

## Programme de colles de physique Semaine du 4 au 8 mars

### Approche ondulatoire de la mécanique quantique

Programme	Capacités exigibles
<p>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.</p> <p>Équation de Schrödinger : fonction d'onde, densité de probabilité de présence, condition de normalisation, énoncé de l'équation de Schrödinger.</p> <p>La particule quantique libre : définition, solution en état stationnaire.</p>	<p>Normaliser une fonction d'onde.</p> <p>Faire le lien qualitatif avec la notion d'orbitale en chimie.</p> <p>Utiliser l'équation de Schrödinger fournie.</p> <p>Identifier les états stationnaires aux états d'énergie fixée. Établir et utiliser la relation : <math>\psi(x, t) = \varphi(x) \exp\left(-i\frac{E}{\hbar}t\right)</math> et l'associer à la relation de Planck-Einstein.</p> <p>Distinguer l'onde associée à un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes.</p> <p>Utiliser l'équation de Schrödinger pour la partie spatiale <math>\varphi(x)</math>. En exploitant l'expression classique de l'énergie de la particule libre, associer la relation de dispersion obtenue et la relation de de Broglie.</p>
<p>Paquet d'onde : définition, évolution dans le temps du paquet d'onde, vitesse de groupe.</p>	<p>Identifier vitesse de groupe et vitesse de la particule. Faire le lien avec l'inégalité d'Heisenberg spatiale.</p>
<p>Courant de probabilité associé à une particule libre.</p>	<p>Utiliser l'expression admise <math>\vec{j} =  \psi ^2 \frac{\hbar \vec{k}}{m}</math> et l'interpréter comme produit densité×vitesse.</p>
<p>Interférences d'ondes de matière : superposition de fonctions d'onde, densité de probabilité de présence sur l'écran, lien avec les interférences en optique.</p> <p>Particule dans un puits infini : définition, fonctions d'ondes propres, quantification de l'énergie, exploitation qualitative de l'inégalité d'Heisenberg.</p>	<p>Relier la superposition de fonctions d'ondes à la description d'une expérience d'interférences entre particules.</p> <p>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.</p>
<p>Évolution temporelle d'une particule confinée dans une superposition d'états.</p>	<p>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.</p>

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.

Mettre en place les éléments du modèle : forme des fonctions d'onde dans les différents domaines. Utiliser les conditions aux limites admises : continuité de  $\varphi$  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.

## Révisions d'optique géométrique

### Modèle scalaire des ondes lumineuses

#### 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.

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).

#### 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  $\Delta f \Delta t \approx 1$  pour relier le temps de cohérence et la largeur spectrale  $\Delta \lambda$  de la radiation considérée.

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.

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.

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.

### Généralités sur les interférences

Programme	Capacités exigibles
<p>Superposition de deux ondes : vibration et intensité, premier critère de cohérence (les sources doivent avoir même fréquence), différences de marche (géométrique, supplémentaire et optique), compléments sur la cohérence (longueur de cohérence temporelle, longueur de cohérence spatiale, cas de la lumière polarisée).</p> <p>Formule de Fresnel</p>	<p>Justifier et utiliser l'additivité des intensités pour deux ondes incohérentes entre elles.</p>
<p>Figure d'interférence : ordre d'interférence (<math>p</math> est entier pour une frange brillante, entier <math>+ 1/2</math> pour une frange sombre), contraste.</p> <p>Les deux types de systèmes interférentiels.</p>	<p>Établir la formule de Fresnel. Identifier une situation de cohérence entre deux ondes et utiliser la formule de Fresnel.</p> <p>Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférence. Associer un bon contraste à des ondes d'intensités <math>I_1</math> et <math>I_2</math> voisines.</p>

### Dispositif à division du front d'onde : les trous de Young – Cours uniquement

Programme	Capacités exigibles
<p>Dispositif des trous de Young pour une source ponctuelle : observation expérimentale (la figure d'interférence est limitée par la diffraction), différence de marche (observation à distance finie pour <math>D \gg x, a</math>), intensité lumineuse en un point de l'écran (ordre d'interférence, interfrange).</p>	<p>Identifier l'effet de la diffraction sur la figure observée. Savoir que les franges ne sont pas localisées. Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférence. Justifier la forme des franges observées sur un écran éloigné parallèle au plan contenant les trous de Young.</p>
<p>Montage de Fraunhofer : description, différence de marche, ordre d'interférence et interfrange.</p>	<p>Exprimer l'ordre d'interférence sur l'écran dans le cas d'un dispositif des trous de Young utilisés en configuration de Fraunhofer.</p>
<p>Effet d'un élargissement spatial de la source : effet du déplacement d'une source ponctuelle, cas d'une bi-source, cas d'une source étendue.</p>	<p>Utiliser le critère semi-quantitatif <math> \Delta p  &gt; 1/2</math> (où <math> \Delta p </math> est évalué sur la moitié de l'étendue spatiale de la source) pour interpréter les observations expérimentales.</p>

Effet d'un élargissement spectral de la source : cas d'un doublet (périodicité du brouillage, ordre de grandeur pour le sodium), cas d'une source quasi-monochromatique (utilisation du critère semi-quantitatif  $\Delta p \leq 1/2$ , condition sur la différence de marche, longueur de cohérence temporelle), cas de la lumière blanche (ordre de grandeur de  $l_c$ , blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé : détermination des longueurs d'onde éteintes).

Ajout d'une lame de verre devant un des trous, dispositif des fentes d'Young

Utiliser le critère semi-quantitatif  $|\Delta p| > 1/2$  (où  $|\Delta p|$  est évalué sur la moitié de l'étendue spectrale de la source) pour interpréter des observations expérimentales. Relier la longueur de cohérence,  $\Delta\lambda$  et  $\lambda_m$  en ordre de grandeur.

Déterminer les longueurs d'onde des cannelures.

Expliquer l'intérêt pratique du dispositif des fentes d'Young comparativement aux trous d'Young.

### Dispositif à division d'amplitude : interféromètre de Michelson – Cours uniquement

#### Programme

L'interféromètre de Michelson : description, nécessité de la compensatrice.

Utilisation en lame d'air. Cas de la source ponctuelle : différence de marche, ordre d'interférence, rayon du premier anneau, les interférences ne sont pas localisées. Source spatialement étendue : on admet la localisation à l'infini, différence de marche. Figure d'interférence, intensité sur l'écran, rayon des anneaux.

Utilisation en coin d'air. Éclairage par une source ponctuelle : on obtient une géométrie similaire aux trous de Young. Éclairage par une source étendue : on admet que les franges sont localisées sur les miroirs, ordre d'interférence, différence de marche (calcul simplifié pour  $\varepsilon \ll 1$ ), figure d'interférence, interfrange.

#### Capacités exigibles

Établir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférence en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde. Justifier les conditions d'observation des franges d'égale inclinaison, le lieu de localisation des franges étant admis.

Utiliser l'expression donnée de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférence. Justifier les conditions d'observation des franges d'égale épaisseur, le lieu de localisation étant admis.

### TP

Oscillateur à pont de Wien.