

Oponentský posudek na doktorandskou práci Ing. Radka Novotného:

Study of b -quark Processes Using the ATLAS Detector

Předložená doktorandská práce je primárně zaměřena na problematiku měření narušení CP symetrie v procesech $B_s^0 \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\phi(K^+K^-)$ na aparatuře ATLAS ve svazcích urychlovače LHC v CERN. Jedná se o závažnou a velmi aktuální problematiku, která může naznačovat meze platnosti tzv. Standardního modelu (SM). Posun našeho chápání mikrosvěta za tyto meze je prvořadým úkolem dnešní fyziky elementárních částic. Skupina odborníků FJFI se na realizaci programu experimentu ATLAS již dlouhodobě velmi úspěšně podílí a předložená doktorandská práce je tak faktickou součástí tohoto programu. Lze připomenout, že experiment ATLAS se podílel na potvrzení existence Higgsova bozonu.

Práce je přehledně a logicky rozčleněna do jedenácti kapitol. Po obecném úvodu vymezujícím problematiku následuje obsírnější kap. 2, v níž je uveden potřebný teoretický formalismus. Jsou zde uvedeny především základní postuláty SM. Dále je vysvětlen formalismus základních diskretních symetrií elementárních částic: C (charge), P (parity – zrcadlová symetrie), T (čas). Kapitola je přehledně a srozumitelně sepsána a svědčí o autorově schopnosti zvládnout do patřičné hloubky odpovídající náročnější teoretický aparát. Symetrie C,P,T bezprostředně souvisí s hlavním tématem předložené práce, které je konkrétněji vymezeno v kap. 3 věnované shrnutí dosavadních poznatků o narušení CP symetrie v procesech $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$.

Po těchto fenomenologických kapitolách následuje zevrubný popis urychlovače LHC (kap.4), celé aparatury ATLAS s vysvětlením účelu jednotlivých detektorů (kap. 5) a s popisem souboru softwarových nástrojů k práci s daty i celou aparaturou (kap.6). Obecný přehled výzkumných témat souvisejících s B-fyzikou v projektu ATLAS je uveden v kap. 7.

Těžiště celé práce tvoří kapitoly 8-10, v nichž autor prezentuje původní výsledky včetně detailního popisu náročné metodiky potřebné k jejich získání. Patrně nejdůležitějším výsledkem celé práce je získání číselného souboru parametrů charakterizujících narušení symetrie CP ve výše uvedeném procesu. Jejich srovnání s odpovídajícími parametry získanými v jiných experimentech nenaznačuje závažný rozpor (kap. 8). Zajímavý a velmi hodnotný je i výsledek hledání rezonance $X(5568)$, dříve nalezené v datech experimentu D0. Experiment ATLAS, ani další LHC experimenty (CMS, LHCb) existenci uvedené rezonance nepotvrdily (kap. 10). V kap. 11 jsou hlavní dosažené výsledky stručně a přehledně shrnuty.

Celkově, z práce mám velmi dobrý dojem, myslím, že autor odvedl solidní kus náročné a velmi užitečné práce. Práce obsahuje původní velmi hodnotné výsledky získané analýzou dat ATLAS, které jsou vysoce aktuální. Práce je velmi obsažná a některé obecnější pasáže mohou být velmi zajímavé i pro širší obec čtenářů. Práce je však součástí programu širší kolaborace experimentu, proto při obhajobě uvítám komentář, kterým se konkrétněji vymezí autorův vklad do společných výsledků, při realizaci měření, vývoji metodiky, analýze dat a i v souvisejících společných publikacích. K práci nemám kritické připomínky, avšak při obhajobě bych uvítal stručný komentář k hlavním výsledkům:

- Na obrázcích 8.26, 8.27 a 8.29 je znázorněna míra souhlasu změřených parametrů narušení CP v experimentu ATLAS se SM a s dalšími LHC experimenty. Zajímavý je i souhrnný obrázek 11.1 v závěrečné kapitole 11. Zatímco experiment CMS dává velmi přesvědčivý souhlas se SM, ATLAS se pohybuje na hranici souhlasu. Co lze očekávat

od množství nových dat na LHC? Proč data CMS dávají větší plochu pro souhlas? Proč na obr. 11 vychází větší míra souhlasu dat ATLAS se SM, než na obrázcích v kap. 8?

- Lze nepotvrzení X(5568) již nyní považovat za důkaz její neexistence, nebo se předpokládá intenzivní práce s dalšími daty – ve všech zúčastněných experimentech?

Několik drobnějších překlepů lze zajisté tolerovat. V souhrnu však mohu uzavřít, že autor v práci nepochybně uplatnil řadu zajímavých nápadů při zpracování velmi aktuální problematiky. Součástí práce je získání nových vědeckých poznatků, použité metody jsou adekvátní. Forma zpracování odpovídá přijatým standardům. Práce splnila svůj cíl, autor v ní prokázal předpoklady k samostatné tvořivé práci.

V Praze, dne 30. června 2020

Mgr. Petr Závada CSc., DSc.

Referee's report on the doctoral thesis by Ing. Radek Novotný:

Study of b-quark Processes Using the ATLAS Detector

The presented doctoral thesis is primarily focused on the measuring of the CP symmetry breaking in the processes $B_s^0 \rightarrow J/\psi (\mu^+ \mu^-) \phi (K^+ K^-)$ in the experiment ATLAS at the LHC collider at CERN. This is a very important issue, which may suggest the limits of validity of the Standard Model (SM). Shifting our understanding of the microworld beyond these limits is a key task in today's elementary particle physics. A group of FNSPE CTU experts has been very successfully involved in the implementation of the ATLAS experiment program for a long time, and the submitted doctoral thesis is thus also a part of this program. It can be recalled that the ATLAS experiment was involved in confirming the existence of the Higgs boson.

The work is clearly and logically divided into eleven chapters. After a general introduction defining the topic, a more extensive chapter 2. follows, in which the necessary theoretical formalism is introduced. The basic postulates of SM are given here. Furthermore, the formalism of basic discrete symmetries of elementary particles is explained: C (charge), P (parity - mirror symmetry), T (time). The chapter is clearly and comprehensibly written and proves the author's ability master to the appropriate depth the corresponding more demanding theoretical formalism. The symmetry C, P, T is directly related to the main topic of the presented work, which is more specifically defined in chapter 3. The Chapter involves a summary of existing knowledge about CP symmetry breaking in $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ processes. These phenomenological chapters are followed by a detailed description of the LHC accelerator (Chapter 4), the entire ATLAS apparatus with an explanation of the purpose of individual detectors (Chapter 5) and a description of a set of software tools for working with data and the entire apparatus (Chapter 6). A general overview of research topics related to B-physics in the ATLAS project is given in Chapter 7.

The core of the whole work is chapters 8-10, in which the author presents the original results, including a detailed description of the related methodology needed to obtain them. Probably the most important result of the whole work is obtaining a numerical set of parameters characterizing the violation of the CP symmetry in the above process. Their comparison with the corresponding parameters obtained in other experiments does not indicate a serious discrepancy (Chapter 8). The result of the search for resonance X (5568), previously found in the data of experiment D0, is also very valuable. Neither the ATLAS experiment nor other LHC experiments (CMS, LHCb) confirmed the existence of this resonance (Chapter 10). In Chapter 11, the main results achieved are briefly and clearly summarized.

Overall, I have a very good impression of the work, I think the author did a solid piece of demanding and very useful work. The thesis contains the original and significant results obtained by analyzing ATLAS data. The thesis is very comprehensive and some more general parts can be very interesting even for a wider community of readers. However, the work is part of a program of the wider collaboration of the experiment, so at the defense, I will welcome a commentary that more specifically defines the author's contribution to common results, his work during shifts, his involvement in hardware and software works and related publications. I have no critical comments on the work, but at the defense, I will welcome a brief comment on the main results:

- Figures 8.26, 8.27, and 8.29 show a region of agreement of the measured CP breaking in the ATLAS experiment with SM and with the other LHC experiments. The summary Figure 11.1 in the final Chapter 11 is also interesting. While the CMS experiment gives a very convincing

agreement with the SM, ATLAS is on the edge of agreement. What can be expected from the amount of future data at the LHC? Why does CMS data give more convincing agreement with the SM? Why does Fig. 11 shows a higher degree of agreement of ATLAS data with SM than in the figures in chap. 8?

- Can the non-confirmation of X (5568) be considered as proof of its non-existence, or is there assumed intensive work with future data - in all related experiments?

A few minor typos can certainly be tolerated. In summary, however, I can conclude that the author undoubtedly applied a number of interesting ideas in the analysis of very actual issues. The new scientific knowledge was obtained, the methods used are adequate. The form of processing corresponds to the required standards. The thesis fulfilled its goal, in which the author proved the preconditions for independent creative work.

Prague, June 30, 2020

Mgr. Petr Závada CSc., DSc.

