

Expérience de Carnal et Mlynek

Préambule

Extrait du programme d'enseignement spécifique de physique-chimie de la série scientifique en classe terminale ([Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011](#))

Énergie, matière et rayonnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Dualité onde-particule</p> <p>[...] Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.</p> <p>[...]</p>	<p>[...]</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule.</p> <p>Connaître et utiliser la relation $p = h/\lambda$.</p> <p>Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.</p> <p>[...]</p>

Résumé :

Cette activité repose sur la description et l'utilisation d'une expérience récente d'interférences utilisant des atomes d'hélium. Elle vise à faire découvrir par l'élève le comportement ondulatoire d'une particule, à introduire la relation de de Broglie et à l'utiliser.

Mots clefs :

interférences, diffraction, dualité onde-particule, relation de de Broglie

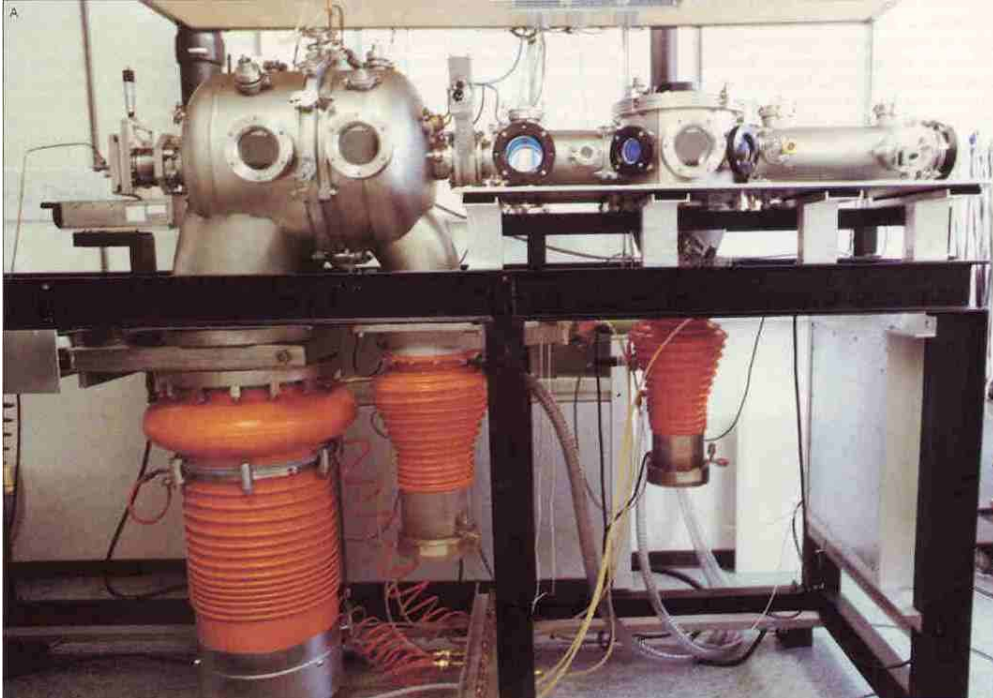
Compétences abordées

Cette activité permet d'évaluer les compétences suivantes :

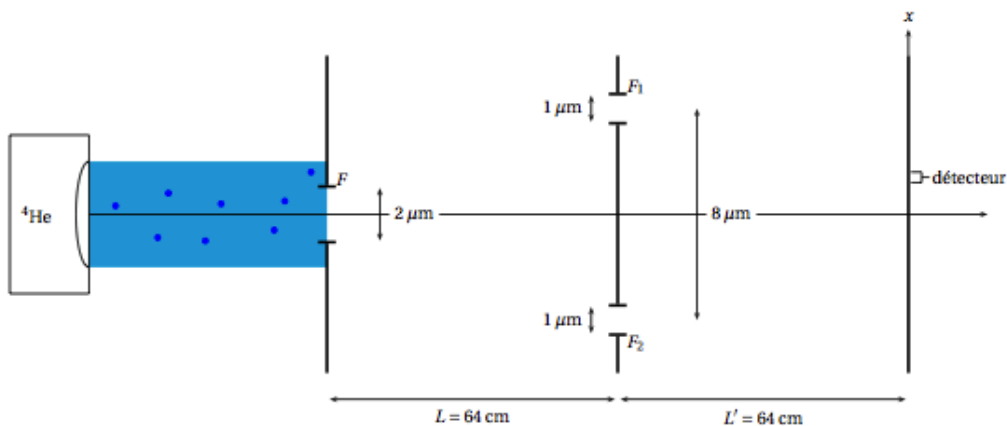
Compétences attendues :				
1 – non maîtrisées				
2 – insuffisamment maîtrisées				
3 – maîtrisées				
4 – bien maîtrisées	1	2	3	4
Compétences générales :				
Restituer et mobiliser les connaissances exigibles				
Raisonner, argumenter et faire preuve d'esprit critique				
Compétences expérimentales :				
Analyser les phénomènes, protocoles et résultats				

1. Le principe

En 1991, O. Carnal et J. Mlynek publient un article dans la revue scientifique *Physical Review Letters*. Les deux documents ci-dessous donnent la photographie du dispositif expérimental ainsi qu'un schéma très simplifié de l'expérience.



Document 1 – photographie du dispositif expérimental (La Recherche 247, oct. 1992)
Les dispositifs de couleur orange sont des pompes permettant d'obtenir un très bon vide dans l'enceinte supérieure où se déroule l'expérience.



Document 2– schéma de principe de l'expérience (échelles non respectées)

Description sommaire de l'expérience :

Un réservoir, situé à gauche, émet des atomes d'hélium.

Ces atomes rencontrent une première fente F réalisée dans une feuille d'or. Ils rencontrent ensuite une autre feuille d'or percée de deux fentes F_1 et F_2 .

Le détecteur, situé à droite et placé à l'arrière de l'écran, compte les impacts individuels des atomes d'hélium. Le vide dans l'enceinte est suffisamment poussé pour que la probabilité d'une collision entre atomes d'hélium et molécules résiduelles de N_2 et O_2 soit extrêmement faible.

2. La situation expérimentale

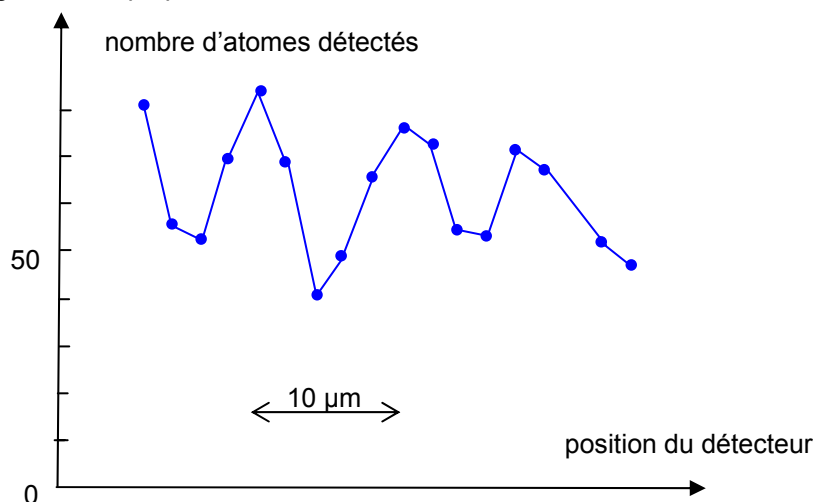
1. Dualité onde-corpuscule

1.1. En considérant que, dès la sortie du réservoir, les atomes se déplacent en ligne droite, tracer leurs trajectoires sur le document 2 en sortie de la fente F.

1.1.a. Les particules peuvent-elle atteindre les fentes F_1 et F_2 ?

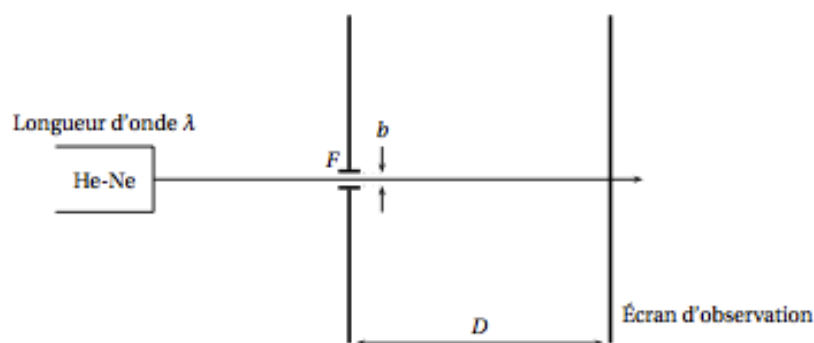
1.1.b. Avec cette hypothèse, le détecteur placé après les fentes F_1 et F_2 détecte-t-il des atomes ?

1.2. Comme le montre le document 3, le détecteur compte effectivement des atomes pour différentes positions du détecteur. On se propose d'interpréter ces observations en s'appuyant sur une analogie avec l'optique.



Document 3 – nombre d'atomes détectés en fonction de la position du détecteur

1.2.a. On éclaire une fente suffisamment fine à l'aide d'une source lumineuse monochromatique, un laser HeNe par exemple. Le dispositif est représenté sur le document 4. Dessiner et nommer la figure obtenue sur l'écran ci-dessous.



Document 4- expérience d'optique

1.2.b. Donner l'expression de la largeur de la tache lumineuse observée sur l'écran en fonction de λ , b et D .

1.2.c. En transposant le résultat de la question 1.2.a à l'expérience de Carnal et Mlynek décrite sur le document 2, proposer une explication à la détection d'atomes d'hélium par le détecteur placé après les fentes F_1 et F_2 .

2. Longueur d'onde d'une onde de matière

Comme pour les ondes lumineuses, on associe à toute particule une longueur d'onde appelée longueur d'onde de De Broglie λ_{DB} . Elle s'exprime par la relation : $\lambda_{DB} = \frac{h}{mv}$ où m est la masse de la particule, v sa vitesse et h la constante de Planck.

2.1. Calculer λ_{DB} dans l'expérience de Carnal et Mlynek pour une vitesse typique, reliée à la température qui règne dans le réservoir, égale à $v = 9,70 \cdot 10^2 \text{ m.s}^{-1}$.

Données : $m = 4,0 \text{ ua}$ et $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

Montrer, à l'aide du document 2, que les deux fentes F_1 et F_2 sont toutes deux contenues dans la tache centrale de la figure de diffraction obtenue par la fente F . On utilisera pour cela l'expression de l'ouverture angulaire lors de la diffraction d'une onde lumineuse monochromatique à la traversée d'une fente de largeur b trouvée à la question **1.2.b**.

Données : largeur de la fente F : $2 \mu\text{m}$; largeur des fentes F_1 et F_2 : $1 \mu\text{m}$; distance $F_1F_2 = 8 \mu\text{m}$; $L = L' = 64 \text{ cm}$.

2.2. Le document 3 représente le nombre d'atomes détectés en fonction de la position du détecteur.

2.2.a. Justifier en quoi cette répartition illustre un phénomène d'interférences atomiques.

2.2.b. Dans le cas des fentes d'Young éclairées par une onde lumineuse monochromatique, l'interfrange est la distance séparant deux franges consécutives de même nature (claires ou sombres). En transposant cette définition de l'interfrange au cas des interférences atomiques, réaliser plusieurs évaluations de l'interfrange i grâce au document 3 et proposer un encadrement sous la forme $i_{\min} \leq i \leq i_{\max}$.

2.3. Par analogie avec l'optique, l'interfrange est donné par : $i = \frac{\lambda_{DB} \cdot L'}{F_1F_2}$. En considérant

négligeables les incertitudes sur L' et sur F_1F_2 , déterminer la valeur de la longueur d'onde de de Broglie expérimentale sous la forme $\lambda_{\min} \leq \lambda_{DB} \leq \lambda_{\max}$.

2.4. La longueur d'onde de de Broglie calculée à la question **2.1**. appartient-elle à l'encadrement précédent ?