

Oponentský posudek dizertační práce

Karel Kolář: Investigation of the factorization scheme dependence of finite order perturbative QCD calculations

V této dizertační práci studuje její autor otázky týkající se definice partonových distribučních funkcí, repektive možností, které skýtá nejednoznačnost spojená s faktorizační procedurou – s výběrem faktorizačního schematu a faktorizační škály. Tato nejednoznačnost, „ideově“ podobného původu jako nejednoznačnosti spojené s renormalizací v rámci poruchové teorie a v technickém smyslu s nimi úzce propojená, se projeví i v předpovědích teorie pro měřitelné veličiny, pokud jsou příslušné řady poruchové teorie „useknuty“ a používají se výrazy v konečném řádu – což je ovšem u teorií, o kterých věříme, že popisují náš reálný svět, asi jediný způsob, jakým lze prakticky počítat. U předpovědí kvantové chromodynamiky, o níž v práci jde, se tyto nejednoznačnosti projevují výrazně a jsou asi nejvíc v obecném povědomí.

V předkládané práci jsou otázky spojené s libovůlí při definici faktorizační procedury do velké hloubky rozebrány jak na obecné a formální úrovni, tak velmi podrobně na úrovni kvantitativní, formou srovnání konkrétních číselných hodnot různých veličin vyjádřených a spočítaných v rozdílných faktorizačních schemech a při různých faktorizačních škálách. Bezprostřední motivací deklarovanou autorem je snaha o využití libovůle ve výběru faktorizačního schematu při konstrukci generátorů Monte Carlo, které by konzistentně využívaly výrazů v next-to-leading (NLO) řádu pro tvrdé partonové procesy. To by splňovalo tzv. faktorizační schéma ZERO definované tak, že výrazy pro závislost distribučních funkcí na faktorizační škále by byly v NLO řádu formálně stejné jako ve vedoucím řádu.

Po obecném úvodu, v němž autor velmi přehledně a srozumitelně charakterizuje danou problematiku a formuluje svoji motivaci, následuje v kapitole 2 podrobný a obecný rozbor otázek spojených např. s renormalizací, faktorizací, změnou renormalizačního resp. faktorizačního schematu, evolučních rovnic a závislosti na škále, specifikace faktorizačního schematu pomocí hodnot konečných částí větvičích funkcí a podobně – jedním slovem všeho, co bude využito v konkrétním kontextu v dalších kapitolách. Velmi oceňuji, že ačkoliv je vše na přísně formální úrovni (je tu množství formulí, zavádí se notace pro množství veličin apod.), autor napsal tuto kapitolu velmi srozumitelně, s přesnými formulacemi a – dalo by se říci – s ohledem na potenciálního čtenáře.

Nejinak je tomu ostatně i v dalších částech práce. Kapitola 3 se věnuje aplikaci obecných formulí z předchozí diskuze na konkrétní případ – závislosti na faktorizaci a otázkám s tím spojeným v přiblížení řádu NLO, což odpovídá ve většině případů tomu, které členy již byly spočítány v poruchových rozvoji relevantních veličin a tudíž jsou k dispozici pro další konkrétní výpočty. To je předmětem kapitoly 4, která je věnována podrobným numerickým výpočtům v NLO a srovnání numerických hodnot pro koeficientní funkce, distribuční funkce a strukturní funkce vyjádřené ve faktorizačním schematu ZERO s hodnotami v široce používaném schematu MS-bar. Výpočty, jejichž výsledky autor prezentuje formou velmi přehledných grafů s pečlivě formulovaným popisem a komentáři v textu, potvrzují to, k čemu dospěl už při obecných úvahách v předchozích kapitolách – schéma ZERO ne zcela splňuje naděje, které do něj mohly být vkládány v souvislosti s možnou konstrukcí konzistentních MC generátorů v řádu NLO. Konkrétně, pro případ singletních funkcí má schéma ZERO omezenou oblast použitelnosti, pro malé hodnoty x (zhruba pro $x < 0,1$) mají koeficientní

funkce, distribuční funkce i strukturní funkce sklon chovat se „divoce“, nabývat velkých číselných hodnot a obecně jsou nevhodné pro použití v počítačových generátorech událostí. V kapitole 4 jsou tyto otázky velmi podrobně diskutovány a je vymezena oblast, ve které je schéma ZERO naopak plně použitelné.

V 5. kapitole autor s využitím závěrů, k nimž dospěl v předchozí kapitole, zkoumá možnost definovat „kompromisní“ faktorizační schéma, které by mohlo schéma ZERO v NLO generátorech nahradit - bylo by mu v nějakém smyslu dostatečně „blízké“, ale zároveň by nemělo nepříjemné vlastnosti diskutované v kapitole 4. Definuje pojem „blízkosti“ faktorizačních schémat a opět prezentuje výsledky důkladné numerické analýzy. Závěr této kapitoly také nevyznívá úplně optimisticky - schéma, které by nevykazovalo žádná omezení na praktickou použitelnost a zároveň bylo dostatečně „podobné“ faktorizačnímu schématu ZERO, patrně neexistuje. Tento závěr, stejně jako závěr předchozí kapitoly, lze označit za do jisté míry překvapivý.

Shrnutí a podrobnou diskuzi toho, k čemu autor dospěl, tvoří obsah kapitoly 6. Některé technické podrobnosti jsou popsány v přílohách A až D.

Autor mě svou prací přesvědčil, že do velké hloubky pronikl do dané problematiky. Odvedl vynikající práci jak při formulování problému a jeho teoretickém zpracování, tak při numerických výpočtech a diskuzi jejich výsledků. Pronikl do dosud neprobádaných oblastí – faktorizační schéma nazývané v práci ZERO a jeho praktickou použitelnost v daném kontextu patrně dosud nikdo ani zdaleka tak podrobně neprozkoumal.

K práci nemám formální připomínky, naopak bych rád vyzdvihl pečlivost, s jakou byla napsána, a preciznost a srozumitelnost, s jakou autor formuluje své výroky. Moje dotazy se týkají následujících drobností:

- V úvodu kapitoly 4.2 se píše tom, že teoretické předpovědi diskutované na tomto místě jsou pro 3 vůně kvarků s nulovou hmotností a nezahrnují příspěvek těžkých kvarků c , b . Dá se odhadnout (alespoň kvalitativně), jak by jejich zahrnutí ovlivnilo výsledky (např. ve srovnání s 5 „nehmotnými“ vůněmi, což je případ diskutovaný na str. 33)?
- Tamtéž se lze dočíst, že škála M_T použitá při $n_f = 5$ byla 10^7 GeV, zatímco na str. 29, že pro $n_f = 3$ bylo $M_T = 100$ GeV. Proč rozdíl o tolik řádů?

Závěrem chci zdůraznit, že práci považuji za velmi dobrou. Autor prokázal schopnost samostatně a tvořivě vědecky pracovat. Dosáhl původních výsledků, které publikoval v mezinárodním časopisu JHEP. Navrhuji proto, aby byl Mgr. Karlu Kolářovi po úspěšné obhajobě udělen titul Ph.D.

V Praze 23.2.2012

RNDr. Jiří Rameš, CSc.
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

