

L'ATOME DE NEON, ONDE OU PARTICULE ?

En 1927, le jeune Louis de Broglie, en soutenant sa thèse, énonce un postulat qui va révolutionner notre conception de la matière. Cette activité propose d'analyser une expérience qui valide le postulat de Louis de Broglie. Une discussion est ensuite proposée afin de déterminer dans quel(s) domaine(s) les apports des travaux de de Broglie sont décisifs.



1^{ère} partie : étude newtonienne de la chute d'un atome

▶ Étudier attentivement le document ❶.

On admet que la physique de Newton permet d'étudier le mouvement d'un atome de néon depuis son point de départ et jusqu'à ce qu'il atteigne la double fente. On considère que l'atome est en chute libre. On étudie son mouvement dans un repère d'axe (Oy) vertical et orienté vers le bas. On considère comme l'origine des dates d'instant où l'atome amorce sa chute avec une vitesse initiale nulle.

1) Exprimer dans cette situation la 2^{ème} loi de Newton et en déduire :

- la valeur de l'accélération a de l'atome ;
- l'expression de la valeur de sa vitesse $v(t)$ en fonction du temps ;
- l'expression de sa coordonnée de position $y(t)$ en fonction du temps.

2) Calculer numériquement la durée au bout de laquelle il atteint la double fente et en déduire celle de la vitesse avec laquelle il atteint la fente double.

3) On peut supposer que les mouvements des atomes de Néon ont tous la même direction initiale verticale. Si on applique la mécanique newtonienne jusqu'à la fin du mouvement de l'atome, que prévoit-on d'observer sur l'écran de détection suite à la chute d'un grand nombre d'atomes ? On pourra illustrer cette prévision d'un schéma.

2^{ème} partie : validation expérimentale des travaux de de Broglie

▶ Le document ❷ représente le résultat obtenu suite à l'expérience décrite dans le document ❶.

▶ Étudier les documents ❶ à ❸ pour répondre aux questions qui suivent.

1) Noter toutes les différences entre votre prévision de la question (1.c) et les résultats effectivement obtenus.

2) Sans faire de calcul, montrer que cette expérience valide l'hypothèse de Broglie sur les « ondes de matière ». Rédiger un paragraphe basé sur des informations extraites des documents.

3^{ème} partie : « quantique ou non quantique » ?

On l'a vu, Louis de Broglie a énoncé qu'une particule peut avoir un comportement ondulatoire. Ce n'est donc ni une onde ni un corpuscule mais un « objet quantique » dont le comportement rappelle à la fois celui des ondes et celui des objets matériels.

Cela remet-il totalement en cause la physique de Newton ? Nous allons introduire un critère permettant d'évaluer l'importance du caractère ondulatoire d'un objet.

1) Calculer la longueur d'onde qu'on peut associer à chacun des systèmes suivants :

Objet	Masse	Vitesse	longueur d'onde
La Lune	7×10^{22} kg	$1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	
Une balle de tennis après un service	55 g	$200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	
Un grain de poussière dans l'air	10^{-15} kg	$1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$	
L'atome de néon lorsqu'il atteint la fente double	$3,35 \times 10^{-26}$ kg		

2) Pour évaluer l'importance du caractère ondulatoire d'un objet, on peut comparer sa longueur d'onde de de Broglie à une dimension caractéristique de l'objet ou de son environnement.

Montrer que ces calculs indiquent que la théorie quantique n'apporte rien à l'étude des trois premiers objets cités.

3) En comparant la longueur d'onde de de Broglie associée aux atomes de néon à une dimension pertinente, justifier que :

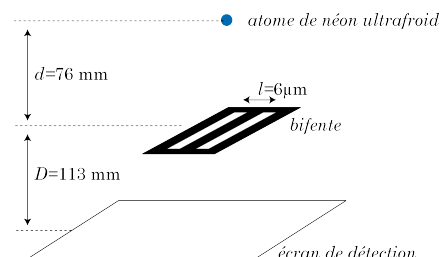
- la mécanique de Newton permette de déterminer la vitesse à laquelle l'atome atteint la double fente ;
- la prise en compte du caractère ondulatoire de l'atome soit nécessaire si l'on veut rendre compte de son comportement après la double fente.

Documents :

DOCUMENT ❶ : effet d'une fente double sur un faisceau d'atomes de néon

L'expérience décrite ci-dessous a été réalisée en 1992. Par un moyen complexe que nous ne décrivons pas ici, des atomes de néon sont piégés et lâchés sans vitesse initiale au-dessus d'une fente double. Un écran est placé sous la fente et détecte les impacts des atomes.

Schéma de principe de l'expérience :



DOCUMENT ❷ : résultat de l'expérience

Voici l'état de l'écran de détection après la réception de 6000 atomes environ :



Source : Fujio Shimizu et al. : *double-slit interference with ultracold metastable neon atoms*, PHYSICAL REVIEW A (1992)

DOCUMENT ❸ : la thèse de Louis de Broglie

Un jeune étudiant en doctorat de physique nommé Louis de Broglie soutient en 1924 une thèse qui est aujourd'hui considérée comme la première pierre de la théorie quantique. Il énoncé que :

« À toute particule matérielle de masse m et de vitesse v doit être associée une onde

$$\text{de matière de longueur d'onde : } \lambda = \frac{h}{p}$$

h étant la constante de Planck ($h=6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s) et p la quantité de mouvement de la particule. »