

Streszczenie pracy doktorskiej

Poprawki od oddziaływań silnych do słabego radiacyjnego rozpadu mezonu B w rzędzie $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$ z dokładną zależnością od masy kwarku c

Abdur Rehman

Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Lipiec 2015

Proces $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$ dostarcza ważnych ograniczeń na rozszerzenia Modelu Standardowego (MS). Zgodnie z aktualnym przewidywaniem MS jego stosunek rozgałęzienia uśredniony względem CP oraz izospinu wynosi $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{MS}} = (3.36 \pm 0.23) \cdot 10^{-4}$. Przewidywanie to zgadza się bardzo dobrze z obecną średnią światową wyników eksperymentalnych $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{exp}} = (3.43 \pm 0.22) \cdot 10^{-4}$. Oczekujemy, że dokładność pomiarów znacznie się poprawi, gdy eksperyment Belle-II rozpocznie zbieranie danych w najbliższych kilku latach. Obliczenia teoretyczne muszą zatem również zostać udoskonalone, aby ich dokładność nie była mniejsza od dokładności doświadczalnej.

Istotny wkład do obecnej niepewności teoretycznej związany jest z faktem, że niektóre z poprawek od oddziaływań silnych rzędu $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$ (oznaczane przez $K_{17}^{(2)}$ i $K_{27}^{(2)}$) nie zostały jeszcze wyznaczone dla dowolnej wartości stosunku mas kwarków powabnego i pięknego m_c/m_b . Zamiast tego, znane wartości tych poprawek w przypadkach $m_c = 0$ i $m_c \gg m_b/2$ stanowią podstawę ich interpolacji w m_c , co wprowadza niepewność szacowaną na około $\pm 3\%$ w stosunku rozgałęzienia $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{MS}}$.

Jedyną metodą usunięcia tej niepewności jest wyznaczenie dokładnej zależności poprawek $K_{17}^{(2)}$ i $K_{27}^{(2)}$ od masy kwarku c . W języku diagramów Feynmana z tzw. cięciami unitarnymi oznacza to konieczność obliczenia czteropętlowych diagramów z dwiema skalami masowymi (m_c i m_b). Powiązane z nimi przeciwczołony ultrafioletowe dane są przez trzypętłowe diagramy z dwiema skalami, które należy obliczyć do rzędu $\mathcal{O}(\varepsilon)$ w parametrze regularyzacji wymiarowej ε .

W niniejszej pracy doktorskiej wyznaczona jest [1] dokładna zależność od masy kwarku c wszystkich niezbędnych diagramów z przeciwczołonami ultrafioletowymi, które dają wkład do nieznanych jeszcze części poprawek $K_{17}^{(2)}$ i $K_{27}^{(2)}$. Poprawki te pochodzą od interferencji operatorów czterokwarkowych oraz elektromagnetycznego operatora dipolowego. Odpowiadają one obecnie za największą niepewność przy obliczaniu perturbacyjnego wkładu do $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{MS}}$.

Oprócz rachunków dla dowolnej wartości m_c wyznaczamy również wiele z niezbędnych wkładów przeciwczołonowych przy $m_c = 0$, i przedstawiamy je do wszystkich rzędów w ε , gdziekolwiek tylko jest to możliwe. Nasze rezultaty

dały wkład do obliczenia warunku brzegowego przy $m_c = 0$ dla interpolacji, i w ten sposób do niedawno opublikowanej analizy fenomenologicznej rozpadu $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{MS}}$ [2].

Rozprawa zawiera opis wielu aspektów technicznych omawianych rachunków, które nie były przedstawiane w innych publikacjach, w szczególności jawne wyrażenia na wszystkie istotne wielkości poprzez tzw. całki podstawowe, a także wyniki na te całki uzyskane wieloma metodami, m.in. przy pomocy równań różniczkowych oraz algorytmu opartego na twierdzeniach Mellina i Barnes’a.

[1] M. Misiak, A. Rehman i M. Steinhauser, w przygotowaniu do publikacji.

[2] M. Misiak, H. Asatryan, R. Boughezal, M. Czakon, T. Ewerth, A. Ferroglia, P. Fiedler, P. Gambino, C. Greub, U. Haisch, T. Huber, M. Kamiński, G. Ossola, M. Poradziński, A. Rehman, T. Schutzmeier, M. Steinhauser i J. Virto, *Updated NNLO QCD predictions for the weak radiative B-meson decays*, Phys. Rev. Lett. **114** (2015) 22, 221801 [arXiv:1503.01789].

Abstract of the PhD thesis

Strong Interaction Corrections to the Weak Radiative B-Meson Decay at Order $\mathcal{O}(\alpha_s^2)$ with Exact Dependence on the c-Quark Mass

Abdur Rehman

Institute of Theoretical Physics, Faculty of Physics, University of Warsaw
July 2015

The process $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$ is known to provide important constraints on extensions of the Standard Model (SM). The present SM prediction for its CP- and isospin-averaged branching ratio reads $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{SM}} = (3.36 \pm 0.23) \cdot 10^{-4}$. It agrees very well with the current experimental average $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{exp}} = (3.43 \pm 0.22) \cdot 10^{-4}$. The experimental accuracy is expected to improve in a significant manner after the Belle-II experiment begins collecting data within the next few years. Consequently, theoretical calculations must also be upgraded to match the experimental precision.

A considerable contribution to the current theoretical uncertainty originates from the fact that some of the Next-to-Next-to-Leading-Order strong interaction corrections (called $K_{17}^{(2)}$ and $K_{27}^{(2)}$) have not yet been calculated for an arbitrary value of the charm and bottom quark mass ratio m_c/m_b . Instead, known results for these corrections at $m_c = 0$ and for $m_c \gg m_b/2$ serve as a basis for an interpolation in m_c , which introduces around $\pm 3\%$ uncertainty into $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{SM}}$.

In order to remove this uncertainty, determining the exact dependence of $K_{17}^{(2)}$ and $K_{27}^{(2)}$ on the c -quark mass is necessary. In the language of Feynman diagrams with unitarity cuts, four-loop diagrams with two mass scales (m_c and m_b) need to be evaluated. The necessary ultraviolet counterterms involve three-loop two-mass-scale diagrams that must be calculated up to $\mathcal{O}(\varepsilon)$ in the dimensional regularization parameter ε .

In the present thesis, we evaluate [1] the exact dependence on the c -quark mass of all the necessary ultraviolet-counterterm diagrams that contribute to the yet-unknown parts of $K_{17}^{(2)}$ and $K_{27}^{(2)}$. These corrections originate from interferences of four-quark and photonic dipole operators. They are currently responsible for the main uncertainty in the perturbative contribution to $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{SM}}$.

Apart from the calculation for arbitrary m_c , we also evaluate many of the necessary counterterm contributions at $m_c = 0$, and present them to all orders in ε wherever possible. Our results have contributed to the evaluation of the $m_c = 0$ boundary for the interpolation, and thus to the recently published updated phenomenological analysis of $\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow X_s \gamma)^{\text{SM}}$ [2]

The thesis contains many technical details that have not been presented elsewhere, namely explicit expressions for all the relevant quantities in terms of the master integrals, as well as results for these integrals obtained using several different methods, involving Mellin-Barnes techniques and differential equations.

[1] M. Misiak, A. Rehman and M. Steinhauser, to be published.

[2] M. Misiak, H. Asatrian, R. Boughezal, M. Czakon, T. Ewerth, A. Ferroglia, P. Fiedler, P. Gambino, C. Greub, U. Haisch, T. Huber, M. Kamiński, G. Ossola, M. Poradziński, A. Rehman, T. Schutzmeier, M. Steinhauser and J. Virto, *Updated NNLO QCD predictions for the weak radiative B-meson decays*, Phys. Rev. Lett. **114** (2015) 22, 221801 [arXiv:1503.01789].