



**FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY,
UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE**

Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovakia
tel.: +421 2 602 95 111, fax.: +421 2 654 26 720, e-mail: sd@fmph.uniba.sk

Posudok oponenta na bakalársku prácu pána Filipa Koňárika s názvom:

“Vývoj softwaru pro energetickou kalibraci pro SuperNEMO detektor“

Neutrína sú záhadou. Nedávne experimenty pozorujúce oscilácie neutrín nás presvedčili o tom, že majú malú, no nenulovú hmotnosť. Tento fenomén prechádza za rámec veľmi úspešného Štandardného modelu fyziky elementárnych častíc, v ktorom neutrína vystupujú ako bezhmotné častice. Podotýkame, že efekt oscilácie neutrín je citlivý iba k rozdielom kvadrátov hmotností neutrín. Ich absolútna hmotnostná škála tak ostáva neznáma a musí byť určená z druhých experimentov.

Ďalším fundamentálnym problémom, ktorý v súčasnosti rezonuje vo svete fyzikálnej komunity je otázka, či je neutríno častica majoranovská alebo dirakovská, t.j. či sú neutríno a antineutríno jedna a tá istá častica alebo sa jedná o dve rozličné častice. Tento problém úzko súvisí so zákonom zachovania leptónového náboja v Štandardnom modeli, ktorý nemá podporu v žiadnom základnom princípe.

Bezneutrínový dvojitý beta ($0\nu\beta\beta$) rozpad jadier, ktorý nezachováva leptónový náboj sa považuje za najlepší prostriedok, ktorým možno rozhodnúť, či je neutríno častica majoranovská alebo dirakovská. Počas premeny tohto procesu má súvis s tzv. efektívnou majoranovskou hmotnosťou, tým umožňuje určiť absolútnu hmotnostnú škálu neutrín. $0\nu\beta\beta$ rozpad nebol zatiaľ experimentálne pozorovaný. V súčasnosti sú v príprave experimenty novej generácie na hľadanie $0\nu\beta\beta$ rozpadu rôznych jadier ako napr. SuperNEMO, LEGEND, EXO, CUORE a iné. V prípade majoranovského pôvodu neutrín by sa tento proces prejavil ako pík v sumárnom energetickom spektre emitovaných elektrónov v hodnote Q-value pre dané jadro. Z tohto dôvodu je žiadúca čo najvyššia presnosť merania energií elektrónov.

Cieľom bakalárskej práce pána Filipa Koňárika je vývoj softwaru pre kalibráciu detektora SuperNEMO. Práca je členená na úvod, tri kapitoly, záver a zoznam použitej literatúry. V úvode autor popisuje stručný prehľad záverečnej práce, jej motivácie a ciele. Prvá kapitola je venovaná prehľadu histórie neutrínovej fyziky s poukázaním na motiváciu hľadania $0\nu\beta\beta$ rozpadu, ktorý nám môže dať odpoveď na otvorenú otázku, či je neutríno majoranovská častica. V druhej kapitole prezentuje autor technický opis plánovaného detektora SuperNEMO, ktorý je unikátny medzi ostatnými tým, že okrem merania energií emitovaných elektrónov bude schopný registrácie ich trajektórie a teda aj ich uhlových spektier. Ďalej je uvedený princíp kalibrácie tohto detektora s pomocou izotopu ^{207}Bi , ktorý je zdrojom konverzných elektrónov s diskretnými hodnotami energií. Prvé dve kapitoly predstavujú teoretickú časť práce, v ktorej autor ukázal, že rozumie problematike neutrínovej fyziky ako je určenie hmotností neutrín a dvojitému beta rozpadu.

Tretia kapitola reprezentuje praktickú časť záverečnej práce, kde autor prezentuje originálne výsledky svojich analýz a navrhuje algoritmus, ktorý by mohol byť v budúcnosti použitý na automatickú kalibráciu jednotlivých optických modulov detektora SuperNEMO. Nakoľko samotný detektor je ešte len vo fáze budovania, v práci boli použité na vývoj a testovanie softwaru nasimulované MC dáta. Hlavným cieľom bolo nájsť pozície píkov v elektrónovom spektre izotopu ^{207}Bi s korekciou na energetické straty pri prechode od samotného kalibračného zdroja cez dráhový detektor ku kalorimetru. Dosiahnuté výsledky ukazujú, že najvhodnejší opis energetického spektra autor dostáva pri použití konvolúcie Landauovského a Gaussovského rozdelenia. V závere práce sú spomenuté návrhy na zlepšenie a zdokonalenie procesu fitovania píkov tak, aby mohol byť proces kalibrácie pre SuperNEMO kolaboráciu plne zautomatizovaný.

Práca ako celok je napísaná po formálnej aj faktickej stránke dostatočne podrobne, prehľadne a zrozumiteľne. Je dobrým prehľadom aktuálnej problematiky hľadania $0\nu\beta\beta$ rozpadu. Mám k nej iba málo výhrad a kritických pripomienok. Zo stylistickej stránky by bolo vhodné nepoužívať jednotné číslo, ktoré sa vyskytlo na niektorých úsekoch záverečnej práce, ale ponechať buď množné číslo alebo trpný rod (Ukázali sme.../ Bolo ukázané...). Ďalej je vhodné pridržiavať sa jednotného systému označenia jednotiek, napr.: v tab. 1.1 sú pre polčas premeny uvedené jednotky **rok**, kým v tab. 1.2 je anglická skratka **y**. Tieto preklepy však nijako neznižujú kvalitu práce. Akokoľvek by som rád autorovi uviedol nasledovné otázky a pripomienky:

1. V sekcii 3.3.1 autor uvádza odhad chyby na korekcie energetických strát elektrónu z dôvodu zakrivenia trajektórie v magnetickom poli. Predpokladá sa tu implicitne homogénnosť magnetického poľa v celom objeme detektora – mierne ideálna situácia. Vedel by autor stručne okomentovať vplyv nehomogénnosti magnetického poľa na koncovú energiu elektrónu?
2. Pripomienku by som uviedol k fitom, u ktorých autor uvádza: sekcia 3.3.3. str. 41 “*Výsledek vidíme na obrázku 3.14. Táto nová korekce již funguje lépe*”. Ako aj sekcia 3.4.1. str. 43 “*Vidíme, že křivky graf kopírují poměrně dobře a nejsou špatným popisem spektra*”. Prečo už tu v diskusii nepoužíva autor premennú χ^2/NDF nakoľko ju predsa len zavedie v sekcii 3.4.2. na str. 46 v tabuľke 3.6?

Záverom môžem zhodnotiť, že študent pán Filip Koňarik preukázal, že zvládol štúdium problematiky neutrínovej fyziky. Taktiež preukázal, že si osvojil programové zručnosti potrebné k dosiahnutiu prezentovaných výsledkov. Autor touto prácou poskytol kolaborácii SuperNEMO užitočné informácie, ktoré budú zohľadnené pri vývoji automatizácie kalibračného systému detektora. Na základe vyššie uvedeného navrhujem pánovi Filipovi Koňarikovi udeliť titul Bc. a ohodnotiť ho známkou **A-výborně**.