

Posudek oponenta na disertační práci Viktora Pěče *Precise Measurement of the electron antineutrino oscillation*

Disertační práce se týká velmi aktuální problematiky oscilací neutrin a přispívá k především k porozumění detektorových charakteristik předního experimentu v oboru reaktorových neutrin Daya Bay a to např. systematickou charakterizací mionového detektoru RPC a zpřesněním určení deponované energie měřených událostí. Práce je zřetelnou součástí českého příspěvku k experimentu Daya Bay a skvěle zapadá do širšího záběru skupiny při UK. Z práce jednoznačně vyplývá, že její autor je důležitou součástí této skupiny, která byla mj. za svůj přínos k experimentu oceněna v roce 2013 cenou MŠMT za výzkum.

Samotná disertace se kromě přehledu problematiky a celkových výsledků experimentu jakožto i přehledu konkurenčních projektů a jejich závěrů zabývá především vlastním příspěvkem autora ke zjištění četnosti rozpadů atmosférických mionů uvnitř detektorů a zjištění energetické škály a rozlišení detektoru v oblasti 50 MeV a příspěvkem k instalaci a testování tzv. RPC detektorů pro identifikaci mionů kosmického záření.

Disertace je psaná srozumitelnou angličtinou se snesitelným počtem překlepů a zanedbatelným množstvím grafických nedostatků. V tomto ohledu stojí za zmínku snad str. 42, kde se některé grafické chyby kumulují (zde se jedná např. o špatně vysázené jednotky odporu vrstvy v druhém odstavci, odsazení jednotky šířky segmentu ve třetím odstavci a opakování slov v odstavci posledním). Rovněž tak citace na literaturu by bylo vhodnější odsazovat od předchozích slov. Občas je v textu uveden odkaz na jinou část obrázku. Např. na str. 51 se první odstavec se týká obrázku označeného písmenem b) a nikoli c). Na str. 74 zase není dokončena u obrázku legenda. Uvedené grafické nedostatky však nesnižují čtivost práce natož pak její celkovou kvalitu.

Práce členěna celkem do 6 kapitol a doplněna je o dodatek k modelu rozpadu mionu, seznamy tabulek a zkratk. První kapitola se týká obecně oscilací neutrin včetně historického úvodu a to jak z oblasti experimentu tak i teorie. Jsou zde souhrnně popisovány výsledky Daya Bay i konkurenčních experimentů. Podrobně je popisován výsledek týkající se oscilačního parametru θ_{13} . Druhá kapitola se týká atmosférických mionů vznikajících ve sprškách kosmického záření. Je zde popisován mechanismus jejich vzniku a z teoretického pohledu jejich spektrum na úrovni povrchu země jakožto i pod povrchem. Třetí kapitola popisuje ve stručnosti experimentální uspořádání projektu Daya Bay. Ve čtvrté kapitole jsou podrobně popsány výsledky zahořování a testování jednotlivých RPC. Na těchto aktivitách se autor sám podílel. Je demonstrováno např. stabilizování proudu po ca 50 hodinách zahořování, kdy již dochází k odstranění nehomogenit na vnitřních površích elektrod. Kapitola dále kvantifikuje závislost efektivity detekce mionů v RPC (v testovacím setupu se scintilačními teleskopy nad a pod RPC) na přiloženém vysokém napětí, jakožto i závislosti temného proudu a četnosti náhodného signálu na stejné veličině. Dále jsou sumarizovány efektivity, temné proudy a náhodné signály pro vzorek 1600 testovaných RPC a představeno je také testovací zařízení v Praze. V kapitole 5 autor popisuje proces rozpadu mionů v detektoru, odlišuje a parametrizuje zvláště rozpad kladně a záporně nabitého mionu. Záporně nabitý mion před rozpadem totiž nejdříve často obsadí místo v atomovém obalu a rozpadne se až následně.

Kapitola 6 se skládá ze dvou podstatných celků. V první části autor stanovuje četnost rozpadů mionů v detektorech. Pečlivě přitom studuje efektivity výběru podle energie mionu, energie detekovaných rozpadových produktů a podle časového rozdílu mezi okamžitým a následným signálem. Ke stanovení efektivit přitom využívá jak reálná data tak i MC simulace. Získané výsledky jsou konzistentní s jinou prací Daya Bay popisující mionový systém a stanovující mj. i tok mionů. Ten při přepočtení na počet rozpadů dává v rámci chyb stejné výsledky jako hlavní analýza. Četnost rozpadů mionů souvisí s počtem zachycených záporně nabitých mionů na jádrech ^{12}C v detektoru. Při této reakci vzniká relativně dlouho žijící isotop ^{12}B , který přispívá k pozadí oscilační analýzy. Měření

četnosti rozpadů mionů tak umožňuje také ověřit určení velikosti tohoto pozadí.

V druhé části kapitoly 6 se autor zabývá stanovením škály pro určení energie a energetického rozlišení detektoru v oblasti ca 50 MeV. Na této energii končí spektrum elektronů (pozitronů) vzniklých z rozpadů záporně (kladně) nabitých mionů. S využitím modelu popsáno v předchozí kapitole autor srovnává pozici horního prahu (zlomu) v detekovaném energetickém spektru deponované energie s očekáváním. Z odchylek stanovuje nejlepší škálovací faktor a z tvaru konce spektra i energetické rozlišení. Kromě modelu uvedeného v kapitole 5 používá i simulace rozpadů v Geantu4. Získaná energetická kalibrace doplňuje předchozí měření na nižších energiích. Výsledek napomáhá zpřesnit energetický model v oscilační analýze a představuje krok k podrobnému porozumění odezvy detektoru na vyšších energiích, kde dosud kalibrační bod chyběl. Na energiích nad 20 MeV je navíc možné měřit případné neutrinové signály ze supernov, do jejichž monitorovacího programu je experiment Daya Bay také zapojen a tak má stanovení kalibračního bodu z rozpadové analýzy mionů podstatnou roli.

Konstatuji, že uvedená práce splňuje všechny požadavky kladené na disertační práci a obsahuje nové vědecké poznatky. Je zpracována na velmi dobré úrovni a na velmi aktuální téma na jednom z nejúspěšnějších neutrinových experimentů současnosti. Při stanovení četnosti rozpadů mionů i energetické škály autor používá pokročilé matematické a statistické metody včetně detailní simulace detektoru metodou Monte Carlo.

Autor jednoznačně prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat a jako oponent doporučuji komisi po obhajobě Viktoru Pěčovi udělit titul PhD.

Na doktoranda mám následující otázky:

Prosím popište i u obhajoby jaké testy RPC jste spolu s kolegy provedl na čínském pracovišti. Jaká byla celková časová náročnost tohoto úkolu a jaký ca Váš podíl? Vysvětlíte prosím stručně, jak probíhala a jak náročná byla instalace RPC na experimentu. Prosím vysvětlíte, zda a jaké jsou další plány s testovacím zařízením v Praze.

Obr. 6.9. ukazuje určitou citlivost parametru λ_{capture} na podílu počtu kladně a záporně nabitých mionů. Na str. 76 je citováno měření tohoto parametru pro uhlík ^{12}C (= ca 38 ms^{-1}). Šlo by úlohu obrátit a zafixovat parametr λ_{capture} a naopak fitovat podíl kladně a záporně nabitých mionů? Jaká by byla v tomto případě zhruba chyba takto určeného podílu R_{μ} ?

Na str. 82 v Tab. 6.2. v posledním řádku je relativní pozadí (prostřední sloupec) v hale 3 srovnatelné s odhadem uvedeným na str. 75. Přesto se ve druhém odstavci na str. 82 píše, že je čtyřnásobné. Prosím znovu o vysvětlení.

Jak by zhruba vypadalo srovnání měřeného toku mionů uvedeného na str. 91, který odpovídá i Vámi měřené četnosti rozpadů, ve srovnání s jinými experimenty (např. graf 28. 7. v PDG) ?

V práci se uvádí, že výsledky četnosti rozpadů je možné použít ke stanovení četnosti zachytu mionu na jádře ^{12}C a tím i stanovit množství vznikajícího izotopu ^{12}B , který přispívá k pozadí v detektoru. Existuje již takový přepočít, a jak by dopadl ve srovnání s jinými metodami určení množství vznikajícího ^{12}B v detektorech Daya Bay?

V Praze, 15.8.2016

RNDr. Petr Trávníček, PhD.

Fyzikální ústav AVČR, v. v. I.

Tel 776033635, email: petr.travnicek@fzu.cz