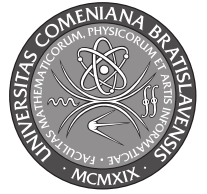




UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

Katedra teoretickej fyziky
Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava



Doc. RNDr. Tomáš Blažek, PhD

Tel: +421 2 6029 5661, Email: blazek@fmph.uniba.sk

Prof. Ing. Josef Žáček, DrSc.
Matematicko-fyzikální fakulta
Univerzita Karlova

Bratislava, 20. január 2020

Posudok na dizertačnú prácu Michal Zamkovský
“Study of the extremely rare decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ with the NA62 experiment at CERN”

Prakticky všetky urýchľovačové experimenty fyziky vysokých energií sú uspokojuivo popísané štandardným modelom elementárnych častíc. Napriek tomu si nemyslíme, že tento štandardný model je finálna teória sveta, a už veľa rokov sa snažíme o nájdenie úplnejšej teórie, ktorá bude jeho rozšírením. Štandardný model predstavuje totiž v skutočnosti iba efektívny opis doposiaľ pozorovaných častíc, ktorý rešpektuje kalibračnú symetriu $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$. Nevysvetľuje na dynamickom základe pôvod tejto symetrie, iné interakcie ako kalibračné sú v ňom len parametrizované a hodnoty parametrov, napr. hmotnosti kvarkov a leptónov, sú iba vložené rukou na základe merania. Rozšírenie štandardného modelu si tiež vyžadujú kozmologické pozorovania.

Osobitnou výzvou je pôvod spontánneho narušenia $SU(2)_L \times U(1)_Y$ na $U(1)_{em}$ symetriu pri energiách rádovo 100 GeV. Táto energetická škála vystupuje v štandardnom modeli ako fundamentálna nezávislá škála nášho sveta. Pri narušení hrá podstatnú rolu skalárne Higgsovo pole. Od júla 2012 vieme, že pozorovaná hmotnosť častice, ktorá je jeho excitáciou nad vákuom, je 125 GeV/ c^2 . Teoreticky dostáva táto hodnota v najnižšom ráde poruchovej teórie kvantové radiačné korekcie vyšších rádov, ktoré kvadraticky divergujú a prirodzene by túto hmotnosť vysvetlili, ak by bola na Planckovej škále o 17 rádov vyššie. Vzniká tak problém stability škály 100 GeV. Existencia novej fyzikálnej dynamiky objasňujúca túto stabilitu a vôbec pôvod škály 100 GeV - 1 TeV má potenciál byť podrobne preskúmaná na urýchľovači LHC v laboratóriu CERN, osobitne detektormi ATLAS a CMS, ktoré hľadajú jej explicitné prejavy v podobe nových častíc. Pátranie ATLAS-u a CMS pri najvyšších dostupných energiách napriek veľkej snahe dosiaľ nevedlo k signálu novej fyziky za štandardným modelom.

Je preto čoraz väčší dôraz na hľadanie nepriamych signálov novej fyziky, napríklad v zriedkavých rozpadoch, ovplyvnených na kvantovej úrovni neznámymi časticami. Zriedkavosť znamená malú citlivosť na známu fyziku, často len v kvantových slučkách. V CERNe nepriamo pátra po novej fyzike detektor LHCb, ktorý je na LHC a zbiera údaje o vlastnostiach a rozpadoch B-mezónov, a aj experiment NA62, ktorý *nie je* na LHC, iba odoberá protóny z predurýchľovača SPS, a zbiera údaje o mimoriadne zriedkavých rozpadoch K-mezónov (kaónov).

Predložená dizertačná práca výrazne prispieva k výskumu v posledne menovanej oblasti a je teda vysoko aktuálna.



UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



Katedra teoretickej fyziky
Mlynská dolina F2, 842 48 Bratislava

Výskum Michala Zamkovského a jeho dizertačná práca sa venujú meraniu mimoriadne zriedkavého rozpadu nabitého kaónu na nabitý pión a neutrínový pár v experimente NA62. Štandardný model predpovedá, že menej ako jeden kaón z desiatich miliárd by sa mal rozpadnúť takýmto spôsobom. Je však nazvaný zlatým rozpadom, lebo kvantové korekcie od silnej interakcie - potenciálne problematické - sú tu v teoretickej analýze výrazne zredukované. To vedie, princípálne, k podstatne presnejšej teoretickej predpovedi podľa štandardného modelu ako pre iné kaónové rozpady. Meranie šírky rozpadu $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ tak dostáva celkom mimoriadnu príležitosť k zvýšenej citlivosti na príspevky novej fyziky.

Dve úvodné kapitoly práce primerane opisujú súčasný stav teórie a aktuálnu štruktúru experimentu NA62. Podotkneme, že ide o experiment s novou metódou merania - kaóny sa rozpadajú za letu v stometrovej vákuovej komore a nie v terčíku, terčík pre kaóny nie je žiaden. Nasleduje stručná tretia kapitola s úvodom do experimentálnej analýzy a kinematiky rozpadu a ťažiskové kapitoly 4, 5 a 6, ktoré sa veľmi prehľadne venujú detailom výberu dát, analýze pozadia a signálu, končiac s prvými výsledkami pozorovaní zlatého kaónového rozpadu v dátach nazbieraných do konca roka 2017. Novšie výsledky nie sú verejne dostupné kvôli delikátnosti experimentu, ktorý má ambiciózne cieľ odfiltrovať desať miliárd iných rozpadov kaónov na každý jeden rozpad patriaci k fyzikálnemu signálu.

Možno jednoznačne povedať, že Michal Zamkovský napísal pedagogickú zrozumiteľnú dizertačnú prácu o modernom časticovom experimente, ktorého je platnou súčasťou a svojim doterajším výskumom nezanedbateľne prispel do jeho rozvoja a analýzy získaných údajov. Svedčia o tom aj jeho časté vystúpenia na pracovných mítingoch kolaborácie i verejných konferenciách a workšopoch. Rovnako ako v doktorandskej práci dáva v nich dôraz na svoje príspevky (a sú to kľúčové príspevky) k odhadom pozadia s elektrónmi v koncovom stave, merania elektrónovej efektivity na subdetektore RICH, normalizácii zlatého rozpadu a finálnom výpočte dôležitej veličiny “single-event sensitivity”, a tiež ku kalibrácii a korekciám elektromagnetického kalorimetra.

Pokiaľ to môžem posúdiť práca nemá vážnejšie nedostatky. Niekoľko chybičiek som uvidel: Sú nimi napríklad definícia matice γ_5 po rovnici (1.2), s jednou gama maticou navyše. Veličiny F a X v kapitole 1.1 sú tie isté a môžu sa volať rovnako. Vzťah (1.49) má končiť druhou mocninou tangensu uhla θ a nie tangensom dvojnásobného uhla. Zjavne nijako neznižujú kvalitu práce. Podotýkam, že práca je napísaná slušnou angličtinou.

Pri obhajobe by som uvítal diskusiu na nasledovné témy: k akým zmenám príde na experimente NA62 po skončení súčasnej odstávky experimentu v roku 2021 a aký je Michalov príspevk k týmto zmenám. Bude v experimente aj multi-varietná analýza využívajúca strojové učenie? Aké sú hlavné výhody a nevýhody súčasnej “cut-based” analýzy?

Záverom zhrniem, že Michal Zamkovský v práci splnil hlavné ciele dizertácie a preukázal predpoklady k samostatnej tvorivej vedeckej práci i k schopnosti podstatne prispieť do moderného časticového experimentu. Jeho dizertačnú prácu doporučujem k obhajobe.

Doc.RNDr. Tomáš Blažek, PhD