

MESURE ABSOLUE DES SPECTRES ANTINEUTRINOS DE REACTEURS AVEC L'EXPERIENCE DOUBLE CHOOZ

DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Double Chooz est l'une des trois expériences situées auprès de réacteurs nucléaires et dédiées à la mesure du paramètre θ_{13} d'oscillations des neutrinos. Elle mesure la probabilité de disparition des antineutrinos électroniques, émis en grande quantité par les deux réacteurs de la centrale de Chooz dans les Ardennes. Deux détecteurs sont utilisés pour faire cette mesure. Le premier détecteur, dit lointain, est opérationnel depuis 2011 et est situé à environ 1 km des cœurs de réacteurs, distance à laquelle la probabilité de disparition est presque maximale. Le second détecteur, dit proche, est en prise de données depuis 2014 et est situé à 400 m des cœurs, distance à laquelle la probabilité d'oscillation est négligeable. La comparaison des spectres lointain et proche permet alors d'extraire de manière précise le paramètre θ_{13} , tout en minimisant les incertitudes de mesure.

Outre la mesure de θ_{13} , l'expérience Double Chooz a le potentiel de mesurer précisément la forme et la normalisation absolue des spectres antineutrinos de réacteurs. Ces deux quantités sont d'une grande importance pour les expériences futures utilisant les antineutrinos de réacteurs, notamment celles conçues pour la recherche de neutrinos stériles et aussi celles conçues pour la surveillance des réacteurs nucléaires dans le cadre du traité de non-prolifération dont l'application est garantie par l'AIEA.

Les flux d'antineutrinos de réacteur résultent de la superposition de milliers de branches beta associées aux décroissances des produits de fission. Des calculs théoriques existent, mais présentent cependant des désaccords avec les mesures publiées, notamment celle par Double Chooz utilisant uniquement le détecteur lointain. Ces désaccords sont illustrés par la figure 1, qui montre le rapport du spectre mesuré au spectre prédit. A basse énergie entre 1 et 3 MeV, le déficit d'antineutrinos dû à θ_{13} est clairement visible.

Cependant, un épaulement/excès inattendu dans la région de 4 à 6 MeV apparaît. Plusieurs arguments sont avancés pour expliquer cet épaulement et questionnent principalement les modèles utilisés pour prédire le flux de neutrinos attendu. Son origine reste cependant toujours non-élucidée. Une autre piste pouvant expliquer l'apparition de cet épaulement concerne l'étalonnage de la réponse du détecteur en énergie. Celle-ci reste largement non mesurée dans la région de 3 à 8 MeV et s'appuie sur des extrapolations de mesures faites dans la région de 0.5 à 3 MeV.

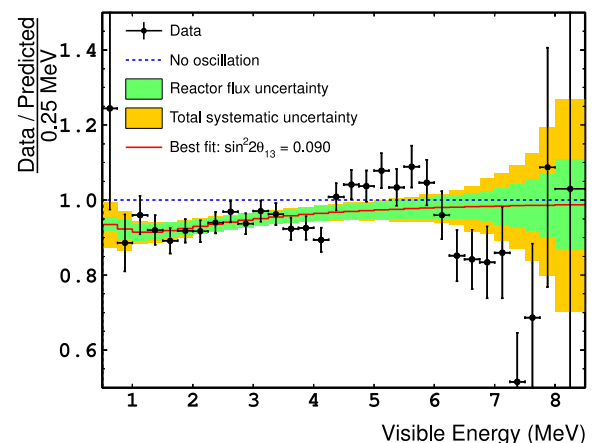


Figure 1: Rapports des spectres antineutrino de réacteurs mesurés et prédits dans le détecteur lointain de l'expérience Double Chooz.

L'objectif de ce sujet de thèse est double : étalonner les deux détecteurs de Double Chooz dans le domaine d'énergie situé entre 3 et 8 MeV, et effectuer une mesure précise des spectres antineutrinos de réacteur, à la fois en norme et en forme. Tester directement la réponse d'un détecteur à liquide scintillant tel que Double Chooz dans ce domaine d'énergie n'a jamais été réalisé auparavant et serait une première. Outre cette nouveauté, le travail proposé permettra d'une part de conclure sur l'origine de cet épaulement, et d'autre part de fournir un spectre de référence qui pourra servir aux générations futures d'expériences d'antineutrinos de réacteur.

DESCRIPTION

GROUPE/LABO/ENCADREMENT

L'étudiant rejoindra l'équipe « neutrinos de basse énergie » au Service de Physique des Particules (SPP) à l'Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers (IRFU). L'équipe a joué un rôle majeur dans le design et la construction des deux détecteurs de l'expérience Double Chooz, et participe activement à l'analyse des données et à l'étalonnage des détecteurs. Elle est de manière plus générale reconnue internationalement pour ses travaux portant sur les antineutrinos de réacteurs et la recherche de neutrinos stériles.

TRAVAIL PROPOSE

L'objectif de la thèse est dans un premier temps de mesurer la réponse en énergie des détecteurs dans la région de 3 à 8 MeV. A l'heure actuelle, l'étalonnage en énergie est réalisé avec des sources neutron et gamma dans le domaine de 0.5 à 3 MeV, insérées dans des tubes traversant les détecteurs et prévus à cet effet. Pour tester la région de 3 à 8 MeV, la construction d'une source émettant des gammas dans ce domaine en énergie sera à l'étude. Celle-ci fonctionnerait sur le principe d'une source intense de neutrons, émis par des radioéléments tel que l' ^{241}Am ou le ^{252}Cf , et qui par capture sur du fer ou du tungstène pourraient fournir des lignes gammas aux énergies d'intérêt. L'étudiant aura en charge de mener une étude de faisabilité pour notamment calculer le dimensionnement de la source, son activité, et identifier le meilleur matériau sur lequel pourront s'effectuer les captures neutrons. A l'issue de la validation du design et de la production de la source, différentes études de caractérisation auront lieu, notamment par spectroscopie gamma. L'étudiant sera alors en charge du déploiement de cette source lors des différentes campagnes d'étalonnage des détecteurs. Les données collectées seront ensuite analysées pour étalonner les réponses en énergie et en améliorer notre compréhension.

A l'issue de l'étalonnage des détecteurs, l'étudiant participera à l'analyse des données délivrées par les détecteurs proche et lointain dans l'optique de fournir une mesure absolue du spectre antineutrino de réacteur émis par les réacteurs de Chooz. Il utilisera et optimisera les outils d'analyse déjà existants, et procèdera à une étude poussée

des bruits de fond et des incertitudes systématiques impactant cette mesure.

Pour finir, et si le temps le permet, l'étudiant développera une méthode de d'inversion du spectre neutrino mesuré, pour s'affranchir de la réponse des détecteurs et ainsi fournir un spectre neutrino de référence qui pourra être utilisé par l'ensemble de la communauté.

FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

M2 en physique expérimentale ou théorique des hautes énergies. Des connaissances en C++, ROOT et GEANT4 seraient fortement appréciées.

COMPETENCES ACQUISES

A l'issue de sa thèse, le doctorant aura participé à l'ensemble des étapes qu'il est nécessaire de suivre pour réaliser une mesure en physique des hautes énergies. Il aura acquis de solides compétences en instrumentation, simulation, analyse et traitement statistique des données. De telles compétences sont très utiles et appréciées en recherche fondamentale expérimentale, et dans les métiers d'ingénierie. Elles seront donc facilement transférables vers ces domaines. D'autre part, les méthodes d'analyse acquises par le doctorant pourront aussi être transférées vers de nombreux autres domaines où l'analyse de données joue un rôle important.

COLLABORATIONS/PARTENARIATS

L'étudiant évoluera dans la collaboration Double Chooz qui est constituée de plusieurs universités et partenaires étrangers, notamment situés en Allemagne, en Espagne, au Japon et aux Etats-Unis. Il participera aussi à une ou plusieurs conférences internationales. Il pourra présenter et discuter à ces multiples occasions de ses travaux devant une audience de physiciens spécialistes du sujet.

CONTACT

Matthieu Vivier
CEA-Saclay, DSM/IRFU/SPP
91191 Gif sur Yvette
matthieu.vivier@cea.fr
01 69 08 66 26