

Titre: Etude du rayonnement additionnel dans les processus de rayonnement à l'état initial $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$ et $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ dans l'expérience *BABAR*

Mots clés: rayonnement additionnel, rayonnement dans l'état initial, ordre suivant le premier (NLO), ordre supérieur (NNLO), expérience *BABAR*

Résumé: Cette thèse présente une étude dédiée du rayonnement supplémentaire dans les événements $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$ et $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ avec un rayonnement dans l'état initial (ISR). L'étude est basée sur les données recueillies par le détecteur *BABAR*, correspondant à une luminosité intégrée de $424,2 \text{ fb}^{-1}$ et $43,9 \text{ fb}^{-1}$ à la résonance $\Upsilon(4S)$ et en dessous de la résonance, respectivement. Les événements ISR à deux corps sont sélectionnés en exigeant que l'énergie du photon ISR dans le système du centre de masse $E_{\gamma_{\text{ISR}}}^*$ soit supérieure à 4 GeV et que l'angle polaire dans le laboratoire soit compris entre $0,35$ et $2,4$ rad, et qu'il y ait exactement deux traces avec les charges opposées, chacune avec une impulsion transverse $p_T > 0,1 \text{ GeV}$ et dans la plage angulaire entre $0,4$ et $2,45$ rad. Dans les événements avec deux candidats photons ISR, le photon ISR est choisi comme étant celui avec l'énergie $E_{\gamma_{\text{ISR}}}^*$ la plus élevée. Des ajustements cinématiques d'ordre suivant (NLO) et d'ordre supérieur (NNLO) sont effectués pour étudier le rayonnement d'un ou deux photons respectivement dans les états initiaux et finals en plus du photon ISR. Plusieurs arbres de décision boostés (BDTs) basés sur la technique multivariée sont réalisés pour (1) déterminer les facteurs de normalisation des bruits de fonds multihadrons simulés à partir des processus

$q\bar{q}$ et 3π , (2) séparer les signaux dimuon et dipion des bruits de fond dans un plan bidimensionnel en χ^2 d'ajustements cinématiques avec un photon supplémentaire à petit ou grand angle, et (3) supprimer les contributions des bruits de fond dans des échantillons de dipions avec deux photons supplémentaires. Suivant les méthodes de l'analyse précédente de *BABAR*, de nouveaux résultats sont présentés sur les processus NLO et comparés aux prédictions, en comparaison avec les prédictions des générateurs Monte Carlo (MC) PHOKHARA et AFKQED. La comparaison révèle des écarts dans les taux et également dans les distributions angulaires du photon supplémentaire entre les données et le générateur PHOKHARA. Le désaccord observé a un effet négligeable sur la mesure *BABAR* de la section efficace du dipion, mais il pourrait affecter de manière plus significative d'autres mesures basées sur la méthode ISR. Pour approfondir les résultats de l'analyse NLO, une analyse 0C basée sur la reconstruction cinématique à zéro contrainte de l'échantillon complet de muons est effectuée et valide le désaccord observé. Les contributions substantielles de NNLO sont étudiées et quantifiées dans les processus dimuon et dipion. Les implications de ces résultats pour d'autres expériences sont brièvement discutées et comparées.

Title: Study of additional radiation in the initial-state-radiation processes $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$ and $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ in the *BABAR* experiment

Keywords: additional radiation, initial state radiation, next-to-leading order, next-to-next-to-leading order, *BABAR* experiment

Abstract: This thesis presents a dedicated study of additional radiation in $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$ and $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ initial-state-radiation (ISR) events. This study is based on the data collected by the *BABAR* detector, corresponding to an integrated luminosity of 424.2 fb^{-1} and 43.9 fb^{-1} at and below the $\Upsilon(4S)$ resonance, respectively. Two-body ISR events are selected by requiring the ISR photon energy in the center-of-mass frame $E_{\gamma\text{ISR}}^*$ be greater than 4 GeV and the laboratory polar angle in the range $0.35\text{--}2.4$ rad, and exactly two opposite charged tracks, each with transverse momentum $p_T > 0.1$ GeV and within the angular range $0.40\text{--}2.45$ rad. In the events with two ISR photon candidates, the ISR photon is chosen to be that with the higher $E_{\gamma\text{ISR}}^*$. Kinematic fits of next-to-leading order (NLO) and next-to-next-to-leading order (NNLO) are performed to probe the radiation of one or two photons respectively in the initial and final states in addition to the ISR photon. Several boosted decision trees (BDTs) based on the multivariate technique are performed to (1) determine the normalization factors for simulated multihadron backgrounds from $q\bar{q}$ and 3π pro-

cesses, (2) separate dimuon and dipion signals from backgrounds in a two-dimensional χ^2 plane of kinematic fits with a small- or large-angle additional photon, and (3) suppress background contributions in dipion samples with two additional photons. New results are presented for processes at NLO following the previous *BABAR* analysis, comparing with predictions from PHOKHARA and AFKQED Monte Carlo (MC) generators. The comparison reveals discrepancies in the one-photon rates and angular distributions between the data and the PHOKHARA generator. The observed disagreement has a negligible effect on the *BABAR* measurement of the dipion cross section, but it could affect other ISR-based measurements more significantly. To further investigate the results from the NLO analysis, a 0C analysis which stands for zero constraint kinematic reconstruction of the full muon sample is performed and validates the observed disagreement. Substantial NNLO contributions are studied and quantified in both dimuon and dipion processes. Implications of these results for other experiments are briefly discussed and compared.