

## Posudek oponenta disertační práce

Doktorand: **Mgr. Martin Rybář**

Název práce: **Study of jets in p+p and Pb+Pb collisions at LHC**

Disertační práce pana Mgr. Martina Rybáře je věnována studiu produkce jetů v proton-protonových a jádro-jaderných srážkách v experimentu ATLAS na urychlovači LHC v CERN. Jedná se o vysoce aktuální fyzikální problematiku jak po stránce experimentální, tak po stránce teoretické. Studium produkce jetů v jádro-jaderných srážkách a určení míry jejich modifikace horkým a hustým jaderným médiem je citlivou sondou, která umožňuje získat detailní informace o jaderné hmotě vznikající v jádro-jaderných srážkách na urychlovači LHC. Konkrétním obsahem předkládané disertační práce je měření vícenásobné produkce jetů v experimentu ATLAS s cílem studovat detailněji efekt zhášení jetů (tzv. „jet quenching“) v jaderné hmotě vznikající v ultrarelativistických Pb+Pb srážkách při energii 2.76 TeV na nukleonový pár v těžišťové soustavě.

Práce je logicky dobře členěna a je napsána přehledně. Po krátkém úvodu motivujícím samotnou disertační práci, je ve druhé kapitole podán stručný popis urychlovače LHC a experimentu ATLAS, který je následován třetí kapitolou shrnující fyziku jádro-jaderných srážek s důrazem na produkci jetů a jejich zhášení v jaderné hmotě a eliptický tok v jádro-jaderných srážkách. V následující, čtvrté kapitole, jsou pak blíže popsány dosavadní výsledky měření produkce jetů a párů protilehlých jetů (tzv. dijetů) v jádro-jaderných srážkách v experimentu ATLAS.

Jádro disertační práce tvoří pátá kapitola, ve které jsou diskutovány hlavní dosažené fyzikální výsledky samostatné vědecké práce pana Rybáře týkající se vícenásobné produkce jetů v Pb+Pb srážkách. Konkrétně jsou studovány vlastnosti korelovaných, blízkých párů jetů pomocí proměnné  $R_{sR}$ , která určuje výtěžek sousedících jetů, které se nacházejí v blízkosti testovacího jetu, od kterého jsou tyto sousední jety vzdáleny  $\Delta R$ . Proměnná  $R_{sR}$  byla poprvé studována kolaborací D0 na urychlovači Tevatron v proton-antiprotonových srážkách s cílem určit vazbovou konstantu silné interakce ( $\alpha_s$ ). Měření této proměnné v prostředí jádro-jaderných srážek je zcela unikátní a doposud nebylo provedeno. Po zavedení proměnné  $R_{sR}$  autor detailně popisuje výběr fyzikálních dat a všechny provedené korekce spolu s určením zdrojů a velikostí systematických chyb, které jsou nezbytné k dosažení fyzikálně interpretovatelného výsledku. Samotné vlastnosti plně korigované veličiny  $R_{sR}$  jsou pak prezentovány na konci páté kapitoly jako funkce energie testovacího jetu, energie sousedícího jetu, centrality srážky, rozlišovacího parametru  $R$  a vzdálenosti  $\Delta R$ . Pozorované potlačení produkce sousedících jetů je dále kvantifikováno pomocí proměnné  $\rho_{sR}$ , která popisuje poměr  $R_{sR}$  rozdělení v centrálních a periferálních Pb+Pb srážkách.

Obsah disertační práce svědčí o tom, že pan Rybář má velký přehled o fyzikální problematice týkající se rekonstrukce jetů a svou vlastní vědeckou prací bezpochyby přispěl k detailnějšímu studiu vlastností jetů produkovaných v horké a husté jaderné hmotě. O tom svědčí i několik prezentací na prestižních mezinárodních konferencích (včetně největší konference oboru, Quark Matter).

K samotné předkládané disertační práci mám několik připomínek. Ve třetí kapitole, kde je podán přehled dosavadních výsledků eliptického toku v jádro-jaderných srážkách, považuji za škodu, že nejsou např. diskutovány a porovnány samotné hodnoty a vlastnosti eliptického toku na urychlovačích LHC a RHIC. V Obr. 3.14 je pouze ukázáno úhlové rozdělení drah částic vůči změřené reakční rovině z experimentu ATLAS, které samo o sobě bez extrahovaných a korigovaných hodnot eliptického toku nemá velkou výpovědní hodnotu a výsledky z experimentu STAR na urychlovači RHIC (obr. 3.15) jsou v současné době již velmi zastaralé. Rovněž tak obrázek jaderného modifikačního faktoru (obr. 3.16 vlevo) je v současné době již zastaralý a autor v diskusi o zhášení jetů na urychlovači RHIC zcela opomínal fakt, že oba experimenty PHENIX i STAR měří kromě spekter částic s vysokou příčnou hybností a jejich korelací i plně rekonstruované jety. V páté kapitole by zřejmě bylo logičtější, kdyby byly diskutovány efekty migrace mezi biny dříve než v kapitole 5.2.3, protože tato skutečnost je již používána v kapitole 5.2.1.

V neposlední řadě je škoda, že po formální stránce práce obsahuje nemalé množství překlepu a gramatických chyb. V popiscích obrázků a souvisejícím textu je také často přehozeno umístění obrázků v panelech, resp. některé panely, přestože jsou v popisku zmíněny, ani zobrazeny nejsou či jsou v obrázku zobrazeny výsledky pro jiné hodnoty rozlišovacího parametru než je uvedeno v popisku (např. obr. 4.7, 4.8, 4.9, 5.28; u obr. 5.34 a 5.35 jsou zjevně jeden pro  $R=0.2$  a druhý pro  $R=0.4$ , přestože podle legendy v obrázku jsou oba pro  $R=0.4$ ; obr. 5.38 je zřejmě pro  $R=0.4$ , avšak hodnota  $R$  zcela chybí, dolní panely v obr. 5.43 a 5.44 jsou pro centralitu 40-80% aj.). Autor také ne vždy dodržuje zavedené značení, např. v kapitole 5 používá v souladu s předchozím textem pro rozlišovací parametr jetů rekonstruovaných pomocí algoritmu anti- $k_t$  „ $R$ “, avšak v části obrázků jej uvádí jako „ $d$ “.


K disertační práci mám také několik dotazů a uvítala bych, kdyby byly panem Mgr. Rybářem v průběhu obhajoby disertační práce zodpovězeny.

1. Autor v 1. kapitole (str. 4) zmiňuje, že se v rámci svého doktorandského studia také zabýval studiem fluktuací tzv. underlying eventu ve spolupráci s kolegy na pracovišti a na Columbia University a že se také zúčastnil příprav jetového triggeru pro sběr dat v jádro-jaderných srážkách. Mohl by autor upřesnit a demonstrovat své příspěvky v těchto dvou oblastech, které bohužel nejsou blíže v samotné práci dokumentovány?
2. U veličiny  $\rho_{RR}$  která je poměrem rozdělení  $R_{RR}$  ve dvou různých centralitních binech, je uvedeno, že dominantní systematické chyby se vyruší (str. 96 a obr. 5.50-5.52). Které z diskutovaných systematických chyb to konkrétně jsou a proč se vyruší?
3. Jaký je plán/výhled pro měření rozdělení  $R_{RR}$  v proton-protonových srážkách v experimentu ATLAS, které je zajímavé samo o sobě a navíc by pak mohlo být použito jako referenční měření v  $\rho_{RR}$  místo současného „periferálního“ Pb+Pb měření pro centralitu 40-80%?

4. Autor v práci uvádí, že pro veličiny  $R_{\alpha R}$ , resp.  $\rho_{R-R}$  neexistují v současné době žádné konkrétní teoretické výpočty. Je možné provést analýzu těchto veličin v rámci existujících Monte-Carlo generátorů (např. JEWEL, YAJEM)?

Závěrem konstatuji, že pan Mgr. Rybář v práci prokázal, že je schopen samostatné vědecké práce a předkládaná disertační práce i přes výše zmíněné připomínky splňuje podmínky kladené na udělení titulu Ph.D.

V Praze, dne 29.12. 2014

  
RNDr. Jana Bielčíková, Ph.D.  
ÚJF AV ČR, v.v.i.