Titre : n°6 Ondes Évanescentes

Présentée par : Alfred Kirsch **Rapport écrit par** : Henri Bouvier

Correcteur : Jean Hare **Date** : 12/04/21

Bibliographie		
Titre	**Auteurs**	**Éditeur**
Cours en ligne (Coursera), : https://fr.coursera.org/lecture/mecanique-quantique/8-2-la-reflexion-totale-interne-frustree-e5hyh	**Manuel Joffre et al.**	
Cours de préparation à l'agrégation de physique http://ressources.agreg.phys.ens.fr/static/Cours-TD/Hare/Cours2020.pdf	**Jean Hare**	

Plan détaillé

(indiquer parties, sous-parties, 1 ou 2 phrases d'explications par sous-partie, et références)

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Prérequis : Électromagnétisme (tout le cours), Mécanique quantique (équation de Schrodinger), Optique géométrique.

I. Ondes évanescentes électromagnétiques
   A. Définition et mise en évidence expérimentale (~5-6min).
   B. Explication théorique : dépasser les lois de Snell-Descartes.
II. Ondes évanescentes au sens large
   A. Extension à d'autres domaines de la physique des ondes.
   B. Ondes évanescentes de matière : effet tunnel.
III. Applications
   A. Application au champ proche : microscopie optique en champ proche et microscopie à effet tunnel.
   B. Quelques applications technologiques : scanner à empreintes digitales et granulométrie.

Intro (~1min)

I. Ondes évanescentes électromagnétique

A. Définition et mise en évidence expérimentale (~6min)

Définition (diapo) + mise en évidence avec laser et diélectrique hémisphère
« Ondes électromagnétiques qui se créent a proximité de la surface d'un milieu, se propagent parallèlement à cette surface et s'amortissent très rapidement à l'intérieur du milieu »

+ vidéo (https://fr.coursera.org/lecture/mecanique-quantique/8-2-la-reflexion-totale-interne-frustree-e5hyh) : réflexion interne totale frustrée

B. Explication théorique : dépasser les lois de Snell-Descartes (~15min)

Dessin de réfraction et loi de S-D.
Angle limite classique : $\sin(i_1) < n_2/n_1$
On étudie le cas $\sin(i_1) > n_2/n_1$

Eq. Maxwell : $\Delta E - n^2/c^2 * d^2E/dt^2 = 0$ (vecteur) dans diélectrique homogène et isotrope
$E= \varepsilon(r)\exp(-i\omega t)$
On obtient : $\Delta\varepsilon - n^2/c^2 *\omega^2 \varepsilon = 0 = \Delta\varepsilon - k^2\varepsilon$ <u>Equation de Helmholtz</u>

n1-2 x E = 0 (vecteurs)
$E_i+E_r=E_t$ (normes) pour tout x et tout t
Tout t impose : $\omega=\omega_r=\omega_t$
Tout x impose : $k_x=k_{xr}=k_{xt}$

$k_{tz}^2=k^2_z - k_1^2\sin^2(i_1)$
Si $k_1^2\sin^2(i_1) < k^2_z$ on retrouve sin(i1) < n2/n1 et K_{tz} appartient a R -> propagation
Si $k_1^2\sin^2(i_1) > k^2_z$ alors k_{tz} appartient a i*R (imaginaire pur) et on a $K_{tz}=\pm i*\text{racine}(k_1^2\sin^2(i_1)- k^2_z)$ donc décroissance exponentielle de l'onde

II. Ondes évanescentes au sens large

A. Extension à d'autres domaines de la physique (~5min)

K imaginaire -> exponentielle décroissante
Effet de peau : $\delta=\text{racine}(2/(\mu_0*\gamma_0* \omega))$
$j=\gamma*E$ (vecteurs complexes)
$\omega << 1/\text{tau}$

B. Ondes évanescentes de matière : effet tunnel (~6min)

Schrödinger temporel. Solution de la forme $\psi=\phi(r)\exp(-iEt/\hbar)$

Barrière de potentiel :
$\Delta\phi - 2m(E-V)/\hbar^2 = 0$
Dans région 1 E>V donc $k^2>0$ et propagation
Dans région 2 : $E<V$ -> $k^2<0$ onde évanescente

Pour une marche de petite épaisseur : région 3 ou E>V et l'on récupère propagation -> Effet tunnel

III. Applications (diapos) (~6min)

Microscopie en champ proche
Scanner empreinte digitale
Granulométrie (en développement)

Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

(l'étudiant liste les questions posées, ainsi que les réponses données par l'enseignant. Si certaines réponses manquent, l'enseignant pourra compléter le document)

- Tache allongée lors d'expérience de mise en évidence de OE ?
  - Il faut appuyer pour obtenir RTI frustrée car caractère rugueux des surfaces
  - Effet de lentille de surface courbée de premier dioptre, et donc certains rayons en dessous de angle de réflexion totale.
- $\sin(i_1) < n_2/n_1$ mais est ce que n_2/n_1 > ou < a 1 ?
  - Il faut que $n_2/n_1 < 1$ car sinon on n'aura jamais RTI : passage a milieu a indice plus élevé.
- $k_{tz}=\pm i$*racine -> ou est passe le ± ?
  - c'est convention de phase ?
- Attention : est-ce que densité de probabilité oscille dans la région 1 et 3 ?
  - ?
- Peut-on obtenir une onde évanescente non exponentielle ? Que se passe t'il si barrière n'est pas constante -> e.g. milieu non isotrope ?
  - ?
- Étapes pour obtenir équation de Helmholtz : hypothèses diélectrique homogène et isotrope mais aussi ?
  - ?
- Effet de peau -> régime des plasmas ? Attention, différence entre métal et plasma ? Quelle est équation de dispersion des ondes dans plasma ?
  - $K^2=(\omega^2-\omega_p^2)/c^2$ dans plasma on peut que avoir réel ou imaginaire pur -> pas d'oscillation, pas de propagation
  - Attention mot dissipation ? Dans quel cas y a-t-il dissipation et dans quel cas non ?
- Dans domaine quantique -> vous avez considéré une « onde stationnaire » mais e-iwt donc onde pas stationnaire
  - « état stationnaire ».
- Quel rôle joue le détecteur en champ lointain dans schéma de microscope a champ proche ?
  - ?
-

Commentaires lors de la correction de la leçon

(l'étudiant note les commentaires relatifs au contenu de la leçon : niveau, sujets abordés, enchaînement, réponses aux questions, etc. L'enseignant relit, et rectifie si besoin)

- Peut-on obtenir une onde evanescente non exponentielle ? Que se passe t'il si barrière n'est pas constante -> e.g. milieu non isotrope ?
    - Barriere coulombienne : fonction de Bessel sphérique dans zone permise, mais au voisinage de l'origine (zone interdite) -> $(kr)^l$
-

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.) :

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates :

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur) :

Bibliographie conseillée :