

COMMENTAIRES LP39 : ASPECTS ONDULATOIRES DE LA MATIÈRE. NOTION DE FONCTION D'ONDE

5 juin 2019

Lagoin Marc & Ramborghi Thomas

Compléments :

1.2 Expérience de Debye et Scherrer (poly de Jérémy Ferrand) : Je redonne l'expérience telle qu'elle a été réalisée durant l'année en TP. Il va falloir ici aller vite. L'idée est juste de mesurer un ou 2 rayons de diffraction et montrer que la longueur d'onde qui s'en déduit est compatible avec la prédiction théorique du modèle. Pour cette raison, nous pourrions sauter les incertitudes.

Il serait possible d'observer la diffraction avec des ondes électromagnétiques, mais cela requiert des rayons X durs qui sont ionisants et très dangereux pour l'être humain. Le dispositif que nous avons à disposition ne présente pas cet inconvénient et permet une observation aisée du phénomène. Ceci est possible grâce à la nature ondulatoire des électrons, dont la longueur d'onde associée est la longueur d'onde de De Broglie $\lambda = \frac{h}{p}$, où h désigne la constante de Planck et p l'impulsion des électrons.

Le dispositif étudié, schématisé en figure 1, présente une anode et une cathode entre lesquelles les électrons produits par un filament chauffant sont accélérés, ce qui permet d'avoir un faisceau quasi-monocinétique et donc quasi-monochromatique.

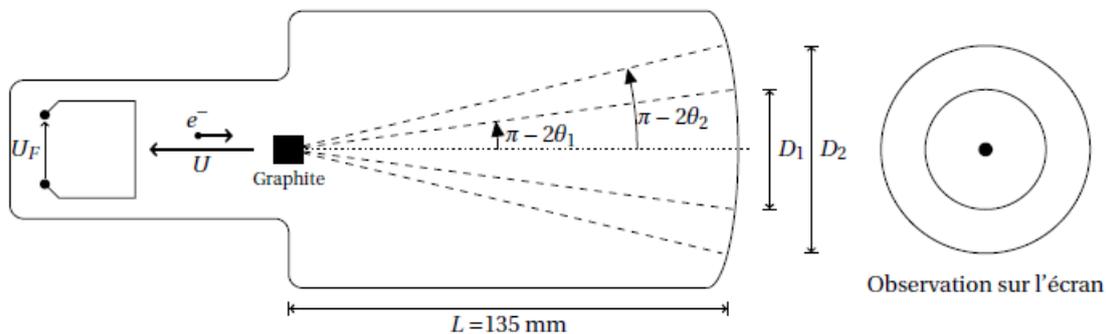


FIGURE 1 – Schéma du tube pour la diffraction électronique par la poudre de graphite. Ce schéma a été pris dans le poly de Jérémy Ferrand.

Si on note E_c l'énergie cinétique des électrons, U la tension accélératrice, e la charge et m la masse de l'électron, on a :

$$E_c = eU = \frac{p^2}{2m} \quad (1)$$

Ainsi, la longueur d'onde des électrons correspondante est :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} \quad (2)$$

Pour $U = 1\text{kV}$, on a $\lambda = 39\text{picom}$, ce qui est bien inférieur à la distance interatomique.

Le faisceau électronique est ensuite focalisé à l'aide d'une électrode spécifique, puis envoyé sur une poudre de graphite. Celle-ci diffracte la lumière dans des directions bien précises par rapport au faisceau incident, données par la loi de Bragg :

$$\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (3)$$

d désigne la distance entre deux plans réticulaires, et θ l'angle de déviation par rapport au faisceau incident. L'objet diffractant étant une poudre, on observe une figure de diffraction composée d'anneaux. En faisant l'approximation des petits angles, le diamètre D des cercles est donné par la relation :

$$\lambda = d \frac{D}{2L} \quad (4)$$

D'où :

$$\frac{1}{D} = d \frac{\sqrt{2me}}{2hL} \sqrt{U} \quad (5)$$

Expérimentalement, on mesure donc le diamètre des cercles de diffraction pour différentes tensions accélératrices U .

Tenir le tube de diffraction P93.6 à l'horizontale et le tourner de façon à ce que les deux broches les plus éloignées du culot soient orientées vers le bas. Introduire doucement le tube jusqu'en butée dans le support pour tube P93.1.

Brancher les sorties F1 et F2 à l'arrière du support pour tube sur les sorties 6.3V / 2A à l'arrière de l'alimentation P43.10. Raccorder les sorties C et X au pôle négatif de la sortie haute tension, puis la sortie A au pôle positif, et relier le pôle positif à la terre. Vérifier le bon branchement sur la notice avant de mettre en marche l'alimentation !

Allumer l'alimentation et observer la direction du faisceau. Vérifier en approchant un aimant en U P63 que le faisceau est dévié : il s'agit bien de particules chargées.

Appliquer une tension $U = 5\text{kV}$ et observer la figure de diffraction. L'écran est bombé car l'ampoule est sous vide, ce qui rend la mesure délicate. Pour mesurer le diamètre D des cercles, on utilise alors une grille P127.2. Pour différentes tensions U prendre en photo la figure de diffraction et la grille plaquée (doucement) sur le tube de verre. Sur ImageJ, relever le diamètre des deux cercles (on prendra pour étalon le pas de la grille, de 1 mm a priori). La tension est mesurée sur l'affichage de l'alimentation, les multimètres que nous avons ne supportant pas de tension supérieure à 1kV. Nous ne sommes peut être pas obligé de passer par ce traitement numérique qui prendrait du temps pendant le passage.

2.1 Fente d'Young et interprétation probabiliste : Je vais faire un petit résumé de ce qui est dit dans le livre de mécanique quantique de Feynman. Nous avons aussi voir la vidéo numéro 53 de la chaîne ScienceEtonnante intitulé La plus belle expérience de la physique. les images ci-dessous sont directement prises de sa vidéo.

- pour des balles de fusils : si un fusil tire avec une certaine dispersion sur un mur et que nous plaçons entre l'arme et le mur 2 fentes, alors la dispersion des balles en sortis correspond à la somme des distributions que l'on observe en fermant une fente puis l'autre. Il n'y a donc pas d'interférence. Une image est donnée en figure 2.

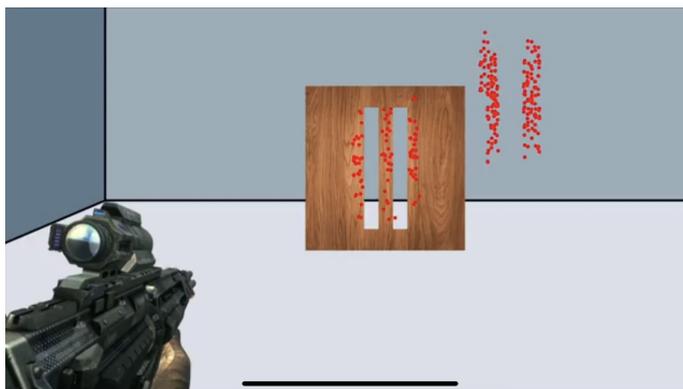


FIGURE 2 – Expérience de la bifente avec un fusil de chasse. L'image a été prise par capture d'écran sur la chaîne ScienceEtonnante (vidéo 53).

- l'expérience des fentes d'Young pour une onde : si l'on utilise une cuve à onde en insérant un système de bifente, nous observons les interférences caractéristiques de l'interférence à 2 ondes comme celle que nous avons observé en TP avec les fentes d'Young éclairées par un faisceau laser. Une image est donnée en figure 3.
- pour des électrons si l'on néglige la diffraction : en éclairant la bifente avec un faisceau d'électron, nous retrouvons la figure caractéristique de l'aspect ondulatoire comme pour une onde électromagnétique. En réduisant l'intensité du faisceau jusqu'à atteindre l'émission de particule unique, les électrons semble dans un premier temps se comporter comme les balles de fusil et arriver de manière aléatoire sur l'écran. Cependant après avoir attendu

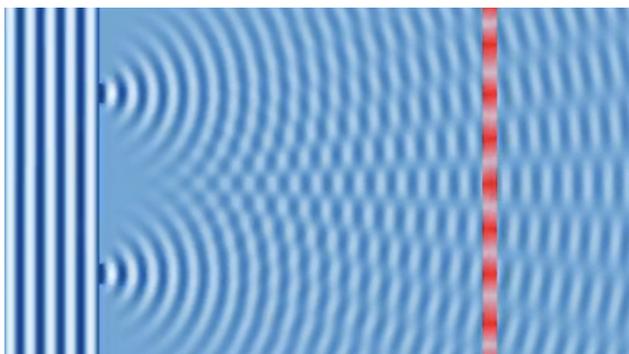


FIGURE 3 – Expérience de la bifente avec une cuve à onde. L'image a été prise par capture d'écran sur la chaîne ScienceEtonnante (vidéo 53).

que suffisamment de particule est été recensé, la figure globale est une figure d'interférence. Une image est donnée en figure 4.

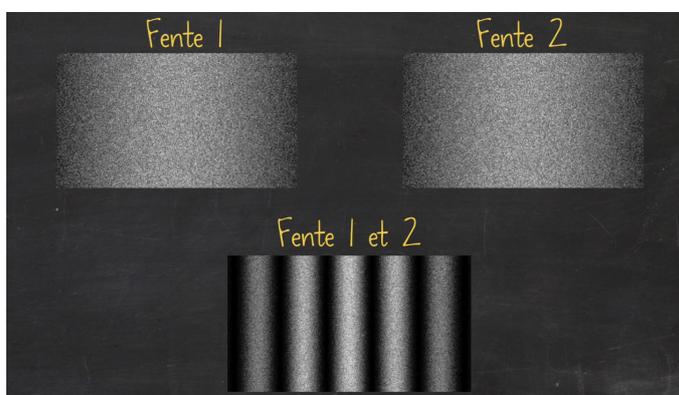


FIGURE 4 – Expérience de la bifente avec une faisceau d'électron. L'image a été prise par capture d'écran sur la chaîne ScienceEtonnante (vidéo 53).

- si nous essayons de savoir comme pour les balles de fusil par quel trou les électrons : nous plaçons des détecteurs derrière les fentes afin de nous informer dans quel fente l'électron est passé. Dans ce cas nous observons qu'un seul clic à la fois pour la source de particule unique et la figure obtenu n'est plus une figure d'interférence. Ceci est le signe que la mesure expérimentale peut perturber le système. Une image est donnée en figure 5.

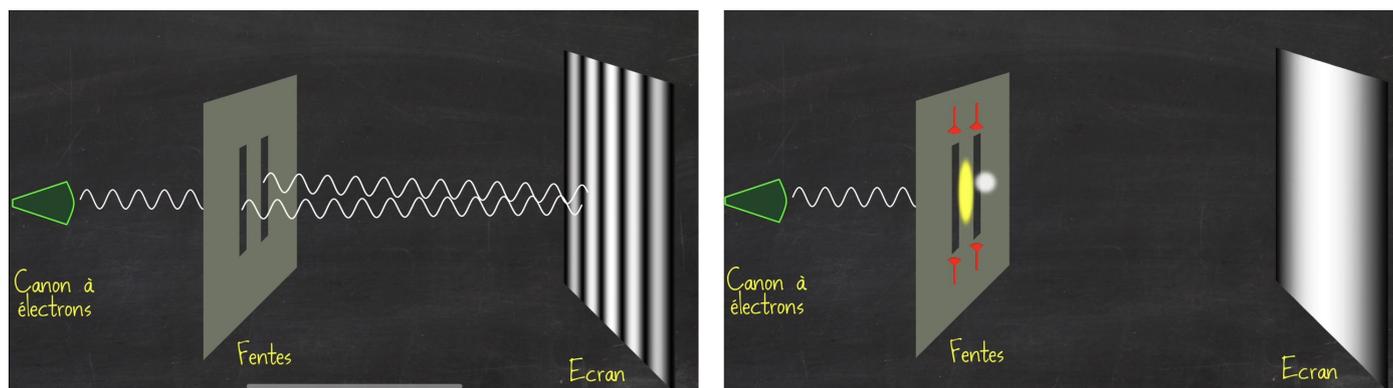


FIGURE 5 – Expérience de la bifente avec une faisceau d'électron. L'image a été prise par capture d'écran sur la chaîne ScienceEtonnante (vidéo 53).

Démonstration de l'inégalité de Heisenberg : Une démonstration rigoureuse est donnée dans le livre *Physique quantique, Fondement - Tome 1 de M. Le Bellac* page 125 à partir des écarts types. Le petit complément de 2 pages dans le *Mécanique quantique de Cohen-Tannoudji Tome 1* page 51 est très sympathique pour voir que la dualité onde-corpuscule et l'inégalité de Heisenberg sont intimement liées sur l'exemple simple des fentes d'Young.

3.3 Le paquet d'onde quasi-monochromatique : Cette sous-partie n'apporte pas grand chose et il est donc pas nécessaire de la traiter. De toute façon, nous aurons jamais le temps avec les 10 minutes en moins. Je pense que pour la partie 3.2 il ne faut pas hésiter à sauter des étapes et ne garder seulement celle qui sont importantes (comme la séparation des variables que nous retrouvons souvent en physique).