



## Modélisation des spectres antineutrino de réacteur

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Ingénieur/Master

**Unité d'accueil** [IRFU/SPP](#)

**Candidature avant le** 30-06-2017

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [VIVIER Matthieu](#)

+33 1 69 08 66 26

[matthieu.vivier@cea.fr](mailto: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 avec le logiciel Matlab.

**Mots clés**

Physique des particules; Physique nucléaire

**Compétences**

Programmation orientée objet

**Logiciels**

C++; Matlab

---

## 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 Matlab-written benchmarked tool for beta spectrum modeling and computation will be used.

### Keywords

Particle physics; Nuclear Physics

### Skills

Object oriented coding

### Softwares

C++; Matlab



## Etude de la production de Quarkonia dans les collisions p-Pb à 8 TeV au LHC

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Ingénieur/Master

**Unité d'accueil** [IRFU/SPH/LQGP](#)

**Candidature avant le** 31-08-2017

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [CASTILLO-CASTELLANOS Javier-ernesto](#)

+33 1 69 08 72 55

[javier.castillo@cea.fr](mailto:javier.castillo@cea.fr)

**Autre lien**

<https://alice-collaboration.web.cern.ch/content/welcome-alice-collaboration>

### Résumé

Les quarkonia sont des sondes importantes pour l'étude du plasma de quarks et de gluons (QGP) créé lors des collisions d'ions lourds au LHC au CERN. Des effets nucléaires chauds (dus au QGP) s'y mélangent aux effets nucléaires. L'étude de la production de quarkonia avec ALICE dans les collisions proton-Plomb au LHC permettra de quantifier et caractériser ces derniers.

### Sujet détaillé

Quelques microsecondes après le Big Bang l'Univers se trouvait dans un état de plasma de quarks et de gluons (QGP). Cet état, prédit par la Chromodynamique Quantique, la théorie de l'interaction forte, est atteint pour des températures ou des densités d'énergie très élevées. Ces conditions sont réunies dans les collisions d'ions lourds ultra-relativistes au LHC au CERN.

Parmi les différentes observables du QGP, l'étude de la production d'hadrons contenant des quarks lourds (c ou b) et des quarkonia (états liés c-cbar ou b-bbar) est particulièrement pertinente pour comprendre les propriétés du QGP.

Les quarkonia sont des particules rares et très lourdes qui sont produites aux premiers instants de la collision. Ainsi elles sont créées avant même la formation du QGP et constituent des sondes idéales de celui-ci. En traversant le QGP, la paire quark/anti-quark serait écrantée par les nombreux quarks et gluons du plasma. Il s'agit du mécanisme de suppression des quarkonia par écrantage de couleur par le QGP. Les différents états des quarkonia allant des énergies de liaison différentes, la probabilité de dissociation de chaque état sera différente, on parle alors de suppression séquentielle des quarkonia. De plus, si le nombre initial de paires quark/anti-quark est élevé, et si les quarks lourds thermalisent dans le QGP, alors des nouveaux quarkonia peuvent être créés par le QGP par recombinaison de quarks lourds. C'est le mécanisme de régénération. Au LHC, les Upsilon (b-bbar) et les J/psi (c-cbar) sont complémentaires, les premiers seraient plus aptes pour étudier la suppression séquentielle, alors que les seconds permettraient d'étudier d'éventuels mécanismes de régénération. Néanmoins, des effets nucléaires froids (en opposition aux effets nucléaires chauds du QGP) peuvent aussi affecter la production des quarkonia même en l'absence du QGP. Ainsi, afin de pouvoir isoler les effets nucléaires chauds, une bonne compréhension des effets

---

nucléaires froids est donc indispensable. Ceux ci peuvent être étudiés grâce aux collisions p-Pb pour lesquelles la formation du QGP n'est pas attendue.

Nous proposons d'étudier la production des quarkonia dans les collisions p-Pb à une énergie dans le centre de masse de la collision par paire de nucléon ( $\sqrt{s_{NN}}$ ) de 8 TeV au LHC. Les Quarkonia seront mesurés via leur décroissance en deux muons, lesquels seront reconstruits avec le spectromètre à muons d'ALICE.

Le candidat étudiera le nombre de quarkonia produits par collision p-Pb. Il devra en outre s'assurer de la bonne qualité des données, optimiser la soustraction du bruit combinatoire et l'extraction du signal, ainsi que de caractériser les performances du détecteur en termes de résolution en masse invariante. Il devra aussi calculer par des simulations Monte Carlo les corrections d'acceptance et d'efficacité de reconstruction.

Ce travail inclut la familiarisation de l'étudiant avec les outils de travail de la grille de calcul ainsi qu'avec les codes de simulation, reconstruction et analyse de la collaboration ALICE.

### **Mots clés**

Physique des particules, QGP, QCD, LHC

### **Compétences**

### **Logiciels**

C++, ROOT, AliRoot

---

# Quarkonia production in p-Pb collisions at 8 TeV with ALICE at the LHC

## Summary

Quarkonia are important tools to study the quark-gluon plasma (QGP) formed in heavy ion collisions at the LHC at CERN. Hot nuclear matter effects (due to the QGP) mix with cold nuclear matter effects and affect the production of quarkonia. The study of quarkonium production in proton-Lead collisions at the LHC with ALICE will allow quantifying and understanding the latter.

## Full description

A few micro-seconds after the Big Bang, the Universe was in a quark gluon plasma (QGP) state. Such state is predicted by Quantum Chromodynamics, which is the theory of strong interactions, and should be reached at very high temperature or energy density. Such conditions are reproduced in ultra-relativistic heavy ion collisions at the LHC at CERN.

Among the various QGP observables, the study of hadrons with heavy-flavour quarks (charm  $c$  or beauty  $b$ ) and quarkonia ( $c\bar{c}$  or  $b\bar{b}$  bound states) is particularly important to understand the properties of the QGP.

Quarkonia are rare and heavy particles that are produced in the initial stages of the collision, even before the QGP is formed and are therefore ideal probes of the QGP. As they traverse the QGP, the quark/anti-quarks pair will get screened by the many free quarks and gluons of the QGP. Quarkonia will then be suppressed by a colour screening mechanism in the QGP. Since the various quarkonium states have different binding energies, each state will have a different probability of being dissociated. This results in a sequential suppression pattern of the quarkonium states. Additionally, if the initial number of produced quark/anti-quark pairs is large and if heavy quarks do thermalise in the QGP, then new quarkonia could be produced in the QGP by recombination of heavy quarks. This mechanism is known as regeneration. At the LHC, Upsilon ( $b\bar{b}$ ) and J/psi ( $c\bar{c}$ ) are complementary. The former are thought to be more suited than to address the sequential suppression, while the latter should allow studying possible regeneration mechanisms. However, cold nuclear matter effects (as opposed to hot nuclear matter effects from the QGP) can also affect the production of quarkonia even in the absence of a QGP. To properly address hot nuclear matter effects it is therefore important to understand cold nuclear matter effects. These can be studied using p-Pb collisions where the formation of the QGP is not expected.

We propose to study the production of quarkonia in p-Pb collisions at a center of mass energy per nucleon pair ( $\sqrt{s_{NN}}$ ) of 8 TeV at the LHC. Quarkonia will be measured via their dimuon decay channel with the muons being reconstructed in the ALICE muon spectrometer.

The student will study the yield of produced quarkonia p-Pb collisions. The student is expected to contribute to the Quality Assurance of the used data set, optimise the subtraction of the combinatorial background and the extraction of the signal, as well as to help in the characterisation of the muon spectrometer performance in terms of invariant mass resolution. Furthermore, the student will perform Monte Carlo simulations to calculate the acceptance and efficiency corrections.

During this work the student will become familiar with the grid computing tools and the simulation, reconstruction and data analysis software of the ALICE Collaboration.

## Keywords

Particle Physics, QGP, QCD, LHC

## Skills

## Softwares

---

C++, ROOT, AliRoot



## Recherche d'emission de rayons gamma des sursauts radio rapide avec H.E.S.S.

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [IRFU/SPP](#)

**Candidature avant le** 30-06-2017

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [SCHUSSLER Fabian](#)

+33 1 69 08 30 20

[fabian.schussler@cea.fr](mailto:fabian.schussler@cea.fr)

### Résumé

### Sujet détaillé

voir descriptif en anglais

### Mots clés

### Compétences

### Logiciels

C++/ROOT Python



---

## Search for high-energy emission of Fast Radio Bursts with H.E.S.S.

### Summary

Fast Radio Bursts (FRBs) are extremely powerful and very short bursts in the radio domain. Their origin remains enigmatic. H.E.S.S. is actively participating in follow-up observations of these events. We here exploit a novel idea to search for FRBs exploiting spatial and temporal correlations of events detected by the H.E.S.S. telescope system.

### 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. The instrument allows scientists to explore gamma-ray sources with intensities at a level of a few thousandths of the flux of the Crab nebula (the brightest steady source of gamma rays in the sky). 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, extending the energy coverage towards lower energies and further improving sensitivity.

The H.E.S.S. observatory is operated by the collaboration of more than 170 scientists, from 32 scientific institutions and 12 different countries. To date, the H.E.S.S. Collaboration has published over 100 articles in high-impact scientific journals, including the top-ranked 'Nature' and 'Science' journals.

The H.E.S.S. collaboration is actively participating in follow-up observations of Fast Radio Bursts. Several radio observatories have detected these very powerful but very short bursts over the last years but their origin remains enigmatic. These searches have very recently led to a first joint publication between H.E.S.S. and the SUPERB team at the Parkes radio telescope. This program will continue, with new observations at Parkes to start end 2016. Depending on the available time, the student might participate in the analysis of the obtained VHE follow-up data during the internship.

Another novel and so far unexplored possibility to detect Fast Radio Bursts (and similar, rapid transient phenomena) is proposed here: we'll scan the low level stream of events recorded by the H.E.S.S. telescopes and search for gamma-rays arriving close in space and time. If a significant excess of these coincident events is found, the student will search archival information and astrophysical databases for potential astrophysical counterparts and sources.

The tools to perform the proposed analyses are readily available within the group at CEA-Saclay but might need some adaption and verifications.

### Keywords

astroparticle physics, transients, radio bursts

### Skills

data analysis using C++ and/or Python tools basic knowledge of astrophysics and/or astroparticle physics

### Softwares

C++/ROOT Python



## Détection d'émission non-thermique en rayons X dans la périphérie des amas des galaxies

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [IRFU/SAP/LCEG](#)

**Candidature avant le** 30-06-2017

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [Bartalucci Jacopo](#)

+33 1 69 08 41 11

[iacopo.bartalucci@cea.fr](mailto:iacopo.bartalucci@cea.fr)

### Résumé

Utilisant l'archive du satellite Chandra, les régions externes d'amas des galaxies dynamiquement perturbés seront étudiées en rayons X dans la bande d'énergie [2-5] keV band, à la recherche d'une émission non-thermique.

### Sujet détaillé

Les amas des galaxies sont parmi les objets le plus intéressants dans l'univers. Ils peuvent être utilisés comme sonde cosmologique et sont des laboratoires idéaux pour étudier l'histoire de la formation des structures cosmiques. Les observations en rayons X représentent un outil puissant pour caractériser les amas, car ils permettent d'étudier directement le plasma chaud remplissant le volume entier de l'amas, dit Milieu Intra Amas (MIA). Ce milieu produit des rayons X principalement par émission thermique. Cependant, on peut aussi observer une émission non-thermique en radio, due à l'interaction de particules relativistes avec le champ magnétique. Ces particules peuvent être accélérées par la turbulence lors de la fusion d'amas. Une émission non thermique devrait être détectable en rayons X mais sa détectabilité dépend de son spectre qui dépend de l'amplitude du champ magnétique. Les régions périphériques des amas sont un endroit privilégié pour l'accélération des particules due à la turbulence générée par l'accrétion continue des sous-structures. Cependant dans ces régions, l'émission du MIA est très faible et le signal du fond devient important.

Une mesure d'une émission X non-thermique dans les régions périphériques permettra de mieux comprendre le comportement du champ magnétique intra-amas et de mettre une limite supérieure à son amplitude.

Ce projet a pour but de développer une méthode de traitement de toutes les incertitudes systématiques liés à ce type de mesure en rayons X. Il vise ensuite à appliquer la méthode aux observations d'amas dynamiquement perturbés pour tenter une détection significative de cette émission dans les régions périphériques.

Pendant ce projet, le candidat travaillera avec des données de l'archive NASA du satellite X Chandra. Le candidat apprendra à filtrer et à traiter des ensembles de données X afin d'en extraire des images et de l'information spectrale. Le stage sera divisé en deux étapes principales: 1) dans la première partie, le candidat adaptera une méthode existante et analysera quelques observations Chandra afin de tester notre capacité de détecter cette émission faible, en traitant avec précision les différents effets systématiques 2) dans la deuxième partie, le candidat appliquera cette

---

méthode à deux cas tests des amas de galaxies, un dynamiquement perturbé et un autre non-perturbé.

Le projet est co-encadré par Gabriel Pratt ([gabriel.pratt\\_at\\_cea.fr](mailto:gabriel.pratt_at_cea.fr))

### **Mots clés**

amas des galaxies, rayons X, traitement de données

### **Compétences**

Traitement et modélisation des données X. Utilisation des codes analytiques.

### **Logiciels**

MAC OS and/or GNU-LINUX, IDL, PYTHON

---

## Detection of non-thermal X-ray emission in galaxy cluster outskirts

### Summary

Exploiting the archive of the X-ray satellite Chandra, the external regions of the most dynamically active galaxy clusters known so far will be investigated for a significant detection of non thermal emission in the [2-5] keV band.

### Full description

Galaxy clusters are among the most interesting objects in the universe. They can be used as cosmological probes and are ideal laboratories to study the evolution of structure formation across cosmic time. X-ray observations represent a powerful tool to characterise galaxy clusters, because they directly probe the hot plasma that fills the cluster volume, namely the intra cluster medium (ICM).

This component emits in the X-ray mostly via thermal emission. However, we can also observe non-thermal emission in radio wavelengths due to relativistic particles interacting with the diffuse magnetic field. These particles could have been accelerated via turbulence during cluster mergers. Non-thermal emission should also be detectable in X-rays, but its detectability depends on the spectrum, which in turn depends on the strength of the magnetic field. The cluster outskirts are a potential site for particle acceleration due to turbulence generated by the continuous accretion of smaller sub-clumps; however, the ICM emission is very faint and the background signal becomes important in these regions .. A measurement of non-thermal X-ray in the cluster outskirts will allow us to understand better the behavior of the magnetic field embedded in the ICM and to put an upper limit to its amplitude.

This project aims to construct a method that will carefully deal with all the systematic uncertainties related to this kind of measurement, then to apply the method to attempt to significantly detect non-thermal emission in the outskirts of the most dynamically active galaxy clusters known so far.

During this project, the candidate will familiarize him/herself with the archive of the NASA Chandra X-ray satellite. From archival data, the candidate will learn how to filter and handle X-ray datasets in order to extract imaging and spectral information. In particular the stage will be divided into two main steps: 1) in the first step the candidate will adapt an existing method and analyse some Chandra observations in order to test our capability of detecting faint emission, accurately disentangling different systematic effects 2) in the second part the candidate will apply this method to two test-case galaxy clusters, one relaxed and one non-relaxed.

The project is co-supervised by Gabriel Pratt ([gabriel.pratt\\_at\\_cea.fr](mailto:gabriel.pratt_at_cea.fr))

### Keywords

galaxy clusters, X-ray, data analysis

### Skills

X-ray data treatment and modelling. Use of analytic codes.

### Softwares

MAC OS and/or GNU-LINUX, IDL, PYTHON