

La diffraction neutronique, ou l'art d'explorer la structure de la matière

Adrien Lauze

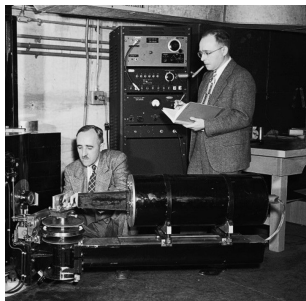
Lycée Louis-le-Grand

Novembre 2021

Qu'est ce que la diffraction de neutrons ?

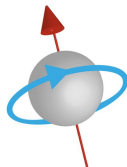
- Technique de cristallographie
- Bombarder un cristal par des neutrons
- Découvrir la structure atomique et magnétique de la matière condensée
- Changement de direction du neutron

- Ernest O. Wollan et Clifford Shull développent dès 1946 la technique de diffraction neutronique
- Bertram Brockhouse travaille sur la diffusion des neutrons dans les années 1950
- En 1994, Shull et Brockhouse obtiennent le prix Nobel de physique



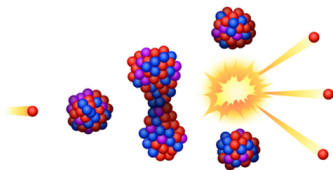
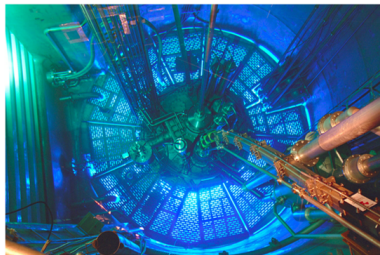
Pourquoi avoir choisi le neutron ?

- Pas d'interaction électrostatique avec les électrons des atomes
- Très bonne interaction magnétique
- Bon pouvoir de pénétration
- Sonde entièrement la matière
- ...



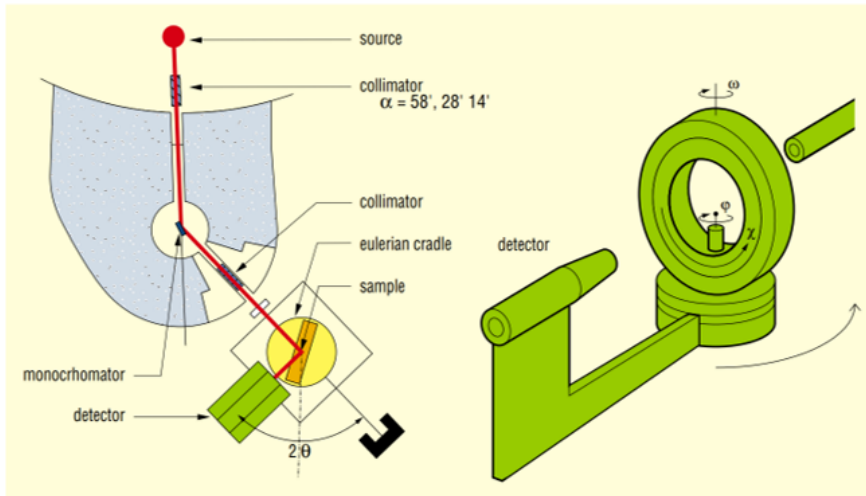
La production des neutrons

- Réacteur nucléaire → fission des noyaux d'uranium 235
- Source à spallation



- Neutrons de fission sont trop énergétiques ~ 1 MeV
- Thermalisation dans de l'eau pour perdre de l'énergie
- Neutrons thermiques :
 - Énergie de 25 meV, à une température de 300 K
 - Vitesse de 2 km.s^{-1}

Principe de l'expérience



Photos des manip



- Le détecteur compte les neutrons diffractés dans plusieurs directions
- Des pics, appelés « pics de Bragg » apparaissent sur le diffractogramme
- Les intensités relatives de la succession des pics permettent de déterminer l'organisation des atomes
- Transformée de Fourier pour résoudre une structure cristalline

Diagrammes associées

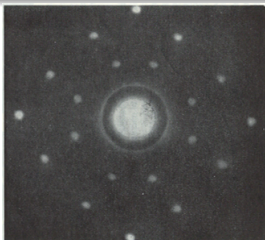
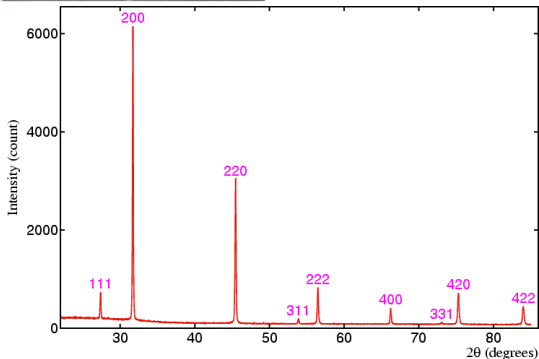
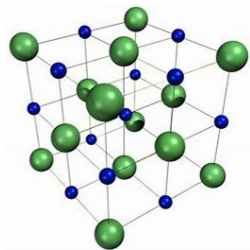


Figure de diffraction de neutrons par un cristal de NaCl

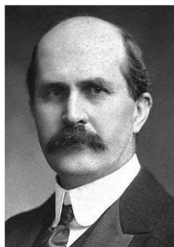


Diffractogramme



Naissance de la loi de Bragg

- Lien entre la distance séparant les atomes d'un cristal et les angles de diffraction des neutrons
- Caractère ondulatoire du neutron...
- Le père et le fils Bragg obtiennent le prix Nobel de physique en 1915



William Henry Bragg

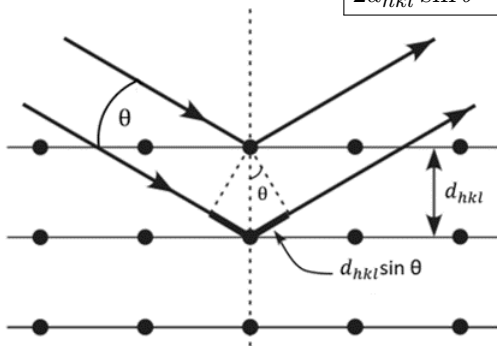


William Lawrence Bragg

La loi de Bragg

Pour observer un maximum de brillance (tâche de Bragg intense) il faut que la différence de marche entre ces ondes soit un multiple entier de la longueur d'onde. Ainsi, elles sont toutes en phase et se somment constructivement. La condition d'obtention d'un maximum d'intensité s'écrit donc :

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$$



d_{hkl} : distance interréticulaire
 θ : le demi-angle de diffraction
 n : ordre de diffraction ($n \in \mathbb{Z}$)
 λ : longueur d'onde des neutrons

Le temps de vol des neutrons

- Durée Δt que met le neutron diffracté par l'échantillon pour atteindre le détecteur
- Donne des informations sur sa vitesse v_n et son énergie
- Conservation de l'énergie du neutron \rightarrow diffusion élastique

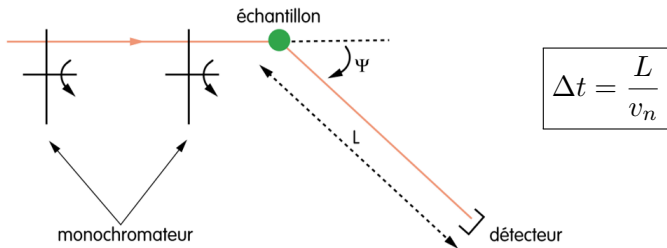
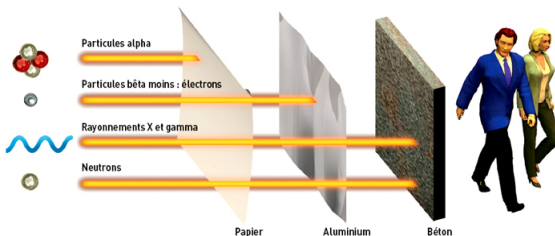


Schéma d'un spectromètre à temps de vol.

Est-ce dangereux ?

- Les neutrons sont très pénétrants
- Ils peuvent rendre la matière radioactive
- Ils peuvent détruire les cellules et provoquer des cancers
- Il faut donc se protéger !!



Applications de la diffraction neutronique

- Connaître l'organisation atomique d'un cristal ou d'une poudre
- Créer de nouvelles fonctionnalités
- Résistance des matériaux ou pharmacologie
- Faire de l'imagerie de pièces

Vérins
pyrotechniques
ARIANE

