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

Saclay

DPhP

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

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

Saclay

DPhP

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

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

Saclay

DPhP

Etude de la production de paires de bosons de Higgs dans le cannal bbtautau

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 bbtautau. 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± et Z0, 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 édite. 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 apparait 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->bbtautau 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 évènements 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 évènements, pour maximiser les gains en sensibilité attendus.

Mots clés

CMS, boson de Higgs, LHC

Compétences

Caractérisation d'algorithmes de déclenchement, evaluation 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 bbtautau channel

Summary

The CMS group of CEA Paris-Saclay is looking for motivated candidates to work on Higgs boson pair production in the bbtautau 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 the 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 constrains 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->bbtautau 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



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

Saclay

DPhP

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 region centrale de la Voie lactée pourrait abriter une population de sources non résolues responsables d'emissions diffuses en rayons gamma de haute énergies. Les observations avec les telescopes Tcherenkov au sol sont uniques pour leur detection 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

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

Saclay

DPhP

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-accélérer 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

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

Saclay

DPhP

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

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

Saclay

DPhP

Recherche de production de boson de Higgs associée à un quark top unique et étude des propriétés CP du couplage top-Higgs dans le canal diphoton avec l'expérience CMS au LHC

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil DPhP

Candidature avant le 30/06/2024

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact MALCLES Julie
+33 1 69 08 86 83
julie.malcles@cea.fr

Autre lien
https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?print=oui&matricule_prop=52060

Résumé

Ce stage préparatoire à une thèse vise à étudier deux axes possibles d'amélioration des méthodes d'analyse des données utilisées sur le Run2 en vue d'une publication sur les données du Run3 pour la recherche des productions ttH et tH du boson de Higgs et la mesure des propriétés CP du couplage H-tt.

Sujet détaillé

Il y a 10 ans, les collaborations ATLAS et CMS au LHC au CERN découvraient le boson de Higgs, avec 10 fb-1 de collisions proton-proton à une énergie dans le centre de masse de 7 à 8 TeV. Depuis, les propriétés de cette particule ont été testées par les deux expériences et sont compatibles, dans les incertitudes, avec les propriétés prédites par le Modèle Standard de la physique des particules. Le Modèle Standard (MS) présente néanmoins un certain nombre de limitations, comme l'absence d'explication pour la matière noire par exemple, nous poussant à le considérer comme un modèle effectif à basse énergie, et à chercher à mettre en évidence ses limites. En l'absence de preuve directe de « Nouvelle Physique », accroître la précision des mesures des propriétés du boson de Higgs (son spin, sa parité, et ses couplages aux autres particules) reste un des chemins les plus prometteurs.
La mesure de la production associée à une paire de quark top-antitop (ttH) donne un accès direct au couplage de Yukawa du quark top, paramètre fondamental du MS. La production ttH est un processus rare, deux ordres de grandeur plus rare que la production dominante au LHC par fusion de gluons. Ce mode de production a été observé pour la première fois en 2018, séparément par les expériences ATLAS et CMS, et en combinant statistiquement les résultats de recherches dans plusieurs canaux de désintégration. Plus récemment, avec le dataset complet du Run 2 (données prises entre 2016 et 2018 avec un total de 138 fb-1 à 13 TeV), ce mode de production a été observé aussi en utilisant seulement le canal de désintégration en deux photons, et une première mesure de ces propriétés CP a été publiée par les deux expériences avec une exclusion de l'hypothèse couplage CP-impair pur à 3 sigmas. La

production associé à un quark top unique est de l'ordre de 5 fois plus faible et n'a encore jamais été observée expérimentalement. Grâce aux recherches dans les canaux en deux photons et en leptons multiples, des contraintes très lâches ont été cependant esquissées pour la première fois récemment. Ce mode de production est très sensible aux propriétés CP du couplage H-tt, puisqu'en cas de couplage impair, sa production est augmentée de manière importante. Nous proposons dans la thèse suivant ce stage d'étudier conjointement les deux modes de production (ttH et tH), ainsi que les propriétés CP du couplage H-tt avec les données du Run 3 (données enregistrées en ce moment et jusqu'à 2026, avec potentiellement 250 fb-1 à 13.6 TeV à la fin du Run) dans le canal diphoton. Bien que de premières mesures de la violation de CP dans le secteur du Higgs existent, exclure de petites contributions CP-impaires demandera plus de données et la poursuite de ces études avec le Run 3 pourrait mettre en évidence des déviations du SM. Nous nous proposons dans cette analyse de données d'apporter de nombreuses améliorations à la stratégie générale de l'analyse afin de tirer le meilleur parti de l'échantillon de données dont nous disposerons. Lors du stage, les données du Run2 seront utilisées pour explorer deux axes possibles d'amélioration de la sensibilité: l'amélioration de la discrimination entre les hypothèses CP pair et CP impair et l'amélioration de la réjection du bruit de fond, grâce à des techniques d'apprentissage automatique profond.

Mots clés

LHC, CMS, Higgs boson

Compétences

Logiciels

Search for Higgs boson production with a single top and study of the CP properties of the top-Higgs coupling in the diphoton channel with the CMS experiment at the LHC

Summary

This M2 internship, followed by a PhD thesis, aims at studying two possible paths to improve the sensitivity of the analysis published on Run 2 data for the publication of results on Run3 data, regarding the constraints on ttH and tH production and on the CP properties of the H-tt coupling.

Full description

Ten years ago, the ATLAS and CMS experiments at LHC at CERN discovered a new boson, with a dataset of proton-proton collisions of about 10 fb-1 at the centre of mass energy of 7 to 8 TeV. Since then, the properties of this particle have been tested by both experiments and are compatible with the Higgs boson properties predicted by the Standard Model of particle physics (SM) within the uncertainties. In absence of direct probes of New Physics, increasing the accuracy of the measurements of the properties of the Higgs boson (its spin, its parity and its couplings to other particles) remains one of the most promising path to pursue.
The measurement of the ttH production allows the direct access to the top quark Yukawa coupling, fundamental parameter of the SM. ttH production is a rare process, two orders of magnitude smaller than the dominant Higgs boson production by gluon fusion. This production mode has been observed for the first time in 2018 separately by the CMS and ATLAS experiments, by combining several decay channels. More recently, with the full Run 2 dataset (data recorded between 2016 and 2018, with a total of 138 fb-1 at 13 TeV), this production mode was observed also using solely the diphoton decay channel, and a first measurement of its CP properties was provided again by both experiments, with the exclusion of a pure CP odd state at 3s. The associated production with a single top quark is about 5 times smaller than the ttH production and has never been observed. Thanks to the searches in the diphoton and multilepton channel, very loose constraints on this production modes were set for the first time recently. This production mode is very sensitive to the H-tt coupling CP properties, since in case of CP-odd coupling, its production rate is largely increased. We propose in the thesis following this internship to study jointly the two production modes (ttH and tH) and the H-tt coupling CP properties with Run 3 data (data being recorded now and until 2026, with potentially about 250 fb-1 at 13.6 TeV) in the diphoton decay channel. If there was some CP violation in the Higgs sector, excluding small pseudo-scalar contributions will require more data. Pursuing these studies with Run 3 and beyond may allow to pinpoint small deviations not yet at reach. We propose to bring several improvements to the Run 2 analysis strategy and to use novel reconstruction and analysis techniques based on deep-learning in order to make the most of the available dataset. During the internship, the Run2 data will be used to assess two possible paths to improve the sensitivity of the analysis using machine learning techniques.

Keywords

Skills

Softwares



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

Saclay

DPhP

Développement d'un radiomètre pour la détection de matière noire sous forme d'axions

Spécialité Mesures physiques

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil DPhP

Candidature avant le 29/05/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact BRUN Pierre
+33 1 69 08 42 64
pierre.brun@cea.fr

Résumé

Le travail consistera à prendre en main et à optimiser le système de détection d'ondes radio, et à estimer précisément la sensibilité de l'expérience à un signal potentiel d'axions.

Sujet détaillé

Une expérience de détection de matière noire sous forme d'axions est en cours de construction sur le site du CEA Saclay. Dans l'hypothèse où la matière noire est constituée d'axions, des champs magnétiques intenses permettront potentiellement de les convertir en signaux électromagnétiques. Le stage porte sur la détection de ces signaux, à l'aide d'un radiomètre fonctionnant entre 10 GHz et 30 GHz. Il est constitué d'une antenne cornet et d'une chaine d'amplification et de traitement du signal. Le travail de stage consiste en l'optimisation de ce radiomètre, et il débouchera sur une estimation précise de la sensibilité de l'expérience dans son ensemble. Pour cela des mesures seront faites sur des bancs de tests cryogéniques dédiés, et le code d'analyse de données devra être pris en main et optimisé.

Mots clés

Physique des particules, instrumentation, détection radio, cosmologie

Compétences

Techniques de détection RF, bancs de tests électroniques, méthodes statistiques d'analyse de données

Logiciels

Codes python.

Development of a radiometer for axion dark matter detection

Summary

The proposed work is to handle and optimize the radio detection system. This will allow estimating precisely the sensitivity of the experiment to axion signals.

Full description

A dark matter detection experiment is currently being built on the CEA Saclay site. If dark matter is made of axions, intense magnetic fields could convert them into electromagnetic signals. The internship aims at optimizing the radiometer between 10 GHz and 30 GHz. It consists of a horn antenna, an amplification chain and signal processing units. The work will lead to a precise estimate of the sensitivity of the whole expériment. To do so, measurements will be performed with dedicated cryogenic test benches and the data analysis code will be used and optimized.

Keywords

Particle physics, instrumentation, radio detection, cosmology

Skills

RF detection techniques, electronics test benches, statistical data analysis methods

Softwares

Codes python.

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

Saclay

DPhP

Exploration de méthode de machine learning pour la reconstruction d'événements en provenance de télescope Cherenkov avec CTA/LST-1

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil DPhP

Candidature avant le 31/03/2024

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact de BONY de LAVERGNE Mathieu
+33 1 69 083020
mathieu.debonydelavergne@cea.fr

Résumé

Le stage consiste en l'exploration de l'utilisation de différents algorithmes de machine learning, notamment les réseaux de neurones, dans la reconstruction d'événements avec CTA. Le projet vise à améliorer les performances de méthodes de reconstruction actuelles. Des connaissances en Python sont requises et en machine learning souhaitées.

Sujet détaillé

Les Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes (IACT) observent l'émission de rayons gamma de très haute énergie (VHE) provenant de sources astrophysiques. Pour accomplir cette tâche, le télescope détecte la lumière Cherenkov émise par les gerbes atmosphériques créées par les rayons gamma entrant dans l'atmosphère. Le LST-1 est un télescope prototype pour le Large Size Telescope (LST) de Cherenkov Telescope Array (CTA), la prochaine génération d'instruments qui étendra la gamme d'énergie et améliorera la sensibilité jusqu'à un ordre de grandeur par rapport aux expériences actuelles.

Un des défis de la technique d'observation IACT est de pouvoir, à partir de l'image prise par le télescope, déterminer la direction, l'énergie mais aussi le type de particules qui a créé la gerbe atmosphérique. Cette étape d'analyse est appelée reconstruction et est cruciale pour la performance de l'instrument. Une technique habituelle pour effectuer cela est d'utiliser la méthode dite de Hillas. Elle consiste à extraire des paramètres de l'image. Ces paramètres sont ensuite fournis à un algorithme de random forest afin de déterminer les paramètres de la particule qui a créé la gerbe.

La méthode Hillas associée aux random forest a démontré sa robustesse au fil du temps et est actuellement utilisée par plusieurs expériences comme MAGIC, VERITAS, et CTA. Mais l'utilisation des random forest a aussi quelques inconvénients, comme le surajustement, leur taille, etc. L'objectif de ce stage sera d'explorer d'autres algorithmes de machine learning comme les réseaux de neurones pour remplacer les randoms forest dans l'étape de reconstruction de l'analyse pour CTA/LST-1 et de comparer les performances physiques obtenues à la solution actuelle.

Le candidat doit être familier avec le langage Python. Quelques connaissances en data science et en machine learning seront un avantage.

Mots clés

CTA, Astronomie gamma, machine learning

Compétences

Python, Data science, Machine learning

Logiciels

Python, Pandas, Scikit-learn, Pytorch

Exploring machine learning for events reconstruction of Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope data with the CTA/LST-1

Summary

Internship to explore machine learning, specifically neural networks, for event reconstruction with the CTA's LST-1. The project aims to enhance actual reconstruction performance. Proficiency in Python is required and in machine learning is desirable.

Full description

Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes (IACT) observe Very High Energy gamma-ray (VHE) emission from astrophysical sources. To be able to perform this task, the telescope detects the Cherenkov light emitted by the atmospheric showers created by the gamma-rays entering the atmosphere. LST-1 is a prototype telescope for the Large Size Telescope of Cherenkov Telescope Array, the next generation instrument of IACTs that will extend the energy range and improve the sensitivity up to one order of magnitude compared to current experiments.

One of the challenges of the IACT observation technique is to be able, from the image taken by the telescope, to determine the direction, the energy but also the type of particles that has created the atmospheric shower. This analysis step is called reconstruction and is crucial for the performance of the instrument. A usual technique to perform this is to use the so-called Hillas method. It consists in the extraction of parameters from the image. These parameters are then provided to a random forest algorithm in order to determine the parameters of the particle that has created the shower.

The Hillas method associated with random forests has shown its robustness across time and is currently used by several experiments like MAGIC, VERITAS, and CTA. But the use of random forests has also some drawbacks, like overfitting, their size, … The objective of this internship will be to explore other machine learning algorithms like neural networks to replace the random forests in the reconstruction step of the analysis for CTA/LST-1 and compare the obtained physical performance to the current solution.

The candidate is expected to be familiar with the python language. Some knowledge about data science and machine learning will be an advantage.

Keywords

CTA, Gamma-ray Astronomy, machine learning

Skills

Python, Data science, Machine learning

Softwares

Python, Pandas, Scikit-learn, Pytorch