

Posudek oponenta disertační práce

Doktorand: **Mgr. Peter Berta**

Název práce: **Zkoumání vlastností top kvarku pomocí experimentu ATLAS na LHC
(Investigation of properties of the top quark with the ATLAS
experiment at LHC)**

Disertační práce pana Mgr. Petera Berty je věnována měření diferenciálního účinného průřezu produkce párů kvarků top a anti-top v proton-protonových (pp) srážkách při těžišťové energii $\sqrt{s} = 8$ TeV v experimentu ATLAS na urychlovači LHC v CERN. Konkrétně je uvedené měření provedeno v rozpadovém kanálu s jedním nabitým leptonem a účinný průřez na částicové a partonové úrovni je vyjádřen jako funkce příčné hybnosti top kvarků. Získané hodnoty jsou také konfrontovány s Monte-Carlo modely a předpovědí Standardního modelu. Ve studované problematice rekonstrukce jetů hraje mj. velkou roli také potlačení efektů pocházejících ze srážek více protonů (tzv. pile-up efekt) a pan Berta navrhl originální metodu pro odstranění tohoto pile-up efektu na úrovni konstituentů jetů (Constituent Subtraction Method), kterou také spolu s několika dalšími autory publikoval v samostatném článku (*JHEP* **1406** (2014) 092).

Disertační práce se zabývá velmi aktuální fyzikální problematikou a uvedené měření může pomoci vymezit platnost modelů za Standardním modelem, je důležitým vstupem pro různé Monte-Carlo generátory v částicové fyzice a také modely partonových distribučních funkcí (PDF), jelikož má také citlivost na gluonovou PDF pro vysoké příčné hybnosti top kvarku ($p_T > 300$ GeV). Výše zmíněná nová metoda odpočtu pozadí na úrovni konstituentů jetů nachází již v dnešní době uplatnění nejenom v částicové fyzice samotné, ale je také velmi důležitá pro nově studované pozorovatelné související s tvarem jetů v jádro-jaderných srážkách. Např. v experimentu ALICE na LHC již existují první měření tvaru nabitých jetů v pp a Pb+Pb srážkách při energii 2.76 TeV na nukleon-nukleonový pár, která tuto metodu využívají. Očekává se, že tato měření povedou k detailnějšímu porozumění mechanismu tzv. zhášení jetů (jet quenching) v horké a husté jaderné hmotě.

Disertační práce je logicky velmi dobře členěna, je napsána přehledně a po grafické stránce je také velmi pěkná. Rovněž po jazykové stránce je disertační práce velmi kvalitní - je napsána velmi dobrou angličtinou a obsahuje jen relativně malé množství překlepů a jazykových nedostatků.

Po krátkém úvodu motivujícím studovanou tematiku fyziky top kvarku, je ve druhé kapitole podán stručný popis experimentu ATLAS včetně popisu rekonstrukce elektronů, mionů, jetů a Monte-Carlo simulací. Třetí kapitola je zaměřena na metody používané pro odpočet pile-up efektu pro jety. V této kapitole autor kromě již dostupných a běžně používaných metod, představuje a demonstruje na příkladech přednosti již výše zmíněné vlastní metody založené na korekci na úrovni konstituentů. Následující čtvrtá kapitola pojednává o metodách výběru jetů s určitou kvarkovou vůní (tzv. flavor tagging). Do této problematiky pan Berta přispěl v rámci fyzikální pracovní skupiny „Flavor Tagging Combined Performance“ kolaborace ATLAS vyhodnocením Monte-Carlo efektivit potřebných pro korekce experimentálních dat. Výsledky této části disertační práce jsou

součástí publikace kolaborace ATLAS v časopise *JINST II* (2016) a tzv. ATLAS public note *ATLAS-CONF-2014-046*. V páté kapitole jsou popsány výsledky měření diferenciálního účinného průřezu produkce párů top-antitop kvarků v pp srážkách při energii 8 TeV. Tyto výsledky jsou publikovány v článku kolaborace ATLAS v časopise *Phys. Rev. D* **93** (2016) 032009. Na této komplexní analýze pracoval pan Berta v dedikovaném analyzačním týmu dvaceti členů kolaborace ATLAS. Jeho hlavními příspěvky jsou vyhodnocení neurčitostí v měření diferenciálního účinného průřezu pocházejících z neurčitostí partonových distribučních funkcí (PDF), vyčíslení bin-by-bin korelací statistických a systematických chyb a NLO QCD předpovědi včetně teoretických neurčitostí za použití MCFM generátoru. Tento způsob vědecké práce ve vícečlenných vědeckých týmech je naprosto běžný ve velkých experimentálních kolaboracích a v žádném případě nesnižuje kvalitu předkládané disertační práce, neboť pan Berta jasně deklaruje, do kterých částí analýzy přispěl a z popisu dalších kroků analýzy vedoucích k finálnímu fyzikálnímu výsledku, tj. diferenciálnímu účinnému průřezu, je zřejmé, že má přehled i o těchto částech analýzy, které sám přímo neprováděl. V závěrečné části práce je podáno krátké shrnutí dosažených výsledků následované několika dodatky vhodně doplňujícími a blíže specifikujícími některé klíčové pojmy používané v disertační práci. V samotném závěru disertační snad jen postrádám nějaký detailnější výhled pro budoucí měření produkce top-antitop diferenciálního účinného průřezu na LHC při energiích v Run2.

K disertační práci mám také několik dotazů a uvítala bych, kdyby tyto byly panem Bertou během obhajoby odpovězeny:

1. V první kapitole pan Berta zmiňuje, že kromě p_T^{top} závislosti účinného průřezu se také studují závislosti na rapiditě, příčné hybnosti a invariantní hmotě top-antitop kvarkového páru. Zejména poslední pozorovatelná měření související s hypotetickým bosonem Z' je často diskutována po stránce teoretické. Jaké experimentální limity v současné době existují na tuto pozorovatelnou z měření experimentů ATLAS a CMS při energii 8 TeV?
2. Na straně 20 jsou v obrázku 1.10 ukázány výsledky diferenciálního účinného průřezu jako funkce p_T^{top} změřené kolaborací CMS při energii 8 TeV. Data jsou porovnána s předpovědí POWHEG+PYTHIA, resp. MADGRAPH+PYTHIA. Kombinace MADGRAPH+PYTHIA vykazuje lepší souhlas s experimentálními daty. Výsledky prezentované v disertaci jsou v kapitole 5 srovnány s celou řadou jiných MC generátorů, včetně kombinace POWHEG+PYTHIA, avšak MADGRAPH mezi nimi není. Je nějaký konkrétní důvod proč jej kolaborace ATLAS nepoužívá?
3. Na straně 30 pan Berta diskutuje rozdíly mezi JVF a JVT metodami, přičemž druhá z metod vykazuje lepší výsledky. Proč nebylo tuto metodu možné použít již na datech z Run1?
4. Na straně 50 pan Berta zmiňuje, že v principu by se dalo pro vylepšení efektivity metody „Constituent Subtraction“ využít také znalosti o vertexu signálu, resp. vertexu

pile-up eventů. Existují nějaké konkrétní odhady a plány, jak toto vylepšení realizovat?

5. Na straně 54 pan Berta diskutuje, jak metoda „Constituent Subtraction“ výrazně pomáhá vylepšit performanci pro jety rekonstruované C/A algoritmem oproti „Shape Expansion“ metodě. Bylo také testováno, do jaké míry by nová metoda pomohla pro k_t jetový rekonstrukční algoritmus?
6. Na straně 56 a 57 je diskutována performance „Constituent Subtraction“ metody pro různá nastavení parametrů A^s a α . Bylo by možné toto podložit kvantitativně ukázkou na grafech?
7. Dá se nějak intuitivně vysvětlit tvar distribuce váhy w^{MV1} na obrázku 4.1? V textu na straně 61 se pouze zmiňuje původ píku kolem hodnoty 0.15. Z textu dále vyplývá, že v analýze dat byla vybrána hodnota této váhy jako 0.7892, která odpovídá b-tagging efektivitě 70% a tzv. rejection faktoru 5 pro c-kvarky, resp. 140 pro lehké kvarky. Obrázek 4.2 demonstruje závislost rejection faktoru pro lehké kvarky na efektivitě b-taggingu. Bylo by možné také ukázat, jak vypadá podobná závislost pro rejection faktor c-kvarků, resp. 3D rozdělení obou rejection faktorů a efektivitě b-taggingu?
8. Na straně 62 je diskutován efekt snížení efektivitě rekonstrukce drah v oblastech blízko osy jetu díky jejich větší multiplicitě. O jak velký efekt se jedná a jak se konkrétně odrazí na efektivitě b-taggingu?
9. Na straně 65 a v obrázku 4.6 je diskutována závislost b-tagging efektivitě na p_T jetu. Na základě této závislosti je pak odvozen a dále aplikován škálovací korekční faktor. Je tento škálovací faktor aplikován tzv. bin-by-bin, nebo je závislost v obr. 4.6 proložena vhodnou funkcí, která je dále používána, aby se zamezilo zavedení bin-by-bin fluktuací do fyzikálních pozorovatelných?
10. Na straně 69 je diskutován online trigger umožňující efektivní výběr událostí e+jets a μ +jets. Bylo by možné prosím blíže vysvětlit, jak tento trigger funguje a proč byla vybrána právě kritéria na příčné hybnosti elektronů, resp. mionů zmíněná v textu?
11. Na straně 74 je diskutováno, že pro dekonvoluci je používána metoda SVD s regularizačním parametrem $k = 6$. Bylo by prosím možné ukázat distribuci tohoto parametru a na základě ní demonstrovat, proč byla zvolena právě hodnota $k = 6$? Byly studovány také jiné metody dekonvoluce a jejich případný vliv na syst. chybu měření?

12. Na straně 75 a 76 je zmíněno, že existují dvě možnosti, jak získat výsledky na partonové úrovni – dekonvolucí výsledků na částicové úrovni, resp. dekonvolucí výsledků na detektorové úrovni. Autor zmiňuje, že oba postupy dávají konzistentní výsledky. Bylo by to prosím možné ukázat kvantitativně?
13. Jaké vylepšení citlivosti měření se dá očekávat pro měření závislosti diferenciálního účinného průřezu p_T^{top} , resp. y_T^{top} , m^{ttbar} , p_T^{ttbar} a y^{ttbar} pro data z Run 2 na LHC?

Závěrem konstatuji, že pan Berta v práci prokázal, že je schopen samostatné vědecké práce, výrazně přispěl v rámci kolaborace ATLAS ke změření diferenciálního účinného průřezu produkce párů top-antitop kvarků a vytvořil novou metodu pro odpočet pozadí. Pan Berta je spoluautorem několika publikací v recenzovaných časopisech a výsledky své práce také prezentoval na největší konferenci oboru (ICHEP 2014) a dvou workshopech. Předkládaná disertační práce proto splňuje veškeré podmínky kladené na udělení titulu Ph.D..

V Praze, dne 6.6. 2016

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