IRFU : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers

Saclay

DPhP

Modélisation des bruits de fond issu de la radioactivité ambiante pour la mesure de la diffusion cohérente des neutrinos sur noyaux avec l'expérience NUCLEUS.

Spécialité CHIMIE

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil DPhP

Candidature avant le 31/12/2021

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact Vivier Matthieu
+33 1 69 08 66 26
matthieu.vivier@cea.fr

Résumé

La diffusion cohérente des neutrinos sur noyaux est un processus d'interaction prometteur qui pourrait ouvrir la voie vers la miniaturisation des détecteurs de neutrinos, et aller sonder de la nouvelle physique au-delà du modèle standard de la physique des particules dans un domaine d'énergie encore inexploré, en-dessous du keV. Ce stage se propose de mener une étude poussée des bruits de fond issus de la radioactivité ambiante pour optimiser le potentiel de l'expérience NUCLEUS, dont le déploiement se fera sur la centrale nucléaire de Chooz dans les Ardennes en 2022.

Sujet détaillé

La diffusion cohérente des neutrinos sur noyaux (DCNN) est un processus d'interaction des neutrinos prédit il y a plus de 40 ans dans le cadre de l'élaboration du modèle standard de la physique des particules, et dont la première détection a été réalisée en 2017 par la collaboration américaine « COHERENT ». Ce processus, pouvant présenter des sections efficaces 10 à 1000 fois plus grandes que les canaux d'interaction classiques utilisés pour étudier les propriétés fondamentales du neutrino, offre des perspectives attrayantes pour la miniaturisation des détecteurs et pour la recherche de nouvelle physique (recherche de nouveaux couplages des neutrinos à la matière, recherche de neutrinos stériles, études des propriétés électromagnétiques du neutrino, etc.). L'exploitation de ce nouveau canal de détection n'en est cependant qu'à ses premiers balbutiements, notamment parce que les reculs nucléaires induits sont de très faible énergie (? keV) et nécessitent donc des détecteurs ultra performants avec à la fois un très bas seuil en énergie (? 100 eV) et un excellent rejet des bruits de fond. Notre équipe à l'Irfu s'est orientée vers l'utilisation d'une technologie prometteuse qui à terme permettra d'atteindre simultanément ces deux prérequis, celle des détecteurs cryogéniques (ou bolométriques). Elle a ainsi récemment formé et rejoint la collaboration NUCLEUS, réunissant des partenaires Allemands, Autrichiens et Italiens pour concevoir un système de détecteurs cryogéniques capable de mesurer précisément la DCNN sur la centrale nucléaire de Chooz dans les Ardennes.

Ce stage a pour objectif de modéliser la composante des bruits de fond résiduels provenant de la radioactivité

ambiante dans la pièce où s'installera l'expérience. Cette modélisation s'appuiera sur des mesures réalisées sur site à l'aide d'un spectromètre Germanium haute purité, et sur un outil de simulation Monte Carlo développé par notre équipe, basé sur les logiciels Geant 4 et ROOT. Les processus électromagnétiques d'interaction des gammas donnent très rarement lieu à des dépôts d'énergie dans la région d'intérêt du signal DCNN, entre 0 et 1 keV. Une difficulté majeure que rencontrent les études de simulation actuelles est donc la faible statistique obtenue, même pour un nombre de tirage Monte Carlo important de l'ordre de ~ 109. Pour pallier à cette difficulté, le stagiaire s'impliquera donc dans le développement d'une méthode de réduction de variance et à son implémentation dans l'outil de simulation existant. Ce travail se fera en partenariat avec nos collègues du Département de Physique Nucléaire (DPhN) qui ont développé un algorithme de biaisage similaire pour le transport des neutrons en physique des réacteurs. Cet algorithme sera vérifié et validé pour le transport des gammas en comparant les résultats obtenus sur des simulations analogues classiques, et sur des données acquises à l'aide d'un prototype de détecteur cryogénique développé par nos collaborateurs de l'université technique de Munich.

Dans le cadre de cette étude, l'étudiant(e) sera amené(e) à interagir régulièrement avec les membres de la collaboration NUCLEUS. Il(elle) pourra éventuellement participer à des mesures complémentaires de bruit de fond gamma sur site, selon les conditions et les besoins. Nos équipes sont aussi en charge de la conception et de la construction du véto muon de l'expérience. L'étudiant(e) pourra ainsi éventuellement contribuer au montage de ce dispositif, ainsi qu'à ses premiers tests de qualification qui commenceront avant l'été 2021.
Ce travail de stage sera pour lui/elle l'occasion d'approfondir ses connaissances dans différents domaines comme l'interaction rayonnement-matière, l'instrumentation, la conception et la simulation Monte Carlo de détecteurs en physique des particules et l'analyse de données. A l'issu de ce stage, il/elle aura d'autre part acquis des compétences avancées en programmation orientée-objet et en techniques de simulation Monte Carlo.

Une thèse est proposée dans la continuité de ce stage sur l'expérience NUCLEUS.

Mots clés

Physique des particules, physique des neutrinos, physique nucléaire

Compétences

Programmation C++, simulations, analyse de données

Logiciels

C++, Geant 4, ROOT

Modeling of the ambient gamma-ray background for the first measurement of coherent elastic neutrino-nucleus scattering at reactors with the NUCLEUS experiment

Summary

Coherent elastic neutrino nucleus scattering is a promising interaction process which could potentially allow to scale down neutrino detectors, and probe new physics beyond standard model of particle physics. This internship consists in carrying a in-depth study of backgrounds coming from environmental gammas to optimise the physics potential of the NUCLEUS experiment, dedicated to the detection of neutrinos through this process at the Chooz nuclear power plant, in France.

Full description

Coherent elastic neutrino nucleus scattering (CEvNS) is a neutrino interaction process predicted 40 years ago by the standard model of particle physics, and first detected in 2017 by the « COHERENT » collaboration. This process can exhibit interaction cross-sections a factor 10 to 1000 times larger than cross-sections of other neutrino interaction channels used to study the fundamental properties of the neutrino. It would thus offer promising perspectives for miniaturizing the size of current neutrino detectors, and it is also sensitive to new physics beyond the standard model (new interactions, study of the neutrino electro-magnetic properties, etc.). However, this process remains at the current time largely unexploited, mostly because the induced nuclear recoils are of extremely low energies (? keV) and hence call for low energy threshold detectors. Our research team therefore focuses on the use of cryogenic detectors and has recently formed an international collaboration with German, Austrian and Italian partners called NUCLEUS for designing and for deploying a neutrino detection experiment using CEvNS at the Chooz nuclear power plant, in France.

The goal of this internship is to conduct a in-depth study of the backgrounds expected from environmental gamma in the NUCLEUS experiment. This study will be conducted using a Geant 4-based Monte Carlo simulation tool, and will use on-site background measurements performed at the Chooz nuclear power plant as well as data collected during the prototyping phase of the cryogenic detectors.

Keywords

Particle physics, nuclear physics, neutrino physics

Skills

C++ programming, simulations, data analysis

Softwares

C++, Geant 4, ROOT