

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy v Praze

- |                                            |                                                      |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> posudek vedoucího | <input checked="" type="checkbox"/> posudek oponenta |
| <input type="checkbox"/> bakalářské práce  | <input checked="" type="checkbox"/> diplomové práce  |

Autor/ka: Tomáš Husek  
Název práce: Nová fyzika v procesech při nízkých energiích  
Studijní program a obor: teoretická fyzika  
Rok odevzdání: 2013

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: Mgr. Marián Kolesár, Ph.D.  
Pracoviště: ÚČJF  
Kontaktní e-mail: kolesar@ipnp.troja.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:

I když je momentálně v částicové fyzice v záři reflektorů limita vysokých energií, není vyloučeno, že překvapení se můžou skrývat i v nízkoenergetické oblasti. Standardní model elementárních částic (SM) popisuje elektromagnetické, silné a slabé interakce na této škále zpravidla velice přesně. Pokud je však nějaký konkrétní proces v SM výrazně potlačen, otevírá se možnost vlivu neznámé fyziky, pokud by tato tomuto potlačení nepodléhala. Predikce SM však mohou být nepřesné i z jiného důvodu – kvantová chromodynamika (QCD), dnes obecně považována za správnou teorii silných interakcí, je na škále nízkých a středních energií (do několika GeV) z důvodu uvěznění kvarků stále jen málo efektivní při snaze o porozumění experimentálním datům. Proto v této oblasti nezbývá než se uchýlit k aproximativním modelům a následně citlivě posuzovat, jestli jsou případné diskrepance mezi predikcemi a daty signálem nové fyziky anebo, což je běžnější, jsou naopak dané nedokonalým pochopením silných interakcí v rámci SM.

Předkládaná práce studuje pěkný příklad procesu, kde jsou obě tyto možnosti otevřené. Jedná se o rozpad neutrálního pionu, po svých nabitých bráscích nejlehčího hadronu, na pár elektron-positron. Rozpadová šířka procesu je i ve vedoucím řádu v SM z několika důvodů potlačena – zejména druhou mocninou konstanty jemné struktury ( $\alpha \sim 1/137$ ). Větvicí poměr je tak řádově jenom  $10^{-8}$ . Relativně nedávné výsledky experimentu KTeV ve Fermilabu podnítily teoretiky k obnovenému zájmu. Jak již bylo naznačeno, jakožto hadronový proces jej nelze spočítat obvyklými metodami přímo z lagrangianu SM a do hry tak vstupují dodatečné aproximace a předpoklady. Některé práce našly poměrně velkou diskrepanci mezi předpovědí a experimentem, až  $3.3\sigma$ . Nejaktuálnější publikace, citovaná jako [2] (Novotný, Vaško JHEP 2011), však tak velkou diskrepanci zpochybnila, a to výpočtem radiačních korekcí v kontextu systematického rozvoje Chirální poruchové teorie (CHPT), jakožto nízkoenergetické limity QCD. Jako stěžejní se jeví otázka velikosti efektivního kontrčlenu  $\chi^{(r)}$  - jestli je potřebné hledat vysvětlení za SM závisí na tom, jak spolehlivé jsou jeho modelově závislé odhady, typicky pomocí rezonancí v limitě velkého počtu barev.

Diplomová práce, i když je formálně motivovaná hledáním nové fyziky, přímo vstupuje do této diskuze a nejprve se poctivě snaží najít vysvětlení v rámci SM. Přímou navazuje na práci [2] a tam použitou aproximaci brzdného záření v limitě měkkých fotonů ověřuje kompletním výpočtem do daného řádu. Tento výpočet pak zúročuje i pro dopočetí bremsstrahlungového interferenčního členu zanedbaného experimentátory v KTeV a obdrží tak opravu k publikované experimentální hodnotě větvicího poměru. Hadronové korekce dalšího řádu se snaží odhadnout pomocí spočtení divergentních částí diagramů a extrahování vedoucí (tj. druhé) mocniny logaritmické části. Všechny tyto korekce jsou numericky vyhodnoceny jako relativně malé a výsledná diskrepance ve větvicím poměru je vyčíslena na  $1.6\sigma$ . Obrácením postupu je získán jednoduchý odhad pro kontrčlen  $\chi^{(r)}(M_p)=4.4\pm 1.0$ , signifikantně odlišný od rezonanční hodnoty  $\chi^{(r)}(M_p)=2.2\pm 0.9$ .

Za hranici SM se práce podívá použitím obecného modelu s U-bozonem, lehkým neutrálním vektorovým kalibračním bozonem nějaké neznámé symetrie, typicky vázaného na tmavou hmotu. Za předpokladu velikosti hmoty U-bozonu je odvozen odhad pro vazbovou konstantu, který není v rozporu s experimentem, tj. uvedenou diskrepanci by byl tento model schopen vysvětlit.

Krátce je také zmíněna souvislost s mionovým magnetickým momentem ( $g-2$ ), podobným případem veličiny, kde je vyhodnocení diskrepance závislé na neurčitostech hadronového příspěvku.

V práci bohužel chybí jakýkoliv teoretický úvod, který by objasnil nuance v tom, co se myslí SM na nízkých energiích. Pouze okrajově je zmíněna CHPT, v jejíž rámci je ve skutečnosti celý výpočet zasazen, a tak se ztrácí ucelený obraz a lagrangiany padají bez vysvětlení ad hoc „z nebe“. Absentuje také analýza přístupu v experimentu KTeV a hlubší rozbor stěžejního článku [2], na které práce přímo navazuje. Výsledkem je tak absence kontextu a bez pečlivé konzultace literatury je práce jen stěží plně

pochopitelná. Není při tom problémem rozsah citací, autor cituje na potřebných místech a seznam použité literatury je slušný, i když několik referencí mi chybí.

Druhou slabší stránkou je jazyková a literární úroveň. I po odhlédnutí od náhodného rozdělení členů je použitá angličtina dosti kostrbatá a často zavání doslovními překlady z češtiny (třeba hned v úvodní větě práce „physical experiments are still more sensitive“ což zní jako „fyzické experimenty přetrvávají více citlivé“ a ne „fyzikální experimenty jsou stále více citlivé“, korektně „experiments in physics are getting more and more sensitive“). Navíc text ne vždy diskutuje cíle a odůvodňuje použité postupy, občas se vyskytují protichůdné a zkratkovité formulace. Spolu se zmíněnou absencí kontextu je tak práce dost těžce čitelná a porozumění od čtenáře vyžaduje určité úsilí.

Je potřebné zdůraznit, že s uvedenými negativy kontrastuje značná výpočetní náročnost práce a různorodost použitých přístupů. Výpočetní kroky jsou dostatečně podrobně rozvedené a analytické výsledky zpravidla pečlivě rozepsané, což budí důvěru v jejich správnost. Pokud lze být kritický k formě jakou je práce napsaná, k její výpočetní podstatě nemám výraznějších výhrad. Stejně tak je solidní i vizuální stránka, které není co vytknout.

Ve výsledku působí práce rozporupně. Otázkou pak je, jaký důraz klást na jednotlivé její stránky. Když pomineme cizí jazyk, tak do jaké míry autor rozvede teoretické základy, uvede čtenáře do kontextu a okomentuje postup je věcí subjektivního vkusu. I v špičkových vědeckých časopisech se vyskytují těžce čitelné publikace. Nelze přitom říci, že by po výsledkové stránce práci něco chybělo. Pokud tedy budeme akcentovat samotné výsledky a ne literární úroveň, byli bychom příliš přísní pokud by jsme nehodnotili práci kladně.

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

Vzhledem k uvedenému bych si dovilil diplomanta za účelem hodnocení požádat, aby si připravil pro osobní prezentaci na obhajobě odpovědi na následující otázky:

- 1) Můžete prosím rozvést jak přesně souvisí Vaše výpočty se SM jakožto lagrangiány QCD a elektroslabých interakcí? Zajímá mně obecný kontext.
- 2) V návaznosti na 1) prosím uveďte odkud se berou Vámi použité lagrangiány, konkrétně (3.1), (5.11), (5.12) a (5.52) a (5.62) ?
- 3) Opravovat experimentální analýzu z pozice teoretika zní na první pohled jako troufalost. Můžete objasnit proč jste interferenční člen brzděného záření nezahrnul do teoretické predikce?

Za podmínky uspokojivého zodpovězení těchto dotazů navrhuji práci hodnotit stupněm výborně.

### **Práci**

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

### **Navrhuji hodnocení stupněm:**

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta: Praha, 20.5.2013