

# Propiedades Ópticas No Lineales

---

## Breve Resumen

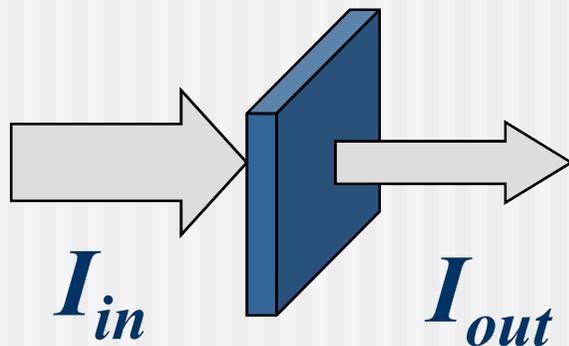
“Optical Materials”

J. H. Simmons, K. S. Potter,  
Nonlinear Optical Processes.

# Propiedades Ópticas Lineales

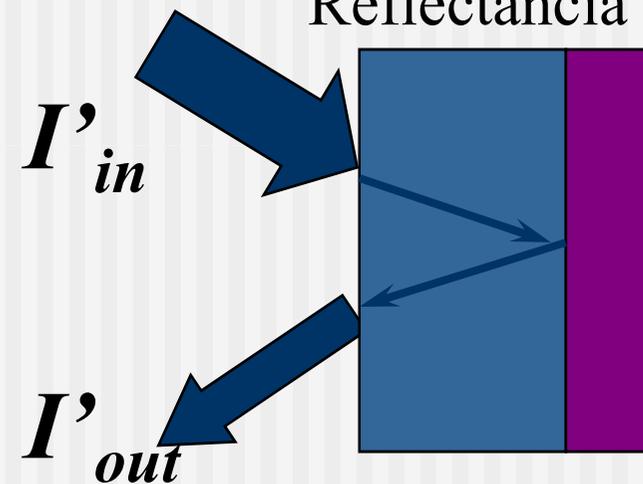
Un haz de entrada = Un único campo eléctrico de excitación.

Transmitancia



$$I \propto |\vec{E}|^2 \Rightarrow I_{out} \approx I_{in} \exp\left(-2\omega q \frac{d}{c}\right)$$

Reflectancia



$$I'_{out} = R I'_{in}$$

# Propiedades Ópticas Lineales

Un haz de entrada = Un único campo eléctrico de excitación.

Relaciones Lineales (salida proporcional a la entrada) porque:

$$\vec{\mathbf{P}} = \epsilon_0 \chi \vec{\mathbf{E}}$$

**P**: Polarización Eléctrica,

**E**: Campo Eléctrico,

(electromagnético de frecuencia  $\omega$ )

$\chi = \chi^{(1)}$ : **Susceptibilidad lineal**  
(o de primer orden)

$$I \propto |\vec{\mathbf{E}}|^2 \Rightarrow I_{out} \approx I_{in} \exp\left(-2\omega q \frac{d}{c}\right)$$

$$I'_{out} = R I'_{in}$$

# Propiedades Ópticas NO-Lineales

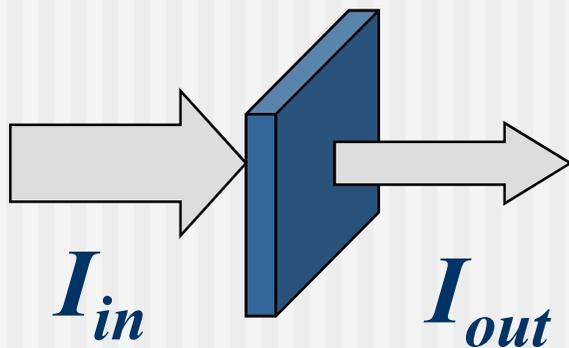
Varios haces de entrada = Varios campos eléctricos de excitación.  
Relaciones No-Lineales (o lineales respecto a cada campo involucrado):

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi^{(n)} \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 \cdots \mathbf{E}_n$$

$\chi^{(n)}$ : de orden n.

A mayor orden menos relevante.

Ejemplo: 2º orden.  $\chi^{(2)}$



$$I \propto |\vec{\mathbf{E}}|^2 \Rightarrow I_{out} \propto I_{in}^2$$

pero :  $I_{out} \ll I_{in}$

$$\omega_{out} = \begin{cases} 2\omega_{in} : \text{Generación 2º Armónico.} \\ \mathbf{0} : \text{Rectificación Óptica.} \end{cases}$$

# Propiedades Ópticas NO-Lineales

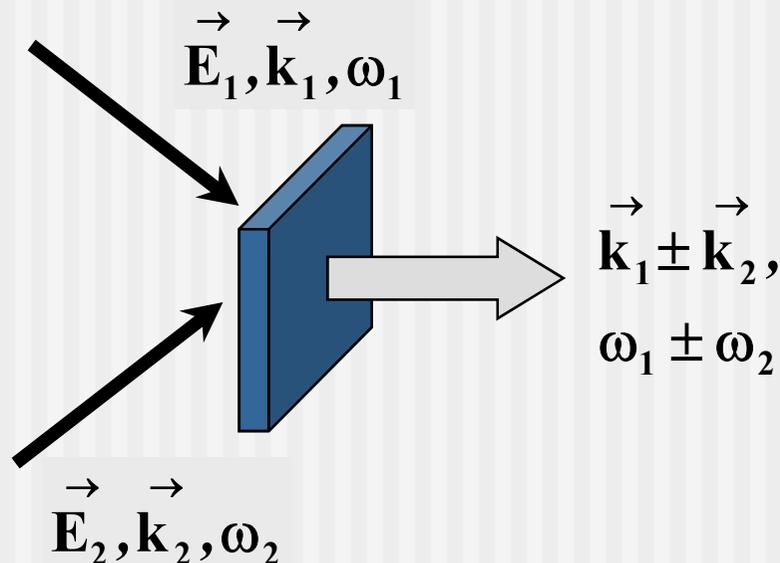
Varios haces de entrada = Varios campos eléctricos de excitación.  
Relaciones No-Lineales (o lineales respecto a cada campo involucrado):

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi^{(n)} \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 \cdots \mathbf{E}_n$$

$\chi^{(n)}$ : de orden n.

A mayor orden menos relevante.

Ejemplo: 2º orden.



“Mezcla de Ondas”:  
Oscilación Paramétrica.

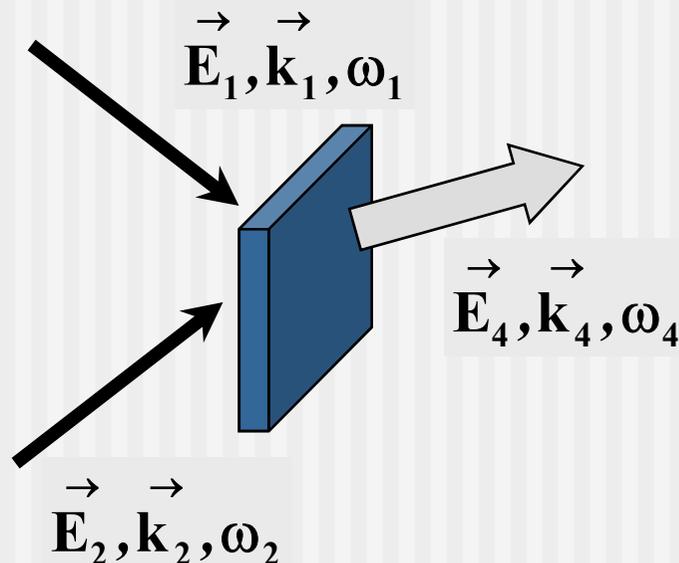
Pero . . .  $\chi^{(2)} \equiv \mathbf{0}$

Para la mayoría de los materiales

# Propiedades Ópticas NO-Lineales

Varios haces de entrada = Varios campos eléctricos de excitación.  
Relaciones No-Lineales (o lineales respecto a cada campo involucrado):

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi^{(3)} \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 \mathbf{E}_3$$



$\chi^{(3)}$ : de orden 3 . . . Suele ser el primer término importante .

Mezcla de Cuatro Ondas.

$$\mathbf{E}_3 = \mathbf{E}_1 \text{ o } \mathbf{E}_2 \text{ con}$$

$$\vec{\mathbf{k}}_3 = \pm \vec{\mathbf{k}}_1, \pm \vec{\mathbf{k}}_2 .$$

Muchos diferentes efectos.

# Propiedades Ópticas NO-Lineales

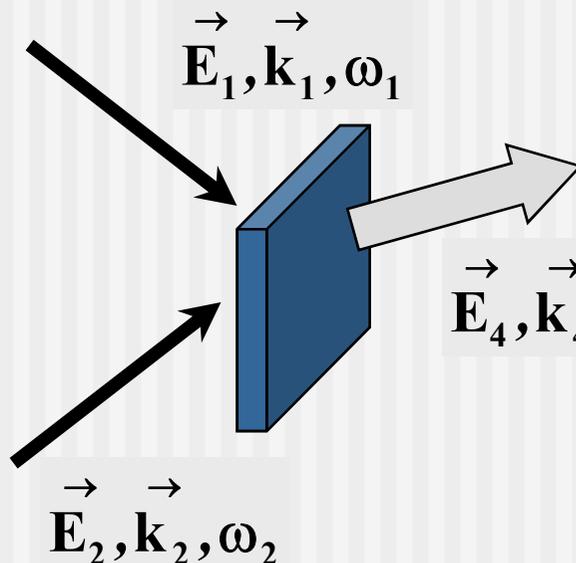
Varios haces de entrada = Varios campos eléctricos de excitación.

Relaciones No-Lineales (o lineales respecto a cada campo involucrado):

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi^{(3)} \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 \mathbf{E}_3$$

$\chi^{(3)}$ : de orden 3 . . . Suele ser el primer término importante .

Mezcla de Cuatro Ondas.



$\chi^{(3)}(-3\omega, \omega, \omega, \omega)$ : Generación Tercer Armónico.

$\chi^{(3)}(-\omega, \omega, -\omega, \omega)$ : Índice No Linear (Efecto Kerr).

$\chi^{(3)}(-2\omega, \omega, -\omega, 0)$ : Generación Segundo Armónico inducido por Campo de Continua.

$\chi^{(3)}(-\omega, \omega, 0, 0)$ : Efecto Electroóptico Cuadrático.

$\chi^{(3)}(0, -\omega, \omega, 0)$ : Rectificación Óptica.

# Materiales para Propiedades Ópticas NO-Lineales

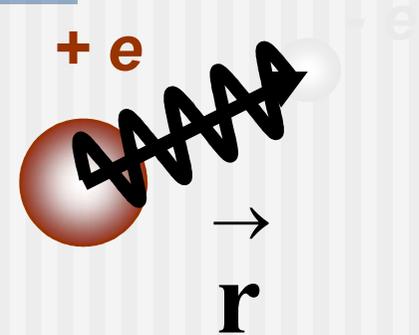
---

- Perovskitas.
- Polímeros.
- Vidrios Polares.
- Superficies.
- Fibras Ópticas Dopadas.
- Nanoestructuras:

Ejemplo: Puntos Cuánticos por la “condensación de la fuerza de oscilador”.

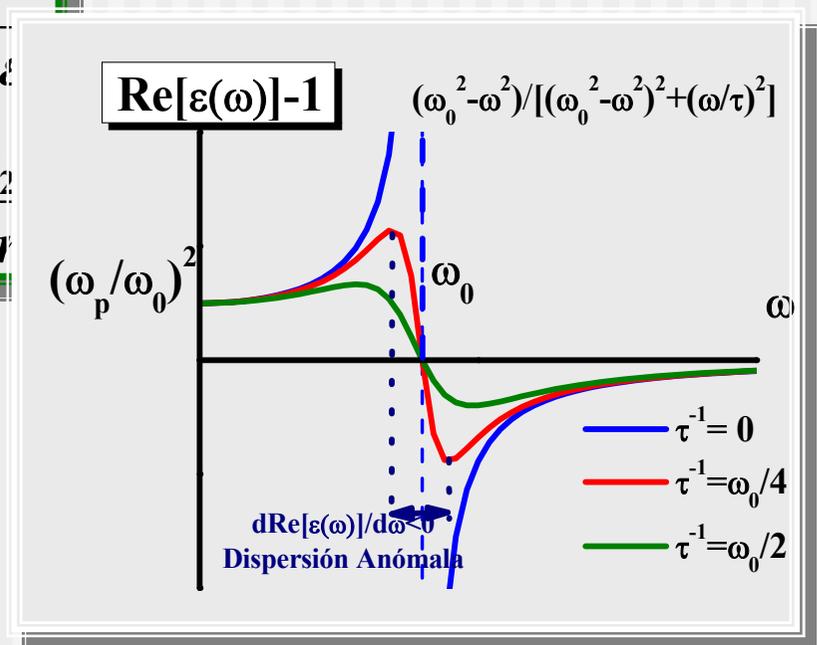
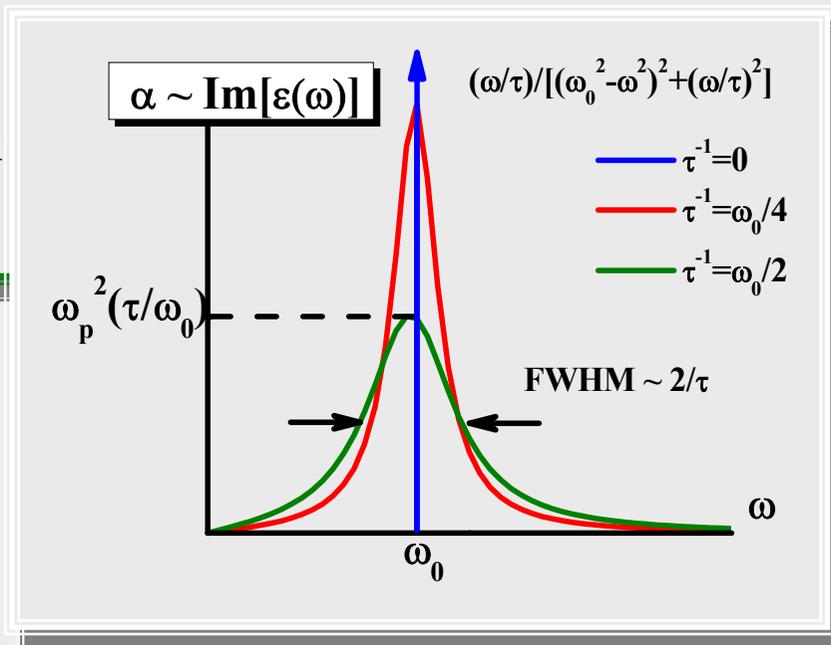
# Modelo Microscópico (Óptica Lineal)

- Oscilador Armónico Amortiguado:



$$\eta_c^2 = \epsilon_1 + i\epsilon_2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{(\omega^2 - \omega_0^2) + i\omega/\tau}$$

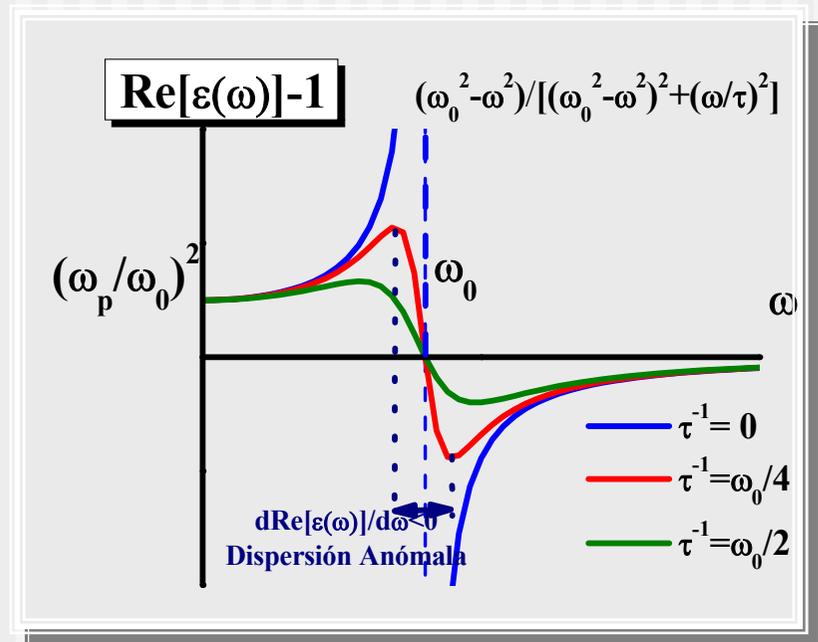
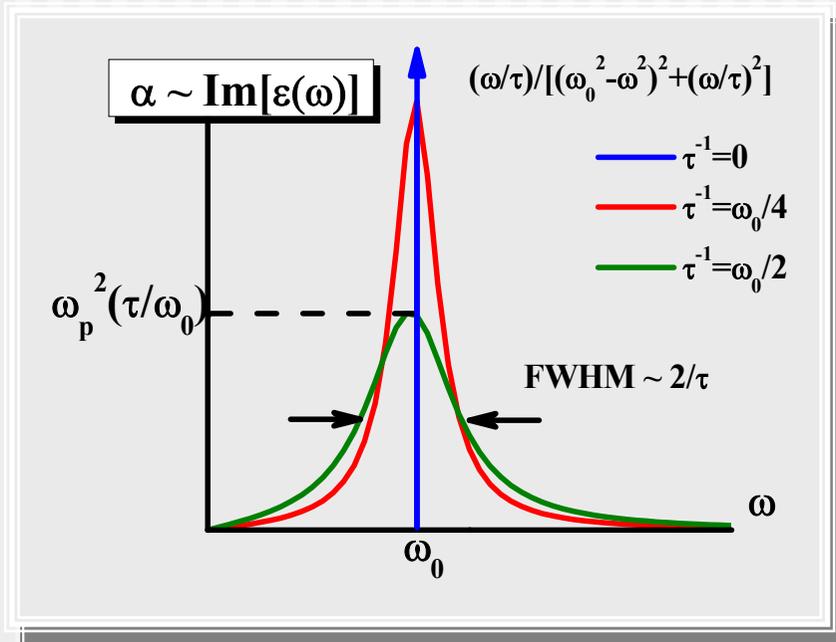
En



# Modelo Microscópico (Óptica NO-Lineal)

$$\chi^{(3)} \Leftrightarrow \alpha(\omega_1) \alpha(\omega_2) \alpha(\omega_3)$$

En nanocristales la fuerza de oscilador y la absorción lineal se concentra en transiciones bien definidas



# Propiedades Ópticas No-Lineales “Resonantes”.

- **Utilizan resonancias electrónicas para amplificar efectos.**
- **Suelen no poder ser estudiadas con el formalismo de susceptibilidades no lineales.**
  - Raman (Interacción Fotón-Fonón mediada por Electrón).
  - Absorción de Dos Fotones (Ejemplo en semiconductores:  $h\nu = E_g/2$ ).
  - Saturación de la Absorción (Ejemplo: “Band Filling”: Burstein-Moss dinámico).
  - Absorción Inducida: (Ejemplo: Renormalización de  $E_g$  por plasma electrón-huecos).

# Métodos Experimentales

## Propiedades Ópticas No-Lineales.

---

- **Necesariamente se utilizan láseres:**
  - **MUY potentes: ( $\sim 1\text{W}$ ).**
  - **Pulsados (MUY energéticos).**
  - **Sintonizables.**
  - **Configuraciones geométricas específicas.**
- Mezcla de Cuatro Ondas.
- Z-scan.
- Generación de Tercer Armónico.
- “Pump & Probe” = Excitación y Prueba.