

Oponentský posudek na disertační práci Mgr. Martina Slezáka „Monitoring of the energy scale in the KATRIN neutrino experiment“

Experiment KATRIN je určen pro měření hmotnosti elektronového antineutrina pomocí precizní spektroskopie elektronů emitovaných při beta-rozpadu tritia. Předmětem disertační práce je vývoj metody pro monitorování stability energetické kalibrace v tomto experimentu s pomocí monitorovacího spektrometru a mono-energetického zdroje konverzních elektronů ^{83m}Kr .

Struktura:

Práce je členěna do osmi logicky na sebe navazujících kapitol a obsahuje doplněk. Po krátkém úvodu následuje kapitola, přibližující problematiku neutrinové fyziky, teoretický rámec a motivaci pro budování experimentu KATRIN. Následuje popis experimentu s vysvětlením významu experimentálních neurčitostí, které jsou řešeny v rámci dizertace. V další kapitole je originální teoretický rozbor vlivu různých typů deformace spektra elektronů na výsledek určení hmotnosti neutrina, popsána metoda monitorování a vysvětleny hlavní body, na které je třeba brát zřetel pro dosažení požadované stability kalibrace. Ve čtvrté kapitole je popsán monitorovací spektrometr a metody statistického zpracování konverzních linek, které jsou dále v práci hojně užívány. Zejména část 4.2.1 může být užitečná pro všechny studenty fyziky. Nejobjemnější kapitola č. 5 (62 stran) se věnuje vývoji pevného zdroje konverzních elektronů. V šesté kapitole je popsán vývoj plynného zdroje konverzních elektronů. V sedmé kapitole je navržena procedura monitorování, optimalizovaná s ohledem na získání maximální informace o stabilitě kalibrace resp. o hmotnosti neutrina v co nejkratším čase. Poslední, osmá kapitola shrnuje závěry práce a výhledy do budoucna. Nakonec je připojen seznam relevantní literatury. Dizertace je srozumitelná, graficky velmi dobře upravená a je napsána v anglickém jazyce.

Aktuálnost:

Neutrinová fyzika je v současné době ve středu pozornosti. Svědčí o tom mimo jiné i Nobelova cena za fyziku letos udělená za výzkumy v této oblasti. Hmotnost neutrina je dosud neznámým parametrem, velmi důležitým pro částicovou fyziku, kosmologii a astrofyziku. Výsledky experimentů posledních dvou dekad, zkoumajících oscilace neutrin poskytují informace o rozdílech Δm_{ij}^2 hmotnostních stavů neutrin, pozorování anizotropie reliktního záření dovoluje modelově závislé odhady součtu hmotností všech tří hmotnostních stavů a výzkum bez-neutrinového dvojného beta-rozpadu dává, za předpokladu, že neutrina jsou tzv. Majoranovská, horní limity na efektivní hmotnost neutrina. Jediným modelově nezávislým typem experimentu, který poskytne informaci o absolutní hodnotě hmotnosti neutrin je precizní měření energetického spektra beta-záření. Experiment KATRIN je navržen tak, aby byl o řád citlivější na hmotnost neutrina, než bylo dosud nejpřesnější měření. Klíčovým atributem experimentu je stabilita energetické škály, která je předmětem dizertace.

Metoda:

Těžištěm práce je vývoj pevných a plynných zdrojů konverzních elektronů pro monitorování stability energetické škály experimentu KATRIN. Plynné zdroje budou používány v hlavním elektronovém spektrometru, zatímco pevné zdroje budou instalovány v paralelním, tzv. monitorovacím spektrometru. V rámci vývoje bylo postupně vyrobeno několik generací zdrojů na zařízeních ISOLDE (CERN) a BONIS (Bonn University). Kvalita zdrojů byla

následně zkoumána na domácím pracovišti pomocí polovodičových spektrometrů záření gama a rentgenového záření, pomocí radiografických detektorů a v Karlsruhe na monitorovacím spektrometru. Pozornost byla věnována především stabilitě energie emitovaných elektronů a retenci ^{83m}Kr ve vzorku. V práci je pro každou generaci zdrojů podrobně popsáno, proč a jak byly vzorky vyrobeny, následuje popis jejich prověřování, výsledky a poznatky pro výrobu další generace. Vyhodnocení jsou vždy netriviální a používají analytické i MC modelování různých fyzikálních efektů. Byl použit vlastnoruční MC nástroj. Netradiční optimalizace měření integrálního spektra konverzních elektronů je založena na konceptu relativního vlivu dat na fitované parametry.

Zvolené metody byly adekvátní řešeným problémům.

Výsledky:

- Vyvinut model tvaru linky – konvoluce Doniach-Sunjic a Gaussian
- Vyvinuta metoda výroby zdrojů na ISOLDE a BONIS implantací mateřského izotopu ^{83}Rb do pevné podložky. Byly testovány různé substráty (Pt, ZnO, HOPG) a implantační energie, tepelné úpravy před i po implantaci.
- Různé typy Zeolitu jako materiálu pro plyný zdroj byly studovány v různých podmínkách (UHV, vzduch, He, H, N, ...). Jako optimální materiál byl nalezen Zeolit 5A.
- Pozorován vliv předchozího „vypékání“ spektrometru před měřením
- Byl nalezen a doporučen optimální režim měření integrálního spektra konverzních elektronů s ohledem na rychlost získání informace o stabilitě kalibrace.
- Bylo formulováno doporučení celkové procedury monitorování stability napětí hlavního spektrometru tak, aby byla pozorovatelná případná odchylka měřené energie elektronů o 60 meV.

Připomínky, dotazy:

Některé grafy jsou těžko čitelné Fig. 5.20, 25, 29, 30.

- Práce popisuje technologie výroby zdrojů. Během provozování KATRIN bude muset být použito mnoho zdrojů. Bude každý z nich podléhat kontrole kvality? Jaké?
- Energie přechodů 32 keV a 9.4 keV byly změřeny nedávno. Prosím o bližší informaci.
- Jaké je rozdělení finálních stavů molekul HeT po rozpadu? Jsou i jiné počáteční stavy než T2?

Závěr:

Autor prokázal schopnost a připravenost k samostatné tvůrčí činnosti v oblasti výzkumu. Práce splňuje požadavky kladené na doktorské disertační práce. Doporučuji proto, aby po úspěšné obhajobě byla Martinu Slezákovi udělena vědecká hodnost Ph.D.

V Praze 6.1.2016

Ing. Vít Vorobel, Ph.D.
oponent