

Les neutrons: histoire de Nobels... et défis scientifiques

Prix Nobel de Physique

1962 : Landau
fluide quantique

1970 : Néel
antiferromagnétisme

1972 : Bardeen, Cooper & Schrieffer
supraconductivité

1974 : Flory
structure des polymères

1978 : Kapitsa
Superfluidité de ⁴He

1982 : Wilson
phénomènes critiques

1987 : Bednorz & Müller
supraconducteurs Haut Tc

1991 : de Gennes
dynamique des polymères

1994 : Schull & Brockhouse
apport des spectroscopies neutroniques

1996 : Kroto & Smalley
Chim fullerenes

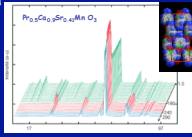
1996 : Lee, Osheroff & Richardson
Phys Superfluidité de ³He

Magnétisme

Transition d'ordre magnétique

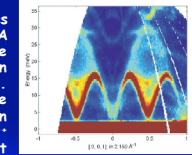
La perovskite de manganèse $Pr_{0.5}Ca_{0.9}Sr_{0.4}MnO_3$ présente en fonction de la température une succession de transitions de phase structurale et magnétique, révélée par diffraction de neutrons

T > 240 K phase paramagnétique
240 > T > 180 K phase ferromagnétique
T < 180 K phase antiferromagnétique avec un ordre de charge des ions Mn^{2+}/Mn^{4+}



Excitations magnétiques

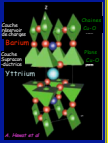
Dans $CuGeO_3$, les ions Cu^{2+} forment des chaînes de spin 1/2 couplés antiferromagnétiquement. A basse température, on a compétition entre l'ordre antiferromagnétique et une dimérisation de 2 spins voisins donnant une entité à spin nul. Un couplage entre spins et phonons favorise cette dimérisation et aboutit à une transition structurale avec déplacement des Cu^{2+} (transition de Spin-Peierls) conduisant à un état fondamental non-magnétique.



Supraconductivité

Structure des supraconducteurs à haut Tc

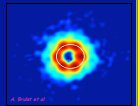
La diffraction de neutrons a été déterminante pour élucider le rôle des oxygènes dans les oxydes supraconducteurs haut Tc. La structure de $YBa_2Cu_3O_7$ a révélé des couches supraconductrices « dopées » par des couches « réservoirs de charges ».



Etat de Vortex dans les supraconducteurs à haut Tc

Le diagramme de phase magnétique d'un supraconducteur de type II, fait apparaître 3 régions ; dans la phase de Meissner sous $H_{c1}(T)$ le flux magnétique est exclu du matériau supraconducteur alors qu'au dessus du champ critique $H_{c2}(T)$, l'état de conduction normal est caractérisé une répartition homogène du champ magnétique dans le matériau. Entre ces deux états, les lignes de flux du champ magnétique pénètrent dans l'échantillon sous forme quantifiée de vortex qui s'organisent en un réseau, le plus souvent hexagonal.

L'interaction magnétique du neutron avec les modulations de champ révèle l'organisation des lignes de flux. La Diffusion de Neutrons aux Petits Angles est unique pour l'étude de ces structures en fonction de la température, du champ magnétique,...



Structure et dynamique de la Matière à l'échelle microscopique

Où sont les atomes ? Que font les atomes ?

Le prix Nobel de Physique 1994 célébra les apports des techniques neutroniques aux percées récentes de la physique de la matière condensée.

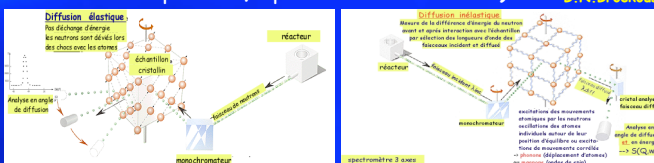
Il récompensa l'ensemble des travaux menés depuis 1950



- de **Clifford G. Shull** en diffusion élastique de neutrons (localisation des protons, structures magnétiques,...)

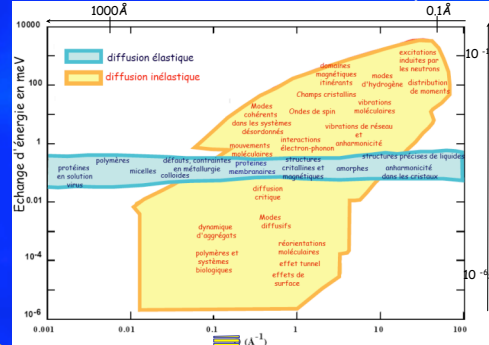


- de **Bertram N. Brockhouse** en diffusion inélastique de neutrons (caractérisation des phonons, spectromètre 3 axes...)



en 2005

Propriétés de la matière condensée sondées par les neutrons

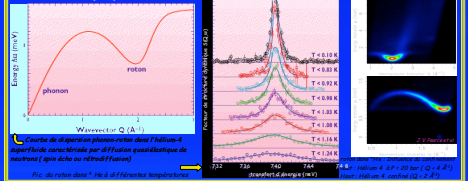


Fluides quantiques

La théorie des liquides quantiques de Landau (Nobel 1962) permet d'expliquer la dynamique des liquides à basse température ; on considère alors des états quantiques de l'ensemble du fluide mettant en jeu des quasi-particules. Les calculs des propriétés de ces quasi-particules ont été confirmés par des mesures de diffusion de neutrons dans l'hélium liquide 3 et 4

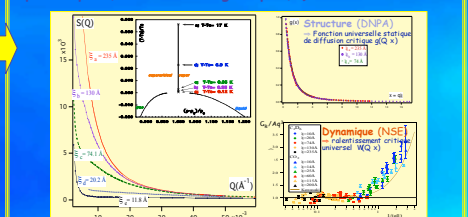
L'⁴He liquide à 2.1K est caractéristique d'un condensat de Bose Einstein d'atomes d'Hélium (Kapitza, Nobel 1978)

L'Hélium 3 obéit à la statistique de Fermi Dirac. La formation de paires de fermions se comportant comme des bosons à très basse température (similaire aux paires de Cooper formées par les électrons pour la supraconductivité) a permis d'expliquer la superfluidité de l'³He liquide à 0.02K (Lee, Osheroff, Richardson; Nobel de Physique 1996)



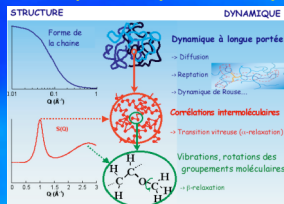
Phénomènes critiques

Classes d'universalité, théories de renormalisation
Le domaine de moments de transfert accessible aux neutrons ($Q \sim 1/\lambda$) permet, en approchant la température critique T_c , de sonder à la fois le régime critique et le régime champ moyen ou hydrodynamique. La mesure des propriétés critiques permet une vérification expérimentale des lois d'échelles et des indices critiques universels prédits par les théories de renormalisation (transition liquide-gaz, liquide-liquide, transitions magnétiques,...)



Exemple de phase liquide-gaz. Les divergences de la compressibilité isotherme et des longueurs de corrélation des fluctuations de densité à l'approche du point critique (T_c, ρ_c) est mesurée en diffusion aux petits angles (DWSA). Le ralentissement critique de la dynamique est accessible par spectroscopie à Eche de spin (NSE). On constate le régime inactif à l'état critique en fonction de la variable sans dimension $Q\xi$.

Structure et dynamique des polymères



• Les théories de Flory sur la conformation des polymères dans l'état fondu ou vitreux ont été vérifiées expérimentalement en diffusion centrale de neutrons grâce à la méthode de variation de contraste qui permet de mesurer le facteur de forme d'une chaîne marquée.
• Sur le plan du comportement dynamique des polymères, la spectroscopie à Echos de spins de neutrons a permis une approche expérimentale des théories de De Gennes (Nobel 1991) sur la reptation des polymères.

Fullerenes, nanotubes

La section de diffusion cohérente du carbone aux neutrons a permis de caractériser la structure et la dynamique des fullerenes C_{60} , C_{70} , et de leurs sels métalliques (césium, potassium, lanthane) : transition ordre --> désordre orientationnel en fonction de la température par diffraction sur poudres, mesure des phonons, caractérisation des propriétés des nanotubes de carbone,...

