

Soutenance de thèse - mercredi 10 juillet 2024, 14h

CEA Saclay, Orme des Merisiers, B. 703 Salle de séminaires 45

Andrii LOBSENKO DPhN LSN

La nature du neutrino à travers l'étude des désintégrations double-bêta du Xénon 136 avec l'expérience PandaX-III

La recherche de la désintégration double bêta sans neutrino ($0\nu\beta\beta$) est cruciale pour faire progresser notre compréhension de la physique et explorer la physique au-delà du modèle standard. Cependant, cette recherche est incroyablement difficile en raison de l'extrême rareté de la désintégration, qui nécessite une interprétation approfondie et une dépendance aux contraintes expérimentales et aux modèles nucléaires théoriques. L'expérience PandaX-III est dédiée à la recherche de $0\nu\beta\beta$ dans le ^{136}Xe . Il s'agit d'une chambre de projection temporelle (TPC) gazeuse à haute pression équipée de détecteurs Micromegas. Ce choix a été fait pour maximiser la capacité de détection des traces de particules et minimiser les fluctuations statistiques dans la résolution énergétique. L'un des principaux défis de la recherche d'événements $0\nu\beta\beta$ est la discrimination entre le signal et les événements de bruit de fond, qui contaminent la région d'intérêt (ROI).

Le système de lecture par pistes des détecteurs Micromegas (une combinaison de 52 détecteurs forme un plan de lecture) permet la reconstruction 2D précise des trajectoires d'ionisation avec les informations de charge et de temps. Cela permet d'étudier l'énergie et la topologie des trajectoires d'électrons et, en conséquence, de distinguer le signal du bruit de fond. Pour supprimer la scintillation et ne se baser que sur le signal d'ionisation, le Xénon-136 gazeux enrichi à 90% est mélangé avec 1% de triméthylamine (TMA) qui joue le rôle de "quencher". La résolution énergétique actuelle de l'expérience PandaX-III est de 3% pour l'énergie de 2457 keV de la désintégration $0\nu\beta\beta$ du Xenon-136 et devrait être améliorée à 1%. Néanmoins, plusieurs facteurs peuvent dégrader la résolution en énergie, tels que la présence de canaux morts, les inhomogénéités de gain dans les détecteurs Micromegas ou l'attachement des électrons dans la TPC.

Ce travail de doctorat présente une étude de l'impact des canaux manquants sur les reconstructions d'énergie et de topologie dans l'expérience PandaX-III.

Les résultats de la détermination de la charge du blob n'offrent pas la possibilité souhaitée de reconstituer la partie de son énergie qui aurait été perdue en raison des canaux manquants dans XZ à partir des projections YZ des traces d'événements reconstruites et vice versa.

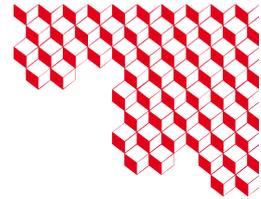
Malgré cela, l'étude a montré qu'il est possible d'utiliser des algorithmes d'apprentissage automatique pour atténuer l'impact des canaux manquants sur la reconstruction de l'énergie et de la topologie.

Un modèle de réseau neuronal convolutif (CNN) a été développé pour prédire l'énergie réelle des électrons à partir des données simulées collectées par les Micromegas avec des canaux manquants. Les résultats finaux montrent que le modèle CNN prédit l'énergie réelle des événements enregistrés par les Micromegas avec des canaux manquants avec une grande efficacité. Nous observons une amélioration de l'efficacité de détection du signal de Monte Carlo dans la ROI, qui passe de 69% à 89% après l'application du modèle CNN, par rapport à l'approche directe consistant à additionner les amplitudes des signaux provenant des Micromegas dont les canaux sont manquants. Un autre modèle CNN a également été utilisé pour classer les événements à deux électrons des événements à un seul électron dans les données de Monte Carlo affectées par des canaux manquants. Le modèle est capable de rejeter 99% des événements de bruit de fond tout en conservant une efficacité de 26% pour les signaux $0\nu\beta\beta$ dans la ROI.

Les résultats de ce travail sont prometteurs et ouvrent la voie à d'autres études visant à améliorer la résolution en énergie et le rejet du bruit de fond dans l'expérience PandaX-III.



Institute of Research into the
Fundamental laws of the Universe



Nuclear Physics Department

PhD Defense on Wednesday, July 10th 2024, 14 p.m.

CEA Saclay, Orme des Merisiers, B. 703 Salle de séminaires 45

Andrii LOBASENKO DPhN LSN

The neutrino nature through the study of the Xenon 136 double-beta decays on the PandaX-III experiment

The search for neutrinoless double-beta decay ($0\nu\beta\beta$) is crucial for advancing our understanding of physics and exploring physics beyond the Standard Model. However, this pursuit is incredibly challenging due to the decay's extreme rarity, requiring profound interpretation and reliance on experimental constraints and theoretical nuclear models. The PandaX-III experiment is dedicated to the search for $0\nu\beta\beta$ in ^{136}Xe .

It is a high-pressure gaseous Time Projection Chamber (TPC) with Micromegas detectors. This design choice is made to maximize the particle track detection and discrimination $0\nu\beta\beta$ signal vs. gamma background capabilities. One of the main challenges of the $0\nu\beta\beta$ search is the discrimination between the signal and background events, which contaminate the region of interest (ROI). The strip readout system of the Micromegas detectors (a combination of 52 of them form a readout plane) allows for the precise 2D reconstruction of the ionization tracks together with the charge and time information. This allows for studying the electron tracks' energy and topology and ultimately discriminating the signal from the background. To suppress the scintillation light and rely only on the ionization signal, a 90% enriched ^{136}Xe is mixed with 1% trimethylamine (TMA) quencher. The current energy resolution of the PandaX-III experiment is 3% for the 2457 keV energy of the ^{136}Xe $0\nu\beta\beta$ decay, envisioned to be improved to 1%. However, several factors can degrade the energy resolution, such as the presence of dead channels, gain inhomogeneities in the Micromegas detectors, or electron attachment in the TPC.

This Ph.D work presents a study on the impact of missing channels on the energy and topology reconstructions in the PandaX-III experiment. The results of the Blob charge determination do not provide the desired possibility of reconstituting the part of the blob energy that would have been lost due to missing channels in XZ from YZ projections of reconstructed event tracks and vice versa. However, the study gave insight into employing machine learning (ML) algorithms to mitigate the impact of missing channels on energy and topology reconstructions. A Convolutional Neural Network (CNN) model was developed to predict the true energy of the electrons from the simulated data collected by the Micromegas with missing channels. The final results show that the CNN model predicts the true energy of the events recorded by the Micromegas with missing channels with a good energy resolution. We observe an improvement in the detection efficiency of the Monte Carlo $0\nu\beta\beta$ signal in the ROI from 69% to 89% after applying the CNN model, in comparison to the direct approach of directly summing amplitudes of the signals from the Micromegas with missing channels.

Another CNN model was also used to classify the two-electron events from the single-electron events in the Monte Carlo data affected by missing channels. The model is capable of rejecting 99% of the background events while maintaining a 26% efficiency for the $0\nu\beta\beta$ signal in the ROI.

The results of this work are promising and pave the way for further studies to improve the energy resolution and background rejection in the PandaX-III experiment.