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

Saclay

DPhN/LEARN

Réduction de variance multi-particules multi-détecteurs dans le code Monte-Carlo Geant4

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil DPhN/LEARN

Candidature avant le 06/04/2023

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact THULLIEZ Loïc
+33 1 69 08 74 53
loic.thulliez@cea.fr

Résumé

L'objectif de ce stage est d'étendre la méthode de réduction de variance appelée AMS (de type une particule que l'on pousse vers un détecteur) au cas de l'étude d'événements rares corrélés, i.e. au cas multi-particules/multi-détecteurs. Ces développements seront réalisés dans le code Monte Carlo Geant4 développé par le CERN et seront utilisés par plusieurs communautés scientifiques comme la physique médicale, spatiale, nucléaire et des particules.

Sujet détaillé

Responsables du stage :
Loic Thulliez, loic.thulliez@cea.fr, 01 69 08 56 02
Eric Dumonteil, eric.dumonteil@cea.fr, 01 69 08 56 02

La simulation Monte Carlo du transport des particules est devenue aujourd'hui centrale dans de nombreux domaines tels que la physique fondamentale, la physique médicale ou les applications spatiales pour n'en citer que quelques-uns. Afin de pallier les temps de calculs inhérents à cette méthode, des techniques dites "de réduction de variance" sont développées, dont l'objectif est de "pousser" les particules vers le(s) détecteur(s) sans induire de biais sur les résultats du calcul. Récemment, une méthode de réduction de variance dite Adaptative Multilevel Splitting (AMS) [1,2], s'intéressant aux événements rares, a été conçue et implémentée dans différents codes de calculs, tels que le code Monte Carlo TRIPOLI4 développé au CEA ou le code Monte Carlo Geant4 développé au CERN par une collaboration internationale. Cette méthode offre des perspectives très intéressantes car elle permet de préserver les corrélations entre les particules contribuant à la mesure, ce que ne permettent pas les méthodes standards de réduction de variance comme par exemple l'Importance Sampling.
Ce sujet de stage propose d'évaluer l'intérêt de cette approche dans le contexte de la physique fondamentale, où les simulations cherchent à détecter des événements rares, comme par exemple dans les expériences visant à mettre en évidence la matière noire ou la désintégration double béta sans émissions de neutrinos. En effet, ces expériences mettent régulièrement en œuvre des méthodes de détection en coïncidence permettant d'augmenter le rapport signal sur bruit (à titre illustratif on peut imaginer la détection d'un neutron dans un détecteur A et d'un photon dans un détecteur B). Elles représentent un challenge en termes de calcul numérique car leur simulation nécessite

l'échantillonnage d'un nombre souvent rédhibitoire d'événements (de sorte à ce qu'une fraction très faible d'entre eux contribuent à la mesure).
Le sujet de ce stage consiste donc à utiliser l'AMS implémenté dans le code Geant4 et à en optimiser les paramètres dans des configurations dites "multi-particules/multi-détecteurs", afin de pouvoir simuler des événements rares corrélés. Le/la stagiaire devra pour ce faire finaliser les développements déjà entrepris puis à en vérifier l'efficacité sur différents cas physiques simples représentatifs. Des benchmarks expérimentaux pourront également être envisagés à l'aide de dispositif de détection simples dont dispose le laboratoire. Ce travail pourra éventuellement donner lieu à une poursuite en thèse de doctorat. Il sera basé sur le centre de Saclay du CEA (Orme des Merisiers).

Mots clés

Transport de particles, méthode de réduction de variance, AMS

Compétences

• Stage de fin d’étude pour un(e) étudiant(e) de M2/école d’ingénieur d’une durée de 5 à 6 mois • Connaissances en physique nucléaire, des particules, mécanique quantique, neutronique

Logiciels

C++, Python, ROOT (est un plus), Geant4 (est un plus)

Multiparticles and multidetectors variance reduction within the Geant4 Monte Carlo code

Summary

The objective of this internship is to extend the variance reduction method called AMS (such as a particle that is pushed towards a detector) to the case of the study of correlated rare events, i.e. to the multi-particle/multi-detector case. These developments will be carried out in the Monte Carlo Geant4 code developed by CERN and will be used by several scientific communities such as medical, space, nuclear and particle physics.

Full description

Tutors :
Loic Thulliez, loic.thulliez@cea.fr, 01 69 08 56 02
Eric Dumonteil, eric.dumonteil@cea.fr, 01 69 08 56 02

The Monte Carlo simulation of particle transport has become central in many fields such as fundamental physics, medical physics or space applications just to name a few. In order to overcome the computation time inherent to this method, so-called "variance reduction" techniques are developed, whose objective is to "push" the particles towards the detector(s) without inducing bias on the computation results. Recently, a variance reduction method called Adaptive Multilevel Splitting (AMS) [1,2], which focuses on rare events, has been designed and implemented in different calculation codes, such as the Monte Carlo code TRIPOLI4 developed at CEA or the Monte Carlo code Geant4 developed at CERN by an international collaboration. This method offers very interesting perspectives because it allows to preserve the correlations between the particles contributing to the measurement, which is not possible with standard variance reduction technics such as Importance Sampling.
This internship topic proposes to evaluate the interest of this approach in the context of fundamental physics, where simulations seek to detect rare events, as for example in experiments aiming to reveal dark matter or double beta decay without neutrino emission. Indeed, these experiments regularly use coincidence detection methods to increase the signal-to-noise ratio (as an example, one can imagine the detection of a neutron in detector A and a photon in detector B). They represent a challenge in terms of numerical calculation because their simulation requires the sampling of an often-prohibitive number of events (so that a very small fraction of them contribute to the measurement).
The subject of this internship is therefore to use the AMS implemented in the Geant4 code and to optimize its parameters in so-called "multi-particle/multi-detector" configurations, in order to be able to simulate rare correlated events. The trainee will have to finalize the developments already undertaken and to verify their efficiency on different simple representative physical cases. Experimental benchmarks could also be considered using simple detection devices available in the laboratory. This work could eventually lead to a PhD thesis. It will be based at the CEA Saclay center (Orme des Merisiers).

Keywords

Particle transport, variance reduction technics, AMS

Skills

• Physics master student (eg fundamental physics, particle physics, nuclear physics, neutronics) • Knowledge in nuclear and particle physics, quantum mechanics, neutronics

Softwares

C++, Python, ROOT (est un plus), Geant4 (est un plus)