

Groupe UCN : Études des interactions et symétries fondamentales avec les neutrons ultra-froids

D. Rebreyend, K. Protassov, G. Quémener, U.C. Tsan.

Le groupe UCN créé au cours de l'année 2004 se donne pour objectif d'étudier les interactions et symétries fondamentales à l'aide de neutrons ultra froids (UCN). Ces neutrons de très basse énergie ont des vitesses de l'ordre de 5 m/s et ont la particularité d'être réfléchis par la plupart des matériaux : on peut ainsi les stocker pendant plusieurs minutes afin de les étudier. En outre, contrairement aux autres particules élémentaires, ils sont très sensibles à l'interaction gravitationnelle.

Au cours des deux dernières années, nous nous sommes impliqués sur deux projets : l'expérience nEDM au Paul Scherrer Institut (Villigen, Suisse) et plus récemment le projet GRANIT à l'Institut Laue Langevin à Grenoble. Les UCN sont le point commun de ces deux projets.

◇ Mesure du moment électrique dipolaire du neutron : le projet nEDM à PSI

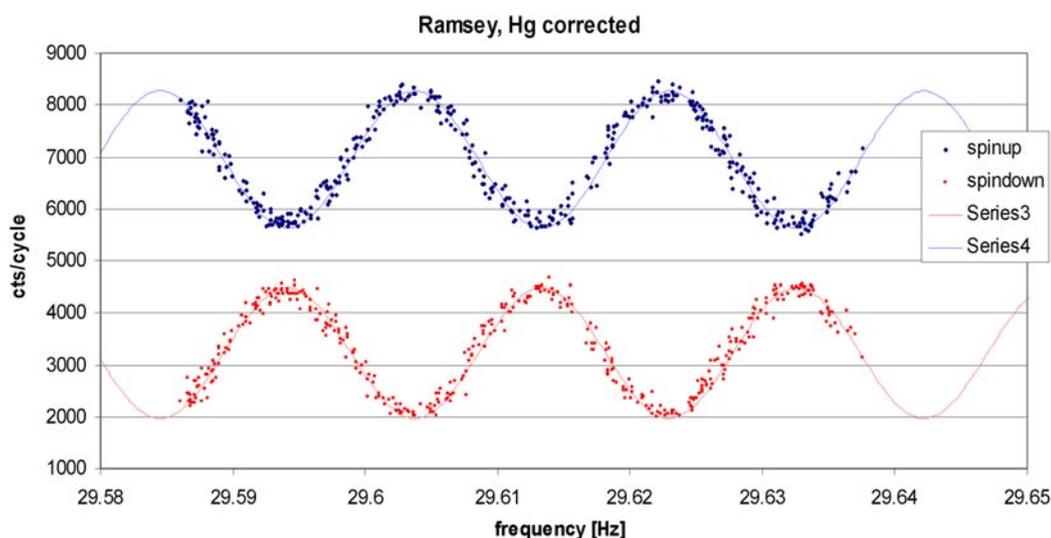
Cette expérience se place dans le contexte de la recherche de nouvelles sources de violation de CP. La limite expérimentale actuelle, obtenue par la collaboration RAL-Sussex à l'ILL est de $6 \cdot 10^{-23}$ e.cm, soit 6 ordres de grandeur au-dessus de la valeur prédite par le Modèle Standard. La plupart des extensions actuelles du MS (comme la SUSY ou les théories de courants Gauche-Droit) a de nombreux mécanismes de violation de CP et est déjà fortement contrainte par la limite mesurée à l'ILL.

L'expérience nEDM au PSI (Villigen, Suisse), basée sur une nouvelle source d'UCN en cours de construction et dans laquelle est impliqué le groupe UCN, vise à augmenter de deux ordres de grandeur la précision sur la mesure de l'EDM du neutron. En l'absence de signal, cela permettra de placer de nouvelles contraintes sur les extensions du Modèle Standard. Une valeur non nulle de l'EDM serait la signature directe d'une nouvelle physique.

La collaboration nEDM se compose en plus du LPSC de Grenoble, des laboratoires suivants :

LPC Caen, Jagellonian University (Cracovie, Pologne), Université de Fribourg (Suisse), Paul Scherrer Institut (Villigen, Suisse), Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russie).

Avant de concevoir et de construire le nouveau détecteur qui sera installé au PSI, notre activité s'est concentrée sur le spectromètre RAL-Sussex situé auprès du réacteur expérimental de l'ILL à Grenoble. Depuis début 2005, le LPSC a pris en charge la remise en fonctionnement de cet appareillage. À l'exception du système de haute tension, nous avons rendu l'ensemble opérationnel et avons restauré des performances proches de celles d'origine. Cela nous a ainsi permis de faire les premières mesures de résonance de Ramsay (voir figure). Ce travail a pu être réalisé grâce à une très forte implication des services techniques du laboratoire (SDI et Service d'électronique).



L'autre responsabilité du groupe UCN a été de coordonner les différentes activités liées à la simulation de l'appareillage (transport des UCN et optimisation des champs électriques et magnétiques). Notre contribution a consisté, d'une part à optimiser le nombre et la position des capteurs magnétiques, et d'autre part à développer les algorithmes de reconstruction de la carte de champ magnétique. Ce travail permettra aussi de dimensionner et d'optimiser le blindage magnétique nécessaire pour s'affranchir des fluctuations du champ extérieur. Ces calculs de très grande précision (10-100 fT) imposent l'utilisation de programmes spécifiques basés sur Mathematica.

Ces études vont se poursuivre dans les années à venir et nous permettront de concevoir le nouvel appareillage que nous souhaitons installer au PSI et avec lequel nous envisageons de faire une mesure de l'EDM avec une précision de deux ordres de grandeur en-dessous de la limite actuelle.

◇ Mesure des transitions induites entre les niveaux quantiques du neutron dans le puits de potentiel gravitationnel (GRANIT)

Depuis 2004, nous avons souhaité nous impliquer dans le projet GRANIT d'étude des transitions induites entre les niveaux quantiques du neutron dans le champ gravitationnel terrestre. Ce projet fait suite à une série d'expériences réalisées récemment par V.V. Nesvizhevsky et ses collaborateurs (dont K. Protasov du groupe UCN). Ces expériences pionnières ont permis la première observation des états quantiques du neutron confiné par le champ gravitationnel [1].

L'objectif du projet GRANIT est de concevoir et de construire un spectromètre gravitationnel à neutron d'ultra haute résolution en énergie de seconde génération. Ce nouveau spectromètre permettra non seulement de maintenir des UCN sur les états quantiques dans le champ gravitationnel pendant des durées de plusieurs secondes, mais encore d'observer les transitions résonantes entre ces états. Notre intention est d'effectuer, pour la première fois au monde, la mesure directe de l'énergie de transition de ces états quantiques. Ce spectromètre sera en outre un outil unique pour un large éventail d'études en physique des particules et des interactions fondamentales, par exemple l'étude des forces à courte portée dépendant ou non du spin, des fondements de la mécanique quantique (perte de cohérence quantique), en physique du solide ainsi que dans le domaine des techniques expérimentales et de leurs possibles applications.

À la fin de l'année 2005, un financement de 600 k€ a été obtenu auprès de l'ANR dans le cadre des projets blancs. Ce financement permettra de démarrer la construction du futur spectromètre GRANIT dès 2006. Les premières mesures sont envisagées à la fin 2008.

[1] V.V. Nesvizhevsky et al., Quantum states of neutrons in the Earth's gravitational field, Nature 415 (2002) 297-299.

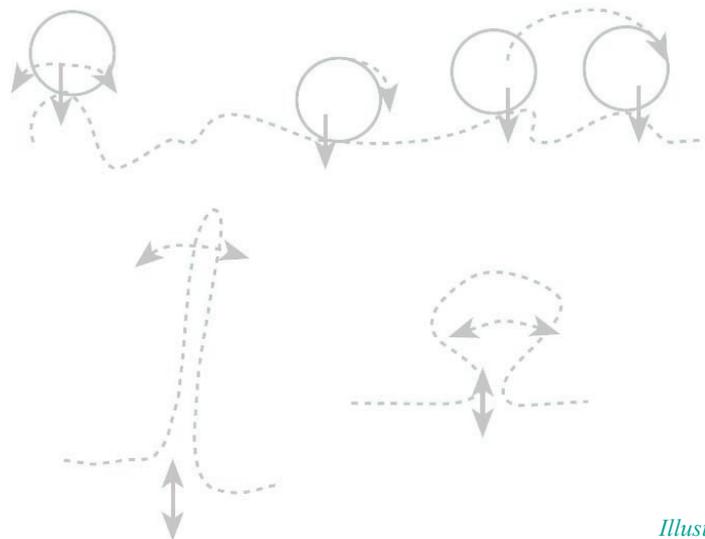


Illustration V.V. Nesvizhevsky