

Oponentský posudek na doktorskou dizertační práci doktoranda

Mgr. Tomáše Koska

“Analysis of data from heavy-ion collisions at the ATLAS experiment“

Hlavním cílem analýzy, jež je v této dizertační práci popisována, je měření rozdělení příčných impulsů částic v jetech a fragmentačních funkcí 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 případě 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. Fragmentační funkce byly proměřeny v minulosti pro jiné těžišťové energie experimentem ATLAS, avšak pro uvedené těžišťové energie se jedná o první měření, jež jsou take 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.

Dizertační práce má 82 stran, sestává ze 7 hlavních kapitol, z obsahu, ze seznamu obrázků, seznamu tabulek a seznamu literatury čítajícím 72 referencí. 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.

První tři kapitoly uvádějí čtenáře do problematiky srážek těžkých iontů. Stručně jsou vysvětleny základní pojmy teorie, tedy Glauberův model, základy Kvantové chromodynamiky (QCD), pojmy kvarkově-gluonového plazmatu a QCD fázového diagramu. Pokud jde o experimentální techniky a měření, jsou zavedeny pojmy jetu, centrality, fragmentační funkce, měkké a tvrdé sondy (soft and hard probes), zhášení jetů a jaderný modifikační faktor. Závěr třetí kapitoly je opatřen velmi užitečným shrnutím dosavadních experimentálních výsledků jak z urychlovače RHIC, tak z LHC vztahujících se ke studované problematice. Velmi užitečným shledávám také shrnutí všech příspěvků a výsledků autora této práce a jasné odlišení od výsledků jiných autorů.

Čtvrtá kapitola se věnuje popisu LHC a detektoru ATLAS s důrazem na kalorimetry, které jsou pro měření jetů nezbytné.

Pátá kapitola popisuje hlavní kroky rekonstrukce jetů ve srážkách těžkých iontů a podrobněji se věnuje těm partiím, kde vklad autora v rámci kolaborace ATLAS byl klíčový, jde o oblasti, za

něž byl po jistou dobu zodpovědný. Jednak jde o Monte Carlo kalibrace jetů ve srážkách těžkých iontů, a to pro tři těžišťové energie a všechny tři kolizní systémy, tedy PbPb, pPb a pp. A dále pak v oblasti rekonstrukce jetů autor přispěl studií případů Z+jet, která významně pomohla odhadnout stabilitu a správnost tzv. cross-kalibrace, což vedlo ke zpřesnění energetické škály jetů a ke zmenšení systematických chyb ve srážkách těžkých iontů. Výsledky zatím posloužily v osmi publikacích za kolaboraci ATLAS.

Šestá 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. Kapitola obsahuje i odhad hlavních zdrojů systematických chyb. Ceněným výsledkem je poměr fragmentačních funkcí ze srážek těžkých iontů ku fragmentačním funkcím z proton-protonových srážek. Poměry 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.

Sedmá kapitola obsahuje shrnutí dosažených výsledků, které byly publikovány kolaborací ATLAS v r. 2017.

Dizertační práce je napsána vcelku srozumitelně. Úroveň anglického jazyka je středně pokročilá a v mnoha delších pasážích se vůbec nepoužívají určité a neurčité členy, což na srozumitelnosti ubírá. Autor se bohužel nevyhnul používání odborného slangu (root file, software bug, jets are fakes, efficiency bias, Z-recoiling, combined muons, Hard Probe stream ad.) a přílišné familiérnosti (a lot of, it doesn't, filled blue plus red plus green, broken with a software bug, like místo such as ad.), které do odborných textů nepatří. Výraz response ale i označení písmenem R má nespočet významů. Seznam nevysvětlených veličin, nesprávných, či chybějících popisků obrázků a chyb v rovnicích není zanedbatelný.

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

- Prosil bych lépe osvětlit zacházení s pp daty v HI studiích. Není mi jasné, jestli se pro HI studie používá stejný rekonstrukční algoritmus pro jety jako v pp datech, jak se odhadují různé korekce a jak se provádí matching jetů při studiu cross-kalibrace. Vhodné by bylo přehledné srovnání rekonstrukčních algoritmů a korekcí pro jety v pp a v HI datech.
- Mohla by se poslední věta kap. 6.4 ilustrovat pomocí nějakých grafických výsledků?
- Korelace mezi UE a JER: není možné prostě UE korekce stanovit pro jety s $p_T > 80$ GeV a aplikovat je pro jety s $p_T > 100$ GeV?
- Unfolding: jak se provádí matching při tvorbě response matic?

- Performance test unfoldovací procedury je vysvětlen zmateně: testuje se souhlas unfoldovaných dat s hadronovou úrovní - ty se ale obecně vždy liší. Má se snad na mysli tzv. closure test, tedy místo neopravených dat se použije detektorová úroveň MC, z něž se sestrojila response matice, a vyžaduje se souhlas těchto unfoldovaných umělých dat s hadronovou úrovní?
- Bylo by možné vysvětlit, co se míní 2. odstavcem kap. 6.7.4? Co znamená physics distribution in data? Jsou snad nějaká rozdělení v datech nefyzikální? Míní se pojmem measured distribution opravená data, či neopravená?
- Neuvažuje se také systematická chyba odhadu pozadí z UE?
- Neuvažuje se systematická chyba z použití jiného hadronizačního modelu?
- Vždy je rozumné udělat studii konzistence s předchozími měřeními. K cílům této práce také patří rozšíření měřené oblasti a vylepšení systematických chyb oproti již publikovaným výsledkům kolaborace ATLAS. Ačkoliv vylepšení jsou zmíněna slovně, bylo by možné vidět tato srovnání v grafické podobě?
- 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. Tomáši Koskovi akademický titul philosophiae doctor v oboru Fyzika, Jaderná a částicová fyzika.

Praha, 29.08.2018

Mgr. Marek Taševský, PhD.