

Thesis defence Vidya VOBBILISSETTI

Hunting for B to K $\tau^+ \tau^-$ decay in the Belle (II) data samples

Abstract:

In recent years, some deviations from the Standard Model (SM) have been observed in semileptonic B-meson decays, such as departures from lepton flavour universality in the $b \rightarrow sll$ and $b \rightarrow c \tau \nu$ transitions quantified by the $R(K^{(*)})$ and $R(D^{(*)})$ ratios. This generated a considerable interest in the flavour physics community: the pattern of anomalies could be explained by New Physics (NP) scenarios predicting large enhancements in the third generation of leptons compared to the first two, as in the $b \rightarrow s \tau \tau$ transition, especially when the NP coupling is proportional to the square of the lepton mass. The current limits for all processes mediated by $b \rightarrow s \tau \tau$ are far from the SM predictions by four orders of magnitude, due to the experimental challenges of reconstructing tau-leptons that decay quickly and produce undetectable neutrinos. Consequently, the possibility of large NP-induced enhancements remains unchallenged. An upper limit for the $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ decay mode has been set by the BaBar experiment, but it has never been searched for by any other experiment. In this work, the search for $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ is performed in the context of the Belle and Belle II experiments. Due to the presence of up to four neutrinos (missing energy), the signal B candidate cannot be fully reconstructed. At a B factory, e^+e^- collisions produce $Y(4S)$ which mostly decay into a pair of B-mesons, with a well-known initial state. By fully reconstructing one of the B mesons and using its four-momentum, we can infer the properties of the other B-meson, which may decay into $K^+ \tau \tau$. This technique, called B-tagging, effectively mitigates large background contributions in searches involving missing energy. The full reconstruction of hadronic B-mesons is done using Belle II's exclusive tagging algorithm, employing a network of boosted decision trees trained on Monte Carlo (MC). A significant discrepancy in B-tagging performance between MC and data has been observed, not only being a significant source of systematic uncertainty but also indicating a suboptimal training. To address this, a new control procedure, using $B \rightarrow D \pi$ decays without explicitly reconstructing D mesons, is introduced to calibrate the hadronic B-tagging. This provides large statistics, while having a high purity (in contrast to the traditional $B \rightarrow X_{cl} \nu$), also enabling the study of how B decay modelling affects B-tagging performance. By implementing the corresponding corrections to the decay model, the agreement is significantly improved. Furthermore, retraining the B-tagging algorithm with the updated MC simulations increases the background rejection. It is important to note that these efforts and further improvements to the decay model obtained by measuring poorly known hadronic B-decays will lead to better performance of hadronic B-tagging, benefiting all future searches involving missing energy. After reconstructing the tagged B and the charged tracks from the signal side, events that contain a $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ are expected to leave no extra energy in the electromagnetic calorimeter (E_{ECL}). Contamination from beam background photons and neutral clusters arising from hadronic split-off processes degrades the resolution of the E_{ECL} . On the other hand, the background mostly composed of semileptonic decays also has low E_{ECL} . To mitigate the resolution issue and optimise the separation from the background composed mostly of semileptonic B decays, a study of E_{ECL} is conducted using the control sample of $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ decays. Finally, in the absence of a signal, an upper limit for the branching ratio of the $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ is derived using combined datasets of Belle and Belle II MC simulations.

Recherche de la désintégration B en $K \tau^+ \tau^-$ dans les expériences Belle and Belle II

Résumé :

Ces dernières années, des déviations par rapport au modèle standard (MS) ont été observées dans les désintégrations semi leptoniques des mésons B , notamment dans l'universalité de la saveur leptonique dans les transitions $b \rightarrow s l l$ et $b \rightarrow c \tau \nu$. Cela a rapidement suscité un intérêt considérable dans la communauté de la physique des saveurs : cet ensemble d'anomalies peut s'expliquer par des scénarios de la nouvelle physique (NP) qui prévoient aussi de larges augmentations dans la troisième génération de leptons par rapport aux deux premières, comme dans la transition $b \rightarrow s \tau \tau$, en particulier lorsque le couplage NP est proportionnel au carré de la masse du lepton. En raison des défis expérimentaux dans la reconstruction des leptons τ qui produisent des neutrinos indétectables, la seule limite supérieure existante, pour le mode de désintégration $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ par l'expérience Babar, est très loin de la prédiction du MS et une vaste région reste à explorer. Dans ce travail, la recherche du mode $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ est effectuée dans le contexte des expériences Belle et Belle II. En raison de la présence de quatre neutrinos (énergie manquante), le signal B candidat ne peut pas être entièrement reconstruit. Dans une usine à B , les collisions e^+e^- produisent des $Y(4S)$ qui se désintègrent principalement en une paire de mésons B , avec un état initial bien défini. En reconstruisant entièrement l'un des mésons B , nous pouvons déduire les propriétés de l'autre méson B . Cette technique, appelée étiquetage du B , permet de supprimer efficacement les larges contributions du bruit de fond dans les recherches impliquant l'énergie manquante. La reconstruction complète des mésons B hadroniques est effectuée à l'aide d'un algorithme de Belle II, qui utilise un réseau d'arbres de décision boostés entraînés avec le Monte Carlo (MC). On observe un écart important dans les performances de l'étiquetage des B entre le MC et les données, ce qui constitue non seulement une source importante d'incertitude systématique, mais indique également un entraînement sous-optimal. Pour y remédier, une nouvelle procédure de contrôle, utilisant les désintégrations $B \rightarrow D \pi$ sans reconstruire explicitement les mésons D , est introduite pour calibrer l'étiquetage des B hadroniques. Cela permet d'obtenir une large statistique, tout en obtenant une grande pureté (contrairement à la procédure traditionnelle $B \rightarrow X_c l \nu$), et permet également d'étudier comment la modélisation de la désintégration du B affecte les performances de l'étiquetage du B . En appliquant des corrections aux modèles de désintégration, l'accord est considérablement amélioré. En outre, un nouvel entraînement de l'algorithme d'étiquetage des B à l'aide des simulations MC mises à jour permet d'améliorer le rejet du bruit de fond. Il est important de noter que ces efforts et d'autres améliorations du modèle de désintégration en mesurant les désintégrations hadroniques moins connues des mésons B conduiront à une meilleure performance de l'étiquetage hadronique du B , et ainsi profitera à toutes les recherches futures des modes avec énergie manquante. Après avoir reconstruit le B étiqueté et les traces chargées du signal, les événements qui contiennent un $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ ne laissent pas d'énergie supplémentaire dans le calorimètre électromagnétique (E_{ECL}). La contamination par les photons du bruit de fond du faisceau et les amas neutres provenant des processus hadroniques dégradent la résolution du E_{ECL} . Pour atténuer ce problème et optimiser la séparation avec le bruit de fond composé principalement de désintégrations B semi leptoniques, une étude du E_{ECL} est menée en utilisant l'échantillon de contrôle des désintégrations $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$. Enfin, en l'absence de signal, une limite supérieure pour le rapport d'embranchement des désintégrations $B^+ \rightarrow K^+ \tau \tau$ est estimée en utilisant les données combinées des simulations MC de Belle et Belle II.