Posudek školitele na disertační práci Mgr. Tomáše Kadavého

„Effective description of resonances
at low energy region“

Mgr. Tomáš Kadavý vypracoval disertační práci z oblasti nízkoenergetické kvantové chromodynamiky (QCD). QCD je akceptovaná teorie silných interakcí, založená na kalibrační symetrii, kde vektorové bosony nazýváme gluony a hmotné fermiony kvarky. Ač zdánlivě jednoduchá teorie, její dynamická struktura a fenomenologické důsledky představují do dnešního dne otevřený problém fundamentální částicové fyziky. Hlavním důvodem je narušení poruchového rozvoje pro nízké energie, resp. velké vzdálenosti a (s tím související) tzv. confinement, uvěznění. Důsledkem je, že pro energie přibližně $E \lesssim 1\ \mathrm{GeV}$ musíme při popisu tzv. barevně-neutrálních objektů, hadronů (tj. baryonů a mesonů), jít za rámec poruchové teorie QCD. Pracujeme tedy na nízkoenergetickém efektivním popisu. Existují dvě základní metody. První metoda představuje přímější cestu z hlediska teoretického, kde se popis kvantové kalibrační teorie provádí pomocí numerické diskretizace časoprostoru (jde o tzv. lattice). Druhá metoda, přímější z hlediska fenomenologického, používá jako stupně volnosti přímo fyzikální objekty (v disertační práci mesony) a uvažuje všechny možné interakční vertexy, které jsou ve shodě se základními symetriemi a principy v teorii. Druhá metoda byla hlavní součástí disertační práce, zatímco lattice výsledky představují jen jistý doplněk, případně ověření.

Samotná disertační práce obsahuje dvě části: úvod a dvě přetištěné původní vědecké práce. První práce již byla publikována v prestižním časopise (JHEP) a druhá je v recenzním řízení. Teoretický úvod je pojat velice štědře a provede i nezasvěceného čtenáře dostatečně podrobně nutnými technickými detaily. Rád bych zdůraznil, že funguje velice dobře nejen jako úvod ke zmiňovaným článkům, ale v některých ohledech je také rozšiřuje a doplňuje, zejména část „Contribution of Resonances within RChT“. Kromě této části obsahuje ještě další tři sekce. V první sekci lze najít stručný úvod do kvantové chromodynamiky, chirální poruchové teorie a rezonanční teorie. Tyto dvě efektivní polní teorie představují základní rámce pro efektivní metodu studia vlastností QCD, jak již bylo naznačeno v prvním odstavci. Základními objekty, které jsou již jen několik kroků od fyzikálně měřitelných veličin, jsou Greenovy funkce. Těmto funkcím, jejich definici, vysvětlení použití, kvantovým vlastnostem a klasifikaci, je věnována sekce 2. Poslední úvodní částí je sekce 3. Základem této sekce je pedagogická část zaměřená na OPE (operator product expansion) a detaily tzv. Fock-Schwinger kalibrace.

Hlavní motivací samotné vědecké části disertace bylo systematicky prostudovat některé

aspekty neporuchových přístupů ke kvantové chromodynamice. Jak již bylo zmíněno, studovaná problematika je rozdělená do dvou článků. Hlavním cílem pak bylo uvést do souladu parametrizaci a výsledky Rezonanční chirální teorie s chováním ve vysokých energiích.
První článek, „OPE of Green Functions of Chiral Currents“, vymezuje a studuje všechny tříbodové korelátory a vyjadřuje je pomocí QCD kondenzátů do dimenze šest (konrétně pomocí kvark, gluon, kvark-gluon a čtyřkvarkového kondenzátu). Nejen, že byly poprvé provedeny některé výpočty, ale článek představuje místo, kde jsou všechny tyto výsledky shrnuty na jednom místě pomocí jasně definované konvence. Pro úplnost zde čtenář nalezne také kompletní OPE pro dvoubodové funkce.
Druhý článek studuje tříbodové korelátory kvarkových bilineárů v rámci rezonanční teorie a dává je do souladu s vysokoenergetickými omezeními. Tento přístup omezuje počet volných parametrů a uvedené parametry musí být určeny z fenomenologie, případně lattice simulace. Demonstrace fyzikální relevance analýzy je provedena pro rozpad $\pi^0 \to e^+e^-$ a příspěvku pionového pólu light-by-light rozptylu v mionovém g-2.

Výzkumná část práce se nerodila úplně bez problémů a to zejména z důvodu komplexnosti studovaného tématu. Bylo nutné vyzkoušet různé cesty, například nastavit ideální kalibraci a zvolit vhodnou konvenci a parametrizaci. Bohužel mnohé vyzkoušené cesty byly časově náročné a často se ukázaly jako slepé až na konci. Tomáš Kadavý nicméně pracoval svědomitě a odhodlaně a úspěšný výsledek je zejména důsledkem jeho neúnavnosti. Časově náročné bylo také studium existující literatury. V neposlední řadě, již publikované výsledky nebylo možné jednoduše použít a navázat na ně. Bylo zapotřebí tyto výsledky přepočíst a to nejen z důvodu použití jiné konvence, ale také z důvodu kontroly přesnosti publikovaných výsledků (doktorand objevil mnoho překlepů a chyb). Veškerou tuto mravenčí práci provedl Tomáš Kadavý naprosto samostatně. Osobně považuji toto za největší přínos předkládané práce – povedlo se tak na jednom místě shrnout jednotný popis dané problematiky. Věřím a doufám, že s minimem chyb a překlepů.
Závěrem bych rád zdůraznil, že doktorand nejen samostatně pracoval na technické stránce jednotlivých problémů, ale tento obsah diskutoval, představoval a obhajoval při různých příležitostech a seminářích. Lze například zmínit více než deset mezinárodních konferencí, kde Tomáš téma představoval (viz. strana 69 disertace).

Jsem přesvědčen, že předložená práce splňuje předpoklady kladené na disertační práci a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Praze 28. srpna 2022

Karol Kampf, školitel
Ústav částicové a jaderné fyziky, MFF UK