

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy v Praze

- posudek vedoucího       posudek oponenta  
 bakalářské práce       diplomové práce

Autor: Pavel Motloch  
Název práce: Resumovaná chirální poruchová teorie a studium K14 rozpadů  
Studijní program a obor: Fyzika, Teoretická fyzika  
Rok odevzdání: 2012

Jméno a tituly vedoucího: RNDr. Jiří Novotný, CSc.  
Pracoviště: ÚČJF MFF UK  
Kontaktní e-mail: Jiri.Novotny@mff.cuni.cz

## Odborná úroveň práce:

- vynikající    velmi dobrá    průměrná    podprůměrná    nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné    vzhledem k rozsahu přiměřený počet    méně podstatné četné    závažné

## Výsledky:

- originální    původní i převzaté    netriviální kompilace    citované z literatury    opsané

## Rozsah práce:

- veliký    standardní    dostatečný    nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající    velmi dobrá    průměrná    podprůměrná    nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné    vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet    četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající    velmi dobrá    průměrná    podprůměrná    nevyhovující

## Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:

V předkládané práci diplomant shrnuje výsledky studia rozpadů kaonů na dva piony a pár (anti)lepton-leptonové (anti)neutrino (známé jako  $K_{14}$  rozpady). Tyto semileptonové slabé rozpady jsou velmi důležité v kontextu tzv. Chirální poruchové teorie (ChPT), t.j. teorie popisující silné interakce oktetu pseudoskalárních mezonů (pionů, kaonů a eta) v oblasti energií  $E < 1 \text{ GeV}$ . ChPT je efektivní nízkenergetickou teorií Kvantové chromodynamiky (QCD), založenou na neporuchovém efektu spontánního narušení chirální symetrie, jež je exaktní symetrií Lagrangiánu QCD v limitě nehmotných lehkých kvarků  $u, d$  a  $s$ . Formalismus ChPT umožňuje spočítat relevantní fyzikální pozorovatelné formou rozvoje v mocninách a logaritmech energie a hmot lehkých kvarků, přičemž neporuchové efekty a dynamika na škálách energií mimo oblast aplikability ChPT je parametrizována prostřednictvím tzv. nízkenergetických vazbových konstant. Tyto konstanty, které souvisí s parametry uspořádání spontánního narušení chirální symetrie a jsou proto důležitými veličinami determinujícími konkrétní scénář tohoto narušení, nejsou známy z prvních principů a je třeba je určit z experimentu nebo numerických simulací na mříži.  $K_{14}$  rozpady jsou obzvláště citlivé na tři z nich, jmenovitě  $L_1, L_2$  a  $L_3$ . Kromě tohoto aspektu jsou  $K_{14}$  rozpady zdrojem experimentálních znalostí o  $\pi\pi$  rozptylu, neboť v důsledku interakce pionů v koncovém stavu je fáze relevantních silných formfaktorů rovna fázovým posuvům v jednotlivých parciálních vlnách rozptylového procesu. Z těchto důvodů jsou  $K_{14}$  rozpady v centru pozornosti jak teoretiků tak experimentátorů. V poslední době došlo k výraznému pokroku na straně experimentu, byla publikována nová velmi přesná data z experimentů E865 v BNL a NA48/2 v CERN, tato data byla zahrnuta do nejnovějších fitů nízkenergetických konstant založených na predikcích ChPT v řádu  $O(p^6)$ . Výsledky těchto posledních fitů jsou však poněkud kontroverzní, zejména proto, že nerespektují očekávané relace založené na aproximaci QCD v limitě velkého počtu barev. Tento poslední aspekt by mohl souviset s různými schémata spontánního narušení chirální symetrie v případě dvou a tří lehkých kvarků a s tím spojeným mechanismem narušení tzv. Zweigova pravidla prostřednictvím fluktuací kvark-antikvarkového páru  $s\bar{s}$ . Průvodním efektem je pak zhoršená konvergence poruchové řady ChPT, což si vyžaduje opatrnější manipulaci s chirálními rozvoji, než umožňuje standardní forma ChPT. Formalismem, který bere v úvahu jak aspekty možných různých scénářů narušení chirální symetrie, tak i případné defekty v konvergenci poruchových řad, je tzv. Resumovaná chirální poruchová teorie (RChPT), v rámci tohoto formalismu dosud  $K_{14}$  rozpady nebyly vyšetřovány. Cílem diplomové práce bylo proto spočítat v RChPT silné formfaktory spojené s těmito rozpady a analyzovat možnost extrakce nízkenergetických konstant  $L_1, L_2$  a  $L_3$  srovnáním výsledků výpočtu s experimentálními daty.

Práce je rozdělena do pěti kapitol, pěti dodatků a jedné přílohy (tou je diplomantem napsaný program v systému Mathematica použitý k výpočtu smyčkových grafů). První až třetí kapitola je rešeršního charakteru, uvádí základní poznatky z teorie efektivních Lagrangiánů, diskutuje krátce ChPT ve standardní a resumované formě a v přehledné formě shrnuje základní fenomenologické aspekty  $K_{14}$  rozpadů, t.j. kinematiku, výsledky předchozí analýzy v rámci standardní ChPT a parametrizaci experimentálních výsledků.

Čtvrtá a pátá kapitola shrnuje diplomantovy původní výsledky. První z nich obsahuje analytický výpočet silných formfaktorů spojených s rozpadovým procesem na úrovni jedné smyčky, s podrobným popisem použitého formalismu a vytvořeného programu v Mathematice. Hlavním výsledkem této kapitoly jsou formule (4.49)-(4.56), které vyjadřují formfaktory v uzavřeném tvaru jako funkce relevantních parametrů spojených se scénářem narušení chirální symetrie a nízkenergetických vazbových konstant. Následující kapitola je

pak věnována numerické analýze a konfrontaci s experimentálními daty. Jsou zkoumány dvě metody extrakce konstant  $L_1$ ,  $L_2$  a  $L_3$ , porovnán numerický výstup obou metod a pečlivě analyzován vliv tzv. zbytků (což jsou dodatečné parametry zaváděné v RChPT k popisu příspěvků vyšších chirálních řádů) na celkovou chybu výsledku. Je také testována konvergence chirální řady pro formfaktory v celé kinematické oblasti a konstatována nekompatibilita předpokladu přirozené velikosti kvadratického zbytku s experimentálními daty v okolí horní hranice fyzikální oblasti. Je také testována možnost zlepšení teoretického popisu případným rozšířením efektivní teorie o nejnižše položenou skalární rezonanci (sigma meson), výsledek zjednodušeného výpočtu naznačuje důležitost tohoto stupně volnosti pro pochopení chování formfaktorů v této oblasti. Apendixy pak shrnují některé technické detaily a použité formule.

Zadání diplomové práce stavělo před diplomanta poměrně náročný úkol seznámit se s formalismem RChPT na úrovni jedné smyčky, zvládnout nestandardní techniku výpočtů pomocí vytvářejícího funkcionálu a příslušně modifikovaných Feynmanových pravidel včetně aktivního ovládnutí systému Mathematica a v něm napsaného balíku FeynCalc a konečně zorientovat se v experimentálních datech, která byla použita k numerické analýze. Tohoto úkolu se diplomant zhostil dle mého názoru velmi úspěšně, oceňuji jeho iniciativu a píli, schopnost zvládnout v krátkém čase nové poznatky a spolehlivě a rychle provádět poměrně složité výpočty. Výsledky práce jsou zajímavým příspěvkem k diskusi o kontroverzních konstantách  $L_1$ ,  $L_2$  a  $L_3$ .

Samotná práce je napsána přehledně, bez věcných chyb, výsledky jsou presentovány jasně a srozumitelně, v neposlední řadě oceňuji i jazykovou a grafickou úroveň práce. Doporučuji, aby byla uznána jako práce diplomová a hodnocena známkou výborně.

#### **Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:**

-

#### **Práci**

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou

#### **Navrhuji hodnocení stupněm:**

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího:

V Praze 7. 9. 2012

J. Novotný