

Proposition de thèse – 2025-2028

Thématique : Physique des particules expérimentale – CMS et FCC

Sujet de thèse : Test de l'universalité de saveur des leptons dans le secteur top avec CMS et simulation de détecteurs de traces pour le future collisionneur circulaire (FCC) au CERN

Directeurs de thèse : Nicolas Chanon et Gaelle Boudoul

Téléphone : +33 4 72 44 85 01, +33 07 72 72 18 76

Email : n.chanon@ip2i.in2p3.fr Gaelle.Boudoul@cern.ch

Adresse : IP2I Lyon – Bureau 120

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

Description du travail demandé :

Cette thèse propose d'analyser les données de l'expérience CMS (Compact Muon Solenoid) auprès du collisionneur proton-proton LHC (CERN), ainsi que de contribuer aux préparations pour le projet FCC (Future Circular Collider) du CERN, qui est une proposition de collisionneur circulaire de 91 km.

Test de l'universalité de saveur des leptons dans le secteur top avec CMS.

L'universalité de saveurs des leptons dans le Modèle Standard (MS) prédit que les trois types de leptons chargés (électrons, muons et taus) interagissent tous de la même manière avec les autres particules, modulo leurs différences de masse. Or des indices ont récemment mis en défaut ce comportement dans le secteur du quark beau, où des tensions entre prédictions théoriques et résultats expérimentaux ont été d'abord observées, même si les dernières mesures se sont révélées en accord avec le MS. Ces mesures impliquent indirectement le quark top, suspecté de jouer un rôle majeur dans les théories au-delà du MS de par sa haute masse, et sont reliées à de possibles nouvelles interactions fondamentales entre quarks top et leptons.

Cette thèse propose d'explorer l'universalité de saveur des leptons directement dans le secteur du quark top. Les données à 13 TeV du Run 2 et 3 du LHC collectées à l'expérience CMS seront analysées, en se focalisant sur la production d'une paire de quarks tops associée à une paire de leptons ($t\bar{t} + e\bar{e}$ et $t\bar{t} + \mu\bar{\mu}$), en cours d'analyse dans le groupe. La mesure des sections efficaces différentielles dans les données sera améliorée avec des outils de type réseau de neurones et apprentissage profond. Un deuxième temps le/la candidat(e) interprétera la mesure en termes de paramètres contrôlant les couplages anormaux à 4 fermions $t\bar{t} + e\bar{e}$ et $t\bar{t} + \mu\bar{\mu}$. La comparaison des canaux e and μ donnera une indication quant à savoir si les leptons vérifient ou non l'universalité de saveur dans le secteur du quark top.

Simulation de détecteurs de traces pour le FCC.

Suite à la recommandation de la mise à jour de la stratégie européenne pour la physique des particules en 2020, l'objectif du FCC est de repousser les frontières de la physique électrofaible, permettant des mesures d'une précision sans précédent et en ouvrant de nouveaux horizons bien au-delà de ce qui peut être réalisé par l'actuel accélérateur LHC. Le groupe Particules de l'IP2I s'implique activement dans ce projet, notamment au sein de la conception de détecteurs, grâce à une solide expérience acquise depuis plus de 20 ans en Physique des Hautes Energies (HEP).

Le/la candidat(e) sera impliqué(e) dans l'activité de conception d'un concept de trajectomètre pour le FCC. Le développement de la simulation complète du tracker sera l'aspect clé du travail, où il est attendu que le/la candidat(e) contribue à la simulation et à la reconstruction du détecteur dans un environnement réaliste, en utilisant de nouvelles méthodes dans les logiciels développés pour HEP.

En particulier, le candidat devra implémenter différentes géométries, modélisera la réponse du détecteur et reconstruira les données simulées pour en extraire les performances de trajectométrie des particules. Elle/il contribuera également à améliorer les outils de comparaison déjà existants pour évaluer correctement les performances des détecteurs proposés. Certains canaux en physique pourraient également être identifiés et analysés au cours de sa thèse pour compléter le tableau. Le candidat évoluera dans un environnement logiciel FCC déjà existant et documenté (Key4hep), développé au CERN. Il est souhaitable que le candidat soit relativement à l'aise avec les langages C++ et Python.

Elle/il sera pleinement intégré(e) dans l'équipe locale de conception des futurs trackers pour avoir une vision complète du projet. Le/la candidat(e) sera également impliqué(e) dans l'exploitation du détecteur CMS actuel au LHC, pour contribuer également à la prise de données HEP.

La thèse se déroulera à l'IP2I de Lyon. Des déplacements réguliers pour assister à des réunions de collaboration, des ateliers, des écoles et des conférences sont attendus, profitant également de la proximité du CERN.

PhD thesis proposal – 2025-2028

Research field: experimental particle physics – CMS and FCC

Thesis title: Test of lepton flavor universality in the top sector with CMS and simulation of tracker detectors for the future circular collider (FCC) at CERN

Supervisor: Nicolas Chanon et Gaelle Boudoul

Phone: +33 4 72 44 85 01, +33 07 72 72 18 76

Email: n.chanon@ip2i.in2p3.fr Gaelle.Boudoul@cern.ch

Address: IP2I Lyon – Bureau 120

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

Work description:

This thesis will analyze data from the CMS (Compact Muon Solenoid) experiment at CERN's LHC proton-proton collider, and contribute to preparations for CERN's FCC (Future Circular Collider) project, a proposed 91 km circular collider.

Test of lepton flavor universality in the top sector with CMS.

The lepton flavor universality in the Standard Model (SM) predicts that the three kinds of charge leptons (electrons, muons, taus) are interacting the same way with other particles, modulo their mass difference. However, indices have recently questioned this behavior in the bottom quark sector, where tensions between theoretical predictions and experimental results were first observed, even if the latest measurements turned out to be in agreement with the MS. These measurements indirectly involve the top quark, suspected of playing a major role in theories beyond the MS due to its high mass, and are linked to possible new fundamental interactions between top quarks and leptons.

This thesis proposes to explore the lepton flavor universality directly in the quark top sector. Data at 13 TeV from the LHC Run 2 and 3 collected at the CMS experiment will be analyzed, focusing on the production of a top quark pair associated with a lepton pair ($t\bar{t} + e\bar{e}$ and $t\bar{t} + \mu\bar{\mu}$), currently being analyzed in the group. The measurement of differential cross sections in the data will be improved with neural network and deep learning tools. In a second stage the candidate will interpret the measurement in terms of parameters controlling the anomalous 4-fermion couplings $t\bar{t} + e\bar{e}$ and $t\bar{t} + \mu\bar{\mu}$. Comparison of the e and μ channels will give an indication as to whether or not the leptons verify flavor universality in the quark top sector.

Simulation of tracker detectors for the FCC.

Following the recommendation of the 2020 update of the European strategy for particle physics, the aim of the FCC is to push back the frontiers of electroweak physics, enabling measurements of unprecedented precision and opening up new horizons far beyond what can be achieved by the current LHC. The Particles group of IP2I is actively involved in this project, in particular within the design of detectors, thanks to solid experience acquired over more than 20 years in High Energy Physics (HEP).

The candidate will be involved in this intense work of designing a tracker concept for FCC. Developing the full simulation of the tracker will be the key aspect of the work, where it is expected for the candidate to contribute to the simulation and reconstruction of the detector in a realistic environment, using novel methods in HEP software.

In particular, the candidate will implement different geometry models, model the detector response and reconstruct the simulated data to derive tracking performance. She/he will also contribute to improve the already existing comparison tools to assess properly the performance of the proposed detectors. Some benchmark physics channels could also be identified and analyzed during his/her PhD to complete the full picture. The candidate will develop within an already existing and documented FCC software environment (Key4hep), developed at CERN. It is desirable for the candidate to be relatively comfortable with C++ and Python languages.

She/he will be fully inserted in the local team designing future trackers to have the full picture of the project. The candidate will also be involved in the operation of the current CMS detector at LHC, to also contribute on HEP data taking.

The position is based in Lyon. Regular travels to attend collaboration meetings, workshops, schools, and conferences are expected, taking also advantage of the proximity of CERN.