



Warszawa 12.08.2015,

Dr hab. Krzysztof Kurek,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
ul. Andrzeja Soltana 7,
05-400 Otwock, Polska

**Recenzja pracy doktorskiej pana Abdura Rehmana
„Strong Interaction Corrections to the Weak Radiative B-Meson Decay at
Order $O(\alpha_s^2)$ with Exact Dependence on the c-Quark Mass”, wykonanej pod
kierunkiem prof. dr hab. Mikołaja Misiaka w Instytucie Fizyki Teoretycznej na
Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.**

Rozprawa doktorska pana Abdura Rehmana poświęcona jest analizie radiacyjnego inkluzyjnego procesu rozpadu mezonu $B \rightarrow X_s \gamma$, gdzie X_s oznacza dowolny stan końcowy zawierający kwark dziwny s i nie zawierający kwarku powabnego c . Pomiar i precyzyjne obliczenia powyższego procesu rozpadu mezonu B pozwalają na ustanowienie silnych ograniczeń dla parametrów potencjalnych modeli i teorii będących rozszerzeniami Modelu Standardowego (MS) a więc pozwalają testować efekty tzw. Nowej Fizyki. Stosunek rozgałęzień dla tego procesu (tzw. branching ratio), uśredniony ze względu na symetrię CP i izospin jest mierzony eksperymentalnie z dużą precyzją. Obliczenia teoretyczne uwzględniające skomplikowane poprawki, głównie pochodzące od oddziaływań silnych opisywanych w ramach Chromodynamiki Kwantowej (QCD) obecnie również osiągają podobną do eksperymentalnej precyzję. Ze względu na planowany nowy eksperyment BELLE-II, badający rozpady słabe w zderzeniach electron-pozytron oczekiwany jest istotny wzrost dokładności pomiaru dla dyskutowanego procesu, nawet o czynnik 3. Dlatego obliczenia teoretyczne także powinny być przeprowadzone z jeszcze większą precyzją. Jednym z istotnych źródeł niepewności teoretycznych w obecnie dostępnych obliczeniach są poprawki pętlowe typu NNLO (Next-to-Next-to-Leading-Order QCD) zależne od masy kwarku powabnego, a dokładniej od stosunku masy kwarku c do masy kwarku b . Poprawki te nie są znane dla dowolnej masy kwarku powabnego a jedynie w dwóch przypadkach granicznych: dla masy kwarku c równej zero i dla masy kwarku c dużo większej od połowy masy kwarku b . Dlatego oszacowania tych poprawek dla fizycznej masy kwarku powabnego wymagają interpolacji co wprowadza niepewność rzędu 3% dla stosunku rozgałęzień. Aby poprawić precyzję przewidywań i uniknąć interpolacji w masie kwarku powabnego obliczenia poprawek NNLO powinny być wykonane dla dowolnej masy kwarku powabnego. Takie obliczenia są ekstremalnie trudne i wymagają policzenia 4-pętlowych diagramów Feynmana z uwzględnieniem dwóch różnych skal masowych. Zadanie to ze względu na skomplikowanie techniczne nie może być w całości wykonane w skali czasu przeznaczoną na pracę doktorską. W prezentowanej pracy pana Rehmana policzone zostały nieco prostsze poprawki NNLO dla dowolnej masy kwarku powabnego – tzw. kontreczłony ultrafioletowe, które wymagają obliczenia diagramów 3-pętlowych z dwiema skalami masowymi. Poprawki te są niezbędne do pełnego rachunku NNLO z dowolną masą kwarku c i znajdują zastosowanie po

wykonaniu pełnego rachunku ("bare" NNLO). Otrzymane wyniki zostały porównane i sprawdzone z wcześniej wykonanymi obliczeniami w wyżej wspomnianych granicznych przypadkach. Te częściowe wyniki już znalazły zastosowanie w oszacowaniu wartości granicznej dla zerowej masy kwarku powabnego dla interpolacji w ostatnio opublikowanej analizie (Phys. Rev.Lett. ref.[2]).

Praca doktorska pana Rehmana składa się z 6 rozdziałów, 2 dodatków i spisu literatury, który liczy 196 pozycji.

W rozdziale 1 autor przedstawił krótki wstęp do fenomenologii MS, przedstawił opis radiacyjnego rozpadu mezonu B w przybliżeniu wiodącym LO, zilustrował znaczenie tego rozpadu dla poszukiwań Nowej Fizyki oraz przedstawił porównanie mierzonych wartości stosunków rozgałęzień z obecnymi przewidywaniami dla MS (z poprawkami NNLO QCD). W podrozdziale 2.1 w rozdziale 2 przedstawiono teoretyczne metody stosowane dla opisu rozpadu mezonu B. Autor opisuje metodę Lagranżjanu efektywnego, wybór bazy używanych operatorów, dyskutuje problem współczynników Wilsona i technikę grupy renormalizacji a także bardziej zaawansowane problemy jak np problem uzgodnienia (matching) i mieszania (mixing). Problem zależności elementów macierzowych operatorów od masy kwarku powabnego oraz formuła dla stosunku rozgałęzień dla radiacyjnego rozpadu B są dyskutowane w podrozdziałach 2.2 i 2.3 w rozdziale 2.

Dalsza część pracy (rozdziały 3 i 4) jest poświęcona technikom obliczeń poprawek wyższych rzędów a w szczególności metodom redukcji całek dla poprawek pętlowych do tzw "Master integrals", ich obliczenia metodami parametryzacji Feynmana-Schwingera, Mellina-Barnesa i przy pomocy techniki równań różniczkowych. Orginalny wkład autora - końcowe rezultaty obliczeń kontreczłonów w przybliżeniu $O(\alpha_s^2)$ (NNLO) z uwzględnieniem dowolnej skali masy kwarku powabnego są zaprezentowane w rozdziale 4.

Krótki przegląd sytuacji związanej ze stanem obliczeń wszystkich poprawek NNLO QCD z uwzględnieniem masy kwarku powabnego jest zaprezentowany w rozdziale 5. Rozdział 6 zawiera podsumowanie i wnioski. W dodatkach znajdują się użyteczne dla tego typu obliczeń relacje i wzory.

Obliczenia wykonane przez autora rozprawy należą do bardzo skomplikowanych i trudnych. Wymagają zastosowania zaawansowanych technik i metod obliczeniowych oraz umiejętności posługiwania się skomplikowanymi kodami numerycznymi. Do dobrego posługiwania się tymi technikami potrzebna jest dobra znajomość kwantowej teorii pola i rachunku perturbacyjnego. Publikacja otrzymanych orginalnych wyników jest obecnie w przygotowaniu (ref. [1]).

Praca napisana jest klarownie i świadczy o dobrej znajomości dziedziny przez autora. Mam tylko kilka drobnych uwag redakcyjnych:

1. na stronach 10 i 27 HQE - Heavy Quark Expansion i HQET – Heavy Quark Effective Theory są użyte wymiennie i nie jest jasne czym się różnią.
2. strona 28 – podwójnie użyto słowa "with" (... begin with with ...)
3. w spisie literatury stosowana jest konwencja cytowania wraz z tytułem pracy. Tymczasem w pozycjach 94, 113, 184 i 185 brak tytułu artykułu.

Podsumowując - Praca dotyczy ważnych i aktualnych zagadnień w fizyce, zwłaszcza w kontekście spodziewanych nowych danych doświadczalnych (np. nowy

eksperyment BELLE-II) ,precyzyjnych testów M_S i poszukiwania Nowej Fizyki.
Prezentowane wyniki obliczeń części poprawek NNLO QCD (kontrczłonów)
z uwzględnieniem masy kwarku powabnego dla inkluzywnego radiacyjnego rozpadu
mezonu B stanowią oryginalny wkład w dziedzinę i mają znaczenie dla dalszych
badań.

Przedstawiona rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.
Stawiam wniosek o dopuszczenie autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Krzysztof Kurek