

## Proposition de thèse/stage 2019 - Phd proposal 2019

### Etude du système de 6 neutrons Investigation of the 6-neutron system

**Établissement** Université Paris-Sud

**École doctorale** Particules, hadrons, énergie et noyaux: Instrumentation, Imagerie, Cosmos et Simulation

**Spécialité** structure et réactions nucléaires

**Unité de recherche** Institut de physique nucléaire d'orsay

**Directeur de la thèse** Didier BEAUMEL

**Début de la thèse** le 1 octobre 2018

**Date limite de candidature** 1 juin 2019

### Mots clés - Keywords

---

multineutrons, diffusion quasi-libre, cinématique inverse, masse manquante

multineutrons, quasifree scattering, Inverse kinematics, missing mass

### Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

---

Forte motivation pour la physique nucléaire fondamentale, fortes aptitudes à la programmation

Strong motivation for Fundamental Nuclear Physics, High computing skills,

### Description de la problématique de recherche Project description

---

La recherche de systèmes multineutrons liés ou résonants est un problème de longue date pour les investigations théoriques et expérimentales. Si un état lié ou quasi-lié d'un système multineutron, (par exemple le tétraneutron  $A=4$ ) était observé, une révision importante des modèles existants des forces nucléaires s'avèrerait nécessaire. Les noyaux exotiques peuvent offrir de nouvelles opportunités pour étudier les systèmes multineutroniques de manière très sélective. Les noyaux légers et riches en neutrons, avec leur propension au clustering, peuvent constituer une bonne base de départ. En 2002, lors d'une expérience de désintégration du  $^{14}\text{Be}$  au GANIL, quelques événements «anormaux» ont été mesurés dans les détecteurs de neutrons, en coïncidence avec les fragments  $^{10}\text{Be}$ . Pour ces événements, l'énergie déposée dans les détecteurs de neutrons dépassait l'énergie maximale déduite de

leur temps de vol [1]. Au cours des 5 dernières années, l'installation RIKEN / RIBF au Japon a pris la tête des études sur les multineutrons. La réaction  $4\text{He} (8\text{He}, 8\text{Be})$  de double échange de charge a été étudiée avec succès à l'aide du spectromètre SHARAQ de RIBF afin d'obtenir le spectre du tétraneutron par masse manquante. Le spectre déduit suggère un état tétraneutron candidat [2]. Très récemment, cette expérience a été refaite dans le but d'augmenter considérablement la statistique très limitée du premier run. D'autres approches fondées sur différents types de réactions ont également été mises en œuvre.

Le fait que les systèmes à deux neutrons ne soient pas liés et que les neutrons soient des fermions est souvent utilisé comme argument contre l'existence de multineutrons. Un cas similaire existe en physique atomique pour les gouttes de  $(3\text{He})\text{N}$  [3]. Les atomes  $3\text{He}$  sont aussi des fermions et, bien qu'attractive, leur interaction ne permet pas la formation d'un dimère. Cependant, on peut montrer qu'il existe un nombre critique  $N_c$  d'atomes,  $N_c \sim 30$ , au-delà duquel le système se lie. Il a été relevé que la partie centrale du potentiel interatomique  $3\text{He}$  est similaire au potentiel n-n en appliquant un facteur d'échelle adéquat. Pour les systèmes nucléaires, aucun calcul résolvant le problème à plusieurs neutrons avec des interactions nucléaires réalistes n'a été effectué pour  $A > 4$  et la question de l'existence d'un nombre critique de neutrons nécessaires pour former un état nucléaire demeure.

Dans le présent projet, nous proposons une étude expérimentale du système à six neutrons (« hexaneutron ») par la réaction de knockout de cluster  $14\text{Be}(p, p\text{-}\alpha)$  à 150 MeV/u à l'aide du faisceau (unique) à haute intensité de  $14\text{Be}$  disponible à RIKEN /RIBF envoyé sur une cible solide d'hydrogène. Cette réaction peuple les états de  $10\text{He}$  qui peuvent se désintégrer en  $\alpha + 6\text{neutron}$ . La détection du proton et de l'alpha diffusés, combinée à la détection de la particule alpha issue de la désintégration en vol de  $10\text{He}$ , permet de reconstituer pour la première fois le spectre en énergie dans le centre de masse du système à 6 neutrons.

L'expérience, proposée par notre groupe, a été réalisée avec succès il y a quelques mois au RIKEN /RIBF à l'aide du spectromètre SAMURAI. L'objectif principal de la thèse sera l'extraction du spectre du système 6 neutrons à partir des données. La reconstruction des trajectoires dans le spectromètre SAMURAI constituera une partie importante du travail. Des simulations seront nécessaires pour évaluer la contribution des processus d'interaction de l'état final au spectre. La participation de l'étudiant à d'autres expériences d'étude de réaction ( $p, p\alpha$ ) au RIKEN ou au RCNP / Osaka est également prévue.

#### **References:**

- [1] F.M Marquès et al., Phys. Rev. C 65, 044006 (2002).
- [2] K.Kisamori et al., Phys. Rev. Lett. 116, 052501 (2016).
- [3] F.M Marquès, lecture at the « école Joliot-Curie de Physique Nucléaire », Maubuisson, France (2002).

The quest for bound or resonant multineutron systems is a longstanding problem for theoretical and experimental investigations. If a bound or quasi-bound e.g. tetraneutron would be observed, it would require an important revision of the existing models of nuclear forces. Exotic nuclei may offer new opportunities to investigate multineutron systems in a highly selective way. Light neutron-rich nuclei with their clustering properties may provide a good ground. In a breakup experiment of  $^{14}\text{Be}$  at GANIL, a few “anomalous” events were detected in the neutron detectors in coincidence with  $^{10}\text{Be}$  fragments, in which the deposited energy in the neutron detectors exceeded the maximum energy deduced from their time-of-flight [1]. During the last 5 years, the RIKEN/RIBF facility in Japan has taken the lead in multineutron studies. The double charge-exchange experiment  $^4\text{He}(^8\text{He},^8\text{Be})$  was studied successfully using the SHARQA spectrometer at RIBF to obtain the tetraneutron spectrum by missing mass. The deduced spectrum suggests a candidate tetraneutron state [2]. The experiment was recently re-performed with the goal of increasing significantly the very limited statistics available, and other approaches based on different types of reactions have also been implemented.

The fact that two-neutron systems are unbound and that neutrons are fermions is often used as an argument against the existence of multineutrons. A similar case exist in atomic physics for  $(^3\text{He})_N$  drops [3].  $^3\text{He}$  atoms are also fermions and, although attractive, their interaction does not allow formation of a dimer. However, it can be shown that a critical number  $N_c$  of atoms exists,  $N_c \sim 30$ , beyond which the system becomes bound [4]. It was noted that the central part of the  $^3\text{He}$  interatomic potential is similar to the n-n potential singlet state with proper scaling. For nuclear systems, no calculation solving the many-neutron problem with realistic nuclear interactions have been performed for  $A > 4$  and the question of the existence of such a critical number of neutrons needed to form a nuclear state remains open.

In the present project, we propose to investigate experimentally the 6-neutron system (“hexaneutron”) through the alpha-cluster knockout reaction  $^{14}\text{Be}(p,p-\alpha)$  at 150 MeV/u using the (unique) high intensity  $^{14}\text{Be}$  beam available at RIKEN/RIBF impinging on a solid Hydrogen target. This reaction will populate continuum states of  $^{10}\text{He}$  which can decay in  $\alpha+6\text{neutron}$ . The detection of the scattered proton and alpha, combined with the detection of the alpha-particle coming from the in-flight decay of  $^{10}\text{He}$  allows to reconstruct the center of mass energy spectrum of the 6-neutron system for the first time.

The experiment, proposed by our group, has been performed successfully a few months ago at RIKEN/RIBF using the SAMURAI spectrometer. The main goal of the thesis will be the extraction of the 6-neutron spectrum from the data. Trajectory reconstruction in SAMURAI will be an important part of the work. Simulations will be required in order to evaluate the contribution of final-state interaction processes to the spectrum. Participation of the student to further  $(p,p\alpha)$  experiments at RIKEN or RCNP/Osaka is also planned.

### References:

- [1] F.M Marquès et al., Phys. Rev. C 65, 044006 (2002).
- [2] K.Kisamori et al., Phys. Rev. Lett. 116, 052501 (2016).

[3] F.M Marquès, lecture at the « école Joliot-Curie de Physique Nucléaire », Maubuisson, France (2002).

## **Thématiques /Domaine /Contexte**

---

Physique Nucleaire  
Noyaux exotiques - multineutrons  
Analyse de donnees (experience deja realisee en mai 2018).

La these se fera en co-tutelle avec Dr.J.Gibelin de l'universite de Caen

## **Objectifs**

---

Extraction du 1er spectre du systeme a 6 neutrons

## **Méthode**

---

Reactions de diffusion quasi-libre de cluster, cinematique inverse, masse manquante

## **Résultat attendu**

---

Eventuel etat resonant et correlations dans le spectre du  $6n$

## **Précision sur l'encadrement**

---

These en co-tutelle avec Dr. J.Gibelin (universite de Caen) Co-supervision with Dr.J.Gibelin (Caen University, France)

## **Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du projet de recherches**

---

pas de conditions specifiques

## **Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...**

---

Presentations dans des ateliers/conferences, Publication

### **Références bibliographiques**

---

K.Kisamori et al., Phys. Rev. Lett. 116, 052501(2016)

Dernière mise à jour le 28 novembre 2018