



## Développement d'un système de détection gammas appliqué à la calibration à très basse énergie de détecteurs cryogéniques

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DPhN/LEARN](#)

**Candidature avant le** 01/06/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [THULLIEZ Loïc](#)  
+33 1 69 08 74 53  
[loic.thulliez@cea.fr](mailto:loic.thulliez@cea.fr)

### Résumé

### Sujet détaillé

La méthode CRAB vise à calibrer les détecteurs cryogéniques utilisés dans les expériences de recherche de matière noire et de diffusion cohérente de neutrinos. Ces expériences ont en commun le fait que le signal recherché est un recul nucléaire de très basse énergie (quelque 100 eV) nécessitant des détecteurs avec une résolution de quelques eV et un seuil de  $O(10\text{eV})$ , les bolomètres. Or jusqu'à présent il était très difficile de générer des reculs nucléaires d'énergie connue pour caractériser la réponse de ces détecteurs. L'idée principale de la méthode CRAB, détaillée ici [1,2], est d'induire une réaction de capture avec des neutrons thermiques (énergie de 25 meV) sur les noyaux constituant le détecteur cryogénique. Le noyau composé résultant a une énergie d'excitation bien connue, l'énergie de séparation d'un neutron comprise entre 5 et 8 MeV selon les isotopes. Dans le cas où il se désexcite en émettant qu'un seul photon gamma, le noyau va reculer avec une énergie qui est aussi parfaitement connue car donnée par la cinématique à deux corps. Un pic de calibration, dans la gamme recherchée de quelques 100 eV, apparaît alors dans le spectre en énergie du détecteur cryogénique. Une première mesure réalisée, en 2022, avec un détecteur cryogénique en  $\text{CaWO}_4$  de l'expérience NUCLEUS (expérience de diffusion cohérente de neutrinos) a permis de valider la méthode [3].

La deuxième phase de ce projet consiste à réaliser une mesure de précision auprès du réacteur Triga-Mark-II à Vienne (TU-Wien, Autriche) en 2024. Cette mesure permettra notamment de tester la linéarité des détecteurs utilisés en ayant accès à plusieurs pics de calibration et d'ouvrir une fenêtre de sensibilité à des effets fins couplant de la physique nucléaire (temps de désexcitation du noyau) et de la physique du solide (temps de recul du noyau dans la matière, création de défauts cristallins produits lors du recul d'un noyau) [4].

Le réacteur Triga-Mark-II fournira un faisceau pur de neutrons thermiques qui sera envoyé sur un cristal de  $\text{CaWO}_4$  refroidi à 15 mK placé dans un cryostat. Pour maximiser le rapport signal sur bruit des détecteurs gammas, constitués de cristaux de  $\text{BaF}_2$  et BGO, seront placés autour du cryostat pour pouvoir réaliser une mesure en coïncidence entre le signal du bolomètre (détection du recul nucléaire) et le signal dans les détecteurs gammas (détection du gamma de

---

haute énergie).

Dans ce contexte, le (la) stagiaire participera à la caractérisation de l'ensemble des détecteurs gammas au CEA-Saclay et développera le programme d'analyse associé avec le logiciel ROOT. Ces études expérimentales pourront être appuyées de simulation Geant4. Selon le déroulement des tests, le (la) candidat(e) pourrait être amené à participer à l'installation des détecteurs à l'« Atominstitut » de Vienne (Autriche), pour pouvoir réaliser une première mesure « CRAB haute précision » à l'automne 2024.

L'étudiant(e) pourra être force de propositions, tester ses propres idées et il (elle) aura un aperçu complet d'un travail de développement expérimental. Il(elle) aura aussi l'occasion de présenter son travail à la collaboration internationale CRAB.

Un sujet de thèse est proposé dans la continuité de ce stage.

Références bibliographiques:

[1] L. Thulliez, D. Lhuillier et al. Calibration of nuclear recoils at the 100 eV scale using neutron capture, JINST 16 (2021) 07, P07032 (<https://arxiv.org/abs/2011.13803>)

[2][https://irfu.cea.fr/dphp/Phoce/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?id\\_ast=4970](https://irfu.cea.fr/dphp/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?id_ast=4970)

[3] H. Abele et al., Observation of a nuclear recoil peak at the 100 eV scale induced by neutron capture, Phys. Rev. Lett. 130, 211802 (2023) (<https://arxiv.org/abs/2211.03631>)

[4] G. Soum-Sidikov et al., Study of collision and  $\gamma$ -cascade times following neutron-capture processes in cryogenic detectors, Phys. Rev. D 108, 072009 (2023) (<https://arxiv.org/abs/2305.10139>)

Environnement de travail:

Le(La) stagiaire travaillera sur le site du CEA-Saclay, au sein du département de physique nucléaire de l'Irfu au sein du laboratoire des études et des applications des réactions nucléaires (CEA-Saclay/DRF/Irfu/DPhN/LEARN). Des missions seront à prévoir à l'Atominstitut de Vienne (Autriche).

Contacts:

loic.thulliez@cea.fr

david.lhuillier@cea.fr

## Mots clés

## Compétences

Connaissances de base en physique nucléaire, physique des particules, physique du solide et en instrumentation

## Logiciels

C++, Python, Knowledge of GEANT4 and ROOT are a plus

---

# Development of a gamma-ray detection system applied to very low-energy calibration of cryogenic detectors

## Summary

### Full description

The CRAB method is designed to calibrate cryogenic detectors used in dark matter and coherent neutrino scattering experiments. What these experiments have in common is that the signal they are looking for is a very low-energy nuclear recoil (around 100 eV), requiring detectors with a resolution of a few eV and a threshold of  $O(10\text{eV})$ , known as bolometers. Until now, however, it has been very difficult to generate nuclear recoils of known energy to characterize the response of these detectors. The main idea behind the CRAB method, detailed here [1,2], is to induce a capture reaction with thermal neutrons (25 meV energy) on the nuclei making up the cryogenic detector. The resulting compound nucleus has a well-known excitation energy, the neutron separation energy of between 5 and 8 MeV, depending on the isotope. If it de-excites, emitting a single gamma photon, the nucleus will retreat with an energy that is also perfectly known, as given by two-body kinematics. A calibration peak, in the desired range of some 100 eV, then appears in the energy spectrum of the cryogenic detector. A first measurement carried out in 2022 with a cryogenic  $\text{CaWO}_4$  detector of the NUCLEUS experiment (coherent neutrino scattering experiment) validated the method [3].

The second phase of this project involves a precision measurement at the Triga-Mark-II reactor in Vienna (TU-Wien, Austria) in 2024. In particular, this measurement will test the linearity of the detectors used, with access to several calibration peaks, and open a window of sensitivity to fine effects coupling nuclear physics (nucleus de-excitation time) and solid-state physics (nucleus recoil time in matter, creation of crystalline defects produced when a nucleus recoils) [4].

The Triga-Mark-II reactor will supply a pure beam of thermal neutrons, which will be sent to a  $\text{CaWO}_4$  crystal cooled to 15 mK and placed in a cryostat. To maximize the signal-to-noise ratio, gamma detectors made of  $\text{BaF}_2$  and BGO crystals will be placed around the cryostat to enable coincident measurement between the bolometer signal (nuclear recoil detection) and the signal in the gamma detectors (high-energy gamma detection).

In this context, the trainee will participate in the characterization of all gamma detectors at CEA-Saclay, and develop the associated analysis program with the ROOT software. These experimental studies may be supported by Geant4 simulation. Depending on the progress of the tests, the candidate may be asked to take part in the installation of the detectors at the Atominstitut in Vienna (Austria), so as to be able to carry out a first "high-precision CRAB" measurement in autumn 2024.

The student will be able to make proposals, test his or her own ideas and gain a comprehensive insight into experimental development work. They will also have the opportunity to present their work to the international CRAB collaboration.

A thesis subject is proposed as a continuation of this internship.

### Bibliography:

[1] L. Thulliez, D. Lhuillier et al. Calibration of nuclear recoils at the 100 eV scale using neutron capture, JINST 16 (2021) 07, P07032 (<https://arxiv.org/abs/2011.13803>)

[2][https://irfu.cea.fr/dphp/Phoce/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?id\\_ast=4970](https://irfu.cea.fr/dphp/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?id_ast=4970)

[3] H. Abele et al., Observation of a nuclear recoil peak at the 100 eV scale induced by neutron capture, Phys. Rev. Lett. 130, 211802 (2023) (<https://arxiv.org/abs/2211.03631>)

[4] G. Soum-Sidikov et al., Study of collision and  $\gamma$ -cascade times following neutron-capture processes in cryogenic detectors, Phys. Rev. D 108, 072009 (2023) accepted (<https://arxiv.org/abs/2305.10139>)

### Working environment:

The intern will work at the CEA-Saclay site, in the Irfu Nuclear Physics Department within the Laboratory for Nuclear

---

Reaction Studies and Applications (CEA-Saclay/DRF/Irfu/DPhN/LEARN). Missions to the Atominstitut in Vienna (Austria) are also planned.

Contacts:

loic.thulliez@cea.fr

david.lhuillier@cea.fr

### **Keywords**

### **Skills**

Basic knowledge of nuclear physics, particle physics, solid state physics and instrumentation

### **Softwares**

C++, Python, Knowledge of GEANT4 and ROOT are a plus