

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI



# CÔNG NGHỆ NANO

## QUANG TỬ HỌC NANO

**Giáo viên hướng dẫn:**

**Nguyễn Việt Hưng** (Viện Tiên tiến Khoa học và Công nghệ)

**Nguyễn Bích Huyền** (Viện Điện tử-Viễn thông)

# Nội dung môn học

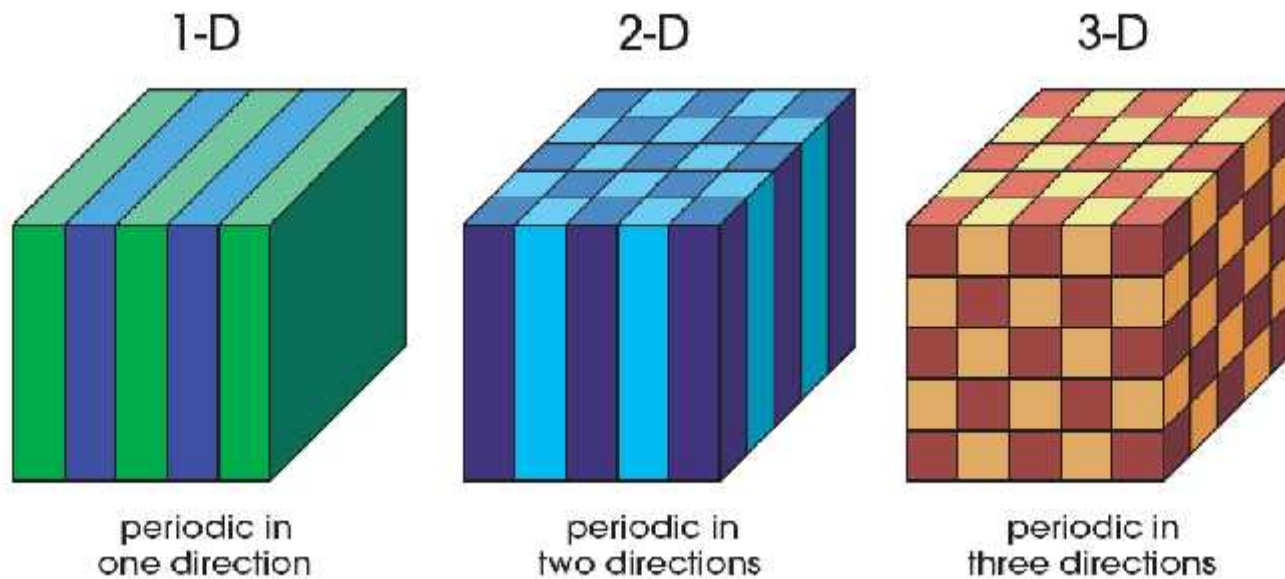
- **Mở đầu:** Giới thiệu môn học, ôn tập một số kiến thức cần thiết
- **Chương 1:** Cơ sở lý thuyết về Quang tử học nano
- **Chương 2:** Cơ sở lý thuyết về phân cực plasmon bề mặt
- **Projects:** Tìm hiểu phần mềm **OptiFDTD**, sử dụng để mô phỏng một số bài toán cụ thể.
- **Kiểm tra cuối kỳ.**

# Tài liệu học tập

- Lâm Hồng Thạch, Hoàng Phương Chi, Nguyễn Khuyến, Vũ Văn Yên, Trường điện từ-Kiến thức căn bản và bài tập. NXB ĐHBKHN.
- Vũ Linh, **Vật lý điện tử**. NXBĐHBKHN.
- GS.TSKH. Phan Anh, Trường điện từ và truyền sóng. NXBKH-KT.
- S.P. Gaponenko, **Introduction to Nanophotonics**, C.U.P. (Cambridge University Press)
- M.S.Wartak, **Computational Photonics**, C.U.P.
- J.D. Joannopoulos, S. Johnson, **Photonic Crystals-Molding the flow of light**, 2<sup>nd</sup> Edition, Princeton University Press.
- K.Y. Kim, **Plasmonics – Principles and Applications**, InTech.
- Software: **OptiFDTD** <http://optiwave.com/category/products/component-design/optifdtd/>
- Scientific articles: - **Optics Express** <https://www.osapublishing.org/oe/home.cfm>  
- **Arxiv** <http://arxiv.org/>
- Wikipedia, ...

# Chương 1. Quang tử học Nano (Nanophotonics)

- Tìm hiểu các môi trường **điện môi** có cấu trúc tuần hoàn (tinh thể quang tử- Photonic crystal – P.C. )



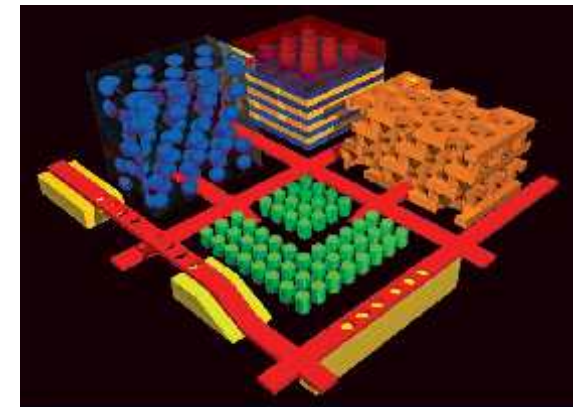
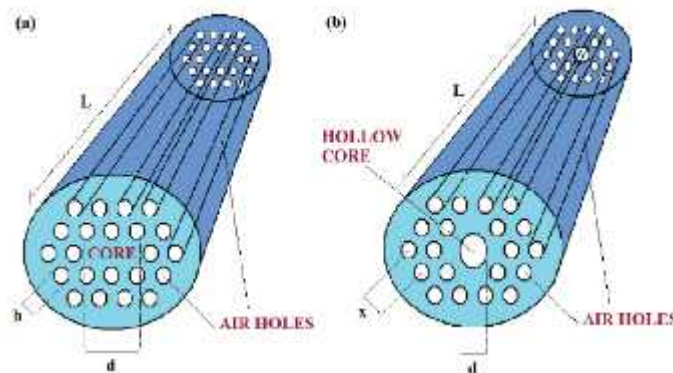
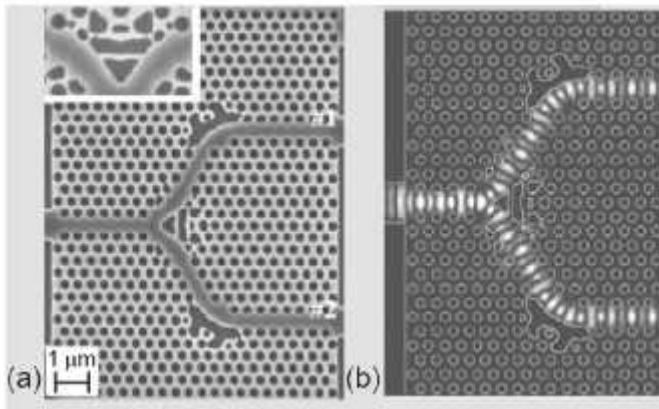
- Nghiên cứu tính chất quang học cơ bản của P.C.: Sự hình thành các **vùng cấm quang** (Photonic band gap).

- Nghiên cứu các phương pháp điều khiển ánh sáng trong P.C. (gồm các quá trình giam giữ và truyền dẫn ánh sáng). Từ đó dẫn đến các ứng dụng quan trọng:

(a) Linh kiện quang tử (Photonic Devices)

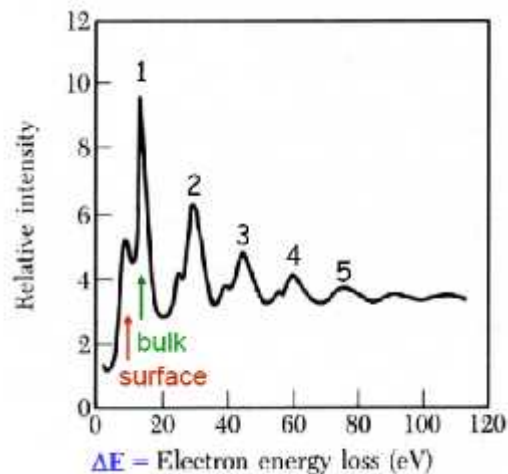
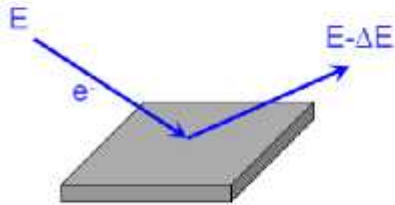
(b) Sợi P.C. (Photonic Crystal Fibers)

(c) Mạch quang tử tích hợp (Integrated Photonic Circuits)



## Chương 2. Phân cực plasmon bề mặt (Surface Plasmon Polaritons)

- Tìm hiểu về các trạng thái dao động của mật độ điện tử (sóng plasma - plasmon) trên bề mặt của **các kim loại**, các phương pháp kích thích plasmon bề mặt đó bằng ánh sáng.
- Nghiên cứu quá trình truyền dẫn, điều khiển plasmon trên một số kim loại, với những cấu trúc hình học cụ thể.



# Mở đầu: Lý thuyết Maxwell về trường điện từ

Maxwell's equations:

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

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

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

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

where

$\mathbf{E}$  is electric field intensity  $[V/m]$

$\mathbf{B}$  is magnetic flux density  $[T]$

$\mathbf{H}$  is magnetic field intensity  $[A/m]$

$\mathbf{D}$  is electric flux density  $[C/m^2]$

$\mathbf{J}$  is electric current density  $[A/m^2]$

$\rho_v$  is volume charge density  $[C/m^3]$ .

The operator  $\nabla$  in Cartesian coordinates is

$$\nabla = \left[ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right]$$

The above relations are supplemented with constitutive relations

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

where  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$  is the dielectric permittivity  $[F/m]$ ,  $\mu = \mu_0 \mu_r$  is permeability  $[H/m]$ ,  $\sigma$  is electric conductivity,  $\varepsilon_r$  is the relative dielectric constant. For optical problems  $\mu_r = 1$ .

# Các sóng điện từ

We do the following transformation:

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \mathbf{B}) = -\mu \frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \mathbf{H}) = -\mu \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = -\mu \epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

And use the property:  $\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}$

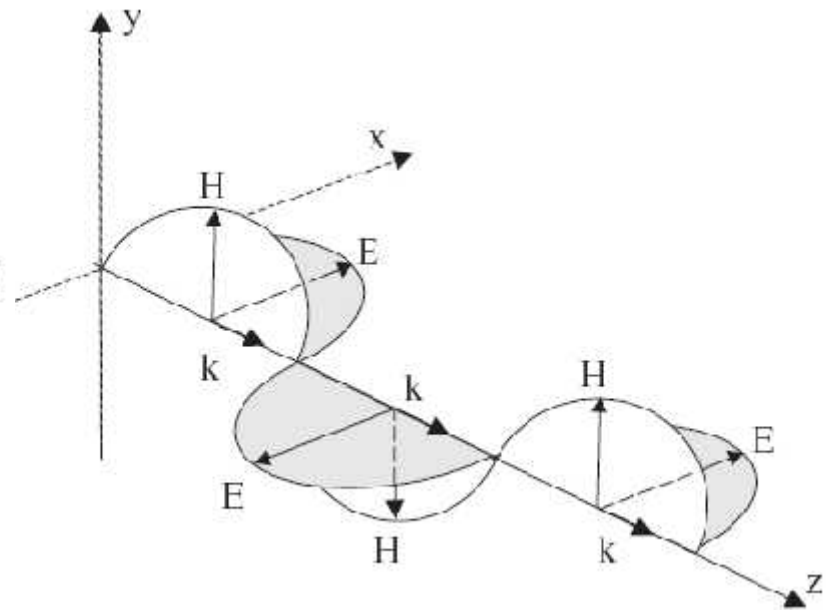
Ending up with an equation for electrical field

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu \epsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \mathbf{E} = \mathbf{0}$$

which is the desired wave equation. The quantity  $\mu \epsilon$  is related to velocity of light in a vacuum as (assuming  $\mu_r = 1$ )

$$\mu \epsilon = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r = \frac{\bar{n}^2}{c^2}$$

where  $\bar{n}$  is the refractive index of the medium.





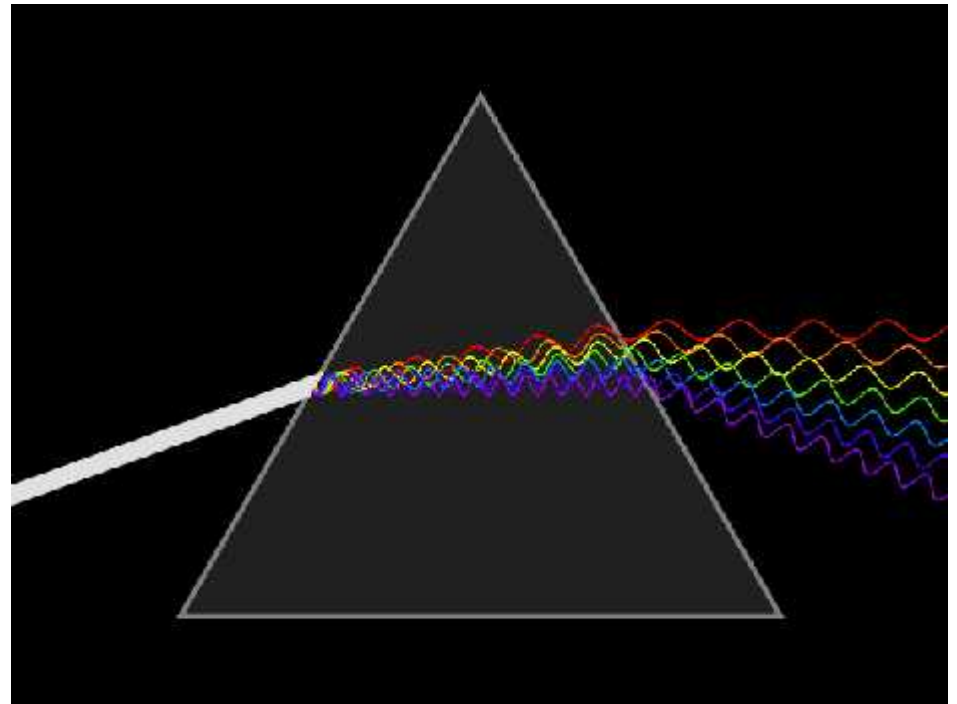
# Mô hình Lorentz

**Hạn chế của lý thuyết Maxwell:**

Không giải thích được tính chất quang học phức tạp của các chất.

**Ví dụ:** Hiện tượng tán sắc.

Lorentz đã đưa ra mô hình đơn giản về cấu tạo của vật liệu, cho phép giải thích tốt hiện tượng này.



# Homework

1. Ôn tập các kiến thức về trường điện từ: Hệ các phương trình Maxwell, lan truyền của các sóng điện từ. Phổ sóng điện từ trong miền nhìn thấy.
2. Ôn tập kiến thức về lý thuyết cấu tạo chất: phổ năng lượng của nguyên tử, tính chất của điện tử trong chất rắn (tập trung vào kim loại, điện môi) theo Cơ học lượng tử, và tương tác giữa ánh sáng với vật liệu (dựa theo mô hình Drude-Lorentz).
3. Cài đặt phần mềm **OptiFDTD** lên máy tính và bắt đầu tìm hiểu các cơ sở của nó (các file dữ liệu trong thư mục: [Documentations](#)).
4. Ôn tập một số kiến thức về tính toán bằng phương pháp số, lập trình tính toán cơ bản trên máy tính.