

## **Oponentský posudek dizertační práce Petra Berty “Investigation of properties of the top quark with the ATLAS experiment at LHC”**

Kandidát napsal kvalitní dizertační práci, která popisuje měření účinného průřezu párové produkce top kvarku v semi-leptonových rozpadech registrovaných detektorem ATLAS na LHC v proton-protonových srážkách s energií 8TeV. Zaměřuje se na produkci top kvarku s velkým boostem, k jejíž identifikaci je nutné zapojení speciálních technik tzv. substrukury jetů. Těm se věnoval podrobněji a vyvinul metodu, která snižuje závislost identifikace na pozadí pocházejícího z vícenásobných proton-protonových srážek. Ve své práci kandidát prokázal vysokou míru odbornosti v experimentální částicové fyzice.

Po krátkém úvodu je v kapitole 1 stručně shrnuta fyzika top kvarku, klasifikace a způsoby identifikace událostí se dvěma top kvarky. Četnost a vlastnosti těchto událostí lze předpovědět v rámci kvantové chromodynamiky. Produkce top-antitop byl první proces s více než dvěma barevnými partony, který se podařilo před několika lety spočítat až do přesnosti Next-to-Next-to-Leading-Order. V teoretické části jsou diskutovány příspěvky vyšších řádů poruchové teorie a jejich vliv na produkci top-antitop na LHC. Následuje diskuze dosavadních výsledků z LHC i urychlovače Tevatron.

Kapitola 2 nabízí stručný popis detektoru ATLAS a jeho jednotlivých detektorů. Důraz je kladen na popis fyzikálních objektů (leptonů, jetů, chybějící transversální energie), jichž se využívá v samotné fyzikální analýze popsané v dizertační práci.

Vliv vícenásobných proton-protonových srážek (pileup), jejichž počet se do budoucna bude zvětšovat, zásadním způsobem degraduje rekonstrukci jetů na LHC a snižuje přesnost měření. Existuje několik technik, jak vliv pileupu v jetech potlačit. Kapitola 3 obsahuje jednak krátký přehled používaných technik na LHC, ale také pojednává o nové metodě, kterou kandidát pomohl vyvinout. Metoda “constituent subtraction” je přirozené rozšíření area-based subtrakce standardně aplikované na jety, s tím rozdílem, že se korigují čtyř-vektory jetových konstituentů na základě plochy asociované s jednotlivými konstituenty. Zásadním způsobem vylepšuje vlastnosti jetů v přítomnosti pileupu, např. odezvu na jety, jejich energetické rozlišení, ale i tvary jetů (jet-shapes). Dochází tím pádem též k vylepšení efektivity příslušných taggerů těžkých částic (top, W, Higgs). Výhody algoritmu jsou jasně demonstrovány na částicové úrovni porovnáním se dvěma metodami: area-based subtrakcí využívanou v ATLAS, a shape-expansion. Tato studie byla publikována v recenzovaném časopise a ATLAS konferenční zprávě. Význam příspěvku dokládá fakt, že algoritmus byl již implementovaný experimenty na LHC. Bylo by možná užitečné v práci tento fakt zmínit a také přidat porovnání s ostatními algoritmy, které ve větší míře využívají konstituenty (PUPPI, využívaného v CMS, a SoftKiller).

Technická práce kandidáta pro experiment ATLAS byla zaměřena na studium efektivity b-taggingu a je shrnuta v kapitole 4. B-tagging se používá v celé řadě měření, kde se produkuje b-kvark, ať už přímo nebo jako produkt rozpadů, jako například ve studovaných událostech top-antitop. Výsledkem technické práce jsou univerzální škálovací faktory, jejichž aplikací v ATLAS Monte-Carlo simulacích se dosáhne přesnějšího souhlasu simulovaných událostí s reálnými daty. Takto opravené simulace je potom možné použít pro tzv. unfolding, opravu detektorových efektů v naměřených dat. Jedná se tedy o hodnotný příspěvek pro celou kolaboraci ATLAS.

Samotnému měření diferenciálního účinného spektra párů top-antitop je věnována poslední kapitola 5. Jednotlivé kroky analýzy jsou srozumitelně a uceleně vysvětleny. Zahrnují selekci událostí na detektorové a částicové úrovni, korekci měřených dat o vliv

detektoru a pozadí, zakončenou diskuzí experimentálních chyb měření a prezentací samostatných výsledků. Velký důraz je kladen na rozbor propagace systematických chyb a výpočtem jejich korelací mezi jednotlivými biny měření. Jejich odvození je zásadní pro interpretaci dat a vývoj přesných teoretických předpovědí produkce top-antitop. Měření bylo publikováno v recenzovaném časopise. Určité pasáže mohl autor rozvést podrobněji a dát větší prostor citovaným studiím, které sice sám nedělal, ale jsou podstatnou součástí analýzy, například odhad pozadí.

Celkově autor vyprodukoval nebo výrazně přispěl k několika hodnotným vědeckým výsledkům. Prezentace výsledků práce dosahuje vysoké odborné úrovně. Text je jasný, vhodně použité grafy a citace dodávají práci na srozumitelnosti. V textu je zanedbatelné množství typografických chyb a překlepů.

K obecné diskuzi u obhajoby dizertační práce navrhuji několik dotazů na autora:

1. V textu bylo několikrát zmíněno, že měření boosted top kvarku může vést ke zlepšení znalosti high-x gluonu. Můžete okomentovat, jaké zlepšení můžeme očekávat díky novému měření?
2. Výsledky ukazují, že kromě multi-leg generátorů, kterým chybějí korekce vyšších řádů, nejsou NLO generátory ve vážné neshodě s daty. Jakým způsobem by se mělo na 13 TeV postupovat, aby se docílilo redukce systematických chyb měření?
3. Jak je zmíněno na stránce 84, není překvapivé, že zmíněné generátory nedají v closure testu velký efekt, protože jejich spektra jsou téměř stejná. Proč nebyl closure test proveden s použitím matice z POWHEG+PYTHIA, jež byla použita pro data, aplikací na generátory MC@NLO+HERWIG nebo POWHEG+HERWIG, které nejlépe popisují data a výrazně se liší od POWHEG+PYTHIA? Očekával bych, že uvedený test by též přispěl do systematiky na partonové úrovni.
4. Proč je na začátku spektra na obr. 5.6 v "Large-R (JES) topology" tak velký skok?
5. Mohl byste srovnat výkon metod constituent-subtraction a metody PUPPI, která se používá v CMS, případně i metody SoftKiller?
6. Korekce o efekty pileupu by měla mít také přisouzenou oblast validity. Jakým způsobem by se měla vyhodnotit systematická chyba korekcí založených na constituent subtraction?
7. Jaká kritéria vedla k optimalizaci selekce v analýze, například kinematické požadavky na leptonic jet a hadronic top-jet candidate, atd.?
8. Porovnání opraveného spektra na pileup s "Truth-particle jets" v obr 3.5 není adekvátní, protože shape-expansion korekce neopravuje na vliv detektoru. Relevantní srovnání by bylo na detektorové úrovni se simulovanými daty bez pileupu.

Závěrem bych předloženou práci shrnul jako vynikající. Podle mého názoru splňuje podmínky přijetí k obhajobě a kandidát si zasluhuje získat za ni titul Ph.D.

Mgr. Oldřich Kepka, Ph.D.  
Fyzikální ústav, v. v. i.  
Praha

V Praze 5.6. 2016