



Posudek disertační práce doktorského studia

Doktorand: Ing. Petr Jačka

Školitel: RNDr. Roman Lysák, Ph.D. (Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.)

Název disertační práce: Measurements of top-antitop quark pair production in boosted all-hadronic topology in ATLAS experiment

Disertační práce pana Ing. Petra Jačky se věnuje komplexnímu měření diferenciálního účinného průřezu produkce párů top-antitop („ $t\bar{t}$ “) kvarků při vysokých energiích v rámci mezinárodního experimentu ATLAS v laboratoři CERN v rozpadovém kanále, kdy se oba kvarky rozpadají na hadrony. Konkrétně je toto měření založeno na analýze dat proton-protonových srážek v rámci tzv. Run 2 na urychlovači LHC v letech 2015-2018. Výsledkem disertační práce jsou jednorozměrná a vícerozměrná spektra pro kinematické proměnné popisující top kvark, $t\bar{t}$ bar kvarkový systém a jejich kombinace, přičemž získaná spektra jsou v závěru práce také porovnána s předpověďmi NLO a NNLO výpočty v rámci Standardního Modelu částicové fyziky a jsou také použita ke stanovení mezí na hodnoty koeficientů operátorů v rámci efektivní teorie pole (EFT), která rozšiřuje Standardní Model.

Fyzikální tematika studovaná v rámci disertační práce a získané výsledky jsou velmi aktuální a cenné z několika důvodů. Provedená měření přinášejí nové poznatky o fyzikálních vlastnostech systému $t\bar{t}$ bar, který byl již studován v jiných rozpadových kanálech, di-leptonovém a lepton-jetovém. Výsledky představené v disertační práci pak přinášejí informace z čistě hadronového rozpadového kanálu a doplňují tak již existující informace z jiných kanálů. Fázový prostor měření, která pan Jačka provedl, pokrývá také vysoce energetickou oblast a studuje dosud neprozkoumanou část fázového prostoru. Poznatky z tohoto i dalších měření pak lze kombinovat a získat celkově přesnější poznatky o systému $t\bar{t}$ bar, které lze následně využít ke zlepšení či vymezení parametrů teoretických modelů (např. partonových distribučních funkcí, ISR and FSR efektů, hadronizace či Monte-Carlo generátorů). Z provedeného měření je také možné extrahovat parametry Standardního Modelu (např. hmotnost top kvarku) a lze je využít i při hledání nové fyziky za rámcem současného standardního modelu částicové fyziky, jak doktorand přehledně demonstrovuje při fyzikální interpretaci získaných výsledků v rámci EFT zmíněné v úvodu tohoto posudku.

Po formální stránce je disertační práce logicky rozdělena na pět kapitol. Po stručné úvodní Kapitole 1, představuje její autor v Kapitole 2 úvod do fyziky top kvarku. Jsou zde uvedeny základní vlastnosti top kvarku a důležitá terminologie, avšak vzhledem k tomu, že se jedná o disertační práci, je tato kapitola dle mého názoru poněkud stručná a napsaná dosti povrchně. Následující kapitola, Kapitola 3, obsahuje popis urychlovače LHC a experimentu ATLAS s popisem algoritmu rekonstrukce srážek a popisem vybraných experimentálních technik používaných dále v disertační práci. Jádro disertační práce pak tvoří Kapitola 4, ve které se pan Jačka věnuje samotné fyzikální analýze a podrobné diskusi korekcí experimentálních dat. Tato kapitola je završena prezentací výsledků diferenciálních účinných průřezů produkovaných top kvarků jako funkce příčné hybnosti a rapidity na částicové a partonové úrovni a také je provedeno porovnání výsledků s NLO a NNLO výpočty a jsou stanoveny limity na koeficienty operátorů v rámci teorie EFT a výsledky jsou diskutovány i v kontextu dostupných měření experimentu CMS v CERN. V závěrečné kapitole (Kapitola 5) pak autor stručně shrnuje dosažené fyzikální výsledky.



Po formální stránce je disertační práce napsána relativně dobrou angličtinou, i když se v textu vyskytují pasáže, které jsou psány velmi stroze a práci by také prospělo další přečtení a odstranění řady opravdu triviálních gramatických chyb. Autor se bohužel také často uchyluje k tvrzením typu, že něco je zřejmé či známé, aniž by dané tvrzení blíže rozvedl či zdůvodnil alespoň pomocí vhodné reference, pokud tato existuje (např. str. 55 „It is known that $t\bar{t}$ differential cross-section prediction normalization is slightly off in the boosted region“ nebo str. 59 „The normalization of the $t\bar{t}$ cross-section is known to be slightly off at high- p_T region in the NLO+PS SM generators“ apod.). Po grafické stránce považuji disertační práci za zdařilou, jen skutečně na pár místech jsou popisky obrázků velmi malé (Obr. 4.14-4.16).

Pokud jde o metodickou část disertační práce, tak pravděpodobně nejvýznamnějším přínosem s vlastním vkladem doktoranda je vylepšení metodiky techniky odhadu multijetového pozadí. V rámci analýzy byla vyvinuta vícerozměrná forma tzv. ABCD metody, která je detailně popsána v Kapitole 4.5.2. a tato metoda má dobrý potenciál pro použití i v jiných měřeních s komplexní topologií. Další vlastní vklady pana Jačky do provedené fyzikální analýzy už nejsou bohužel explicitně zřejmé, protože pan Jačka explicitně nedeclaruje, zda diskutované metody byly vyvinuty či aplikovány přímo jím nebo v širším kontextu fyzikální pracovní skupiny v rámci kolaborace ATLAS, což považuji za velkou škodu (např. na str. 102 autor píše, cituji „The standard algorithm is extended by an addition of the multijet background term which reflects specific properties of this measurement.“ nebo na str. 109 „This measurement added new features into the algorithm“, atd.). Během obhajoby disertační práce proto požadují, aby doktorand jasně popsal vlastní vklad do fyzikální analýzy obsažené v disertační práci.

Ráda bych však vyzdvihla, že výsledky prezentované v disertační práci jsou součástí dvou článků kolaborace ATLAS: „*Measurement of $t\bar{t}$ differential cross-sections of highly boosted top quarks decaying to all-hadronic final states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector*“ (Phys. Rev. D 98 (2018) 012003) a „*Differential $t\bar{t}$ cross-section measurements using boosted top quarks in all-hadronic final state with 139 fb^{-1} of ATLAS data*“ publikovaném v časopise JHEP 04 (2023) 080. První z uvedených článků byl založen na částečné statistice dat dostupných v Run 2 v době psaní článku. Druhý uvedený článek je pak výrazným rozšířením prvního článku, jelikož používá plnou statistiku pp dat z Run 2 a také vylepšené metody analýzy. Výsledky byly také panem Jačkou prezentovány na mezinárodních konferencích: přednáška na 8th LHCP konferenci, resp. dvě posterové prezentace na 10th a 14th International Workshop on Top Quark Physics. V neposlední řadě se pan Jačka také podílel na nové generaci rychlých simulací experimentu ATLAS, ATLAS Fast Calorimeter Simulation (FastCaloSim V2), které byly publikovány v Comput. Softw. Big Sci. 6 (2022) 7.

Závěrem konstatuji, že i přes připomínky uvedené výše, jsou fyzikální výsledky získané v rámci disertační práce originální a jejich vědecká kvalita vynikající a doporučuji, aby byl panu Ing. Petrovi Jačkovi po úspěšné obhajobě a zodpovězení níže uvedených otázek udělen titul Ph.D..

V Praze, dne 14. 5. 2024

doc. RNDr. Jana Bielčíková, Ph.D.
ÚJF AV ČR, v.v.i. a FJFI ČVUT v Praze