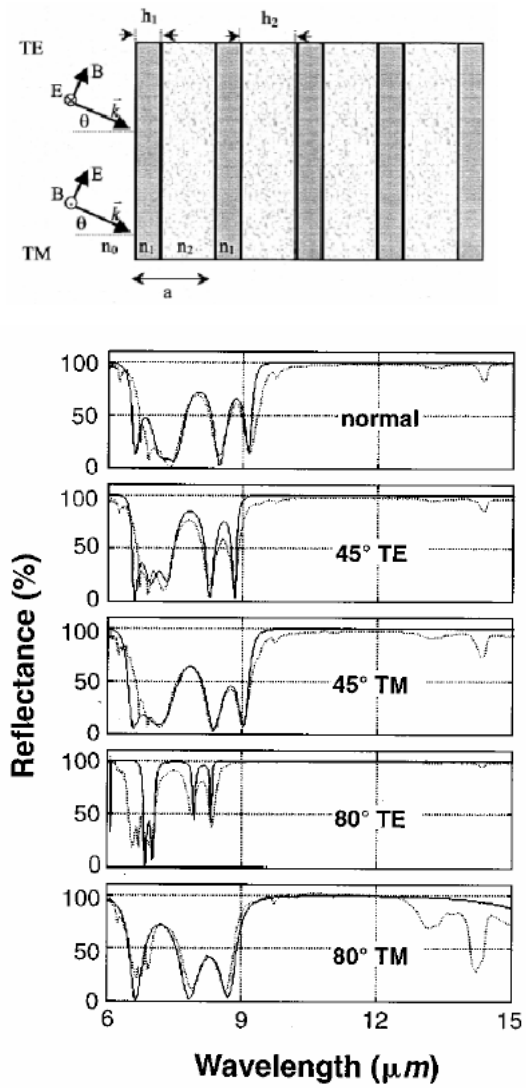


Mạng lập phương tâm mặt

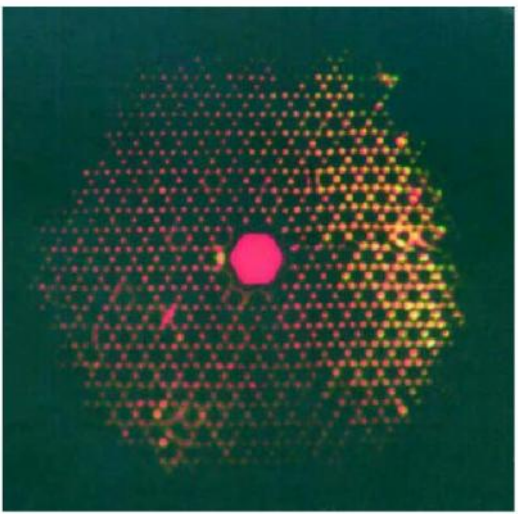
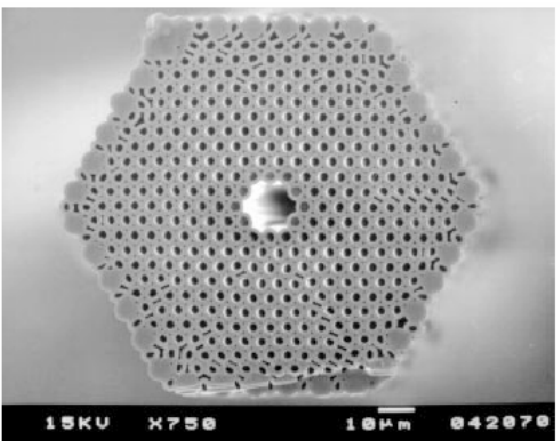
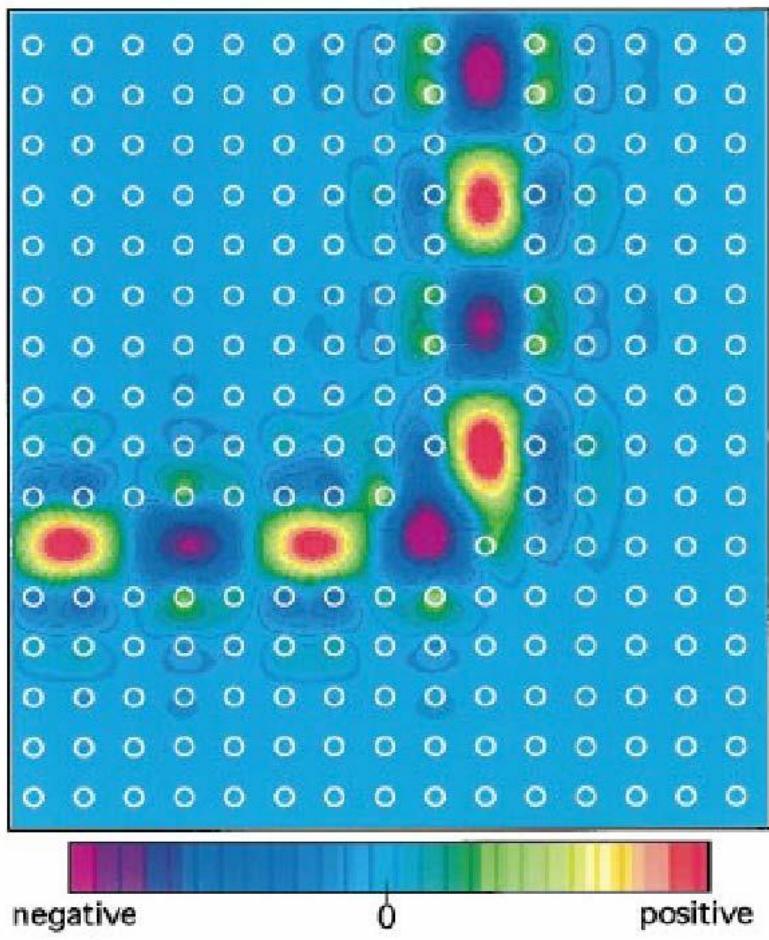


Vùng cấm photonic hoàn chỉnh

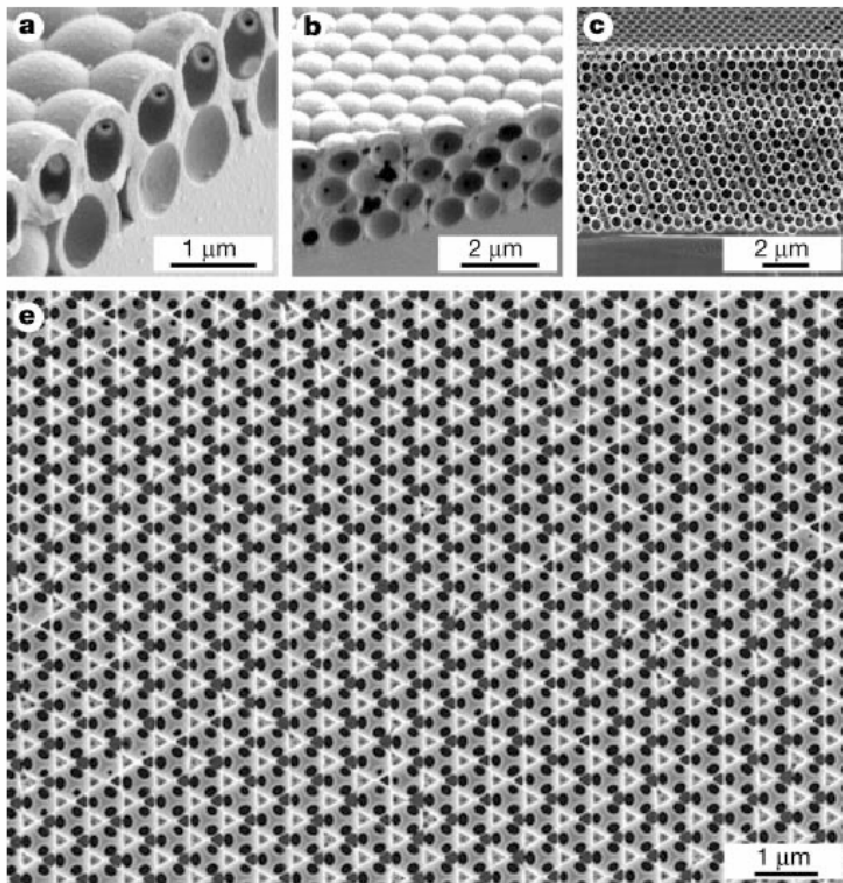
B phân tích toàn hình



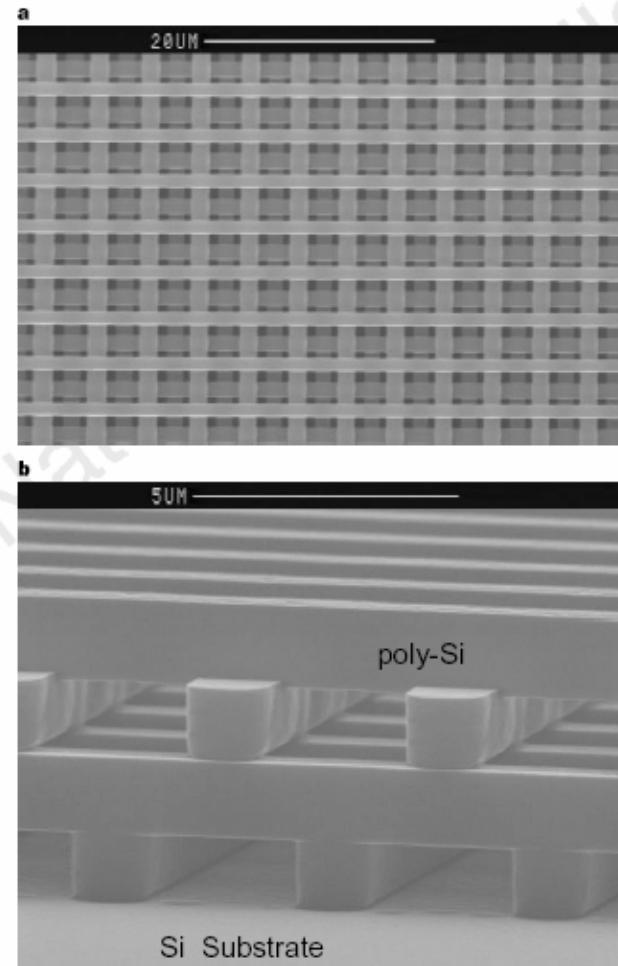
Mạch photonic tích hợp và sợi quang tinh thể photonic



Tinh thể photonic ba chi u



A. Vaynshteyn, *Nature*, vol. 414, p. 85-92, 2001.



Lin et al. *Nature*, vol. 394, p. 251-3, 1998.

Nhân m nh nh ng b c ti ng n ây

• Sử dụng công nghệ chế tạo tiên tiến và sản phẩm đạt chất lượng cao, thu hút khách hàng nhờ độ bền bỉ, tính năng hiện đại và hoàn toàn miễn phí.

Sử dụng Silicon thông thường, $\epsilon_n \sim 0.01$, cấu trúc tinh thể photonic $\epsilon_n \sim 1$.

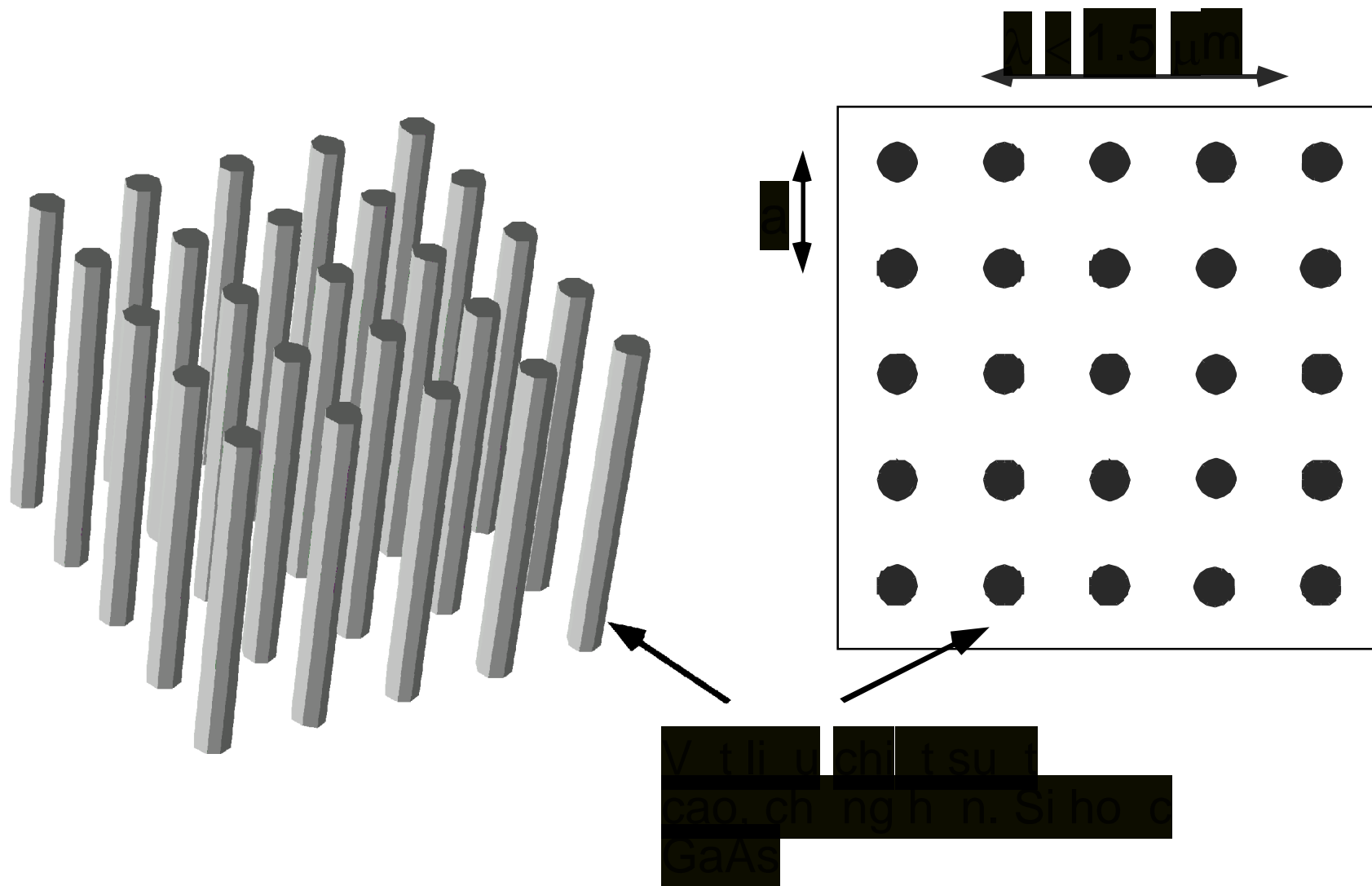
• Hệ thống các khái niệm mới trong quang học.

Khái niệm về cấu trúc vùng.

Phương pháp lý thuyết kỳ dị ghép với sóng truyền photon.

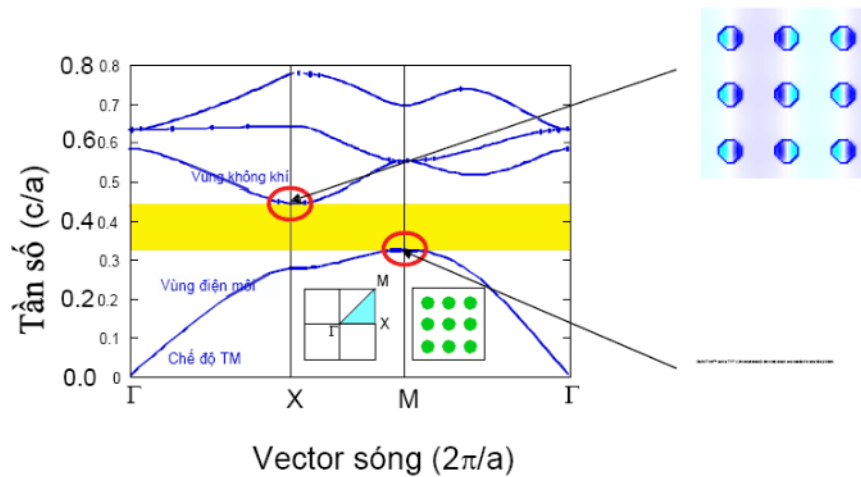
• Tình hình Photonic, Nghiên cứu bán dẫn phát sáng.

Tính chất photonic hai chiều



Cấu trúc vùng của tinh thể hai chiều

Trường chuyển vị song song với cột



Vecto sóng xác định độ lệch pha giữa những ô đơn vị lân cận gần nhất.

X: $(0.5 \cdot 2\pi/a, 0)$: Vì thế, những ô đơn vị lân cận gần nhất nằm dọc theo hướng x lệch pha nhau một góc 180 độ

M: $(0.5 \cdot 2\pi/a, 0.5 \cdot 2\pi/a)$: những ô đơn vị lân cận gần nhất nằm dọc theo đường chéo lệch pha nhau một góc 180 độ

Phương trình Maxwell cho trạng thái xác lập

Phương trình Maxwell cho thu c th i gian trong môi trường đồng tính

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\dot{\mathbf{B}} & \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{j} + \dot{\mathbf{D}} \\ \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} & \nabla \cdot \mathbf{H} &= 0 \end{aligned}$$

Mô hình hàm u hòa ph thu c th i gian ngh a là (tr ng thá xác l p)

$$\begin{aligned} \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{E}(\mathbf{r}) e^{-i\omega t} \\ \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{H}(\mathbf{r}) e^{-i\omega t} \end{aligned}$$

Phương trình Maxwell cho trạng thái xác lập

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -i\omega \mathbf{B} & \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{j} + i\omega \mathbf{D} \\ \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} & \nabla \cdot \mathbf{H} &= 0 \end{aligned}$$

Phương trình Master cho trạng thái xác lập trong điện môi

Biểu diễn phương trình chỉ trong từ trường:

$$\nabla \times \frac{\mathbf{1}}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \mathbf{H}(\mathbf{r})$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

Vì thế, đối với trạng thái xác lập, phương trình Maxwell có thể được biểu diễn theo bài toán trị riêng, tương tự với cơ học lượng tử khi nghiên cứu tính chất của electron.

	Cơ học lượng tử	Điện từ học
Trường	$\Psi(\mathbf{r}, t) = \Psi(\mathbf{r})e^{j\omega t}$	$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}(\mathbf{r})e^{j\omega t}$
Bài toán trị riêng	$\hat{H}\Psi(\mathbf{r}) = E\Psi(\mathbf{r})$	$\Theta\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega^2}{c^2}\right)\mathbf{H}(\mathbf{r})$
Toán tử	$\hat{H} = \frac{-\hbar^2 \nabla^2}{2m} + V(\mathbf{r})$	$\Theta = \nabla \times \frac{\mathbf{1}}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times$

Điện từ học như bài toán trị riêng

Phương trình chính định nghĩa một toán tử:

$$\Theta \mathbf{H}(\mathbf{r}) \equiv \nabla \times \frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r})$$

Quan trọng, toán tử Θ là toán tử Hermit. Nếu chúng ta định nghĩa tích nội của hai trường vecto $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ và $\mathbf{G}(\mathbf{r})$ là:

$$(\mathbf{F}, \mathbf{G}) = \int d\mathbf{r} \mathbf{F}^*(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{G}(\mathbf{r})$$

thì

$$\begin{aligned} (\mathbf{F}, \Theta \mathbf{G}) &= \int d\mathbf{r} \mathbf{F}^* \cdot \nabla \times \left(\frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \mathbf{G} \right) \\ &= - \int d\mathbf{r} (\nabla \times \mathbf{F})^* \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \mathbf{G} \right) \\ &= - \int d\mathbf{r} \left(\frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \mathbf{F} \right)^* \cdot (\nabla \times \mathbf{G}) \\ &= \int d\mathbf{r} \left(\nabla \times \frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \mathbf{F} \right)^* \cdot \mathbf{G} = (\Theta \mathbf{F}, \mathbf{G}) \end{aligned}$$

Tính chất tổng quát của chế độ điều hòa

Với toán tử Θ là Hermit dẫn đến một số những tính chất tốt về chế độ điều hòa

Giả sử rằng $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ là một chế độ riêng, nghĩa là $\Theta\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \mathbf{H}(\mathbf{r})$

ω^2 thực
$$(\mathbf{H}, \Theta\mathbf{H}) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 (\mathbf{H}, \mathbf{H}) = (\Theta\mathbf{H}, \mathbf{H}) = \left(\frac{\omega^*}{c}\right)^2 (\mathbf{H}, \mathbf{H})$$

ω^2 dương

$$\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 (\mathbf{H}, \mathbf{H}) = (\mathbf{H}, \Theta\mathbf{H}) = \int d\mathbf{r} \frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} |\nabla \times \mathbf{H}|^2$$

Hai chế độ $\mathbf{H}_1(\mathbf{r})$ và $\mathbf{H}_2(\mathbf{r})$ tại hai tần số khác nhau ω_1 và ω_2 trực giao nhau, nghĩa là $(\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2) = 0$

$$\left(\frac{\omega_1}{c}\right)^2 (\mathbf{H}_2, \mathbf{H}_1) = (\mathbf{H}_2, \Theta\mathbf{H}_1) = (\Theta\mathbf{H}_2, \mathbf{H}_1) = \left(\frac{\omega_2}{c}\right)^2 (\mathbf{H}_2, \mathbf{H}_1)$$

Vì thế nếu ω_1 và ω_2 khác nhau thì $(\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2) = 0$.

Hàm cơ sở giao

Để viết hai hàm sóng một chiều trong giao
(x) và $\psi(x)$ nghĩa là

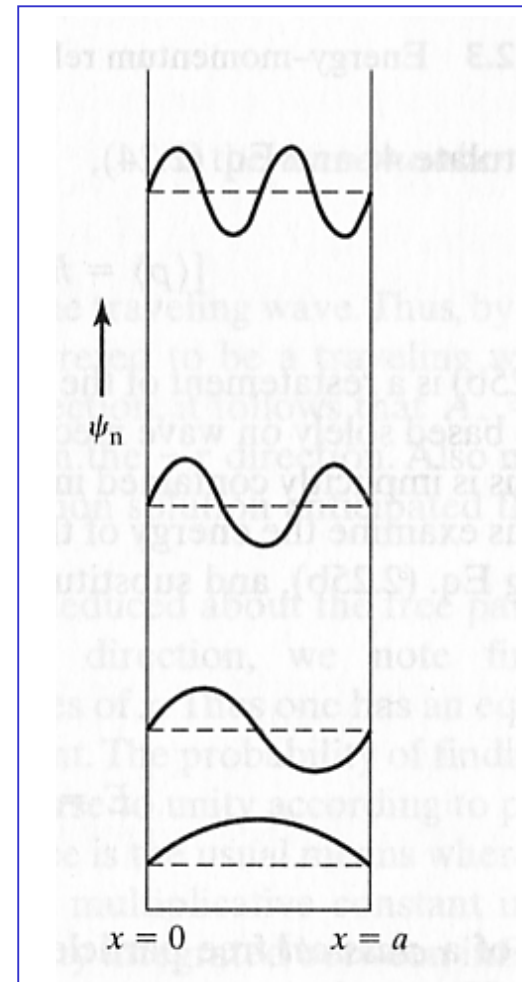


Vì thế, tích phân có phần âm bằng phần
dương trên khoảng đang xét vì thế tích
phần toàn phần bị triệt tiêu



Chỉ số hàm viết trong chỉ số
số cao hơn thì năng lượng biến đổi theo không gian
nhìn thấy trong dạng trạng thái chúng

Do trạng thái chỉ số cao hơn thì năng
lượng biến đổi theo không gian
trạng thái chúng



Bất biến tỉ lệ

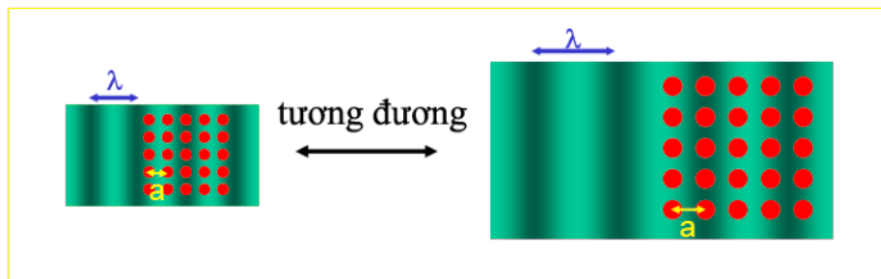
Nghiệm tại một thang này xác định nghiệm tại tất cả những thang độ dài còn lại.

Chẳng hạn, giả sử rằng chúng ta có trường điện từ ở trạng thái xác lập $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ trong một cấu hình điện môi $\varepsilon(\mathbf{r})$

$$\nabla \times \frac{1}{\varepsilon(\mathbf{r})} \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \mathbf{H}(\mathbf{r})$$

Thì, trong cấu hình điện môi, chỉ là một phiên bản nén hoặc giãn của $\varepsilon(\mathbf{r})$: $\varepsilon'(\mathbf{r}) = \varepsilon(\mathbf{r}/s)$, Dùng $\mathbf{r}' = s\mathbf{r}$, chúng ta có

$$\nabla \times \frac{1}{\varepsilon'(\mathbf{r})} \nabla \times \mathbf{H}'(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{cs}\right)^2 \mathbf{H}'(\mathbf{r})$$



Những đơn vị được chuẩn hóa

Hằng số mạng: a

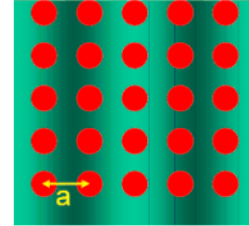
Đơn vị của những đại lượng vật lí sau trở thành:

Tần số: c/a

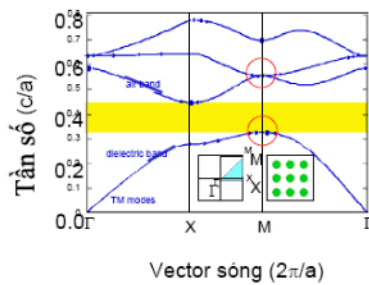
Tần số góc: $2\pi c/a$

Vecto sóng: $2\pi/a$

Bước sóng: a



Ví dụ đơn giản về việc đọc giản đồ năng lượng



Vùng cấm trải từ $0.2837 c/a$ tới $0.4183 c/a$
Tần số giữa khe là $0.3510 c/a$

Để thiết kế một tinh thể sao cho ánh sáng 1.55 micromet rơi vào tâm khe, chúng ta có

$c/(1.55 \text{ micron}) = 0.3510 c/a$, vì thế
 $a = 0.3510 * 1.55 \text{ micron} = 0.5440 \text{ micron}$

Năng lượng điện từ và nguyên lý biến phân

Từ phương trình chính:

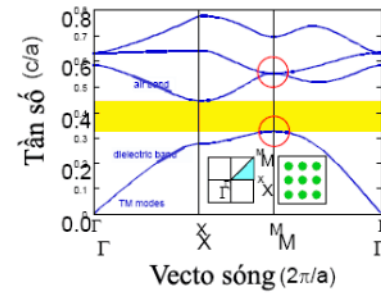
$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \mathbf{H}(\mathbf{r})$$

Dạng tích phân:

$$\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 = \frac{\int d\mathbf{r} \frac{1}{\epsilon(\mathbf{r})} |\nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r})|^2}{\int d\mathbf{r} |\mathbf{H}(\mathbf{r})|^2}$$

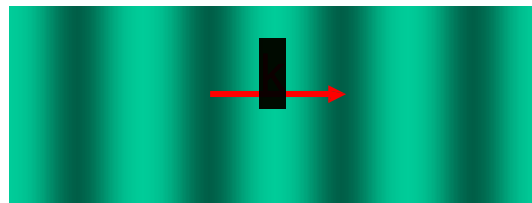
Độ tập trung của cường độ điện trường trong vùng có hằng số điện môi cao làm cực tiểu hóa tần số.

Hai vùng đầu tiên, trường chuyển vị tại điểm M



Ví dụ: sóng điện từ trong chân không (1 chiều)

Chân không: $\epsilon=1, \mu=1$, nghiệm sóng phẳng của phương trình Maxwell

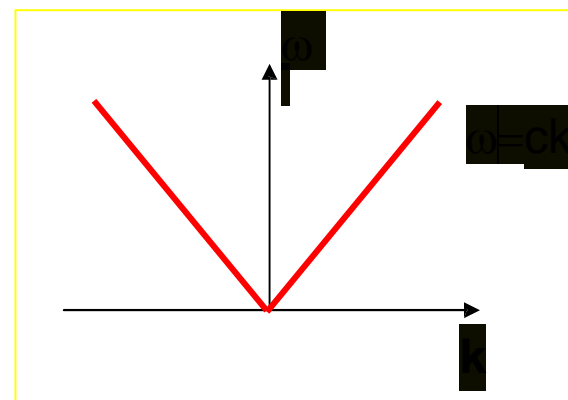


Hình ảnh của trường điện từ trong chân không: $\mathbf{E} \perp \mathbf{H} \perp \mathbf{k}$

Mối quan hệ giữa tần số ω và vector sóng \mathbf{k}

$$\omega = ck$$

Trong không gian 3 chiều, mối quan hệ giữa ω và \mathbf{k} có thể được mô tả bằng một hình vẽ như sau:

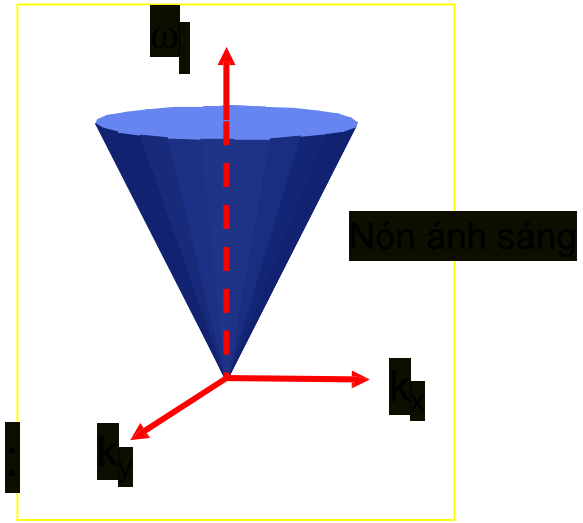


Hình dung cấu trúc vùng chân không (2 chiều)

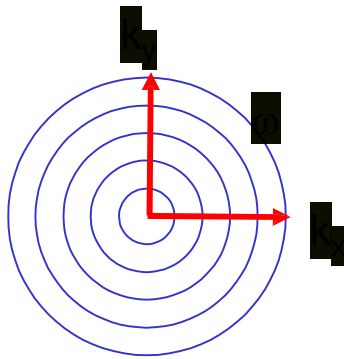
iv) Hình thức hai chiều

$$Q = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$$

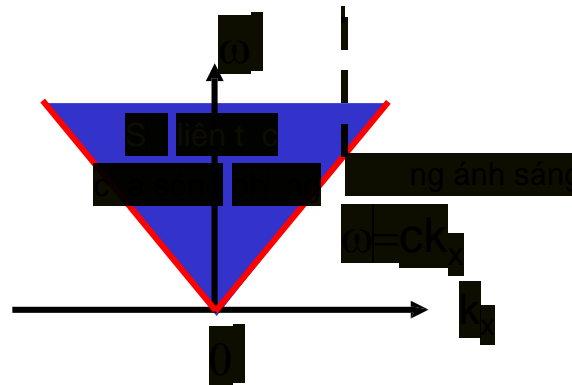
Hàm này biểu diễn hình nón ánh sáng



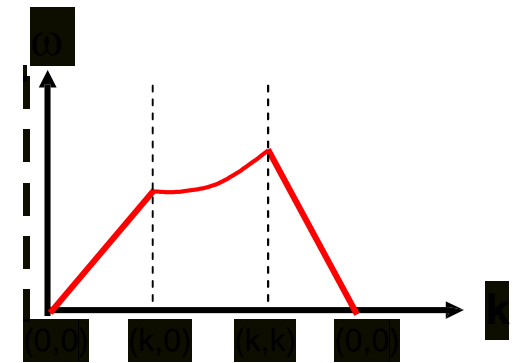
Một vài cách hình dung cấu trúc vùng này



Contour không



Hình chiếu 2D



Định nghĩa vùng
theo giá trị của
Q

Lí thuyết Bloch cho điện từ học

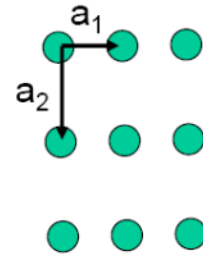
Trong một môi trường điện môi tuần hoàn, nghĩa là $\epsilon(\mathbf{r}+\mathbf{a})=\epsilon(\mathbf{r})$ nghiệm $H(\mathbf{r})$ của phương trình Master là:

$$\nabla \times \frac{1}{\epsilon(\mathbf{r})} \nabla \times H(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 H(\mathbf{r})$$

phải thỏa mãn hệ thức sau:

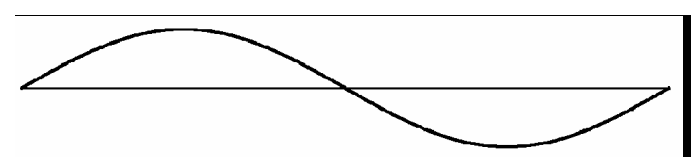
$$H(\mathbf{r}) = e^{i(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})} u_{\mathbf{k}}(\mathbf{r})$$

ở đây $u_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}) = u_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}+\mathbf{a})$ là hàm tuần hoàn.

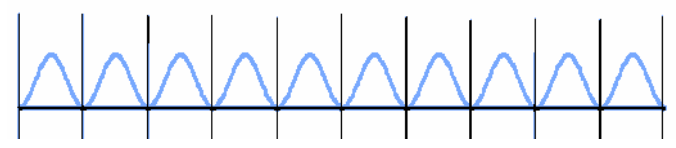


Những hàm sóng Bloch

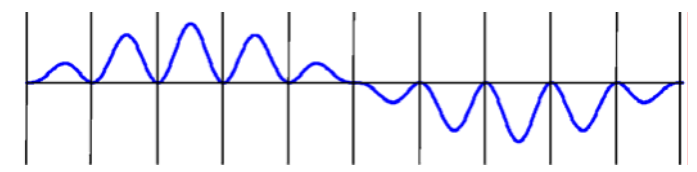
$$e^{ikx}$$



$$u(x)$$



$$e^{ikx} u(x)$$

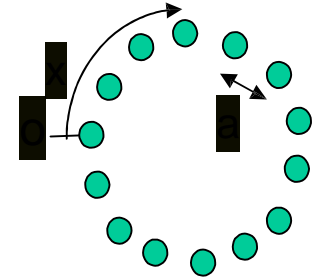


Chứng minh định lý Bloch

(Solid state Phys. Kittel, p179-180)

Chứng minh trong trường hợp một chiều

Xét N nguyên tử nằm trên một vòng dài Na



Hàm sóng mô tả hoàn toàn theo $\psi(x) = \psi(x + sa)$ đây s là số nguyên

Chỉ số nguyên \Rightarrow Nghiệm mong đợi của phương trình sóng

$$\psi(x+a) = C \psi(x)$$

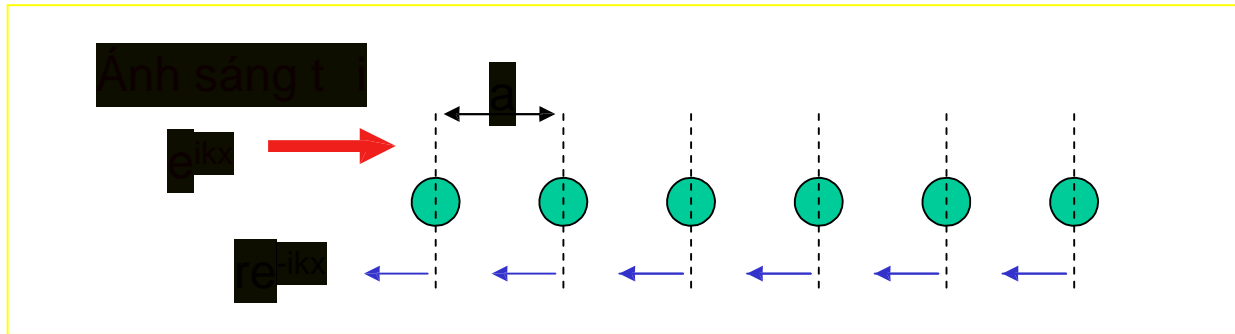
$$\psi(x+Na) = \psi(x) = C^N \psi(x)$$

Một khi đi một vòng

\Rightarrow C là căn bậc N của 1 $C = \exp(i2\pi s/N); s = 0, 1, 2, \dots, N-1$

Hàm Bloch $\left\{ \begin{array}{l} \psi(x) = u_k(x) \exp(i2\pi sx/(Na)) \text{ thỏa } \left\{ \begin{array}{l} \psi(x+a) = C \psi(x) \\ \psi(x+Na) = \psi(x) \end{array} \right. \\ \text{Where } u_k(x+a) = u_k(x) \end{array} \right.$

Tán xạ Bragg



Bức xạ phản xạ từ các tán xạ riêng lẻ như nhau thì tạo nên ánh sáng phản xạ hoàn toàn. Ray có cấu trúc bán vô hạn là

$$R = \sum_{n=0}^{\infty} \exp(-\alpha n) \exp(i k_n x) \exp(i \omega_n t)$$

Hit n u



Điều kiện Bragg

Ánh sáng không thể truyền trong tinh thể khi tần số của ánh sáng thỏa mãn điều kiện Bragg. Ngược lại có các vùng cấm trong photonic.

Tóm tắt nguyên lý mạng tinh thể

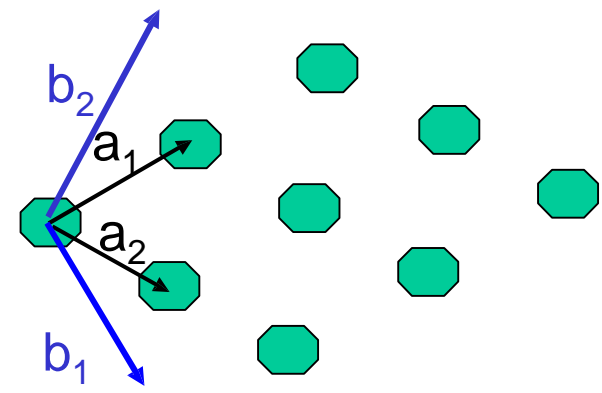
See Kittel, pp. 32-33

Vector mạng \mathbf{G} được xác định bởi $\mathbf{G} = n_1 \mathbf{a}_1 + n_2 \mathbf{a}_2 + n_3 \mathbf{a}_3$
 đây là bất kỳ vector mạng nào

Để viết phép chiếu của các vector mạng $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3$ và \mathbf{G} lên trục z của mạng là

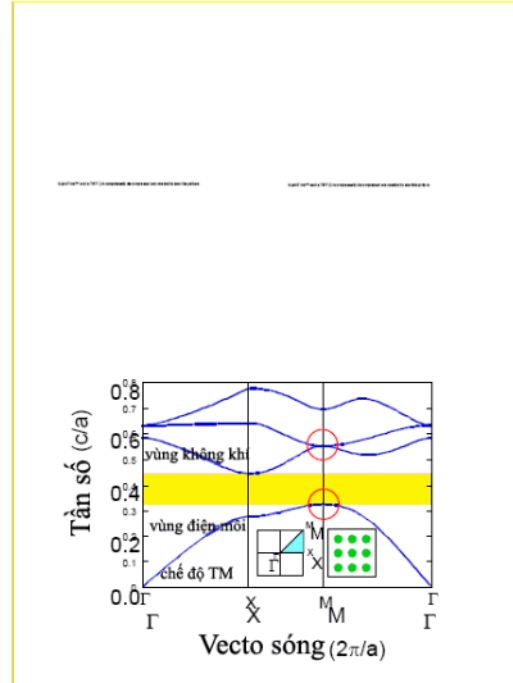
$$a_1 \cos \alpha_1, \quad a_2 \cos \alpha_2, \quad a_3 \cos \alpha_3, \quad G \cos \alpha$$

Vector mạng \mathbf{G} là $\mathbf{G} = n_1 \mathbf{a}_1 + n_2 \mathbf{a}_2 + n_3 \mathbf{a}_3 + n_3 \mathbf{b}_3$, đây n_1, n_2, n_3 là các số nguyên tùy ý



Tóm tắt

- Tinh thể Photonic là một môi trường nhân tạo có sự tương phản hệ số tuần hoàn.
- Sóng điện từ trong tinh thể photonic được mô tả bằng cấu trúc vùng, nó cho ta biết mối quan hệ giữa tần số của chế độ và vecto sóng.
- Cơ bản về tính chất của chế độ: bất biến tỉ lệ, trực giao.



Năng lượng điện từ và nguyên lí biến phân

Nghiệm $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ của phương trình Master:

$$\Theta \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \nabla \times \varepsilon^{-1}(\mathbf{r}) \nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \mathbf{H}(\mathbf{r})$$

Cực tiểu hóa hàm sau:

$$E_f[\mathbf{H}] = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\mathbf{H}, \Theta \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})}$$

Chứng minh:

$$\begin{aligned} E_f[\mathbf{H} + \delta \mathbf{H}] &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(\mathbf{H} + \delta \mathbf{H}, \Theta \mathbf{H} + \Theta \delta \mathbf{H})}{(\mathbf{H} + \delta \mathbf{H}, \mathbf{H} + \delta \mathbf{H})} \\ &= \frac{1}{2} \left[(\mathbf{H}, \Theta \mathbf{H}) + (\delta \mathbf{H}, \Theta \mathbf{H}) + (\Theta \mathbf{H}, \delta \mathbf{H}) \right] \left[\frac{1}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} - \frac{(\mathbf{H}, \delta \mathbf{H}) + (\delta \mathbf{H}, \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})^2} \right] \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(\mathbf{H}, \Theta \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} \left[(\delta \mathbf{H}, \Theta \mathbf{H}) - \frac{(\delta \mathbf{H}, \mathbf{H})(\mathbf{H}, \Theta \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} \right] + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} \left[(\Theta \mathbf{H}, \delta \mathbf{H}) - \frac{(\mathbf{H}, \delta \mathbf{H})(\Theta \mathbf{H}, \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} \right] \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(\mathbf{H}, \Theta \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} = E_f[\mathbf{H}] \end{aligned}$$

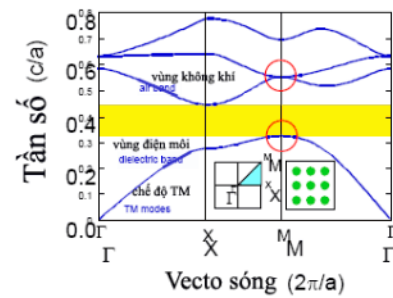
Năng lượng điện từ và nguyên lí biến phân

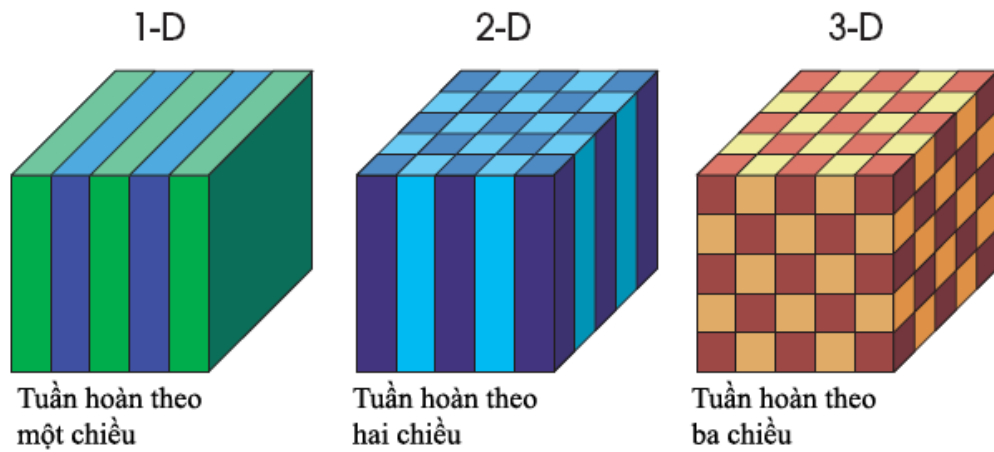
Định lí biến phân cho chúng ta một số gợi ý về những trạng thái riêng nằm ở mức thấp. Bởi vì

$$E_f[\mathbf{H}] = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\mathbf{H}, \Theta \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(\mathbf{H}, \mathbf{H})} \cdot \int dr \frac{1}{\varepsilon} \left| \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial c} \right|^2$$

Từ phương trình này, chúng ta thấy hàm E_f cực tiểu khi trường chuyển vị \mathbf{D} được tập trung trong vùng có hằng số điện môi cao, vì thế, chế độ bậc thấp hơn có khuynh hướng tập trung trường chuyển vị của nó trong vùng có hằng số điện môi cao.

Hai vùng đầu tiên, trường chuyển vị tại điểm M

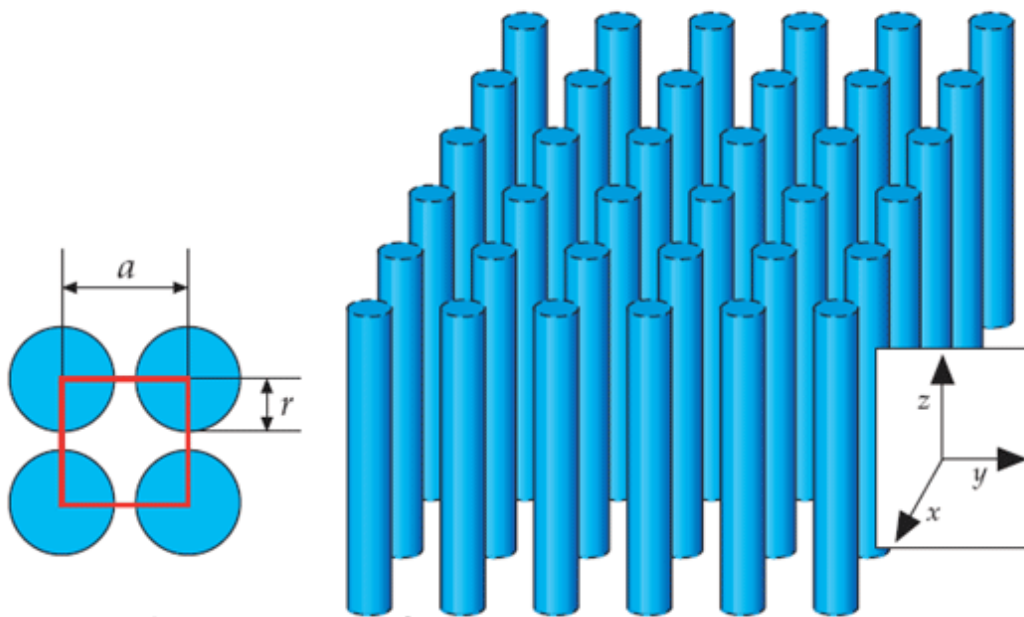




Hình 1: Ví dụ đơn giản về tinh thể một, hai và ba chiều. Những màu khác nhau biểu diễn những vật liệu với hằng số điện môi khác nhau. Tính năng xác định của tinh thể photonic là sự tuần hoàn của vật liệu điện môi dọc theo một hoặc nhiều trục.

3. Cấu trúc vùng năng lượng của tinh thể photonic hai chiều

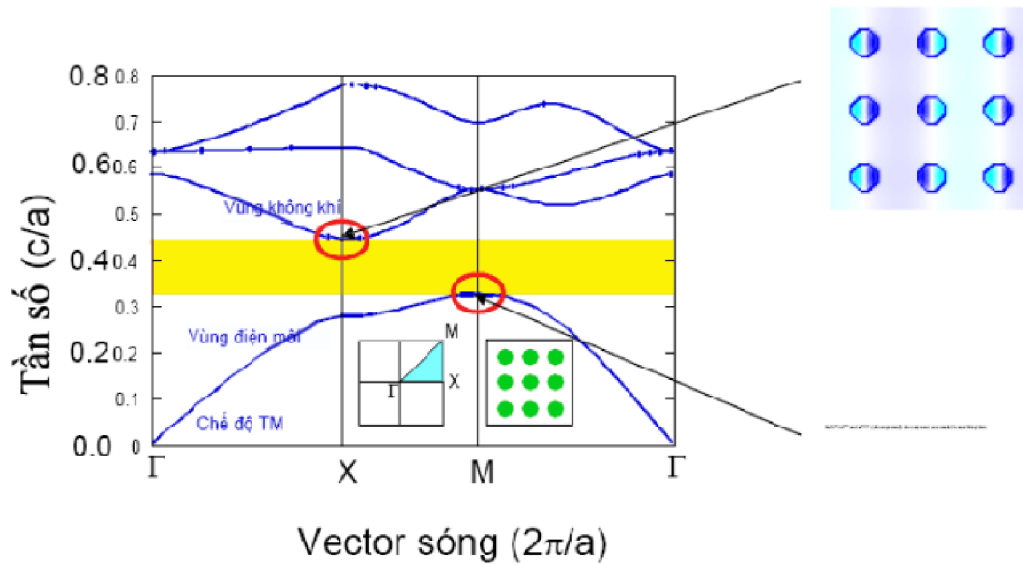
Như trên ta nói, tinh thể photonic hai chiều tuần hoàn theo hai chiều và cũng tuần hoàn theo chiều thứ ba. Vùng cấm photonic sẽ xuất hiện trong môi trường tuần hoàn nếu ánh sáng truyền trong môi trường này, các chế độ cộng hưởng có thể tách thành hai phân cực e và h . Các phân cực e và h có cấu trúc vùng riêng của nó.



Hình 1: Tinh thể photonic hai chiều. Vật liệu này là một mạng vuông góc các cột điện môi, với bán kính r và hằng số điện môi ϵ . Vật liệu đồng nhất dọc theo trục z (chúng ta tưởng tượng những cột rất cao), và tuần hoàn dọc theo x và y với hằng số mạng a . Hình nhỏ phía trái biểu diễn mạng vuông góc từ trên với ô đơn vị được đóng khung màu đỏ.

Khi ánh sáng truyền trong môi trường này, nó sẽ tương tác với các cột điện môi. Cấu trúc tuần hoàn của các cột điện môi này tạo ra một vùng cấm quang học (photonic band gap) trong không gian tần số. Cấu trúc này được mô tả bằng các tham số hình học và vật lý. Trong hình vẽ, các tham số được đưa ra là hằng số mạng a , bán kính cột r , và hằng số điện môi ϵ . Cấu trúc này có thể được mô tả bằng các tham số hình học và vật lý. Trong hình vẽ, các tham số được đưa ra là hằng số mạng a , bán kính cột r , và hằng số điện môi ϵ .

Trường chuyển vị song song với cột



Vùng không khí là các vectơ sóng nằm trong một phần nhỏ của vùng Brillouin. Khi ánh sáng truyền qua các vectơ này, khi đi tới ranh giới của vùng Brillouin, nó sẽ bị phản xạ ngược lại theo hướng đối diện, do đó nó hình thành các vùng Brillouin khác nhau.

Để đo độ sâu của vùng không khí theo biên của vùng Brillouin là $\omega/c/a$ và $\omega/c/a$ từ $\omega/c/a$ của một vùng không khí, luôn luôn xuất hiện tại biên vùng, và thường là tại một góc.

Một tính chất quan trọng của vùng Brillouin vuông góc là minh họa trong hình ảnh trên. Vùng Brillouin của một khối lập phương là nằm tam giác vuông góc phía trên cùng; phần còn lại của vùng Brillouin có thể được tạo ra bằng cách quay tam giác này một góc 120° quanh trục z . Các trục x và y của vùng Brillouin là $\omega/c/a$ và $\omega/c/a$.

Trong trường hợp TM, tính chất photonic có vùng cấm hoàn toàn giữa vùng không khí và vùng điện môi. Trường điện từ của TM có thành phần E_z (vùng không khí) không bằng 0 và E_z trong vùng điện môi. Đây là trường điện từ có thành phần E_z không bằng 0 trong vùng không khí. Do đó, có thể truyền sóng qua các cấu trúc điện môi, làm cho trường điện từ chuyển từ vùng không khí sang vùng điện môi cao.

Theo nguyên lý bất phân biệt chúng ta phải trung thành với nguyên lý rằng
điều kiện của nó vào những vùng có độ sáng và độ ẩm cao. Vì vậy, điều kiện của nó
thực tế là những vùng cao hơn phải được giao với những vùng thấp hơn.
Điều này giải thích vì sao có sự khác biệt giữa hai vùng này. Vùng thấp hơn có
điều kiện nguyên lý của nó trong vùng độ ẩm, và có điều kiện độ ẩm; vùng thấp hơn
phải có một mức độ nhất định của độ ẩm, và vì vậy có điều kiện nguyên lý
điều kiện của nó trong vùng không khí trong vùng độ ẩm cao hơn.