

L'interféromètre stellaire de Michelson

On constate qu'il y a une condition sur la cohérence spatiale : $a \cdot b < \lambda \cdot d$ donc c'est lié au diamètre angulaire de la source.

Avec le soleil, une feuille de papier et deux trous séparés de 0,5 mm on ne peut pas avoir des interférences ; la manip en revanche donne des résultats avec une étoile comme Bételgeuse.

Miroirs espacés de 3 m ; alignement au micromètre.

Partie pédagogique

Traité en TS, partie « Observer » : pratiques une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement le phénomène d'interférences dans le cas des ondes lumineuses.

Prérequis : la diffraction (Vu en seconde ?)

Séance de TP.

Détaille son TP.

Une première partie qualitative

Une seconde partie « investigation », groupes de 2 plutôt, hypothèses.

Graphique = abscisse, ordonnée ?

Qu'est-ce qui va être intéressant dans la droite : pente ou ordonnée à l'origine ? (Pente)

Prétexte à calcul d'incertitude !

Proposer un protocole : on attend une réelle autonomie de l'élève.

TP qui doit venir après le cours.

Vidéo : molécules arrivant sur un dispositif de Young, les franges se forment au fur et à mesure. Film purement démonstratif, aucune donnée chiffrée dessus, ne sait pas ce qu'on fait interférer, etc...

Conclusion

Phénomène ondulatoire par excellence, très riche mais difficile d'abord, c'est sans doute pour cela qu'on l'enseigne relativement tard au lycée.

Commentaires et questions

- *Tu as défini l'amplitude d'une onde lumineuse, ça correspond à quoi ?* Onde lumineuse = OEM, champ magn et élec périodiques dans l'espace et le temps ; par exemple amplitude du champ élec pour une onde polarisée
- *C'est quoi la polarisation ?* L'onde ne varie pas dans une direction mais tourne, polarisation elliptique ou circulaire
- *C'est quoi la déf de la polarisation ?* Direction du vecteur champ électrique
- *Est-elle tjs définie ? Quelle est la diff entre une lum naturelle et de la lum polarisée elliptiquement ?* La lum naturelle est un mélange ; la projection du champ élec d'une onde sera un cercle ou une ellipse
- *Mais c'est pareil avec de la lumière naturelle ?* Variation d'amplitude dans la lumière naturelle
- *Quel est le rôle de la polarisation ?* Je ne sais pas car choix du modèle scalaire ?
- *Pouvait-on ?* Je ne sais pas (lois de Fresnel-Arago)
- *Peut-il préciser sa définition de l'amplitude ?* Passage par l'amplitude complexe avec A et A*
- *A quoi ça sert de passer par A et A* ?* A éliminer la dépendance temporelle ? Non, à revoir ! (Annexe ed Jacques M. que vous avez tous dû noter !)
- *Ordres de grandeur de moyennes temporelle ?* Œil : persistance rétinienne 0,1 s ; 10^{-6} s de temps de réponse pour un capteur standard du marché
- *Lien avec les valeurs moyennes ?* Le capteur ne peut suivre ni l'enveloppe (10^{-12} s) ni la porteuse (10^{-15} s) : on est dans le domaine du visible
- *Cohérence spatiale : sinc ? Sait-il associer un théorème général ou est-ce particulier aux fentes d'Young ?* Fourier.
- *Le terme de contraste, c'est une image de quoi ?* C'est une image de l'étendue de la source.

- *Est-ce général ou non ? Général mais ne sait pas pourquoi*
- *Avec deux sources secondaires dans un dispositif avec division du front d'onde, est-ce que ça marcherait avec un dispositif à division d'amplitude ? Point à revoir : le distinguo entre division front d'onde et d'amplitude n'est pas correct*
- *Représenter le modèle équivalent du Michelson pour prouver qu'on a réellement division d'amplitude et non du front d'onde*
- *Qu'est-ce qui interdit de donner une extension spatiale à ma source pour essayer de calculer ensuite le contraste ? Pourquoi dans les fentes on divise le front d'onde et dans le Michelson on divise l'amplitude ? La séparatrice joue un rôle de division*
- *Tu as parlé d'onde de matière ? kesaquo ? La longueur d'onde de la matière, peux-tu la définir ? Relations d'Heisenberg : $\lambda \cdot p = h$ d'où p . (h = constante de Planck)*
- *Pourquoi peut-on associer une onde à une molécule ? Histoire de vitesse. De Broglie 1927 dualité onde-particule.*
- *Pourquoi peut-on considérer des ondes de matière ? Quantification identique à ce qui se passe lorsque corde qui vibre entre deux extrémités fixes*
- *De manière générale cette dualité peut-on l'appliquer à toutes les particules ? Oui (à creuser)*
- *Interférences associées à quel type de description de la matière ? Ondulatoire, on sait faire des interférences avec des protons, des électrons, etc.*
- *Loi de Bragg : $2 \cdot d \cdot \sin\theta = k \cdot \lambda$ vision à 2 dimensions.*
- *A quoi ça sert ? différence de chemin optique multiple de la longueur d'onde utilisée, ça sert à déterminer la structure des cristaux (RX)*
- *Autre exemple ? On peut envoyer des électrons sur le cristal.*
- *Tu as fait des sommes d'intensité, d'amplitudes, pourquoi ? Somme des amplitudes qd sources cohérentes entre elles ; intensités quand sources non cohérentes entre elles.*
- *Que vient faire la cohérence temporelle dans cette histoire ? On a deux trains d'onde ; pour qu'ils interfèrent il faut que les trains d'onde soient en phase : lié à la largeur spectrale de la source, à sa « monochromaticité »*
- *On suppose donc qu'on a une grande cohérence temporelle ? Si on prend un deuxième point sur la source pourquoi fait-on des sommes d'intensité ? On a des atomes qui vibrent sans « savoir » ce que font les voisins : les trains d'onde sont totalement différents.*
- *Physiquement ces atomes envoient quoi ? Un champ \vec{E} et \vec{B} .*
- *L'intensité ça correspond à quoi ? Nombre de photons x énergie (de chq photon)*
- *Et en aspect ondulatoire ? densité d'énergie électromagnétique, transportée par vecteur de Poynting*
- *Du coup l'amplitude introduite au début est homogène à quoi ? Dire que l'intensité est une constante x le carré de l'amplitude car cela éviterait les soucis d'homogénéité.*
- *Photométrie : mesure de l'intensité de la lumière, avec des coefficients, etc., et des unités toutes plus variées les unes que les autres.*
- *Partie pédagogie : première question de prévision, que peuvent-ils prévoir ? Même s'ils avaient fait la diffraction (faite juste avant en cours ou en TP, en principe) que peuvent-ils prévoir ? Ils n'ont pas les moyens de prévoir.*
- *Mais comment peuvent-ils le savoir ? S'attend à une figure type diffraction*
- *Qu'ont-ils fait en cours avant ? Propriétés des ondes*
- *Quelle durée ? C'est prévu en 2 h.*
- *Avant de proposer un TP aux élèves les avoir fait travailler sur des exemples pas tirés de l'optique. Le meilleur moyen de les sensibiliser aux interférences ? Avec cuve à ondes*
- *La difficulté est de faire une analogie soignée entre ondes méca et ondes lumineuses ? Où est l'interfrange sur une cuve à ondes ?*
- *Jolie manip : simuler ce qui se passe avec l'œil : faire une moyenne temporelle avec un appareil photo : temps de pose court, temps de pose long (10 s) : on voit les hyperboles car le temps de réponse est supérieur au*

temps du phénomène. Ajouter une photo de la cuve à ondes sans interférences (serait toute grise). L'appareil photo somme les amplitudes !

- C'est la moins mauvaise des analogies car phénomène transverse ; analogie simple avec l'Optique ; l'acoustique peut être plus compliquée.
- Attention le BO dit **quantitativement** et pas qualitativement.
- Pourquoi proposer d'entrée une expérience qui mixe interférences et diffraction ? (Remarque perso : ce n'est pas la première fois qu'on attire notre attention sur le fait que les fentes d'Young sont un « mix » entre diffrac et Interf...)
- Sur le casque anti-bruit mais ATTENTION aux ondes acoustiques, ondes longitudinales, diffractent très très facilement...
- Mesure d'interfrange dans manip qualitative ?
- Calcul d'incertitude avec les racines carrées ? Ce serait la moins mauvaise formule de calcul. On suppose qu'on a une incertitude gaussienne sur chacune des variables, on fait une somme quadratique de toutes les incertitudes... (Remarque perso c'est la formule qui doit être utilisée en TS, sans justification aucune).
- Quand tu fais ta démarche d'investigation, on ne peut pas forcément avoir le « bon matériel »... Que répondre à un élève qui dirait : « Mais Monsieur vous trichez ! C'est pas un vrai paramètre ! »
- Il existe des pointeurs laser vert, bleu, rouge pas très chers.
- Une idée : toujours pour s'affranchir : étude qualitative abrupte. Faire une étude documentaire avec une visite du microscope électronique (La Doua, Mines de Saint-Etienne) : aile de papillon, pigments : il n'y a pas de pigments, d'où vient la couleur ? Voient les « tuiles », ont une idée de la structure d'une aile de papillon, et ensuite on passe au quantitatif....
- Carte mentale au début : on aurait pu demander ce qui s'adresse réellement aux élèves dans sa carte mentale ? Dans les notions qu'est-ce qu'on aborde réellement avec les élèves ? interférences constructives et destructives.
- Assurer la carte mentale avec un pdf avant par sécurité pour s'affranchir des soucis techniques !
- Carte qui permet d'introduire les concepts dont on a besoin. Il aurait dû rester dessus, très bien pour les 10 premières minutes ; on peut faire écho entre interfrange et contraste puisqu'on a fait le calcul !