

Zařízení pro krátkodobou fotonovou aktivační analýzu na mikrotronu MT 25

Zbyněk Horák

Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i., Řež

Cílem práce bylo rozšíření stávajícího portfolia jaderných analytických metod, používaných dosud v oddělení jaderné spektroskopie Ústavu jaderné fyziky AV ČR, v.v.i. (krátkodobá a dlouhodobá INAA a RNAA, dlouhodobá IPAA) o krátkodobou instrumentální fotonovou aktivační analýzu (IPAA). Tato metoda by měla umožnit stanovení koncentrací některých prvků, zejména Mg, Si, Ca, Ti, Ni, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Tl a Pb, na úrovních nedosažitelných metodou INAA, jakož i stanovení některých prvků s nízkým Z , jako je C, N a O, které metodami NAA stanovit nelze vůbec.¹ Jako zdroj vysokoenergetického fotonového záření pro IPAA bude použito sekundární brzdné záření (*bremssstrahlung*), které vzniká dopadem primárního svazku elektronů, urychlených mikrotronem MT 25, na konvertor z těžkého, tepelně odolného kovu (obvykle W).

Požadavky

Při návrhu zařízení pro krátkodobou IPAA byly stanoveny následující požadavky:

- pneumatický transportní systém (potrubní pošta) mezi ozařovací polohou a detektorem
- doba transportu ozářeného vzorku do měřicí polohy optimálně do 5s
- maximální objem vzorku 20 – 30ml
- ampule pro ozařování běžně komerčně dostupné (ne zakázková výroba)
- mikrotron provozován v kontinuálním režimu s vyloučením vlivu fluktuací při spouštění
- možnost opakované aktivace vzorku
- rotace vzorku v ozařovací poloze pro zlepšení homogenity aktivace
- ozařování i měření ampule se vzorkem v poloze dnem dolů
- malé prostorové nároky (vzhledem k omezeným prostorům mikrotronové laboratoře)
- omezená finanční náročnost

Koncepce

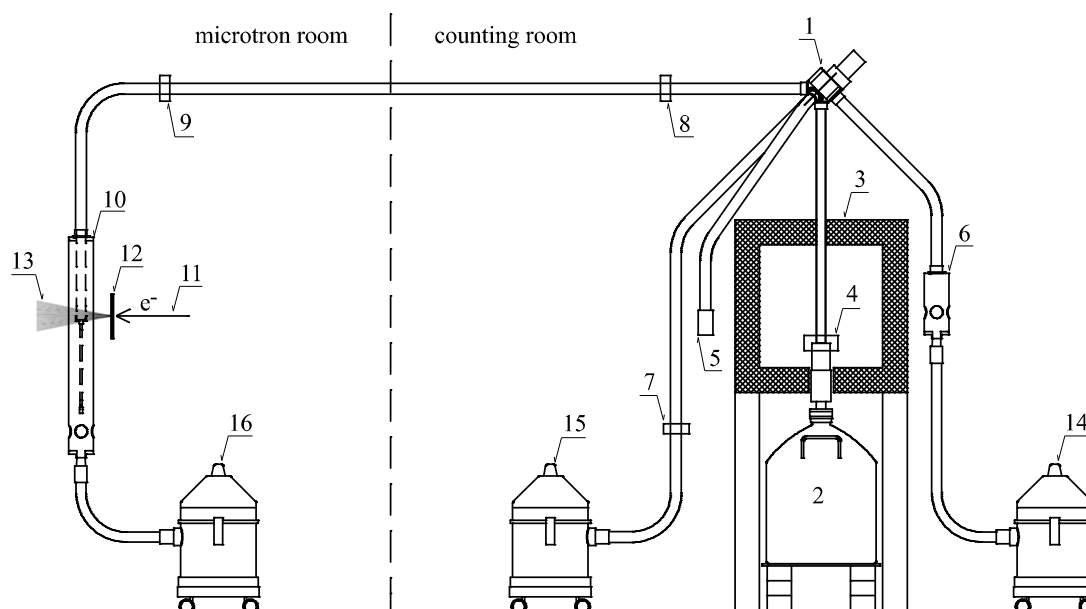
Pro transport ampule se vzorkem lze použít buď přetlakový nebo podtlakový systém, případně kombinaci obou (jedním směrem hnát přetlakem, druhým podtlakem). Přetlakový systém může principiálně dosahovat vyšších transportních rychlostí vzhledem k možnosti použít větší tlakový rozdíl. Současně však představuje vyšší riziko kontaminace v případě poškození těsnosti ampule s ozářeným vzorkem, kdy radioaktivní materiál může ze systému nekontrolovaně uniknout libovolnou netěsností transportního systému. Pokud by se měla využít možnost vyššího tlaku pro zvýšení transportní rychlosti, přibyly by též nároky na kapacitu zdroje transportního média. Pro transport vzorku byl proto vybrán podtlakový systém, který snižuje riziko kontaminace a je méně náročný na těsnost systému. Vzhledem k prostorovým a finančním omezením nebylo možné použít vakuové rozvody s vakuovými ventily a objemným zásobníkem čerpaným vývěvou. Zvoleno proto bylo řešení se třemi běžnými vysavači. Jeden vysavač slouží pro odeslání vzorku do ozařovací polohy, druhý pro návrat ozářeného vzorku a třetí pro odstranění vzorku ze systému po konci měření.

Jako transportní/ozařovací pouzdra byly vybrány polyetylenové ampule s objemem 25ml. Vnější průměr je 31,3mm, délka 52,5mm. Pro transportní potrubí byla původně vybrána hadice Abratec PU s vnitřním průměrem 35mm. Při praktických zkouškách se ale projevil

veliké tření na vnitřní polyuretanové ploše hadice, které příliš brzdilo ampuli při transportu. Byla proto nahrazena polypropylénovou hadicí Ventitec PP Beta.

Popis zařízení

Schéma zařízení pro krátkodobou IPAA (potrubní pošty) je uvedeno na Obr. 1.



Obr. 1 Schéma zařízení pro krátkodobou IPAA na mikrotronu MT 25. 1 – čtyřcestná výhybka, 2 – HPGe detektor, 3 – olověné stínění, 4 – měřicí poloha, 5 – vkládání vzorků, 6 – ventilová jednotka (zavzdušnění/zpětný ventil/blokace), 7, 8, 9 – transportní senzory, 10 – ozařovací koncovka s ventilovou jednotkou, 11 – elektronový svazek, 12 – e^- - γ konvertor, 13 – svazek záření gama, 14, 15, 16 – vysavače.

Výhybka (1) nad krytem detektoru má čtyři polohy: *i*) pro vložení vzorku, *ii*) pro transport vzorku do ozařovací koncovky a zpět, *iii*) pro odstranění změřeného vzorku ze systému a *iv*) pro transport vzorku do měřicí polohy a zpět. Natáčení výhybky zajišťuje převodový synchronní motor. Ozařovací koncovka (10) definuje polohu a zajišťuje rotaci vzorku po dobu ozařování. Je orientována vertikálně a je v ní umístěno čidlo přítomnosti vzorku v ozařovací poloze, ze kterého se stanovuje skutečný počátek a konec ozařování. Ve spodní části ozařovací koncovky je ventilová jednotka, která má dvě funkce. Při transportu vzorku do ozařovací polohy blokuje v poslední fázi sání vysavače a tlumí tak dopad vzorku. Při konci ozařování naopak otevírá přívod vzduchu pod vzorek a určuje začátek návratu vzorku. Podobná ventilová jednotka (6) je též mezi výhybkou a vysavačem (14). Jejím úkolem je zavřít sání vysavače a urychlit tím pád vzorku z výhybky do měřicí polohy nad detektorem. Dobíhající vysavač (14) by jinak ještě krátkou dobu pozdržel vzorek ve výhybce. Hadice mezi výhybkou a ozařovací koncovkou má délku přibližně 26m a jsou na ní umístěna dvě optická průletová čidla (8, 9).

Spektrometrický systém

Pro měření aktivovaných vzorků slouží polovodičový koaxiální detektor HPGe Intertechnique (N-type, relativní účinnost 21%, FWHM 1,85keV) připojený ke spektrometru Lynx™ od firmy Canberra. Pro řízení spektrometru a zpracování spekter se používá Canberra Genie

2000 Gamma Spectroscopy Software. Měření je automatizováno s použitím programovacího jazyka WinREXX.

Ovládání potrubní pošty

Spektrometr a zařízení pro krátkodobou IPAA jsou řízeny z jednoho osobního počítače. Pro ovládání hardware potrubní pošty slouží karta PCI-6602 od firmy National Instruments. Řídicí program byl vytvořen v grafickém prostředí LabVIEW™ téže firmy. Protože neexistuje možnost řídit spektrometr Lynx™ přímo z prostředí LabVIEW™, jsou data mezi řídicím programem potrubní pošty (v jazyce REXX) a řídicím programem spektrometru předávána přes konfigurační soubor. Začátek měření je synchronizován signálem z karty PCI-6602 přímo do vstupu spektrometru Lynx™. Řídicí program potrubní pošty umožňuje následující způsoby ozařování:

- Základní ozařování s předvolenou dobou ozařování, dobou vymírání a dobou měření, kdy je ozářený vzorek dopraven přímo do měřicí polohy a po skončení měření odstraněn ze systému.
- Ozařování s možností vzorek po ozáření přebalit (pro snížení blanku). Vzorek se po ozáření vrací do základací polohy, odkud je nutné jej ručně přenést do měřicí polohy. Po skončení měření je též nutné jej ručně odebrat.
- Opakované ozařování / měření jednoho vzorku pro snížení meze detekce nuklidů s velmi krátkým poločasem rozpadu. V tomto případě nelze ručně manipulovat se vzorkem.

The screenshot shows the graphical user interface for the pipe system control software. It is organized into several functional areas:

- Top Status Bar:** Displays 'inserted sample', 'currently irradiated sample', and 'irradiated sample waiting for manual move to detector'. It also shows 'end of irradiation in 0 s' and 'start of acquisition in 0 s'.
- Sample and Acquisition Data:** A table-like section showing 'sample on detector' (UN00003), 'start of irradiation' (13:11:16.917, 5.5.2014), 'end of irradiation' (13:11:26.886, 5.5.2014), 'start of acquisition' (13:11:41.886, 5.5.2014), 'cycles left' (1), and 'start/end of acquisition in' (0 s, 54 s).
- Transport Times:** A section labeled 'transport times [ms]' with values for 'sensor 1 (fw)' (700), 'sensor 2 (fw)' (2380), 'irr. pos. (fw)' (3006), 'sensor 2 (back)' (737), 'sensor 1 (back)' (2956), and 'switch (back)' (3374).
- Central Schematic:** A diagram of the pipe system with a central switch. It includes a 'state information' box listing: 'Sample in switch', 'Switch positioning', 'Configuration file updated', 'Start of acquisition', and '-> Waiting for end of acquisition'. Control buttons include 'sample rotation off', 'laser off', 'piston blocked', and 'CHGR RDY'.
- Bottom Control Panel:** Contains acquisition parameters: 'irradiation time [s]' (10), 'decay time [s]' (15), 'acquisition time [s]' (60), '# of cycles' (1), and 'delay [s]' (60). It also shows 'path to files with spectra' (d:\NAA\zh\ppmtest), 'serial name' (paa), and 'serial number' (4). Sample information includes 'sample name' (UN00004) and 'sample mass [mg]' (1000.000). A 'sample to detector' dropdown is set to 'automatic'. A 'sample inserted' indicator is active. Control buttons include 'Testing' and 'Quit'.

Obr. 2 Grafické uživatelské rozhraní řídicího programu potrubní pošty.

Pro všechny způsoby ozařování platí, že cyklus ozařování/vymírání/měření vzorku je možné zahájit kdykoliv, pokud nedochází ke kolizi s ozařováním nebo měřením předchozího vzorku. Případné kolize vyhodnocuje řídicí program potrubní pošty automaticky. K dispozici je též testovací mód, ve kterém je možno ovládat a ověřovat činnost jednotlivých komponent potrubní pošty.

Grafické uživatelské rozhraní řídicího programu potrubní pošty je uvedeno na Obr. 2. Ve střední části snímku obrazovky je schéma potrubní pošty s ukazateli stavu (a řídicími prvky v testovacím modu). V horní části se zobrazují základní informace o vzorcích v systému - založený vzorek čekající na ozařování, ozařovaný vzorek, ozářený vzorek v měřicí poloze nebo připravený k ruční manipulaci před měřením. Indikátory, které v daný okamžik nezobrazují relevantní informace, jsou pro zvýšení přehlednosti zašedlé. Zobrazeny jsou zde též údaje o dílčích transportních časech posledního ozařovacího cyklu.

Spodní část uživatelského rozhraní obsahuje ovládací prvky pro nastavení parametrů nově zakládaného vzorku - název a navážka vzorku, doba ozařování, vymírání a měření vzorku a počet ozařovacích cyklů, automatické nebo ruční přenesení vzorku do měřicí polohy, jméno souboru pro uložení změřeného spektra. Zobrazena je též cesta ke složce, do které bude soubor se spektrem uložen.

Závěr

V současném stadiu testování potrubní pošty umožňuje start měření 9 sekund po konci ozařování. Přibližně polovina této doby ale připadá na tlumený pád vzorku z výhybky do měřicí polohy, proto tuto hodnotu bude možné snížit další optimalizací systému.

Na základě zkušeností z pilotního používání potrubní pošty se počítá s možností provést po jednoduchém ozáření sérii měření pro stanovení rozpadové křivky nespecifické anihilační linky 511keV. To umožní rozlišit některé pozitronové zářiče podle jejich poločasu rozpadu.

Tato práce byla podpořena Grantovou agenturou ČR v rámci projektů 13-27885S a P108/12/G108.

1. Krausová I., Mizera J., Řanda Z., Chvátíl D., Horák Z., in *IAA 08 - sborník přednášek semináře Radioanalytické metody* (M. Vobecký, Ed.), Spektroskopická společnost J. M. Marci, Praha, 2009. ISBN 80-903732-5-9.

Pneumatic tube device for short time photon activation analysis on MT 25 microtron

Zbyněk Horák

Nuclear Physics Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, Řež

A pneumatic tube delivery system for short time irradiation on MT 25 microtron was designed, produced and put into operation for purposes of short time instrumental photon activation analysis. Both hardware and software parts of the design are described in the article.