



Techniques novatrices de suppression du bruit de fond pour l'étude de la production des dileptons de prééquilibre et de Drell-Yan dans des collisions pp au LHC

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhN/LQGP](#)

Candidature avant le 04/03/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [WINN Michael](#)
+33 1 69 08 55 86
michael.winn@cea.fr

Résumé

Le Plasma de quarks et de gluons est un état de la matière sous des conditions extrêmes de température, de l'ordre de quelques centaines de MeV, qui peut être produit dans les collisions ions lourds au LHC au CERN.

L'évolution de ces collisions est décrite par l'hydrodynamique presque parfaite après une courte durée temporelle. Néanmoins, l'échelle temporelle de l'émergence de l'hydrodynamique depuis l'état initial lui-même est seulement connu approximativement à partir de considérations théoriques.

La production des dileptons au dessus d'une masse invariante de $1.5 \text{ GeV}/c^2$ est une opportunité unique pour étudier les phases initiales des collisions d'ions lourds. A des masses au delà de $5 \text{ GeV}/c^2$ dans des collisions d'ions lourds et au delà de $1.5 \text{ GeV}/c^2$ dans les collisions proton-proton, le processus Drell-Yan domine. L'étude différentielle de la production nous permet d'obtenir des informations uniques sur la structure des particules projectiles à haute énergie de collision.

Au LHC, le Drell-Yan et les dileptons du prééquilibre sont enterrés en dessous d'un bruit de fond des désintégration semi-leptoniques des particules de saveur lourde. Cette circonstance a évité toute mesure jusqu'à présent.

Le stage proposé consiste à étudier la faisabilité des techniques novatrices pour la suppression du bruit de fond rendues accessibles par la géométrie vers l'avant de LHCb et son détecteur de vertex, le Velo, dans des simulations complètes et, si disponibles, dans des données réelles.

Sujet détaillé

Au grand collisionneur de hadrons (LHC) à Genève, des collisions de noyaux de plomb sont utilisées pour créer un système thermodynamique décrit par la dynamique des fluides sous des conditions extrêmes. La température du système est suffisamment grande pour relâcher les blocs fondamentaux de la matière à une échelle subnucléonique, les quarks et les gluons. Cet état de la matière est nommé le plasma de quarks et de gluons (PQG).

Le laboratoire PQG au sein du département de physique nucléaire du CEA Saclay est fortement impliqué au LHC à

tous les niveaux de l'exploration expérimentale du PQG avec l'expérience ALICE, l'expérience dédiée aux ions-lourds au LHC, et l'expérience LHCb, l'expérience dédiée à l'étude des hadrons de saveur lourde: cas de physique, conception du détecteur, ingénierie de hardware et software et analyses de physique.

L'évolution dans l'espace-temps des collisions d'ions lourds au LHC est décrit par hydrodynamique presque parfait après une durée très courte. Néanmoins, des aspects clés des phases initiales de ces collisions sont largement inconnus. Ces caractéristiques sont cruciales pour la compréhension de l'applicabilité de l'hydrodynamique et pour la compréhension de la thermalisation de la matière en interaction forte. En particulier, l'échelle temporelle nécessaire pour l'équilibration cinétique requise pour l'applicabilité de l'hydrodynamique n'est pas contrainte par des mesures expérimentales. En plus, le processus de l'équilibre chimique qui crée des quarks à partir d'un état initial hautement dominé par des quarks n'est pas non plus contraint par des données expérimentales. Les deux processus peuvent être seulement estimés en termes d'ordre de grandeur par des considérations théoriques informées indirectement par des données expérimentales.

Dans des publications récentes, il a été mis en évidence que la production des dileptons dans la gamme de masse intermédiaire entre $1.5 \text{ GeV}/c^2$ et $5 \text{ GeV}/c^2$ est hautement sensible à l'échelle temporelle de l'hydrodynamisation et de l'équilibration chimique [1]. C'est le seul accès expérimental à la phase d'hydrodynamisation des collisions d'ions lourds.

En plus, le LHC fournit des faisceaux de protons et d'ions lourds de haute énergie. Ils permettent d'accéder à la structure hadronique des projectiles à des fractions d'impulsion très petites et, en même temps, à des échanges de quadri-impulsions relativement grands. Cette configuration permet donc de conduire des calculs perturbatifs qui nous autorisent à accéder à l'information de la structure hadronique à très basse impulsion longitudinale.

Le processus théoriquement le mieux compris dans des collisions hadroniques est la production des paires de dileptons, le processus Drell-Yan. A l'échelle de la resonance Z, des mesures de précision ont déjà permis de contraindre la distribution des partons à l'intérieur du proton. Par contre, jusqu'à présent, il n'y a pas eu de mesure descendant jusqu'à $3 \text{ GeV}/c^2$ à un collisionneur de hadrons, malgré la motivation théorique de tester les partons avec des fraction d'impulsion longitudinale faible.

En effet, à des masses en dessous d'environ $30 \text{ GeV}/c^2$, des désintégrations semileptoniques de hadrons de saveur lourde commencent à dominer la production de dileptons. Ce processus a occulté chaque tentative d'extraire la production de Drell-Yan descendant jusqu'à $3 \text{ GeV}/c^2$ et de mesurer la production des dileptons prompts produits par le PQG et par le prééquilibre aux collisionneurs de hadrons.

Dans ce stage, la faisabilité des techniques novatrices de suppression du bruit de fond basées sur la séparation de vertex par LHCb grâce à son détecteur de vertex Velo et au boost longitudinal fournit par la géométrie vers l'avant seront étudiées dans les collisions proton-proton. Des simulations réalistes du détecteur et, si disponibles, des données réelles seront utilisées.

Ce travail constituera le point de départ de l'analyse des données proton-proton en 2024 avec l'objectif d'une première mesure de Drell-Yan jusqu'aux basses masses. Cette mesure est une première étape pour l'exploitation des mêmes techniques dans des collisions d'ions lourds et proton-ion avec LHCb.

[1] Intermediate mass dileptons as pre-equilibrium probes in heavy ion collisions Maurice Coquet(IRFU, Saclay, DPHN), Xiaojian Du(Bielefeld U.), Jean-Yves Ollitrault(IPhT, Saclay), Soeren Schlichting(Bielefeld U.), Michael Winn(IRFU, Saclay, DPHN), Phys.Lett.B 821 (2021) 136626, arXiv:2104.07622 [nucl-th]

Mots clés

Physique des particules; QGP, hadron structure, LHC, Drell-Yan, electromagnetic radiation

Compétences

Cinématique relativiste, programmation, simulations de MC

Logiciels

C++

Novel techniques of background rejection for the study of preequilibrium dileptons and low-mass Drell-Yan production in pp collisions with LHCb at the LHC

Summary

Novel techniques of background rejection for the study of preequilibrium dileptons and low-mass Drell-Yan production in pp collisions with LHCb at the LHC

The Quark Gluon Plasma is a state of matter under extreme conditions of temperature of the order of few hundreds of MeV, which can be created in heavy-ion collisions at the LHC at CERN. The evolution of these collisions is described by close-to-ideal hydrodynamics after a short lapse of time. However, the time scale of the emergence of hydrodynamics from the initial state itself is only known approximately from theoretical considerations.

Dilepton production above an invariant mass of $1.5 \text{ GeV}/c^2$ is a unique window into the early stages of heavy-ion collisions. At higher masses, above about $5 \text{ GeV}/c^2$ in heavy-ion collisions and above about $1.5 \text{ GeV}/c^2$ in proton-proton collisions, the Drell-Yan process dominates. The investigation of its differential production can provide unique information on the structure of the projectiles at high collision energies.

At the LHC, the Drell-Yan and the preequilibrium dileptons are buried below a large background from semileptonic decays of heavy-flavour hadrons, preventing, so far, any measurement.

The proposed internship consists of studying the feasibility of novel techniques of background rejection, enabled by the forward geometry of LHCb and its vertex detector, in full simulations and, if available by the time of the internship, in real data.

Full description

At the Large Hadron Collider (LHC) at Geneva, collisions of lead nuclei are used to create a thermodynamic system described by fluid dynamics under extreme conditions. The temperature of the short-lived system is sufficiently large in order to release the building blocks of matter at a subnucleonic scale, quarks and gluons. This state of matter is commonly called Quark Gluon Plasma (QGP).

The QGP laboratory inside the department of nuclear physics of CEA Saclay is actively involved at all levels of experimental exploration of the QGP with the ALICE experiment, the dedicated heavy-ion experiment at the LHC, and the LHCb detector, the dedicated experiment for the study of heavy-flavour hadrons: physics case, detector conception for future upgrades, hardware and software engineering, and physics analysis.

The space-time evolution of heavy-ion collisions at the LHC is described by close-to-ideal hydrodynamics after a short lapse of time. However, key features of the early stages of these collisions are largely unknown. These characteristics are crucial to understand the applicability of hydrodynamics and to understand thermalisation of a strongly interacting system. In particular, the time scale necessary for kinetic equilibration, required for the applicability of hydrodynamics, is not constrained by direct experimental measures. In addition, the chemical equilibration process creating quarks from an initially largely gluon dominated system is largely unconstrained by experimental data. Both processes time scales can be only estimated by order of magnitude from theoretical considerations informed indirectly by experimental data.

In recent publications, it was pointed out that the dilepton production in the intermediate mass scale between 1.5 and $5 \text{ GeV}/c^2$ is highly sensitive to the hydrodynamisation time scale and the chemical equilibration process [1]. This is the only direct experimental access to the hydrodynamisation stage of heavy-ion collisions.

In addition, the LHC provides highly energetic proton and heavy-ion beams. They allow to access the hadronic structure of the projectiles at very small fractional longitudinal momenta and at the same time still relatively large four momentum transfers. This configuration enables, hence, perturbative calculations to extract hadron structure information at very small fractional longitudinal momenta.

The theoretically best understood process in hadronic collisions is the production of dilepton pairs, the so-called Drell-

Yan process. At the Z resonance, precision measurements already allowed precise constraints of parton distributions inside the proton. However, so far, no measurement down to $3 \text{ GeV}/c^2$ at a hadron collider has been published despite its theoretical motivation to test the lowest fractional momenta.

In fact, at masses below around $30 \text{ GeV}/c^2$, semileptonic decays of heavy-flavour hadrons start to dominate the dilepton production. This process has obscured any attempt to extract Drell-Yan production down to $3 \text{ GeV}/c^2$ as well as prompt dileptons produced by the QGP and the preequilibrium at hadron colliders.

In this internship, the feasibility of novel background rejection techniques employing the vertex separation power of LHCb via its vertex locator and the longitudinal boost given by the forward geometry of LHCb will be studied in the dimuon channel in proton-proton collisions. Realistic detector simulations and, if available, real data will be used to study the sensitive observables.

This work will constitute the starting point for the analysis of the proton-proton data that will be taken in 2024 with the goal of a first Drell-Yan measurement down to low masses. This measurement is a first step towards the exploitation of the same techniques in proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions with LHCb.

The student will familiarise himself with the physics of hadron structure, the QGP, basic c++ and python programming, the fundamentals of detector physics, simulation, data analysis, and uncertainty estimation. The work will be based on Monte Carlo simulations and analysis tools provided within the LHCb collaboration.

[1] Intermediate mass dileptons as pre-equilibrium probes in heavy ion collisions Maurice Coquet(IRFU, Saclay, DPHN), Xiaojian Du(Bielefeld U.), Jean-Yves Ollitrault(IPhT, Saclay), Soeren Schlichting(Bielefeld U.), Michael Winn(IRFU, Saclay, DPHN), Phys.Lett.B 821 (2021) 136626, arXiv:2104.07622 [nucl-th]

Keywords

Particle physics; QGP, hadron structure, LHC, Drell-Yan, electromagnetic radiation

Skills

Relativistic kinematics, programming, MC simulations

Softwares

C++



Machine learning pour prédire la propagation de muons dans la matière

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/DEPHYS](#)

Candidature avant le 01/06/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [GOMEZ-MALUENDA Hector](#)
01 69 08 63 80
hector.gomez@cea.fr

Résumé

La muographie est une technique d'imagerie permettant de scanner des objets très opaques, qui ne peuvent pas être analysés avec d'autres techniques (comme les rayons X). Au CEA Irfu, nous utilisons la muographie pour scanner différents objets comme des réacteurs nucléaires, des colis de déchets radioactifs ou même la grande pyramide de Gizeh. L'équipe développe un programme de R&D en continu pour l'instrumentation des détecteurs, le traitement du signal et l'analyse de données, incluant le machine learning. Pour améliorer l'analyse de grands objets nous avons besoin d'un nouveau logiciel de simulation qui pourrait prédire la propagation des muons dans la matière. Ce logiciel utilisera le machine learning pour prédire le comportement des muons. Le stagiaire devra créer un dataset de trajectoire de muons, choisir un réseau de neurones et l'implémenter.

Sujet détaillé

- Contexte

La muographie est une méthode de scan non invasive et non destructive adaptée aux structures de grande taille. Elle est actuellement appliquée dans une large variété de contextes comme la volcanologie, la géophysique ou le nucléaire.

Les muons atmosphériques pouvant traverser de très grandes distances dans la matière avant d'être absorbés ou déviés (contrairement aux rayons X par exemple), la reconstruction de leur trajectoire permet l'étude et l'imagerie des objets traversés à l'aide de différentes techniques (absorption, transmission ou déviation).

A l'Irfu, le groupe muographie réalise des mesures à l'aide d'instruments basés sur les détecteurs Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure), inventés à l'Irfu. Ces détecteurs ont été développés à l'origine pour des expériences de physique nucléaire et de physique des particules. A l'aide de cette technologie, le groupe a pu montrer l'intérêt de la muographie depuis 2015 entre autre sur un château d'eau à Saclay, la pyramide de Khéops et plus récemment sur des réacteurs nucléaires à Marcoule. Ces résultats ont éveillé l'intérêt de l'industrie et de la recherche en France et en Europe pour des applications similaires et plus variées.

Le groupe muographie a une politique de R&D continue sur l'instrumentation des télescopes à muons, le traitement du signal et l'analyse de données, incluant le machine learning. Une grande partie des techniques de muographies reposent sur notre capacité à simuler le comportement des muons dans la matière, ce qui peut être fait de différentes façons.

Le logiciel Geant4 permet de simuler la propagation des muons dans la matière avec une très grande précision. Cependant ces simulations sont généralement très longues, en particulier pour des grands objets ou des géométries complexes. Cela rend l'utilisation de Geant4 non viable dans certaines analyses. Pour cette raison, des logiciels de simulations simplifiées sont généralement utilisés. Ils approximent le comportement des muons mais donnent des résultats rapidement.

L'objectif de ce stage sera de développer un nouveau logiciel de simulation, qui pourra prédire plus précisément la propagation des muons tout en restant significativement plus rapide que Geant4. L'idée sera d'utiliser un réseau de neurones de façon récurrente pour évaluer le comportement des muons le long de leur trajectoire dans la matière.

- Objectif

Le-la stagiaire aura à créer un dataset de trajectoires de muons dans la matière. Cela sera possible grâce à Geant4. Les informations nécessaires seront extraites de ces simulations pour entraîner un réseau de neurones. Enfin ce réseau de neurones sera utilisé de façon récurrente pour simuler des muons traversant différents matériaux.

Pendant ce stage, le-la stagiaire aura à :

- comprendre l'importance et les limitations des simulations pour la muographie
- développer un script pour lancer une grande quantité de simulations Geant4 simples
- étudier quel type de réseau de neurones est capable de prédire la propagation des muons
- proposer une architecture de réseau de neurone à implémenter
- entraîner ce réseau de neurones avec les données de Geant4
- caractériser les performances du réseau de neurones
- développer un logiciel qui utilise ce réseau de neurones

A la fin, ce réseau de neurones pourra être testé pour améliorer la muographie d'objets complexes comme des réacteurs nucléaires ou des colis de déchets radioactifs.

Mots clés

Machine Learning, Data analysis, Monte Carlo Simulations, Statistics

Compétences

Nous attendons du/de la candidat-e d'avoir un bon niveau en Python pour l'analyse de données (numpy, matplotlib, ...), d'être familier-ère du C++ et curieux ou curieuse au sujet de l'actualité du machine learning. Nous attendons aussi des connaissances fondamentales en statistiques. Une expérience en Geant4, simulations Monte Carlo ou ROOT sera appréciée.

Logiciels

Python, C/C++, Geant4, ROOT

Machine learning for muon propagation through matter prediction

Summary

Muography is an imaging technique that allows to scan very opaque objects, that cannot be analyzed with other techniques (like X rays). At CEA Irfu, we use muography to scan various objects like nuclear reactors, nuclear waste packages or even the great pyramid of Khufu. The team develops a continuous R&D program for detector instrumentation, signal processing and data analysis techniques, including machine learning. To improve the analysis of big objects we need a new simulation software that would predict the propagation of muons in the matter. This software would use machine learning to predict the behaviour of muons. The intern would need to create a dataset of muon tracks, choose a neural network architecture and train it.

Full description

- Context

Muography is a non-invasive and non-destructive scanning method for large structures; it is currently being considered as a potential technique for a large variety of applications going from volcanology to geophysics, engineering or nuclear domain.

Taking advantage of the capability of atmospheric muons to go through long distances of matter before being absorbed or deviated (on the contrary to X rays for example), muons track reconstruction allows the study and the imaging of the traversed objects using different analysis techniques (absorption, transmission or deviation).

At Irfu, the group working on muography performs measurements using instruments based on Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure) detectors. Invented at Irfu, Micromegas were conceived originally to be used at nuclear and particle physics experiments. Among the measurements done by the group from 2015, those of the "château d'eau" at Saclay, the Khufu's pyramid or, lately, of a nuclear reactor at CEA Marcoule, can be highlighted. These results triggered the interest of several industrial groups in France and all along Europe for the previously mentioned applications or to new ones.

Muography team at Irfu develops a continuous R&D program for telescopes instrumentation, signal processing and data analysis techniques, including machine learning. Many muography analyses rely on muon tracks simulation, which can be obtained with different methods.

The Geant4 software allows to simulate muons propagation in matter with an excellent confidence. However, these simulations are usually quite time consuming, specially for big objects or complex geometries, being not viable for some measurements to use Geant4 simulations in a whole analysis process. For this reason we generally use simplified simulation softwares, which approximate the muon behaviour but are faster.

The following internship will be focused on the development of a new simulation software, which could predict more precisely the muons propagation, while staying significantly faster than a Geant4 simulation. The idea will be to use recurrently a neural network to evaluate muons behaviour among their path through matter.

- Goal

The intern will have to create a dataset of muon simulations through matter. This will be done with Geant4 simulations. Then required information will be extracted from those simulations and used to train a neural network. Finally this neural network will be called recurrently to simulate muons crossing different materials.

During this internship, the intern would need to:

- understand the importance of simulations for muography and their current limitations
- develop a script to run a large amount of simple simulations in Geant4
- study what kind of neural network is able to predict muon propagation
- propose a neural network architecture to implement
- train this neural network with Geant4's data

-
- characterise the neural network's performances
 - build a software that uses this neural network

Finally, this neural network could be tested to improve the muography of complex objects, like nuclear reactors or nuclear waste packages.

Keywords

Machine Learning, Data analysis, Monte Carlo Simulations, Statistics

Skills

We expect the candidate to have a good level in Python for data analysis (numpy, matplotlib, ...), to be familiar with C++, and to be curious about the current trends in machine learning. Also the candidate will need to have elementary knowledge in statistics. An experience with Geant4, Monte Carlo analyses or ROOT will be appreciated.

Softwares

Python, C/C++, Geant4, ROOT



Monitoring de détecteur de muons et dé-bruitage avec du machine learning

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/DEPHYS](#)

Candidature avant le 01/06/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [GOMEZ-MALUENDA Hector](#)
01 69 08 63 80
hector.gomez@cea.fr

Résumé

La muographie est une technique d'imagerie permettant de scanner des objets très opaques, qui ne peuvent pas être analysés avec d'autres techniques (comme les rayons X). Au CEA Irfu, nous utilisons la muographie pour scanner différents objets comme des réacteurs nucléaires, des colis de déchets radioactifs ou même la grande pyramide de Gizeh. L'équipe développe un programme de R&D en continu pour l'instrumentation des détecteurs, le traitement du signal et l'analyse de données, incluant le machine learning. Pour améliorer l'analyse nous avons besoin de monitorer les détecteurs de muons et d'identifier le bruit. C'est actuellement fait à l'aide de critères appliqués sur certaines features des données. Nous souhaiterions développer un outil de machine learning qui prendrait en compte plus de features et discriminerait mieux les muons du bruit.

Sujet détaillé

- Contexte

La muographie est une méthode de scan non invasive et non destructive adaptée aux structures de grande taille. Elle est actuellement appliquée dans une large variété de contextes comme la volcanologie, la géophysique ou le nucléaire.

Les muons atmosphériques pouvant traverser de très grandes distances dans la matière avant d'être absorbés ou déviés (contrairement aux rayons X par exemple), la reconstruction de leur trajectoire permet l'étude et l'imagerie des objets traversés à l'aide de différentes techniques (absorption, transmission ou déviation).

A l'Irfu, le groupe muographie réalise des mesures à l'aide d'instruments basés sur les détecteurs Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure), inventés à l'Irfu. Ces détecteurs ont été développés à l'origine pour des expériences de physique nucléaire et de physique des particules. A l'aide de cette technologie, le groupe a pu montrer l'intérêt de la muographie depuis 2015 entre autre sur un château d'eau à Saclay, la pyramide de Khéops et plus récemment sur des réacteurs nucléaires à Marcoule. Ces résultats ont éveillé l'intérêt de l'industrie et de la recherche en France et en Europe pour des applications similaires et plus variées.

Le groupe muographie a une politique de R&D continue sur l'instrumentation des télescopes à muons, le traitement du signal et l'analyse de données, incluant le machine learning.

Une des premières étapes de l'analyse est la séparation entre données réelles et bruit. Celle-ci est actuellement faite à l'aide de critères simples utilisant certaines features des données (amplitude électrique, position sur le détecteur, ...). Ces critères réduisent significativement le bruit dans les données mais utilisent seulement une petite parties des features mesurées. En pratique il est difficile de trouver des critères à appliquer sur les autres features, ou sur plusieurs en même temps.

- Objectif

Le-la stagiaire recevra des données réelles de détecteurs à muons et développera une méthode de classification supervisée ou non-supervisée pour prédire si les détecteurs fonctionnent correctement ou pas. Dans les deux cas, l'algorithme devra aussi identifier si chaque évènement est du bruit ou un muon.

Pendant ce stage, le-la stagiaire aura à:

- apprendre comment fonctionne un télescope à muons (électronique, gaz, réseau, stockage des données, ...)
- apprendre les types de bruits courants
- apprendre quelles informations sont enregistrées pendant l'acquisition
- se renseigner sur l'état de l'art des techniques de monitoring par machine learning
- proposer et développer une méthodes pour les télescopes à muons
- tester et caractériser la méthode choisie

Mots clés

Machine Learning, Data analysis, Statistics

Compétences

Nous attendons du-de la candidat-e d'avoir un bon niveau en Python pour l'analyse de données (numpy, matplotlib, ...), et curieux ou curieuse au sujet de l'actualité du machine learning. Nous attendons aussi des connaissances fondamentales en statistiques. Une expérience en C/C++ et/ou en ROOT sera appréciée.

Logiciels

Python, C/C++, ROOT

Muon detector monitoring and noise suppression with machine learning algorithm

Summary

Muography is an imaging technique that allows to scan very opaque objects, that cannot be analyzed with other techniques (like X rays). At CEA Irfu, we use muography to scan various objects like nuclear reactors, nuclear waste packages or even the great pyramid of Khufu. The team develops a continuous R&D program for detector instrumentation, signal processing and data analysis techniques, including machine learning. To improve the analysis we need to monitor the muon detectors and identify noise. This is currently done with criteria applied on some features of the data. We would like to develop a machine learning method to take more features into account and discriminate better the muons from the noise.

Full description

- Context

Muography is a non-invasive and non-destructive scanning method for large structures; it is currently being considered as a potential technique for a large variety of applications going from volcanology to geophysics, engineering or nuclear domain.

Taking advantage of the capability of atmospheric muons to go through long distances of matter before being absorbed or deviated (on the contrary to X rays for example), muons track reconstruction allows the study and the imaging of the traversed objects using different analysis techniques (absorption, transmission or deviation).

At Irfu, the group working on muography performs measurements using instruments based on Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure) detectors. Invented at Irfu, Micromegas were conceived originally to be used at nuclear and particle physics experiments. Among the measurements done by the group from 2015, those of the "château d'eau" at Saclay, the Khufu's pyramid or, lately, of a nuclear reactor at CEA Marcoule, can be highlighted. These results triggered the interest of several industrial groups in France and all along Europe for the previously mentioned applications or to new ones.

Muography team at Irfu develops a continuous R&D program both for telescopes instrumentation, signal processing and data analysis techniques, including machine learning.

One of the first step in the analysis is the separation between real data and noise. This is currently done thanks to simple criteria applied on some features of the data (electrical amplitude, localisation on the detector, ...). Those criteria significantly reduces the noise in the data, however many other features are measured but not used. Indeed it can be hard to find how to use them properly.

- Goal

The intern will be given real data from muon telescopes and will have to develop unsupervised and/or supervised classification methods to predict if the telescope is properly functioning or not. In both cases, the algorithm will also have to discern if each event is a muon or noise.

During this internship, the intern would need to:

- learn how a muon telescope works (electronics, gas, network, data storage...)
- learn the usual types of noise
- learn what informations are stored during the acquisition and what they mean
- study the current monitoring methods in the scientific litterature
- propose and develop a classification tool for the telescopes
- test and characterise the choosen method

Keywords

Machine Learning, Data analysis, Statistics

Skills

We expect the candidate to have a good level in Python (numpy, matplotlib, ...), and to be curious about the current trends in machine learning. Also the candidate will need to have elementary knowledge in statistics. An experience with C/C++ and/or the ROOT framework will be appreciated.

Softwares

Python, C/C++, ROOT



Mesure de la rotation dans les rotateurs modérément actifs

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAp/LDE3](#)

Candidature avant le 01/09/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [GARCIA, Rafael A.](#)
0169082725
rgarcia@cea.fr

Résumé

La mission de l'ESA PLATO (lancement fin 2026), a pour objectif de découvrir et de caractériser des systèmes planétaires semblables à la Terre. L'objectif de cette stage est de mesurer la rotation de surface des étoiles modérément actives semblables au Soleil.

Sujet détaillé

La mission Planetary Transits and Oscillations of stars (PLATO, Rauer et al. 2014) sera lancée fin 2026 par l'Agence spatiale européenne (ESA), avec pour objectif de découvrir et de caractériser des systèmes planétaires semblables à la Terre. Dans cette optique, être capable de mesurer la rotation de surface des analogues solaires modérément actifs est à la fois un défi et un élément clé dans l'étude de ces systèmes. La conception des algorithmes pour mesurer la rotation et l'activité de la surface stellaire dans PLATO est sous la responsabilité de l'observatoire de Catane (Italie, INAF-OACT, Dr. Isabella Pagano, co-PI de la mission PLATO) tandis que le CEA Saclay est responsable de leur implémentation dans le système d'analyse stellaire PLATO (SAS), qui est l'ensemble des outils terrestres développés pour fournir les résultats stellaires à la communauté scientifique.

Ce stage se veut une introduction à la physique des étoiles de type solaire et à la mise en œuvre et l'exploitation de techniques d'analyse de données de pointe dans ce domaine. Il a pour but d'explorer et d'évaluer l'efficacité de nouvelles techniques pour mesurer la rotation des étoiles modérément actives, en plus des algorithmes déjà inclus dans le SAS. L'étudiant mettra en œuvre la méthode GPS (gradient power spectrum) et évaluera les performances et la robustesse d'une telle technique en l'appliquant à la fois aux observations réelles de Kepler et aux courbes de lumière simulées par PLATO, en comparant les résultats obtenus avec les catalogues de référence de la littérature.

Le stage se déroulera au Département d'Astrophysique (DAp) du CEA Saclay (Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette, Essonne), au sein du Laboratoire de Dynamique des Etoiles, des (Exo)planètes et de leurs Environnements (LDE3). L'étudiant travaillera sous la supervision du Dr. Rafael A. García (LDE3, CEA Saclay) et du Dr. Sylvain N. Breton (INAF-OACT). Une visite de travail de quelques semaines à Catane pendant la durée du stage est possible. L'étudiant bénéficiera également du réseau de collaboration du groupe, avec la possibilité de travailler en collaboration avec

l'Instituto de Astrofísica de Canarias (Espagne, contact : Dr. Savita Mathur) et l'Universidade do Porto (Portugal, contact : Dr. ngela R.G. Santos).

Les résultats obtenus seront présentés sous forme de poster lors d'une des conférences d'été de notre communauté.

L'étudiant participera également aux discussions scientifiques du groupe et pourrait éventuellement participer à d'autres projets en cours liés à PLATO. Le stagiaire présentera son travail et contribuera aux discussions scientifiques sur les articles récemment publiés. Ces présentations ont lieu sous forme de téléconférences bihebdomadaires au sein de notre réseau de collaborateurs.

Mots clés

Physique solaire et stellaire, Dynamique des étoiles, Gyrochronologie, Analyses des données

Compétences

Analyses des données, Méthodes numériques, Domaine de Fourier, Analyses par wavelets et auto-correlation des signaux, Data Mining.

Logiciels

Python

Measuring rotation in moderately-active rotators

Summary

ESA's PLATO mission (launch at the end of 2026) aims to discover and characterize Earth-like planetary systems. The objective of this internship is to measure the surface rotation of moderately active stars similar to the Sun.

Full description

The Planetary Transits and Oscillations of stars (PLATO, Rauer et al. 2014) mission will be launched late 2026 by the European Space Agency (ESA), with the goal to discover and characterise Earth-like planetary systems. In this view, being able to measure the surface rotation of moderately-active solar analogs is both a challenge and a key element in studying these systems. The design of the algorithms to measure stellar surface rotation and activity in PLATO are under the responsibility of the Catania observatory (Italy, INAF-OACT, Dr. Isabella Pagano, co-PI of the PLATO mission) while CEA Saclay is responsible for their implementation in the PLATO Stellar Analysis System (SAS), which is the ensemble of the ground-based tools developed to provide the stellar results to the scientific community.

This internship is meant to be an introduction to the physics of solar-type stars and to the implementation and exploitation of cutting-edge data analysis techniques in this field. It is dedicated to explore and assess the efficiency of novel techniques to measure rotation in moderately-active stars, in addition to the algorithms that are already included in the SAS. The student will implement the gradient power spectrum, GPS, method and will assess the performances and robustness of such a technique by applying it both on Kepler actual observations and PLATO simulated light curves, comparing the obtained results with reference catalogues from the literature.

The internship will take place at the Astrophysics division (DAp) of the CEA Saclay (Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette, Essonne), among the Dynamics of Stars, (Exo)planets and their Environments Laboratory (LDE3). The student will work under the supervision of Dr. Rafael A. García (LDE3, CEA Saclay) and Dr. Sylvain N. Breton (INAF-OACT). A working visit of a few weeks in Catania during the time of the internship is a possibility. The student will also benefit from the collaboration network of the group, with possibilities to work in collaboration with the Instituto de Astrofísica de Canarias (Spain, contact: Dr. Savita Mathur) and the Universidade do Porto (Portugal, contact: Dr. ngela R.G. Santos).

The obtained results will be presented as a poster in one of the summer conferences of our community.

The student will also take part in the scientific discussions of the group and could eventually participate in other ongoing projects related with PLATO. The intern will present his/her work and contribute to the scientific discussions on papers recently published. These presentations take place in the form of biweekly remote telecoms within our network of collaborators.

Keywords

Solar and stellar physics, stellar dynamics, gyrochronology, data analysis

Skills

Data analysis, Numerical methods, Fourier domain, Wavelet analysis and signal auto-correlation, Data mining.

Softwares

Python



Simulation d'un détecteur bêta pour l'étude des antineutrinos de réacteur

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingénieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LEARN](#)

Candidature avant le 04/04/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [LETOURNEAU Alain](#)

+33 1 69 08 76 01

alain.letourneau@cea.fr

Résumé

Nous proposons d'étudier les différentes options pour la construction d'un détecteur d'électrons qui servira à mesurer les spectres bêta émis par les fragments de fission. Le travail sera réalisé par simulation à l'aide du code Geant4, complété par des mesures réalisées en laboratoire avec un prototype et des sources bêta. Ces mesures serviront à valider les simulations.

Sujet détaillé

Les neutrinos sont des particules fascinantes dont certaines propriétés nous échappent encore malgré des années de recherche. Nombre d'avancées, dont leur découverte, ont été rendues possibles grâce aux réacteurs nucléaires, ceux-ci produisant en effet d'importantes quantités d'antineutrinos électroniques par décroissance bêta des fragments de fissions. Les mesures récentes auprès de réacteurs montrent des déviations de quelques pourcents par rapport à la théorie qu'il faut comprendre. Les dernières mesures et études théoriques réalisées par notre équipe [1,2] ont rejeté l'existence d'une nouvelle physique et pointent vers un biais dans la prédiction qui serait dû à un biais expérimental dans les mesures de spectres bêta de fission sur lesquelles elle s'appuie.

Ce travail de stage s'inscrit dans la suite des études menées pour comprendre l'origine des anomalies. Nous projetons de remesurer les spectres bêta de fission des actinides majeurs qui ont été mesurés dans les années 1980 et qui servent de références à la prédiction. Pour ce faire, nous souhaitons développer un détecteur pouvant mesurer les électrons sur une grande gamme en énergie en présence d'un fond de rayonnement gammas. La technologie plastique scintillants semble être aujourd'hui la mieux adaptée et la plus simple à mettre en œuvre moyennant des optimisations.

A l'aide de la simulation Geant4, il s'agira d'étudier les performances de différentes options de détecteur, afin d'orienter les choix de conception. En particulier, les options segmentées semblent intéressantes pour rejeter le bruit de fond gamma mais elles nécessitent une mise en œuvre plus compliquée. En complément, des mesures de validation sur un prototype seront réalisées en laboratoire à l'aide de sources d'étalonnage. Ces mesures permettront de comprendre la réponse d'un détecteur et de calibrer la simulation.

Ce travail constituera le point départ pour concevoir le détecteur final, définir les expériences futures et pour mettre en place les outils de simulation.

-
- [1] The STEREO collaboration, Nature 613, 257 (2023),
https://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=5083
- [2] A. Letourneau et al., Physical Review Letter 130, 021801 (2023),
https://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=5094

Mots clés

physique des neutrinos, détecteur bêta

Compétences

Transport des particules par simulation Monte Carlo avec Geant4. Mesures à l'aide de sources d'étalonnage et analyse à l'aide de ROOT.

Logiciels

Geant4, ROOT, C++

Simulation of a beta detector for studying reactor antineutrinos

Summary

We propose to study the different options for the construction of an electron detector that will be used to measure the beta spectra emitted by fission fragments. The work will be carried out by simulation using the Geant4 code, supplemented by laboratory measurements using a prototype and beta sources. These measurements will be used to validate the simulations.

Full description

Neutrinos are fascinating particles, some of whose properties still elude us despite years of research. Many advances, including their discovery, have been made possible by nuclear reactors, which produce large quantities of electron antineutrinos by beta decay of fission fragments. Recent reactor measurements show deviations of a few percent from the theory, which we need to understand. The latest measurements and theoretical studies carried out by our team [1,2] have rejected the existence of a new physics and point to a bias in the prediction that would be due to an experimental bias in the measurements of fission beta spectra on which it is based.

This internship is a continuation of the studies carried out to understand the origin of the anomalies. We plan to re-measure the fission beta spectra of major actinides, which were measured in the 1980s and serve as a reference for prediction. To do this, we want to develop a detector capable of measuring electrons over a wide energy range in the presence of a gamma-ray background. Scintillating plastic technology seems to be the most suitable and easiest to implement today, subject to a few optimizations.

Using the Geant4 simulation, we will study the performance of different detector options, in order to guide design choices. In particular, segmented options appear interesting for rejecting gamma background, but require more complicated implementation. In addition, validation measurements on a prototype will be carried out in the laboratory using calibration sources. These measurements will enable us to understand the response of a detector and to calibrate the simulation.

This work will be the starting point for designing the final detector, defining future experiments and setting up simulation tools.

[1] The STEREO collaboration, Nature 613, 257 (2023), https://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=5083

[2] A. Letourneau et al., Physical Review Letter 130, 021801 (2023), https://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=5094

Keywords

neutrino physics, beta measurement

Skills

Particle transport by Monte Carlo simulation with Geant4. Measurements using calibration sources and analysis with ROOT software.

Softwares

Geant4, ROOT, C++



Etude et simulation d'une ligne de neutrons pour l'installation IFMIF-DONES

Spécialité Neutronique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LEARN](#)

Candidature avant le 04/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [LETOURNEAU Alain](#)

+33 1 69 08 76 01

alain.letourneau@cea.fr

Résumé

Nous proposons d'étudier et de définir les performances d'une ligne de neutrons dédiée à différentes applications comme l'imagerie ou la diffusion neutronique, dans le cadre du projet IFMIF-DONES. Ces études seront réalisées à l'aide du code TOUCAN basé sur Geant4. Elles serviront à définir les lignes qui prendront place dans l'installation.

Sujet détaillé

L'installation IFMIF-DONES (International Fusion Materials Irradiation Facility DEMO Oriented Neutron Source) est une installation en cours de construction à Grenade (Espagne). Elle sera consacrée à l'irradiation et à l'étude des matériaux servant à la structure et à la couverture dans un réacteur de fusion nucléaire. Elle produira un flux de neutrons jamais inégalé sur une gamme en énergie allant jusqu'à 50 MeV. Une grosse partie de ces neutrons n'interagira pas avec les matériaux irradiés et sera perdue. C'est pourquoi il est envisagé d'utiliser une partie de ces neutrons pour d'autres applications dans une salle adjacente dédiée. Les utilisations possibles sont en cours de définition, mais une étude préliminaire menée par notre équipe [1], a montré que IFMIF-DONES aurait le potentiel pour être une installation de première classe.

Dans ce travail de stage, nous proposons de poursuivre le travail entamé dans [1], en étudiant et en définissant des lignes de neutrons pouvant servir à différentes applications comme la radiographie d'objets, pour sonder des matériaux par diffusion neutronique, ou à produire des radioéléments. Le travail consistera à simuler l'ensemble de la chaîne de transport des neutrons, de leur ralentissement dans le modérateur à leur détection, à l'aide du code TOUCAN basé sur Geant4. Il s'agira d'évaluer les performances d'une telle ligne et d'optimiser les combinaisons modérateur-extracteur qui permettront d'améliorer les performances.

Ce travail viendra compléter celui déjà réalisé et sera le point de départ pour choisir et définir les caractéristiques des instruments qui prendront place dans l'installation.

Des connaissances en C++ sont requises pour ce stage qui peut également convenir pour une alternance.

[1] J. Hirtz et al., "Neutron availability in the Complementary Experiments Hall of the IFMIF-DONES facility", Fusion

Engineering and Design 179 (2022) 113133, arXiv:2201.08711

Mots clés

physique nucléaire, sources de neutrons, fusion

Compétences

Transport de particules par simulation Monte Carlo avec Geant4

Logiciels

C++, Geant4, ROOT

Study and simulation of neutron line for the IFMIF-DONES installation

Summary

As part of the IFMIF-DONES project, we propose to study and define the performance of a neutron line dedicated to various applications such as neutron imaging or scattering. These studies will be carried out using the Geant4-based TOUCAN code. They will be used to define the lines that will be installed in the facility.

Full description

The IFMIF-DONES facility (International Fusion Materials Irradiation Facility DEMO Oriented Neutron Source) is currently under construction in Granada (Spain). It will be dedicated to the irradiation and study of materials used for the structure and cladding of a nuclear fusion reactor. It will produce an unprecedented flow of neutrons over an energy range of up to 50 MeV. A large proportion of these neutrons will not interact with the irradiated materials, and will be lost. This is why it is planned to use some of these neutrons for other applications in a dedicated adjacent room. Possible uses are still being defined, but a preliminary study carried out by our team [1] has shown that IFMIF-DONES has the potential to be a first-class facility.

In this internship, we propose to continue the work started in [1], by studying and defining neutron lines that can be used for various applications such as radiography of objects, to probe materials by neutron scattering, or to produce radioelements. The work will involve simulating the entire neutron transport chain, from slowing neutrons down in the moderator to detecting them, using the Geant4-based code TOUCAN. The aim will be to assess the performance of such lines, and to optimize the moderator-extractor combinations that will improve performance.

This work will complement that already carried out, and will be the starting point for choosing and defining the characteristics of the instruments that will take their place in the installation.

[1] J. Hirtz et al., "Neutron availability in the Complementary Experiments Hall of the IFMIF-DONES facility", Fusion Engineering and Design 179 (2022) 113133, arXiv:2201.08711

Keywords

nuclear physics, neutron source, fusion

Skills

Particle transport with Geant4

Softwares

C++, Geant4, ROOT



Apprentissage d'un modèle pour cartographie de paramètres, appliqué à des données hyperspectrales en astrophysique.

Spécialité Traitement d'image

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/LILAS](#)

Candidature avant le 31/01/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [LASCAR JULIA](#)

00

julia.lascar@cea.fr

Autre lien

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200423001537>

Résumé

Le but du stage sera de développer un modèle de Machine Learning pour estimer des cartes de paramètres physiques à partir de données hyperspectrales, appliqué à l'astrophysique.

Sujet détaillé

Contexte

En astrophysique et en télédétection, les spectro-imageurs peuvent enregistrer des cubes de données appelés images hyperspectrales. Ces cubes de données ont deux dimensions spatiales, et une dimension spectrale. Souvent, ces données sont en réalité un mélange de plusieurs composantes physiques. L'objectif est d'identifier la contribution individuelle de chacune de ces sources.

Les techniques habituelles de séparation de sources sont dites 'stationnaires' : elles présument que, pour chaque source, il y a une seule forme spectrale, modulée par un facteur spatial d'amplitude. Cette hypothèse n'est pas appropriée pour de nombreux cas, notamment dans les images de vestiges de supernova, où les paramètres physiques (température, vitesse du gaz, etc) changent la forme du spectre de manière non-négligeable.

Pour pallier ce problème, nous avons développé SUSHI (Semi-blind Unmixing with Sparsity for Hyperspectral Images), un algorithme de démixage non-stationnaire. La méthode SUSHI se base sur une architecture d'optimisation classique de descente de gradient proximale, avec un modèle génératif physique basé sur un Auto-Encodeur (précisément, un Interpolateur Auto Encodeur, IAE) et une contrainte de régularisation spatiale sur les paramètres du modèle.

Actuellement, SUSHI reconstruit la contribution de chaque composante physique, mais ne permet pas encore d'avoir accès directement aux cartes de paramètres physiques associés aux spectres.

Objectif

Le but du stage est d'adapter la méthode SUSHI afin qu'elle retourne des cartes de paramètres physiques. Plus précisément :

- Étendre l'architecture de l'IAE pour l'estimation directe de paramètres physiques, et tester ses performances sur des données simulées.
- Incorporer ce nouveau modèle dans SUSHI pour la cartographie de paramètres physiques à partir de cubes hyperspectraux, test et validation sur des données simulées.
- Application à des données réelles en astrophysique en rayons X.

Candidat.e : La personne recrutée doit être en formation de Master 2 (ou équivalent) et devra posséder des connaissances en analyse de données (e.g. traitement du signal/des images), ainsi qu'en apprentissage automatique (machine learning). Le langage utilisé sera Python, et la connaissance de modules d'apprentissage tels PyTorch ou JAX est souhaitable.

Des connaissances en astrophysiques ne sont pas nécessaires, mais un intérêt pour le sujet est un plus.

Le stagiaire obtiendra une expertise en Machine Learning, plus spécifiquement sur les auto-encodeurs pour la résolution de problèmes inverses, en particulier la séparation de sources.

Le stage (4-6 mois) se déroulera au CEA, et sera encadré par Julia Lascar (analyse de donnée et astrophysique), Jérôme Bobin (analyse de données) et Fabio Acero (astrophysique).

Contact: julia.lascar@cea.fr, fabio.acero@cea.fr, jerome.bobin@cea.fr

Mots clés

Données hyperspectrales ; machine learning ; séparation de sources

Compétences

Logiciels

Python, PyTorch or JAX

Model learning for parameter cartography applied to hyperspectral data in astrophysics.

Summary

The goal of the internship will be to develop a Machine Learning model to estimate physical parameter maps from hyperspectral data, applied to astrophysics.

Full description

Background

In astrophysics and remote sensing, spectro-imagers can record data cubes called hyperspectral images. These data cubes have two spatial dimensions, and one spectral dimension. Often, these data are actually a mixture of several physical components. The goal is to identify the individual contribution of each of these sources.

Classic source separation techniques are deemed 'stationary': they assume that, for each source, there is a single spectral shape, modulated by a spatial amplitude factor. This assumption is not appropriate for many cases, notably in images of supernovae, where physical parameters (temperature, gas velocity, etc.) change the shape of the spectrum in non-negligible ways.

To overcome this problem, we have developed SUSHI (Semi-blind Unmixing with Sparsity for Hyperspectral Images), a non-stationary unmixing algorithm. The SUSHI method is based on a classic proximal gradient descent optimization architecture, with a physical generative model based on an auto-encoder (precisely, an Interpolatory Auto Encoder, IAE) and a spatial regularization constraint on the model parameters.

Currently, SUSHI reconstructs the contribution of each physical component, but does not yet allow direct access to the physical parameter maps associated with the spectra.

Objective

The aim of the internship is to adapt the SUSHI method so that it returns physical parameter maps.

- Extend the SUSHI architecture for direct estimation of physical parameters, and test its performance on simulated data.
- Incorporate this new model into SUSHI for mapping physical parameters from hyperspectral cubes, test and validate on simulated data.
- Application to real X-ray astrophysics data.

Candidate

The person recruited must be a Master 2 student (or equivalent) with knowledge of data analysis (e.g. signal/image processing) and Machine Learning. The language used will be Python, and knowledge of learning modules such as PyTorch or JAX is desirable.

Knowledge of astrophysics is not necessary, but an interest in the subject is a plus.

The intern will gain expertise in Machine Learning, more specifically on auto-encoders for inverse problem solving, in particular source separation.

The internship (4-6 months) will take place at the CEA, and will be supervised by Julia Lascar (data science and astrophysics), Jérôme Bobin (data science) and Fabio Acero (astrophysics).

Contact: julia.lascar@cea.fr, fabio.acero@cea.fr, jerome.bobin@cea.fr

Keywords

Hyperspectral data; machine learning; source separation

Skills**Softwares**

Python, PyTorch or JAX



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

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 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 CaWO_4 refroidi à 15 mK placé dans un cryostat. Pour maximiser le rapport signal sur bruit des détecteurs gammas, constitués de cristaux de 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

[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 γ -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 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 CaWO_4 crystal cooled to 15 mK and placed in a cryostat. To maximize the signal-to-noise ratio, gamma detectors made of 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

[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 γ -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



Nu-INCL : modélisation de l'interaction neutrino-nucléon dans INCL pour la physique des neutrinos

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LEARN](#)

Candidature avant le 17/04/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [LETOURNEAU Alain](#)
+33 1 69 08 76 01
alain.letourneau@cea.fr

Résumé

Il est proposé d'étendre les fonctionnalités du code de cascade intranucléaire INCL - un code largement utilisé pour traiter des réactions nucléaires - en ajoutant l'interaction neutrino-nucléon. Cet ajout permettra son utilisation par les futures expériences de neutrinos auprès d'accélérateurs pour accroître leur sensibilité.

Sujet détaillé

Des avancées majeures ont été réalisées ces dernières décennies dans l'étude des neutrinos. Petit à petit ces particules furtives révèlent leurs secrets et le secret des symétries fondamentales qui gouvernent notre Univers. Mais compte tenu de leur faible interaction avec la matière, les prochaines générations d'expériences neutrinos vont buter sur la précision avec laquelle nous sommes capables de modéliser leur interaction avec un noyau de l'atome. C'est pourquoi un gros effort est consenti dans ce sens pour développer des modèles d'interaction précis et validés. A l'heure actuelle, les modèles s'appuient sur une décomposition en plusieurs étapes qui commencent par l'interaction du neutrino avec un nucléon du noyau, puis le nucléon résultant de l'interaction est ensuite propagé dans le noyau via une cascade intra-nucléaire. Cette factorisation est extrêmement pratique puisqu'elle permet de découpler les différentes contributions, mais elle ne permet pas d'avoir une modélisation cohérente prenant en charge toutes les corrélations.

Un travail liminaire sur le traitement de l'interaction neutrino-noyau avec le code de cascade intra-nucléaire INCL, que nous développons dans l'équipe et qui est implémenté dans Geant4, a montré l'intérêt d'un tel code pour traiter la complexité de la phase finale de l'interaction [1]. Ce travail a aussi montré les limites de l'utilisation de ce code sous sa forme actuelle : l'interaction neutrino-nucléon n'est pas implémentée dans le code.

Nous proposons dans ce stage de poursuivre le travail initié dans [1] en implémentant une interaction neutrino-nucléon dans le code INCL. Ce travail se fera dans le cas particulier d'une interaction quasi-élastique dans laquelle le nucléon garde son intégrité et sera basé sur un modèle simple d'interaction à quatre corps. Il rendra INCL autonome vis-à-vis du traitement de cette réaction pour les études menées dans le cadre de l'expérience T2K. C'est en effet la réaction dominante dans cette expérience où le faisceau de neutrino est de l'ordre de 600 MeV.

Il s'agira d'écrire la classe en C++ qui permettra de générer les produits finals de la réaction et qui servira d'entrée à la

cascade intranucléaire. Des comparaisons avec des données expérimentales ou des résultats d'autres calculs serviront à valider cette implantation.

[1] A. Ershova, thèse Université Paris-Saclay 2023 ; A. Ershova et al, Physical Review D 106 (2022) 3, 032009, arXiv:2202.10402 and A. Ershova et al, soumis à Physical Review D, arXiv:2309.05410.

Mots clés

Physique des particules

Compétences

Méthode Monte Carlo, programmation numérique

Logiciels

C++, INCL, ROOT

Nu-INCL : neutrino-nucléon interaction modeling in INCL for neutrino physics

Summary

We propose to add new functionalities to the INCL intranuclear cascade code - a widely used code for handling nuclear reactions - by adding the neutrino-nucleon interaction. This will enable its uses to increase the sensitivity of future long-baseline neutrino experiments.

Full description

Major advances have been made in the study of neutrinos in recent decades. These stealthy particles are slowly revealing their secrets, and the secrets of fundamental symmetries that govern our Universe. However, given their weak interaction with matter, the next generation of neutrino experiments will be hampered by the precision with which we are able to model their interaction with an atomic nucleus. This is why a major effort is being made to develop accurate, validated interaction models. At present, these models are based on a multi-step decomposition, starting with the interaction of the neutrino with a nucleon in the nucleus, and then propagating the resulting nucleon into the nucleus via an intra-nuclear cascade. This factorization is extremely practical, since it allows the different contributions to be decoupled, but it does not provide a coherent model that takes all correlations into account.

Preliminary work on the treatment of neutrino-nucleon interaction with the INCL intra-nuclear cascade code, which we are developing in the team and which is implemented in Geant4, has shown the interest of such a code for handling the complexity of the final phase of the interaction [1]. This work has also shown the limitations of using this code in its current form: the neutrino-nucleon interaction is not implemented in the code.

In this internship, we propose to continue the work initiated in [1] by implementing a neutrino-nucleon interaction in the INCL code. This work will be carried out in the special case of a quasi-elastic interaction in which the nucleon retains its integrity, and will be based on a simple four-body interaction model. It will make INCL autonomous in its treatment of this reaction for studies carried out as part of the T2K experiment. This is the dominant reaction in this experiment, where the neutrino beam is of the order of 600 MeV.

The aim is to write the C++ class that will generate the final products of the reaction and serve as the input to the intranuclear cascade. Comparisons with experimental data or the results of other calculations will be used to validate this implementation.

[1] A. Ershova, thèse Université Paris-Saclay 2023 ; A. Ershova et al, Physical Review D 106 (2022) 3, 032009, arXiv:2202.10402 and A. Ershova et al, soumis à Physical Review D, arXiv:2309.05410.

Keywords

Particle physics

Skills

Monte Carlo method, numerical programming

Softwares

C++, INCL, ROOT



Point Spread Function Modelling with Neural Fields and a Differentiable Optical Model

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/LILAS](#)

Candidature avant le 17/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [BOBIN JÉRÔME](#)

+33 1 69 08 75 91

jerome.bobin@cea.fr

Résumé

Utilisation de modèle différentiable par réseau de neurone pour la modélisation de réponses instrumentales

Sujet détaillé

Contexte. La lentille gravitationnelle faible [1] est un outil puissant pour étudier la structure à grande échelle de notre univers. Les cosmologistes utilisent la lentille gravitationnelle faible pour étudier la nature de la matière noire et sa distribution spatiale. Les missions de lentille gravitationnelle faible nécessitent des mesures très précises de la forme des images de galaxies. Le modèle de fonction de transfert du télescope, ou fonction de diffusion ponctuelle (PSF), produit une déformation des images observées. Cette déformation peut être confondue avec les effets de la lentille gravitationnelle faible dans les images de galaxies, ce qui en fait l'une des principales sources d'erreur systématique lors de l'étude de la lentille gravitationnelle faible. Par conséquent, estimer un modèle PSF fiable et précis est crucial pour le succès de toute mission de lentille gravitationnelle faible. Le champ PSF peut être interprété comme un noyau convolutif qui affecte chacune de nos observations d'intérêt et varie spatialement, spectralement et temporellement. Le modèle PSF doit être capable de gérer chacune de ces variations. Nous utilisons des étoiles spécifiques considérées comme des sources ponctuelles dans le champ de vue pour contraindre notre modèle PSF. Ces étoiles, qui sont des objets non résolus, nous fournissent des échantillons dégradés du champ PSF. Les observations subissent différents types de dégradations en fonction des propriétés du télescope. Certaines de ces dégradations incluent l'échantillonnage sous-optimal, une intégration sur la bande passante de l'instrument et un bruit additif. Nous construisons finalement le modèle PSF en utilisant ces observations dégradées, puis utilisons le modèle pour inférer le PSF à la position des galaxies. Cette procédure constitue le problème inverse mal posé de modélisation PSF. Voir [2] pour une revue récente de la modélisation PSF.

La mission Euclid récemment lancée représente l'un des défis les plus complexes pour la modélisation PSF. En raison de la bande passante très large de l'imagerie visible d'Euclid (VIS) allant de 550 nm à 900 nm, les modèles PSF doivent capturer non seulement les variations spatiales du champ PSF, mais aussi ses variations chromatiques. Chaque observation d'étoile est intégrée avec le spectre énergétique de l'objet (SED) sur tout le passband VIS d'Euclid. Comme les observations sont sous-échantillonnées, une étape de super-résolution est également requise. Un modèle récent appelé WaveDiff [3] a été proposé pour aborder le problème de modélisation PSF pour Euclid et est

basé sur un modèle optique différentiable. WaveDiff a atteint des performances de pointe et est actuellement en cours d'implémentation dans les pipelines de traitement de données d'Euclid.

Objectifs. Les champs neuronaux récemment introduits [4] ont montré des performances impressionnantes dans les tâches de vision par ordinateur. Les champs neuronaux sont des réseaux neuronaux coordonnés qui paramètrent les propriétés physiques de scènes ou d'objets dans l'espace (et le temps). Ces réseaux ont acquis une visibilité particulière en abordant le problème de la reconstruction de scène 3D [5] à partir de plusieurs images 2D de la scène. Si nous considérons les coordonnées planes focales (x, y) comme des directions de vue, le problème de modélisation PSF peut être considéré comme une reconstruction de scène à partir d'un ensemble fixe d'images 2D (les étoiles observées). L'un des objectifs de ce stage est d'adapter ces idées aux travaux récents sur les champs neuronaux et de les combiner avec le modèle WaveDiff. Le prochain objectif est de construire un nouveau modèle PSF qui nous permettrait de mieux capturer les variations spatiales du champ PSF. Un dernier objectif est d'inclure des variations spectrales spurielles dans le champ neuronal et de le conditionner sur des simulations existantes.

Mots clés

Astrophysique, machine learning

Compétences

Machine learning

Logiciels

Point Spread Function Modelling with Neural Fields and a Differentiable Optical Model

Summary

Using differentiable neural network models to model instrumental response

Full description

Context. Weak gravitational lensing [1] is a powerful probe of the Large Scale Structure of our Universe. Cosmologists use weak lensing to study the nature of dark matter and its spatial distribution. Weak lensing missions require highly accurate shape measurements of galaxy images. The telescope's instrumental response, or point spread function (PSF), produces a deformation of the observed images. This deformation can be mistaken for the effects of weak lensing in the galaxy images, thus being one of the primary sources of systematic error when doing weak lensing science. Therefore, estimating a reliable and accurate PSF model is crucial for the success of any weak lensing mission. The PSF field can be interpreted as a convolutional kernel that affects each of our observations of interest that varies spatially, spectrally, and temporally. The PSF model needs to be able to cope with each of these variations. We use specific stars considered as point sources in the field-of-view to constrain our PSF model. These stars, which are unresolved objects, provide us with degraded samples of the PSF field. The observations go through different types of degradations depending on the properties of the telescope. Some of these degradations include undersampling, an integration over the instrument's passband, and additive noise. We finally build the PSF model using these degraded observations and then use the model to infer the PSF at the position of galaxies. This procedure constitutes the ill-posed inverse problem of PSF modelling. See [2] for a recent review on PSF modelling.

The recently launched Euclid survey represents one of the most complex challenges for PSF modelling. Because of the very broad passband of Euclid's visible imager (VIS) ranging from 550nm to 900nm, PSF models need to capture not only the PSF field spatial variations but also its chromatic variations. Each star observation is integrated with the object's spectral energy distribution (SED) over the whole VIS passband. As the observations are undersampled, a super-resolution step is also required. A recent model coined WaveDiff [3] was proposed to tackle the PSF modelling problem for Euclid and is based on a differentiable optical model. WaveDiff achieved state-of-the-art performance and is currently being implemented into Euclid's data processing pipelines.

Goals. The recently introduced neural fields [4] have shown impressive performance in computer vision tasks. Neural fields are coordinate-based neural networks that parametrise physical properties of scenes or objects across space (and time). These networks gained particular visibility by tackling the problem of 3D scene reconstruction [5] from several 2D images of the scene.

If we consider the (x,y) focal plane coordinates as viewing directions, the PSF modelling problem can be considered as a scene reconstruction from a fixed set of 2D images (the observed stars). One goal of the internship is to adapt these ideas in recent neural fields works and combine them with the WaveDiff model. The next goal is to build a new PSF model that would allow us to better capture the spatial variations of the PSF field. One last goal is to include spurious spectral variations in the neural field and condition it on existing simulations.

The candidate

The candidate must be pursuing a Master 2 degree (or equivalent) and should have a background in signal/image processing. The candidate should be comfortable with the Python programming language, and ideally with a deep learning framework (e.g. TensorFlow, PyTorch, JAX) and open-source and collaborative development tools (e.g. GitHub). Knowledge of machine learning, Fourier optics and experience processing astronomical images is not required but is beneficial.

The candidate will acquire expertise in astronomical image processing, Fourier optics, machine learning and deep learning. In addition, the intern will learn to work in a collaborative development environment and contribute to existing software packages. The knowledge acquired during the internship applies to a wide range of applications in various fields, e.g., biomedical imaging, and astrophysics.

Contact

The internship will take place in the LILAS lab (CEA Saclay), which is working on signal (and image) processing and machine learning applied to physics applications.

• Contact: Dr. Tobías I. Liaudat, tobiasliaudat@gmail.com; Dr. Jérôme Bobin, jerome.bobin@cea.fr, • Lab: IRFU institute at the CEA Saclay centre,

-
- Application deadline: before the xxx of yyy 2024.

References

- [1] R. Mandelbaum. “Weak Lensing for Precision Cosmology”. In: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 56 (2018), pp. 393–433. doi: 10.1146/annurev-astro-081817-051928. arXiv: 1710.03235.
- [2] T. Liaudat, J.-L. Starck, M. Kilbinger, and P.-A. Frugier. “Point spread function modelling for astronomical telescopes: a review focused on weak gravitational lensing studies”. In: *arXiv e-prints*, arXiv:2306.07996 (June 2023), arXiv:2306.07996. doi: 10.48550/arXiv.2306.07996. arXiv: 2306.07996 [astro-ph.IM].
- [3] T. Liaudat, J.-L. Starck, M. Kilbinger, and P.-A. Frugier. “Rethinking data-driven point spread function modeling with a differentiable optical model”. In: *Inverse Problems* 39.3 (Feb. 2023), p. 035008. doi: 10.1088/1361-6420/acb664.
- [4] Y. Xie, T. Takikawa, S. Saito, O. Litany, S. Yan, N. Khan, F. Tombari, J. Tompkin, V. Sitzmann, and S. Sridhar. “Neural Fields in Visual Computing and Beyond”. In: *arXiv e-prints*, arXiv:2111.11426 (Nov. 2021), arXiv:2111.11426. doi: 10.48550/arXiv.2111.11426. arXiv: 2111.11426 [cs.CV].
- [5] B. Mildenhall, P. P. Srinivasan, M. Tancik, J. T. Barron, R. Ramamoorthi, and R. Ng. “NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis”. In: *arXiv e-prints*, arXiv:2003.08934 (Mar. 2020), arXiv:2003.08934. doi: 10.48550/arXiv.2003.08934. arXiv: 2003.08934 [cs.CV].

2

Keywords

Astrophysics, Machine learning

Skills

Machine learning

Softwares



Deep Plug-and-Play Optical Priors for Ground-Based Point Spread Function Models

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/LILAS](#)

Candidature avant le 17/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [BOBIN JÉRÔME](#)
+33 1 69 08 75 91
jerome.bobin@cea.fr

Résumé

Nous proposons de construire un antécédent fondé sur les données des aberrations optiques du télescope grâce à des techniques d'apprentissage profond.

Sujet détaillé

L'effet de lentille gravitationnelle faible [1] est une sonde puissante de la structure à grande échelle de notre univers. Les cosmologistes utilisent l'effet de lentille faible pour étudier la nature de la matière noire et sa distribution spatiale. Les missions d'observation de l'effet de lentille faible nécessitent des mesures très précises de la forme des images de galaxies. La réponse instrumentale du télescope, ou fonction d'étalement du point (PSF), produit une déformation des images observées. Cette déformation peut être confondue avec les effets d'un faible effet de lentille sur les images de galaxies, ce qui constitue l'une des principales sources d'erreur systématique lors de la recherche sur les faibles effets de lentille. Par conséquent, l'estimation d'un modèle de PSF fiable et précis est cruciale pour le succès de toute mission de faible lentille. Le champ de la PSF peut être interprété comme un noyau convolutif qui affecte chacune de nos observations d'intérêt et qui varie spatialement, spectralement et temporellement. Le modèle de PSF doit être capable de gérer chacune de ces variations. Nous utilisons des étoiles spécifiques considérées comme des sources ponctuelles dans le champ de vision pour contraindre notre modèle PSF. Ces étoiles, qui sont des objets non résolus, nous fournissent des échantillons dégradés du champ de la PSF. Les observations subissent différents types de dégradations en fonction des propriétés du télescope. Certaines de ces dégradations comprennent le sous-échantillonnage, une intégration sur la bande passante de l'instrument et le bruit additif. Nous construisons finalement le modèle de la PSF en utilisant ces observations dégradées et utilisons ensuite le modèle pour déduire la PSF à la position des galaxies. Cette procédure constitue le problème inverse mal posé de la modélisation de la PSF. Voir [2] pour un examen récent de la modélisation de la PSF. Il existe plusieurs sources de variations spatiales de la FSP. Certaines couvrent le plan focal, comme les aberrations optiques du télescope et de l'atmosphère, tandis que d'autres sont spécifiques à chaque puce CCD (Charge-Coupled Device). Le plan focal des caméras d'imagerie à grand champ actuelles comprend un grand nombre de CCD. La plupart des modèles PSF actuels sont construits indépendamment sur chaque CCD, ce qui est une solution simple pour prendre en compte les deux types de variations. Cependant, ce choix présente quelques inconvénients. Il limite le nombre d'étoiles disponibles pour contraindre le modèle, ce qui

favorise les modèles les plus simples. Ensuite, ces modèles simples par morceaux définis dans chaque CCD ne peuvent pas modéliser correctement les variations spatiales couvrant l'ensemble du plan focal. En conséquence, des erreurs de modélisation du PSF apparaissent. Pour résoudre ces deux problèmes simultanément, un nouveau modèle de PSF, appelé MCCD [3], a été récemment proposé. Le MCCD peut modéliser l'ensemble du plan focal et prendre en compte les deux types de variations. Il peut inclure avec succès la géométrie de la caméra dans le modèle PSF. Le MCCD est basé sur un schéma de factorisation matricielle qui utilise différents outils mathématiques, tels que la régularisation éparsée pour le débruitage de la PSF et la théorie des graphes pour traiter les variations spatiales localisées, entre autres. L'algorithme d'apprentissage combine les concepts précédents avec la descente de coordonnées par blocs, des méthodes d'optimisation convexe efficaces et des algorithmes proximaux. L'une des limitations les plus importantes des modèles de PSF au sol est que l'atmosphère stochastique et changeante limite le nombre d'étoiles disponibles pour contraindre le modèle. Par conséquent, les modèles de PSF sont construits indépendamment pour chaque exposition de la caméra. Cependant, les différentes publications de données de l'étude sont effectuées par lots au fur et à mesure que la couverture du ciel augmente. Une fois qu'une bonne partie de la zone d'étude a été imagée, on peut calculer l'ellipticité moyenne des étoiles observées en fonction de leur position sur le plan focal. La contribution de l'ellipticité atmosphérique aux observations d'étoiles a une moyenne nulle. Par conséquent, nous pouvons obtenir une caractérisation fine de la contribution à l'ellipticité du système optique du télescope. Au moment de la rédaction du présent document, aucun modèle de PSF n'exploite actuellement cette information. Une seule exposition ne permet pas de récupérer les variations à haute fréquence en raison du manque d'informations contraignantes sur les étoiles disponibles. Nous proposons de construire un a priori sur les aberrations optiques du télescope à l'aide de techniques d'apprentissage profond. L'a priori sera incorporé dans le modèle PSF en exploitant les récentes approches "plug-and-play" [4]. Nous avons créé un ensemble de simulations réalistes basées sur les mesures de 107 étoiles du télescope Canada-France-Hawaï (CFHT). Nous prévoyons d'utiliser ces simulations pour entraîner des débruiteurs basés sur l'apprentissage profond. Ces réseaux peuvent ensuite être inclus en tant qu'opérateurs proximaux dans le cadre d'optimisation du modèle PSF du MCCD.

1

[3]. La manière dont les débruiteurs sont inclus suit l'approche plug-and-play, qui évite l'utilisation dangereuse de la boîte noire des réseaux neuronaux profonds. Le cadre fournit un environnement contrôlé pour exploiter la puissance des débruiteurs basés sur l'apprentissage profond.

Une fois que le nouveau modèle a été validé par des simulations, l'objectif est de démontrer sa performance avec des observations réelles provenant de l'étude sol-espace Canada-France Imaging Survey (CFIS) au TCFH. Pour ce faire, nous utiliserons le pipeline de mesure de forme, ShapePipe [5], qui intègre déjà le modèle PSF du MCCD.

[1] R. Mandelbaum. "Weak Lensing for Precision Cosmology". In: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 56 (2018), pp. 393–433. doi: 10.1146/annurev-astro-081817-051928. arXiv: 1710.03235.

[2] T. Liaudat, J.-L. Starck, M. Kilbinger, and P.-A. Frugier. "Point spread function modelling for astronomical telescopes: a review focused on weak gravitational lensing studies". In: arXiv e-prints, arXiv:2306.07996 (June 2023), arXiv:2306.07996. doi: 10.48550/arXiv.2306.07996. arXiv: 2306.07996 [astro-ph.IM].

[3] Liaudat, T., Bonnin, J., Starck, J.-L., Schmitz, M. A., Guinot, A., Kilbinger, M., and Gwyn, S. D. J. "Multi-CCD modelling of the point spread function". In: *A&A* 646 (2021), A27. doi: 10.1051/0004-6361/202039584.

[4] U. S. Kamilov, C. A. Bouman, G. T. Buzzard, and B. Wohlberg. "Plug-and-Play Methods for Integrating Physical and Learned Models in Computational Imaging: Theory, algorithms, and applications". In: *IEEE Signal Processing Magazine* 40.1 (Jan. 2023), pp. 85–97. doi: 10.1109/MSP.2022.3199595. arXiv: 2203.17061 [eess.IV].

[5] Farrens, S., Guinot, A., Kilbinger, M., Liaudat, T., Baumont, L., Jimenez, X., Peel, A., Pujol, A., Schmitz, M., Starck, J.-L., and Vitorelli, A. Z. "ShapePipe: A modular weak-lensing processing and analysis pipeline". In: *A&A* 664 (2022), A141. doi: 10.1051/0004-6361/202243970.

Mots clés

Astrophysique, machine learning

Compétences

Deep learning, plug and play methods

Logiciels

Deep Plug-and-Play Optical Priors for Ground-Based Point Spread Function Models

Summary

We propose to build a data-driven prior of the telescope's optical aberrations with the help of deep learning techniques.

Full description

Context. Weak gravitational lensing [1] is a powerful probe of the Large Scale Structure of our Universe. Cosmologists use weak lensing to study the nature of dark matter and its spatial distribution. Weak lensing missions require highly accurate shape measurements of galaxy images. The telescope's instrumental response, or point spread function (PSF), produces a deformation of the observed images. This deformation can be mistaken for the effects of weak lensing in the galaxy images, thus being one of the primary sources of systematic error when doing weak lensing science. Therefore, estimating a reliable and accurate PSF model is crucial for the success of any weak lensing mission. The PSF field can be interpreted as a convolutional kernel that affects each of our observations of interest that varies spatially, spectrally, and temporally. The PSF model needs to be able to cope with each of these variations. We use specific stars considered as point sources in the field-of-view to constrain our PSF model. These stars, which are unresolved objects, provide us with degraded samples of the PSF field. The observations go through different types of degradations depending on the properties of the telescope. Some of these degradations include undersampling, an integration over the instrument's passband, and additive noise. We finally build the PSF model using these degraded observations and then use the model to infer the PSF at the position of galaxies. This procedure constitutes the ill-posed inverse problem of PSF modelling. See [2] for a recent review on PSF modelling.

There are several sources of spatial variations of the PSF. Some cover the focal plane like the optical aberrations of the telescope and the atmosphere, while others are specific for each Charge-Coupled Device (CCD) chip. The focal plane of current wide-field imaging cameras comprises a large array of CCDs. Most of the current PSF models are built independently on each CCD, which is a simple solution to account for both types of variations. However, this choice has some drawbacks. It limits the number of available stars to constrain the model, thus favouring simpler models. Then, these simple piecewise models defined in each CCD cannot correctly model spatial variations covering the entire focal plane. As a consequence, PSF modelling errors arise. To tackle both problems simultaneously, a new PSF model coined MCCD [3] was recently proposed. MCCD can model the full focal plane and that considers both types of variations. It can successfully include the camera geometry in the PSF model. MCCD is based on a matrix factorisation scheme that uses different mathematical tools, such as sparse regularisation for PSF denoising and graph theory to handle localised spatial variations, among others. The training algorithm combines the previous concepts with block coordinate descent, efficient convex optimization methods and proximal algorithms.

Goals. One of the most significant limitations of ground-based PSF models is that the fast-changing and stochastic atmosphere limits the number of stars available to constrain the model. As a consequence, PSF models are built independently for each camera exposure. However, the different survey data releases are done in batches as the sky coverage increases. Once a good part of the survey area has been imaged, one can compute the average ellipticity of the observed stars as a function of their position on the focal plane. The atmospheric ellipticity contribution to the star observations has a zero mean. Therefore, we can obtain a fine-sampled characterisation of the ellipticity contribution of the telescope's optical system. At the time of writing, no PSF model is currently exploiting this information. A single exposure does not allow for recovering the high-frequency variations due to the lack of constraining information on the available stars.

We propose to build a data-driven prior of the telescope's optical aberrations with the help of deep learning techniques. The prior will be incorporated into the PSF model by exploiting recent plug-and-play approaches [4]. We have created a set of realistic simulations based on the measurements of 107 stars from the Canada- France-Hawaii Telescope (CFHT). We plan to use the simulations to train deep learning-based denoisers. These networks can then be included as proximal operators in the optimisation framework of the MCCD PSF model

1

[3]. The way the denoisers are included follows the plug-and-play approach, which avoids the dangerous black-box usage of deep neural networks. The framework provides a controlled environment to exploit the power of the deep learning-based denoisers.

Once the new model has been validated with simulations, the goal is to demonstrate its performance with real

observations from the ground-space survey Canada-France Imaging Survey (CFIS) at the CFHT. To accomplish this task we will make use of the shape measurement pipeline, ShapePipe [5], which already incorporates the M CCD PSF model.

The candidate

The candidate must be pursuing a Master 2 degree (or equivalent) and should have a background in signal/image processing. The candidate should be comfortable with the Python programming language, and ideally with a deep learning framework (e.g. TensorFlow, PyTorch, JAX) and open-source and collaborative development tools (e.g. GitHub). Knowledge of machine learning and experience processing astronomical images is not required but is beneficial.

The candidate will acquire expertise in sparse image processing, convex optimisation techniques, machine learning and deep learning. In addition, the intern will learn to work in a collaborative development environment and contribute to existing software packages. The knowledge acquired during the internship applies to a wide range of applications in various fields, e.g., biomedical imaging, and astrophysics.

Contact

The internship will take place in the LILAS lab (CEA Saclay), which is working on signal (and image) processing and machine learning applied to physics applications.

- Contact: Dr. Tobías I. Liaudat, tobiasliaudat@gmail.com; Dr. Jérôme Bobin, jerome.bobin@cea.fr, • Lab: IRFU institute at the CEA Saclay centre,
- Application deadline: before the xxx of yyy 2024.

[1] R. Mandelbaum. “Weak Lensing for Precision Cosmology”. In: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 56 (2018), pp. 393–433. doi: 10.1146/annurev-astro-081817-051928. arXiv: 1710.03235.

[2] T. Liaudat, J.-L. Starck, M. Kilbinger, and P.-A. Frugier. “Point spread function modelling for astronomical telescopes: a review focused on weak gravitational lensing studies”. In: *arXiv e-prints*, arXiv:2306.07996 (June 2023), arXiv:2306.07996. doi: 10.48550/arXiv.2306.07996. arXiv: 2306.07996 [astro-ph.IM].

[3] Liaudat, T., Bonnin, J., Starck, J.-L., Schmitz, M. A., Guinot, A., Kilbinger, M., and Gwyn, S. D. J. “Multi-CCD modelling of the point spread function”. In: *A&A* 646 (2021), A27. doi: 10.1051/0004-6361/202039584.

[4] U. S. Kamilov, C. A. Bouman, G. T. Buzzard, and B. Wohlberg. “Plug-and-Play Methods for Integrating Physical and Learned Models in Computational Imaging: Theory, algorithms, and applications”. In: *IEEE Signal Processing Magazine* 40.1 (Jan. 2023), pp. 85–97. doi: 10.1109/MSP.2022.3199595. arXiv: 2203.17061 [eess.IV].

[5] Farrens, S., Guinot, A., Kilbinger, M., Liaudat, T., Baumont, L., Jimenez, X., Peel, A., Pujol, A., Schmitz, M., Starck, J.-L., and Vitorelli, A. Z. “ShapePipe: A modular weak-lensing processing and analysis pipeline”. In: *A&A* 664 (2022), A141. doi: 10.1051/0004-6361/202243970.

Keywords

Astrophysics, Machine learning

Skills

Deep learning, plug and play methods

Softwares



Quantification de l'incertitude pour les algorithmes non déroulés avec application à l'imagerie en astrophysique

Spécialité Traitement d'image

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/LILAS](#)

Candidature avant le 17/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [BOBIN JÉRÔME](#)
+33 1 69 08 75 91
jerome.bobin@cea.fr

Résumé

Quantification d'incertitude pour les méthodes de restauration de données utilisant les approches de Deep Unrolling.

Sujet détaillé

Les problèmes de démixage aveugle et semi-aveugle [1] sont des problèmes inverses classiques dans un très large éventail de domaines scientifiques allant du traitement du son [2], du traitement des signaux médicaux à la télédétection [3] ou à l'astrophysique [9]. Dans ces domaines, le développement rapide de capteurs multispectraux à haute résolution et à haute sensibilité nécessite la mise au point d'outils d'analyse spécifiques. La figure 1 montre un exemple particulièrement représentatif d'un reste de supernovae observé dans plusieurs bandes de rayons X. Pour ce type de données, les observations peuvent être modélisées comme la combinaison linéaire ou non linéaire de diverses composantes physiques élémentaires, qui doivent être récupérées par l'astrophysicien.

Pour estimer ces composantes physiques élémentaires, il faut s'attaquer à un problème de démixage non supervisé (lorsqu'aucune information n'est disponible) ou semi-supervisé (disponibilité d'informations partielles). Le même problème mathématique se pose en télédétection ou en observation de la terre pour l'extraction de composants élémentaires tels que l'eau, la végétation, les bâtiments, etc.

Bien que ces problèmes aient déjà été largement étudiés au cours des dernières décennies, l'utilisation des algorithmes correspondants à des fins scientifiques, telles que l'astrophysique, nécessite des solutions interprétables. En particulier, il est de la plus haute importance de quantifier les incertitudes des estimations des algorithmes de séparation des sources. Jusqu'à présent, très peu de travaux ont été réalisés dans cette direction avec des algorithmes basés sur l'apprentissage profond, qui dépendent de manière non linéaire de la donnée d'entrée.

Pour surmonter ces limitations, l'objectif de ce stage est d'étudier les méthodes de quantification de l'incertitude pour les algorithmes de démixage basés sur des outils d'apprentissage automatique (profond) dédiés.

Plusieurs voies de recherche sont à considérer. Aujourd'hui, les approches prometteuses basées sur l'apprentissage automatique utilisent des modèles de déroulement d'algorithme introduits dans un cadre général par Gregor&LeCun [6]. En bref, le cœur de cette classe de solveurs de problèmes inverses est un réseau neuronal récurrent qui imite la

structure des solveurs itératifs standard (par exemple, les méthodes de minimisation du gradient). Leur avantage est que la procédure d'apprentissage peut capturer des informations dépendant des données, ce qui la rend plus adaptable aux données à traiter. En outre, seul un nombre limité de paramètres algorithmiques est appris au cours du processus d'apprentissage, ce qui fait que les solveurs finaux ont un faible coût de calcul [8]. Dans le cadre du démixage, nous avons maintenant étudié avec succès des algorithmes de démixage déroulés pour des algorithmes renforçant la parcimonie ou, plus récemment, basés sur des antériorités construites à partir de modèles génératifs particuliers. Cependant, aucune de ces approches ne permet de quantifier l'incertitude de la solution calculée. A cette fin, le travail de stage explorera le développement d'architectures d'algorithmes de déroulage stochastique dédiés. Différentes voies de recherche seront explorées, notamment la conception de diverses architectures, les pertes d'entraînement adaptées au calcul des incertitudes.

D'autres voies de recherche pourraient être étudiées. Les méthodes développées seront évaluées de manière approfondie, à la fois sur des ensembles de données simulées et réalistes (par exemple en télédétection, en physique nucléaire ou en astrophysique).

Le candidat doit poursuivre un Master 2 (ou équivalent) et avoir une bonne connaissance du traitement du signal/de l'image et de l'apprentissage automatique.

[1] Comon P and Jutten C 2010 Handbook of Blind Source Separation : Independent component analysis and applications

[2] Fevotte C, Bertin N and Durrieu J L 2009 Nonnegative matrix factorization with the Itakura-Saito divergence with application to music analysis. Neural computation 21 793–830

[3] Dobigeon N et Al. 2014 Nonlinear unmixing of hyperspectral images : Models and algorithms. IEEE Signal Processing Magazine

[5] Kervazo C et Al. 2020 Use of PALM for l1 sparse matrix factorization : Difficulty and rationalization of a two-step approach. Digital Signal Processing

[6] Gregor K and LeCun Y 2010 Learning fast approximations of sparse coding Proceedings of the 27th International Conference on International Conference on Machine Learning 399–406.

[7] Monga V, Li Y and Eldar Y C 2019 Algorithm Unrolling : Interpretable, Efficient Deep Learning for Signal and Image Processing. arXiv preprint arXiv :1912.10557.

[8] Ablin P, Moreau T, Massias M and Gramfort A 2019 Learning step sizes for unfolded sparse coding. Advances in Neural Information Processing Systems 13100–13110.

[9] Bobin J, Acero F, and Picquenot A 2019 Metric Learning for Semi-Supervised Sparse Source Separation with Spectral Examples. 2019 IEEE 8th International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP)

[10] Fahes M, Kervazo C, Bobin J and Tupin F, Unrolling PALM for sparse semi-blind source separation, 10th International Conference on Learning Representations, ICLR 2022.

Mots clés

Traitement du signal, Machine learning, Astrophysique

Compétences

Machine learning, deep unrolling

Logiciels

Python, Pytorch

Quantifying uncertainty for unrolled algorithms with application to imaging in astrophysics

Summary

Uncertainty quantification for data analysis methods based on deep unrolling.

Full description

Blind and semi-blind unmixing problems [1] are classical inverse problems in a very wide range of scientific domains from sound processing [2], medical signal processing to remote sensing [3] or astrophysics [9]. In these domains, the fast development of high resolution/high sensitivity multispectral sensors mandates the development of dedicated analysis tools. Figure 1 shows a particularly representative example of a supernovae remnant observed in multiple X-ray bands. For such type of data, the observations can be modelled as the linear or non-linear combination of various elementary physical components, which are to be retrieved by the astrophysicist.

To estimate these elementary physical components, one needs to tackle an unsupervised (when no information is available) or semi-supervised (availability of partial information) unmixing problem. The exact same mathematical problem arises in remote sensing or earth observation for the extraction of elementary components such as water, vegetation, buildings, etc.

Although such problems have already been extensively studied over the last decades, the use of the corresponding algorithms for scientific purposes, such as astrophysics, require interpretable solutions. In particular, it is of uttermost importance to quantify the uncertainties of the estimates of source separation algorithms. So far, very few works have been done in this direction with deep-learning-based algorithms, which depend non-linearly on the input measurement.

To overcome these limitations, the goal of this internship is to investigate uncertainty quantification methods for unmixing algorithms based on dedicated machine (deep) learning tools.

Several research pathways are to be considered. Nowadays, promising ML-based approaches make use of algorithm unrolling models introduced in a general setting by Gregor&LeCun [6]. In a nutshell, the core of this class of inverse problems solvers is a recurrent neural network that mimics the structure of standard iterative solvers (e.g. gradient minimisation methods). Their advantage is that the learning procedure can capture data-dependent information making it more adaptive to the data to be handled. Furthermore, only a limited number of algorithmic parameters are learnt during the training process, making the final solvers having a low computational cost [8]. In the scope of unmixing, we now have investigated with success unrolled unmixing algorithms for sparsity-enforcing algorithms or more recently based on prior built from particular generative models. However, none of these approaches allow for quantifying the uncertainty of the computed solution. To that end, the internship work will explore the development of dedicated stochastic unrolling algorithm architectures. Different research path will be explored, including the design of various architectures, training losses that are adapted to derive uncertainties.

Other research paths might be investigated. The developed methods will be thoroughly evaluated, both on simulated and realistic data sets (e.g. in remote sensing, nuclear physics or astrophysics data sets).

The candidate should be pursuing a Master 2 degree (or equivalent) and have a good knowledge in signal/image processing and machine learning.

[1] Comon P and Jutten C 2010 Handbook of Blind Source Separation : Independent component analysis and applications

[2] Fevotte C, Bertin N and Durrieu J L 2009 Nonnegative matrix factorization with the Itakura-Saito divergence with application to music analysis. Neural computation 21 793–830

[3] Dobigeon N et Al. 2014 Nonlinear unmixing of hyperspectral images : Models and algorithms. IEEE Signal Processing Magazine

[5] Kervazo C et Al. 2020 Use of PALM for l1 sparse matrix factorization : Difficulty and rationalization of a two-step approach. Digital Signal Processing

[6] Gregor K and LeCun Y 2010 Learning fast approximations of sparse coding Proceedings of the 27th International Conference on International Conference on Machine Learning 399–406.

[7] Monga V, Li Y and Eldar Y C 2019 Algorithm Unrolling : Interpretable, Efficient Deep Learning for Signal and Image Processing. arXiv preprint arXiv :1912.10557.

-
- [8] Ablin P, Moreau T, Massias M and Gramfort A 2019 Learning step sizes for unfolded sparse coding. Advances in Neural Information Processing Systems 13100–13110.
- [9] Bobin J, Acero F, and Picquenot A 2019 Metric Learning for Semi-Supervised Sparse Source Separation with Spectral Examples. 2019 IEEE 8th International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing (CAMSAP)
- [10] Fahes M, Kervazo C, Bobin J and Tupin F, Unrolling PALM for sparse semi-blind source separation, 10th International Conference on Learning Representations, ICLR 2022.

Keywords

Signal processing/Machine learning/Astrophysics

Skills

Machine learning, deep unrolling

Softwares

Python, Pytorch



Deep Learning pour l'analyse de données en spectrométrie gamma

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/LILAS](#)

Candidature avant le 17/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [BOBIN JÉRÔME](#)
+33 1 69 08 75 91
jerome.bobin@cea.fr

Résumé

L'objectif est de développer des méthodes de deep learning pour le démixage de spectres en spectrométrie gamma.

Sujet détaillé

DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

La spectrométrie gamma est une technique classique utilisée pour identifier et quantifier les radionucléides dans de nombreux domaines d'applications nucléaires (environnement, industrie, métrologie, trafic illicite, etc.).

Un spectre observé y est constitué de M canaux correspondant à des intervalles d'énergie déposés dans un détecteur sensible aux photons γ (scintillateur ou semi-conducteur). Le comptage dans chaque canal représente le nombre d'événements dans un intervalle d'énergie donné. Pour chaque radionucléide, il existe un spectre caractéristique appelé signature spectrale correspondant à la réponse du détecteur.

Soit X une matrice dont chaque colonne est la signature spectrale normalisée de chaque radionucléide. Le spectre observé suit la distribution de Poisson de Xa :

Mots clés

Traitement du signal, Machine learning, Physique nucléaire

Compétences

Deep learning, spectral unmixing

Logiciels

Python, pytorch

Deep learning for gamma-spectrometry

Summary

This internship aims at developing deep learning methods for spectral unmixing in gamm-ray spectrometry.

Full description

DESCRIPTION AND PROBLEM

Gamma-ray spectrometry is a classical technique used to identify and quantify radionuclides in a wide range of nuclear applications (environment, industry, metrology, illicit trafficking, etc.).

An observed spectrum is made up of M channels corresponding to energy intervals deposited in a photon-sensitive detector (scintillator or semiconductor). The count in each channel represents the number of events in a given energy interval. For each radionuclide, there is a characteristic spectrum called the spectral signature, corresponding to the detector response.

Let X be a matrix, each column of which is the normalized spectral signature of each radionuclide. The observed spectrum follows the Poisson distribution of Xa :

Keywords

Signal processing, Machine learning, Nuclear physics

Skills

Deep learning, spectral unmixing

Softwares

Python, pytorch



Cartographie des baryons dans les amas de galaxies au moyen de l'intelligence artificielle.

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DAP/LCEG](#)

Candidature avant le 19/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [PIERRE Marguerite](#)

+33 1 69 08 34 92

marguerite.pierre@cea.fr

Résumé

Le stage vise à étudier les propriétés du gaz intra-amas en fonction de la distribution sous-jacente de matière noire. On utilisera un réseau de neurones entraîné sur des simulations numériques afin, en particulier, de comprendre si les propriétés locales du gaz dépendent de la cosmologie et du redshift.

Sujet détaillé

Les amas de galaxies sont les entités les plus massives de l'univers.

Pour cette raison, ils constituent une sonde cosmologique importante à côté du CMB, des supernovae et BAO. L'émission en rayons X des amas nous renseigne sur la physique baryonique du gaz intra-amas qui joue un rôle clef dans la modélisation de la formation des grandes structures de l'univers.

Le but du stage est de cartographier et d'étudier la dépendance des propriétés du gaz intra-amas en fonction de la distribution de la matière noire sous-jacente. Au lieu d'utiliser le formalisme habituel des lois d'échelle pour relier les propriétés X à la masse des amas, nous avons développé un formalisme (ASpiX) qui encode la population des amas en fonction de leurs couleurs X. Ainsi, nous pouvons inférer les paramètres cosmologiques selon le principe du 'forward modelling', en réduisant au moins d'un facteur 6 le nombre des paramètres libres liés à la physique des amas, et en ayant accès directement à l'énergie insufflée par les AGN dans le milieu intra-amas.

Note but est d'entraîner un réseau d'apprentissage profond (par ex. un réseau conditionnel de diffusion) pour apprendre la relation entre les halos de matière noire et les baryons, en utilisant des simulation hydrodynamiques (par ex. CAMELS). Alors que la structure des halos dépend de la cosmologie et du redshift, nous voulons tester l'hypothèse que la densité et la température du gaz à une position donnée ne dépendent que des propriétés de la matière noire environnante. Ceci est un point névralgique qui sera testé avec soin, car cela permettrait de simplifier considérablement l'analyse cosmologique ultérieure.

Dans un second temps, la cartographie des baryons ainsi formulée nous permettra de traduire en bande X, des 'cônes de lumière' constitués par les halos de matière noire pour différentes cosmologies et valeurs du feedback des AGN. Ceci constitue une étape majeure vers l'inférence des paramètres cosmologiques d'après la population des amas de galaxies observée en rayons X.

Mots clés

cosmologie - simulations numeriques - X-ray astronomy

Compétences

Réseaux de neurones / réseaux conditionnel de diffusion Logiciel d'émission X

Logiciels

Python

Cosmological mapping of X-ray baryons in galaxy clusters using artificial intelligence.

Summary

The internship aims at the study of the intracluster gas, as a function of the underlying dark matter distribution. We shall use a neural network trained on numerical simulations to investigate whether the local gas properties depend on the cosmology and redshift.

Full description

Clusters of galaxies are the largest entities in the universe. For this reason, they constitute an important cosmological probe complementary to the CMB, supernovae and BAO. The X-ray emission of clusters provides insights into baryonic physics which plays a pivotal role in our modelling of mass assembly over cosmic time. The goal of the internship is to map and study the dependence of the cluster baryon properties on the density of the underlying dark matter. Instead of using traditional scaling relations to connect the X-ray properties to the cluster masses, we have developed a formalism (ASpiX) to encode the cluster population using X-ray colors. From this, a forward-modelling formalism allows us to infer the cosmological parameters, reducing the number of cluster-dependent free parameters by a factor of 6 or more and giving direct access to the energy input from AGN.

Our aim is to train a deep learning model (e.g., a conditional diffusion network) to learn the relationship between dark matter halos and baryons using cosmological hydrodynamical simulations (CAMELS). While the structure of the DM halos depends on cosmology and redshift, we hypothesize that the cluster gas density and temperature, at a given position, only depends on the surrounding DM properties; this is a key point to be thoroughly explored, since it would drastically streamline the cosmological analysis.

The learned baryon mapping will be used, in turn, to produce 'X-ray lightcones' as a function of cosmology and AGN feedback: marking an instrumental step towards the cosmological inference of an observed X-ray cluster population.

Keywords

cosmology - numerical simulations - X-ray astronomy

Skills

Neural network / conditional diffusion network X-ray emission code

Softwares

Python



Démonstration des performances d'un nouveau spectro-imageur X dur hautement pixelisé pour la physique des éruptions solaires.

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DAP/LSIS](#)

Candidature avant le 20/04/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [MEURIS Aline](#)

+33 1 69 08 12 73

aline.meuris@cea.fr

Résumé

A travers des mesures expérimentales en laboratoire, des analyses de données et des simulations, l'étudiant caractérisera les performances en spectroscopie et en imagerie d'un nouveau capteur à rayons X fabriqués avec un industriel et le CNES destinés aux télescopes spatiaux de future génération pour la physique solaire.

Sujet détaillé

CONTEXTE

Solar Orbiter est une mission spatiale de l'agence spatiale européenne en opération depuis 2020. Parmi ses 10 instruments, le Spectrometer Telescope Imaging X-Rays (STIX), basé sur une technique d'imagerie indirecte par transformée de Fourier, observe les éruptions solaires dans la bande d'énergie [4-150 keV] pour caractériser les processus d'accélération des électrons et de conversion de l'énergie magnétique dans la zone radiative du Soleil. La future génération de télescopes (comme la mission SPARK proposée à l'ESA en 2022) implique une imagerie directe des événements par l'utilisation de miroirs X de quelques secondes d'arc de résolution angulaire. Cette imagerie directe permettrait d'augmenter la cadence des images (sensibilité de détection et dynamique de comptage améliorées d'un facteur 20 à 100) et d'éviter la confusion de sources en cas de points chauds multiples. Elle nécessite le développement de spectro-imageurs sensibles aux photons X jusqu'à 150 keV et avec des pixels plus petits que 300 μm . Notre équipe de recherche a récemment développé un détecteur à base de semi-conducteur en CdTe de 32 x 32 pixels, avec des pixels de 250 μm de côté, lus par deux circuits d'électronique intégrée conçus spécifiquement par notre institut et constituant le spectro-imageur appelé MC2. Dans le cadre d'une thèse, de premières performances spectrales à l'état de l'art ont été obtenues avec un échantillon et un modèle physique numérique de la réponse du capteur a été développé.

SUJET

Pour démontrer la performance de notre concept dans une future mission spatiale comme SPARK, le stage comporte deux volets :

- Volet expérimental : L'objectif du stage est la mise en œuvre et la caractérisation des détecteurs de génération

suivante de 32 x 32 pixels dans un banc de mesure existant. Cette nouvelle génération emploie des technologies d'intégration très innovantes, en préparation de la conception d'une caméra X entièrement numérique. Des images sont obtenues en éclairant le détecteur avec une source de photons X et sont analysées pour obtenir des spectres en énergie et des cartes de comptage de photons. L'étudiant aura pour objectif d'effectuer des mesures sur le banc de test et d'analyser les résultats obtenus au moyen de scripts Python développés ou à développer.

- Volet de modélisation : Un modèle numérique complet de chaîne de détection, développé dans notre laboratoire et combinant la physique du détecteur à la réponse de l'électronique de lecture sera utilisé pour simuler la réponse du détecteur en fonction des topologies et de la brillance des éruptions solaires observées. L'étudiant étudiera plusieurs scénarios d'observation à travers les différents modes de lecture du système. Les résultats permettront de définir une stratégie de lecture pour la prochaine génération de circuits intégrés de lecture en cours de conception.

L'étudiant sera intégré à une équipe de R&D dynamique de 6 personnes, regroupant technicien, doctorant, ingénieurs électroniciens, physiciens instrumentalistes du Département d'astrophysique (DAp) et Département d'électronique de détecteurs et d'informatique pour la physique (DEDIP) de l'Irfu.

L'ensemble de ces résultats pourra faire l'objet d'une publication scientifique.

Mots clés

chaîne de détection, instrumentation spatiale, physique solaire

Compétences

Spectroscopie X, analyse de données spectrales, modélisations physiques

Logiciels

Python

Performance demonstration of a new hard X-ray highly pixelated spectroscopic imager for the observation of solar flares

Summary

Through experimental work in the lab, data analysis and simulations, the student will characterize the spectral and the imaging performance of a new sensor for X-rays designed and produced with an industrial partner and CNES, devoted to the next generation of space telescopes for solar physics

Full description

Keywords

detection chain, space instrumentation, solar physics

Skills

X-ray spectroscopy, spectral data analysis, physical modeling

Softwares

Python



Mesure et simulation des interactions des photons X avec les détecteurs Micromegas de l'expérience P2 (Mayence/ Allemagne)

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/DEPHYS](#)

Candidature avant le 25/04/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [VANDENBROUCKE Maxence](#)
+33 1 69 08 22 83
maxence.vandenbroucke@cea.fr

Autre lien <https://www.blogs.uni-mainz.de/fb08p2/>

Résumé

Simulation et mesures de photon X pour le dimensionnement du futur trajectographe à base de détecteurs gazeux Micromegas pour l'expérience P2 en Allemagne.

Sujet détaillé

Ce stage se concentre sur la préparation de mesures et de simulations de l'expérience P2 (Mayence/Allemagne). Celle-ci vise à déterminer un des paramètres fondamentaux du modèle standard de la physique des particules: l'angle de mélange électrofaible conséquence de l'unification des interactions électromagnétiques et nucléaires faibles.

L'objectif principal du stage sera d'évaluer le bruit de fond de photons de l'expérience à travers la probabilité d'interaction des photons X (énergies de l'ordre d'une dizaine keV) avec les détecteurs Micromegas ainsi que leur absorption avec le futur bouclier à photons.

Le stage impliquera à la fois des mesures, des simulations et des analyses quantitatives afin d'optimiser les détecteurs gazeux et leur blindage pour l'expérience P2 installer à partir de 2025 à Mayence.

La durée du stage ainsi que le niveau peuvent être adaptés suivant le profil du candidat.

References

[1] The P2 Experiment

A future high-precision measurement of the weak mixing angle at low momentum transfer

[2] Micromegas in a bulk,

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment,
Volume 560, Issue 2, 2006

Mots clés

Détecteur, physique des particules, électrons, rayon X

Compétences

Mesures au laboratoire d'instrumentation et simulations numériques.

Logiciels

C++ ROOT GEANT4

Measurement and simulation of X-ray photon interactions with the Micromegas detectors for the P2 experiment (Mainz/Germany)

Summary

Simulation and measurements of X-ray photons for the design of the future Micromegas tracker for the P2 experiment in Germany.

Full description

This internship focuses on the preparation of measurements and simulations for the P2 experiment (Mainz/Germany). The experiment aims to determine one of the fundamental parameters of the Standard Model of particle physics: the electroweak mixing angle resulting from the unification of electromagnetic and weak nuclear interactions.

The main objective of the internship will be to evaluate the photon background of the experiment through the probability of interaction of X-ray photons (energies of the order of ten keV) with the Micromegas detectors and their absorption with the future photon shield.

The internship will involve a combination of measurements, simulations and quantitative analyses in order to optimize the gaseous detectors and their shielding for the P2 experiment to be installed in Mainz from 2025.

The length of the internship and the requirement can be adapted to suit the candidate.

references

[1] The P2 Experiment

A future high-precision measurement of the weak mixing angle at low momentum transfer

[2] Micromegas in a bulk,

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment,

Volume 560, Issue 2, 2006

Keywords

Detector, particle physics, electron, xray

Skills

GEANT4 simulation, laboratory work

Softwares

C++ ROOT GEANT4



Simulation et optimisation du blindage contre les photons X dans l'expérience P2 (Mayence/Allemagne)

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 02/04/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [CHEVALIER Laurent](#)
+33 1 69 08 37 28
laurent.chevalier@cea.fr

Résumé

Le stage évaluera le taux de production de photons secondaires dans la simulation de l'expérience, l'objectif principal est d'optimiser le blindage contre le bruit de fond photonique à l'aide de géométries originales et des structures Z-graded shield.

Sujet détaillé

Ce stage se concentre sur la préparation de mesures et de simulations pour l'expérience P2 (Mayence/Allemagne). Celle-ci vise à déterminer un des paramètres fondamentaux du modèle standard de la physique des particules: l'angle de mélange électrofaible conséquence de l'unification des interactions électromagnétiques et nucléaires faibles

Le stage évaluera le taux de production de photons secondaires dans la simulation de l'expérience, l'objectif principal est d'optimiser le blindage contre le bruit de fond photonique à l'aide de géométries originales et des structures Z-graded shield.

Mots clés

Modèle standard de la physique des particules Bruit de fond , photons, blindage,simulation

Compétences

Simulation

Logiciels

python, C++, GEANT4

Simulation and Optimization of X-ray Photon Shielding in the P2 Experiment (Mainz, Germany)

Summary

The internship will assess the production rate of secondary photons in the experiment's simulation, with the primary objective being the optimization of photon background shielding using novel geometries and Z-graded shield structures

Full description

This internship focuses on preparing measurements and simulations for the P2 experiment in Mainz, Germany. The aim of this experiment is to determine one of the fundamental parameters of the Standard Model of particle physics: the electroweak mixing angle, a consequence of the unification of electromagnetic and weak nuclear interactions.

The internship will assess the production rate of secondary photons in the experiment's simulation, with the primary objective being the optimization of photon background shielding using novel geometries and Z-graded shield structures.

Keywords

Standard Model of particle physics, Background noise, photons, shielding, simulation

Skills

Simulation

Softwares

python, C++, GEANT4



Mesure de précision de la masse et de la largeur du boson Z avec le détecteur ATLAS auprès du LHC au CERN

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 1

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 01/06/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [CHAPON Emilien](#)
+33 1 69 08 3623
emilien.chapon@cea.fr

Résumé

Les données de l'expérience ATLAS au LHC du CERN permettent des mesures précises des paramètres du modèle standard, tels que la masse et la largeur du boson Z. Celles-ci seront estimées au moyen d'une analyse statistique et d'un étalonnage spécifique des muons.

Sujet détaillé

Le détecteur ATLAS est l'une des quatre expériences principales du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN, situé près de Genève. Parmi les nombreux sujets étudiés par la collaboration, les tests de précision du modèle standard (SM) de la physique des particules vérifient la cohérence de la théorie. La masse du boson Z est l'un des paramètres fondamentaux du SM. Elle a été mesurée précisément au LEP, l'accélérateur précédent du CERN, mais les données ATLAS contiennent des centaines de millions de bosons Z, deux ordres de magnitude de plus que les données du LEP, permettant d'atteindre une précision similaire malgré des conditions expérimentales plus complexes. La masse du boson Z est mesurée en utilisant sa désintégration en deux muons. Pour étalonner précisément l'échelle de la mesure de l'impulsion des muons, la résonance J/psi est utilisée, un méson qui se désintègre également en deux muons et dont la masse est connue très précisément.

Le but principal de ce stage sera d'étudier la sensibilité d'une mesure de la largeur du boson Z avec le détecteur ATLAS et sa relation avec la mesure de la masse du boson Z, actuellement en préparation. Des analyses statistiques ajustant uniquement la largeur ou la masse seront produites, ainsi qu'ajustant les deux simultanément, en incluant toutes les incertitudes systématiques, en particulier celles en lien avec l'échelle et la résolution de l'impulsion des muons.

Mots clés

Physique du modèle standard, physique électrofaible, analyse statistique, ATLAS, LHC

Compétences

Analyse statistique, simulation MC, programmation

Logiciels

C++, python, ROOT

Precision measurement of the Z boson mass and width with the ATLAS detector at the CERN LHC

Summary

Data from the ATLAS experiment at the CERN LHC can be used for precise measurements of the parameters of the Standard Model, such as the mass and width of the Z boson. These will be estimated using a statistical analysis and a specific muon calibration.

Full description

The ATLAS detector is one of the four large experiments at the CERN's Large Hadron Collider, located near Geneva. Among the many topics being studied by the collaboration, precision tests of the Standard Model (SM) of particle physics check for the consistency of this theory. The mass of the Z boson is one of the fundamental parameters of the SM. It has been precisely measured at LEP, CERN's previous collider, but ATLAS data contains hundreds of millions of Z bosons, two orders of magnitude more than LEP data, making it possible to reach similar precision despite the more challenging experimental conditions. The Z boson mass is best measured using its decay to two muons. In order to precisely calibrate the momentum scale of muons, the J/psi resonance is used, a meson also decaying to two muons and which mass is very precisely known.

The main goal of this internship will be to study the sensitivity of a Z boson width measurement with the ATLAS detector and its interplay with the Z boson mass measurement, currently in preparation. Statistical analyses floating only the width or the mass will be performed, as well as floating both at the same time, including all systematic uncertainties, especially those related to muon momentum scale and resolution.

Keywords

Standard model physics, electroweak physics, statistical analysis, ATLAS, LHC

Skills

Statistical analysis, MC simulation, software development

Softwares

C++, python, ROOT



Caractérisation d'un capteur CMOS développé pour la mesure du temps d'arrivée de particules chargées

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/STREAM](#)

Candidature avant le 30/04/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [DEGERLI Yavuz](#)
+33 1 69 08 61 65/76 63
yavuz.degerli@cea.fr

Résumé

Le(a) stagiaire participera à la mise en place d'un banc de test qu'il/elle utilisera pour une caractérisation étendue d'un capteur CMOS développé pour la détection de particules chargées.

Sujet détaillé

Les capteurs monolithiques CMOS (appelés MAPS, Monolithic Active Pixel Sensors) ont été inventés au milieu des années 1990 et leur grand potentiel en tant que dispositifs d'imagerie a été immédiatement exploité dans un grand nombre d'applications. Depuis le début de ce siècle, les MAPS ont également été proposés et mis en œuvre comme trajectographes de haute résolution spatiale pour les expériences de physique des particules.

C'est par exemple le cas des Muon Forward Tracker et Inner Tracking System, deux détecteurs nouvellement construits et intégrés dans le cadre du programme de jouvence de l'expérience ALICE au LHC (CERN). La technologie CMOS utilisée pour les MAPS tire parti des développements mondiaux dans ce domaine et en particulier, étant monolithique, elle permet d'intégrer en principe toutes les fonctionnalités dans le chip au-delà de la matrice de pixels, ce qui apporte une simplification au niveau du système de lecture et donc une réduction des coûts.

Le développement récent de capteurs CMOS dépletés a permis de les proposer également pour les applications très exigeantes en terme de vitesse de fonctionnement et de tenue aux radiations. Ces capteurs semblent être aussi des bonnes alternatives aux solutions hybrides pour le marquage en temps des particules chargées. Dans ce cadre et grâce à la grande expérience acquise ces 15 dernières années, l'IRFU développe actuellement des capteurs CMOS en technologie L-Foundry au sein d'une collaboration internationale avec une résolution temporelle inférieure à 100 ps. Plusieurs prototypes ont déjà été conçus, fabriqués et testés.

Récemment, un nouveau prototype, comportant plusieurs diodes de collection de tailles différentes et de préamplis différents, a été conçu et envoyé en fabrication avec des améliorations et optimisations des performances par rapport aux itérations précédentes. Le(a) stagiaire participera à la mise en place d'un banc de test qu'il/elle utilisera pour une

caractérisation étendue de ce prototype. Les mesures à effectuer porteront sur les caractéristiques du bruit du détecteur, la caractérisation de la résolution en temps de l'électronique de lecture et la mesure de la capacité effective de la diode détectrice. Ces mesures seront confrontées aux simulations Cadence/Spice. Les résultats de ces études apportent des informations importantes pour choisir le type de diode et d'architecture de préamplificateur ayant les meilleures performances en terme de rapport signal sur bruit et consommation électrique pour les futurs développements.

Mots clés

Electronique, traitement du signal

Compétences

Acquisition de données, analyses de données.

Logiciels

Phyton, C++

Characterization of a CMOS sensor developed for the time tagging of charged particle detection

Summary

Full description

Keywords

Skills

Softwares

Phyton, C++



L'astrophysique multimessager en temps réel

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 07/05/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [SCHUSSLER Fabian](#)

+33 1 69 08 30 20

fabian.schussler@cea.fr

Résumé

Pendant ce stage, nous analyserons les données obtenues par l'instrument H.E.S.S. lors d'observations récentes de cibles d'opportunité. Les interféromètres d'ondes gravitationnelles Virgo, LIGO et KAGRA prennent actuellement des données et des observations passionnantes sont menées dans toute la gamme des longueurs d'onde. Nous disposerons donc d'un vaste ensemble de données pour rechercher des contreparties à très haute énergie aux signaux multimessagers.

Sujet détaillé

Pendant ce stage, nous analyserons les données obtenues par l'instrument H.E.S.S. lors d'observations récentes de cibles d'opportunité. Les interféromètres d'ondes gravitationnelles Virgo, LIGO et KAGRA prennent actuellement des données et des observations passionnantes sont menées dans toute la gamme des longueurs d'onde. Nous disposerons donc d'un vaste ensemble de données pour rechercher des contreparties à très haute énergie aux signaux multimessagers.

Mots clés

Compétences

Logiciels

Multimessenger astrophysics in real-time

Summary

During the internship we will analyze data obtained by the H.E.S.S. instrument in recent target-of-opportunity observations. The gravitational wave interferometers Virgo, LIGO, and KAGRA are currently taking data and exciting observations are being conducted across the full multi-wavelength range. We will thus have an extensive dataset at our disposal to search for very-high energy counterparts to the multi-messenger signals.

Full description

H.E.S.S. is a system of Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes that investigates cosmic gamma rays in the energy range from 10s of GeV to 10s of TeV. The name H.E.S.S. stands for High Energy Stereoscopic System, and is also intended to pay homage to Victor Hess, who received the Nobel Prize in Physics in 1936 for his discovery of cosmic radiation. H.E.S.S. is located in Namibia, near the Gamsberg mountain, an area well known for its excellent optical quality. The first of the four telescopes of Phase I of the H.E.S.S. project went into operation in Summer 2002. A much larger fifth telescope - H.E.S.S. II - is operational since July 2012, further improving sensitivity, extending the energy range and allowing for very rapid reactions to transient events. The H.E.S.S. observatory is operated by an international collaboration of more than 170 scientists, from 32 scientific institutions and 12 different countries.

Since the first direct detections of Gravitational Waves in 2015, a new field of astrophysics and a new window to the universe is opening up: multi-messenger astrophysics. In this novel domain, we are combining information from various observatories across the electromagnetic spectrum with data obtained from gravitational wave observatories and high-energy neutrino telescopes. In August 2017, Virgo and LIGO detected the first gravitational waves emitted by the merger of a binary neutron star system. The subsequent detection of the same event across a large range of the electromagnetic spectrum is a major milestone in the field and produced a wealth of new information (and new questions) about these violent events. The H.E.S.S. collaboration is actively participating in these follow-up observations of Gravitational Waves and other exciting events like Gamma-Ray Burst, high-energy neutrinos, Fast Radio Bursts, etc. Fabian Schüssler, the tutor for the internship proposed here, leads the dedicated working group within the H.E.S.S. collaboration.

During the internship we will analyze data obtained by the H.E.S.S. instrument in recent target-of-opportunity observations. The gravitational wave interferometers Virgo, LIGO, and KAGRA are currently taking data and exciting observations are being conducted across the full multi-wavelength range. We will thus have an extensive dataset at our disposal to search for very-high energy counterparts to the multi-messenger signals.

The tutor is also leading the platform Astro-COLIBRI (cf. <https://astro-colibri.science>). Contributions to the development of the platform or its use for additional observations will thus be possible during the internship.

The proposed internship is a very good introduction to the PhD thesis topic proposed by F. Schussler at IRFU/CEA Paris-Saclay. Start of the PhD project is October 2024. Details can be found on: <https://www.multimessenger-astronomy.com>

CONTACT

Fabian Schüssler: fabian.schussler@cea.fr, Tel.: 01 69 08 30 20

Homepage: <https://www.multimessenger-astronomy.com>

Twitter: @FabianSchussler

Keywords

astronomy, science, multi-messenger, realtime, alerts, GRBs, FRBs, neutrinos, astrophysics

Skills

Softwares



Etude théorique et numérique de la transition quantique classique par une approche utilisant les marches aléatoires branchantes.

Spécialité Physique théorique, mécanique quantique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhN/LEARN](#)

Candidature avant le 04/03/2024

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [DUMONTEIL Eric](#)
+33 1 69 08 56 02
eric.dumonteil@cea.fr

Résumé

Ce stage se propose ainsi d'explorer le lien entre l'équation de Schrödinger et la mécanique statistique des processus critiques, d'un point de vue théorique et numérique.

Sujet détaillé

L'étude des marches aléatoires branchantes permet de décrire de nombreux phénomènes tels que la propagation des épidémies, la transmission génétique au sein de populations, ou le transport des neutrons dans les milieux fissiles pour n'en citer que quelques-uns.

Dans ce dernier domaine par exemple, des travaux récents ont montré que des structures spatiales (phénomène de "clustering") pouvaient émerger au sein de la population de neutron présente dans un réacteur nucléaire [1,2], que l'on caractérise à l'aide de la fonction de corrélation spatiale (ou fonction à deux points). Le formalisme théorique développé dans ce cadre possède de surprenantes similitudes avec certains modèles de décohérence en mécanique quantique.

Ce stage se propose ainsi d'explorer le lien entre l'équation de Schrödinger et la mécanique statistique des processus critiques, d'un point de vue théorique et numérique. Les développements formels -qui peuvent être vu comme l'étude de la quantification stochastique de Nelson [3] dans le secteur non relativiste- s'appuieront sur des travaux relativement récents de Nagasawa et seront interprétés à la lumière de la théorie de l'onde pilote de Bohm. Les aspects numériques seront réalisés par une extension d'algorithmes de type "Diffusion Monte Carlo" du régime stationnaire au régime transitoire. On cherchera en particulier à reproduire numériquement le phénomène de "quantum carpet" avec ces outils, ainsi que la transition quantique/classique.

Le candidat recherché doit être en dernière année d'école d'ingénieur ou en master recherche de physique théorique, de physique fondamentale, de modélisation des systèmes complexes, ou d'ingénierie nucléaire. Il doit avoir des connaissances en modélisation mathématique, en physique statistique (probabilités, calcul stochastique, marches

aléatoires, transitions de phase, éventuellement théorie des champs) et être capable de réaliser des développements informatiques en Python (le travail sera effectué sous forme de notebook Jupyter).

Le stage sera basé sur le centre de Saclay du CEA (Orme des Merisiers), au sein du Département de Physique Nucléaire de l'IRFU.

Mots clés

Compétences

Logiciels

Formal and numerical study of the emergence of the quantum to classical transition using branching random walks.

Summary

The aim of this internship is to explore the link between the Schrödinger equation and the statistical mechanics of critical processes, both theoretically and numerically.

Full description

The study of branching random walks makes it possible to describe numerous phenomena such as the propagation of epidemics, genetic transmission within populations, or neutron transport in fissile media, to name but a few.

In the latter field, for example, recent work has shown that spatial structures ("clustering") can emerge within the neutron population present in a nuclear reactor [1,2], characterized by the spatial correlation function (or two-point function). The theoretical formalism developed in this context has surprising similarities with certain decoherence models in quantum mechanics.

The aim of this internship is to explore the link between the Schrödinger equation and the statistical mechanics of critical processes, both theoretically and numerically. The formal developments - which can be seen as the study of Nelson's stochastic quantization [3] in the non-relativistic sector - will be based on relatively recent work by Nagasawa and interpreted in the light of Bohm's pilot wave theory. The numerical aspects will be carried out by extending Monte Carlo diffusion algorithms from the stationary to the transient regime. In particular, the quantum carpet phenomenon will be numerically reproduced with these tools, as will the quantum/classical transition.

Candidates must be in their final year of engineering school or of research master's degree in theoretical physics, fundamental physics, complex systems modeling or nuclear engineering. He/she must have knowledge of mathematical modeling, statistical physics (probabilities, stochastic calculus, random walks, phase transitions, possibly field theory) and be able to carry out computer developments in Python (the work will be carried out in the form of a Jupyter notebook).

The internship will be based at the CEA's Saclay center (Orme des Merisiers), in the IRFU Nuclear Physics Department.

Keywords

Skills

Softwares



Etude de la production de paires de bosons de Higgs dans le canal bbtatau

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 20/06/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [Portales Louis](#)
+33 1 69 08
louis.portales@cea.fr

Résumé

Le groupe CMS du CEA Paris-Saclay cherche un(e) candidat(e) motivé pour travailler sur la production de paires de bosons de Higgs dans le canal bbtatau. Il ou elle s'intéressera au choix des algorithmes de déclenchement pour une analyse utilisant les données du Run 3, visant à contraindre l'auto-couplage du boson de Higgs

Sujet détaillé

L'observation du boson de Higgs en 2012 a permis de confirmer la validité du Modèle Standard (MS) de la physique des particules, tel qu'il a été établi dans les années 60. Plus particulièrement, elle a confirmé celle du mécanisme de Brout-Englert-Higgs, expliquant comment les bosons vecteurs W^\pm et Z^0 , et par extension les autres particules fondamentales, acquièrent leur masse. La validité du MS a été depuis renforcée au travers d'une décennie de mesures de plus en plus précises des propriétés de ce boson scalaire – masse, largeur de désintégration, couplages... – par les collaborations ATLAS

et CMS. Une propriété importante du boson de Higgs reste cependant à mesurer: son autocouplage. Dans le MS, ce paramètre est fixé par la masse du boson de Higgs et la "vacuum expectation value", qui sont toutes deux connues précisément. Mesurer cet autocouplage permettrait donc d'établir de manière solide la consistance du MS, ou bien d'apporter des réponses à certaines des grandes questions encore ouvertes en physique des particules si sa valeur ne correspond pas à celle pr éditée. Par exemple, en considérant la masse du boson de Higgs mesurée – avec une précision de l'ordre du pourmille –, l'autocouplage devient négatif à très hautes énergies, permettant l'apparition d'un nouvel état de vide de plus basse énergie, atteignable par effet tunnel. Par ailleurs, le champ de Higgs constitue un outil extrêmement utile pour l'étude du phénomène d'inflation dans l'univers primordial, et la mesure d'une déviation de la valeur de son autocouplage par rapport au MS pourrait fournir une explication concrète à l'apparition de l'asymétrie entre le contenu en matière et antimatière dans notre univers. La mesure de l'autocouplage du boson de Higgs constitue donc l'une des priorités des collaborations ATLAS et CMS dans les années à venir.

Le Run 3 du LHC a débuté en 2022, et a déjà permis à l'expérience CMS d'enregistrer 60 /fb de données de collision proton-proton à une énergie au centre de masse de $\sqrt{s} = 13.6$ TeV. La prise de données va continuer jusqu'en 2025, et devrait permettre de porter la luminosité collectée à environ 250 /fb, plus de doublant la statistique disponible

grâce au Run précédent à $\sqrt{s} = 13$ TeV. Ce nouvel ensemble de données constitue une excellente occasion pour améliorer les analyses visant à contraindre l'autocouplage du boson de Higgs. Les contraintes les plus fortes sur ce paramètre sont obtenues par l'étude de la production de paires de bosons de Higgs (HH), ou l'autocouplage apparaît dans les diagrammes d'ordre dominant (LO) directement. La production HH est cependant un processus extrêmement rare, avec une section efficace approximativement mille fois inférieure à celle de la production de boson de Higgs seul.

Parmi les modes de désintégration possibles de la paire de boson de Higgs, le canal $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$ se montre particulièrement intéressant pour le Run 3. De par son rapport d'embranchement favorable de 7.3 %, et de la contamination modérée de bruits de fonds, il constitue l'un des trois canaux les plus sensibles. De plus, il s'agit du canal bénéficiant actuellement du plus d'innovations dans les techniques d'analyses, en particulier au travers de nouveaux algorithmes d'identification des jets originant de quarks b, et des leptons tau, et plusieurs directions sont déjà identifiées afin de pouvoir encore améliorer la sensibilité des analyses à venir, par exemple au travers du développement et de l'implémentation de nouveaux algorithmes de déclenchement, qui permettront d'augmenter grandement l'efficacité de sélection des événements du signal dans certaines régions de l'espace de phase sensibles à l'autocouplage.

L'étudiant(e) prendra part au développement d'une analyse utilisant les données collectées par CMS pendant le Run 3 du LHC, visant à contraindre l'auto-couplage du boson de Higgs, par l'étude de la production HH, ou l'un des H se désintègre en une paire de quarks b, et l'autre en une paire de leptons tau. Il ou elle s'intéressera entre autres à l'étude dans le contexte de l'analyse de nouveaux algorithmes de déclenchement implémentés pour la prise de données en 2022 et 2023, ainsi qu'à l'optimisation de la sélection et de la catégorisation des événements, pour maximiser les gains en sensibilité attendus.

Mots clés

CMS, boson de Higgs, LHC

Compétences

Caractérisation d'algorithmes de déclenchement, évaluation d'efficacités, pureté, acceptances... Estimation de la sensibilité au signal, analyse statistique.

Logiciels

Python, C/C++, ROOT

Study of Higgs boson pair production in the $b\bar{b}\tau\tau$ channel

Summary

The CMS group of CEA Paris-Saclay is looking for motivated candidates to work on Higgs boson pair production in the $b\bar{b}\tau\tau$ channel. They will look into the optimisation of the trigger selection for an analysis using Run 3 data, aiming at constraining the Higgs boson self-coupling.

Full description

The observation of the Higgs boson in 2012 confirmed the validity of the Standard Model (SM) of particle physics, as it was established in the 1960's. More precisely, it confirmed that of the Brout-Englert-Higgs mechanism, which explains how the W and Z bosons, and by extension the other fundamental particles, acquire their mass. The SM validity has been strengthened since then, through a decade of more and more precise measurements of the properties of this scalar boson – mass, decay width, couplings... – by the ATLAS and CMS Collaborations. However, an important property of the Higgs boson has yet to be measured: its self-coupling. In the SM, this parameter is fixed by the Higgs boson mass and the vacuum expectation value v , that are now both precisely known. Measuring the Higgs self-coupling would therefore provide a strong closure test of the SM or, if the measured value does not correspond to the predicted one, it could bring answers to some of the great open questions in particle physics. For instance, considering the measured value of the Higgs boson mass – to a per-mille precision –, the self-coupling becomes negative at high energy scales, allowing for a new, lower energy vacuum state to appear, that can be reached through tunnelling. Moreover, the Higgs field is a great tool for the study of inflation in the early universe, and a measured deviation of the Higgs self-coupling value with respect to the SM prediction could contribute to explaining the origin of the observed matter-antimatter asymmetry. Measuring this parameter is therefore one of the current priorities of the ATLAS and CMS collaborations.

Run 3 of the LHC started in 2022, and already allowed the CMS experiment to collect 60/fb of proton-proton collision data at a center-of-mass energy of $\sqrt{s} = 13.6$ TeV. Data-taking will continue until 2025, and should allow to bring the recorded luminosity to more than 150/fb, effectively doubling the available statistics from the previous Run at $\sqrt{s} = 13$ TeV. This new dataset constitutes an excellent opportunity to improve analyses aiming at constraining the Higgs self-coupling. The best constraints on this parameter are obtained through the study of Higgs boson pair production (HH), where the self-coupling appears directly in Leading Order (LO) diagrams. However, HH production is an extremely rare process, with a total cross-section about 10 times smaller than that of single-Higgs-boson production.

Among the many possible decay modes of the HH pair, the $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$ channel is particularly interesting in Run 3. Thanks to its favourable branching ratio of 7.3 %, and to its moderate background contamination, it is among the three most sensible channels to the Higgs self coupling. It is also the channel that benefits from the most technical improvements in analyses techniques, especially through the recent introduction of new identification algorithms for b-quark initiated jets and tau leptons, and several directions are already well identified to improve further the sensitivity of upcoming analyses.

The student will take part in the development of an analysis using data collected by CMS during Run 3 of the LHC, aiming at constraining the Higgs boson self coupling through the study of HH production, with one H decaying into a pair of b-quarks, and the other one into a pair of tau leptons. They will study the impact on the analysis sensitivity of new trigger algorithms implemented online in 2022 and 2023, as well as the optimisation of the analysis selection and event categorisation accordingly.

Keywords

CMS, Higgs boson, LHC

Skills

Trigger algorithm characterisation, evaluation of efficiencies, purities, acceptances Estimation of signal sensitivity, statistical analysis

Softwares

Python, C/C++, ROOT



Caractérisation d'un capteur pixélisé en silicium pour la Physique des Particules.

Spécialité Électronique embarquée

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DEDIP/STREAM](#)

Candidature avant le 31/07/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [GUILLOUX](#)

+33 1 69 08 31 47

fabrice.guilloux@cea.fr

Résumé

Les capteurs monolithiques pixélisés (appelés MAPS, Monolithic Active Pixel Sensors) ont été inventés au début des années 1990 et leur grand potentiel en tant que dispositifs d'imagerie a été immédiatement exploité dans un grand nombre d'applications. Depuis le début de ce siècle, les MAPS ont également été proposés et mis en œuvre comme trajectographes de haute résolution spatiale pour les expériences de physique des particules.

Le(a) stagiaire participera à la mise en place d'un banc de test qu'il/elle utilisera pour une caractérisation étendue d'un prototype MAPS pour la physique des particules. En particulier, il/elle étudiera l'architecture du MAPS, le taux de données produites, ainsi que sa consommation en fonction des différents paramètres de fonctionnement. Cette étude lui permettra, le cas échéant, de mettre en évidence les limites de ce prototype et de proposer et d'initier des développements du design permettant de les dépasser.

Sujet détaillé

Grâce à la grande expérience acquise ces 15 dernières années, l'IRFU participe actuellement à une collaboration internationale qui travaille au développement d'un capteur MAPS, appelé MALTA. Ce capteur a été conçu pour fournir des très bonnes performances de trajectographie (résolution spatiale, efficacité) dans des conditions de densité de particules très élevées (haute tenue aux radiations et faible consommation). Cependant, la résolution temporelle du capteur, qui présente un intérêt croissant dans les développements des trajectographes en physique des particules, a été peu étudiée et dans des conditions très limitées.

Encadré/e par les concepteurs du MAPS, le/la candidat/e recherché/e doit être capable de mettre en œuvre un banc de test électronique, effectuer les mesures attendues et interpréter les résultats afin de proposer des pistes d'amélioration possible au système MAPS.

Ce stage pourra se prolonger - si le/la candidat/e le souhaite - par une thèse sur les nouvelles architectures de MAPS.

Le profil recherché doit donc posséder de solides connaissances en électronique et une envie de découvrir le domaine

de la recherche scientifique. Des connaissances en microélectronique seraient un plus.

[1] https://www.theses-postdocs.cea.fr/offre-de-emploi/emploi-conception-d-un-detecteur-pixelise-monolithique-a-debit-adaptatif-pour-la-physique-des-particules_29415.aspx

Mots clés

Compétences

FPGA, HDL, Cadence

Logiciels

VHDL, Python, C++

Summary

Full description

Keywords

Skills

Softwares

VHDL, Python, C++



Recherche de populations de sources non résolues au centre Galactique avec les réseaux de télescopes à effet Tcherenkov atmosphérique

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 20/05/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MOULIN Emmanuel](#)
+33 1 69 08 29 60
emmanuel.moulin@cea.fr

Résumé

La région centrale de la Voie lactée pourrait abriter une population de sources non résolues responsables d'émissions diffuses en rayons gamma de haute énergie. Les observations avec les télescopes Tcherenkov au sol sont uniques pour leur détection et interprétation.

Sujet détaillé

Les télescopes atmosphériques Cherenkov au sol actuels sont capables d'étudier de vastes régions du ciel avec une sensibilité élevée. Le réseau H.E.S.S. a réalisé le premier balayage de la région du Centre Galactique (CG) en rayons gamma de très haute énergie, offrant une vue sans précédent à ces énergies et le futur réseau CTA vise à fournir une étude plus approfondie dans les cinq degrés centraux avec une amélioration d'un ordre de grandeur en sensibilité. L'excès diffus mesuré par Fermi-LAT connu sous le nom d'« excès du centre galactique » a été expliqué par les annihilations de WIMP dans le halo galactique de matière noire. Cependant, toute contribution diffuse est sous-dominante et une population de sources discrètes inférieure au seuil de détection est requise. Parmi les candidats postulés figurent une population de pulsars millisecondes (MSP) et de trous noirs de masse intermédiaire (IMBH) accrétant de la matière noire. Aucune d'entre elles n'est fermement détectée en tant que source ponctuelle, mais elles laisseraient des empreintes distinctes dans les fluctuations spatiales du bruit de fond. Nous visons à mettre en œuvre pour la première fois une méthode d'analyse pour caractériser les fluctuations spatiales du bruit de fond avec les observations de H.E.S.S. au centre Galactique et rechercher les caractéristiques spatiales attendues de populations sources non résolues au centre de la Voie lactée. Un tel cadre d'analyse préparera les futures observations avec CTA de la région du GC en rayons gamma de très haute énergie. Les objectifs du stage sont les suivants : i) Construire les patrons spatiaux et spectraux en rayons gamma VHE attendus pour les populations de sources non résolues dans la région GC ; ii) Développement du cadre d'analyse des données de haut niveau et détermination des incertitudes systématiques instrumentales, d'analyses et phénoménologiques pertinentes ; iii) Recherche des populations MSP et IMBH dans les données simulées de 20 ans d'observation de H.E.S.S. de la région du GC ; iv) Etudes de sensibilité pour le futur balayage du CG du CTA.

Mots clés

Astroparticules, Centre Galactique, Pulsars, Trous noirs de masse intermédiaires, Matière noire

Compétences

modélisation phénoménologique de populations de sources, méthode statistique d'analyse de données, analyse d'un volume massif de données, développement de programmes de calculs

Logiciels

Python, GammaPy

Search for unresolved source populations in the Galactic Center with atmospheric Cherenkov telescope arrays

Summary

The central region of the Milky Way may host an unresolved population of sources that could explain high-energy gamma-ray diffuse emissions. Ground-based Cherenkov telescope observations are unique for their possible detection and interpretation.

Full description

Current ground-based atmospheric Cherenkov telescopes demonstrated to be able to survey large regions of the sky at high sensitivity. The H.E.S.S. array performed the first survey of the Galactic Center (GC) region in very-high-energy gamma rays providing an unprecedented view at these energies and the forthcoming CTA aims to provide a deeper survey in the inner several degrees with one-order-of-magnitude improved sensitivity. The diffuse excess measured by Fermi-LAT known as the “Galactic Centre Excess” has been explained by WIMP annihilations in the dark matter Galactic halo. However, any diffuse contribution is subdominant and one possibly needs a population of discrete sources below detection threshold. Among the postulated candidates are a population of millisecond pulsars (MSP) and intermediate-mass black holes (IMBH) accreting dark matter. None of them is firmly detected as point-like sources although they would leave distinguishable imprints in the spatial fluctuations of the background. We aim to implement for the first time an analysis method to characterize background fluctuations in the H.E.S.S. Inner Galaxy Survey observations and search for spatial features expected from unresolved source populations in the center of the Milky Way. Such an analysis framework will prepare the upcoming CTA observations of the challenging GC region in very-high-energy gamma rays.

The goals of the internship are the following: i) Building the spatial and spectral VHE gamma-ray templates for the unresolved source population in the GC region; ii) Development of the high-level data analysis framework and determination of the relevant instrumental, analysis, phenomenological systematic uncertainties; iii) Search for MSP and IMBH populations in mock data of 20-year H.E.S.S. GC region dataset; iv) Sensitivity reach for the GC survey of the future CTA.

Keywords

Astroparticle Physics, Galactic Centre, pulsars, intermediate'-mass black holes, dark matter

Skills

Phenomenological models of source populations, statistical data analysis method, massive dataset analysis, development of software computational tools

Softwares

Python, GammaPy



Caractérisation des détecteurs de neutrons Micromegas : lecture de charges électriques et de signaux lumineux

Spécialité PHYSIQUE

Niveau d'étude Bac+4

Formation Master 1

Unité d'accueil [DEDIP/LASYD](#)

Candidature avant le 21/05/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [SEGUI-IGLESIA Laura](#)
+33 1 69 08 80 07
laura.segui@cea.fr

Résumé

L'objectif de ce stage est l'étude de la détection des neutrons à l'aide d'un détecteur Micromegas. Différentes mesures expérimentales déjà réalisées, ou à réaliser durant le stage, permettront d'étudier les performances du détecteur dans différentes conditions de faisceau de neutrons. En outre, des études typiques de caractérisation des détecteurs sont prévues en laboratoire pour les gaz utilisés.

Sujet détaillé

Dans le cadre de la source européenne de spallation (ESS), l'IRFU (Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers) développe de nouveaux détecteurs de diagnostic de faisceau basés sur la technologie Micromegas. Cette technologie utilise l'amplification de signaux électrique dans un détecteur gazeux à fort champ électrique. Dans le cadre d'ESS, ces détecteurs, appelés nBLM (neutron Beam Loss Monitor), ont été développés pour la partie à faible énergie du faisceau des accélérateurs linéaires, où sont principalement émis des neutrons et des gammas. Les détecteurs ont été conçus pour détecter les neutrons rapides tout en ayant une forte réjection des gammas afin d'éliminer le bruit de fond provenant des seules cavités RF. En outre, d'autres nouvelles approches, par détection d'un signal lumineux au lieu de la charge seule, sont en cours de développement dans le groupe, ce qui ouvre la porte à des applications dans l'industrie nucléaire ou dans le domaine d'imagerie médical grâce à une lecture simplifiée.

Différentes mesures de neutrons dans différentes installations ont été ou seront effectuées pendant le stage. L'exploitation des données permettra d'étudier les performances des détecteurs et de caractériser le flux de neutrons de l'installation. L'étude de la transparence et du gain pour différents gaz sera également réalisée en laboratoire.

Le stagiaire sera impliqué dans l'analyse des données, en utilisant un code C++ avec ROOT. Le code existe mais des modifications seront nécessaires afin d'étudier les différentes variables et de leur appliquer des coupures de sélection pour exploiter pleinement les mesures. Le stagiaire participera également à l'installation du système de détection dans le laboratoire pour étudier la transparence et le gain de différents gaz, en s'impliquant particulièrement dans l'étalonnage de l'électronique, la prise de données et leurs analyses.

Les résultats obtenus conduiront le stagiaire à évaluer les performances du détecteur, avec des implications possibles dans les conceptions futures. De plus, la caractérisation du flux de neutrons de l'installation pourra être également

évaluée.

Mots clés

Détecteurs gazeux ; Neutrons ; Micromegas ; Instrumentation ; radioactivité ; imagerie optique

Compétences

Mesures physique et et analyse de données De bonnes connaissances en programmation sont souhaitées. Capacité de rédaction de rapports/présentation techniques indispensable.

Logiciels

C/C++, ROOT, Python, PowerPoint, Word, Excel.

Characterisation of Micromegas neutron detectors: charge and light readout

Summary

The objective of this internship is the study of neutron detection using a Micromegas detector. Different experimental measurements already performed, or to be performed during the internship, will allow studying the performance of the detector under different neutron beam conditions. In addition, typical detector characterization studies are foreseen in the laboratory for the gases used.

Full description

In the context of the European Spallation source, IRFU institute develops new beam diagnostic detectors based on the Micromegas technology. These detectors, named nBLM, have been developed for the low energy part of linear accelerators, where mainly neutrons and gammas are emitted. The detectors have been designed to detect fast neutrons while having a strong gamma rejection, a natural background coming from the RF cavities at these energies. In addition, other new approaches, with the detection of light instead of only charge are being developed in the group, opening the door to applications in nuclear industry or imaging applications, as the readout will be simpler.

Different neutron measurements in different facilities have been or will be carried out during the internship. The exploit of the data will allow the study of the detectors performances and the characterization of the installation neutron flux. In addition, the study of the transparency and gain for different gases will be study in the laboratory.

The intern will be involved in the analysis of the data, using a C++ code with ROOT. The code have been already developed but modifications are expected in order to study different variables and to apply selection cuts to fully exploit the measurements. The intern will also participate in the laboratory set-up to study the transparency and the gain, participating in the electronics calibration, data taking and further analysis.

The results obtained will lead the intern to assess the performance of the detector, with possible implications in further designs. Moreover, the characterization of the neutron flux in the installation will also be obtained.

Keywords

Gaseous detectors; Neutrons; Micromegas; Instrumentation; Radioactivity; Optical Imaging

Skills

Physics measurements and data analysis Programming skills are recommended. Ability to write technical reports/presentations is essential.

Softwares

C/C++, ROOT, Python, PowerPoint, Word, Excel.



Simulation de la ligne positrons de Gbar pour la production d'antimatière

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 27/05/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [TUCHMING Boris](#)

+33 1 69 08 97 78

boris.tuchming@cea.fr

Résumé

Le stage consiste à simuler plusieurs éléments de la ligne positron de l'expérience Gbar: D'une part le piège de Penning à haut champs (HFT) et l'éjection des positrons. D'autre part l'accélération et la focalisation des positrons sur une cible de silice nanoporeuse pour produire du positronium. L'objectif étant d'optimiser le taux de transfert des positrons vers la cible.

Sujet détaillé

L'expérience Gbar a pour but d'étudier la gravitation sur de l'antihydrogène. La production d'antihydrogène se base d'une part sur un faisceau d'antiprotons produits par l'AD (Accelerator Division) et le décélérateur Elena au CERN, et d'autre part un faisceau de positrons produits par un Linac. Les positrons sont d'abord refroidis dans un piège électromagnétique à gaz (Buffer Gas Trap, BGT) puis accumulés et densifiés dans un piège électromagnétique à haut champ (HFT) avant d'être accélérés à 4 keV et focalisés sur une cible de silice nanoporeuse. Des simulations sont nécessaires pour déterminer comprendre et optimiser les conditions d'éjections du plasma, ainsi que son comportement dans le système d'électrodes accélératrices et focalisantes. Le travail consistera à modéliser l'éjection, l'accélération et la focalisation des particules, en comparant les résultats à des mesures effectuées dans Gbar. Plusieurs pistes pourront être étudiées pour améliorer l'efficacité du transfert: par exemple pré-acceler les positrons à quelques keV dès le HFT, utiliser un train d'électrodes accélératrices pour rendre plus continue l'accélération, modifier la géométrie des lentilles de focalisation.

Mots clés

antimatière, Gbar, Gravitation, Physiques des milieux ionisés et des plasmas

Compétences

Simulation, analyse de données

Logiciels

c++, python, Simion, shell scripts

Simulation of the positron line at Gbar for antimatter production

Summary

The internship consists in the simulation of several key elements of the positron line of the Gbar experiment: On one hand, the high-field Penning trap (HFT) and the ejection of positrons. On the other hand, the acceleration and focusing of positrons onto a nanoporous silica target to produce positronium. The goal is to optimize the transfer rate of positrons to the target.

Full description

The goal of the Gbar experiment is to study the gravity on antihydrogen. The production of antihydrogen is based on a beam of antiprotons produced by the Accelerator Division (AD) and the decelerator Elena at CERN, and secondly, a beam of positrons produced by a Linac. The positrons are initially cooled in a gas-filled electromagnetic trap (Buffer Gas Trap, BGT), then accumulated at high density in a high-field electromagnetic trap (HFT) before being accelerated to 4 keV and focused onto a nanoporous silica target. Simulations are required to understand and optimize the plasma ejections, as well as its behavior within the accelerating and focusing electrode system. The work will involve modeling the ejection, acceleration, and focusing of particles, comparing the results with measurements taken in Gbar. Several ideas could be explored to enhance transfer efficiency, for example pre-accelerating the positrons to a few keV right from the HFT, using a series of accelerating electrodes to make acceleration more continuous, or modifying the geometry of the focusing lenses

Keywords

antimatter, Gbar, Gravitation, Plasma physics

Skills

Simulation, data analysis

Softwares

c++, python, Simion, shell scripts



Détecter les premiers amas de galaxies de l'Univers dans les cartes du fond diffus cosmologique

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 31/03/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MELIN Jean-baptiste](#)

+33 1 69 08 73 80

jean-baptiste.melin@cea.fr

Résumé

L'objectif de ce stage M2 est de commencer à préparer l'analyse de données pour la détection des premiers amas de galaxies dans l'Univers attendue avec les expériences Simons Observatory (à partir de 2024) et CMB-S4 (à partir de 2032).

Sujet détaillé

Les amas de galaxies, situés aux nœuds de la toile cosmique, sont les plus grandes structures de l'Univers liées par la gravitation. Leur nombre et leur distribution spatiale sont très sensibles aux paramètres cosmologiques, comme la densité de matière dans l'Univers. Les amas constituent ainsi une sonde cosmologique performante. Elle a fait ses preuves ces dernières années (sondages Planck, South Pole Telescope, XXL, etc.) et promet de grandes avancées les prochaines années (sondages Euclid, Observatoire Vera Rubin, Simons Observatory, CMB-S4, etc.).

Le pouvoir cosmologique des amas de galaxies s'accroît avec la taille de l'intervalle de décalage vers le rouge (redshift) couvert par le catalogue. Planck a détecté les amas les plus massifs de l'Univers entre $z=0$ et $z=1$ alors que SPT et ACT, plus sensibles mais couvrant moins de ciel, ont déjà détecté des dizaines d'amas entre $z=1$ et $z=1.5$ et quelques amas entre $z=1.5$ et $z=2$. La prochaine génération d'instruments (Simons Observatory à partir de 2024 et CMB-S4 à partir de 2032) permettra de détecter de façon routinière les amas entre $z=1$ et $z=2$ et observera les premiers amas formés dans l'Univers entre $z=2$ et $z=3$.

Seules les expériences étudiant le fond diffus cosmologique pourront observer le gaz chaud dans ces premiers amas entre $z=2$ et $z=3$, grâce à l'effet SZ, du nom de ses deux découvreurs Sunyaev et Zel'dovich. Cet effet, dû aux électrons de grande énergie du gaz des amas, provoque une petite perturbation du spectre en fréquence du fond diffus cosmologique, ce qui le rend détectable. Mais le gaz n'est pas la seule composante émettrice dans les amas : des galaxies à l'intérieur des amas émettent aussi en radio ou en infrarouge ce qui contamine le signal SZ. Cette contamination est faible à redshift z plus petit que 1 mais augmente drastiquement avec le redshift. On s'attend à ce que ces émissions radio et infrarouge soient du même ordre de grandeur que le signal SZ dans l'intervalle de redshift compris entre $z=2$ et $z=3$.

Il faut donc essayer de comprendre et modéliser l'émission du gaz des amas en fonction du redshift, mais aussi celle des galaxies radio et infrarouge qu'ils contiennent pour pouvoir préparer la détection des premiers amas de galaxies de l'Univers.

L'Irfu/DPhP a développé les premiers outils de détection d'amas de galaxies dans les données du fond diffus cosmologique dans les années 2000. Ces outils ont été utilisés avec succès sur les données Planck et sur les données sol, comme celles de l'expérience SPT. Ils sont efficaces pour détecter les amas de galaxies dont l'émission est dominée par le gaz mais leur performance est inconnue dans le cas où l'émission par les galaxies radios et infrarouges est importante.

L'objectif du stage est de commencer à étudier et modéliser les émissions radio et infrarouge des galaxies des amas détectés dans les données du fond diffus cosmologique (Planck, SPT et ACT) en fonction du redshift. Cette modélisation sera cruciale pour caractériser l'impact de ces émissions sur les outils de détection d'amas existants et préparer la future génération d'outils de détection.

Ce stage de M2 est prévu pour déboucher sur une thèse
https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?site=adumR&matricule_prop=51992

Mots clés

Cosmologie, amas de galaxies

Compétences

Analyses statistiques sur les amas de galaxies détectées par les expériences Planck, SPT et ACT

Logiciels

Detecting the first clusters of galaxies in the Universe in the maps of the cosmic microwave background

Summary

The aim of this internship is to start preparing the data analysis for the detection of the first clusters of galaxies in the Universe, which will happen with the experiments Simons Observatory (starting 2024) and CMB-S4 (starting 2032).

Full description

Galaxy clusters, located at the node of the cosmic web, are the largest gravitationally bound structures in the Universe. Their abundance and spatial distribution are very sensitive to cosmological parameters, such as the matter density in the Universe. Galaxy clusters thus constitute a powerful cosmological probe. They have proven to be an efficient probe in the last years (Planck, South Pole Telescope, XXL, etc.) and they are expected to make great progress in the coming years (Euclid, Vera Rubin Observatory, Simons Observatory, CMB-S4, etc.).

The cosmological power of galaxy clusters increases with the size of the redshift range covered by the catalogue. The Planck experiment detected the most massive clusters in the Universe between redshift $z=0$ and $z=1$. SPT and ACT experiments are more sensitive but covered less sky: they detected tens of clusters between $z=1$ and $z=1.5$, and a few clusters between $z=1.5$ and $z=2$. The next generation of instruments (Simons Observatory starting in 2024 and CMB-S4 starting in 2032) will routinely detect clusters between $z=1$ and $z=2$ and will observe the first clusters formed in the Universe between $z=2$ and $z=3$.

Only the experiments studying the cosmic microwave background will be able to observe the hot gas in these first clusters between $z=2$ and $z=3$, thanks to the SZ effect, named after its discoverers Sunyaev and Zel'dovich. This effect is due to high energetic electrons of the gas, which distorts the frequency spectrum of the cosmic microwave background, and is detectable in current experiments. But the gas is not the only component emitting in galaxy clusters: galaxies inside the clusters can also emit in radio or in infrared, contaminating the SZ signal. This contamination is weak at redshift below $z=1$ but increases drastically with redshift. One expects that the emission from radio and infrared galaxies in clusters are of the same order of magnitude as the SZ signal between $z=2$ and $z=3$.

One thus needs to understand and model the emission of the gas as a function of redshift, but also the emission of radio and infrared galaxies inside the clusters to be ready to detect the first clusters in the Universe.

Irfu/DPhP developed the first tools for detecting clusters of galaxies in cosmic microwave background data in the 2000s. These tools have been used successfully on Planck data and on ground-based data, such as the data from the SPT experiment. They are efficient at detecting clusters of galaxies whose emission is dominated by the gas, but their performance is unknown when the emission from radio and infrared galaxies is significant.

The goal of this M2 internship is to start to study and model radio and infrared emission of galaxies in clusters detected in the cosmic microwave background data (Planck, SPT and ACT), as a function of redshift. This modeling will be crucial to characterize the impact of this emission on the current cluster extraction tools, and to prepare the future generation of extraction tools.

This M2 internship is expected to continue with a thesis https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?site=adumR&matricule_prop=51992

Keywords

Cosmology, clusters of galaxies

Skills

Statistical analyses using clusters of galaxies detected by the Planck, SPT and ACT experiments

Softwares