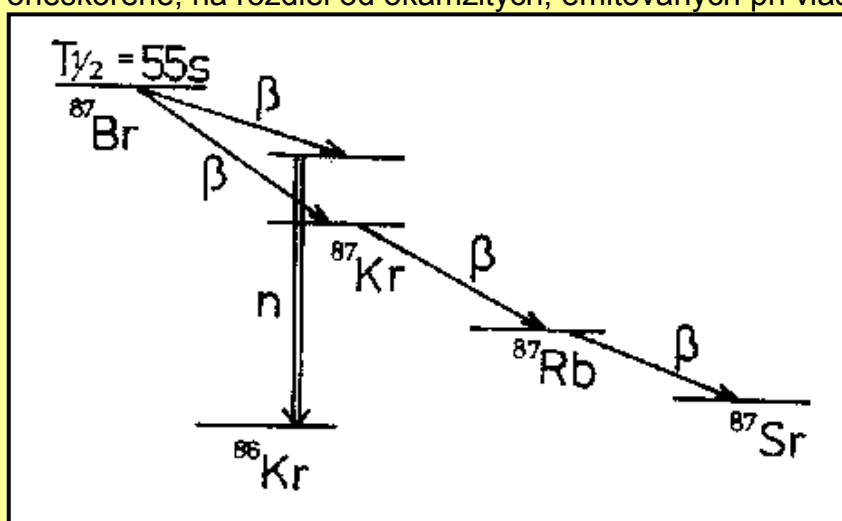


AKTIVAČNÁ ANALÝZA POMOCOU ONESKORENÝCH NEUTRÓNOV

Metóda je založená na nasledujúcom princípe. Materiál obsahujúci štiepateľné nuklidy sa ožiari v neutrónovom poli, kde dochádza k indukovanému štiepeniu. Niektoré štiepne produkty, bohaté na neutróny (tzv. prekursory) poskytujú pri svojej β premene (s $T_{1/2} = 1-60s$) dcérske produkty so slabou viazaným nepárnym neutrónom a nachádzajúce sa vo vysoko vzbuđenom stave. V tomto prípade prechod do základného stavu sa s vysokou pravdepodobnosťou realizuje emisiou neutrónu (viď obr.). Zdanlivá doba polpremeny neutrónovej emisie korešponduje s dobou polpremeny beta premeny prekursora; vzniklé neutróny sa nazývajú oneskorené, na rozdiel od okamžitých, emitovaných pri vlastnom akte štiepenia.



V prírodných materiáloch stačí brať do úvahy prakticky len štiepateľné nuklidy ^{235}U , ^{238}U , a ^{232}Th . Zo závislosti ich účinného prierezu štiepenia σ_f , uvedených na obr. a je vidieť, že tepelné neutróny indukujú štiepenie len izotopu ^{235}U , rýchle neutróny indukujú štiepenie aj nuklidov ^{232}Th a ^{238}U .

Preto, ak umiestnime vzorku z prírodného materiálu do poľa tepelných neutrónov, emisia oneskorených neutrónov je špecifická len pre urán, čoho sa využíva na stanovenie jeho koncentrácie. V tab. 4. sú uvedené absolútne výťažky a doba polpremeny $T_{1/2}$ jednotlivých skupín oneskorených neutrónov pre štiepenie ^{235}U tepelnými neutrónmi, ^{238}U a ^{232}Th rýchlymi neutrónmi. V poslednom stĺpci sú uvedené typické prekursory emitora neutrónov jednotlivých skupín. Absolútny štiepny výťažok a. udáva počet neutrónov i-skupiny, emitovaných v jednom akte štiepenia.

Popísaný jav prvý použil k analytickým účelom Amiel [1]. Binney a Sherpelz [2] publikovali článok, ktorý okrem všetkých publikácii do r. 1978 prináša rozbor rôznych aspektov metódy.

Je zrejmé, že počet impulzov C_{t_3} , ktoré s účinnosťou ε zaregistruje detektor neutrónov počas doby merania t_3 , závisí od hmotnosti štiepateľného materiálu m podľa vzťahu:

$$C_{t_3} = \left(\frac{\varepsilon \cdot v \cdot m \cdot N_{AV} \cdot \sigma_f \cdot \Phi}{A} \right) \sum_{i=1}^6 \left(\frac{a_i}{\lambda_i} \right) (1 - e^{-\lambda_i t_1}) \cdot e^{-\lambda_i t_2} (1 - e^{-\lambda_i t_3}) + B \quad (1)$$

kde v je priemerný počet neutrónov na jeden akt štiepenia, N_{AV} - Avogadrovo číslo, A - hmotnostné číslo, λ_i - konštanta premeny i-skupiny a B je pozadie detektora počas doby t_3 . Aby sa dosiahla vysoká citlivosť metódy, najmä pokiaľ je potrebné

stanovovať stopové množstve uránu vo vzorkách, sú potrebné vysoké hustoty tokov neutrónov, ktoré poskytuje zdroj neutrónov reaktorového typu. V reálnom reaktorovom spektre neutrónov existuje prímies intermediárnych a rýchlych neutrónov, ktoré môžu vyvolať štiepenie nielen nuklidov ^{238}U ale aj ^{232}Th . Pri podrobnom rozbere vplyvu Th prišiel Amiel k záveru, že pomer početností oneskorených neutrónov emitovaných uránom a tóriom je približne 100:1, keď tieto prvky sú ožiarené neutrónmi reaktorového spektra. Preto, ak je množstvo U a Th vo vzorkách rovnaké, vplyv Th na výsledok stanovenia koncentrácie uránu sa neprejaví.

Oneskorené neutróny môžu byť taktiež emitované izotopmi ^6Li ($T_{1/2} = 0,17\text{s}$), ^{17}N ($T_{1/2} = 4,14\text{ s}$) a ^{16}C ($T_{1/2} = 0,7\text{ s}$);. Tieto izotopy vznikajú pri interakcii neutrónov s nuklidmi ^7Li , ^9Be , ^{14}C , ^{15}N , ^{17}O a ^{18}O , niektoré priamo, napr. $^{17}\text{O}(n,p)^{17}\text{N} \xrightarrow{\beta} ^{17}\text{O}$ $n \rightarrow ^{16}\text{O}$, iné nepriamo, prostredníctvom sekundárnych častíc. Aby vplyv dusíka na výsledok meraní bol zanedbateľný, doba vymierania nesmie byť menšia ako 20 s a vtedy detekčná aparátúra bude registrovať len štiepne oneskorené neutróny s dobou polpremeny 55 s a 22 s. Pretože intenzita druhej skupiny niekoľkonásobne prevyšuje intenzitu prvej skupiny (viď tabuľku) optimálna doba ožarovania a merania je rovná približne $3 T_{1/2}$, t.j. 60 sekúnd. Ak sú tieto podmienky splnené, môžeme podľa vzťahu (1) ľahko vypočítať, že ak hustota toku neutrónov je $1 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, tak 1 mg U emituje počas meracej doby 11 700 neutrónov.

S použitím prenosných zdrojov neutrónov, napr. ^{252}Cf je možné dosiahnuť hustoty tokov tepelných neutrónov rádovo $10^{10}\text{-}10^{11} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Ako ukázali merania Boudu, Kotasa a Floreka [3] s použitím Cf zdroja a veľkoobjemového detektora neutrónov je možné stanovovať koncentráciu uránu až na úrovni 0,001 %, čo je postačujúce pre značný počet aplikácií. S pomocou zdroja neutrónov reaktorového typu je možné stanoviť stopové množstvá uránu vo vzorkách.

Citovaná literatúra

AMIEL, S.:Anal. Chem., 34, 1683 /1962/

BINNEY, S.E., SCHERPEIZ, R. Nucl. Instr. and Methods, 154, 413, /1978/

BOUDA, T., KOTAS, P., FLOREK, M: Jaderná energie, 30, 29, /1984/

Charakteristiky skupín oneskorených neutrónov

	^{235}U		^{238}U		^{232}Th		Prekursor
	tepelné neutróny		rýchle neutróny		rýchle neutróny		
	a_1 [%]	$T_{1/2}$ [s]	a_1 [%]	$T_{1/2}$ [s]	a_1 [%]	$T_{1/2}$ [s]	
1	0,052	55,72	0,054	52,38	0,169	56,03	^{87}Br
2	0,346	22,72	0,564	21,58	0,744	20,75	^{88}Br , ^{137}I
3	0,310	6,22	0,667	5,00	0,769	5,74	^{89}Br , ^{138}I
4	0,624	2,30	1,599	1,93	2,212	2,16	^{90}Br , ^{139}I
5	0,183	0,61	0,927	0,49	0,853	0,57	^{140}I
6	0,066	0,23	0,309	0,17	0,213	0,21	^{93}Br

Aktivácia konštrukčných materiálov.

Pri plánovaní experimentov na neutrónových zväzkoch a pri výbere konštrukčných materiálov pre experimentálne zariadenie je užitočná dole uvedená tabuľka aktivačných vlastností prvkov. Tabuľka bola zostavená M. Johnsonom z Los Alamos National Laboratory, USA, na základe výpočtov. Pre vstupné dáta sa použili objem vzorky 5 cm^3 daného prvku, ktorý sa umiestnil do neutrónového poľa o hustote toku neutrónov $10^7 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (neutrónový zdroj LANSCE v Los Alamos National Laboratory), ktoré boli ožarované počas 24 hodín. V tabuľke AH označuje atómovú hmotnosť, T- je „skladovacia“ doba, potrebná na zníženie aktivity do hodnoty 74 Bq/g , keď vzorka už nemusí byť označovaná ako rádioaktívna látka. Ďalej A nám udáva aktivitu vzorky, po 2 min. od skončenia ožarovania vzorky, a nakoniec D [$\mu\text{Gy/hod}$] je príkon dávky od 1 g vzorky čistého prvku vo vzdialenosti 2,5 cm v dobe tesne po skončení ožarovania (2 min.). Podobné hodnoty sa získali aj pri ožarovaní vzoriek v neutrónovom kanále tepelného reaktora.

Prvky At, Be, B, Bi, Ca, C, D, F, Fr, He, H, Fe, Li, N, Ne, O, Pb, Po, Pa, Rn, S, Si, Tc, Th, Ti vykázali malé hodnoty indukovanej aktivity a preto v tabuľke sa neuvádzajú.

Aktivačné charakteristiky prvkov				
Prvok	AH	T	A [Bq]	D
Ag	107,8	7,4 r	592037	140
Al	26,98	21 min	70337	20
Ar	39,048	19 h	129537	30
As	74,9	18 d	3108037	73
Au	196,9	29 d	111037	25
Ba	137,64	<150 h	<2997	<1
Br	79,9	18 d	518037	120
Cd	112,4	190 d	13727	3
Cl	35,4	<2,5 h	<2997	<1
Co	58,9	24 r	1924037	450
Cr	51,9	<61 d	<1517	<11
Cs	132,9	54 h	17020037	4000
Cu	63,5	7,4 d	370037	85
Dy	162,5	52 h	18500037	4300
Er	167,2	78 d	22237	5
Eu	151,9	50 r	81437	19
Ga	69,7	8 d	1184037	270

Gd	157,2	11 d	273837	64
Ge	72,59	<6 d	40737	10
Hf	178,5	1,6 r	22977	5
Hg	200,6	24 d	25937	6
Ho	164,9	20 d	1036037	240
I	126,9	7 h	4440037	1000
In	142,8	12 d	407037	96
Ir	192,2	4,2 r	1850037	430
K	39,2	<38 h	<11137	<3
Kr	83,8	42 h	118437	28
La	138,9	22 d	703037	160
Lu	174,9	1,8 r	518037	120
Mn	54,9	38 h	4070037	950
Mo	95,9	30 d	15947	4
Na	22,9	5,5 d	210937	50
Nb	92,9	80 min	740037	170
Nd	144,2	15 h	44437	10
Ni	58,7	<5,6 h	<1147	<1
Os	190,2	41 d	85137	20
Pd	106,4	9 d	2627037	600
Pt	195	20 d	8547	2
Rb	85,5	56 d	66637	16
Re	186,2	54 d	1813037	16
Rh	102,9	2 h	962037	220
Sb	121,75	520 d	29637	7
Sc	44,9	<1,8 r	<3367	<1
Se	78,9	10 h	181337	42
Sm	35 d	35 d	229437	54
Sn	118,7	<50 d	<1517	<1
Sr	87,6	<25 h	<3737	<1
Ta	180,9	3 r	59237	14
Te	127,6	96 h	96237	22
Tm	168,9	3,3 r	284937	67
V	50,9	48 min	17390037	410
W	183,8	15 d	1369037	320
Xe	131,3	7 d	118437	28
Y	88,9	24 d	37037	9
Yb	173	275 d	28897	7
Zn	65,4	5 d	59237	14
Zr	91,22	79 h	<1517	<1



Návrat z acrobat readera - ❌ (zatvorením okna)
