

Resum

Al llarg de l'última dècada la física del "flavour" ha esdevingut un camp on dur a terme proves de precisió del Model Estàndard (ME) i ha proporcionat mesures extremadament acurades que restringeixen severament els models de Nova Física (NF) que hom pot construir per explicar els fenòmens de la física de partícules que tenen lloc a l'escala dels TeV. A més, la supressió de les corrents neutrals que canvien el "flavour" al ME converteix les desintegracions de mesons amb quarks de "flavours" pesats en instruments extremadament útils per buscar senyals de NP de forma indirecta.

Des d'un punt de vista teòric, el càlcul dels processos inclusius té associat menys incerteses teòriques que el de les desintegracions exclusives, però aquestes últimes són més fàcils de mesurar experimentalment. L'entrada en funcionament de l'accelerador LHC al CERN, el qual conté un experiment dedicat a estudiar el "flavour" a través de les desintegracions de mesons B (LHCb), ha creat la necessitat d'obtenir un bon control teòric sobre aquests processos exclusius. Aquesta tesi tractarà sobre una de les desintegracions del mesó B amb menys probabilitat de ser mesurades experimentalment: $\bar{B}_d^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} (\rightarrow K\pi) \ell^+ \ell^-$.

La tesi està organitzada en dos grans blocs. Primer discutirem de forma pedagògica com calcular l'amplitud diferencial de desintegració d'aquest mode exclusiu, tot revisant breument el formalisme dels hamiltonians efectius i algunes de les tècniques que permeten calcular els paràmetres no pertorbatius que apareixen als elements de matriu dels operadors efectius. Farem una breu introducció al marc de la factorització en QCD, formalisme que ens permet calcular a l'ensem les correccions factoritzables i no factoritzables a ordre α_s i a ordre 0 en una expansió en Λ_{QCD}/m_b . La cinemàtica d'una desintegració genèrica d'un cos a l'estat inicial a quatre a l'estat final i la dinàmica d'aquest procés també seran descrites detalladament.

La segona part de la tesi conté els quatre articles originals publicats, els quals tracten sobre la construcció d'observables lliures d'incerteses teòriques procedents dels factors de forma (que anomenarem "observables IFF") a ordre 0 en α_s i explicarem la importància de desfer-nos d'aquesta font d'incerteses. Els beneficis i els inconvenients d'aquesta manera de procedir s'estudien amb profunditat. També s'inclouen simulacions, obtingudes mitjançant un model de Monte Carlo senzill, del senyal experimental que podria ser detectat a LHCb quan s'arribi a lluminositats integrades de 10 and 100 fb⁻¹, tant per als observables construïts que conserven CP com pels que la violen, i es dona la forma explícita de les distribucions uniangulars en termes d'aquests observables. La sensibilitat a certs tipus de NF (principalment a corrents de quiralitat canviada i a escalars) s'estudia emprant escenaris representatius amb contribució de NF als coeficients de Wilson de l'hamiltonià efectiu. Les regions permeses per a aquestes contribucions a l'espai de paràmetres dels coeficients de Wilson es dedueixen emprant lligams d'origen tant experimental com teòric procedents de diversos observables. Finalment obtenim les simetries de la distribució diferencial de desintegració en diversos escenaris possibles i les fem per establir el nombre mínim d'observables IFF necessaris per caracteritzar completament la desintegració i extreure'n la màxima informació possible.

Abstract

Over the last decade flavour physics has become a precision testing field of Standard Model (SM), providing extremely accurate measurements which severely constrain the New Physics (NP) models that can be build to explain particle physics phenomena at the TeV scale. Moreover, the suppression of flavour-changing neutral currents in the SM turns heavy-flavoured meson decays into extremely useful instruments for the indirect search of NP signals.

From the theoretical point of view the calculation of inclusive decays suffer less from hadronic uncertainties than exclusive decays, but the latter are easier to measure experimentally. The commissioning of the LHC accelerator at CERN, with its experiment dedicated to the study of flavour through the decays of B mesons (LHCb), has created the need for a good theoretical control over these exclusive modes. This thesis will deal with one of the rarest B decays ever measured experimentally: $\bar{B}_d^0 \rightarrow \bar{K}^{*0}(\rightarrow K\pi)\ell^+\ell^-$.

This thesis is organised in two blocks. We first discuss how to calculate the differential decay amplitude of this decay mode in a pedagogical way, reviewing briefly the effective Hamiltonian formalism and some techniques to obtain the non-perturbative parameters that arise in transition matrix elements of effective operators. The QCD factorisation (QCDF) framework is introduced as a formalism to account for both factorisable and non-factorisable order α_s corrections at leading order in Λ_{QCD}/m_b . Also the kinematics of a generic four-body decay and the dynamics of this process are reviewed thoroughly.

The second part of the thesis contains the four original articles published, which deal with the construction of observables free from form factor uncertainties at leading order in α_s (named “FFI observables”) and explain the importance of getting rid of this source of uncertainties. The benefits and drawbacks of this way of proceeding are studied in depth. Simulations of the signal that could be detected at LHCb at integrated luminosities of 10 and 100 fb⁻¹ are performed using a toy Monte Carlo model for the CP -conserving and CP -violating observables proposed. The explicit form of uniangular distributions in terms of these observables is also given. Sensitivity to certain kinds of NP (mainly chirally-flipped currents and scalars) is also studied using benchmark scenarios with NP contributions in the Wilson coefficients of the effective Hamiltonian. The allowed regions for these contributions in the parameter space of Wilson coefficients is deduced using both experimental and theoretical constraints from different observables. Finally, we obtain the symmetries of the differential decay distribution in the massless lepton, massive lepton and massive leptons + scalars scenarios, and use them to establish the minimum amount of FFI observables needed to characterise the decay completely and extract the maximum amount of useful information from it.