



Disertace Ing. Jaroslava Červenáka – posudek školitele

Disertace pana inženýra Červenáka je zaměřena na měření excitačních funkcí nabitých částic pro vznik radionuklidů, které mají význam v medicíně a cyklotronové technice.

Kolega Červenák byl zodpovědný, spolehlivý student, věnoval se tématu disertace se zaujetím. Svoji práci viděl v souvislostech oboru, a proto se neomezoval jen na vymezené disertační téma, ale zapojil se rovněž do jiných projektů oddělení radiofarmak, v nichž se věnuje především přípravě a analýze značených sloučenin. Tato témata rozvíjel samostatně, aniž by tím zanedbával práci na disertaci. K tomu připojil i zkušenosti z rutinní přípravy radiofarmak v Ústavu nukleární medicíny 1. LF UK a VFN v Praze.

Ing. Červenák se systematicky věnoval měření, vyhodnocení a publikaci několika rozsáhlejších experimentů stanovení excitačních funkcí protonů a deutronů na ^{nat}Mo , ^{197}Au , ^{nat}Ti , ^{nat}Cu , které byly zaměřeny především na přípravu radionuklidů pro účely zobrazování a terapie v nukleární medicíně a dále na monitorování cyklotronového svazku. Seznámil se s technikou přípravy a ozařování sendvičových terčů, spektrometrií záření γ včetně kritického vyhodnocení primárních dat, řešením interferencí, výpočty celkových nejistot účinných průřezů, výpočty výtěžků v reálných terčích, kritické práci se zdroji rozpadových dat a knihovnou TENDL modelového kódu TALYS. Tyto poznatky aplikoval pak prakticky při plánování a realizaci experimentů a při zpracování výsledků.

Nejrozsáhlejší práce se týkala měření účinných průřezů protonů na ^{nat}Mo a jejím výstupem je celkem 25 excitačních funkcí, což souvisí s mj. s velkým počtem stabilních izotopů molybdenu. Z nich čtyři byly stanoveny vůbec poprvé (^{97m}Tc , ^{88g}Nb , ^{88m}Nb , ^{89m}Nb). Práce je zaměřena na radionuklidy ^{99m}Tc a ^{99}Mo , zejména na získání dalších dat pro cyklotronovou přípravu ^{99m}Tc jakožto alternativy reaktorové přípravy ^{99}Mo a následné výroby generátorů $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$. V obou případech lze prvkové účinné průřezy převést na izotopové na ^{100}Mo . Pečlivé zpracování dat předchozích prací umožnilo navrhnout doporučené účinné průřezy pro přípravu obou radionuklidů, stejně jako pro reakci $^{nat}\text{Mo}(p,x)^{96m,g}\text{Tc}$, jejíž produkt ($T_{1/2} = 4,28$ d) má význam pro monitorování protonového svazku. Naše závěry potvrdilo poslední detailní měření (Lamere et al.: *Proton-induced reactions on molybdenum*, Phys. Rev. C 100, 2019, art. no. 034614) a výsledky posloužily k výpočtu doporučených účinných průřezů pro vznik těchto třech radionuklidů (<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/MEDVChart.html>). Všechny stanovené excitační funkce se staly součástí database EXFOR.

Druhá práce se soustředila na precizní proměření reakcí protonů a deutronů na přírodně monoizotopním zlatu (^{197}Au) s cílem získat spolehlivá data k přípravě nového teranostického radionuklidu, izomerního páru $^{197m,g}\text{Hg}$. Volba projektilu v tomto případě významně ovlivňuje nejen výtěžek, ale také izomerní poměr m/g . Rozborem výtěžků, izomerních poměrů a radionuklidové čistoty v prakticky využitelném rozsahu energií obou částic jsme dospěli k jednoznačnému závěru, že v tomto případě je aktivace deuterony překvapivě po všech stránkách pro přípravu $^{197m,g}\text{Hg}$ výhodnější než příprava protony. Pečlivá analýza výsledků prokázala nesrovnalosti v rozpadovém schématu ^{197m}Hg . Provedli jsme proto rozsáhlá spektrometrická měření bodových zdrojů připravených ze separované $^{197m,g}\text{Hg}$, jejichž výsledkem byla revize rozpadového schématu $^{197m,g}\text{Hg}$ (ve spolupráci s Dr. Kondevem z *Argonne National Laboratory*). Mohli jsme tak poskytnout spolehlivější údaje k přípravě tohoto teranostického radionuklidu. Výsledkem měření byly rovněž excitační funkce dalších devíti jaderných reakcí, jejichž produkty jsou izotopy zlata a rtuti. Všechny účinné průřezy se opět staly součástí databáze EXFOR.

Poslední oblastí bylo proměření excitačních funkcí s aktuálním a potenciálním využitím pro monitorování cyklotronového svazku, zejména protonového ($^{nat}\text{Mo}(p,x)^{96m,g}\text{Tc}$, $^{nat}\text{Ti}(p,x)^{48}\text{V}$, $^{nat}\text{Cu}(p,x)^{62,63,65}\text{Zn}$). V tomto případě je na velmi precizní provedení experimentu včetně stanovení odrazů radionuklidu na následující fólii v sendviči kladen mimořádný důraz. Výsledky této práce procházejí v současnosti recenzním řízením v časopise *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*.



ÚSTAV JADERNÉ FYZIKY AV ČR, v. v. i.
oddělení radiofarmak
Husinec-Řež 130
250 68 Řež

Kolega Červenák se podílel významně rovněž na přípravě rukopisů jednotlivých publikací, na revizi textů a proof-readings, takže zvládl odpovídajícím způsobem také běžné postupy publikačního procesu v impaktovaných časopisech.

Disertace má formu komentáře k publikacím doktoranda, což vzhledem k detailnímu zpracování experimentů v těchto pracích pokládám za přiměřené. Komentář střizlivě pokrývá témata, která mají obecnější povahu (typy jaderných reakcí nabitých částic, jejich energetika, účinné průřezy), a rozvádí detailněji některé aspekty experimentální techniky a zpracování dat, na něž nebyl v publikacích prostor. Odkazy na publikace jsou střídme, což pokládám rovněž za pozitivum, rozsáhlé odkazy na literaturu jsou v jednotlivých publikacích. Mohu zodpovědně potvrdit, že jejich ocitování není samoúčelné a že je doktorand, zejména v případě dříve publikovaných účinných průřezů, kriticky zpracoval (už jen s ohledem na zjištění možnosti korekce starších měření na nové hodnoty rozpadových dat). Formální stránka disertace svědčí o citu doktoranda pro úpravu textu.

Navrhuji proto bez váhání disertaci Ing. Jaroslava Červenáka k obhajobě.

prof. Ing. Ondřej Lebeda, Ph.D.

V Řeži 8. července 2020