

Leçon 28 : Propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux diélectriques

Corentin Lemaire

30 septembre 2020

Prérequis

- Équations de Maxwell
- Propagation des ondes EM dans le vide, dans les conducteurs, dans un plasma peu dense

1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptr

1 Description du milieu

1.1 Charges et courants de polarisation

1.2 Équations de Maxwell

1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

2.1 Relation de dispersion

2.2 Permittivité du diélectrique

2.3 Étude énergétique

3 Applications

3.1 Loi de Cauchy

3.2 Transmission et réflexion sur un dioptre

1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptre

1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptre

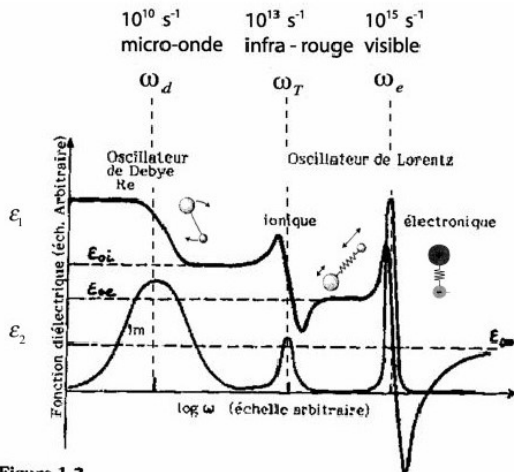


Figure 1-2

Fonction diélectrique (partie réelle et imaginaire) d'un matériau polaire faisant apparaître les différents types d'oscillateur. (Berthier)

1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptre

Retour aux équations de Maxwell

$$\operatorname{div} \vec{D} = 0 \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (4)$$

avec $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptre

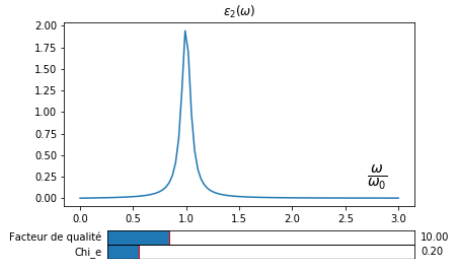
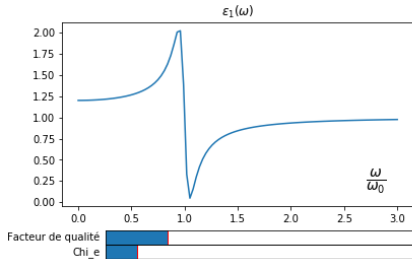
Susceptibilité du milieu :

$$\chi_e(\omega) = \frac{\frac{\omega_p^2}{\omega_0^2}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + i \frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (5)$$

en posant $\chi_e(0) = \frac{\omega_p^2}{\omega_0^2}$

$$\varepsilon_1(\omega) = 1 + \frac{\chi_e(0)(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2})}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2 + (\frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0})^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon_2(\omega) = \frac{\chi_e(0)(\frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0})}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2 + (\frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0})^2} \quad (7)$$



1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

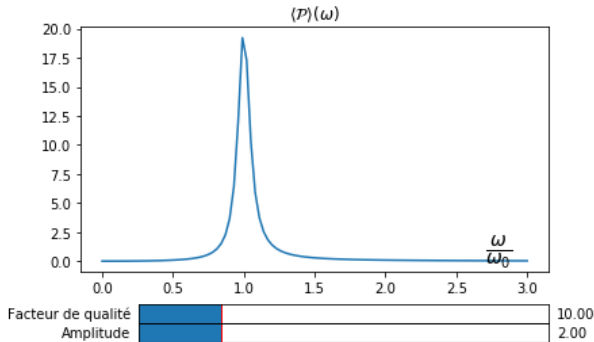
- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptre

Puissance volumique dissipée moyenne :

$$\langle \mathcal{P} \rangle = \frac{\varepsilon_0 \omega_0 E_0^2}{2} \frac{\chi_e(0) \left(\frac{1}{Q} \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2 + \left(\frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} \quad (8)$$



1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptré

Loi de Cauchy

Hypothèses

- milieu transparent : $Q \rightarrow \infty$; $\varepsilon_2 = 0$
- milieu peu dense : $\chi_e(0) \ll 1$
- au premier ordre en $\frac{\omega^2}{\omega_0^2}$

$$n = \sqrt{\varepsilon_1} = \sqrt{1 + \frac{\chi_e(0)}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}} \quad (9)$$

1 Description du milieu

- 1.1 Charges et courants de polarisation
- 1.2 Équations de Maxwell
- 1.3 Modèle de l'électron élastiquement lié (Drude-Lorentz)

2 Propagation d'une onde

- 2.1 Relation de dispersion
- 2.2 Permittivité du diélectrique
- 2.3 Étude énergétique

3 Applications

- 3.1 Loi de Cauchy
- 3.2 Transmission et réflexion sur un dioptré

Bibliographie

- Physique des diélectriques, Peuzin & Gignoux
- Les diélectriques, Coelho & Aladenize
- Electromagnétisme, Perez