

Proposition de sujet de thèse

Titre : « Mesure de l'élément V_{ub} de la matrice CKM et étude de l'universalité de la saveur leptonique dans les transitions du quark b en quark u avec l'expérience LHCb au CERN »

“Measurement of the V_{ub} element of the CKM matrix and study of lepton flavour universality in b to u transitions with the LHCb experiment at CERN”

Groupe : LHCb

Noms et coordonnées du directeur de thèse :

Francesco Polci (Chargé de Recherches au CNRS)
Téléphone : 01 44 27 53 07
francesco.polci@lpnhe.in2p3.fr

Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes énergies (LPNHE),
Campus Pierre et Marie Curie,
4, place Jussieu 75013, Paris.
Tour 22, pièce 2212-2-21

Liens web : <https://lhcb.web.cern.ch/>

Lieu de travail : LPNHE – 4, Place Jussieu, 75013 Paris.

Déplacements éventuels : Pays membres de la collaboration LHCb, CERN (site de l'expérience) et lieux de conférences.

Nom de la collaboration : LHCb

Thèmes de recherche : Physique de la beauté, du charme et physique au-delà du modèle standard

Stage pré-thèse: obligatoire

Description du sujet et de la nature du travail proposé:

Malgré ses succès, le Modèle Standard n'est pas considéré comme la théorie ultime de la physique des particules. En effet, il n'explique qu'une petite partie de la matière qui compose l'Univers. Les physicien·nes sont donc à la recherche de phénomènes susceptibles d'indiquer l'existence de nouvelles lois fondamentales de la nature. En particulier, la physique de la saveur poursuit cet objectif à travers des mesures de précision de grandeurs bien prédites par le Modèle Standard : d'éventuels écarts ouvriraient une fenêtre sur une physique au-delà du Modèle Standard.

L'un des écarts actuellement observés concerne les désintégrations semi-leptoniques du type $b \rightarrow c \ell \nu$, où ℓ désigne un lepton. En particulier, $R_{D^{(*)}} = \text{BR}(B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu) / \text{BR}(B \rightarrow D^{(*)} \mu \nu)$, qui est le

rapport entre les taux de désintégration des canaux impliquant le lepton tau et ceux impliquant le muon et qui montre un écart d'environ $3,5 \sigma$ par rapport à la prédiction du Modèle Standard [1]. Les rapports $R_{D^{(*)}}$ constituent des tests de l'universalité leptonique, une propriété fondamentale du Modèle Standard selon laquelle les couplages des médiateurs de l'interaction électrofaible sont indépendants de la saveur des leptons. L'observation d'une violation de l'universalité leptonique serait un signe clair de nouvelle physique.

Jusqu'à présent, aucune mesure n'a été effectuée pour les transitions du type $b \rightarrow u \ell \nu$, analogues aux transitions $b \rightarrow c \ell \nu$, pour lesquelles on s'attendrait à observer un comportement similaire. Cette thèse propose donc de réaliser le premier test de l'universalité leptonique dans les transitions $b \rightarrow u \ell \nu$, à travers l'étude des désintégrations $B_s \rightarrow K \ell \nu$.

Les désintégrations $b \rightarrow u \ell \nu$ permettent également de mesurer l'élément V_{ub} de la matrice de Cabibbo–Kobayashi–Maskawa (CKM), qui gouverne les transitions entre les familles de quarks. Cet élément contient la phase faible responsable de la violation de CP, donc de l'asymétrie matière–antimatière. Sa mesure constitue un ingrédient essentiel pour tester une autre prédiction fondamentale du Modèle Standard., susceptible de ne pas être respectée par la nouvelle physique : l'unitarité de la matrice CKM. À ce jour, LHCb a mesuré V_{ub} en utilisant uniquement les données de 2011–2012, dans le canal $B_s \rightarrow K \mu \nu$ [2], et une mise à jour de l'analyse est en cours avec les données collectées en 2016–2018.

Après une mise à jour majeure du détecteur effectuée entre 2019 et 2021, l'expérience LHCb est désormais en mesure de reconstruire efficacement tous les types de leptons et dispose du lot de mésons B_s le plus abondant jamais enregistré. Il ne reste plus qu'à analyser ces données, qui pourraient peut être révéler l'existence d'une physique au-delà du Modèle Standard.

Le travail de pré-thèse consistera en:

- Synthétiser les connaissances sur les observables et prédictions théoriques.
- Rechercher des variables pertinentes pour optimiser la significativité des désintégrations $B_s \rightarrow K e \nu$, $B_s \rightarrow K \mu \nu$ et $B_s \rightarrow K \tau \nu$
- Évaluer la précision attendue pour les rapports entre ces désintégrations et pour la mesure de V_{ub} à l'aide d'outils de simulations rapides.

Description of the subject and nature of the proposed work

Despite its success, the Standard Model is not considered the ultimate theory of particle physics. Indeed, it explains only a small fraction of the matter that makes up the Universe. Physicists are therefore searching for phenomena that could indicate the existence of new fundamental laws of nature. In particular, flavor physics pursues this goal through precision measurements of quantities that are well predicted by the Standard Model: any observed deviation would open a window onto physics beyond the Standard Model.

One of the currently observed deviations concerns semileptonic decays of the type $b \rightarrow c \ell \nu$, where ℓ denotes a lepton. In particular, the measurement of the ratios $R_{D^{(*)}}$ [1], comparing channels involving the τ lepton and the μ lepton, shows a deviation of about 3.5σ from the Standard Model prediction. These ratios constitute tests of lepton flavor universality, a fundamental property of the Standard Model stating that the couplings of the electroweak interaction mediators are independent of lepton flavor. The observation of a violation of lepton universality would be a clear sign of new physics. So far, no measurement has been performed for transitions of the type $b \rightarrow u \ell \nu$, which are analogous to $b \rightarrow c \ell \nu$ transitions and are expected to exhibit a similar behavior. This PhD project therefore aims to perform the first test of lepton universality in $b \rightarrow u \ell \nu$ transitions, through the study of the decays $B_s \rightarrow K \ell \nu$.

The $b \rightarrow u \ell \nu$ decays also provide access to the measurement of the V_{ub} element of the Cabibbo–Kobayashi–Maskawa (CKM) matrix, which governs transitions between quark families. This element contains the weak phase responsible for CP violation, and hence for the matter–antimatter asymmetry. Its measurement is a key ingredient for testing another fundamental prediction of the Standard Model—the unitarity of the CKM matrix—which might not hold in the presence of new physics. So far, LHCb has measured V_{ub} using only the data collected in 2011 and 2012, in the $B_s \rightarrow K \mu \nu$ decay channel [2]. An update of this analysis, using 2016–2018 data, is ongoing.

After a major upgrade carried out between 2019 and 2021, the LHCb experiment is now capable of efficiently reconstructing all types of leptons and possesses the most abundant sample of B_s mesons ever recorded. These data are now ready to be analyzed and could finally reveal evidence of physics beyond the Standard Model.

Pre-thesis work will include:

- Reviewing the current knowledge on relevant observables and theoretical predictions.
- Identifying discriminating variables to optimize the significance of the $B_s \rightarrow K e \nu$, $B_s \rightarrow K \mu \nu$, and $B_s \rightarrow K \tau \nu$ decays.
- Evaluating the expected precision on the ratios between these decay modes and on the V_{ub} measurement using fast simulation tools.

Références bibliographiques

- [1]. LHCb collaboration, “Measurement of the ratios of branching fractions $R_{D^{(*)}}$ and $R_{D^{(*)}0}$ ”, <https://arxiv.org/abs/2302.02886>
- [2]. LHCb collaboration, “First observation of the decay $B_s \rightarrow K \mu \nu$ and a measurement of $|V_{ub}|/|V_{cb}|$ ”, Phys. Rev. Lett. 126 (2021) 081804