Oponentský posudek

na disertační práci Ing. Jaroslava Červenáka

„Meranie excitačních funkcí jadrových reakcí na cyklotróne U-120M"

Disertační práce Ing. Červenáka se zabývá aktuální problematikou měření excitačních funkcí protonů na ^{nat}Mo, ^{197}Au, ^{nat}Ti a ^{nat}Cu při energiích do 36 MeV a deuteronů na ^{197}Au a ^{nat}Cu při energiích do 20 MeV. Znalost excitačních funkcí má zásadní význam zejména při plánování přípravy radionuklidů (výtěžek připravovaných radionuklidů, přítomnost radionuklidových nečistot), monitorování svazku nabitých částic a jako zpětná vazba pro teoretické předpovědi účinných průřezů jaderných reakcí či jako podnět pro ověření jaderných dat (intenzity gama linek, poločasy přeměny) v případě zjištění nesrovnalostí či systematických chyb při výpočtu aktivit. Z uvedených důvodů je práce vysoce aktuální.

Předložená disertace má 119 stran a je rozčleněna do 7 kapitol (1. Teoretický úvod, 2. Cíle práce, 3. Seznam publikací, 4. Komentář k souboru publikovaných šesti prací, 5. Souhrn, 6. Literatura, 7. Přílohy) Práce je sepsána přehledně, s minimem formálních nedostatků.

V kap. 2 jsou uvedeny cíle disertační práce takto:

1) Měření excitačních funkcí reakcí ^{nat}Mo(p,x) s důrazem na reakce ^{nat}Mo(p,x)^{99m}Tc, ^{nat}Mo(p,x)^{99}Mo a ^{nat}Mo(p,x)$^{96m+g}$Tc. První dvě reakce jsou důležité pro přípravu cyklotronového Tc, které lze využít v nukleární medicíně jako alternativu generátorového ^{99m}Tc. Třetí reakce je pak využívána při monitorování svazku protonů při ozařování v urychlovačích částic.
2) Měření excitačních funkcí monoizotopického zlata ^{197}Au(p,x) s důrazem na reakce ^{197}Au(p,x)^{197m}Hg a ^{197}Au(p,x)^{197g}Hg, které jsou důležité pro přípravu v nukleární medicíně jako potencionálně nového teranostického izomerního páru.
3) Měření excitačních funkcí reakcí ^{197}Au(d,x) s důrazem na reakce ^{197}Au(d,x)^{197m}Hg a ^{197}Au(d,x)^{197g}Hg jako důležité alternativy k přípravě ^{197m,g}Hg aktivací zlata protony.
4) Měření excitačních funkcí reakce ^{nat}Cu(d,x).
5) Měření excitačních funkcí reakce ^{nat}Ti(p,x) s důrazem na reakci ^{nat}Ti(p,x)^{48}V, která je jednou z nejdůležitějších monitorovacích reakcí protonového svazku při ozařování v urychlovačích částic.
6) Měření excitačních funkcí reakcí ^{nat}Cu(p,x) s důrazem na reakce ^{nat}Cu(p,x)^{62}Zn, ^{nat}Cu(p,x)^{63}Zn a ^{nat}Cu(p,x)^{65}Zn, které slouží jako monitorovací reakce protonového svazku při ozařování v urychlovačích částic.

Teoretická i experimentální část práce je na velmi dobré odborné úrovni, o čemž svědčí i to, že výsledky již byly publikovány v pěti článcích v impaktovaných mezinárodních časopisech (Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A nebo Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B), přičemž u tří článků je Ing. Červenák prvním autorem. Šestý článek, jehož je Ing. Červenák rovněž prvním autorem, byl zaslán do časopisu Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. Výsledky disertační práce jsou v dobrém souhlasu s dřívějšími publikovanými výsledky či přinesly nové poznatky o excitačních funkcích či účinných průřezech studovaných reakcí. Důkazem pečlivého provedení a vyhodnocení provedených experimentů je zejména odhalení nekonzistence aktivity radionuklidu ^{197m}Hg vypočtené z měření

různých linek záření gama, která vedla k přehodnocení rozpadového schématu, hlavně pravděpodobnosti větvení izomerického přechodu a elektronového záchytu.

Všechny cíle disertační práce byly splněny, k dosaženým velmi hodnotným výsledkům nemám zásadní připomínky, ale jen několik následujících doplňujících otázek či komentářů.

- str. 17: Byla při měření účinnostní kalibrace HPGe detektoru s využitím EG etalónů provedena korekce aktivity na samostínění záření gama o energii < 100 keV v těchto zdrojích nebo proč nebyly použity etalony EFF, které mají certifikovanou hodnotu fluence záření gama?
- str. 17, obr. 2: Proč jsou v grafu závislosti účinnosti detekce záření gama na jeho energii pro HPGe detektor použity přirozené logaritmy, které ztěžují rychlou orientaci v naměřené závislosti, a ne dekadické logaritmy?
- str. 21: Tvrzením, že nejistota poločasu přeměny radionuklidu nebyla zahrnuta do výpočtu, protože se poločas ve vztahu (12) vyskytuje v exponenciálním členu vzniká dojem, že tuto nejistotu nelze do výpočtu zahrnout. Není tomu tak. Každou dílčí nejistotu lze snadno zahrnout do výpočtu kombinované nejistoty použitím tabulkového procesoru metodou podle Kragtena (J. Kragten, Analyst 119 (1994) 2161–2165) nebo simulací metodou Monte Carlo.
- str. 119: Je příčinou velkých nejistot účinných průřezů reakce $^{nat}Cu(p,x)^{61}Cu$ v oblasti energií protonů > 30 MeV jen velká statistická chyba měření aktivity nebo jsou velké nejistoty způsobeny i jinými příčinami?
- Jaké je porovnání dosažitelných aktivit, vzniklých radionuklidových nečistot a nákladů na přípravu cyklotronového a generátorového ^{99m}Tc pro nukleární medicínu?

Závěrem konstatuji, že uvedené připomínky a komentáře nijak nesnižují vysokou hodnotu výsledků disertační práce Ing. J. Červenáka. Jeho práce splňuje podmínky novosti a originality, jimiž prokázal schopnost samostatné vědecké práce, což rovněž vyplývá z předloženého výčtu publikací. Doporučuji, aby byla práce přijata k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu byla vzata za základ k udělení akademického titulu „doktor (Ph.D.)".

V Řeži 17.8.2020

prof. Ing. Jan Kučera, CSc.

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.