



Développement d'un détecteur cryogénique de rayons gamma pour la calibration précise des bolomètres destinés à l'étude de la diffusion cohérente neutrino-noyau.

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LEARN](#)

Candidature avant le 17/03/2022

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [LHULLIER David](#)

+33 1 69 08 94 97

david.lhuillier@cea.fr

Résumé

Le travail proposé consiste à développer et tester un détecteur pour des gamma de 5 à 10 MeV. Il devra fonctionner dans un cryostat à 0.02 °K. Ce détecteur servira à la calibration à très basse énergie (100 eV) de bolomètres utilisés pour l'étude de la diffusion cohérente neutrino-noyau.

Sujet détaillé

La détection de dépôts d'énergie aussi bas que quelques dizaines d'eV est depuis peu accessible avec des bolomètres (détecteurs cryogéniques refroidis à 0.02°K) d'un volume de l'ordre du cm³. En assemblant un nombre raisonnable de ces détecteurs une masse totale de l'ordre de 100 g peut ainsi être constituée et offrir une sensibilité unique pour la recherche de la matière noire légère ou l'étude de la diffusion cohérente des neutrinos. La signature des processus recherchés est en effet très ténue : un seul noyau recule dans le cristal du détecteur, avec une énergie cinétique de typiquement une centaine d'eV. Même si les bolomètres sont capables de capter un tel signal la caractérisation de leur réponse (calibration, linéarité) dans cette gamme d'énergie reste inexplorée. Les techniques habituelles de calibration sont en effet limitées aux énergies supérieures au keV. Le projet CRAB [1] (Calibrated Recoils for Accurate Bolometry) propose une nouvelle méthode qui a le potentiel de combler cette lacune et de fournir aux bolomètres toute la sensibilité nécessaire pour explorer une nouvelle physique. Le principe consiste à envoyer des neutrons thermiques sur le bolomètre. Environ 1 neutron sur 10 se fera capturer par un noyau dans le volume du détecteur, formant un nouveau noyau qui va se désexciter par l'émission d'un rayon gamma de haute énergie, typiquement entre 5 et 10 MeV. A chaque isotope correspond une énergie gamma spécifique et, par conservation de l'impulsion, un recul bien défini du noyau émetteur. Des pics apparaissent ainsi dans le spectre de recul mesuré par le bolomètre permettant de le calibrer précisément. La masse des noyaux fait que leur recul est dans la gamme des 100 eV, tout comme les reculs attendus pour la diffusion de la matière noire ou des neutrinos ! Le rayon gamma émis quant à lui s'échappe aisément du bolomètre et peut être utilisé pour signer sans ambiguïté le processus.

Le travail de stage propose de développer et valider un détecteur pour ces rayons gamma. Les principales spécifications sont d'atteindre une bonne efficacité de détection, une résolution en énergie de 2-3 % (σ) dans la gamme des 5-10 MeV et une atténuation suffisante des bruits de fonds externes, dominés par les rayons cosmiques

et les particules secondaires associées à la source de neutrons. Suite à des études par simulation, le choix se porte sur des cristaux cylindriques de BGO de 3x3 inch placés au plus près du bolomètre, c'est-à-dire à l'intérieur du cryostat utilisé pour toutes les mesures bolométriques. Le premier test en froid (0.02 °K) aura lieu pendant le stage avec le cryostat de nos collègues de l'IJCLab. Il devra valider la faisabilité de la mesure. La lecture du signal BGO se fera par un capteur qui converti la lumière de scintillation du BGO en phonons, avec un temps de réponse relativement long (de l'ordre de la ms). Une lecture plus rapide par fibre optique, qui permettrait de diminuer son temps de réponse à quelque 10 microsecondes, sera testée en parallèle. L'idée est de capter le signal lumineux sur le BGO par les fibres et de le déporter à l'étage chaud du cryostat (300 °K) vers un Silicon-Photo-Multiplier (SiPM). La mise au point de cette nouvelle chaîne de détection se fera au CEA, avec des tests à température ambiante. Pour ces deux campagnes de mesures, une source de gammas de haute énergie récemment développée au CEA pourra être utilisée pour qualifier les performances du BGO dans la gamme en énergie souhaitée. Le(a) stagiaire sera fortement impliqué(e) dans le montage des dispositifs expérimentaux, les prises de données et leurs analyses. Il (elle) pourra être force de propositions, tester ses propres idées dans la mise au point de la lecture par fibre optique et dans les analyses. Ce projet lui permettra d'avoir un aperçu complet d'un travail de physicien expérimentateur.

L'essentiel de l'environnement software existe déjà et ne requiert pas de compétence poussée en informatique. L'analyse des données sera faite avec le logiciel ROOT (<https://root.cern>). L'étudiant(e) bénéficiera de l'encadrement rapproché de l'équipe du DPhN (Département de Physique Nucléaire) constituée de 3 permanents et 2 thésards. L'ensemble du travail se fera aussi en proche collaboration avec les équipes de l'IJCLab d'Orsay et du DPhP du CEA-Saclay (Département de Physique des Particules). Le développement du détecteur gamma cryogénique est un point central du projet CRAB et fera l'objet d'une publication. La première application de la méthode CRAB est prévue avec les bolomètres de l'expérience de diffusion cohérente de neutrinos NUCLEUS [2]. L'étudiante aura l'occasion de présenter ses résultats devant cette collaboration internationale.

[1] L. Thulliez, D. Lhuillier et al., Calibration of nuclear recoils at the 100 eV scale using neutron capture, JINST 16, 7 (2021).

[2] J. Rothe et al., Exploring CEvNS with NUCLEUS at the Chooz nuclear power plant, Eur. Phys. J. C 79 (2019) 12, 1018.

Mots clés

Physique des particules, Physique de la matière condensée

Compétences

Logiciels

C++, python, Root, GEANT4

Development of a cryogenic gamma ray detector for the precise calibration of bolometers used in the study of the coherent neutrino-nucleus scattering.

Summary

The proposed work consists in developing and testing a detector for gamma rays of 5 to 10 MeV. It will have to operate in a cryostat at 0.02 °K. This detector will be used for the calibration at very low energy (100 eV) of bolometers used for the study of coherent neutrino-nucleus scattering.

Full description

The detection of energy deposits as low as a few tens of eV is recently accessible with bolometers (cryogenic detectors cooled to 0.02 °K) of a volume of the order of cm³. By assembling a reasonable number of these detectors, a total mass of about 100 g can be constituted and offer a unique sensitivity for the search of light dark matter or the study of coherent neutrino-nucleus scattering. The signature of the searched processes is indeed very tenuous: a single nucleus recoils in the crystal of the detector, with a kinetic energy of typically a hundred eV. Even if bolometers are now able to capture such a signal, the characterization of their response (calibration, linearity) in this energy range remains unexplored. The usual calibration techniques are indeed limited to energies above keV. The CRAB project [1] (Calibrated Recoils for Accurate Bolometry) proposes a new method which has the potential to fill this gap and to provide bolometers with all the sensitivity necessary to explore new physics. Its principle consists in sending thermal neutrons on the bolometer. About 1 neutron out of 10 will be captured by a nucleus in the volume of the detector, forming a new nucleus that will de-excite by emitting a high energy gamma ray, typically between 5 and 10 MeV. Each isotope has a specific gamma energy and, by conservation of momentum, a well-defined recoil of the emitting nucleus. Thus peaks appear in the recoil spectrum measured by the bolometer, allowing it to be calibrated precisely. The mass of the nuclei makes that their recoil is in the range of 100 eV, just like the recoils expected for the diffusion of dark matter or neutrinos! The emitted gamma ray escapes easily from the bolometer and can be used to sign without ambiguity the process.

The proposed internship work is to develop and validate a detector for these gamma rays. The main specifications are to achieve a good detection efficiency, a 2-3% energy resolution (σ) in the 5-10 MeV range and a sufficient attenuation of external background noise, dominated by cosmic rays and secondary particles associated with the neutron source. Following simulation studies, the choice is made for 3x3 inch cylindrical BGO crystals placed as close as possible to the bolometer, i.e. inside the cryostat used for all bolometric measurements. The first cold test (0.02 °K) will take place during the internship in the cryostat of our colleagues of the IJCLab. It will validate the feasibility of the measurement. The reading of the BGO signal will be done by a sensor which converts the scintillation light of the BGO into phonons, with a relatively long response time (of the order of ms). A faster fiber optic readout, which would decrease its response time to about 10 microseconds, will be tested in parallel. The idea is to capture the light signal on the BGO by the fibers and to transfer it to the room temperature stage of the cryostat towards a Silicon-Photo-Multiplier (SiPM). The development of this new detection chain will be done at CEA, with tests at room temperature. For these two measurement campaigns, a high energy gamma source recently developed at CEA will be used to qualify the performance of the BGO in the desired energy range. The student will be strongly involved in the set-up of the experimental devices, the data taking and their analysis. He (she) will be able to make proposals, test his (her) own ideas in the development of the fiber optic reading and in the analyses. This project will allow him/her to have a complete overview of an experimental physicist's work.

Most of the software environment already exists and does not require advanced computer skills. The data analysis will be done with the ROOT software (<https://root.cern>). The student will benefit from the close supervision of the DPhN (Department of Nuclear Physics) team, which is composed of 3 permanent staff and 2 PhD students. The work will also be done in close collaboration with the teams of the IJCLab of Orsay and the DPhP of CEA-Saclay (Department of Particle Physics). The development of the cryogenic gamma-ray detector is a central point of the CRAB project and will be published. The first application of the CRAB method is planned with the bolometers of the NUCLEUS coherent neutrino scattering experiment [2]. The student will have the opportunity to present her results to this international collaboration.

[1] L. Thulliez, D. Lhuillier et al., Calibration of nuclear recoils at the 100 eV scale using neutron capture, JINST 16, 7

(2021).

[2] J. Rothe et al., Exploring CEvNS with NUCLEUS at the Chooz nuclear power plant, Eur. Phys. J. C 79 (2019) 12, 1018.

Keywords

Particle physics, solid state physics

Skills

Softwares

C++, python, Root, GEANT4