

Posudek oponenta na práci Mgr. Martina Křivoše
Study of production of jets and dijets in Xe+Xe and Pb+Pb collisions
at the ATLAS experiment

V přeložené práci se autor věnuje zkoumání energetických ztrát jetů, které vznikají ve srážkách Xe+Xe a Pb+Pb na LHC na základě dat naměřených experimentem ATLAS. Energetické ztráty kvantifikuje srovnáním příčných hybností a výtěžků párů jetů s velkou příčnou hybností. Tyto páry představují vhodnou sondu pro exaktní studium vlastností kvarkového-gluonového plazmatu (QGP) a interakcí partonů v něm s ohledem na dráhu, kterou partony urazí v médiu. Projevem této interakce jetů s QGP je nárůst nerovnováhy příčné hybnosti mezi jety v páru.

Úvodní část dizertace představuje pozorovatelné, které autor hodlá analyzovat, a zasazuje téma práce do širšího kontextu studia vlastností kvarkového gluonového plazmatu. Dále je zde proveden úvod do QCD a vlastností jetových algoritmů. Následně je diskutován Glauberův model a jeho spojitost s určením geometrie srážky. Zde je možná škoda, že autor nepojednal v kapitole 2.2 zevrubněji o tom, jak je adaptován Glauberův model v ATLASu a jak převádí data měřená kalorimetrem FCal na geometrii srážky. Závěr této úvodní kapitoly je věnován rozboru, co vypovídají stávající experimentální data o energetických ztrátách jetů a párů jetů v QGP, což svědčí o autorově přehledu v problematice. Zde si myslím, že se autor mohl pokusit více rozebrat, jak stávající teorie přistupuje k popisu energetických ztrát partonů v QGP.

Navazující části se věnují stavbě detektoru ATLAS a jeho instrumentaci sloužící k měření jetů. Je popsán trigger použitý k nabrání dat Xe+Xe a zevrubně je probrán postup při opravě energetické škály jetu na vliv pozadí a detektorové efekty. Posléze jsou rozebrány jednotlivé kroky analýzy a je učiněn odhad systematických chyb měřených spekter. K této části práce mám několik dotazů, které uvádím níže. Ve zbytku dizertace pak autor představuje plně korigovaná spektra veličiny x_j a jaderného modifikačního faktoru pro páry jetů ze systému Xe+Xe pro různé centrality a srovnává je s dříve publikovanými daty ze systému Pb+Pb. Závěry vyvozované autorem považuji za relevantní.

Závěrem bych shrnul, že provedená analýza se věnuje aktuálnímu tématu současné fyziky srážek těžkých iontů a **přináší nové originální poznatky, které umožní studovat závislost energetických ztrát partonu na vzdálenosti uražené v médiu. Autorův přínos je jasně vymezen.** Práce na analýze mu umožnila významně se podílet na dalších šesti publikacích kolaborace ATLAS. Vadou na kráse je nezanedbatelné množství nepřesností a překlepů, které se v textu práce vyskytují. Jejich výčet je také uveden níže. Přes tyto výhrady **práci doporučuji k obhajobě.**

RNDr. Filip Křížek, Ph.D.

Otázky:

- 1) Sice se u jetů provádí sofistikovaná korekce na odečtení průměrného pozadí z underlying eventu, v práci jsem ovšem nenarazil, že by se diskutoval vliv lokálních fluktuací v hustotě tohoto pozadí na rozmazání energetické škály jetu. Jsou tyto fluktuace v systému Xe+Xe zanedbatelné?
- 2) V kapitole 5.3.2 se zavádí korekce na efektivitu vznikající vlivem odečítání pozadí. Pokud ovšem správně rozumím uváděnému vzorci, pak tento udává pravděpodobnost, že při opakovaných pokusech nenaměřím žádný jet s p_T větším než daný práh. Vzorec tedy odráží statistické fluktuace, které jsou zahrnuty ve statistických chybách měřených dat. Je tedy tato korekce potřeba? V této souvislosti by mě také zajímalo, zda je inkusivní jetové spektrum dostatečně dobrým přiblížením pro p_{T2} spektrum subleading jetů, když požadují přítomnost leading jetu s $p_{T1} > 100$ GeV?
- 3) Mezi zdroji systematických chyb se neuvádí volba iteračního parametru ani změna rozsahu vstupního spektra. Lze systematický vliv těchto parametrů považovat za zanedbatelný?
- 4) U obrázku 5.28 v dolní řádce je výsledná systematická chyba menší než některé příspěvky, které do ní přispívají. Čím je to způsobeno?
- 5) Na straně 72 se hovoří o tom, že se v pseudonáhodných experimentech generovalo 100 ekvivalentních matic odezvy. Zůstávaly tyto matice v iteracích stejné, nebo se generovaly

v každém kroku nové matice? Pokud by se generovaly nové matice, pak by možná šlo chápat nárůst statistických chyb, jak jej vidíme na obrázku 5.21.

6) V kapitole 5.4.2. se hovoří o vážení matice odezvy, aby reflektovala očekávaný tvar spektra. Autor k tomu používá podíl změřeného spektra z Xe+Xe a PYTHIA. Vzhledem k tomu, že data z Xe+Xe jsou nekorigovaná, tak by mě zajímalo, zda autor uvažoval, že by použil získané korigované Xe+Xe spektrum k určení přesnější váhy?

7) Na obrázku 5.3 je ilustrace znázorňující konverzi 2D histogramu p_{T1} vs p_{T2} na histogram veličiny x_j . Ilustrace říká, že se v příslušném $[p_{T1}, p_{T2}]$ binu je třeba rozdělit výtěžek na dvě poloviny. Zajímalo by mě, zda je třeba brát při tomto dělení ohled na měnící se sklon p_T spektra, který může být jiný pro zvolené hodnoty p_{T1} a p_{T2} . Přijde mi, že pro široké p_T biny, by dělení výtěžku na poloviny nemuselo být optimální.

8) Rovnice (4.13) by měla nastavit střední hodnotu p_T^{reco}/p_T^{truth} na 1. Na obrázku 4.6 vlevo jsou ovšem patrné odchylky tohoto podílu od 1. Čím je to způsobeno?

9) Proč je v čitateli i jmenovateli (5.4) faktor „1/N“ ?

10) Proč se v rovnici (5.5) neintegruje přes všechny $p_{T2} < p_{T1}$?

11) Proč je ve jmenovateli vzorce (4.9) „1 - “ ?

12) Neměla by korekce (4.12) být především funkcí změřené E^{EM} ? Předpokládám, že ve vztahu (4.11) je snaha počítat E^{truth} jako E^{EM}/R , kam se za R dosadí F z (4.12). To by ostatně naznačovala i složená závorka nad rovnicí (4.12).

13) Jak byly získány systematické nejistoty na obrázku 4.5 ?

14) V kapitole 5.3.1 se hovoří o odečtení pozadí pomocí metody připomínající ZYAM. Mohl by autor ukázat reprezentativní příklady rozdělní dijetů v závislosti na úhlu $\Delta\Phi$ z reálných dat?

Nepřesnosti a překlepy:

- str 14: pod (2.1): uvádí Bjorkenovu hustotu energie pro Pb+Pb „12 GeV“ na místo 12 GeV fm^{-3} .
- str 15: autor zmiňuje viskozitu QGP, ale přesněji by měl psát o podílu viskozity a hustoty entropie.
- Chybí citace na zdroj odkud převzal levé obrázky v obrázku 2.2.
- str 18: V rovnici, která svazuje účinný průřez neelastické interakce dvou nukleonů a vzdálenost mezi nukleony, má být účinný průřez dělen π , nikoliv π násoben.
- str 29: Zde se píše, že jádra získají v SPS energii 450 GeV. Tuto energii mají ovšem protony. U jader je třeba brát v úvahu Z/A .
- str 30: Nedokončená věta pod obrázkem 3.1.
- str 30: V tvrzení „integrated luminosity is often reported in barns“ má být „inverse barns“.
- obr 3.5: Překlep v popisu pod obrázkem „Innder“ má být „Inner“.
- str 36: Překlep „Tigger“ má být „Trigger“.
- U vzorců (4.7)+(4.8) chybí ukončující závorka a ve jmenovateli by dle mého soudu mělo být E/λ .
- str 44: Zde je podmínka „ $E_{max}/\langle E \rangle > 4 \text{ GeV}$ “. Předpokládám, že ten podíl má být bezrozměrný.
- Zlepšit kvalitu obrázků 4.3.
- Chybějící jednotky na ose X u obrázku 4.5 a obrázku 5.14.
- V rovnici (4.15) by korekce CC měla být funkcí p_T^{HI} , viz jmenovatel v (4.16).
- Překlep v rovnici (5.7) a (5.8) : PYTHIA88 má být PYTHIA8.
- V rovnici (5.10) má být T_{AA} pro Pb+Pb, stejně tak ve jmenovateli u (5.11) a (5.12).
- Na straně 62 se píše: „The absolute size of the background compared to the signal in Xe+Xe collisions is shown in Figure 5.12.“. Obrázek ukazuje ovšem pouze pp simulaci v PYTHIA.
- V rovnici (5.17) má být místo f_q symbol f_g .
- Zatímco chyba (5.18) je chybou absolutní, chyba (5.19) je chybou relativní. Toto se v textu vůbec nezmiňuje.
- U obrázku 5.26 by mělo být uvedeno, jak se zhlazovalo.
- Na straně 80 nerozumím výrazu pod odmocninou. Je tento výraz napsán správně? Letmým pohledem výraz nesplňuje rozměrovou zkoušku a přebývá v něm „)“.