

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy v Praze

- posudek vedoucího       posudek oponenta  
 bakalářské práce       diplomové práce

Autor: Jaroslav Trnka  
Název práce: Resonances in Chiral perturbation theory  
Studijní program a obor: Fyzika, F1-Teoretická fyzika  
Rok odevzdání: 2007

Jméno a tituly vedoucího: RNDr. Jiří Novotný, CSc.  
Pracoviště: Ústav částicové a jaderné fyziky  
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:**  
přiloženo na zvláštním listu

**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/oponenta:  
V Praze 7.9.2007



## Příloha posudku diplomové práce Jaroslava Trnky:

V předkládané diplomové práci diplomant shrnuje výsledky studia různých formálních aspektů tzv. Chirální teorie rezonancí (v originálu Resonance chiral theory (*RChT*)). Ta představuje rozšíření Chirální poruchové teorie (*ChPT*), která je nízkenergetickou efektivní teorií kvantové chromodynamiky (*QCD*). *ChPT* popisuje dynamiku (pseudo)Goldstonových bosonů (ztotožňovaných s oktetem pseudoskalárních mesonů  $\pi, \eta$  a  $K$ ) příslušejících spontánně narušené chirální symetrii  $SU(3) \times SU(3)$  v oblasti energií  $E \ll \Lambda_H \sim 1\text{GeV}$ . *RChT* je pak jejím fenomenologickým rozšířením použitelným v oblasti energií  $E \sim 1\text{GeV}$ , kde jsou kromě (pseudo)Goldstonových bosonů aktivními stupni volnosti i nejnižše ležící mezonové rezonance typu  $1^{--}, 1^{++}, 0^{++}$  a  $0^{-+}$ . Z teoretického hlediska lze *RChT* chápat jako aproximaci ke *QCD* v limitě nekonečného počtu barev. Od *RChT* lze přejít zpět k *ChPT* formálními odintegrováním polí popisujících rezonance a omezením se na rozvoj do daného řádu (v současné době do řádu  $O(p^6)$ ). Z prvních principů neznámé parametry Lagrangianu *ChPT*, tzv. nízkenergetické vazbové konstanty (*LEC*) jsou pak vyjádřeny pomocí původních parametrů rezonančního Lagrangianu a ty jsou experimentálně dostupné. Za předpokladu, že *LEC* jsou saturovány právě příspěvky nejnižše ležících rezonancí, tento postup umožňuje jejich predikci. Zkušenost s konstantami Lagrangianu řádu  $O(p^4)$  ukazuje zejména na důležitost vektorových rezonancí, jejichž příspěvky do  $O(p^4)$  *LEC* dominují, a dává naději tímto způsobem predikovat i neznámé konstanty řádu  $O(p^6)$ , kterých je v tomto řádu kolem stovky. To je v současnosti aktuální téma, neboť rychle přibývá *ChPT* výpočtů v rámci  $O(p^6)$ .

*RChT* v současné podobě není dosud na rozdíl od *ChPT* zformulována v kanonizované formě a mnohé otázky zůstávají otevřené. Ve své práci se diplomant zaměřil jednak na porovnání různých forem lagrangeovských formulací teorie pro vektorové rezonance, jednak na kompatibilitu těchto různých formulací s vysokoenergetickým chováním korelátorů proudů diktovaných *QCD* a jednak na problematiku počítání jednosmyčkových korekcí a jejich souvislost se stabilitou jednočásticového spektra *RChT*.

Práce je členěna do šesti kapitol a tří dodatků. První a druhá kapitola představuje rešeršní část práce. První kapitola je stručným úvodem do problematiky *ChPT*, diskutuje různé typy realizace symetrií v kvantové teorii pole, spontánní narušení symetrie a Goldstonův teorém, vlastnosti Greenových funkcí vzhledem k symetriím, nelineární realizace grup, chirální Wardovy identity a konstrukce efektivního lagrangianu *ChPT*. Druhá kapitola sumarizuje základní principy *RChT* a dále se zaměřuje na různé možnosti popisu hmotných částic se spinem 1 v rámci efektivní kvantové teorie pole: pomocí vektorového (Proca) pole, antisymetrického tensorového pole a také nově užitím formalismu prvního řádu, který používá oba zmíněné typy polí současně. Jsou zde tabelovány baze operátorů, podrobně diskutovány relace mezi jednotlivými druhy formalismů a vlastnosti odvozených efektivních chirálních Lagrangianů. Tato část diplomové práce je napsána jasně, srozumitelně a je spíše zaměřena na zdůraznění aspektů podstatných pro konkrétní výpočty v dalších kapitolách než na úplnost a uzavřenost.

Třetí kapitola obsahuje první část samostatných diplomantových výsledků, týkajících se stromových výpočtů konkrétních Greenových funkcí v jednotlivých variantách *RChT* a analýzy jejich vedoucího vysokoenergetického chování diktovaného Wilsonovým rozvojem operátorových součinů v rámci *QCD*. Dále jsou zde uvedeny relace mezi vazbovými konstantami příslušných Lagrangianů vyplývajících z požadavků splnění požadovaného asymptoto-

tického chování a odpovídající příspěvky do  $LEC$  získané pomocí sešití s  $ChPT$  na nízkých energiích. Výsledky této kapitoly rozšiřují výpočty publikované v článcích [A] a [B], jichž je diplomant spoluautorem.

Čtvrtá kapitola je pokračováním předchozí kapitoly, je věnována speciální čtyřbodové Greenově funkci se dvěma vektorovými proudy a dvěma pseudoskalárními hustotami, která je fenomenologicky svázána např. s pionovým Comptonovým rozptylem. Cílem bylo testovat jednotlivé formalismy pro popis vektorových rezonancí z hlediska splnitelnosti Foissartovy meze v tomto procesu. Diplomantovi se podařilo ukázat, že tento požadavek může být splněn i v případě použití tensorového formalismu, což bylo v dosavadní literatuře někdy zpochybňováno. Tato Greenova funkce má složitou tensorovou a grupovou strukturu (je v obecném případě posána pomocí 25 skalárních formfaktorů) a proto je třeba ocenit, jak si diplomant poradil s relativně velmi složitým výpočtem. Výsledky budou součástí připravovaného článku [E].

Pátá kapitola je věnována jednosmyčkovým výpočtům, konkrétně renormalizaci propagátorů rezonancí. Explicitní výpočty ukázaly, že kontrčleny potřebné k odstranění divergencí obsahují kromě očekávaných typů kinetických členů i členy zodpovědné za propagování dodatečných stupňů volnosti, nepřítomných ve stromovém přiblížení. Tyto dodatečné stupně volnosti mohou být stavy s negativní normou (duchy) nebo tachyony. To představuje zajímavý výsledek, v kontextu  $RChT$  dosud v literatuře nezmiňovaný. Diplomantovy konkrétní výpočty budou součástí připravovaného článku [D].

Šestá kapitola je krátkým shrnutím získaných výsledků.

Nedílnou částí práce jsou dodatky, sumarizující jednak formule potřebné pro konkrétní výpočty (zde je třeba ocenit kompletní seznam Feynmanových pravidel), jednak výsledky, které jsou natolik dlouhé, že jejich zařazení do hlavního textu by působilo rušivě.

Diplomová práce prezentuje nové výsledky, z nichž některé jsou součástí publikací v recenzovaných časopisech, s částí se počítá do připravovaných článků. Svědčí o diplomantově schopnosti efektivně si osvojit aparát kvantové teorie pole, rychle se orientovat ve složitých kvantově-polních výpočtech a aktivně se účastnit práce skupiny chirální poruchové teorie na ÚČJF. Velmi také oceňuji jeho iniciativní přístup k řešení konkrétních problémů, jeho pohotovost a pracovitost. V neposlední řadě bych rád připomenul, že diplomant práci dokončil o rok dříve než je obvyklé. Samotná práce je napsána jasně, srozumitelně a přehledně. Nenašel jsem v ní věcné chyby s výjimkou několika tiskových chyb a několika drobných formulačních neobratností, které však nepovažuji za postnatné. Doporučuji, aby byla uznána jako práce diplomová a hodnocena známkou výborně.