

D-99

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET UNIVERZITETA
U NOVOM SADU



Evgenije E. Medješi

NEUTRONSKA AKTIVACIONA ANALIZA VOJVODJANSKOG
SUNČOKRETA

- Diplomski rad -

radjen u

Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u
Vinči
1975. god.

Snimanje i kvalitativna obrada spektara izvršeno je na Grupi nuklearne spektroskopije Fizičke laboratorije Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrić" u Vinči. Ovom prilikom želim da se zahvalim svim srednjici- na ponuđene laboretorije na pruženoj pomoći.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Lazaru Marinkovu i mr Ištvanu Bikitu, koji su predložili temu s nepresta- nim sugestijama, savetima, objašnjenjima kao i strplje- njem i ljudskim odnosom doprineli uspešnoj realizaciji ovog rada.



SADRŽAJ

U V O D	1
D E O I	4
1. AKTIVACIONA ANALIZA	4
1.1. Podela aktivacione analize	5
1.2. Neutron	5
2. KVANTITATIVNA ANALIZA	7
2.1. Izvodjenje jednčine aktivacije	7
2.2. Metodi rečunenja mase	8
3. SPEKTROMETRIJA NUKLEARNOG ZRAČENJA	9
3.1. Spektri i spektronetri	9
3.2. Spektrometrije gase zraka	10
3.3. Ge(Li) spektrometar	11
3.4. Karakteristike spektra i spektroneta	14
D E O II	17
1. OBRADA SPEKTRA	17
1.1. Kvalitativna analiza	17
1.2. Kvantitativne analize	17
1.3. Tok eksperimenta	19
2. ZAKLJUČAK	20
LITERATURA	23

U V O D

U savremenoj nauci i tehnici, s obzirom na njihov brz razvoj, svakodnevno raste potreba za najresličitijim analitičkim metodama. Već postojeće metode se neprestano usavršavaju. Novoprondjene analitičke metode nastaju kao posledica burnog razvoja nauke. One se brzo uvođe u svakodnevnu upotrebu, pogotovo ako te nove metode donose sa sobom veću brzinu i veću preciznost merenja.

Od svih analitičkih metoda koje su na raspolaganju savremenoj nauci i tehnici veoma veliki značaj ima nuklearna aktivaciona analiza. Ona je često puta nezamenljiva baš zbog svoje visoke preciznosti, malog vremena trajanja merenja itd.

Pomoću nuklearne aktivacione analize moguće je odredjivanje nepoznatog izotopa ili elementa u datom objektu, kako kvalitativno tako i kvantitativno. One se zasnive na analizi nuklearnog zračenja pobudjenih jezgara. Činjenica da jezgro ostaje nepromenjeno i pored različitih hemijskih transformacija elementa, čijem atomu ono pripada, omogućava da nuklearna aktivaciona analiza ne zavisi od toga u kakvoj je hemijskoj vezi dati element ispitivnog objekta. To znači da aktivaciona analiza daje samo ukupnu ili globalnu vrednost pojedinog izotopa odnosno elementa u uzorku. Zbog te osobenosti, aktivaciona analiza, između ostalog, nalazi primenu tamo gde je potrebno odrediti stepen zagađenosti uzorka sa nekim elementom, što je za savremenu nauku i tehniku od ogromnog značaja. Tu se u prvom redu misli na tehnologiju proizvodnje poluprovodničkog materijala, zatim na proizvodnju reznih materijala korišćenih za grednju nuklearnih reaktora, pa i samog nuklearnog goriva, gde je takođe neophodno znati stepen zagađenja. Osim toga, danas je raširena primena aktivacione analize u medicini, kriminalistici, biologiji i drugim granama nauke i tehnike gde je potrebno odrediti ne samo vrstu već i količinu pojedinih elemenata u datom uzorku, pogotovo kada je ovaj zastupljen u malim, gotovo neznanim količinskim. Jednom rečju aktivaciona



analiza je veoma moćno sredstvo analitičke hemije.

Konkretno, u ovom redu korišćene je neutronsko aktivacione analize u cilju određivanje vrste i količine nekih elemenata koji se nalaze u sastavu biljke sunceokret /Helianthus annus/. Kao i svake biljke tako i sunceokret je sestavljen od velikog niza složenih organskih jedinjenja. Međutim, ceo tež visoko organizovan skup jedinjenja gredi relativno mali broj elemenata. Prema zastupljenosti u biljci, svi ovi elementi podeljeni su na dve grupe: makroelementi i mikroelementi. Makroelementi su oni elementi koji se nalaze u biljkama u relativno velikim količinsm, kao što su kalijum, natrijum, kalcijum, magnesijum, gvoždje, fosfor, sumpor, silicijum i hlor. Mikroelementi su u biljkama zastupljeni u znatno manjim količinsm u odnosu na makroelemente. U ovu grupu spadaju bor, molibden, cink, bakar, magnezij, kobalt i dr.

Na osnovu fiziološke uloge u biljci sve elemente delimo na više grupe: neophodne hrane živim elementi /svi gore navedeni mikroelementi, zatim kalijum, kalcijum, magnesijum, gvoždje, fosfor i sumpor/, klorisni elementi /natrijum, hlor i silicijum/, stimulativni elementi /jod, fluor i litijum/, štetni elementi /aluminijum, titen i selen/ i elementi neponastog dejstva /rubidijum i stroncijum/.

Poznato je da se sadržaj pojedinih elemenata znatno menja u zavisnosti od vrste biljke, od organa biljke, vrste semijište na kojem ona raste, klimatskih i meteoroloških uslova itd. Međutim, i pored velike promene količine pojedinog elementa u zavisnosti od navedenog faktora, uvek važi pravilo da se makroelementi nalaze u većim količinsm od mikroelementa.

Izmeđju ostalog, cilj ovog reda je da se na primeru selenike sunceokreta razvije metodologija istraživanje zastupljenosti pojedinih elemenata u nekim delovima biljke u zavisnosti od niza spoljašnjih faktora. Ovaj problem je značajan tako da su u literaturi oskudni takvi podaci, pogotovo tako da se radi o mikroelementima. Osim toga,

istreživanja ove vrste mogu pomoći, na izvestan posredan
način, i u rešavanju danas veoma aktuelnog problema - pro-
blema ishrane.

I. AKTIVACIONA ANALIZA

Princip vršenja aktivacione analize sastoji se u tome da se ispitiveni uzorak ozrači nekim nuklearnim česticama ili kventima određene energije. Pri tome se jezgre u meti aktiviraju, postaju radioaktivne. Na osnovu činjenice da se svaka radioaktivna jezgra razlikuje od drugog po vrsti, energiji emitovanog nuklearnog zračenja i po poluživotu raspada, vrđi se identifikacije novonastalog radioizotopsa, a s obzirom na poznat način vršenja pobudjivanje elementa u uzorku, određujemo taj element. Intenzitet tog zračenja nem daže informaciju o količini nepoznatog izotopsa. Opisani princip merenja je relativno star. Korišćen je još prilikom izgradnje prveg nuklearnog reaktora u svetu 1942. godine. Posle tog metoda se neprestano razvijao jer su se neprestano razvijeli spektrometri nuklearnog zračenja. Tako na primer mogućnosti aktivacione analize su znatno porasle uvedjenjem u upotrebu scintilacionog detektora gama zračenja. U drugoj polovini šezdesetih godina počinje da se koristi poluprovodnički gama detektor. Najčešće je u upotrebi Ge(Li) detektor, koji predhodni scintilacioni, u energetskom razlaganju nadmašuje gotovo za red veličine.

Zahvaljujući baš Ge(Li) detektoru, razvoju elektronike, a preko nje i operature koja zajedno čini Ge(Li) spektrometer nuklearnog zračenja, možemo registrovati mase pojedinih elemenata čije vrednost dostiže i do 10^{-15} g kod pojedinih elemenata (Ru, Di). Minimalne merljive mase za neke druge elemente su navedene u tabeli 1.1. Korišćeni fluks za izradu te tabele je 10^{15} neutrons/cm² sec.

Element	Ned. veličine max. osetljivosti u g.
Europijum, disporajum	10^{-15}
Indijum, iridijum, mangani	$10^{-11} - 10^{-10}$
Zlato, brom, netrijum, bokar, volfram	$10^{-10} - 10^{-9}$
Berijum, fosfor, germanijum, hlor, nikl	$10^{-9} - 10^{-8}$
Cink, srebro, cezijum, žive, hrom, platina	$10^{-8} - 10^{-7}$
Gvođje, sumpor, kalcijum, bismut	$10^{-7} - 10^{-6}$

Tabela 1.1.

1.1. Podela aktivacione analize

Za aktivaciju, ili ozračivanje, mogu se koristiti sve nuklearne čestice i gase kvanti visoke energije. Nelektrisane čestice /protoni, deuteroni, alfa čestice/ se prethodno ubrzavaju, ali je korišćenje otežano zbog velikog broja konkurentnih reakcija, zbog ograničenog preseka snopa čestica dobijenog iz ciklotrons, potreba za određenim brzinskim česticama i ograničene debeljine mete. Neke od nevedenih negativnih osobina nelektrisanih čestica pri korišćenju za aktivaciju, mogu biti i korisne, što zavisi od vrste eksperimenta. Na primer: kada je potrebna aktivacija i analiza samo jednog elementa iz uzorka, koristi se osobina da čestice na izlazu iz akceleratora imaju određene energije odnosno brzine.

S obzirom na vrstu aktivirajuće čestice, metod aktivacione analize smo podelili na sledeći način:

- a) neutronska aktivaciona analiza
- b) fotoaktivaciona analiza
- c) aktivaciona analiza sa primenom nelektrisanih čestica

1.2. Neutron

Nejpogodnija čestica za aktivaciju je neutron. Prilikom upada u jezgro on ne naliči na potencijalnu berijeru kulanovog polja, kao što je slučaj sa nelektrisanim česticama. Dovoljna mu je i mala energija za upad u jezgro čime se povodeva presek tekuće reakcije.

Izvori neutrona mogu biti sledeće nuklearne reakcije: $\alpha, n/$, $\gamma, n/$, $p, n/$, $d, n/$. Dobijeni fluksevi na tej način kreću se maksimalno do 10^5 n/sec cm². Ovakve izvore još zovemo laboretorijskim.

U srednje vreme u upotrebu ulaze i tzv. neutronski generatori koji redi najčešće na principu ubrzavanja nelektrisanih nuklearnih čestica koje, kao upadne čestice izazivaju nuklearne reakcije sa emisijom neutrona. Na primer: $^{2}H/d$, $n/\beta He$ ili $^{3}H/d$, $n/\beta He^{4}$. Intenzitet tako generisanih neutrona destiže i 10^{10} n/sec.

Ipak, najznačajniji, mada i ne najprektičniji izvor neutrona, je nuklearni reaktor. U njemu se generišu maksimalni fluksevi neutrona čiji red veličine dostiže i $10^{14} \text{n/cm}^2 \text{sec.}$

Svi neutroni, bez obzira na izvor, razlikuju se po energiji pa smo ih grupisali na sledeći način po njihovim energijama / E_n /, odnosno brzinama:

a) HLADNI	$E_n < 0,005 \text{ eV}$
b) SPORI:	
I termalni	$0,005 \text{ eV} \leq E_n \leq 0,4 \text{ eV}$
II rezonansni	$0,4 \text{ eV} \leq E_n \leq 1000 \text{ eV}$
c) SREDNJI	$1 \text{ keV} \leq E_n \leq 500 \text{ keV}$
d) BRZI	$0,5 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV}$
e) SUPER BRZI	$50 \text{ MeV} \leq E_n$

Grupa pod a i e ne našla primenu u aktivacionoj analizi a izbor neutrona zavisi od specifičnosti eksperimenta. U ovom redu su korišćeni termalni neutroni što je i najčešće u prekriji. Njihov izvor je bio nuklearni reaktor u institutu "Boris Kidrič" u Vinči.

U aktu sudara sa jezgrom neutron može biti jednostavno rasejan /elestičan sudar/, ili zahvaćen jazgrom. Jazgro sa zahvaćenim neutronom raspada se na više načina.

a) Radiacioni zahvat. Prilikom zahvaćenja termalnog neutrona, novonastalo jazgro se pobudi sa vrednost energije veze zahvaćenog neutrona. Prelez u normalno stanje se vrši na taj način što se odmah /tj. posle 1 10^{-14} sec nekon upada neutrona u jazgro/ vrši emisija jednog ili više gama kvanta. Ovakvo jazgro je u većini slučajeva β^- radioaktivno, pošto je suficitarno neutronima u odnosu na polozno, stabilno jazgro. Znatno redje jazgro se raspada β^+ zračenjem ili K-zahvatom. Bez obzira na vrstu zračenja ono je prećeno, gotovo u svim slučajevima i karakterističnom šećom gama raspada.

b) Konkurentne reakcije radiacionom zahvatu (n, γ) su tipa / n, p / i / n, α /, a javljaju se samo prilikom ozračavanja laskih jazgara termalnim neutronima. Takav način ras-

pođa složenog jezgre se zove c e p a n j e s a i z l e -
t e n j e m n a e l e k t r i s e n i h č e s t i c a .

Zadnja tri načina raspada složenog jezgre su

c) emisije neutrona /n,2n/

d) c e p a n j e j e z g r e /n,f/

e) n e e l e s t i č n o r a s e j a n j e /n,n⁰/ koji za nas nisu od velikog značaja jer se odnose na neutrone veće energije /brze itd./ ili na teža jezgre.

2. KVANTITATIVNA ANALIZA

2.1. Izvodjenje jednačine aktivacije

Za vršenje kvantitativne analize neophodna je jednačina aktivacije jer ona predstavlja zavisnost aktivnosti aktiviranog izotopa od niza drugih parametara među kojima je i mass traženog izotopa.

Predpostavimo da jezgre proizvoljnog izotopa A zahvata neutron i postaje neko drugo radioaktivno jezgro B, te se raspada sa konstantom raspada λ_B u jezgro novog izotopa C. Najčešće je slučaj da je C stabilno jezgro. Brzina generisanja jezgara radioizotopa B je direktno proporcionalna prvočitnom broju jezgara N_A^0 prisutnih u meti, aktivacionom preseku σ_A i neutronskom fluksu ϕ , a umanjena je sa brzinu raspada novoformiranog jezgra.

$$\frac{dN_B}{dt} = \sigma_A \phi N_A - \lambda_B N_B \quad (1)$$

A integracijom ove jednačine dobijamo izraz za broj radioizotopa na kraju osrećivanja koje je izvršeno u vremenu t.

$$N_B^0 = \frac{\sigma_A \phi N_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t}) \quad (2)$$

$$\text{Aktivnost uzorka je: } A_B^0 = \lambda_B N_B^0 = \sigma_A \phi N_A (1 - e^{-\lambda_B t}) \quad (2a)$$

Nakon vremena t' od prestanka osrećivanja aktivnost će iznositi $A_B = A_B^0 e^{-\lambda_B t'}$ odnosno, ako A_B^0 zamenimo sa vrednošću iz 2a dobijemo:

$$A_B = \sigma_A \phi N_A (1 - e^{-\lambda_B t'}) e^{-\lambda_B t'} \quad (3)$$

iz čega lako našavimo početni broj stabilnih jenogra N_A u uzorku

$$N_A = \frac{A_B e^{\lambda_B t'}}{\zeta_A \phi (1 - e^{-\lambda_B t'})} \quad (4)$$

Veno izmeđju broja atona N_A i mase u u granine nekog isotopa doto je israzen:

$$N = \frac{n_A m_A \theta_A}{M_A} \quad (5)$$

gde je n_A avogadrovo broj, M_A atomski težina tog izotopa, a θ odnos doto tog izotopa u prirodnem elementu.

Dstavljanjem izresa (5) i (4) dobijene konsčnu jednačinu aktivacije

$$A_B = \frac{m_A n_A \theta_A \zeta_A \phi (1 - e^{-\lambda_B t'})}{M_A e^{\lambda_B t'}} \quad (6)$$

2.2. Metodi rečunanja mase

Pošto je više metoda za izrečunavanje mase nekog elementa u uzorku, ali je za sve njih zajedničko da se u krejnjoj liniji svede na korišćenje jednačine aktivacije (6). Rešivši je po n_A , na desnoj strani će se naći vrednosti pođ edinih članova koje su poznate iz uslova osređivanja $/t \text{ i } t'/$ ili su tablične $/n_A, \theta_A, \zeta_A, M_A, \lambda_B/$.

U slučaju da nam je flukse ne neki način poznat, onda je edina veličina koju treba ismeriti radi konsčnog izračunavanja mase je aktivnost radicizotopa načinjenog u uzorku. Tačkov način određivanje mase se još naziva $\text{e p s o l u t i n i }$ m e t o d . Za njega je neophodna konstantnost i ne-promenljivost flukse po čitavoj zaređini kanala reaktora u kome se vrši osređivanje uzorka. Neštoš tekvi uslovi su retki, a i merenje flukse sa potrebnom tačnošću je veoma često nemoguće. Zbog toga u prekai se češće upotrebljavaju neki drugi metodi.

M e t o d e t o l e n a /relativni metod/ se naziva ne toče da zajedno sa detin uzorka osređimo etalon, odnosno setu koja sadrži tečno poznatu mase m_0 određivnog elementa. Pošto jednačinu (6) u slučaju ispitivanog

uzorka možemo napisati u obliku $A_x = K m_x$ a u slučaju etalona kao $A_e = K m_e$, onde njihovim nedjusobnim deljenjem dobijamo izraz za traženu massu nepoznatog elementa.

$$m_x = m_e \frac{A_x}{A_e} \quad (7)$$

Na taj način smo odklonili sve nedostatke predhodnog metoda.

M e t o d m o n i t o r a se često primenjuje u slučajevima gde je potrebno odredjivati više mass u jednom uzorku, jer bi u tom slučaju predhodni metod bio nepraktičan usled mnoge etalone. Monitor je, ustvari, neki uzorek napravljen tako da sadrži poznatu massu elemente sa dobrim aktivirajućim karakteristikama. /Zlato, kobalt, baksar, monogen itd./. Ozređuje se pod istim uslovima kao i ispitivni uzorak, tj. tretira se sa istim fluksom. Nepoznati fluks našesimo iz jednačine (6) rešivši je po %. Dalji postupak u cilju odredjivanja mass se poklapa sa onim kao kod apsolutnog metoda.

3. SPEKTROMETRIJA NUKLEARNOG ZRAČENJA

3.1. Spektri i spektrometri

Raspodelu nuklearnog zračenja po energijama nazivamo energetski spekter nuklearnog zračenja ili samo spekter zračenja. Predstavljeno grafički to je grafik neke funkcije $f(E)$. Aparat kojim merimo spekture nuklearnog zračenja nazivamo spektrometer.

Spektrometer čini detektor nuklearnog zračenja koji je povezan sa linijskim pojačivačima impulsa, a ovi sa spektrometrom sa registraciju broja i visine neštoših impulsa čestica i kvantata upednutih u spektrometer. U većini slučajeva direktna registracija funkcije raspodele zračenja $f(E)$ je otežana. Ustvari mi u eksperimentu našesimo neku drugu funkciju raspodele, čiji parametar mora biti jednoznačno povezan sa energijom E , na primer funkcijom $A = Y(E)$. Na taj način nam je poznata posredno i sama tražena funkcija ras-

podelje $f(E)$. U prekzi, kod poluprovodničkih, scintilacijskih i nizu drugih spektrometara parametar A predstavlja amplitudu U_0 naponskog impulsa nastalog usled interakcije zračenja i osjetljivog sloje u detektoru. Karakteristike detektora moraju biti takve da amplituda impulsa U_0 bude proporcionalna energiji čestice absorbovane u detektoru tj.

$$U_0 = \alpha E \quad (8)$$

Čine se postiže mogućnost određivanja vrednosti energije upadnog zraka.

3.2. Spektrometrija gama zraka

U tački 1.1. ovog dela je rečeno da je skoro svaki proces neelastične interakcije neutrona i materije, i radioaktivnog raspada uopšte, pržen emisijom gama kvante, kao posledice prelaza radioaktivnog jezgra između raznih nivoa pobudjenja. Osim toga što takvo zračenje daje preciznu informaciju o jezgru u kome je nastalo, pošto ima uzetu prirodnu širinu linijske, točno definisenu energiju, ono je veoma prodorno tako da ga možemo registrovati i pri većim dimenzijama ozračenog uzorka. Takve osobine gama zraka su učinile da gama spektrometrija bude najčešće zastupljena u neutronskoj aktivacionoj analizi. Neposredna registracija gama zraka je nemoguće te se one svodi na registraciju sekundarnih neelektričnih čestica nastalih u interakciji gama kvante i materije detektora, tačnije sa elektronskim snotačem stona ili poljem stonskog jezgra. Sve vrste interakcije materije i gama kvante svrstane su u tri grupe: fotoefekat, komptonovo resejanje i stvaranje parova.

Fotoelektrični efekt je interakcija gama kvante i elektrona čvrsto vezanog za jezgro. Ovim aktom gama kvant gubi svu svoju energiju E , tj. nestaje. Jeden deo energije gama kvante u iznosu energije vase (E_V) tog elektrona i jezgra se utroši na odvajanje elektrona od jezgra, dok ostatak energije se takođe predaje elektronu i predstavlja njegovu kinetičku energiju T_e , tj.:

$$E_\gamma = E_V + T_e \quad (9)$$

Pošto je za jezgro najčvršće vezan elektron na K-toj orbiti, fotoefekst je najverovatniji na K elektronu. U tom slučaju presek fotoefekta $(\sigma_0)_K$ iznosi

$$(\sigma_0)_K = \text{const} \frac{Z^5}{E^{7/2}} \quad (10)$$

gde je Z naselektrisanje atonskog jezgra. Fotoelektrični efekt je prečen X zračenjem. Kada se dimenzije osetljivog sloja detektora podeše tako da se usled sudara u njemu izgubi sva energija elektrona i X-zraka, onda će signal na izlazu detektora biti proporcionalan energiji upadnog gama kvanta.

Interskocijen gama kvanta se slobodnim ili slebo vezanim elektronima, gama kvant prenosi samo deo svoje energije elektronu i tada kažemo da je izvršeno komptonovo resejanje i jezne. Energija resejenog elektrona zavisi od ugla resejanja i kreće se od nule do neke maksimalne veličine E_{\max} koja je data izrazom

$$E_{\max} = \frac{E_\gamma}{1 - \frac{m_e c^2}{2 E_\gamma}} \quad (11)$$

gde je m_e masa elektrona, c brzina svetlosti. Komptonovo resejanje je u spektrometriji nepovoljno jer doprinosi povećanju fone na dobijenom spektru.

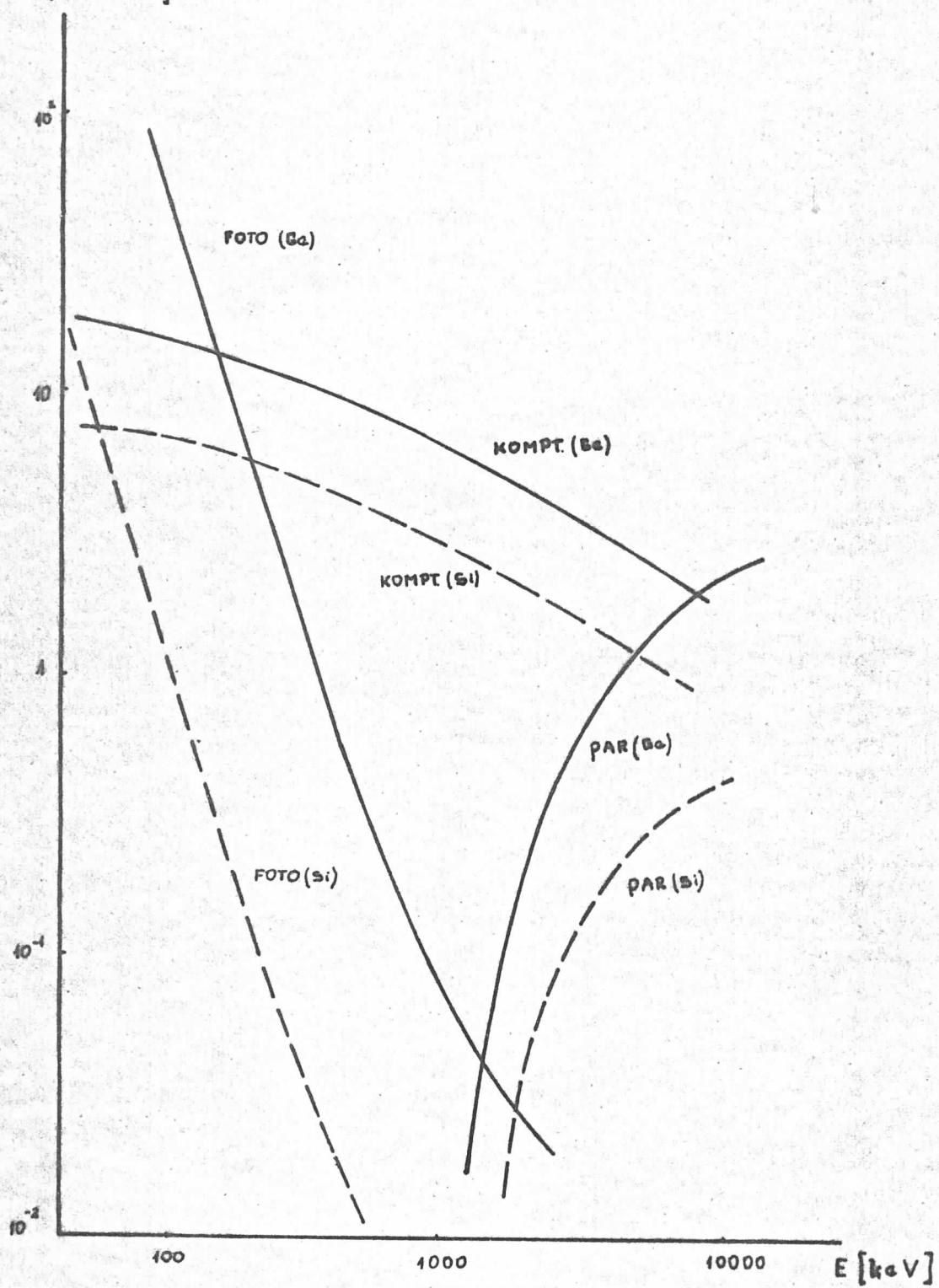
Ako je energija gama kvanta veća od 1,02 MeV, onda se u prisustvu jezgra nekog atoma javlja pojava stvaranje par elektron-positron, tzv. par efekta. Ukupna kinetička energija par čestica je jednaka $E_\gamma - 2m_e c^2$.

Veličina preseka za različite procese unajemnog dejstva gama kvanta i materije detektora, zavisi od energije zračenja i materijala detektora /Sl. 3.1./.

3.3. Ge(Li) spektrometer

Nomenklatura ovog, kao uostalom i drugih spektrometara, potiče od naziva korišćenog detektora. Ge(Li) detektor je poluprovodnički čiji je kristal proizведен iz ger-

G [barn po atomu]



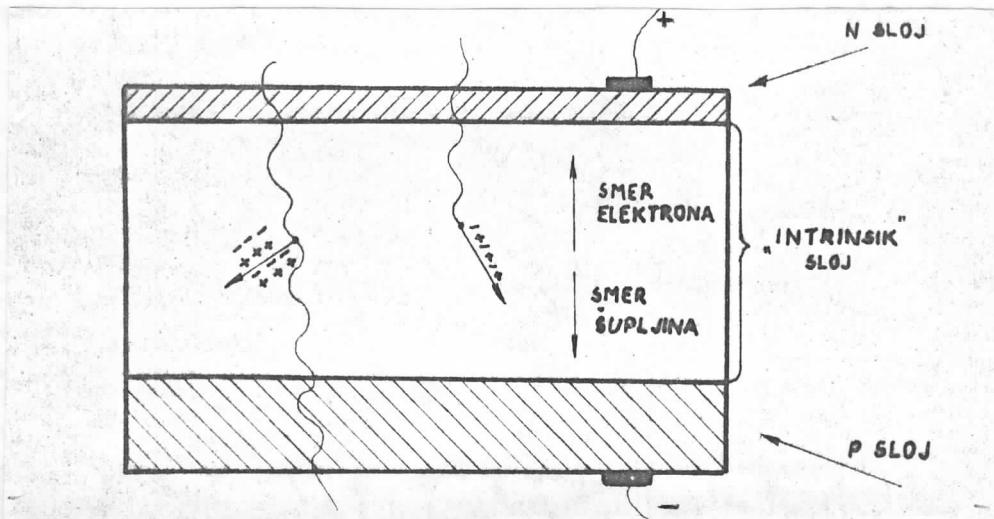
SL3,1

manjume se primenom litijuma. U zavisnosti od merenog zračenja u upotrebi su više tipova Ge(Li) detektora koji se nedjusobno razlikuju po načinu izrade P-N spojeva. Na primer: površinsko barijerni, difuzni, P-I-N spojevi.

Redi povećanje verovatnoće absorbcije gama kvanta koji su prodrili u detektor /efikasnosti detektora/ u gama spektrometriji se primenjuju poluprovodnici sa što većim rednim brojem kaksav je na primer germanijum /Z = 34/ i spoj tipa P-I-N, jer u tom slučaju postoji mogućnost izrade kristala većih debljina, odnosno zapremina osjetljivog sloja. To se postiže difuzijom litijuma u P poluprovodnik kao donorske primene pašto je njegov koeficijent difuzije 10^7 puta veći od uobičajenih donora /fosfor, arsen/. Površina na koju je nanesen litijum uskoro izvršene difuzije je najbogatija donorskim atomima i čitav tež sloj ima svojstvo N poluprovodnika. Suprotna površina ostaje P poluprovodnik jer je na njoj koncentracije donora manja od koncentracije akceptora. Srednji sloj I /"intrinsic"/ se ponaša kao bezprimesni usled jednog broja akceptor-skih i donor-skih atoma.

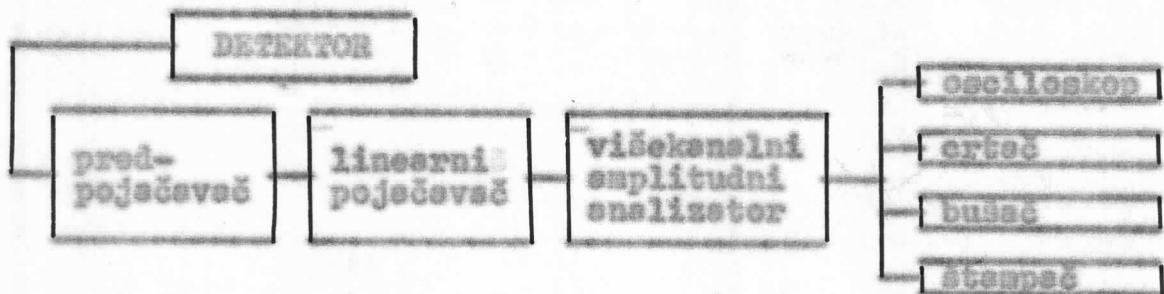
Za gama zrake minimalna debljina sloja mora biti oko jedan cm da bi postojala mogućnost njihove absorbcije. Redi povećanje efikasnosti tehnički procesi se usmeravaju u cilju povećanja I sloja. Na primer, osjetljiva zapremina P-I-N spoja nekih kristala cilindričnog oblika dostiže i 200 cm^3 .

Način upada gama kvanta, u I sloju se formira par-elektron-Šupljina, zašto je potrebna energija 2,8 eV ako je u pitanju Ge(Li) detektor. To je oko 10 puta manje nego energija ionizacije u gazu na primer. Cee kristal se nalazi u električnom polju pašto je na P sloj priključena katoda, a na N sloj anoda. Formirane Šupljine i elektroni se kreću ka odgovarajućim elektrodama /sl.5.2./, a nastali strujni tok neselektrisanih čestica izaziva impuls napona proporcionalan energiji upadnog gama kvanta. Dobijeni signal na izlazu detektora se linearno pojačava i uvodi u više kanalni amplitudni analizator gde se vrši grupisanje naponskih



Slika 3.2.

impulsa po veličinom. Rezultati takvog grupisanja predstavljaju, uistvari, spekter merenog zračenja, a mogu se dobiti autonetski i to u vidu slike na osciloskopu ili preko tečkastog crteža na milimetarskoj kartiji, zatim kao bušene kartice, ili numeričke vrednosti. Blok šema čitavog spektrometrijskog sistema dat je na slici 3.3.



Slika 3.3.

3.4. Karakteristike spektra i spektrometra

Spekter dobijen na Ge(Li) detektoru pri registraciji monochromatskog gama zraka ima složenu strukturu. U idealnom slučaju trebalo bi dobiti za spekter monochromatskog zračenja oštru liniju. Ona bi se mogla dobiti jedino pri takvoj vrsti interakcije zračenja sa materijom u kojoj bi kvant predao svu svoju energiju neelektrisanim česticama, što se i dogoduje pri fotoelektričnom efektu, a manjim

delom i pri višekretnom komptonovom zračenju. U praksi, dobijena spektrofna linija je razmazana i ima karakterističan svezast oblik koji potiče, uglavnom, zbog statističke prirode stvaranja neselektrisanih čestica u detektoru, a posledica tege je da se monoenergetske čestice ne registruju istom amplitudom već sa više bliskih. U spektru gase zraka takva linija se zove pik ili linija totalne absorpcije i obično se nalazi na fenu zračenja koji potiče od različitih uzroka. U prvom redu od komptonovog zračenja /jednostrukog/ kvenata više energije. Parazitno zračenje okoline detektora, šum pojačaveče, razdaljina uzorak-detektor pa i geometrijski oblik uzorka takođe utiču na izgled spektra. Razumljivo, spektri polihromatskog zračenja su znatno složeniji jer predstavljaju superpoziciju više monochromatskih zračenja.

Fundamentalni značaj u niskoenergetskoj gase spektrometrijskoj analizi ima upravo pik totalne absorpcije. Položaj maksimuma pike totalne absorpcije određuje energiju registrovanog gase zračenja, a njegova površina, odnosno visina daju informaciju o intensivnosti zračenja date energije.

Jedna od osnovnih karakteristika spektra je veličina energetskog razdvajanja koje omičava mogućnost razdvajanja u spektru dve čestice ili kvante sa bliskim energijama. Što je razlike energije dve kvante manje, a u spektru se registruju posebno, spektrometar je bolji. Naročito energetskog razdvajanja je širina pike totalne absorpcije i što je ona manja i energetsko razlaganje je bolje. Definisano je kao odnos širine linije totalne absorpcije na polovini njenog maksimuma sa vrednošću energije linije tj.

$$R = \frac{\Delta E}{E_0} \cdot 100\% \quad (12)$$

Za svaki spektrometrijski sistem je poželjna što manja ova vrednost.

Efikasnost spektrometra je druga važna karakteristika svakog pa i Ge(Li) spektrometra. Za ovaj red, kao definicija efikasnosti, uzeto je verovatnoće da gase kvant bude



registrovan u liniji totalne absorbcije ili

$$\varepsilon = \frac{N}{N_{4\pi}} \quad (13)$$

gde je N broj gama kvantata detektovanih u liniji totalne absorbcije, $N_{4\pi}$ = ukupan broj emitovanih gama kvantata iz izvora.

Efikasnost zavisi od energije srećenja i od daljine izvor-detektor / I D /. Ta zavisnost je predstavljena grafički /grafik I/. Grafik se dobija eksperimentalno. Kjine se služimo prilikom praktičnog određivanja efikasnosti za datu energiju srećenja uz poznavanje raspodeljine I D. Za ovaj red koristiće se kriva efikasnosti koju je izradio student Dusan Pečanac/.

D E O II

1. OBRADA SPECTRA

1.1. Kvalitetivna analize

Pod kvalitetivnom obradom spektra se podrazumeva određivanje energije pojedinih linijskih totalnih absorbcija, jer se tek nakon ovog postupka može isvršiti identifikacija izotopa. Da bi se mogla odrediti vrednost energije nekog pika, vrši se kalibracija spektrometra, odnosno određuje se kalibraciona konstanta koja predstavlja vrednost energije za svaki kanal više kanalnog analizatora. Na taj način smo u mogućnosti da pridružimo svakom kanalu, odnosno piku koji se u njemu nalazi, odgovarajuću energiju. Nakon toga ostaje da u specijalnim tablicama nadjemo kon izotopu pripada energije uočene linije u spektru.

1.2. Kvantitativna analiza

Količina nepoznatog izotopa u usorku određuje se preko intenziteta linijske totalne absorbcije u spektru zračenja tog izotopa.

Neka intenziteta absorbovsnog gaza zračenja je površina linijske totalne absorbcije. Izražena je brojem koji predstavlja zbir svih odbroja u kanalima ispod te linijske unesenje sa fonom. Prvi korak praktičnog merenja površine svodi se na procenu granice pika i fona. Ona se vrši na taj način što se kroz tačke fona sa leve i desne strane pika povuče prema /linije fona/ oko koje se te tačke grupišu /sl. 1.1./. Nesta gde se karakterističan zvonast oblik pika dodiruje sa linijom fona, su trebene granice linijske totalne absorbcije. Levo i desno od njenih granica uzme se nekoliko / n / tačaka /kanala/ sa koje se izračuna srednja vrednost fona levo i desno od linijske. Nalaze se aritmetičke sredine izmedju fona sa leve i desne strane dobijeno srednju vrednost fona H_{f_0} sa kojoj leži ispitivana linijska. Površina linijske H_f se sada nalaže po formuli

$$H_f = H_n + nH_{f_0} \quad (14)$$

gde je N_{f} ukupan broj impulsa registrovanih ispod linije totalne absorbcije, n broj kanala ispod nje.

Greška načinjena pri opisanom postupku nalazi se iz formule

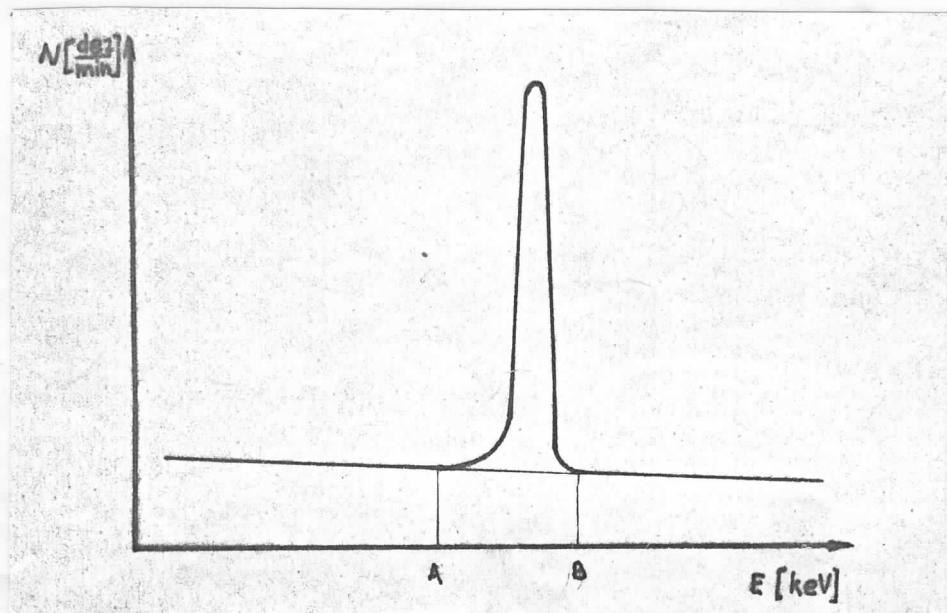
$$\Delta N_f = \pm \sqrt{N_f + n(1 + \frac{n}{m})N_{\text{fs}} + 0,1^2 \sum_i N_i^2} \quad (15)$$

Treći sabirak podkorene veličine upotrebljava se samo kada linija totalne absorbcije nije dovoljno razložena pa je isvršena ekstrapolacija nekih njenih delova. Pri tome se predpostavlja da se ekstrapolacijom čini greška od 10 %. U formuli (15) se N_i je izražen odbroj pojedinih ekstrapoliranih tačaka a sa i njihov broj.

Za dobijanje prave aktivnosti ispitivanog uzorka /A/, koristimo izraz (15) u sledećem obliku

$$A = \frac{N_f}{\epsilon k t_{\text{exp}}} \quad (16)$$

gde N_f površina linije totalne absorbcije, t_{exp} je vreme eksponicije snimanja spektra, a k je broj gama kvanta po raspodu. Vrednost faktora k određuje se iz šeme raspoda radionitopa, kao verovatnoće jednog energetskog prelaza u gama dezintegraciji kao celini.



Slike 1.1.

1.3. Tok eksperimenata

Cee praktičen rad merenja sastojao se u kvantitativnoj analizi dobijenog spektra od ozračenog uzorka suncekrete. Upotrebljene su dve grupe uzorka.

a) Kretko vreme ozračivan, sa ciljem registracije kretkoživućih izotopa

U ovoj grupi postojala su dva uzorka: sene /sreć/suncokrete mase 28,7 mg i ljuške suncokrete mase 7,5 mg. Za jedno sa ovim uzorcima su ozračivani, a kasnije i pod istim uslovima snimani, tri uzorka standarda koji su sadržali poznate mase elementa hlor i kalijuma /soli KBr, KCl/. Znači za nalaženje mase kalijuma i hlor u uzorcima, upotrebljen je metod etalona. Ozračivanje i snimanje ove grupe uzorka kao, uostalom, i svih ostalih, izvršeno je u Institutu "Boris Kidrič". Spektar kretko ozračivanih etalona, odnosno uzorka dat je na grafiku II, odnosno III i IV. Rezultati merenja koji su vezani za korišćeni metod etalona predstavljeni su u tabeli I. Treba smano neglaziti da je predhodno izvršena korekcija odbroja na jedno vreme snimanja spektra svakog uzorka pojedinačno. Korekcioni faktor je $e^{-\lambda t}$, gde je t vreme preteklo od momenta snimanja spektra onog uzorka čije je vreme snimanja proglašeno za početno, do momenta snimanja trećenog spektra. Nežlost, jednostavnom metodom etalona mogli smo analizirati samo kalijum i hlor, dok analizu ostalih kretkoživućih izotopa /Ra²⁴ i Mn⁵⁶/ koji su se pojavili na spektrima /grafik III i IV/ isvršili smo kombinacijom apsolutnog metoda i metoda monitora. Ulogu monitora su odigrali posmenuti etaloni i brom, čije je mase bila tekodje poznata. Nedjutim, posuđu monitora nije bilo moguće odrediti prevu vrednost flukusa zračenja, jer nije bila poznata duljina ID, čime nije bilo moguće odrediti efikasnost detektora za ovu duljinu. Zbog toga je nedjen proizvod flukusa i efikasnost $\phi \varepsilon$, tabela II. On se menja u zavisnosti od energije, tako da smo proizvod $\phi \varepsilon$ mogli primeniti u analizi samo onog izotopa koji se raspodao se energijom bliskoj onoj koju je

emitovac monitor. Osnovni podaci i mase elemenata, izmerene na opisani način, nalaze se u tabeli III.

b) Dugo ozrađivani uzorci sa ciljem merenja dugočivućih isotopa

Ovu grupu sačinjava uzorek sastavljen od ljuštske sunčokrete mase $0,0548 \text{ g}$ /N₀1/, senens/sreca/ sunčokrete mase $0,1834 \text{ g}$ /N₀2/, popos senenja mase $0,1889 \text{ g}$ /N₀3/, debijenog sušenjem na temperaturi od 105°C . Za kvantitativnu analizu korišćen je metod monitora. Monitor je bilo zlato Au¹⁹⁸ mase $2,253 \text{ mg}$. Ozrađivanje monitora i uzorka vršeno je u kanalu VEG - $\frac{24}{23T}$. Spektar zlata prikazan je na grafiku V, a ostalih uzoreka ove grupe na graficima VI, VII i VIII. Resultati kvantitativne analize tih spektara dati su takođe tabelarno / tabele IV, V, VI i VII/.

Prvu sliku o zastupljenosti pojedinih elemenata u uzorcima možemo videti samo ako nadjemo odnos mase izmerenog elementa i uzorka kome taj element pripada. Uobičajeno je da se taj iznos predstavlja u jedinicama $\mu\text{g/g}$. Tekvo predstavljanje izvršeno je i u ovom eksperimentu, u tabeli VIII. U slučaju kada su bile izmerene mase u jednom uzorku na dva načina, uzeta je samo njihova srednja vrednost.

2. ZAKLJUČAK

Od izvesne količine senenki vojvodjanskog sunčokretnog uspravljenog su dve grupe uzoreka. Neutronskom aktivacionom analizom izvršene je kvalitetivna i kvantitativna analiza obe grupe uzoreka. U jednoj od njih su aktivirani radioisotopi kratkog životra - K⁴², Cl³⁸, Be²⁴, Mn⁵⁶ i preko njih su izmerene mase odgovarajućih elemenata. U drugom grupom uzoreka je izvršen analogan postupak, ston razlikom što su oni bili duže ozrađiveni, tako da su se mogli aktivirati i radioisotopi koji imaju duži period poluraspada Au¹⁹⁸, Br⁸², Po⁹⁰, Zn⁶⁵, Co⁶⁰, Cs⁴⁷. Registrirano je i prisustvo K⁴⁰, međutim, taj isotop se nalazi jednim relativno malim procentom i u prirodnog elementu kalijuma,

preko koga dolazi u biljku kao jedini radioaktivni izotop. Zbog toga količina elemente koja je izračunata preko K^{40} verovatno nije tačna jer je na aktivnost prisutne količine K^{40} dobijenog aktivacijom K^{39} u snstvoj meri uticala aktivnost prirodnog K^{40} , kako iz uzorka, tako i iz nekih okolnih predmeta koji sadrže kalijum. U svakom slučaju mora biti tačnija mera elemente kalijuma, dobijene preko izotopa K^{42} .

Analiza je vršena u svim delovima senonke - ljušci, srca, po i u pepelu srca. Korišćeni su metodi etelonsi kao i kombinacija spolutnog metoda sa metodom monitora. Pienjni rezultati su izraženi kao odnos mase elemente i uzorka u jedinicama $\mu\text{g}/\text{s}$ /tabela VIII/.

Od svih elemenata najobilniji u senonci su kalijum i kalcijum. Najveće koncentracije kalijuma su u pepelu, a kalcijuma u ljušci.

Najmanje od svih elemenata je nadjeno zlato, a zatim kobalts. Količina kobalts reste približno sa faktor dva, od ljuške, preko srca, do pepela. Zlato nije registrovano u srcu, a u ljušci ga ima toliko malo da mu je količina blizu granice osetljivosti.

Pošto je aktivirani izotop mangana kretkošivući, nemamo podatak za količinu ovog elementa u pepelu, jer su u njemu aktivirani i mereni svi elementi dužeg vremena poluzaspada. Može se samo reći da je njen koncentrovaniji oko šest puta u srcu nego u ljušci.

Koncentracije gvođa su najveće u pepelu, a najmanje u ljušci, ali realno u koncentracijama po pojedinim delovima senonke nisu znatne. Bron je takođe podjednako sastavljen po delovima senonke, stis Što ga je nešto više u pepelu nego u srca, a najviše u ljušci.

Imajući u vidu podjelu svih elemenata na mikro i makro elemente, možemo zaključiti da se dobijeni rezultati prilično dobro uklepeju u tu klasifikaciju. Jedino je cink nešto više nego što bi se očekivalo. Postoji velika verovatnoća da je na ovaj, ili neki drugi rezultat, uticalo izvesno sagđenje uzorka iz spoljašnje sredine. Koliko je ova prepostavka tačna, kako i stepen i izvor sagđenosti, nemoguće

Je utvrditi na osnovu respolodivih podataka. U svakom slučaju, rešavanje posenutog, kao i niza sličnih problema vezanih sa sagodjivanje sredine i ekološke probleme uopšte, može u velikoj mjeri biti oštkšeno daljom primjenom aktivacione analize.



LITERATURA

1. R. A. Kuznecov
AKTIVACIONNIJ ANALIZ
Moskva 1974 god.
2. V. E. Levin, L. P. Hanjanov
IZMERENIE JADERNIH IZLUČENIJ
Moskva 1969 god.
3. V. I. Kalšnikova, M. S. Kozodajev
DETEKTORI ELEMENTARNIH ČASTIC
Moskva 1968 god.
4. S. A. Beldin, N. A. Varnanov i dr.
PRIKLADNAJA SPEKTROMETRIJA S POLUPROVODNIKOVIMI
DETEKTORAMI
Moskva 1974 god.
5. Ištvan Bikit
ODREĐIVANJE ENERGIJE I INTENZITETA GAM-ZRAKA
NA GERMANIJUMSKOM DETEKTORU
Diplonski rad, Novi Sad
6. Marija Kekić
NEUTRONSKA AKTIVACIONA ANALIZA ALUMINIJUMA
Diplonski rad, Novi Sad 1968. god.
7. Lazar Dušan
NEUTRONSKA AKTIVACIONA ANALIZA JESTIVOG ULJA
Diplonski rad, Novi Sad 1974. god.

UZORAK	izotop	E [keV]	$N_0 \pm \Delta N_0$ imp/min	$T_{1/2}$ [min]	$N_K = N_0 e^{-\lambda t} \pm \Delta N_K$	$m \pm \Delta m$ [μg]
LJUSKA	K ⁴²	1.524,7	87,516 ± 1,875	744	91,430 ± 1,972	72,77 ± 2,92
	Cl ³⁸	1.642,4	14,625 ± 0,977	37,2	35,095 ± 5,228	25,88 ± 5,26
		2.167,5	15,665 ± 1,038	37,2	37,590 ± 5,292	27,72 ± 5,66
SRCE	K ⁴²	1.524,7	338,049 ± 4,559	744	338,049 ± 5,385	269,06 ± 8,80
	Cl ³⁸	2.167,5	58,906 ± 1,703	37,2	58,906 ± 2,385	43,44 ± 3,36
		1.642,5	64,387 ± 2,596	37,2	64,387 ± 1,580	47,48 ± 3,66
STANDARD	K ⁴²	1.524,7	206,853 ± 6,584	744	236,207 ± 7,037	188,2 ± 2
	Cl ³⁸	2.167,5	1e,2e3 ± 2,797	37,2	143,731 ± 1e,498	1e6 ± 3

Tabela I

isotop	$E[\text{keV}]$	$A \pm \Delta A [c_1] \cdot 10^{-10}$	$N[\text{s}]$	$\sigma[\text{barn}]$	$\theta[\%]$	$T_{1/2}[\text{min}]$	$\varepsilon \pm \Delta \varepsilon [\text{n/min cm}^2 \text{ } 10^9]$
K ⁴²	1.524	$5,106 \pm 0,162$	39,1e2	1,2	6,77	744	$223,77 \pm 12,277$
Cl ³⁸	2.167,5	$0,0978 \pm 0,268$	35,453	0,4	24,47	37,2	$40,073 \pm 11,056$
Rb ⁸²	1.474,3	$13,29 \pm 0,196$	79,909	3	49,46	2.130	$203,5 \pm 3,039$

Tabela II

	izotop	E [keV]	$A \pm \Delta A [C_1] 10^{-10}$	M [g]	G [barn]	$\Theta [\%$	$T_{1/2} [\text{min}]$	$\varepsilon \phi \pm \Delta \varepsilon \phi [\text{n/min cm}^2] 10^9$	$n \pm \Delta n [A \cdot g]$
LJUSKA	^{48}Mn	2.753,7	$0,0148 \pm 0,0047$	22,90	0,53	100	900	$40,073 \pm 11,056$	$1,381 \pm 0,384$
	^{48}Mn	1.366,6	$0,376 \pm 0,009$	22,90	0,53	100	900	$203,5 \pm 3,039$	$2,547 \pm 0,082$
SRCE	^{56}Mn	1.811	$0,232 \pm 0,016$	54,938	13,3	100	154,2	$223,77 \pm 12,28$ $40,073 \pm 11,056$	$0,0324 \pm 0,0178$ $0,121 \pm 0,0665$
	^{56}Mn	1.811	$6,797 \pm 0,067$	54,938	13,3	100	154,2	$223,77 \pm 12,28$ $40,073 \pm 11,056$	$0,767 \pm 0,0592$ $2,854 \pm 0,220$

Tabela III

izotop	E [keV]	$A \pm \Delta A [C_1] 10^{-10}$	M [g]	G [barn]	$\Theta [\%$	$T_{1/2} [\text{dgn}]$	$\phi \pm \Delta \phi [\text{n/min cm}^2]$
^{198}Au	411,8	$866,56 \pm 87,23$	196,967	98,8	100	2,698	$54,470 \pm 5,455 \cdot 10^{14}$

Tabela IV

Uzorak Nol

izotop	E [keV]	$A \pm \Delta A [C_1] \cdot 10^{-10}$	N [%	G [barn]	$\theta [\%$	$T_{1/2} [\text{dan}]$	$m \pm \Delta m [\mu\text{g}]$
Δ_u^{193}	411,8	$5,297 \pm 0,07$	196,967	98,8	100	2,698	$1,34 \pm 0,55 \cdot 10^{-4}$
B_T^{82}	554,3	$95,65 \pm 0,004$	79,909	3	49,46	1,479	$0,446 \pm 0,064$
B_T^{82}	776,49	$99,22 \pm 3,048$	79,909	3	49,46	1,479	$0,463 \pm 0,099$
Fe^{59}	1.099,2	$7,743 \pm 1,92$	55,047	1,1	0,31	45	$1,33 \pm 0,358$
Zn^{65}	1.115,5	$565,4 \pm 5,704$	65,37	0,46	48,89	246	$8,11 \pm 0,83$
Co^{60}	1.173,2	$5,853 \pm 0,788$	58,94	19	100	1.919,9	$4,49 \pm 0,102 \cdot 10^{-3}$
Co^{60}	1.532,48	$2,809 \pm 0,509$	58,94	19	100	1.919,9	$3,25 \pm 0,674 \cdot 10^{-3}$
Ca^{47}	1.297,1	$15,012 \pm 1,24$	40,03	0,3	0,0035	4,53	$361,02 \pm 59,127$

Tabela V

Usovak No2

izotop	E [keV]	$A \pm \Delta A [0_1] \cdot 10^{-10}$	N [g]	G [barn]	$\Theta [\mu]$	$T_{1/2} [\text{dan}]$	$m \pm \Delta m [MeV]$
B_p^{32}	554,3	$85,982 \pm 4,95$	79,909	3	49,46	1,479	$0,375 \pm 0,0426$
B_p^{32}	776,49	$59,94 \pm 4,32$	79,909	3	49,46	1,479	$0,392 \pm 0,0446$
Fe^{59}	1.099,2	$24,59 \pm 3,526$	55,847	1,1	0,31	45	$6,556 \pm 1,153$
Fe^{59}	1.291,56	$22,194 \pm 3,53$	55,847	1,1	0,31	45	$7,037 \pm 1,340$
Zn^{65}	1.115,5	$1.024,26 \pm 16,23$	65,37	0,46	48,89	246	$14,68 \pm 1,58$
Ca^{47}	1.297,1	$12,92 \pm 1,93$	40,08	0,3	0,003	4,53	$167,26 \pm 30,94$
Co^{60}	1.332,48	$146,03 \pm 1,93$	58,939	19	100	1.919	$1,99 \pm 0,2 \cdot 10^{-2}$
K^{40}	1.460,85	$40,104 \pm 8,82$	39,102	2	93,22	$518,3 \cdot 10^9$	$667,8 \pm 161,8$

Tabela VI

Uzorak №3

izotop	E [keV]	$A \pm \Delta A [C_1] \cdot 10^{-10}$	N [g]	G [born]	$\Theta [\circ]$	$T_{1/2} [\text{dan}]$	$m \pm \Delta m [Mg]$
Au^{198}	411,8	$369,67 \pm 21,1$	196,967	98,8	100	2,698	$7,784 \pm 0,986 \cdot 10^{-3}$
Br^{82}	554,5	$177,93 \pm 27,78$	79,969	3	49,46	1,479	$1,075 \pm 0,326$
Br^{82}	776,49	$177,531 \pm 26,3$	79,969	3	49,46	1,479	$1,072 \pm 0,233$
Fe^{59}	1.099,2	$317,65 \pm 23,48$	55,847	1,1	0,31	45	$55,099 \pm 9,194$
Fe^{59}	1.291,56	$395,997 \pm 32,9$	55,847	1,1	0,31	45	$61,857 \pm 9,881$
Zn^{65}	1.115,5	$7,037,012 \pm 73,94$	65,37	0,46	48,89	246	$100,88 \pm 15,132$
Co^{60}	1.173,52	$59,77 \pm 7,93$	58,939	19	100	1.919,9	$7,001 \pm 1,37 \cdot 10^{-2}$
Co^{60}	1.352,48	$182,79 \pm 9,28$	58,939	19	100	1.919,9	$2,14 \pm 0,31 \cdot 10^{-2}$
K^{40}	1.460,85	$157,79 \pm 36,31$	39,162	2	95,22	$518,5 \cdot 10^9$	$2,287,64 \pm 64,63$
Ca^{47}	1.297,1	$85,033 \pm 8,87$	40,08	0,3	0,0033	4,53	$23,738 \pm 4,208$

Tabela VII

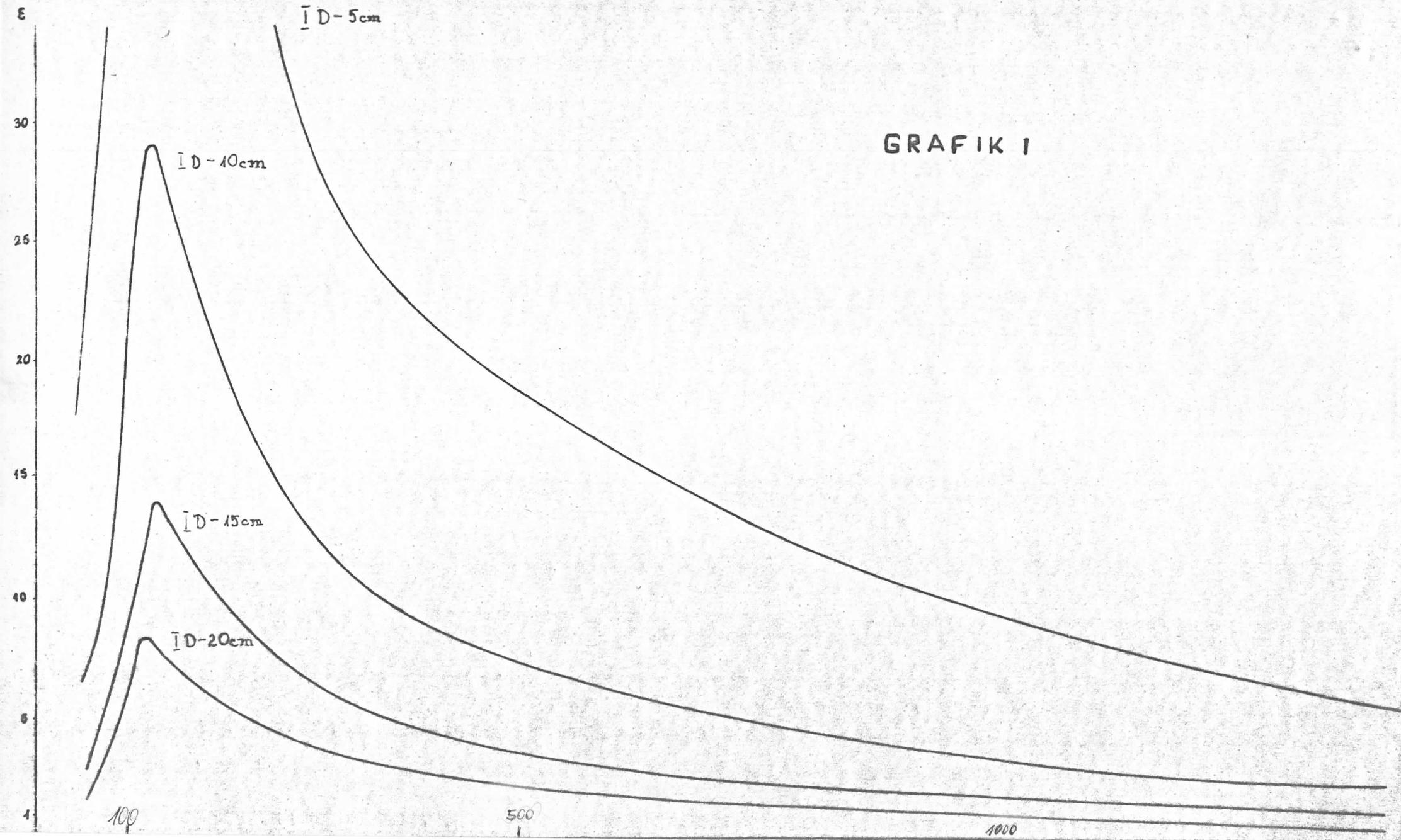
Ignezene mase elementa po jedinici mase uverka

UZORAK	K	O ₁	Na	N ₂	Au	B _P	Fe	Zn	C ₆	C ₈
LJUSKA	72,8	26,8	261,9	4,32	$2,4 \cdot 10^{-3}$	8,21	24,27	148	$7 \cdot 10^{-2}$	6,588
SRCE	269,1	45,46		26,72		2,992	37,05	80,02	0,108	912
PEPEO	12,11e				$4,12 \cdot 10^{-2}$	5,684	58,21	534	0,242	125,7

Tabela VIII



GRAFIK 1

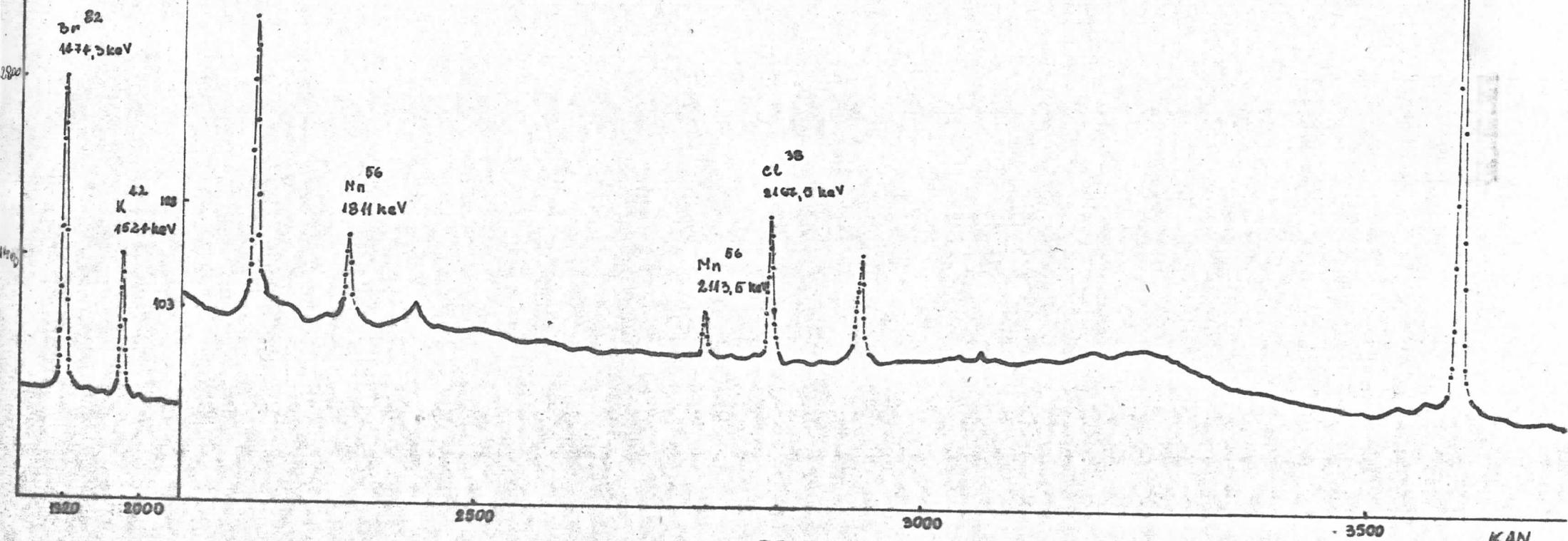


BR. IMP.

STANDARD

exp = 30 min
t = 142 min

Na 24
2755,3 keV



GRAFIK II

BR.IMP.

SRCE

exp = 31 min

K_{43}
1024 keV

Mn^{56}
1811 keV

Ni^{86}
2110,5 keV

O^{18}
2167,5 keV

1025

2500

3750

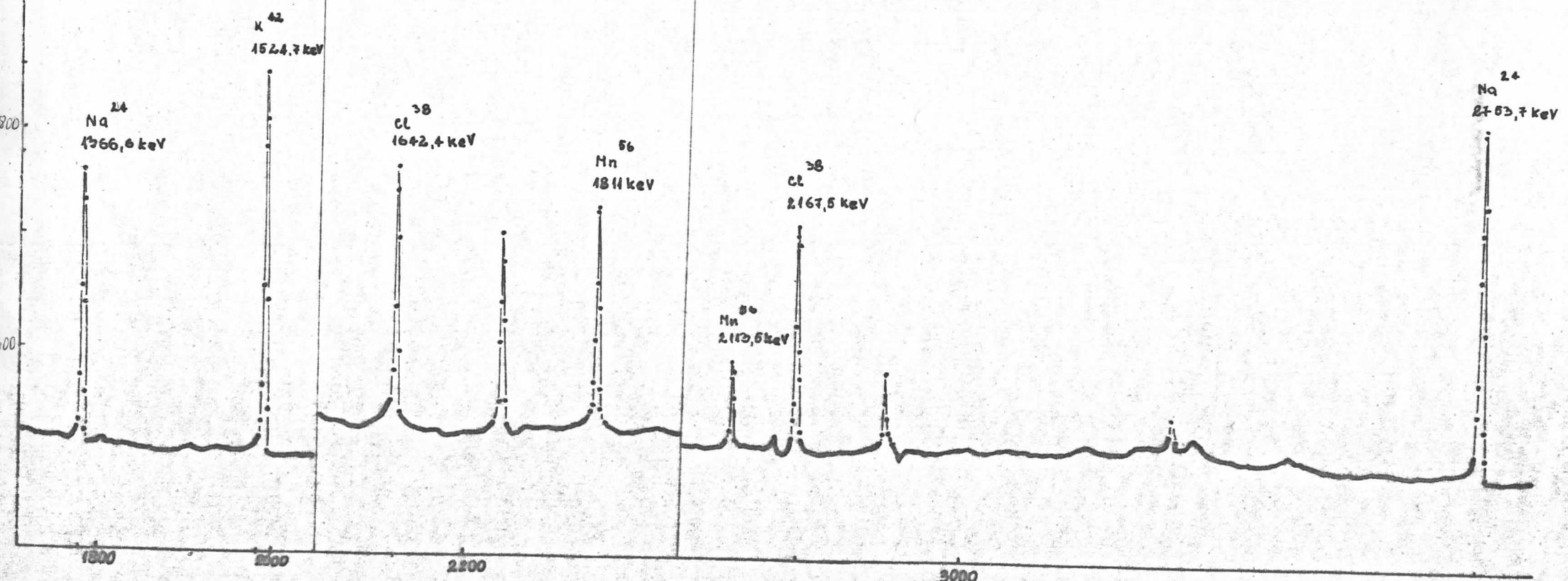
KAN.

GRAFIK III

BR. IMP.

LJUSKA

Exp -32 min



GRAFIK IV

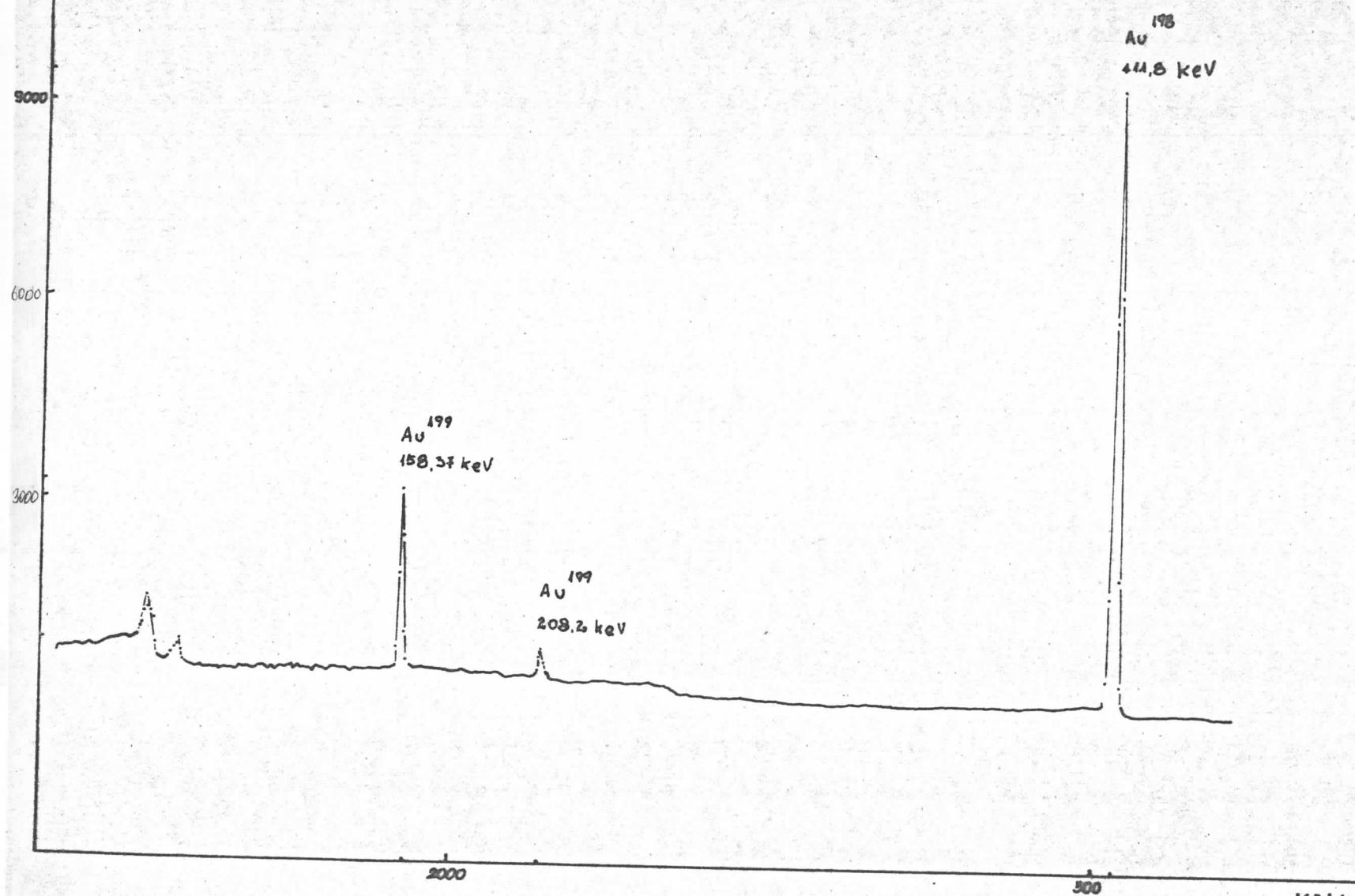
KAN

BR.IMP.

MONITOR (Au¹⁹⁸)

$D=5\text{cm}$
 $\exp = 4\text{kslt}$

$t = 505 \pm 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ dan}$
 $t' = 55,108 \pm 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ dan}$

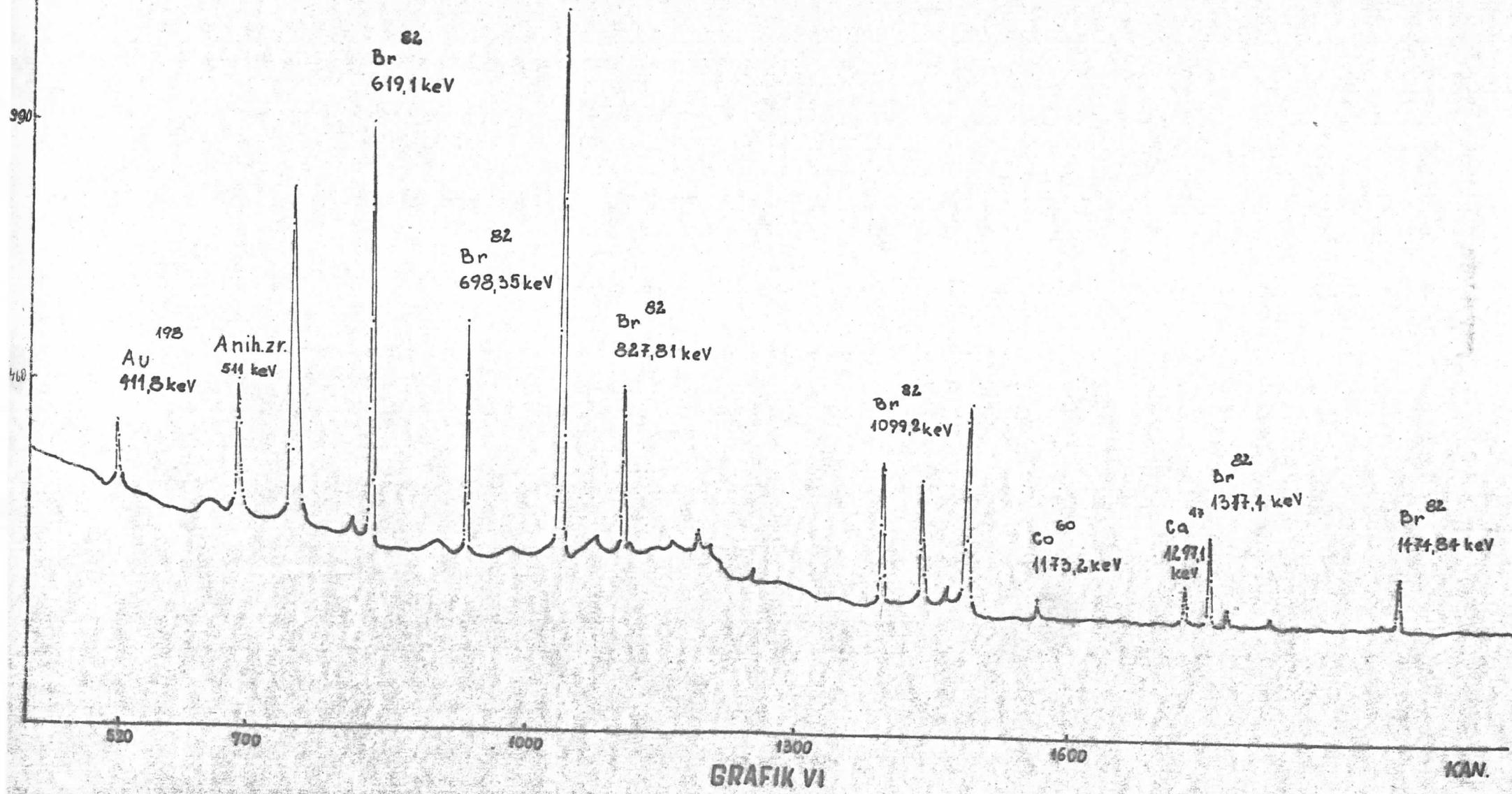


GRAFIK V

KAN.

BR.IMP. N₆1 ID=5cm
exp=40kslt

$t = 5,05 \pm 6,94 \cdot 10^{-4}$ dan
 $t' = 10,44 \pm 6,94 \cdot 10^{-4}$ dan

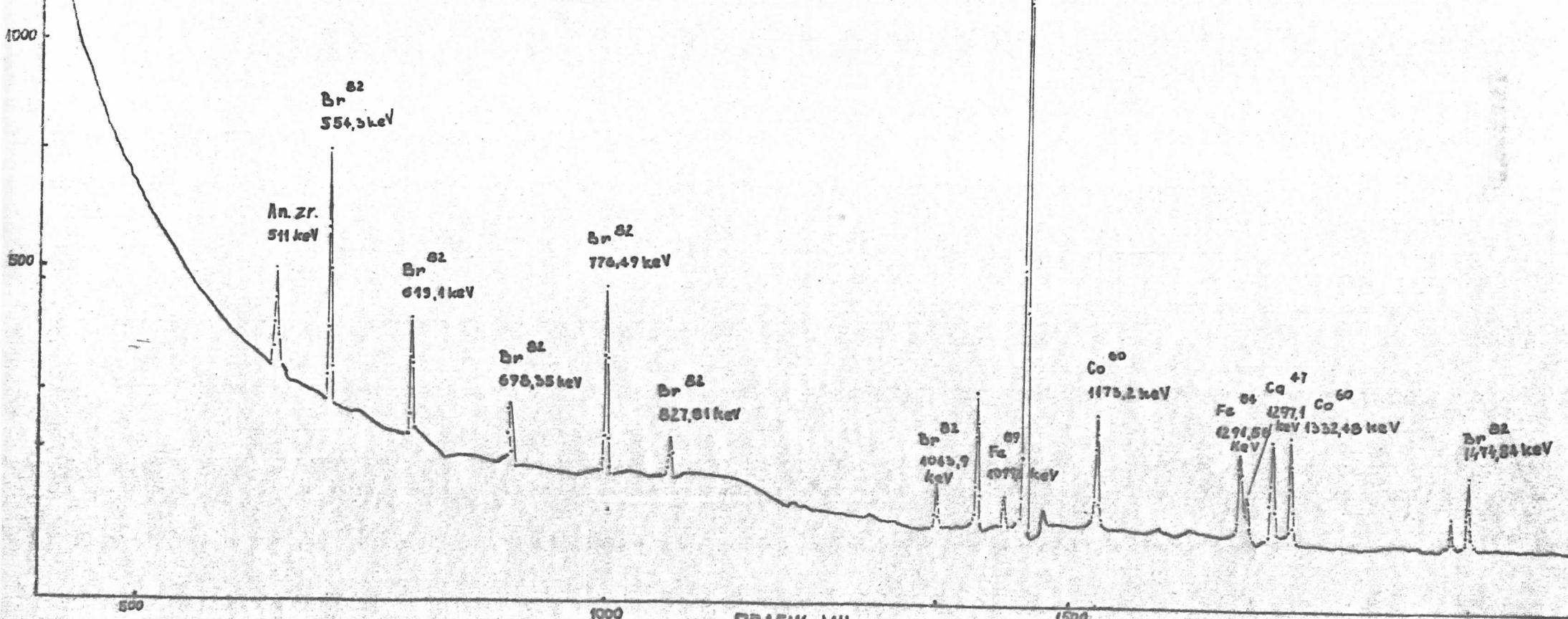


BR.IMP. No 2

ID=10cm
exp 10 kelt

$t = 5,05 \pm 6,94 \cdot 10^{-4}$ dan
 $t' = 10 \pm 6,94 \cdot 10^{-4}$ dan

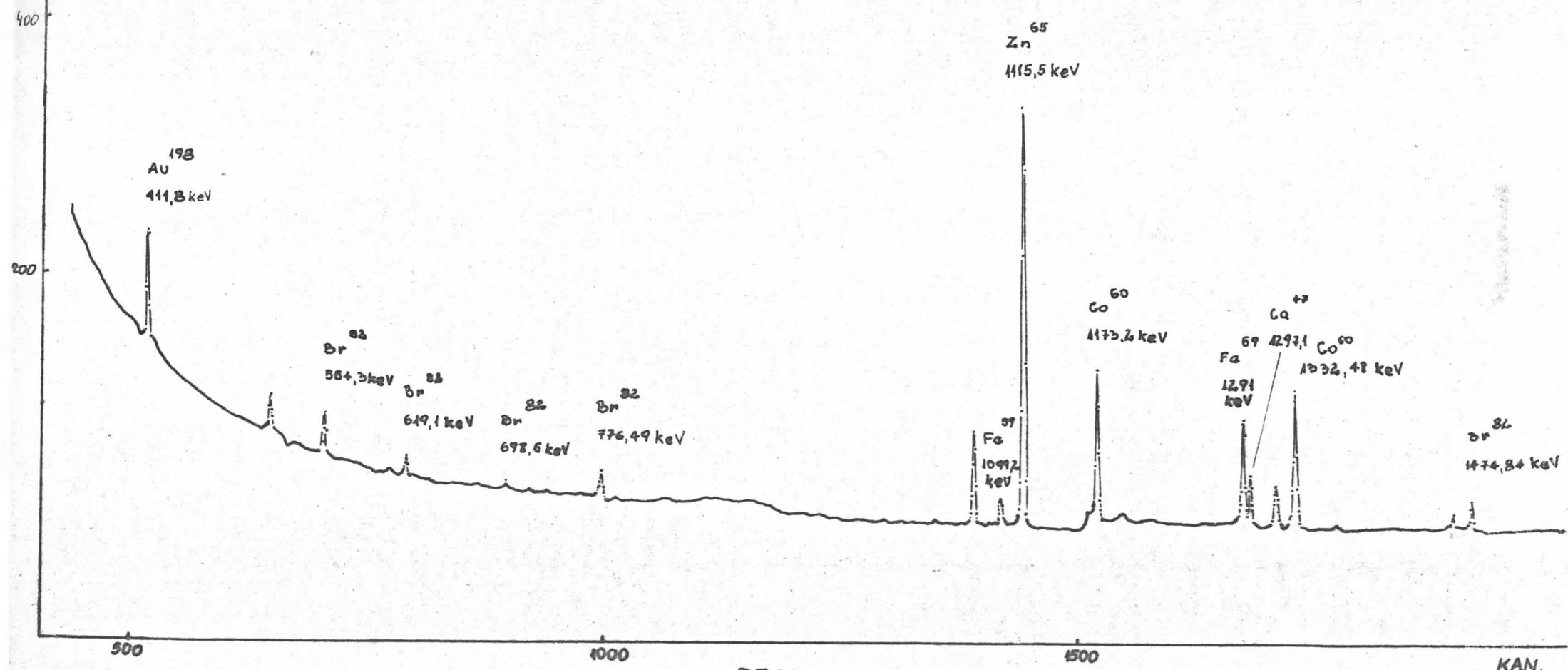
Zn ⁶⁵
1145,5



BR. IMP. N.3

$D = 20 \text{ cm}$
 $\exp = 10 \text{ kalt}$

$t = 5.05 \pm 6.94 \cdot 10^{-6} \text{ dan}$
 $t' = 10.3 \pm 6.94 \cdot 10^{-6} \text{ dan}$



GRAFIK VIII