

Programme de colles de physique Semaine du 3 au 7 février

Phénomènes de propagation linéaires

Programme

Absorption et dispersion dans un plasma : modèle du plasma peu dense (la composante magnétique de la force de Lorentz est négligeable devant la composante électrique), conductivité imaginaire pure, relation de dispersion. Discussion de la nature du plasma en fonction de la pulsation : dispersif pour $\omega > \omega_p$, onde évanescente pour $\omega < \omega_p$, aspect énergétique.

Absorption et dispersion dans un conducteur ohmique : conductivité complexe, structure de l'onde, dispersion et absorption (expression de la vitesse de phase en fonction de $\Re(\underline{k})$, distance caractéristique d'atténuation en fonction de $\Im(\underline{k})$), effet de peau à basse fréquence (expression de \underline{k} , distance caractéristique, aspect énergétique), cas des hautes fréquences.

Paquets d'onde : problématique, cas de la superposition de deux OPPH (vitesse de phase de l'onde moyenne, vitesse de groupe de l'enveloppe), paquet d'onde (expression intégrale de Fourier, factorisation en onde moyenne \times enveloppe, vitesse de groupe).

Interface entre deux milieux dans le cas de l'incidence normale : conditions aux limites (on suppose l'absence de courants surfaciques), coefficients de réflexion et transmission en amplitude (pour le champ électrique), coefficients de réflexion et transmission en puissance (l'expression de T_n n'est pas donnée dans le cas général).

Cas de l'interface vide-plasma : réflexion totale de l'énergie pour $\omega < \omega_p$.

Capacités exigibles

Justifier la neutralité électrique locale du plasma en présence d'une onde transverse. Établir l'expression de la conductivité électrique complexe du plasma. Établir la relation de dispersion caractéristique d'un phénomène de propagation en utilisant des ondes de la forme $\exp i(\omega t - \underline{k}x)$. Distinguer différents types de comportements selon la valeur de la pulsation. Citer les caractéristiques d'une onde stationnaire évanescente. Interpréter énergétiquement le caractère imaginaire pur de la conductivité électrique complexe du plasma. Justifier que, dans le domaine réactif, une onde électromagnétique harmonique ne transporte aucune puissance en moyenne.

Associer les parties réelle et imaginaire de \underline{k} aux phénomènes de dispersion et d'absorption. Identifier une analogie avec un phénomène de diffusion. Établir la relation de dispersion des ondes électromagnétiques dans un conducteur ohmique à basses fréquences. Associer l'atténuation de l'onde dans le milieu conducteur à une dissipation d'énergie. Estimer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à différentes fréquences.

Énoncer et exploiter la relation entre les ordres de grandeur de la durée temporelle d'un paquet d'onde et la largeur fréquentielle de son spectre. Déterminer la vitesse de groupe d'un paquet d'ondes à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes.

Exploiter la continuité (admise) du champ électromagnétique dans cette configuration pour obtenir l'expression du coefficient de réflexion en fonction des indices complexes.

Distinguer les comportements dans le domaine de transparence et dans le domaine réactif du plasma.

Cas d'une interface vide-conducteur : réflexion quasi-totale pour $\delta\omega \ll c$, réflexion totale dans le domaine optique (et déphasage de $-\pi$ pour la réflexion).

Cas de l'incidence oblique (ouverture) : établissement des lois de Descartes.

Identifier le comportement du métal dans le domaine visible, avec celui d'un plasma localement neutre peu dense en dessous de sa pulsation de plasma. Associer la forme du coefficient complexe de réflexion à l'absence de propagation d'énergie dans le métal en moyenne temporelle.

Approche ondulatoire de la mécanique quantique – Cours uniquement

Programme

Rappels de sup : dualité onde-corpuscule pour la lumière (relation de Planck-Einstein), dualité onde-corpuscule pour la matière (relation de de Broglie), inégalité d'Heisenberg spatiale.

Équation de Schrödinger : fonction d'onde, densité de probabilité de présence, condition de normalisation, énoncé de l'équation de Schrödinger.

La particule quantique libre : définition, solution en état stationnaire.

Paquet d'onde : définition, évolution dans le temps du paquet d'onde, vitesse de groupe.

Courant de probabilité associé à une particule libre.

Interférences d'ondes de matière : superposition de fonctions d'onde, densité de probabilité de présence sur l'écran, lien avec les interférences en optique.

Capacités exigibles

Normaliser une fonction d'onde.

Faire le lien qualitatif avec la notion d'orbitale en chimie.

Utiliser l'équation de Schrödinger fournie.

Identifier les états stationnaires aux états d'énergie fixée. Établir et utiliser la relation : $\psi(x, t) = \varphi(x) \exp\left(-i\frac{E}{\hbar}t\right)$ et l'associer à la relation de Planck-Einstein.

Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes.

Utiliser l'équation de Schrödinger pour la partie spatiale $\varphi(x)$. En exploitant l'expression classique de l'énergie de la particule libre, associer la relation de dispersion obtenue et la relation de de Broglie.

Identifier vitesse de groupe et vitesse de la particule. Faire le lien avec l'inégalité d'Heisenberg spatiale.

Utiliser l'expression admise $\vec{j} = |\psi|^2 \frac{\hbar \vec{k}}{m}$ et l'interpréter comme produit densité×vitesse.

Relier la superposition de fonctions d'ondes à la description d'une expérience d'interférences entre particules.

Particule dans un puits infini : définition, fonctions d'ondes propres, quantification de l'énergie, exploitation qualitative de l'inégalité d'Heisenberg.

Évolution temporelle d'une particule confinée dans une superposition d'états.

Particule dans un puits fini : modèle, forme générale des fonctions d'onde, recherche des états stationnaires pairs et impairs, quantification de l'énergie, élargissement du puits de potentiel.

Barrière de potentiel : modélisation, fonctions d'onde, facteur de transmission de la barrière de potentiel, effet tunnel.

Établir les expressions des énergies des états stationnaires. Faire l'analogie avec la recherche des pulsations propres d'une corde vibrante fixée en ses deux extrémités. Retrouver qualitativement l'énergie minimale à partir de l'inégalité d'Heisenberg spatiale. Associer le confinement d'une particule quantique à une augmentation de l'énergie cinétique.

Mettre en évidence les oscillations d'une particule dont la fonction d'onde s'écrit comme la superposition de deux états stationnaires et relier la fréquence d'oscillation à la différence des énergies.

Mettre en place les éléments du modèle : forme des fonctions d'onde dans les différents domaines. Utiliser les conditions aux limites admises : continuité de φ et $\frac{d\varphi}{dx}$. Associer la quantification de l'énergie au caractère lié de la particule. Mener une discussion graphique. Interpréter qualitativement, à partir de l'inégalité d'Heisenberg spatiale, l'abaissement des niveaux d'énergie par rapport au puits de profondeur infinie.

Associer l'existence d'une probabilité de traverser une barrière de potentiel et l'existence de deux ondes évanescentes dans la zone classiquement interdite. Exprimer le coefficient de transmission comme un rapport de courants de probabilités. Utiliser une expression fournie du coefficient de transmission à travers une barrière de potentiel.

Modèle scalaire des ondes lumineuses – Cours uniquement

Programme

Les sources : émission spontanée (durée des trains d'onde), cas d'une source utilisant la désexcitation radiative (caractère aléatoire de l'émission des trains d'onde, temps de cohérence), émission stimulée, lien entre largeur spectrale et durée du train d'onde.

Capacités exigibles

Classifier différentes sources lumineuses (lampe spectrale, laser, lumière blanche...) en fonction du temps de cohérence de leurs diverses radiations et connaître quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées. Utiliser la relation $\Delta f \Delta t \simeq 1$ pour relier le temps de cohérence et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la radiation considérée.

Les récepteurs : exemples (l'œil, les capteurs CCD/CMOS, les photorécepteurs électroniques), éclairement (lien avec le champ électrique)

De l'onde électromagnétique à l'onde lumineuse : utilisation de la grandeur scalaire pour les ondes de polarisation rectiligne (sensiblement) égales ou pour les ondes non polarisées de directions de propagation (sensiblement) égales, signal lumineux (ou vibration lumineuse).

Phase et chemin optique : définition du chemin optique, déphasage par propagation, déphasages supplémentaires, définition de la surface d'onde (théorème de Malus), propriété des ondes sphériques.

Ondes planes et sphériques : expression des vibrations lumineuses, effet d'une lentille mince.

Comparer le temps de réponse d'un récepteur usuel (œil, photodiode, capteur CCD) aux temps caractéristiques des vibrations lumineuses.

Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique. Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante d'un champ électrique.

Exprimer le retard de phase en un point en fonction du retard de propagation ou du chemin optique.

Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image.

Associer une description de la formation des images en termes de rayons lumineux et en termes de surfaces d'onde.

TP

Polarisation des ondes électromagnétiques.

Oscillateur à pont de Wien.