

Mécanique quantique – L2

TD 1

Adrien Mahé – Sylvain Nascimbène

http://www.phys.ens.fr/~nascimbene/td/td_index.html

1 Expérience d'interférences avec des macromolécules

Après les premières expériences réalisées sur des électrons, des neutrons ou des atomes, la diffraction d'onde de matière a été récemment observée sur des « macromolécules », des fullérènes¹ C_{60} , des fluofullérènes $C_{60}F_{48}$, ainsi qu'une molécule biologique, la tétraphénylporphirine constituant central de l'hémoglobine. En manipulant des composés de plus en plus massifs, ces nouvelles expériences visent à étudier le passage de la physique quantique à la physique classique.

1. On réalise une expérience de diffraction d'ondes de matière sur un réseau² en utilisant le dispositif expérimental présenté ci-dessous. Préciser le rôle des fentes de collimation.

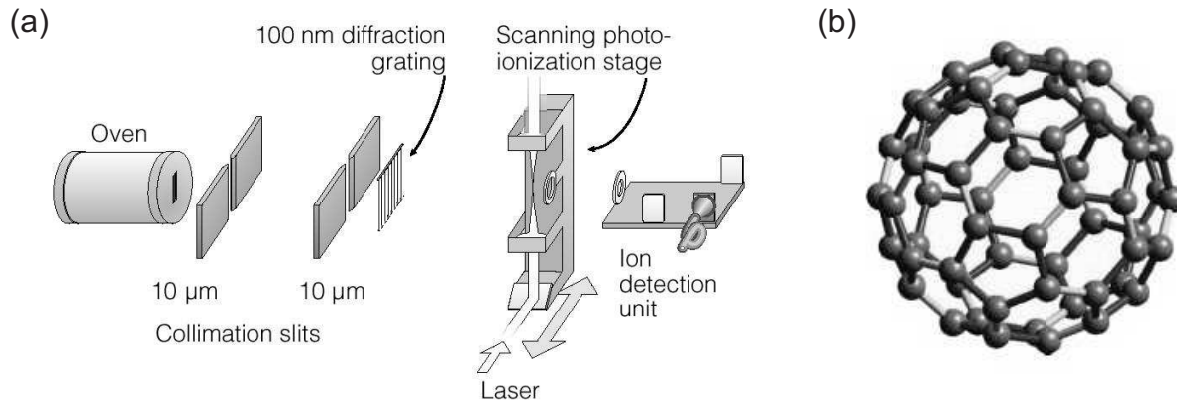


FIG. 1 – a) Dispositif expérimental de l'expérience de diffraction d'un faisceau de fullérènes C_{60} . b) Structure tridimensionnelle d'un fullérène C_{60} .

2. La fig. 2 présente le résultat de l'expérience en présence (a) et en l'absence de réseau (b). Sachant que le pas du réseau est de 100 nm et que le détecteur est situé à 1,25 m de celui-ci, calculer la longueur d'onde de de Broglie des molécules de C_{60} ainsi que leur vitesse.

¹de masse atomique 60×12.0 unités atomiques, une unité atomique valant 1.66×10^{-27} kg

²réseau=grating en anglais.

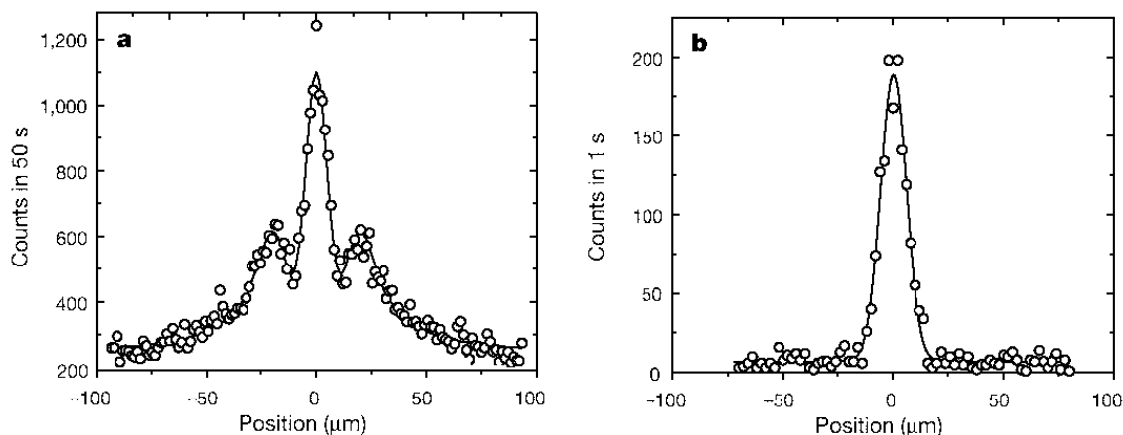


FIG. 2 – Figure de diffraction du faisceau de fullérènes en présence (a) et en l’absence de réseau (b).

3. On mesure indépendamment la distribution de vitesse $f(v)$ des molécules que l’on trouve de la forme :

$$f(v) \propto v^3 \exp(-(v - v_0)^2/v_m^2),$$

avec $v_0 = 166$ m/s et $v_m = 92$ m/s. Calculer la vitesse la plus probable et comparer avec le résultat précédent.

Bibliographie :

M. Arndt *et al.*, Nature **401**, 680 (1999).

L. Hackermueller *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 090408 (2003).

2 Expérience de Stern et Gerlach

2.1 Rapport gyromagnétique

On considère un électron décrivant une orbite fermée soumis à une force centrale en mécanique classique. Quel est le rapport (gyromagnétique), noté γ , entre son moment magnétique $\vec{\mu}$ et son moment cinétique $\vec{L}$?

2.2 Précession de Larmor

On admet qu’en présence de champ magnétique, lorsque l’énergie d’interaction entre le champ et le dipole magnétique est suffisamment faible, on peut encore utiliser la relation précédente entre $\vec{\mu}$ et $\vec{L}$.

Comment évolue un moment magnétique dans un champ magnétique uniforme ? On introduira une fréquence caractéristique du mouvement, appelée « fréquence de Larmor ».

2.3 Calcul de la déviation

On envoie selon l'axe Ox un jet d'atomes d'argent qu'on fait passer dans l'entrefer d'un aimant conçu pour que le champ créé soit quasiment selon Oz et présente un gradient selon cet axe. On peut considérer que les atomes d'argent sont constitués d'un « coeur » et d'un seul électron en orbite.

1. Pourquoi le champ comporte-t-il aussi un gradient selon un autre axe qu' Oz ? On choisira $\vec{B} = B_0\vec{u}_z + b(z\vec{u}_z - x\vec{u}_x)$ tel que $|\vec{B}| \simeq B_0$.
2. Évaluer numériquement l'inverse de la fréquence de Larmor pour un champ de 1 T et le comparer au temps de passage des atomes dans l'entrefer : $\tau = 0,1$ ms.
3. On s'intéresse à un atome de moment magnétique $\vec{M}$ donné à l'entrée de l'aimant. Comment évolue son moment magnétique, en première approximation? Quelle force moyenne va-t-il subir dans l'entrefer?
4. On place un écran en sortie de l'aimant et on observe deux taches. Pourquoi cela est-il choquant classiquement? Est-ce compatible avec vos connaissances sur les orbitales atomiques?