

PROPOSITION de STAGE M2 2025-2026 et THESE

Titre : Analyse de mesures de propriétés de désintégration bêta de noyaux d'intérêt pour la structure nucléaire, l'astrophysique nucléaire, la physique des neutrinos et des réacteurs.

Laboratoire ou Structure d'accueil : Laboratoire SUBATECH
Adresse : 4 rue Alfred Kastler, La Chantrerie, 44307 Nantes cedex 3

Responsable du stage : Fallot Muriel, Porta Amanda
Tél. : 02 51 85 86 16 Email : porta@subatech.in2p3.fr,
Tél. : 02 51 85 84 15 Email : fallot@subatech.in2p3.fr

Description du sujet (contexte, objectifs,...)

Le stage se déroulera au sein d'une des activités du groupe Structure et Energie Nucléaire (SEN) de SUBATECH : l'étude des propriétés de décroissance β des produits de fission.

Selon les noyaux étudiés ce travail peut toucher des domaines de recherche tels que la structure nucléaire, l'astrophysique nucléaire et divers aspects reliés au fonctionnement des réacteurs nucléaires (sûreté, cinétique, non-prolifération).

Depuis 2009, l'équipe nantaise réalise des mesures de décroissance bêta de noyaux d'intérêt pour la physique des réacteurs (puissance résiduelle et cinétique), mais également pour la structure nucléaire et l'astrophysique nucléaire, en collaboration étroite avec une équipe espagnole de chercheurs de Valence auprès de l'accélérateur JYFL (Jyväskylä-Finlande).

Ces mesures ont été effectuées en utilisant la méthode TAGS (Total Absorption Gamma-ray Spectroscopy), basée sur la détection des gammas de désexcitation du noyau produit par la décroissance bêta. Cette technique permet de reconstruire la distribution de force bêta, et constitue donc un outil privilégié pour apporter des contraintes aux modèles théoriques. Elle est aussi la technique utilisée pour s'affranchir de l'effet Pandémonium, i.e. les données de décroissance bêta présentes dans les bases de données sont inexactes, une partie de l'intensité de décroissance peut être manquante. L'effet Pandemonium provient de la difficulté à reconstruire les schémas de décroissance bêta via les mesures effectuées avec des détecteurs au germanium, en particulier quand les transitions sont de grande énergie ou vers des régions énergétiques à grande densité de niveaux. La méthode TAGS est complémentaire et permet de résoudre ce problème.

La dernière expérience, effectuée en septembre 2022 a été proposée par SUBATECH en collaboration avec l'IFIC de Valencia (Espagne) et elle était destinée à étudier la structure de noyaux d'intérêt pour la structure et l'astrophysique nucléaire mais aussi pour la physique des neutrinos et la physique des réacteurs. La technique utilisée est la spectroscopie par absorption totale des gammas (TAGS), au moyen d'un ensemble de 12 détecteurs de BaF₂, installés après le piège de Penning du dispositif de l'Université de Jyväskylä. 17 Noyaux ont été mesurés et l'analyse est actuellement en cours.

Le but de cette analyse est de calculer la distribution d'alimentation bêta des niveaux dans le noyau fils (« beta feeding »). La distribution de force bêta dépend directement de l'alimentation bêta.

L'analyse en question consiste dans les étapes suivantes, dont certaines sont propres au noyau étudié :

- Calibration en énergie et en résolution du détecteur en utilisant des sources connues ;
- Comparaison des données de calibration avec la simulation du détecteur afin de valider la simulation de la réponse du détecteur ;

- Calcul de la réponse du détecteur avec la simulation ;
- Calcul de l'alimentation bêta pour chaque niveau d'énergie comme solution du problème inverse (passage des données mesurées à la prédiction théorique).

Les phases de calibration et d'optimisation de la simulation sont actuellement terminées, le/a stagiaire participera aux phases suivantes de l'analyse : le calcul de la réponse du détecteur et son utilisation dans le problème inverse pour obtenir l'alimentation beta. Il sera de la responsabilité du/de la stagiaire de prendre en main la simulation développée et les macros d'analyse et de les utiliser pour résoudre le problème inverse.

Ce stage donnera au/à la candidat/e la possibilité d'acquérir une vision globale de l'analyse des données d'une expérience en physique nucléaire et de leur interprétation. Il/elle aura déjà un premier aperçu de la recherche en structure nucléaire. De plus, le stage lui permettra de connaître et utiliser plusieurs méthodes d'analyse et de calculs largement utilisés dans la physique nucléaire expérimentale comme des programmes d'analyse en C++, le package CERN ROOT et la simulation du détecteur en GEANT4.

Le stage pourra être poursuivi par une thèse intitulée : « Étude de noyaux exotiques intéressants pour la physique appliquée et fondamentale avec la technique de spectroscopie par absorption totale des gammas »

Pendant la thèse le/a candidat/e poursuivra l'analyse des noyaux sélectionnés et étudiera leur impact sur les différents domaines d'intérêt : pour cela le groupe développe aussi des calculs de spectre d'antineutrinos qui peuvent être utilisés pour évaluer l'impact des noyaux mesurés.

Lors de la thèse, si le temps le permet, l'analyse des données pourra aussi être suivie par une phase de comparaison des résultats avec des prédictions théoriques microscopiques. Pour cette partie notre groupe collabore avec une équipe du CEA-DAM-DIF.

Le choix des noyaux à analyser se fera en fonction des intérêts du/de le candidat/e.

Mots-clés : décroissance bêta, structure nucléaire, astrophysique nucléaire, spectroscopie gamma, détecteurs, BaF₂, physique expérimentale.