



FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY UNIVERZITY  
KOMENSKÉHO

Mlynská dolina, 842 48 Bratislava  
tel.: (02) 602 95 111, fax.: (02) 654 26 720, e-mail: sd@fmph.uniba.sk

**Posudok oponenta na dizertačnú prácu  
Mgr. Bedřicha Roskovca**

***“Detailed Investigation of Electron Antineutrino Oscillations in the Daya Bay Experiment”***

Téma predkladanej dizertačnej práce je nepochybne veľmi aktuálna. Rozhodnutím Kráľovskej švédskej akadémie vied bola udelená Nobelova cenu za fyziku za rok 2015 za objav neutrínových oscilácií. Laureátmi sú Takaaki Kajita z Univerzity v Tokiu a emeritný profesor Arthur B. McDonald z Queen's University v kanadskom Kingstone. Pozorovanie neutrínových oscilácií predstavuje začiatok novej éry v neutrínovej fyzike a znamená značný pokrok v poznaní základných vlastností neutrín, týchto záhadných častíc o ktorých vieme zatiaľ veľmi málo. Z objavu neutrínových oscilácií jednoznačne vyplýva, že neutrína majú hmotnosť a menia svoju identitu pri putovaní v priestore. Malé hmotnosti neutrín menia našu predstavu o vesmíre a sú predmetom intenzívneho záujmu vo viacerých vedeckých oblastiach, napr. astročasticovej, časticovej, jadrovej fyziky a kozmológie.

Dizertačná práca Mgr. Bedřicha Roskovca je súčasťou výskumu oscilácií reaktorových antineutrín v rámci prominentného Daya Bay experimentu, ktorý sa zapísal do histórie určením malej, nenulovej hodnoty uhla  $\theta_{13}$ - najmenšieho z 3 troch uhlov parametrizujúcich PMNS maticu zmiešavania neutrín. I keď je zrejmé, že v rámci Daya Bay kolaborácie autor dizertácie participoval na viacerých vedeckých úlohách, samotná dizertačná práca je venovaná len štúdiu narušenia lorentzovej invariantnosti a neštandardným interakciám neutrín. Uvedené témy patria medzi často adresované problémy vo vedeckej komunite, keďže lorentzová invariantnosť je jedným z postulátov teórie poľa a špeciálnej teórie relativity. Taktiež, mimo rámca veľmi úspešného Štandardného modelu fyziky elementárnych častíc, ktorý sa deklaruje ako veľmi dobré priblíženie omnoho dokonalejšej teórie, sa predpokladá existencia neštandardných slabých interakcií leptónov a kvarkov.

Riešenie úloh tejto dizertačnej práce je dôležité z hľadiska budovania teórie Veľkého zjednotenia všetkých typov interakcií, ktorej cieľom je opisovať aj vysoko-energetické procesy vo vesmíre v oblasti až do Planckovej škály. Oba fenomény, narušenie lorentzovej invariantnosti a neštandardné interakcie neutrín, sa hľadajú v laboratórnych podmienkach ako aj v astrofyzikálnych procesoch. Napríklad, predpokladá sa, že neštandardné interakcie neutrín môžu podstatne vplyvať na dynamiku výbuchu supernov. Oba predpokladané javy hrajú dôležitú úlohu z hľadiska fyziky neutrín a teoretickej interpretácie samotného fenoménu oscilácií neutrín prostredníctvom ich hmotností.

Predkladaná dizertačná práca je napísaná systematicky, zrozumiteľne, prehľadne ale možno trochu stručne. Má 116 strán, obsahuje 27 obrázkov, 16 tabuliek a 96 referencií. V úvode sa prezentuje dôležitosť neutrínových oscilácií, Daya Bay experiment a potreba štúdia narušenia lorentzovej invariantnosti ako aj neštandardných interakcií neutrín. V druhej kapitole sú prezentované historické fakty, základné vzťahy a parametre ako aj experimenty týkajúce sa

oscilácií neutrín. Tretia kapitola prezentuje pravdepodobnosti oscilácie neutrín v prípade narušenia lorentzovej invariantnosti v teóriách vychádzajúcich za rámec Štandardného modelu. Štvrtá kapitola uvádza neštandardné interakcie v súvislosti s neutrínovými osciláciami široko akceptovaným spôsobom ako aj v danej dizertácii navrhnutým spôsobom - zavedením neunitárnej matice zmiešavania neutrín, ktorá má formu PMNS matice zmiešavania neutrín. Z dôvodu zjednodušenia analýz v rámci Daya Bay experimentu modifikuje sa len sektor s uhlom zmiešavania  $\theta_{13}$  a CP narušujúcou fázou. Samotný Daya Bay experiment, spôsob detekcie neutrín, detektory a pozadie v neutrínových detektoroch sú opísané v piatej kapitole. Šiesta kapitola sa zaoberá spracovaním a analýzou dát v rámci Daya Bay experimentu. Dosiahnuté výsledky dizertácie sú prezentované v siedmej kapitole. Posledná ôsma kapitola stručne zhrňuje dosiahnuté výsledky ako aj uvádza samotný prínos doktoranda k ich dosiahnutiu, resp. jeho úlohu v rámci Daya Bay experimentu.

Uvedená dizertačná práca prináša **nové, originálne vedecké poznatky**, z ktorých by som uviedol nasledovné:

- Využívajúc dáta z Daya Bay experimentu boli stanovené nové, silnejšie ohraničenia na možné narušenie lorentzovej invariantnosti v rozšíreniach Štandardného modelu fyziky častíc. Na niektoré parametre bolo stanovené ohraničenie po prvýkrát.
- Bol navrhnutý nový spôsob analýzy neštandardných interakcií neutrín v rámci experimentov študujúcich oscilácie neutrín. Komplexná analýza dát v kontexte s druhými neutrínovými experimentmi vylúčila možnosť pozorovania efektu neštandardných interakcií neutrín v rámci Daya Bay experimentu.

K uvedenej dizertačnej práci, resp. k jej autorovi, mám niekoľko súvisiacich otázok resp. pripomienok:

- Ako je známe v energetickom spektre vyletujúcich neutrín od reaktora je hrb neznámeho pôvodu v oblasti energií 5-7 MeV. Vzniká otázka, či dáta z uvedenej energetickej oblasti boli brané do úvahy pri analýze efektov narušenia lorentzovej invariantnosti a neštandardných neutrínových interakcií.
- V kapitole 7 sú v tabuľkách určené ohraničenia na parametre narušenia lorentzovej invariantnosti. Chýba mi v nich porovnanie s ohraničeniami získanými v rámci Double Chooz experimentu, v ktorom tiež boli merané oscilácie reaktorových neutrín (napr. V.A. Kostelecký and N. Russell, arXiv:0801.0287.v6 [hep-ph] - posledný raz doplnené v danom roku). Bolo by žiadúce porovnať výsledky oboch experimentov v študovanom prípade ako aj z hľadiska špecifik oboch experimentov.
- Bohužiaľ, ohraničenia získané na parametre súvisiace s neštandardnými interakciami nemajú veľkú výpovednú hodnotu (napr., tie v tabuľke 7.7 alebo v obrázku 7.10). Bolo by zaujímavé určiť korešpondujúce hodnoty parametrov  $\varepsilon$  (pozri vzťah 4.3 ako aj publikáciu O.G. Miranda and H. Nunokawa, New J.Phys. 17 (2015) 095002) ako aj uviesť nakoľko zodpovedajúca hodnota  $\varepsilon$  je menšia ako 1.
- Dizertácia je venovaná štúdiu malých exotických efektov pri zanedbaní iných malých vplyvov ako napr. efektu hmotného prostredia, ktorým sa šíria neutrína, resp. faktu, že merania sa uskutočňujú v rotujúcom referenčnom systéme - na Zemi. Bolo by vhodné uviesť prečo a ktoré malé efekty sa zanedbávajú.
- Vzniká tiež otázka, ktorá vychádza za rámec danej dizertačnej práce, nakoľko je opodstatnená štúdia efektu, ktorý vychádza za rámec teórie poľa, keď ešte nemáme konzistentný opis fenoménu neutrínových oscilácií v jej rámci. Formalizmus vlnových

balíkov zatiaľ nebol dostatočne akceptovaný vedeckou komunitou a nie je ani použiteľný pri analýze dát z experimentov študujúcich oscilácie neutrín. Stačí uviesť, že v nedávnej publikácii Daya Bay kolaborácie (arXiv:1608.01661 [hep-ex] ), ktorej je autor dizertácie spoluautorom, sa prezentuje značná neurčitosť parametra určujúceho vlnový balík.

Pri písaní uvedenej práce vznikli aj určité formálne nedostatky z ktorých by som uviedol:

- Dizertácia obsahuje niekoľko historických nepresností. Napríklad, na strane 11, prvý paragraf, sa uvádza, že „After the discovery of muon neutrino, B. Pontecorvo’s thoughts helped Z. Maki, N. Nakagawa and S. Sakata in the proposition of neutrino flavour oscillations ..“, čo nie je pravda. Menovaní len zaviedli zmiešavanie neutrín pre potreby záchrany Nagoya modelu. Ďalej, na strane 14, predposledný paragraf, sa uvádza, „This deficit in the flux of the neutrinos from the sun was called the Solar Neutrino Problem because at that time no explanation existed“, čo tiež nezodpovedá skutočnosti. Už vtedy V. Gribov a B. Pontecorvo navrhli možné vysvetlenie daného deficitu slnečných neutrín pomocou fenoménu oscilácie neutrín (Phys. Lett. B28 (1969) 493).
- Dizertácia obsahuje aj viacero preklepov, ktorých množstvo nevychádza za rámec štandardného výskytu. Napr. na strane 23 sa uvádza  $M_P \cong 10^{-19}$  GeV namiesto  $M_P \cong 10^{+19}$  GeV (resp  $M_P = 1.220910 \times 10^{19}$  GeV).

Uvedené dosiahnuté vedecké poznatky sú opublikované v recenzovanom medzinárodnom časopise (JHEP) a prešli aprobáciou na medzinárodnej konferencii Rencontres de Blois on Particle Physics and Cosmology Proceedings 2015 ako aj na pracovných stretnutiach Daya Bay kolaborácie. Ako som bol informovaný, pripravujú sa ďalšie publikácie v rámci Daya Bay kolaborácie, ktoré pokrývajú nepublikované výsledky danej dizertácie. Okrem toho Mgr. Bedřich Roskovec je spoluautorom 15 publikácií Daya Bay kolaborácie, v rámci ktorej sa zaoberal aj neuniformitou detektorov a analýzou kozmogénneho pozadia. Jeho hlavná úloha v Daya Bay kolaborácii pozostáva v zodpovednosti za analýzu dát týkajúcich sa neštandardných interakcií neutrín, čo je určite významný post pre doktoranda.

Dizertačná práca Mgr. Bedřicha Roskovca určite predstavuje **značný prínos pre ďalší rozvoj** neutrínovej fyziky, slabých interakcií a teórií vychádzajúcich za rámec Štandardného modelu. Záverom môžem skonštatovať:

- Boli získané dôležité fyzikálne výsledky, ktoré v skúmaných oblastiach ovplyvnia ich ďalší vývoj.
- Výsledky dizertačnej práce prešli kvalitnou medzinárodnou aprobáciou.
- Práca po vecnej a vedeckej stránke a z hľadiska pochopenia jej obsahu je napísaná na dobrej úrovni.

Na základe uvedených skutočností som si vedomý toho, že predkladateľ tejto dizertačnej práce spĺňa kritéria pre udelenie vedecko-akademickej hodnosti PhD. Navrhujem uznať danú prácu za dizertačnú a **udelit’ Mgr. Bedřichovi Roskovcovi vedecko-akademickú hodnosť PhD.**

V Dubne, 07.11. 2016

---

*Prof. RNDr. Fedor Šimkovic, CSc*