

Oponentský posudek na doktorskou dizertační práci doktoranda

Mgr. Radima Slovák

“Study of jet fragmentation and inclusive jet production in heavy-ion collisions with the ATLAS experiment“

Hlavním cílem analýzy, jež je v této dizertační práci popisována, je měření fragmentačních funkcí jetů a inkuzivních účinných průřezů produkce jetů experimentem ATLAS ze srážek jak těžkých iontů, tak protonů s protony na urychlovači LHC v CERN. Fragmentační funkce i účinné průřezy byly proměřeny v závislosti na příčném impulsu jetů, p_T , rapiditě, y , a centralitě v případech těžkých iontů. Fragmentační funkce byly proměřeny při celkové těžišťové energii 2.76 TeV v rozsahu p_T jetů 100-398 GeV a $|y| < 2.1$ pro p_T nabitých částic větších jak 1 GeV. Výtěžky a jaderné modifikační faktory R_{AA} byly získány z dat o energii 5.02 TeV. Rozsah v p_T jetů je 100 -1000 GeV a v rapiditě $|y| < 2.8$. Faktory R_{AA} vykazují nárůst s rostoucím p_T jetů a se snižující se centralitou. Fragmentační funkce i R_{AA} a inkuzivní jetové účinné průřezy byly proměřeny v minulosti pro jiné těžišťové energie experimentem ATLAS, avšak pro uvedené těžišťové energie se jedná o první měření, jež jsou také základem publikace za kolaboraci ATLAS. Tato měření jsou jednak přesnější (díky větší statistice) a jednak rozšiřují probádanou kinematickou oblast. Tím poslouží k pochopení procesů modifikací partonových spršek při průchodu hustým prostředím a obecně tedy ke srovnání s teoretickými modely snažícími se popsat zhášení jetů.

Disertační práce má 131 stran, sestává ze 6 hlavních kapitol, z obsahu, dvou dodatků a seznamu literatury čítajícím 99 referencí. Práce je napsána velmi dobrou angličtinou, logika řazení faktů a vyjadřovací schopnost jsou na velmi dobré úrovni. Hlavní a důležitá fakta jsou vhodně ilustrována – až na výjimky, které jsou diskutovány níže.

V první kapitole je nastíněno teoretické pozadí, zejména tedy základy Standardního Modelu a fyziky jetů, založené na Kvantové Chromodynamice, partonových distribučních funkcích protonu (PDF) a na jetových algoritmech, zejména na algoritmu anti-kt, použitém v analýze. Dále jsou vysvětleny základní pojmy teorie srážek těžkých iontů, zejména zhášení jetů, Glauberův model, centralita, fragmentační funkce a jaderný modifikační faktor.

Druhá kapitola se věnuje popisu LHC, detektoru ATLAS s důrazem na kalorimetry, které jsou pro měření jetů nezbytné. Krátce zmiňuje i detektory CMS a ALICE, neboť v závěrečné kapitole je podán souhrn výsledků zahrnující i tyto dva experimenty.

Třetí kapitola podrobněji rozebírá rekonstrukci jetů v Runu I a II a také stanovení energetické škály a energetické rozlišení jetů.

Čtvrtá kapitola obsahuje měření fragmentačních funkcí jetů ze srážek jak těžkých iontů, tak protonů s protony při těžišťové energii 2.76 TeV. Podrobně se popisuje cesta od výběru dat, tedy relevantních případů, přes odhad a odečet pozadí po korekci detektorových efektů a migraci případů mezi jednotlivými biny v p_T nabitých částic a z proměnné (frakce podélné složky impulsu částice vzhledem k momentu jetu) pomocí unfoldovací procedury. Ceněným výsledkem je poměr fragmentačních funkcí ze srážek těžkých iontů ku fragmentačním funkcím z proton-protonových srážek. Ty vykazují stejně závislosti jako ty změřené dříve, tedy nárůst v oblasti malých p_T částic (1-4 GeV), pokles ve střední části (4-25 GeV) a opět nárůst pro velké hodnoty p_T (25-100 GeV). Podobný trend je pozorován i v proměnné z.

Pátá kapitola popisuje měření inkluzivních účinných průřezů pro produkci jetů a jaderného modifikačního faktoru v dosud neprobádané oblasti energií, tedy pro těžišťovou energii 5.02 TeV. Podobná procedura jako v předchozí kapitole vede k opraveným datům, která jsou vynášena jakožto funkce p_T jetů, rapidity jetů, a pro několik úrovní centralit. Vzrůst R_{AA} od centrálních po periferální srážky byl podle očekávání potvrzen. R_{AA} se nemění s rapiditou v oblasti malých p_T jetů, zatímco pro velké p_T jetů se pozoruje pokles s rapiditou. Tohle pozorování je umožněno až teprve s těmito daty, která poskytují dostatečnou statistiku. V oblasti překryvu se staršími měřeními při energii 2.76 TeV se data chovají konzistentně.

Šestá kapitola poskytuje velmi užitečný přehled předchozích měření fragmentačních funkcí i jaderných modifikačních faktorů při jiných těžišťových energiích, a to jak experimentem ATLAS, tak experimenty CMS a ALICE.

Dizertační práce se čte dobře, obsahuje však docela dost překlepů. Kontrola pravopisu provedena byla, avšak ta neodhalila vzájemné záměny jednotného čísla za množné, then místo than, where místo were apod.

Body, které mi v disertaci chyběly, kterým jsem neporozuměl, nebo které by stály snad za zamyšlení, jsou následující:

- Není vysvětleno, proč se měření fragmentační funkce omezuje na dráhy. Jak obtížné by bylo zahrnout i informaci z kalorimetrů?
- Dizertační práce je určitě vhodným místem k vysvětlení, proč je účinnost rekonstrukce drah v pp srážkách o dost vyšší než ve srážkách těžkých iontů.
- Proč se p_T drah při odhadu pozadí z UE omezuje na 6 GeV?
- Neuvažuje se také systematická chyba odhadu pozadí z UE?

- Neuvažuje se systematická chyba z použití jiného hadronizačního modelu?
- Bylo by možné zdůvodnit, čím se řídil výběr kanonického počtu iterací pro všechna měření?
- Bylo by možné blíže osvětlit smysl porovnání neopravených dat s truth úrovní MC?
- Bylo by možné dokumentovat výhody převažování MC v unfoldingu? Případně obr.5.11 pro další centrality?
- Ukazuje Obr. 5.13 poměr bez převážení ku převážení vždy pro stejný počet iterací? Neměl by se počet iterací stanovit pro každé rozdělení zvlášť?
- Spodní část Obr. 5.14 ukazuje nesrovnalost: zatímco u pp je konvergence s rostoucím počtem iterací, u PbPb se konvergence nepozoruje.
- Vždy je rozumné udělat studii konzistence s předchozími měřeními. Je k dispozici srovnání s předchozím měřením R_{AA} kolaborací ATLAS pro energie 2.76 TeV?
- Bylo by rovněž užitečné vidět srovnání s předpověďmi teoretických výpočtů.

Výsledky jsou původní, nové a vhodné k dalšímu srovnávání jak s teoretickými výpočty, tak s předpověďmi generátorů případů. Prezentované výsledky jsou již veřejné a opublikované v článku za kolaboraci ATLAS. Z výše uvedeného je patrné, že doktorand je schopen samostatné a tvořivé vědecké práce. Proto doporučuji tuto práci akceptovat jako dizertační a po úspěšné obhajobě udělit Mgr. Radimu Slovákovi akademický titul philosophiae doctor v oboru Fyzika, Jaderná a částicová fyzika.

Praha, 28.08.2017

Mgr. Marek Taševský, PhD.