



Recherche d'émissions diffuses au Centre Galactique avec H.E.S.S.

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+4

Formation Ingénieur/Master

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 30-06-2019

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [MOULIN Emmanuel](#)

+33 1 69 08 29 60

emmanuel.moulin@cea.fr

Autre lien <https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>

Résumé

La région centrale de la Voie Lactée est le site de phénomènes parmi les plus violents dans l'univers qui peuvent être étudiés par les réseaux de télescopes Cherenkov au sol. La collaboration H.E.S.S. mène une campagne d'observation dans la région du Centre Galactique en tant que programme scientifique prioritaire pour étudier l'accélération de rayons cosmiques dans le voisinage du trou noir super massif le plus proche, et pour rechercher des signaux d'annihilations de particules de matière noire dans l'une des régions les plus prometteuses du ciel.

Sujet détaillé

L'observatoire H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) situé en Namibie est composé de quatre télescopes imageurs à effet Cherenkov atmosphérique de 12 m de diamètre, et d'un de 28 m de diamètre au centre du réseau. Le réseau H.E.S.S. est conçu pour détecter des rayons gamma dans la plage en énergie de quelques dizaines de GeV à plusieurs dizaines de TeV dans le but d'étudier les phénomènes les plus violents à l'œuvre dans l'Univers. La sensibilité en flux gamma atteinte par H.E.S.S. correspond à quelques millièmes du flux de la source gamma stable la plus brillante. Des observations massives de régions clés du ciel comme le balayage de la région centrale de la Galaxie (IGS) sont menées en tant que programmes d'observations scientifiques prioritaires. L'observatoire H.E.S.S. est piloté par une collaboration internationale d'environ 230 scientifiques de 39 instituts scientifiques dans 13 pays.

Les observations de H.E.S.S dans la région centrale de la Voie Lactée ont révélé une grande variété d'émetteurs en rayons gamma comme le trou super massif le plus proche Sagittarius A*, des nuages moléculaires, des vestiges du supernovæ et la base d'éjecta Galactiques. Les observations massives menées par H.E.S.S. sont un outil unique pour étudier l'accélération et la propagation de rayons cosmiques dans la région du Centre Galactique. Par ailleurs, cette région est la cible la plus prometteuse du ciel pour rechercher des signaux de matière noire. Dans cet environnement dense, des particules de matière pourraient s'annihiler encore aujourd'hui en particules du Modèle Standard avec une émission possible de rayons gamma dans l'état final. Le volume du jeu de données acquis avec les observations de la

région du Centre Galactique menées avec les quatre télescopes de 12 m de diamètre ont permis aux scientifiques de H.E.S.S. de découvrir le premier Pevatron Galactique – un accélérateur de particules jusqu'à des énergies de 1015 eV, et de poser les contraintes les plus fortes à ce jour sur la section efficace d'annihilation de particules de matière noire dans la plage en masse du TeV.

L'objectif du stage est d'analyser les données du programme d'observations IGS prise avec l'ensemble du réseau H.E.S.S. Dans un premier temps, nous développerons une méthode d'analyse de données novatrice pour rechercher de nouvelles émissions diffuses au TeV en lien avec les éjecta du Centre Galactique. La deuxième étape consistera à développer un modèle des caractéristiques spectrales et spatiales de ces émissions au TeV à partir des observations à plus basse énergie. Dans la troisième étape, nous appliquerons la méthode développée à l'ensemble du jeu de données H.E.S.S. au Centre Galactique représentant plus deux fois le volume de données précédemment analysé.

Mots clés

Physique des astroparticules, Centre Galactique, Matière Noire

Compétences

Expérience H.E.S.S., méthode statistique d'analyse de données, analyse d'un volume massif de données, développement de programmes de calculs

Logiciels

C/C++, ROOT

Search for diffuse emissions in the Galactic Centre with H.E.S.S.

Summary

The central region of the Milky Way harbors among the most violent astrophysical phenomena in the universe that can be probed with ground-based Cherenkov telescopes. The H.E.S.S. collaboration is conducting a long-term key-science observation program to survey the Galactic Centre region in order to study cosmic-ray acceleration in the neighborhood of the closest supermassive black hole, and to search for dark matter particle annihilation signals in one of the most promising regions of the sky.

Full description

The H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) observatory located in Namibia is composed of four 12m-diameter imaging atmospheric Cherenkov telescopes and one of 28m-diameter at the center of the array. The H.E.S.S. array is designed to detect gamma rays in the energy range from tens of GeV up to several tens of TeV in order to study the most violent phenomena in the universe. The gamma-ray flux sensitivity achieved by H.E.S.S. is a few thousandth of the flux of the brightest steady gamma-ray source and deep-field observations of selected key regions of the sky such as the inner Galaxy survey (IGS) are being conducted as key-science observation programs. The H.E.S.S. observatory is operated by an international collaboration of about 230 scientists from 39 scientific institutions in 13 countries.

The H.E.S.S. observations of the inner region of the Milky Way revealed a diversity of gamma-ray emitters including the closest supermassive black hole, Sagittarius A*, molecular clouds, supernova remnants and the base of Galactic outflows. The deep-field observations carried out by H.E.S.S. are a crucial tool to study acceleration and propagation of cosmic rays in the Galactic Centre region. In addition, this region is the most promising target to search for dark matter signals. In such a dense environment, dark matter particle may annihilate today into Standard Model particles including a possible emission of gamma rays in the final state. The rich observational dataset accumulated by the H.E.S.S. observations of the Galactic Center region with the four 12m-diameter telescopes led the H.E.S.S. scientists to detect the first Galactic Pevatron, a particle accelerator reaching energies of 1015 eV, and to set the strongest constraints to date on the self-annihilation of dark matter particles in the TeV mass range.

The goal of the internship is to analyze the observations from the inner Galaxy survey taken with the full H.E.S.S. instrument. In a first step, we will develop a novel data analysis method to search new diffuse emissions in the Galactic Centre region such as Galactic Center outflows. In a second step, we will build a model of the spectral and spatial features of outflows at TeV energies from lower-energy observations. In a third step, we will apply the method to the full H.E.S.S. observational dataset in the Galactic Centre region which amounts to more than doubled photon statistics compared to the previously analyzed dataset.

Keywords

Astroparticle physics, Galactic Center, Dark Matter

Skills

H.E.S.S. experiment, statistical data analysis method, analysis of large data sample, development of computational program

Softwares

C/C++, ROOT



ÉTUDE DE LA PROPULSION SPATIALE À ANTIMATIÈRE

Spécialité Physique corpusculaire des accélérateurs

Niveau d'étude Bac+3

Formation Master 1

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 26-10-2019

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [TUCHMING Boris](#)

+33 1 69 08 97 78

boris.tuchming@cea.fr

Autre lien

http://irfu.cea.fr/Phocea/file.php?class=πισp&reload=1537975059&file=boris.tuchming/files/123/antimatter_propulsion_english.pdf

Résumé

Il s'agira d'étudier avec une simulation un système de propulsion spatial basé sur l'utilisation d'antimatière. L'étude portera sur le système "beamed-core" qui repose sur une tuyère magnétique canalisant les produits d'annihilation proton-antiproton.

Sujet détaillé

Le CEA-IRFU et le CNES ont débuté une collaboration pour établir les principes de base d'un système de propulsion utilisant de l'antimatière, dans la perspective de voyages spatiaux lointains. Cette collaboration s'appuie sur l'expérience Gbar (Gravitational Behavior of Antihydrogen at Rest) qui a pour but de produire un grand nombre d'atomes d'antihydrogène, pour en mesurer l'accélération dans le champ gravitationnel terrestre et tester le principe d'équivalence d'Einstein.

Plusieurs schéma de principes ont déjà été proposé dans la littérature pour utiliser les propriétés des antiprotons ou de l'antihydrogène. D'une part la haute densité énergétique, typiquement 1000 fois plus grande que pour la fission nucléaire, en fait un réservoir énergétique indépassable. En outre, comparés à son pendant nucléaire, un système thermique à antimatière solutionne la plupart des problèmes de sûreté nucléaire associés aux combustibles et déchets radioactifs. Mais ce sont surtout ses propriétés d'annihilation avec la matière qui sont les plus prometteuses. D'une part on pourrait induire sur de très petites échelles spatiales des réactions de fission nucléaire, permettant de catalyser et contrôler des mini ou micro-réactions de fusion nucléaire. D'autre part les produits d'annihilation, par exemple ceux d'un antiproton sur de l'hydrogène, ont des vitesses relativistes. Un réacteur dit beamed-core, éjectant directement ces produits, à l'aide d'un système magnétique, permettrait à un véhicule spatiale d'atteindre des vitesses proche de la lumière, condition nécessaire pour voyager au-delà du système solaire.

Si les plus gros verrous technologiques à l'exploitation de l'antimatière sont sa production et son stockage, il est

néanmoins intéressant d'étudier en détail son exploitation dans une tuyère à antimatière.

L'étude de la propulsion spatiale abordera succinctement les deux premiers aspects, production et stockage, pour ensuite se concentrer sur la production de poussée.

L'objectif du stage est de s'appuyer sur des logiciels de simulation (Geant) afin d'étudier et d'optimiser une tuyère beamed-core. Les paramètres à examiner, sont entre autres, la géométrie de la tuyère, les champs magnétiques, ainsi que les boucliers antiradiations et les dissipateurs thermiques.

Mots clés

propulsion spatiale, antimatière, physique des particules, Geant4

Compétences

Simulation d'annihilation proton-antiproton avec Geant4

Logiciels

Geant4, C++, linux or mac, scripts (python, shell)

STUDY OF SPACE PROPULSION BASED ON ANTIMATTER

Summary

The goal is to study space propulsion based on antimatter. The study will simulate a "beamed-core" system which consists of a magnetic nozzle directing the flux of particles arising from proton-antiproton annihilations.

Full description

CEA-IRFU and CNES (French National Space Agency) have started a collaborative work to establish the ground of a space propulsion system based on antimatter. This collaboration relies on the Gbar experiment whose purpose is the production of a large number of antihydrogen atoms and the measurement of their free fall in the Earth's gravitational field.

Several schemes of space propulsion have been proposed in the literature, that exploit the properties of antiprotons or antihydrogen atoms. Firstly the high energetic density, 1000 times as high as for nuclear fission, makes antimatter an unsurpassable energetic tank. Compared to a fission reactor, an antimatter reactor would also solve most of the issues related to safety and transport of radioactive matter. Before all, the annihilation properties of antimatter are the most interesting. On one hand antimatter can be used to induce nuclear reaction on very small spatial scale, that would catalyse and control mini or micro nuclear fusion reaction. On the other hand, the product of annihilation of antiprotons onto protons have relativistic velocities. A so called « beamed-core » spaceship ejecting directly annihilation products using a magnetic nozzle could reach a fraction of the speed of light, which is necessary to be capable of traveling beyond the solar system.

The main technological lock to the use of antimatter are its production and storage. It is nevertheless interesting to study and design an antimatter nozzle.

The study of space propulsion will briefly be dedicated to the question of production and storage before focusing on the production of thrust.

The main goal of the internship is to use simulation software (Geant) to study and optimise a beamed-core nozzle. The parameters to examine will be, the overall geometry, the magnetic system, the radiation shields and the heat sinks.

Keywords

space propulsion, antimatter, physique des particules, Geant4

Skills

Geant4 simulation to study proton-antiproton annihilation

Softwares

Geant4, C++, linux or mac, scripts (python, shell)



Modélisation des spectres antineutrino de réacteur

Spécialité Physique nucléaire

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingénieur/Master

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 31-12-2019

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [VIVIER Matthieu](#)

+33 1 69 08 66 26

matthieu.vivier@cea.fr

Autre lien <http://doublechooz.in2p3.fr/>

Résumé

Les récentes mesures des flux d'antineutrinos de réacteurs publiées par les expériences dédiées à l'étude des oscillation de neutrinos sont en désaccord avec les modèles. L'objectif de ce stage est de tester l'hypothèse selon laquelle ce désaccord viendrait de la modélisation des branches beta, ingrédient nécessaire à la prédiction des flux d'antineutrino de réacteur.

Sujet détaillé

Les antineutrinos de réacteurs ont depuis leur découverte en 1956 joué un rôle prépondérant dans la compréhension des propriétés fondamentales du neutrino. Les neutrinos sont des particules élémentaires qui peuvent exister sous forme de trois saveurs, associées à l'électron, au muon et à la particule tau. Ils possèdent notamment la propriété de pouvoir changer de saveur au cours de leur propagation, phénomène confirmé en 1998 par les expériences SuperKamiokande et SNO, et connu sous le nom d'oscillation des neutrinos. Les centrales nucléaires utilisées pour la production d'électricité sont des sources intenses de neutrinos, et offrent un moyen très efficace de mesurer précisément la probabilité d'oscillation des neutrinos lorsque l'on place un ou plusieurs détecteurs à proximité. Pour les besoins de Double Chooz, expérience située dans les Ardennes sur la centrale nucléaire de Chooz, l'IRFU a procédé en 2011 à une réévaluation des spectres antineutrinos de réacteur. Les tout derniers spectres expérimentaux mesurés en 2016 par les expériences Daya Bay et Double Chooz, sont cependant en désaccord avec ces prédictions. Les antineutrinos de réacteur sont émis par désintégration beta - des produits issus de la fission du combustible nucléaire (U235, U238, Pu239, Pu241). Le spectre antineutrino émis par un coeur de réacteur résulte ainsi de la superposition de milliers de branches beta. Pour expliquer le désaccord entre théorie et expérience, la communauté scientifique s'accorde à dire que certaines hypothèses faites dans la modélisation des spectres antineutrinos réacteurs sont incorrectes, notamment au niveau de la modélisation des branches beta.

L'objectif de ce stage sera ainsi de quantifier l'impact d'une modélisation raffinée du spectre antineutrino émis par une branche beta sur les prédictions des spectres antineutrinos de réacteur. Outre les corrections usuelles à la théorie de Fermi (effet de taille fini du noyau, correction d'échange et d'écrantage, correction radiatives...) qui peuvent changer

de quelques pour-cent le spectre neutrino d'une branche beta, l'effet des transitions interdites sur le spectre antineutrino total sera étudié et quantifié. Pour réaliser cette étude, l'étudiant aura à disposition un outil de modélisation des spectres beta écrit en C++. Il évoluera dans l'équipe du projet NENUFAR (New Evaluation of Neutrino Fluxes At Reactors) qui a pour but de réviser et d'affiner la prédiction des spectres antineutrinos de réacteur.

Mots clés

Physique des particules; Physique nucléaire

Compétences

Programmation orientée objet, calcul numérique haute performance

Logiciels

C++; ROOT

Reactor antineutrino spectrum modeling

Summary

The experimental reactor neutrino fluxes, such as those measured by experiments dedicated to study neutrino flavor oscillation, recently showed disagreement with respect to the state of the art predictions. The goal of the following internship is to test whether or not such a disagreement could originate from the modeling of single beta branch neutrino spectra.

Full description

Since their discovery in 1956, reactor neutrinos played an important role in unveiling and understanding the fundamental properties of the neutrino. Neutrinos are elementary particles which come in three flavors, each associated to the electron, muon, and tau particles. When propagating, neutrinos can especially change from one flavor to another, a phenomenon known as neutrino flavor oscillation, which was experimentally confirmed in 1998 by the SuperKamiokande and SNO experiments. Nuclear power plants are copious sources of antineutrinos, and are therefore interesting to precisely measure the neutrino oscillation probability with one or several dedicated detectors placed nearby. In 2011, the reactor neutrino group at IRFU reassessed the state of the art predictions of reactor antineutrino fluxes for the Double Chooz experiment, located at the Chooz nuclear power plant in northern France. Since then, this new reactor antineutrino flux modeling has been extensively used by experiments using reactor antineutrinos, such as Double Chooz. However, the latest experimental reactor antineutrinos spectra, as for example measured by the Daya Bay and Double Chooz experiments, turned out to be surprisingly different from the current predictions.

Reactor antineutrinos originate from beta - decay of the products initiated by the fission of nuclear fuel (U235, U238, Pu239, Pu241). The resulting antineutrino spectrum is therefore a superposition of thousands of beta branches. To explain the aforementioned disagreement between theory and experimental results, the scientific community agrees on the fact that several assumptions made for predicting antineutrino reactor fluxes are incorrect, especially those made for the modeling of a single beta branch neutrino spectrum. The goal of the following internship is to quantify the impact of a refined modeling of single beta branch neutrino spectra, so as to check the beta branch modeling argument for explaining such a disagreement. Further to the usual corrections applied to the Fermi theory of beta decay (such as nucleus finite size effect, screening and exchange corrections, or radiative corrections), which can change a single branch neutrino spectrum up to a few percents, the effect of forbidden transitions on the total antineutrino spectrum will be studied and quantified in details. For this purpose, a C++-written benchmarked tool for beta spectrum modeling and computation will be used. The proposed work is part of the NENuFAR (New Evaluation of Neutrino Fluxes At Reactors) projet, which aims at revising and refining the predictions of reactor antineutrino spectra.

Keywords

Particle physics; Nuclear Physics

Skills

Object oriented programming, high performance numerical computation

Softwares

C++; ROOT



Active and Passive Background Reduction Techniques to Measure Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering at the Chooz Nuclear Power Plant

Spécialité Physique de la matière condensée

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 01-07-2019

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [WAGNER Victoria](#)

+33 1 69 08 37 48

victoria.wagner@cea.fr

Autre lien

http://irfu.cea.fr/dphp/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_groupe.php?id_groupe=3427

Résumé

A new-generation neutrino experiment exploring coherent elastic neutrino-nucleus scattering (CENNS) is being planned at the Chooz nuclear power plant. This internship concentrates on the design and testing of the active muon veto and a Monte Carlo based optimization of the passive shielding.

Sujet détaillé

Coherent elastic neutrino-nucleus scattering (CENNS) is a process in which a neutrino scatters coherently over all nucleons in a nucleus. The coherence increases the CENNS cross-section by up to two orders of magnitudes with respect to standard neutrino detection methods such as the inverse beta-decay (IBD). Thanks to the boost in the cross-section, the flavor blindness and the missing threshold, CENNS offers a unique way to study neutrino properties, and to test the Standard Model of Particle Physics (SM) as well as to search for new physics. One of the main challenges of such CENNS experiments are to reach a sub-keV energy threshold, as well as a low background count rate at such low energies. Nuclear reactors are strong (anti-) neutrino sources, however, experimental sites close to nuclear power plants are typically at a shallow overburden and the cosmic background needs to be reduced.

A new-generation neutrino experiment exploiting CENNS is being designed at the Chooz nuclear power plant in France. To study CENNS, bolometric detectors with an energy threshold below 20 eV will be installed in a new experimental site, called the Very-Near-Site (VNS), inside the inner area of the power plant. First measurements indicate that the overburden at the VNS is below 5 m.w.e., thus, requiring an effective active and passive reduction of the cosmic-ray induced background, such as neutrons and muons. Neutrons are a particularly dangerous background since they feature the same signature as CENNS events.

The CENNS target detectors will be embedded into a compact passive shielding consisting of alternating layers of lead to attenuate gamma-rays and borated polyethylen (PE) to moderate and capture neutrons. Besides a source of background due to electro-magnetic interactions, muons produce neutrons in nuclear reactions, especially in high Z material like lead. To reduce the muon-induced background an active muon-veto based on plastic scintillators will be designed. The veto-system will identify muons passing through the experimental setup, such that coincident events are identified as muon-induced and do not originate from CENNS. An efficient active and passive shielding is crucial for the success of the experiment.

The internship will allow the candidate to study and work on widely used background reduction techniques. The focus lies on the testing and characterization of the muon-veto. In a dedicated test stand at CEA-Saclay, the student will test the performance of the individual plastic scintillators as well as the photo-multiplier tubes (PMT) which are used to read out the scintillation light. The work includes the analysis and comparison of the acquired data. Furthermore, dedicated GEANT4 Monte Carlo simulations to optimize the passive shielding layer are foreseen.

The work will be performed within an international collaboration. In regular meeting the student will have the opportunity to present his work. The internship is minimum 3 months, and can be extended up to 6 month. For M2 students, there may be a possibility to propose a PhD subject after the internship. The ability to work independently and good programming skills are desired.

Mots clés

Compétences

Logiciels

C++, ROOT, GEANT4

Active and Passive Background Reduction Techniques to Measure Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering at the Chooz Nuclear Power Plant

Summary

A new-generation neutrino experiment exploring coherent elastic neutrino-nucleus scattering (CENNS) is being planned at the Chooz nuclear power plant. This internship concentrates on the design and testing of the active muon veto and a Monte Carlo based optimization of the passive shielding.

Full description

Coherent elastic neutrino-nucleus scattering (CENNS) is a process in which a neutrino scatters coherently over all nucleons in a nucleus. The coherence increases the CENNS cross-section by up to two orders of magnitudes with respect to standard neutrino detection methods such as the inverse beta-decay (IBD). Thanks to the boost in the cross-section, the flavor blindness and the missing threshold, CENNS offers a unique way to study neutrino properties, and to test the Standard Model of Particle Physics (SM) as well as to search for new physics. One of the main challenges of such CENNS experiments are to reach a sub-keV energy threshold, as well as a low background count rate at such low energies. Nuclear reactors are strong (anti-) neutrino sources, however, experimental sites close to nuclear power plants are typically at a shallow overburden and the cosmic background needs to be reduced.

A new-generation neutrino experiment exploiting CENNS is being designed at the Chooz nuclear power plant in France. To study CENNS, bolometric detectors with an energy threshold below 20 eV will be installed in a new experimental site, called the Very-Near-Site (VNS), inside the inner area of the power plant. First measurements indicate that the overburden at the VNS is below 5 m.w.e., thus, requiring an effective active and passive reduction of the cosmic-ray induced background, such as neutrons and muons. Neutrons are a particularly dangerous background since they feature the same signature as CENNS events.

The CENNS target detectors will be embedded into a compact passive shielding consisting of alternating layers of lead to attenuate gamma-rays and borated polyethylen (PE) to moderate and capture neutrons. Besides a source of background due to electro-magnetic interactions, muons produce neutrons in nuclear reactions, especially in high Z material like lead. To reduce the muon-induced background an active muon-veto based on plastic scintillators will be designed. The veto-system will identify muons passing through the experimental setup, such that coincident events are identified as muon-induced and do not originate from CENNS. An efficient active and passive shielding is crucial for the success of the experiment.

The internship will allow the candidate to study and work on widely used background reduction techniques. The focus lies on the testing and characterization of the muon-veto. In a dedicated test stand at CEA-Saclay, the student will test the performance of the individual plastic scintillators as well as the photo-multiplier tubes (PMT) which are used to read out the scintillation light. The work includes the analysis and comparison of the acquired data. Furthermore, dedicated GEANT4 Monte Carlo simulations to optimize the passive shielding layer are foreseen.

The work will be performed within an international collaboration. In regular meeting the student will have the opportunity to present his work. The internship is minimum 3 months, and can be extended up to 6 month. For M2 students, there may be a possibility to propose a PhD subject after the internship. The ability to work independently and good programming skills are desired.

Keywords

neutrino, particle physics, background rejection

Skills

testing the performance of plastic scintillators read out with a PMT, data analysis, GEANT4 Monte Carlo simulations to optimize the passive shielding

Softwares

C++, ROOT, GEANT4