

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO - MATEMATIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA FIZIKU

lipanj 1988.
Prezentacija diplomske radnje

0 -06- 1988

03 : 10 / 45 : 1

Kralj Ljiljana

KOMPARATIVNO ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI
Cs-137 GAMA - SPEKTROMETRIJOM I INTEGRALnim BETA
MERENJEM NAKON RADIOHEMIJSKE SEPARACIJE

D I P L O M S K I R A D

Novi Sad, jun, 1988 god.

Ovaj diplomski rad rađen je u Laboratoriji za nuklearnu fiziku, Institutu za fiziku P M F - a u Novom Sadu.

Zahvaljujem se Dr. IŠTVANU BIKIT na korisnim sugestijama i savetima pri izboru teme i izradi ovog rada.

Posebnu zahvalnost dugujem Mr. LJILJANI ČONKIĆ i Mr. MIROSLAVU VESKOVIĆU na svesrdnoj pomoći u toku izrade ovog rada.

S A D R Z A J:

	strana
U V O D	1
1. OSOBINE RADIOAKTIVNIH IZOTOPA CEZIJUMA	3
2. MERENJE BETA ZRAČENJA	6
2.1. OPŠTE KARAKTERISTIKE BETA RASPADA.....	6
2.2. PROLAZ ELEKTRONA KROZ MATERIJU	7
2.3. MERENJE BETA SPEKTRA	11
2.4. GAJGER-MILEROV BROJAČ	12
3. GAMA - SPEKTROMETRIJSKA ANALIZA	13
3.1. Ge (Li) SPEKTROMETAR	13
4. METODE PRIPREME UZORAKA	17
5. HEMIJSKE OSOBINE Cs i K	18
6. METODE ODREĐIVANJA Cs-137	19
7. KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA	23
8. OPIS EKSPERIMENTA I REZULTATI M ERENJA.....	24
8.1. OBRADA UZORKA VODA	24
8.2. PRIPREMA UZORKA ZA BETA MERENJA AKTIVNOSTI	25
8.3. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE AKTIVNOSTI....	26
8.4. IZRAČUNAVANJE MINIMALNE KONCENRACIJE AKTIVNOSTI	31
9. DISKUSIJA	32
10. Z A K L J U Č A K	33

REFERENCE

PRILOZI

U V O D

Osnovni izvori koji uslovjavaju prisustvo ^{137}Cs u životnoj sredini su: probe nuklearnog oružja, otpadne radioaktivne materije, akcidenti na nuklearnim postrojenjima i primena ^{137}Cs u raznim oblastima ljudske delatnosti.

Veliki uticaj na intenzivnije izučavanje prisustva ^{137}Cs u životnoj sredini imali su neki rezultati koji su ukazivali da je genetski rizik od prisustva ^{137}Cs daleko veći nego od prisustva bilo kog drugog dugoživećeg fisionog produkta.

Raspored ^{137}Cs , koji je dospeo u životnu sredinu kao posledica nuklearnih eksplozija, znatno se razlikuje od rasporeda stabilnog cezijuma. Osnovni izvor stabilnog cezijuma su stene i zemljište, odakle ovaj element i započinje svoje kruženje u nekim od ciklusa ekološkog sistema, dok ^{137}Cs kao i fisioni produkt, svoje kruženje primarno započinje iz vazduha, odnosno atmosferskih padavina. Pojava radioaktivnih padavina u vazduhu uključuje pojavu radionuklida u geografskim vodama, tlu, biljkama i životinjama, a preko vazduha (inhalacioni put) i "lanaca hrane" (alimentarni put) ovaj radionuklid dospeva do čovekovog organizma. S obzirom da je to dugoživeći radionuklid, a i biološki veoma značajan, može se reći da on predstavlja novi ekološki faktor u životnoj sredini.

. / . . .

Izbor metode za određivanje aktivnosti radionuklida zavisi od karakteristika radionuklida, na pr. vrste i energije značenja, nivoa aktivnosti, vremena poluraspada i sl.

Integralnom beta merenju aktivnosti mora prethoditi visoko selektivni radiohemski postupak kojim se dobija "čist" izvor zračenja. Prilikom primene gama - spektrometrijske analize, usled velike energijske rezolucije gama - spektrometra uzorak se može samo prekoncentrisati.

Cilj ovog rada je uporedjenje praga detekcije ove dve metode i testiranje "čistoće" radiohemskijske separacije.

1. OSOBINE RADIOAKTIVNIH IZOTOPA CEZIJUMA

Cezijum su otkrili Bunsen i Kirhof 1860. godine, pomoću spektralne analize. Karakteristična linija cezijuma je svetloplave boje po kojoj je dobio i ime (prema latinskoj reči caesius koja znači "plav kao nebo").

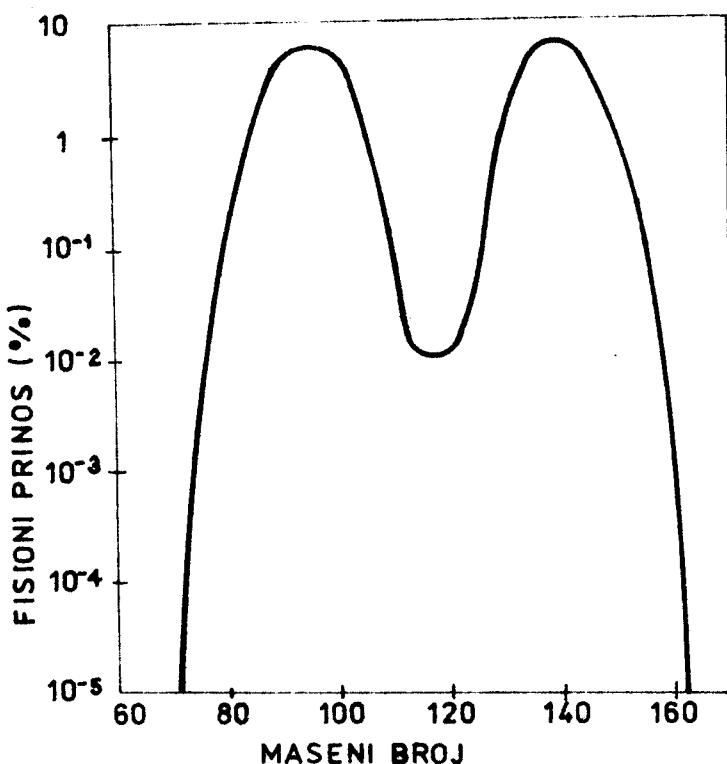
Prema dosadašnjim mogućnostima istraživanja ustanovljena su 38 izotopa cezijuma (od ^{116}Cs do ^{146}Cs) od kojih je samo izotop ^{133}Cs stabilan, dok su svi ostali izotopi cezijuma radioaktivni, sa vremenima poluraspada (T) koja se kreću od $0,34$ s za ^{146}Cs do $3 \cdot 10^6$ godina za ^{135}Cs . Zbog činjenice da veliki broj radioizotopa cezijuma ima relativno kratko vreme poluraspada njihov radioekološki značaj je od relativno malog uticaja. Nešto duži period poluraspada imaju izotopi ^{131}Cs sa $T = 9,68$ dana, ^{132}Cs sa $T = 6,47$ dana i ^{136}Cs sa $T = 13,1$ dan. Međutim, najinteresantija su sledeća tri izotopa: ^{134}Cs sa $T=2,06$ godina, zatim ^{137}Cs sa $T = 30,17$ godina, i ^{135}Cs sa $T = 3 \cdot 10^6$ god.

^{137}Cs je fisioni produkt koji nastaje pri nuklearnoj fisiji ^{235}U i ^{239}Pu . Ovaj radionuklid nije neposredni fisioni produkt, već je produkt radioaktivnog raspada ^{137}J ($T = 24,4$ s). Produkt radioaktivnog raspada ^{137}Cs je kratkoživeći - metastabilni barijum ^{137}Ba ($T = 2,55$ min.) koji uz emisiju gama kvanta, energije $661,65$ keV, prelazi u stabilni Ba.

^{134}Cs beta raspadom (99%) prelazi u $^{134}_{56}\text{Ba}$, a elektronskim zahvatom ($3 \cdot 10^{-4}\%$) u ^{134}Xe . Beta raspadom ^{134}Cs prelazi u jedno od pobudjenih stanja $^{134}_{54}\text{Ba}$, koji uz emisiju gama kvanta prelazi u osnovno stanje. Najintenzivnije su gama linije od 604,7 keV i 795,91 keV.

^{135}Cs je fisioni produkt i čist je beta emiter. Produkt radioaktivnosti raspada ^{135}Cs je $^{135}_{56}\text{Ba}$.

Prinos pojedinih elemenata, fisionih produkata, urana 235 - u zavisnosti od masečnog broja prikazan je na slici 1. Kriva pokazuje da je za masene brojeve od 135 do 140 prinos približno konstantan.



slika 1-Prinos fisionih produkata za uran 235

Prema osnovnom zakonu radioaktivnog raspada vidi se da brzina tog procesa ili aktivnost iznosi

$$A ({}^{137}Cs) = \lambda_{137} N_{137}$$

$$A ({}^{135}Cs) = \lambda_{135} N_{135}$$

Prinos fisionih produkata ${}^{137}Cs$ i ${}^{135}Cs$ je približno isti, pa se odnos aktivnosti ova dva radionuklida svodi na odnos konstanti radioaktivnog raspada.

$$\frac{A_{135}}{A_{137}} = \frac{\lambda_{135}}{\lambda_{137}} \frac{N_{135}}{N_{137}} = \frac{\lambda_{135}}{\lambda_{137}} = \frac{\frac{\ln 2}{T_{135}}}{\frac{\ln 2}{T_{137}}} = \frac{T_{137}}{T_{135}} = \frac{30}{3 \cdot 10^6} g = 10^{-5}$$

Zbog veoma male aktivnosti, koja je ispod praga detekcije, izotop ${}^{135}Cs$ se ne detektuje.

2. MERENJE BETA ZRAČENJA

2.1. Opšte karakteristike beta raspada

Skretanje beta zraka u električnom i magnetnom polju, snimci putanje beta zraka u maglenoj komori, ispitivanja sa brojačima i drugi eksperimenti potvrdili su na više načina da jedna beta čestica predstavlja jedan elektron.

Raznim eksperimentalnim ispitivanjima i analizama moglo se ustanoviti da beta zraci potiču iz jezgra atoma. Međutim, tada se nameće pitanje kako nastaju beta čestice u jezgru koje ih inače ne sadrži.

U beta-minus raspodu jedan od neutrona se transformiše u proton koji ostaje vezan u jezgru, a jezgro napuštaju elektron i neutrino. Neutrino je čestica koja nema naielktrisanje, a masa joj je beznačajna, pa zbog toga ne deluje na raspoložive detektore. Energiju raspoda jednaku razlici energija početnog i krajnjeg stanja medju sobom dele elektron i neutrino. Ovu kvantovanu energiju transformacije jezgra elektron i neutrino ne dele uvek na isti način tako da elektron može imati različite energije zavisno od toga koliku je energiju odneo neutrino. Spektar beta zračenja je, dakle, kontinuiran. U njemu su zastupljene sve energije elektrona počev od nulte do neke maksimalne. Ova maksimalna energija predstavlja glavnu karakteristiku svakog beta raspoda. Najmanji broj elektrona dobija nultu i maksimalnu energiju, a najveći (odnosno u najvećem broju raspoda) energiju jednaku približno 1/3 maksimalne energije.

Merenjem beta zraka znači, zbog kontinuiranog beta spektra, ne mogu se razlikovati izotopi.

2.2. Prolaz elektrona kroz materiju

Kada elektron prolazi kroz materiju on se elastično i neelastično rasejava na elektronskom omotaču atoma i jezgru.

Masa elektrona znatno je manja od mase atoma, zbog čega će elektron u bližim elastičnim sudarima jako da skreće. Pošto je verovatnoća skretanja obrnuto сразмерna približno sa kvadrom energije, skretanje će biti veće na manjim energijama. Ugao skretanja zavisi i od materijala, a verovatnoća mu je približno сразмерna sa Z^2 .

U procesu neelastičnog rasejanja na elektronskom omotaču elektroni gube energiju na jonizaciju i eksitaciju atoma medijuma. Masa elektrona utiče na način kojim su raspodeljeni gubici energije u sudarima sa elektronima iz omotača. Elektron u sudaru sa elektronom, pošto su iste mase, može da izgubi različite vrednosti energije, od najnižih do celokupne. To dovodi do velike devijacije u putanjama za elektrone iste početne energije.

Specifični gubitak energije brzih elektrona zbog jonizacije i eksitacije iznosi

$$-(\frac{dE}{dx})_C = \frac{2\pi e^4 N Z}{m_e v^2} \left[\ln \frac{m_e v^2 E}{2I^2 (1-\beta^2)} - \ln 2 (2 \sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) + (1-\beta^2) + \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1-\beta^2})^2 \right]$$

gde je $\beta = \frac{v}{c}$. N predstavlja broj atoma po jedinici zapremine, a I prosečni eksitacioni i ionizacioni potencijal apsorbera.

Ako se, pak, elektroni neelastično rasejavaju na jezgru, emituju elektromagnetno zračenje, poznato pod nazivom zakočno zračenje.

Linearni specifični gubitak zbog radijacionih procesa iznosi

$$-(\frac{dE}{dx})_R = \frac{NE Z (Z+1)e^4}{137 m_e^2 c^4} (4 \ln \frac{2E}{m_e c^2} - \frac{4}{3})$$

Iz ovog izraza vidimo da energija izgubljena na zakočno zračenje zavisi od Z^2 i E što znači da su radijacioni gubici značajni za elektrone većih energija i apsorbujući materijal većeg Z . Za tipične energije elektrona prosečna energija zakočnog zračenja je mala i zato se apsorbuje blizu tačke nastanka.

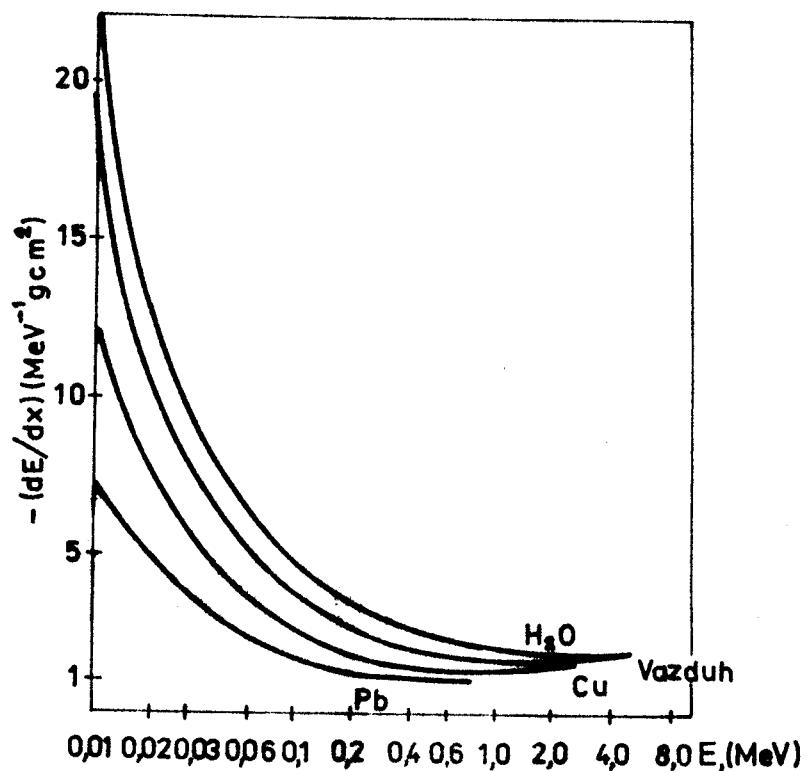
Totalni gubitak energije se dobija sabiranjem gubitka energije na ionizaciju i ekscitaciju i gubitka energije na zakočno zračenje.

$$\frac{dE}{dx} \doteq \left(\frac{dE}{dx}\right)_C + \left(\frac{dE}{dx}\right)_R$$

Odnos gubitka energije na zakočno zračenje i ionizaciju zavisi od energije elektrona i Z materijala.

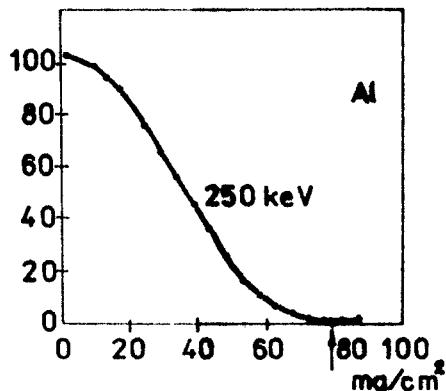
$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_R}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_C} \approx \frac{EZ}{700} \quad E \text{ [MeV]}$$

Ukupan gubitak energije u funkciji energije elektrona prikazan je za neke materijale na slici 2. Da je kriva crtana od nulte energije primetio bi se kratak uzlazni deo. Kriva gubitka energije opada do nekog minimuma, a posle minimuma se vrlo sporo penje.



Slika 2. Srednji gubitak energije elektrona u olovu, bakru vodi i vazduhu.

Dubina prodiranja elektrona u pravcu snopa karakteriše se ekstrapoliranim dometom. Na slici 3 prikazan je transmisiona kriva za elektrone od 250 keV pri prolazu kroz aluminijum.



Slika 3. Transmisiona kriva za elektrone od 250 keV pri prolazu kroz aluminijum

Apsorpcija snopa beta čestica koji sadrži elektrone od neke maksimalne energije do nulte, bitno se razlikuje od apsorpcije monokinetičkog snopa. Nisko energetske beta čestice se brzo apsorbuju i u malim debljinama apsorbera tako da je početni nagib atenuacione krive mnogo veći nego kod monoenergetskih elektrona. Za najveći deo beta spektra kriva ima približno eksponencijalni oblik i približno je linearna na semilogaritamskom grafiku.

Apsorpcioni koeficijent možemo definisati sa

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu d} \quad (1)$$

gde je d debljine apsorbera, a μ apsorpcioni koeficijent koji zavisi od maksimalne energije beta emitera. Eksperimentalno je pronađena veza između masenog atenuacionog koeficijenta i maksimalne energije beta zraka [1] u sledećem obliku

$$\mu_m = 1,7 E_{max}^{-1,43} \left[m^2 kg^{-1} \right] \quad (2)$$

Činjenica da elektron doživljava rasejanje pod velikim uglom duž svoje putanje dovodi do fenomena rasejanja unatrag. Elektron koji uđe na jednu površinu apsorbera može doživeti rasejanje tako da se

vrati kroz istu površinu kroz koju je i ušao. Ovi elektroni ne ostavljaju svoju energiju apsorbujućoj sredini. Elektroni koji se rasejavaju unatrag u ulaznom prostoru ili u mrtvom sloju detektora potpuno izbegavaju detekciju. Rasejanje unatrag je značajnije za elektrone malih energija i apsorbere sa velikim atomskim brojem.

Pri merenju beta aktivnosti treba obratiti pažnju na rasejanje i apsorpciju od strane izvora. Konačna debljine izvora dovodi do sledećeg: neki elektroni se apsorbuju u izvoru, što umanjuje broj čestica koje izlaze; a neki pretrpe rasejanje. Ako se elektroni kreću koso prema površini izvora verovatnoća rasejanja je veća nego pri vertikalnom kretanju.

U slučaju vrlo debelih izvora ugaona raspodela elektrona ima približno sledeći oblik: $n = n_0 \cos \theta$ (Lumbertov zakon). Vrlo tanki izvori emituju čestice izotropno.

2. 3. Merenje beta spektra

Energija beta čestica se obično meri jednom od tri metode: preko predenog puta, preko energije potrošene na ionizaciju ili luminiscenciju i preko skretanja u magnetnom polju.

Druge metode, kao na primer merenje specifične ionizacije ili višestrukog rasejanja, imaju veći značaj pri vrlo visokim energijama, i ne koriste se za energije koje srećemo u nuklearnoj spektroskopiji. Nekada se primenjuje skretanje u električnom polju ali taj metod ne poseduje neke posebne prednosti.

Predjeni put se meri ili preko apsorpcije ili preko dužine traga u Vilsonovoj kameri ili fotoemulziji.

Metode, koje se zasnivaju na skretanju čestica u različitim poljima, se koriste u spektrometrima s fokusiranjem, ali nekada se skretanje magnetnim poljem koristi u Vilsonovoj kameri i drugim uredjajima bez fokusiranja.

Magnetni spektrometri s fokusiranjem poseduju veću rezoluciju i obezbeđuju veću preciznost nego ostale metode. Međutim, beta spektar najčešće se meri preko gubitka energije. Ta merenja se obična vrše pomoću proporcionalnih gasnih ili poluprovodničkih detektora. Njihova rezolucija nije mnogo manja nego kod magnetnih spektrometara, a što je najvažnije ti brojači su daleko jednostavniji i njima je lakše rukovati, i osim toga, njihova efikasnost registracije je vrlo velika.

Za deteksiju i brojanje radioaktivnih čestica koriste se Gajger - Milerovi brojači, koji spadaju u neproporcionalne brojače pomoću kojih se ne mogu odrediti energije detektovanog zračenja, već samo intenzitet.

2. 4. Gajger - Milerov brojač

Mehanizam rada GM-brojača je vrlo složen, ali se ukratko može opisati na sledeći način: Upadom nanelektrisane čestice u efikasnju zapreminu detektora formira se odredjeni broj parova jona. Negativni joni ubrzavaju se u postojajećem električnom polju do te mere da su u stanju i sami da izvrše ionizaciju i ekscitaciju atoma gasa. Započeta lavina u GM - brojaču održava se zahvaljujući deeksitaciji pobudjenih atoma. Nastali fotoni putem fotoefekta izbacuju elektrone iz gasnih molekula. Foto-elektroni započinju novi proces. Jednom izazvana lavina u GM - brojaču može se održavati sama. Vreme trajanja lavine ograničava se elektronskim uredjajem ili dodavanjem alkoholnih para u gasno punjenje detektora.

U osnovne karakteristike GM - brojača mogu se ubrajati: konstantan izlazni impuls, relativno dugo mrtvo vreme, velika osetljivost (reaguje i na jedan stvoren par jona).

3. GAMA SPEKTROMETRIJSKA ANALIZA

Spektrom zračenja nazivamo raspodelu nuklearnog zračenja po energijama. Spektar predstavljamo grafički tj. kao grafik neke funkcije $f(E)$. Spektre gama zračenja merimo pomoću spektrometra. U osnovi spektrometar se sastoji iz detektora gama zračenja koji je povezan u kolo sa predpojačavačem, lineranim pojačavačem impulsa i aparaturom za registraciju broja i visine nastalih impulsa čestica i kvanata dospelih u detektor.

Gama zraci su po definiciji elektromagnetne radijacije koje emituje jezgro. Spadaju kao i X - zraci u veoma prodorno zračenje koje prolazi i kroz nekoliko desetina cm teških metala. Gama zrake emituje novonastalo jezgro (jezgro - potomak) prilikom radioaktivne transformacije. Usled radioaktivne transformacije jezgro produkt dolazi u ekscitovano stanje iz kojeg emisijom gama kvanta prelazi u osnovno stanje. Ovo zračenje daje preciznu informaciju o jezgru u kojem je nastalo, jer ima uzanu prirodnu širinu i tačno definisanu energiju.

Neposredna registracija gama zraka je nemoguća, te se ona svodi na registraciju sekundarnih nanelektrisanih čestica nastalih u interakciji gama kvanta i materije detektora. Sve vrste interakcije materije i gama kvanta svrstane su u tri grupe: fotoefekat, Komptonov efekat i efekat stvaranja para elektron - pozitron.

3. 1. Ge (Li) spektrometar

Za detekciju i spektrometriju gama zračenja zbog svojih dobri osobina široko se primenjuju poluprovodnički Ge (Li) detektori. Sastoje se iz kristala Ge sa primesama Li.

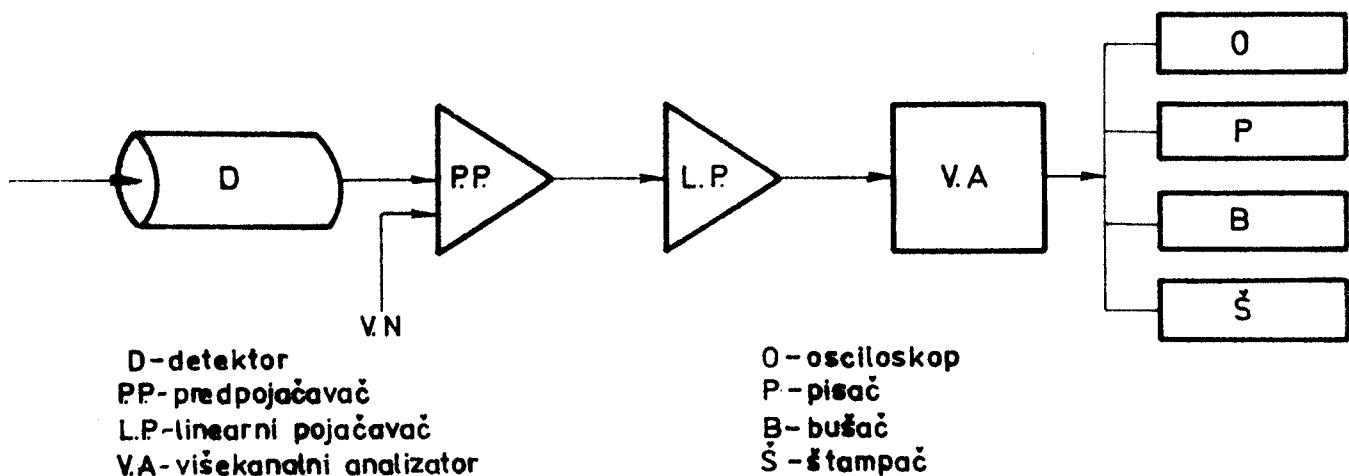
Za bolju detekciju potrebna je i veća efikasna zapremina detektora. Efikasna zapremina detektora se povećava tako što se povećava PN - prelaz, što se postiže većom difuzijom Li u poluprovodnik P - tipa.

Površina na koju je nanesen litijum nakon izvršene difuzije ima svojstva N - poluprovodnika. Pored P i N sloja ovaj detektor poseduje i treći središnji sloj tzv. I - sloj. Ovaj sloj ili međusloj karakteriše ravnotežu obeju vrsta slobodnih nosilaca nanelektrisanja. Njegova širina određuje aktivni deo poluprovodnika za detekciju řeđaklearnog zračenja. Za gama zrake minimalna debljina medju slojem mora biti oko 1 cm. da bi postojala mogućnost njihove apsorpcije. Povećanjem sloja postiže se veća efikasnost detektora. Za detekciju gama zračenja izradjuju se detektori koji imaju aktivnu zapreminu i do 100 cm^3 . Poluprovodnički detektori izradjeni od Ge imaju prednost nad gasnim jer pri svakom stvaranju para elektron - šupljina u poluprovodniku je potrebno 10 puta manje energije nego u gasu.

Na P - sloj kristala je priključena katoda, a na N - sloj anoda. Upadom gama kvanta formiraju se šupljine i elektroni koji se potom kreću ka odgovarajućim elektrodama. Usled kretanja šupljina i elektrona kroz kolo protiče struja koja izaziva impuls napona upadnog gama kvanta. Dobijeni signal ili impuls 'preko sistema' pojačavača se pojačava i uvodi u višekanalni analizator gde se vrši grupisanje naponskih impulsa po veličinama. Rezultat takvog grupisanja, koji predstavlja spektar merenog zračenja, može se dobiti na više načina. Karakterističan spektar možemo direktno posmatrati na osciloskopu. Rezultati, odnosno podaci se mogu dobiti i preko štampača - tačkastog crtača na milimetarskoj hartiji.

Merni sklop Ge (Li) sprektrometarskog sistema prikazan je na slici 5. i on se sastoji od: detektora, predpojačavača, linearne pojačavače, više - kanalnog analizatora, osciloskopa, pisača, bušača, štampača.

U detektoru se energija gama zračenja pretvara u male električne signale koji su veoma slabi. Predpojačavač predstavlja prvi stepen pojačanja signala koji dolazi iz detektora, dok linearni impulsni pojačavač služi za linearno pojačavanje i oblikovanje naponskih impulsa, da bi višekanalni analizator mogao da ih sortira po visini i tek tada ovi impulsi daju spektar.



Slika 4. Blok šema spektrometra

Definišimo osnovne karakteristike spektrometra. To su: moć razlaganja i efikasnost.

Moć razlaganja se definiše kao sposobnost detektora da razlikuje dva gama kvanta bliskih energija. Kao praktična mera rezolucije uzima se širina fotovrha na polovini njegove visine. Odnos izmedju širine "fotolinije" na polovini visine i vrednosti koja odgovara položaju vrha "fotolinije" u energetskoj skali predstavlja kompletну definiciju rezolucije ili moći razlaganja spektrometra.

Određivanje rezolucije u energetskoj skali možemo predstaviti u sledećoj formi:

$$R = \frac{\Delta E}{E_{\text{vr}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

. / . . .

gde je ΔE širina "fotolinije" na polovini visine, a E_{γ} energija upadnog gama kvanta.

Efikasnost se definiše kao odnos registrovanih prema ukupnom broju gama kvanata koje izvor emituje.

$$\mathcal{E} = \frac{N \text{ det.}}{N \text{ em.}} \quad (3)$$

Na detektor, u zavisnosti od prostornog ugla, pada samo deo emitovanih kvanata. Deo fluksa koji pada na detektor definiše geometrijsku efikasnost. Deo gama kvanata koji su ušli u detektor, a istovremeno su i detektovani predstavlja unutrašnju efikasnost ili efikasnost detektovanja.

4. METODE PRIPREME UZORAKA

U zavisnosti od radiometrijske metode koriste se fizičke ili hemijske metode pripreme uzoraka.

Kod hemijskih metoda, princip je izdvajanje hemijskog elementa, odnosno ispitivanog radionuklida od ostalih komponenata u oblik koji je najpogodniji za dalja merenja (talog, tečna faza, gasoviti oblik i sl.)

Kod fizičkih metoda ispitivani hemijski element, odnosno radioizotop, najčešće ostaje u sklopu sa ostalim komponentama. Sadržaj pojedinih hemijskih elemenata i radionuklida, u uzorku koji se analizira, je često ispod osetljivosti dostupnih metoda radiometrije, te ih je neophodno koncentrisati. U tu svrhu mogu da se koriste procesi mineralizacije - suve ili vlažne - i sva dalja merenja se vrše na mineralnom ostatku. Pri postupku mineralizacije, fizičke i hemijske osobine, radionuklida ili hemijskog elementa, temperatura, vrsta posuđa, brzina procesa i drugo, utiču na dobijanje kvalitetnog pepela, uz minimalne gubitke ispitivanog hemijskog elementa ili radionuklida.

Merenja radioaktivnih materija, nakon fizičkih metoda pripreme, imaju prednost nad merenjima nakon radiohemijskih metoda jer isključuju niz hemijskih postupaka koji znatno doprinose greškama. Takođe ako je na raspolaganju kvalitetan detekcioni uredjaj ..(velika efikasnost i -osetljivost), a nivo aktivnosti znatno je iznad nivoa osetljivosti datog uredjaja, tada se ni proces mineralizacije uzorka ne sprovodi do kraja već je dovoljno samo sušenje uzorka radi odstranjivanja vode.

Izbor hemijske metode zavisi od hemijskih osobina radionuklida, odnosno njegovog stabilnog izotopa pošto se oni identično ponašaju u hemijskim reakcijama. Zato se često koristi stabilni izotop ispitivanog radionuklida, koji služi kao njegov "nosač" - povlači ga na sebi - pošto se dodaje sistemu u merljivim količinama. Ovo je neophodno tim pre, što je masa radionuklida toliko mala da je ispod osetljivosti hemijskih metoda, tj. nedovoljna za željenu hemijsku reakciju.

Posle hemijskog izdvajanja radionuklida u najpovoljnijem obliku, sledi radiometrija, u cilju konačnog određivanja ispitivanog radionuklida.

5. HEMIJSKE OSOBINE Cs i K

Kalijum i cezijum su alkalni metali tj. pripadaju prvoj grupi periodnog sistema elemenata.

Hemijske osobine alkalnih metala su slične, jer svi imaju u spoljnoj električnoj ljestvi po jedan elektron. Od svih alkalnih metala cezijum je hemijski najaktivniji.

Cezijumove soli različitih anjona su veoma slične kalijumovim solima istih anjona. Ovo predstavlja znatnu smetnju pri analizi smese koja pored cezijuma sadrži i litijum, natrijum i kalijum.

Za hemijske analize bitna je osobina da cezijum gradi slabo rastvorne dvogube soli i na toj osobini se zasniva njegovo odvajanje od drugih hemijskih elemenata.

Od organskih jedinjenja cezijuma najznačajnija su jedinjenja sa tetrafenilboratom i trifenilcijanoboratom.

Za biljni i životinjski svet, a i za čoveka, kalijum i natrijum su najznačajniji alkalni metali.

U fiziološkim procesima jon kalijuma je izuzetno značajan u elektrolitičkom bilansu tkivnog metabolizma. Kalijum je predominantan ion u intracelularnim tečnostima, a analogan značaj ima natrijum u ekstracelularnim tečnostima.

Elementi koji pokazuju slične fizičke i hemijske osobine imaju mogućnost da u organizmu budu makar delimično zamjenjeni. To znači da jon kalijuma

koji u organizmu intenzivno učestvuje u metabolizmu i predstavlja neophodan bioelemenat može u odgovarajućem obimu da bude zamenjen jonom cezijuma.

Pri izučavanju metabolizma radionuklida u odnosu na njihove hemijske i metaboličke analoge, značajno mesto zauzima stepen diskomunikacije radionuklida i njegovog analoga u sistemu..

6. METODE ODREDJIVANJA ^{137}Cs

Pri odredjivanju ^{137}Cs u uzorcima moguće su različite radiometrijske metode, s obzirom da radionuklid ^{137}Cs emituje beta i gama zračenje pogodnih energija. Jedno ograničenje je nivo aktivnosti ^{137}Cs u ispitivanim uzorcima, koji mora da je iznad osetljivosti detekcionog sistema. Takođe, od nivoa aktivnosti zavisi i vreme merenja, kako bi se dobili verodostojni rezultati, te ovaj parametar može ponekad da bude odlučujući pri izboru metode.

Kada se ^{137}Cs nalazi u smeši sa drugim radionuklidima, koji emituju beta zračenja, tada je merenje beta zračenja ^{137}Cs znatno otežano, s obzirom na sve teškoće koje se javljaju u detekciji beta zračenja, prvenstveno zbog kontinualnog spektra beta zračenja. Pri merenju ukupne beta aktivnosti uzorka životne sredine, nije moguće poznatim metodama i dostupnim uređajima da se odredi doprinos beta komponente ^{137}Cs u ukupnoj beta aktivnosti, bez prethodne radiohemijске separacije.

Merenje aktivnosti ^{137}Cs metodom gamaspektrometrijske analize, daje dobre rezultate. Princip ove metode, s obzirom na osobine gama zračenja i njegovu interakciju sa materijom, omogućava da se iz smeše više radionuklida koji emituju gama zračenje, svaki od njih odredi sa određenom tačnošću, a bez prethodnog međusobnog hemijskog razdvajanja.

Pri određivanju ^{137}Cs u prirodnim uzorcima javljaju se sledeći problemi. Prvo, radionuklid ^{137}Cs je u ove sisteme dospeo prvenstveno preko radioaktivnih padavina, gde ima i drugih fisionih produkata, koji nisu od većeg interesa za čoveka, te ih treba odvojiti. Drugo, svi uzorci biosfere koje čovek koristi, sadrže znatne količine neaktivnog materijala, veliki broj različitih soli. S obzirom na slične hemijske osobine kalijuma i cezijuma, njihovo razdvajanje je time otežano. Treće, nivo aktivnosti ^{137}Cs u nekim uzorcima biosfere, je često daleko ispod osjetljivosti mernih uređaja, te je potrebno koncentrisanje cezijuma.

Sve metode za određivanje ^{137}Cs razvijene su u prisustvu znatnih količina kalijuma i dele se na: gravimetrijske, spektrohemiske, jonoizmenjivačke i ekstrakcione metode. Pored toga, sve metode za određivanje ^{137}Cs mogu se podeliti na metode uz primenu nosača i na metode bez primene nosača za odvajanje ^{137}Cs iz smeše fisionih produkata i alkalnih metala iz vodenih rastvora, sa i bez prisustva "nosača", preporučuje se više gravimetrijskih i radiohemiskih metoda. Sve ove metode se zasnivaju na taloženju teško rastvornih soli: perhlorata, permanganata, hloroplatinata, bizmut jodida, kobalt nitrata, fosformolibdatta, dipikrilamina, silikovolframata, stanobromida, tetrafenilborata, trifenilcijanoborata i dr. Kod većine ovih metoda makrokoličine kalijuma, natrijuma, rubidijuma pa čak i amonijaka, otežavaju potpuno izdvajanje cezijuma.

Organske i neorganske jonoizmenjivačke metode zasnivaju se na adsorpciji na organskim ili neorganskim jonoizmenjivačkim smolama.

Uklanjanje radioaktivnih izotopa iz vode primenom jonoizmenjivačkih smola je veoma složen proces, a njegov efekat zavisi kako od prirode i sastava izotopa u rastvoru, tako i od tipa smole. Smole se obično koriste u kolonama (dinamička sorpcija) i u obliku praška koji se unosi u rastvor (statička sorpcija).

Analiza [2] je pokazala da su veoma efikasni jonoizmenjivači granulisani ZrFC i LEWATIT S100, koji u sirovom uzorku i po matriksu

veoma sličnom materijalu koji bi mogao da se javi u realnim uslovima pri relativno visokom sadržaju ometajućih jona, izvajaju preko 95% Cs iz vodenog rastvora. Prednost svakako ima LEWATIT S100, jer ne zahteva zametnu sintezu kao ZrFC i prethodno testiranje sastava i efikasnosti sintetisanog materijala, odnosno omogućuje pouzdano brzo i tačno gama spektrometrijsko merenje Cs - 134 i Cs - 137 iz relativno male količine uzorka.

Od svih pomenutih metoda za izdvajanje ^{137}Cs iz smeše alkalnih metala i fisionih produkata, u uzorcima biosfere najčešće se koriste taložne metode u prisustvu "nosača". Među najselektivnijim reagensima za ^{137}Cs izdvajaju se:

1. Natrijumtetrafenilborat (NaTFB) - Na $[(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{B}]$ preporučuje se u literaturi kao selektivan reagens za taloženje kalijuma, cezijuma i ribidijuma iz bioloških materijala. Metoda se zasniva na taloženju cezijuma - tetrafenilborata Cs $[(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{B}]$ u slabo kiseloj sredini. Reakcija nije potpuno specifična za ^{137}Cs , jer se taloži i kalijum ali u kombinaciji sa nekom hromatografskom metodom (joni-izmenjivačkom) daje zadovoljavajuće rezultate.
2. Natrijumtrifenilicijanoborat - Cezignost Na $[(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{B}(\text{CN})]$ Metoda [3] se zasniva na taloženju cezijum-trifenilicijanoborata Cs $[(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{B}(\text{CN})]$ Optimalni uslovi za izdvajanje ^{137}Cs su: 20 mg. cezijum-nosača, 20 ml. 7% Cezignosta u kiseloj sredini, sobna temperatura, vreme taloženja maksimalno pola časa.
3. Ispitivana je mogućnost primene amonijumfosformolibdata (AMP) za izdvajanje ^{137}Cs [4] od većih količina kalijuma. Ova metoda se smatra pogodna za rutinsko određivanje ^{137}Cs u serijama uzorka iz biosfere jer je jednostavna i ekonomična. Utvrđeno je da je efikasnost izdvajanja ovog izotopa 65 - 80%.

Izdvojeni ^{137}Cs u obliku taloga nekom od ovih metoda, određuje se merenjem beta ili gama zračenja. U cilju saznanja da li dobijeni talog sadrži samo Cs ili se i pored svih preduzetih mera staložilo i nešto kalijuma, daleko je povoljnija gama spektrometrijska analiza, nego merenje beta aktivnosti, jer će se u tom drugom slučaju meriti i beta aktivnost staloženog kalijuma.

7. KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI RADIONUKLIDA

Sve masovnija upotreba radioaktivnih izotopa u raznim oblicima ljudske delatnosti povećava opasnost od radioaktivnog zagajenja prirode.

Pošto donji prag štetnog dejstva ionizujućeg zračenja na žive organizme ne postoji, neophodno je da se i najmanje promene aktivnosti radioizotopa u prirodi blagovremeno registruju. Da bi se dobili pouzdani podaci o koncentraciji radionuklida u prirodnim uzorcima neophodno je da se posveti velika pažnja optimalnom izboru svih parametara eksperimenta: zaštita detektora od fona, vreme merenja, masa i oblik uzorka i td.

Minimalna merljiva koncentracija aktivnosti datog izotopa u uzorku se može izraziti kao [5]:

$$A_s^{\min} = (\varepsilon T_p \rho_{\gamma, \beta} m t)^{-1} (4,5 + \sqrt{20,25 + 9 b t}) \quad (4)$$

gde je ε = efikasnost detekcije; T_p - transparencija [6] uzorka, $\rho_{\gamma, \beta}$ - broj emitovanih gama kvanata (elektrona) po jednom radioaktivnom raspodu; m - masa uzorka; t - vreme merenja uzorka; b - konstantna brzina brojanja fona.

U ovom radu se upoređuje prag detekcije za gama i beta merenje. -

8. OPIS EKSPERIMENTA I REZULTATI MERENJA

Ceo eksperiment se sastojao iz sledećeg:

1. Gama spektrimetrijsko merenje

- a) obrada uzorka voda
- b) snimanje gama spektra uzorka i fona

2. Beta merenje

- a) priprema uzorka za beta merenje
- b) merenje beta aktivnosti i fona

3. Testiranje rezultata

8.1. Obrada uzorka voda

Uzorke vode (41 l.) profiltriran je kroz filter papir u cilju uklanjanja većeg dela prisutnih suspendovanih materija.

Filtrat vode, zagrevan je do približno 50°C uz neprekidno mešanje, a zatim je dodato 0,2 g. KMnO_4 (kalijum permanganata) na 1 l. vode uzorka. Usled dodavanja KMnO_4 uzorak se obojio intenzivno ljubičasto. Da bi došlo do taloženja MnO_2 ; sedmovalentni mangan iz KMnO_4 redukuje se pomoću 30% H_2O_2 (vodonikperoksid) do dvovalentnog mangana. Redukcija



se odvija do kraja pri dodavanju 4 ml. 30% H_2O_2 na 1 l. uzorka vode. Vodonikperoksid je dodavan postepeno zbog burne reakcije. Proces formiranja i taloženja MnO_2 traje 6 časova uz neprekidno mešanje i održavanje temperature (50°C).

Posle 6 časova prekinuto je zagrevanje i mešanje, a istaloženi MnO_2 je ostavljen 12 - 24 časa da bi se iz uzorka (filtrat vode) adsorbovali na talogu MnO_2 izotopi Zr-95; Ru - 103; Ru - 106; Co - 60; NB-95 i ostali.

Obzirom da se izotop Cs ne adsorbuje na MnO_2 radi izdvajanja Cs filtrat vode, posle odvajanja taloga MnO_2 , propušta se kroz kolonu sa jonoizmenjivačkom smolom LEWATIT S100.

Posle izdvajanja Cs kompletan materijal izvađen iz kolone i stavljen u nosač detektora i u vremenu od 69416 s snimljen je spektar.

Na energijama merenih gama prelaza za Cs-134 i Cs-137 koje iznose 605 keV odnosno 662 keV određen je odbroj i fon, pa je na osnovu izraza (5) i (6) izračunata aktivnost i greška aktivnosti.

8.2. Priprema uzorka za beta merenje aktivnosti

Nakon završenog merenja smola je izvadjena iz dektora i isprana hlorovodoničnom kiselinom 1:3 da bi se eluirao cezijum. Zatim je u taj rastvor, pri pH vrednosti 4, dodato 0,023 g. nosača cezijuma ($CsCl$).

Cezijum je istaložen dodavanjem 2,0006 g. AMP-a. Rastvor je ostavljen da stoji preko noći da bi taloženje bilo što potpunije. Dekantovanjem je odvojen talog od rastvora i izvršeno je filtriranje rastvora. Zatim je celokupan talog centrifugiran i sušen na 105°C. Osušen talog je zatim homogenizovan i na taj način je dobijeno 4 g. taloga.

U planšetu detektora je stavljeno 300 mg. vodeći računa o debeljini mase taloga da ne bi došlo do velike apsorpcije na samom izvoru.

Ovaj talog je nakon merenja beta aktivnosti prenesen u nosač gama detektora pa je na energijama merenih gama prelaza za Cs-134, Cs-137 i K-40 određen odbroj i fon. Aktivnosti i greška aktivnosti se računaju pomoću izraza (5) i (6).

8.3. Eksperimentalno odredjivanje aktivnosti

Gama - spektrometrijska merenja izvršena su pomoću "Closed and Coaxial" Ge(Li) detektora "CANBERRA" smeštenog u niskošumnu zaštitnu komoru. Signali su iz detektora preko predpojačavača "CANBERRA" 2001, vodjeni u pojačavač "CANBERRA" 1413, a spektar je registrovan na 4096 kanalnom analizatoru "NUCLEAR DATA" Nc 2400.

Po završetku snimanja spektra, pristupa se obradi rezultata koja se sastoji u odredjivanju aktivnosti.

Da bi se izračunala aktivnost potrebno je izračunati površinu pod fotovrhom. Na osnovu kanala koji obuhvataju datu spektralnu liniju, određujemo ukupan odbroj u njima. Ovaj ukupan odbroj sadrži i ukupnu površinu pod fotovrhom odnosno spektralnom linijom. Zbog toga je od ove površine potrebno oduzeti površinu koja ne pripada dатој spektralnoј liniji, a to je površina fona pod fotovrhom. Od ove aktivnosti potrebno je oduzeti aktivnost praznog nosača za dati izotop odnosno spektralnu liniju. Na osnovu izloženog postupka dobijamo izraz za aktivnost koji glasi:

$$A = \frac{\frac{N_p - N_f}{t} - \frac{B_p - B_f}{t_B}}{m I \epsilon} \quad (5)$$

gde je: N_p = odbroj pod fotovrhom
 N_f = srednja vrednost fona pod fotovrhom
 t = vreme snimanja spektra
 B_p = odbroj praznog nosača pod fotovrhom
 B_f = srednja vrednost fona praznog nosača
 t_B = vreme snimanja spektra praznog nosača
 m = masa uzorka
 I = intezitet linije (broj emitovanih γ kvanata po raspodu)
 ϵ = efikasnost detektora

Izraz za izračunavanje greške aktivnosti glasi:

$$\Delta A = \frac{1}{m \varepsilon I} \left[\frac{N_p + N_f}{t^2} + \frac{B_p + B_f}{t_B^2} + \left(\frac{N_p - N_f}{t} - \frac{B_p - B_f}{t_B} \right)^2 \left(\frac{\Delta I^2}{I^2} + \frac{\Delta \varepsilon^2}{\varepsilon^2} \right) \right]^{1/2} \quad (6)$$

Pri izračunavanju specifične aktivnosti vrednosti za intenzitet linija i efikasnost uzeti su iz tablica i one iznose

za Cs-137 $I = 0,85$; za Cs-134 $I=0,976$; K-40 $I=0,1067$ dok su greške za intenzitet i efikasnost sledeće.

$$\Delta I = 0,001 \quad i \quad \Delta \varepsilon = \varepsilon \cdot 0,1$$

Rezultati merenja koncentracije aktivnosti Cs-137 i Cs-134 u smoli prikazani su u tabeli 1.

tabela 1.

KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI [mBq/e]	
Cs - 137	Cs - 134
1,8 ± 2,7	- 0,7 ± 3,9

Rezultati merenja koncentracije aktivnosti u talogu AMP-a prikazani su u tabeli 2.

tabela 2.

KONCENTRACIJA AKTIVNOSTI [mBq/l]		
Cs - 137	Cs - 134	K - 40
2,1 ± 0,7	0,04 ± 0,43	48,0 ± 40,0

Beta merenja aktivnosti izvršena su pomoću OMNI GUARD brojača i uredjaja LOLA-4.

Za merenje uzorka biosfere, čija je beta aktivnost niska, potrebno je imati takav merni uredjaj da njegov nivo osnovne aktivnosti ("fon") bude što manji u odnosu na nivo aktivnosti samog uzorka, jer to je jedan od osnovnih uslova da vreme merenja uzorka ne mora suviše da se produžava.

Smanjenje nivoa osnovnog zračenja može se postići na jedan od sledećih načina: 1. upotrebom odgovarajuće zaštite oko brojačkog uredjaja, 2. upotrebom antikoincidentnih kola.

Osnovni delovi OMNI GUARD brojača (OGB), brojača za merenje niske beta aktivnosti, su: GM brojač (AC_2) sa zaštitnim brojačem, olovna zaštita, aluminijumska osnova za skladištenje uzorka na kojoj je programator, upravljačka tabla, menjač uzorka, skaler i pisač. Prečnik AC_2 brojača je 2 inča, a vrh i strane mu okružuje zaštitni brojač. Korišćenjem antikoincidentnog kola signali koji se istovremeno pojave u oba brojača (uglavnom stvoreni usled kosmičkog zračenja) bivaju isključeni iz čistog odbroja brojača. Oba dela detektora rade sa protokom gasa, što obezbeđuje nisko osnovno zračenje i dug život, a korišćeni ultra tanki prozori (od mono mol smole prevučene aluminijumom oko $150 \mu g/cm^2$) omogućuju brojanje beta čestica niske energije. Zaštita od olova je debljine 2 inča.

Korišćenjem izraza (2) može se izračunati linearni atenuacioni koeficijent za maksimalne energije beta spektra Cs-134 i Cs-137. Uvrštavanjem dobijenih linearnih atenuacionih koeficijenata u izraz (1) izračunata je atenuacija u ovakovom prozoru.

Tabela 3 Atenuacija za maksimalne energije beta spektra za Cs-134

E_{max} [MeV]	μ [m^{-1}]	I / I_0
1,454	$3,6865 \cdot 10^{-4}$	0,9797
0,891	$7,4261 \cdot 10^{-4}$	0,9595
0,658	$1,1456 \cdot 10^{-3}$	0,9383
0,415	$2,2145 \cdot 10^{-3}$	0,8842
0,089	$2,0020 \cdot 10^{-2}$	0,3288

Tabela 4 Atenuacija za maksimalne energije beta spektra za Cs-137

E_{max} [MeV]	μ [m^{-1}]	I / I_0
1,176	$4,9935 \cdot 10^{-4}$	0,9726
0,514	$1,6308 \cdot 10^{-3}$	0,9134

Protok gasa je $105 \text{ cm}^3/\text{min}$. Sastav gasa:

Helijum	99,1285	Vol%
Izobutan	0,8100	Vol%
Butadien	0,0015	Vol%

Osnovno zračenje brojača je 0,7 impulsa u minuti. Uredjaj se priključuje na struju napona (115-230)V frekvencije (50-60)Hz.

. / . . .

Merni uredjaj LOLA-4 (skraćenica od "Low Level Activity", što znači uredjaj za merenje niskog nivoa aktivnosti) zasnovan je na primeni antikoincidentnog kola sa halogenim brojačem, čime se postiže smanjenje spoljašnjeg osnovnog zračenja i omogućava merenje uzorka veoma niske beta aktivnosti. Nivo osnovnog zračenja je ispod 3 impulsa u minuti. Brojač ima visoku efikasnost otkrivanja β -zračenja, a osjetljivost je reda veličine 37 m Bq . Brojači su smešteni u olovnom kućištu težine oko 62 kg. Radni napon brojača je 750 V. Napajanje se vrši iz električne mreže napona 220 V. ili iz akumulatora 12 V, a snage 5 W.

Pripremljeni uzorak je meren 10 min. pri čemu je registrovano 40 impulsa, a za isto vreme registrovan je fon od 17 impulsa. Pomoću izraza (3) uz poznatu efikasnost koja za ovaj uredjaj i ovu masu uzorka iznosi $\epsilon = 12\%$, izračunata je aktivnost. Zatim je to preračunato na celokupnu masu taloga tako da dobijena aktivnost predstavlja aktivnost cezijuma (pod pretpostavkom da je selektivnost radiohemiskog postupka vrlo visoka) u 41 g vode , odakle je dobijena koncentracija aktivnosti. Isti uzorak je meren i na uredjaju LOLA-4 50 min. pri čemu je registrovano 161 impuls i fon od 2,5 imp./min. Na isti način izračunata je koncentracija aktivnosti pri efikasnosti $\epsilon = 12,4\%$. Dobijeni rezultati merene beta aktivnosti su predstavljeni u tabeli .

Tabela 5 .

$A_s \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]$	
OMNI GUARD	$104,06 \pm 55,63$
LOLA - 4	$31,5 \pm 8,48$

8.4. Izračunavanje minimalne koncentracije aktivnosti

Korišćenjem izraza (4) izračunat je prag detekcije za gama i beta detekciju za različita vremena merenja (tabela 6 i 7).

U izrazu (4) efikasnost predstavlja konstantu za dati detektor koja zavisi od energije gama prelaza i mase (debljine) uzorka koji je stavljen u detektor.

U tabeli 5 minimalna specifična aktivnost sa indeksom 1 je obračunata po onoj količini taloga koja je stavljena u detektor, a sa indeksom 2. po celokupnom talogu t.j. predpostavljeno je da se od početne mase vode dobije količina taloga koja se celokupna može staviti u planšetu detektora.

tabela 7 β - merenje

Tabela 6 γ - merenje

t [dan]	A_s^{\min} [$\frac{m}{\ell} B_g$]
2	1,947
1	2,849
0,5	4,229
0,2	7,352
0,1	11,538

t [min]	A_{s1}^{\min} [$\frac{m}{\ell} B_g$]	A_{s2}^{\min} [$\frac{m}{\ell} B_g$]
5	129,499	9,712
10	79,774	5,983
20	50,552	3,821
30	39,733	2,980
40	33,473	2,510
50	29,378	2,203
60	26,445	1,983
120	17,910	1,343
144	16,201	1,215

9. DISKUSIJA

Rezultati merenja koncentracije aktivnosti u smoli pokazuju da Cs-137 i Cs-134 ima manje od 4 m Bq/l.

Teorijski talog AMP-a treba da sadrži istu količinu cezijuma ali u manjoj zapremini tako da merenja koncentracije aktivnosti registruju Cs-137, a Cs-134 je i dalje ispod praga detekcije.

U tabeli 5 su rezultati dobijeni merenjem na dva beta brojača. Rezultati se uzajamno slažu u okviru statičke greške.

Rezultati gama i beta merenja nisu saglasni. Beta merenje pokazuje za dva reda veličine veću aktivnost nego gama merenje.

10. ZAKLJUČAK

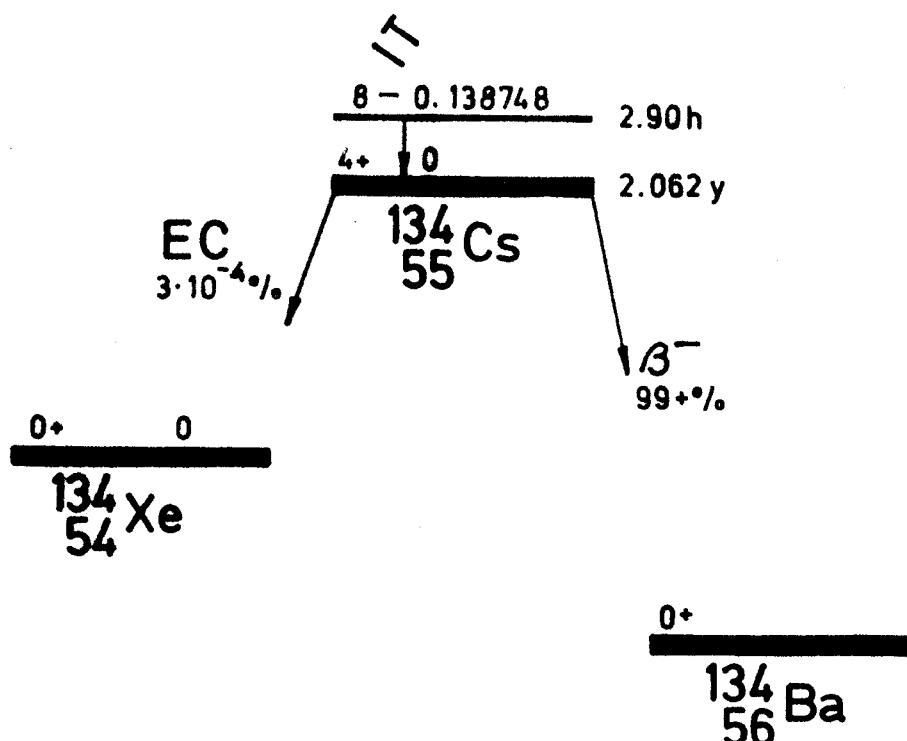
Na osnovu uporedjenih rezultata gama i beta merenja aktivnosti Cs (tabela 2 i 5) možemo izvesti zaključak da su neslaganja moguća zbog toga što se u izdvojenom cezijumu nalaze zнатне količine kalijuma.

Uporedjenje praga detekcije za gama i beta merenje pokazuje da za istu količinu uzorka beta merenje ima niži prag detekcije. U ovom eksperimentu je dobijena takva količina taloga koja nije mogla sva stati u planšetu beta detektora, što ustvari znači da merimo manju količinu uzorka, pa je u poređenju sa gama merenjem prag detekcije viši. Znači treba primeniti takav radiohemski postupak koji daje manje taloga. U tom slučaju beta merenja imaju prednost u odnosu na gama jer za mnogo kraće vreme mogu registrovati iste minimalne aktivnosti.

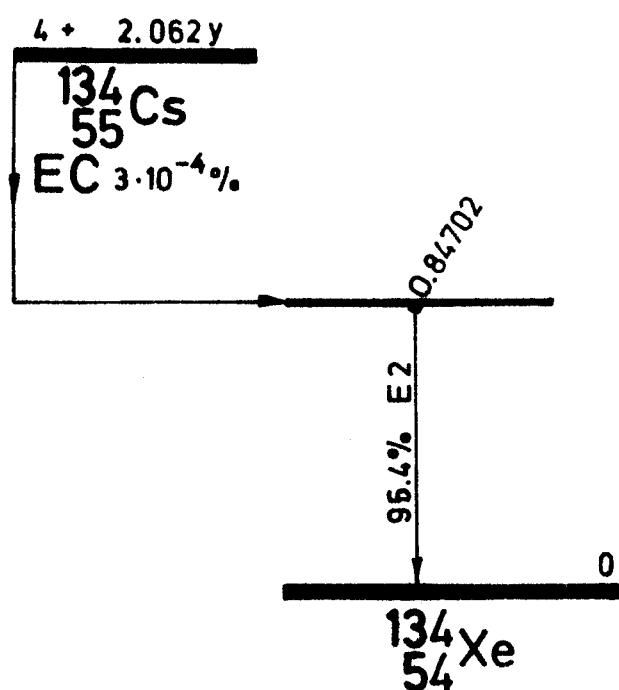
Znači prednost beta merenja je niži prag detekcije, a nedostatak u odnosu na gama merenja je manja pouzdanost. Osim toga nedostatak beta merenja je i neophodnost dugačkog procesa radiohemiske separacije.

R E F E R E N C E

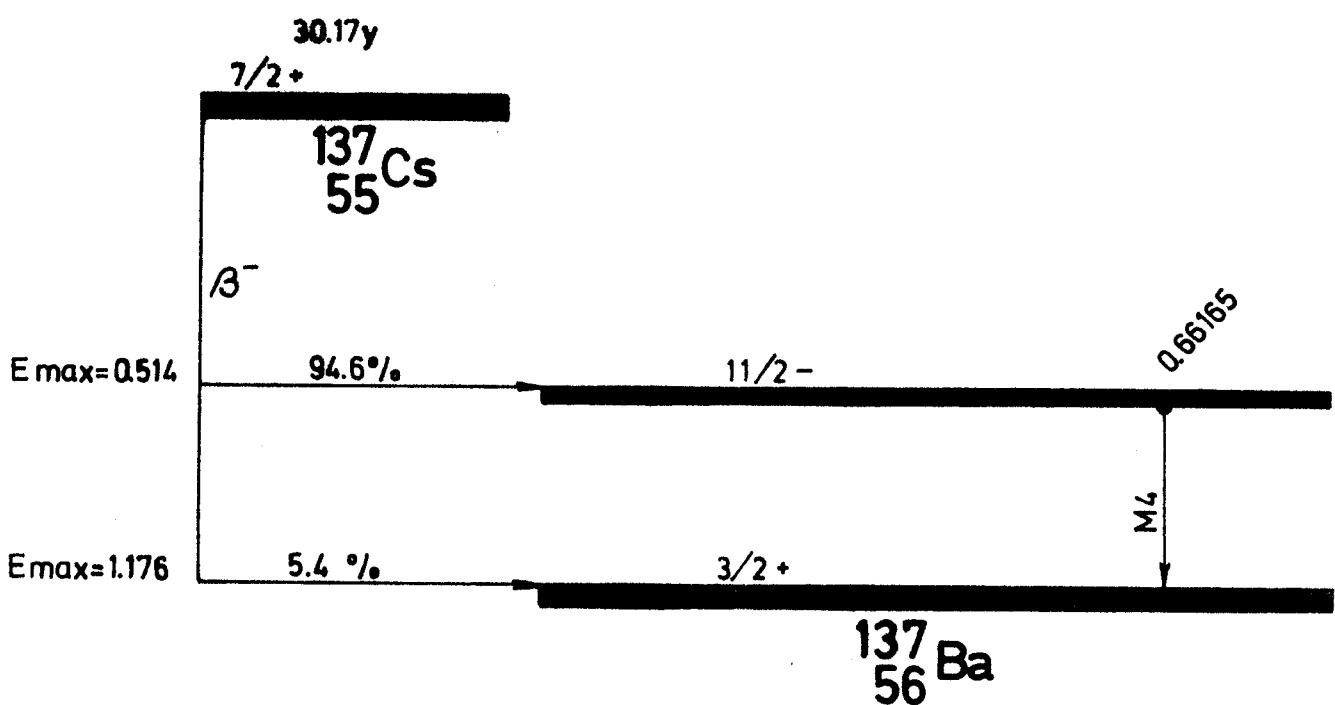
1. L. Marinkov; *Osnovi nuklearne fizike*, PNF - Novi Sad (1976.)
2. Lj. Čonkić, I. Bikit, J. Slivka, M. Vesković; *Zbornik radova; XIV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Novi Sad 1987.*, 138.
3. Z. Milošević, E. Horšić, A. Bauman, R. Kljajić; *Odredjivanje Cs-137 u animalnim i biljnim proizvodima metodom Cezignosta; Veterinaria 26, 4, (1977.)*
4. R. Banović, R. Radovanović; *Izdvajanje Cs-137 na amonijum fosformolibdatu u uzorcima iz životne sredine; VIII Jugoslovenski simpozijum zaštite od zračenja, Herceg Novi, 1975.*
5. I. Bikit, J. Slivka, Ž. Šerbić, Lj. Čonkić i M. Terzić; *Zbornik radova; XIV Jugoslovenski simpozijum za zaštitu od zračenja, Novi Sad, 1987.*, 30.
6. S. Kaplanis: *On the photofraction correction for voluminous sources; Int. J. Appl. Radiat. Isot. 1982; 33. 605 - 608.*
7. M. Teodorović; *Diplomski rad, PMF Novi Sad, 1987.*
9. Glen F. Knoll; *Radiation detection and measurement*



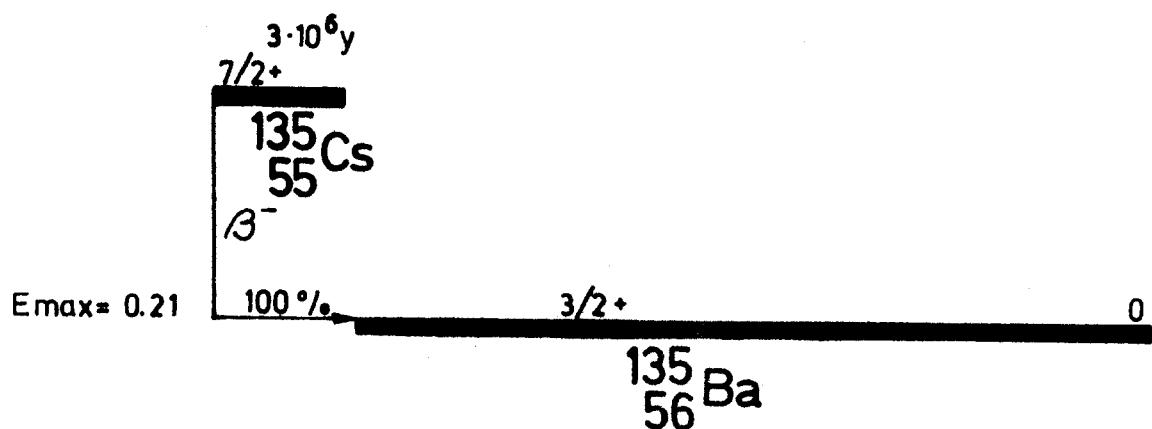
Šema raspada Cs - 134



K - zahvat Cs - 134



Šema rasporeda Cs-137



Šema rasporeda Cs-135

