

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET UNIVERZITETA  
U NOVOM SADU

Pećanac D Dragoljub

NEUTRONSKA AKTIVACIONA ANALIZA KRVNOG SERUMA

- Diplomski rad -

radjen u  
Institutu za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u  
Vinči  
1976. god.

Svesrdno se zahvaljujem dr Lazaru Marinkovu i mr Ištvanu Bikitu na dатoj temi, nesebičnoj pomoći i objašnjenjima koje su mi pružili tokom rada. Profesoru Medicinskog Fakulteta dr Strahinji Marinkovu, zahvaljujem na saradnji i pružanju stručne pomoći.

Rad je radjen na Grupi nuklearne spektroskopije Fizičke laboratorije Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči.

Ovom prilikom želim da se zahvalim svim saradnicima pomenute laboratorije koji su mi pomogli svojim radom i sugestijama.



## S A D R Ţ A J

UVOD	1
I ELEMENTI U TRAGOVIMA .....	3
I 1. medjusobna veza traserskih elemenata .....	4
I 2. nivoi traserskih elemenata u krvnom serumu ...	5
I 3. odredjivanje faktora P.....	8
II NUKLEARNI DETEKTORI .....	9
II 1. poluprovodnik P tipa .....	9
II 2. poluprovodnik N tipa .....	9
II 3. poluprovodnički Ge(Li) detektori .....	10
III AKTIVACIONA ANALIZA .....	12
III 1. podela aktivaciona analize .....	12
III 2. neutronska aktivaciona analiza .....	13
III 3. izvodjenje jednačine aktivacije .....	13
IV EKSPERIMENTALNI DEO .....	16
IV 1. uzimanje krvi .....	16
IV 2. pripremanje serumu .....	16
IV 3. merenje .....	17
IV 4. obrada podataka .....	18
V ZAKLJUČAK.....	25
VI DODATAK .....	27
VI 1. odredjivanje efikasnosti detektora .....	27
LITERATURA .....	40



## U V O D

Razni pronašasci koji su nastali kao rezultat naglog razvoja nauke i tehnike, nalaze široku primenu u savremenom životu. Ovo je uslovilo pronašaće novih, a potom i usavršavanju već poznatih naučno eksperimentalnih metoda. Kako je rasla potreba za najraznovrsnijim metodama, tako su se i postavljali mnogo veći zahtevi pred njih.

Jedna od najsavremenijih eksperimentalnih metoda merenja je neutronска aktivaciona analiza. O prednostima ove metode u odnosu na mnoge druge ne bi trebalo ni govoriti ako se zna da njena osjetljivost dostiže vrednost od  $10^{-13}$  grama za neke elemente. Osim toga merenje ovom metodom traje relativno kratko, što je pored osjetljivosti jedan od važnijih faktora, koji se postavljaju pred savremene eksperimentalne metode merenja. Neutronска aktivaciona analiza poznata je već niz godina, ali pravo mesto medju eksperimentalnim metodama, dobila je tek u poslednjih petnaestak godina. Na usavršavanje ove metode nesumnjivo je uticalo pronašaće poluprovodnika, odnosno uvođenje u upotrebu poluprovodničkog detektora. Da bi ovo u potpunosti shvatili moramo znati da su osobine poluprovodničkog detektora znatno iznad osobina do tada najsavremenijeg scintilacionog. Moć energijskog razlaganja poluprovodničkog detektora je veća za red veličine u odnosu na scintalacioni.

Sve ovo je dovelo do naglog prodora neutronске aktivacione analize u razne grane nauke i tehnike. Tako da je ova metoda danas praktično nezamennjiva u mnogim oblastima medicine, kriminalistike, petrohemije, metalurgije i dr.

I pored toga što je ova metoda kod nas u potpunosti razvijena ona se još ne primenjuje u svim granama gde bi njene mogućnosti došle do potpunog izražaja, za razliku od situacije u svetu.

Cilj ovog rada je da se ukaže na jednu od mogućnosti primene ove metode u medicini. Prateći rad grupe naučnika sa instituta za medicinu iz Jüich-a (1) pokušali smo da posta-



vimo dijagnozu ispitivanjem količine tracerskih elemenata u krvnom serumu. Ovakav način ima nesumnjivo mnogo prednosti u odnosu na klasičan. Za postavljanje dijagnoze korišćenjem neutronske aktivacione analize dovoljno je da se uzme krv, što predstavlja jedno od osnovnih prednosti, a takodje i vreme ispitivanja je prilično kratko, što može da ima odlučujući značaj za uspešno lečenje nekih obolenja. Sve osobine ovakvog načina postavljanja dijagnoze omogućavaju preventivno otkrivanje bolesti, a znamo da je to najsigurniji put ka uspešnom lečenju.

Naš rad se zasniva na istim principima kao i rad naučnika u Jüich-u (1) uz neke promene koje smo uveli u cilju postizanja pouzdanijih rezultata.

Ispitivanje je vršeno kod dva pacijenta obolela od dijabetesa i jedne zdrave osobe. Smatrali smo da su rezultati dobijeni od ove tri osobe dovoljni da se provere mogućnosti metode predložene u Jülich-u.

Osnovnom delu rada priložen je dodatak u kome je obrađen problem kalibracije detektora. Odredjena je kriva efikasnosti u funkciji rastojanja. Ovo je radjeno zbog tog što se u pripremama rada predviđalo da se merenje izvrši apsolutnom metodom neutronske aktivacione analize. Međutim, tokom rada se pokazalo kao mnogo pogodnije da se merenje izvrši metodom etaloma, tako da ova kriva nije ni korištena.

## I ELEMENTI U TRAGOVIMA

Pored 11. hemijskih elemenata male atomske težine, koji čine glavni deo strukture žive materije, u organizmu živih bića mogu se otkriti i drugi hemijski elementi u veoma malim količinama. Ovi elementi koji se nalaze samo u tragovima, traserski, su i pored toga veoma neophodni i funkcionalni. Za neke od njih to već znamo, napr. kobalt Co, bakar Cu a za neke se tek predpostavlja.

Sve do 1957.god. bilo je poznato samo 8. elemenata u tragovima za koje se znalo da imaju odredjene funkcije u organizmu Čoveka, životinja i bilja. To su: gvoždje, bakar, jod, magnezijum, mangan, cink, kobalt i molibden. 1957.god. ovoj grupi se pridružuje selen, a 1959.god. i hrom.

Razvitkom metoda merenja pokazalo se da organizam čoveka, pa i drugih živih bića, sadrži hemijske elemente za koje se do tada držalo da ih nema. Smatralo se da je njihovo prisustvo u ćelijama posledica kontaminacije okolinom što je u načelu i moguće. Međutim, poučeni primerom cinka, kobalta i hroma, počelo se predpostavljati da je moguće da i ostali elementi koji se nadju u organizmu u zaista malim količinama mogu imati analogno prethodnim i fiziološke funkcije. Vodjeni tom idejom, a sa još puno nepoznanica u medicini, počelo je sve savršenijim analitičkom metodom ispitivanje i određivanje ovih hemijskih elemenata koji se nalaze samo u tragovima. Za sada se prikupljaju podaci merenja i upoređuju sa patološkim stanjem bolesnika u čijem materijalu su vršena merenja. Neke sugestije u pogledu određenih odnosa, kvantiteta tih oligo elemenata i same bolesti su date.

Sve ovo nas navodi na zaključak da bi se ispitivanjem količine traserskih elemenata u organizmu došlo do određenih informacija o uticaju traserskih elemenata na žive organizme, a samim tim preko ovih podataka mogli bismo dobiti

odredjene informacije o stanju ispitivanog organizma. Da bi smo mogli pravilnije oceniti uticaj traserskih elemenata na organizam moramo obratiti posebnu pažnju na neke osobine ovih elemenata, kao što su uticaji različitih hemijskih oblika jednog istog traserskog elementa, a isto tako i kakva je njihova veza.

Očigledno je da je ovo pitanje jedno od značajnijih za pravilno tumačenje pojava vezanih za traserske elemente u organizmu. Uticaj ovih elemenata na organizam nije zavisan isključivo od njihove težine već i hemijskog oblika u kom su prisutni. Ovo je važno zbog tog što količina unetog traserskog elementa kao i količina koja se zadrži u organizmu je različita, za različite hemijske oblike jednog istog traserskog elementa, što samo po sebi ukazuje na složenost ovog problema.

#### I 1. medjusobna veza traserskih elemenata

Usled veoma složene veze medju traserskim elementima ovom problemu ćemo posvetiti posebnu pažnju. Jedna od najuočljivijih osobina u medjusobnoj vezi dva traserska elementa je ta, da, veće količine jednog, mogu izazvati smanjenje drugog. Poznato nam je da smanjenje količine pojedinih traserskih elemenata u organizmu dovode do pojave određenih poremećaja. Problem postaje mnogo složeniji u slučaju multifaktorijalnog delovanja izvesnog broja traserskih elemenata i minerala. Kao ilustracija za ovo poslužiće nam primer detoksifikacije bakra pomoću molibdena. U ovom slučaju se javlja ne samo interakcija izmedju bakra i molibdena, već i neke pratеće reakcije izmedju molibdena i inorganskih sulfata.

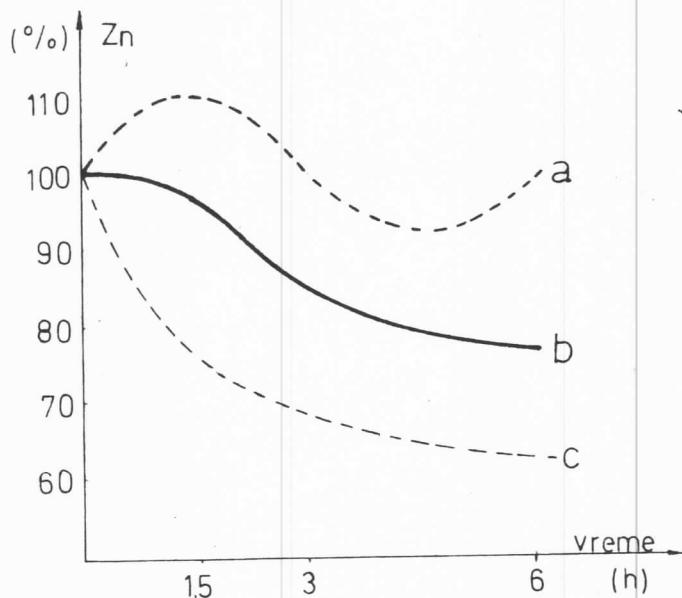
Osim ovih osobina traserskih elemenata neophodno je da se upoznamo sa još nekim osobinama da bi smo dobili pravu predstavu o njihovoj važnosti za normalno funkcionisanje organizma.

Osobine traserskih elemenata koje su najneposrednije vezane za ovaj rad odnose se na variranje traserskih elemenata u organizmu tokom dana. Ovaj problem je obradjen u sledećem poglavlju.

### I 2. nivoi traserskih elemenata u krvnom serumu

Jedan od osnovnih podataka koji moramo znati jeste vreme koje je proteklo od poslednjeg obroka do uzimanja krvi. Zbog čega je to važno vidimo iz dijagrama 1 u kom je data promena količine cinka posle jednogipo, tri i šest časova od uzimanja poslednjeg obroka.

Drugi važan faktor je i količina hrane uzeta u poslednjem obroku što je izraženo u promeni koncentracije cinka, što je takođe prikazano na datom dijagramu.

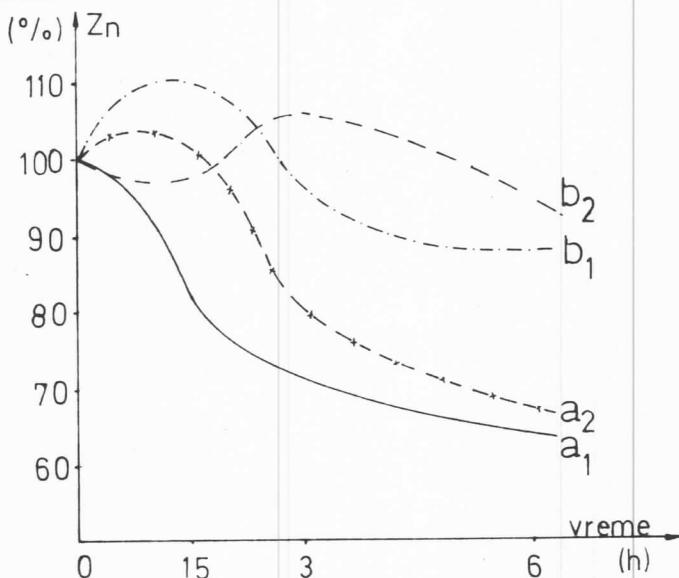


dijagram 1

U dijagramu je data kriva (a) koja pokazuje promenu cinka kod pacijenta koji je postio, dok kriva (b) pokazuje promenu količine cinka posle uzimanja jednog standardnog doručka. Pod standardnim doručkom se podrazumeva doručak

koji se sastoji od dva jajeta, putera, šolje jogurta i šolje kafe. Na datom dijagramu je takođe prikazana promena koncentracije cinka kod pacijenta koji je dobio dupli standardni doručak.

Treći važan faktor na koji se mora обратити pažnja prilikom uzimanja uzorka, je sastav obroka koji je pacijent uzeo. Kao ilustracija za ovu tvrdnju, može nam poslužiti primer opadanja koncentracije cinka u zavisnosti od sastava obroka koji je pacijent uzeo. Taj slučaj prikazan je na dijagramu br.2.

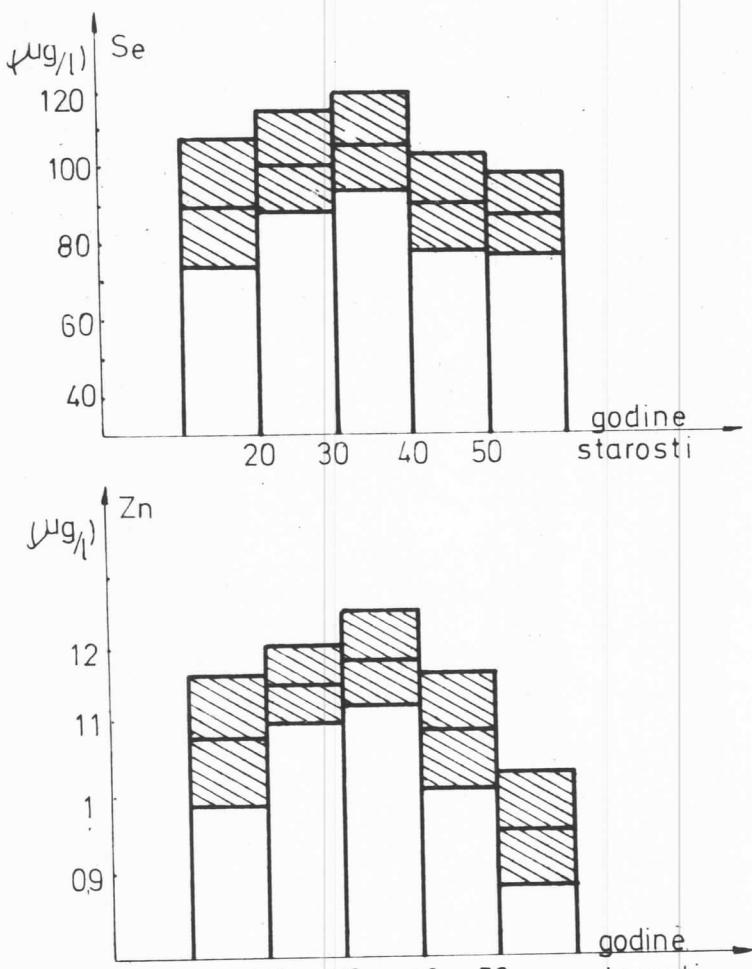


dijagram br.2.

Krivulja a<sub>1</sub> pokazuje promenu koncentracije cinka, posle uzimanja duplog standardnog doručka. Kriva a<sub>2</sub> pokazuje promenu koncentracije cinka posle jednog standardnog doručka. Kriva b<sub>1</sub> pokazuje promenu koncentracije cinka posle uzimanja duplog standardnog doručka sa dodatkom 2 gr. vitamina C, dok kriva b<sub>2</sub> pokazuje jedan standardan doručak sa dodatkom 2 gr. vitamina C. Iz ovog dijagrama, možemo zaključiti da se dodavanjem vitamina C obroku koji je uzimao pacijent, smanjuje variranje vrednosti koncentracije cinka u krvnom serumu.

Kod ispitivanja ovom metodom važno je znati i dob bolesnika jer se normalna koncentracija traserskih elemenata menja u organizmu tokom njegovog starenja.

Kao ilustracija za ovu tvrdnju može nam poslužiti dijagram br.3. U njemu je prikazana promena koncentracije cinka i selena u funkciji starosti pacijenta.



dijagram br.3.

Pored svih ovih faktora, postoji jedan problem koji otežava rad. Standardne devijacije traserskih elemenata u krvnom serumu se različito menjaju u zavisnosti od toga koji je element u pitanju. Od svih elemenata koji se javljaju u krvnom serumu, najmanju standardnu devijaciju imaju cink  $\pm 13\%$  i selena  $\pm 10\%$  i zbog tog se treba, ukoliko je moguće, osloniti na njih.

Upoznavši se sa osnovnim osobinama traserskih elemenata, možemo preći na određivanje faktora P koji je indikator o kojim se bolestima radi.

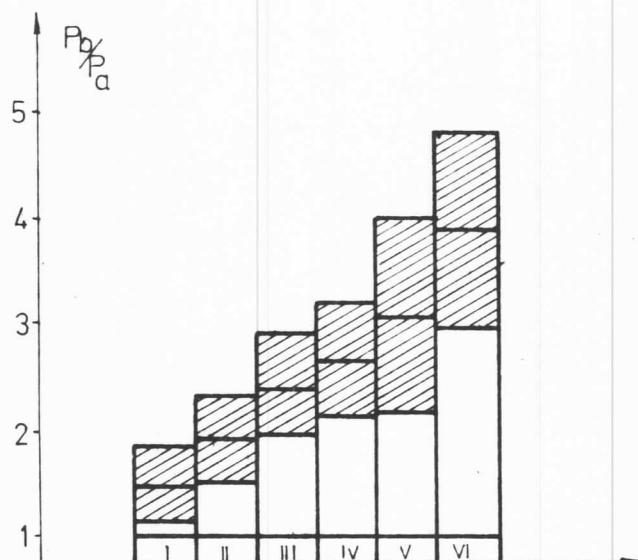
### I 3. odredjivanje faktora P

Kombinacija podataka o masama, za četiri važna trase-  
rska elementa, daje prilično odredjene informacije o stanju  
posmatranog bolesnika. Odredjivanje o kojoj se bolesti radi  
vrši se preko faktora P. U faktoru P figurišu količine cinka,  
celena, rubidijuma i gvoždja. Izračunava se prema formuli 1.

$$P = \frac{M_{Zn} M_{Se} M_{Rb}}{(M_{Fe})^3} \quad (1)$$

Ovako dobijena vrednost za svakog obolelog, deli se  
vrednošću faktora P dobijenom kod zdravog čoveka i ta vred-  
nost nam ukazuje o kojoj se bolesti radi.

Kako se menja odnos faktora P kod zdrave osobe i bole-  
snika obolelih od pojedinih bolesti vidi se sa dijagrama br.4.



dijagram br.4.

I CARCINOMAS

II CRONIC PYELONEPHRITIS

III EUTHYREOTIC STRUMA

IV HYPERTHYROIDISM

V ACUTE INFLAMMATION

VI DIABETES MELLITUS

## II NUKLEARNI DETEKTORI

Uporedo sa razvojem nuklearne fizike, usavršavao se i nuklearni detektor. Sve veća dostignuća nauke, iziskivala su potrebu za pronalaženjem savršenijih detektora. Tako smo od prvih, fotografске ploče i ionizacione komore, došli do scintilacionih i poluprovodničkih. Da bismo dobili savršenije detektore, kao što je poluprovodnički, morale su se razviti i druge grane nauke i tehnike. U ovom delu ćemo se zadržati samo na osobinama poluprovodničkog detektora pošto su sva merenja izvršena na njemu.

### II 1. poluprovodnik P tipa

Čist poluprovodnik P tipa se sastoji od atoma koji u spoljašnjoj ljusci imaju četiri elektrona. Oni se vezuju u kristalnu rešetku preko formiranja para elektrona. Proces uparivanja teče tako, što se po jedan elektron, iz dva susedna atoma, uparuje i postaju zajednički za oba atoma. Ako se desi da se čistom poluprovodniku doda atom sa tri elektrona u spoljašnjoj ljusci, tada jedan elektron poluprovodnika ostaje neuparen u kovalentnoj vezi. U njoj postoji prazno mesto za jedan elektron i u tom slučaju je dovoljno da se utroši mala energija pri prenošenju elektrona iz susedne kovalentne veze da popuni prazno mesto. Tada se atom primese, nanelektriše negativno, a susedni atomi poluprovodnika pozitivno. Ovakvim načinom popunjavanja mesta, dobijamo kretanje pozitivnog mesta u kristalnoj strukturi, što predstavlja kretanje šupljina.

### II 2. poluprovodnik N tipa

Kod ovih poluprovodnika atom primese ima pet valentnih elektrona. Četiri su sparena u kovalentnim vezama sa elektromima susednih atoma poluprovodnika. Pošto peti elektron nije

vezan kovalentnim vezama, dovoljno je utrošiti malu energiju da se odvoji od svog atoma i da postane slobodan u kristalnoj rešetki.

### II 3. poluprovodnički Ge(Li) detektor

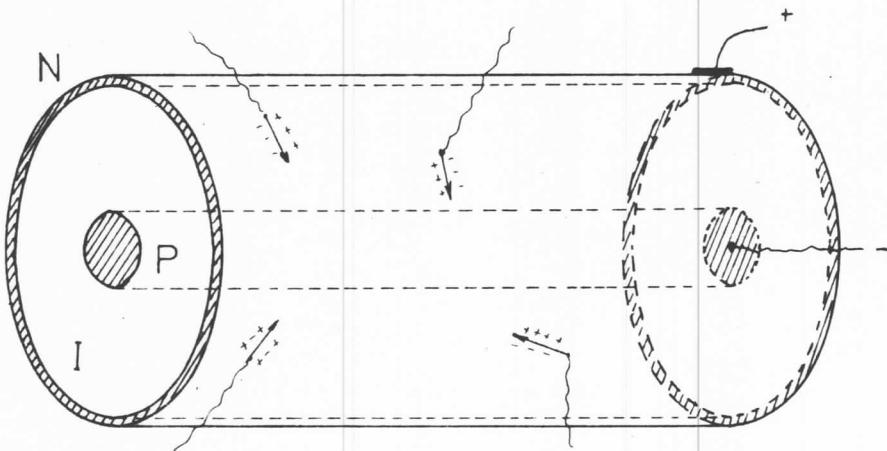
U idealno čistom kristalu poluprovodnika broj slobodnih elektrona jednak je broju slobodnih šupljina. Usled nedovoljno razvijene tehnike izrade poluprovodničkih materijala, uvek se nadje odredjena količina hemijskih nečistoća. Zbog toga, se narušava ravnoteža i dolazi do pojave većeg broja jedne ili druge vrste slobodnih nanelektrisanja, već u zavisnosti od toga o kakvim se nečistoćama radi. Da bismo na neki način smanjili nedostatke ovako dobijenih kristala, u njih se ubavaju atomi nekog drugog elementa. Kristal dobijen na ovaj način, pokazuje osobine slične idealno čistom poluprovodniku.

Poluprovodnici sa većim rednim brojem, se koriste za izradu kristala detektora, jer se time povećava verovatnoća apsorpcije gama kvanta koji dospe u detektor. Germanijum spada u ovu grupu poluprovodnika, pošto je njegov redni broj  $Z = 58$ , pa se zbog toga, najčešće i primenjuje. Ovakvi poluprovodnici omogućavaju izradu foto osjetljivog sloja većih dimenzija. Izrada foto osjetljivog sloja se vrši difundovanjem Litijuma u kristal Germanijuma. Pošto je germanijum po svojim osobinama poluprovodnik P tipa, tj. poluprovodnik sa viškom akceptor-skih atoma, veoma je pogodan za izradu osnovnog kristala. Difundovanjem Litijuma u Germanijum na površini na koju je dospela veća količina Litijuma, ovaj poluprovodnik dobija karakteristike N sloja, jer se tu javlja višak donorskih atoma. Srednji sloj I (intrinsic) se ponaša kao besprimesni sloj, odnosno kristal idealne čistoće. U ovom slučaju je jednak broj akceptorskih i donorskih atoma.

U cilju povećanja mogućnosti apsorpcije gama zraka, prilikom konstrukcije se nastoji dobiti najveća moguća zapremina I sloja.

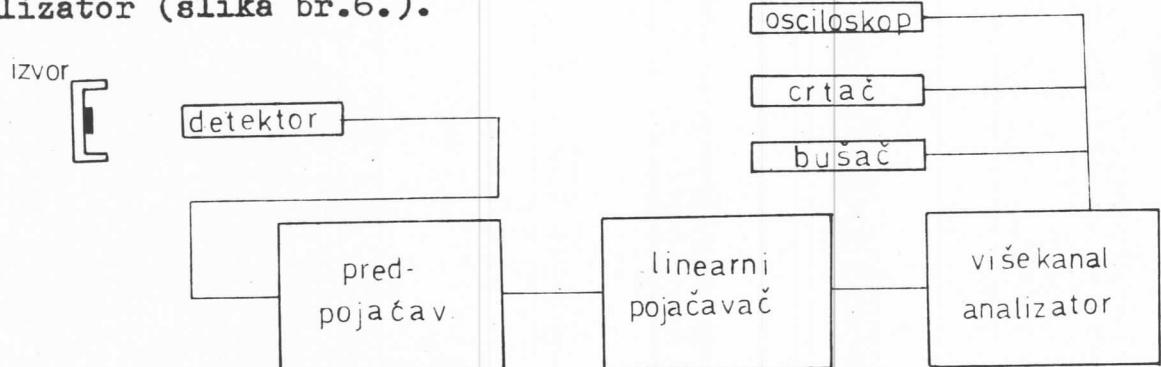
Ovako dobijen kristal može biti korišćen za detekciju gama kvantata.

Prilikom upada gama kvanta u I sloj, dolazi do formiranja para elektron šupljina. (slika br.5.).



sl.5.

Da bi se došlo do formiranja ovog para potrebna je minimalna energija od 2,8 eV za slučaj Ge(Li) detektora. Ovako formirani par slobodnih nosilaca nanelektrisanja, nalazi se u jakom električnom polju. Električno polje je dobijeno tako, što se P sloj priključi na katodu a N sloj na anodu. Pod dejstvom ovog polja dolazi do kretanja slobodnih nosilaca nanelektrisanja prema odgovarajućim elektrodama. Protokom elektrona i šupljina zatvara se strujni krug kroz kristal i tako dobijen impuls se odvodi sa detektora na predpojačavač. Impuls se sa njega preko linearnega pojačavača dovodi na višekanalni analizator (slika br.6.).



sl. 6.

U višekanalnom analizatoru se vrši grupisanje impulsa po veličini. Ovako grupisani impulsi predstavljaju spektar.

### III AKTIVACIONA ANALIZA

Princip aktivacione analize sastoji se u tome da se ispitivani uzorak ozrači nekom nuklearnom česticom ili kvantom odredjene energije. Ovo izaziva aktiviranje ozračenog jezgra, koje postoji radioaktivno. Znajući da se svako radioaktivno jezgro međusobno razlikuje po vrsti, energiji emitovanog nuklearnog zračenja i po poluživotu raspada, možemo na osnovu tih elemenata identifikovati radioaktivno jezgro. Intenzitet sračenja ovako pobudjenog jezgra, daje potpuno određene informacije o količini ispitivanog elementa.

Ovakav način merenja poznat je već dugi niz godina. Ali, usled nesavršenih detektora ta metoda nije bila korišćena masovno, kao što je to slučaj danas.

#### III 1. podela aktivacione analize

Za aktiviranje mete koriste se gama kvanti viših energija, neutroni i nanelektrisane čestice. Da bi se moglo koristiti nanelektrisane čestice u cilju pobudjenja jezgra njihova energija se mora povisiti. Razlog tome je postojanje Kulonove barijere koja se suprotstavlja prođoru ovih čestica do jezgra, pa prema tome mi nanelektrisanim česticama moramo obezbediti dovoljnu energiju da savladaju Kulonovu potencijalnu barijeru. Povišenje energije se vrši pomoću akceleratora. Ovakav način pobudjivanja jezgra, ima prednosti u odnosu na druge vrste izvora, ali i nedostataka koji ograničavaju upotrebu ove vrste izvora. Prednost takvog načina pobudjivanja jezgra je u tome što možemo dobiti čestice sa energijom potrebnom za aktiviranje jednog elementa iz uzorka. Negativne osobine nanelektrisanih čestica korišćenih za pobudjivanje jezgra su: ograničen presek snopa, neke konkurentne reakcije i niz drugih faktora.

Na osnovu ovog možemo aktivacionu analizu podeliti prema vrsti čestica kojima se jezgro pobudjuje na sledeći način:

1. neutronska aktivaciona analiza
2. fotoaktivaciona analiza
3. aktivaciona analiza sa primenom nanelektrisanih čestica

### III 2. neutronska aktivaciona analiza

Svi neutroni, bez obzira na vrstu izvora mogu se podeleti prema njihovim energijama na sledeći način:

1. Hladni	En < 0,005 eV
2. Spori:	
a) termalni	0,005 eV < En < 0,4 eV
b) rezonantni	0,4 eV < En < 1000 eV
3. Srednji	1 KeV < En < 500 KeV
4. Brzi	0,5 MeV < En < 50 MeV
5. Super brzi	50 MeV < En

U ovom radu su korišćeni termalni neutroni. Kao izvor korišćen je nuklearni reaktor u institutu "Boris Kidrič" u Vinči.

Zahvatanjem termalnog neutrona, novonastalo jezgro se pobudi za energiju veze zahvaćenog neutrona. Povratak na stabilno stanje se najčešće vrši emisijom  $\beta^-$  čestice. Uz  $\beta^-$  emisiju se javlja emisija gama kvanta, pošto novonastalo jezgro ima višak neutrona u odnosu na stabilno jezgro. Redji slučaj je da se javlja  $\beta^+$  zračenje ili K zahvat. Najznačajnije za ovu metodu je da se, bez obzira na vrstu zračenja, uvek javlja prateće gama zračenje.

### III 3. izvodjenje jednačine aktivacije

Ozračenjem jezgra A neutronom, neutron biva zahvaćen od strane jezgra i formira se novo jezgro B. Ovako formirano jezgro, raspada se konstantom  $\lambda_B$  u jezgro novog izotopa C. U najvećem broju slučajeva, jezgro C je stabilno. Brzina generisanja jezgra B je direktno proporcionalna sa prvobitnim brojem jezgra  $N_A$  prisutnih u meti, aktivacionom preseku  $\sigma_A$  i neutronskom fluksu, a umanjena za brzinu raspada novonastalog jezgra.

$$\frac{dN_B}{dt} = \sigma_A N_A \Phi - \lambda_B N_B \quad (2)$$

Integracijom ove jednačine dobijamo izraz za broj radioizotopa na kraju ozračavanja koje je izvršeno u vremenu  $t$ .

$$N_B^o = \frac{\zeta_A \phi N_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t}) \quad (3)$$

Aktivnost uzorka je:

$$A_B^o = \lambda_B N_B^o = \zeta_A \phi N_A (1 - e^{-\lambda_B t}) \quad (4)$$

Nakon vremena  $t$  od prestanka ozračavanja aktivnost će iznositi:

$$A_B = A_B^o e^{-\lambda_B t} \quad (5)$$

Zamenom u jednačinu 5 dobija se za

$$A_B = \zeta_A \phi N_A (1 - e^{-\lambda_B t}) e^{-\lambda_B t} \quad (6)$$

Iz jednačine 5 lako se dobija početni broj stabilnih jezgara  $N_A$  u uzorku

$$N_A = \frac{A_B e^{\lambda_B t}}{\zeta_A \phi (1 - e^{\lambda_B t})} \quad (7)$$

Veza izmedju broja atoma  $N_A$  i mase  $m$  u gramima ispitivanog izotopa data je izrazom:

$$N_A = \frac{n_A m_A \Theta_A}{M_A} \quad (8)$$

$n_A$  - Avagadrov broj

$M_A$  - atomska težina izotopa

$\Theta_A$  - izotopski sastav

Iz jednačajući jednačine 6 i 7 dobija se nakon sredjivanja:

$$A_B = \frac{m_A n_A \Theta_A \zeta_A \phi (1 - e^{-\lambda_B t})}{M_A e^{\lambda_B t}} \quad (9)$$

Vidimo da u jednačini 9 figuriše i masa traženog izotopa.

Rešavanjem ove jednačine po masi dobija se:

$$m_A = \frac{M_A A_B e^{\lambda_B t}}{n_A \Theta_A \zeta_A \phi (1 - e^{-\lambda_B t})} \quad (10)$$

Koristeći se formulom 10 moguće je na više načina odrediti masu ispitivanog izotopa.

### apolutni metod

Da bi se izračunala masa izotopa ovom metodom, potrebno je poznavati vrednost fluksa kojim je ozračen uzorak. Osim fluksa

mora se samo izmeriti još aktivnost izvora, ostale veličine potrebne za izračunavanje mase date su u tablicama. Zbog teškoća pri odredjivanju fluksa neutrona prilikom ozračenja, ova metoda se redje upotrebljava.

#### metod etalona

Ovaj metod zahteva da se zajedno sa uzorkom ozrači etalon čija je masa tačno određena. Pošto se etalon i uzorak ozračuje pod istim uslovima, sve veličine u formuli 9 su iste za oba elementa osim mase i aktivnosti. Tako se može postaviti sledeći odnos:

$$m = m_e \frac{A}{A_e} \quad (11)$$

Na osnovu jednačine 11 zaključujemo da je potrebno naći samo odnos aktivnosti uzorka i etalona, da bi se dobila tražena masa ispitivanog elementa.

#### metod monitora

Primenjuje se u slučaju da se u jednom uzorku mora odrediti više mase. Uzima se element poznate mase sa dobrim aktivirajućim karakteristikama. Tako odabran element, se ozračuje zajedno sa ispitivanim uzorkom. Na taj način je obezbedjeno da se monitor i uzorak ozrače istim fluksom. Rešavanjem jednačine 9 po fluksu za monitor dobijamo vrednost fluksa kojim je ozračen uzorak.

Na taj način smo dobili sve potrebne elemente za izračunavanje mase uzorka po formuli 9.



#### IV EKSPERIMENTALNI DEO

##### IV 1. uzimanje krvi

Krv je uzeta od tri osobe. Jedna je bila zdrava, dok su druge dve bolovale od šećerne bolesti. Znajući kako utiče količina i sastav hrane na koncentracije elemenata koji nas interesuju, krv je uzeta za vreme post perioda (pre doručka). Vadjenje je vršeno iz kubitalne vene (vena na ruci), pomoću metalne igle polirane sa unutrašnje i spoljašnje strane. Polirana igla je korišćena da bi se smanjilo zagadjenje krvi atomima elementa od kojih je igla pravljena. Prolaskom krvi kroz iglu ona spira atome sa zidova igle i dolazi do mešanja sa atomima elementa koje želimo da ispitamo. U ovom slučaju bi to bila velika smetnja jer nas interesuje količina gvožđja u serumu. Pošto je igla pravljena od istog metala, došlo bi do povećanja količine atoma u serumu, a time bi dobili veću vrednost od stvarne. Da bi se ovo izbeglo, kroz iglu je propušteno oko 20. mililitara krvi, pre nego što je uzeta krv za analizu. Na taj način je igla oprana i time je smanjen broj atoma u uzorku koji potiču od igle.

##### IV 2. pripremanje seruma

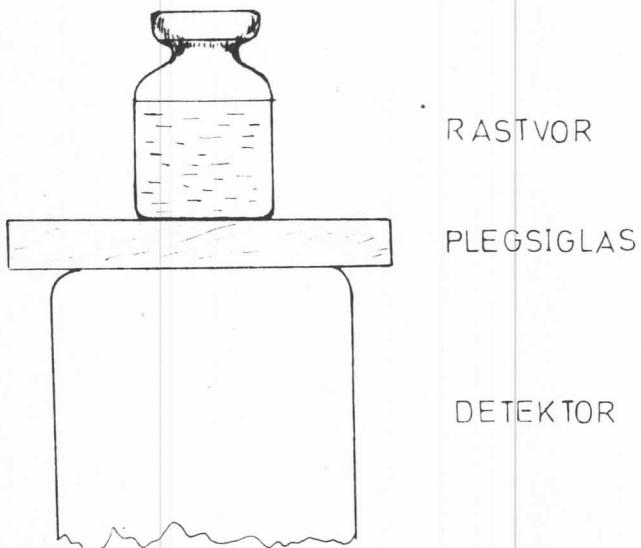
Izvadjena krv se centrifugiranjem razdvajala ne serum i ćelijske elemente. Iz serum-a dobijenog na ovaj način pomoću plastične pipete odmerena je količina od 1 mililitra, koja je potrebna za dalje ispitivanje i prenesena u kvarcne ampule. Kvarcne ampule su prethodno morale biti oprane posebnim postupkom. To se vršilo u nekoliko etapa. Prvo se ispira u hromsum-pornoj kiselini, a nakon toga se čisti destilovanom vodom. Ovako isprana ampula se potapa u koncentrovanu azotu kiselinu, posle čega se ispira u bidestilovanoj vodi. Tek nakon toga ambula se suši i spremna je za upotrebu.

Ampule sa serumom su stavljene u vrela vodena kupatila, gde je došlo do zgrušnjavanja serum-a. Nakon toga je liofilizacijom odstranjena voda iz ampule i u njoj je ostala samo

suva materija. Tada je ampula zatopljena na plamenu i mogla je biti nošena u reaktor na ozračenje.

#### IV 3. merenje

Zapečaćene kvarcne ampule sa pripremljenim uzorcima i standardom, stavljene su u reaktor, gde su bile izložene termalnom neutronskom fluksu. Ozračenje je trajalo deset dana, pošto se ovo vreme pokazalo kao najpogodnije za aktiviranje ispitivanih elemenata. Nakon deset dana ampule su izvadnjene iz reaktora i ostavljene oko pet dana, da miruju. Ovo se radi zbog toga da se smanji aktivnost kratko živećih elemenata, koji su bili aktivirani u reaktoru zajedno sa ispitivanim elementima. Da se ovo ne radi, rad bi bio otežan zbog toga, što bi neke linije traženih elemenata bile zaklonjene linijama kratkoživećih elemenata. Posle pet dana ampule su razbijene i pomoću kiseline njihov sadržaj je rastvoren i prenesen u obliku rastvora u staklene flašice u kojima će biti sniman. Ove staklene flašice se postavljaju na detektor na način prikazan na slici br.7.



sl.7.

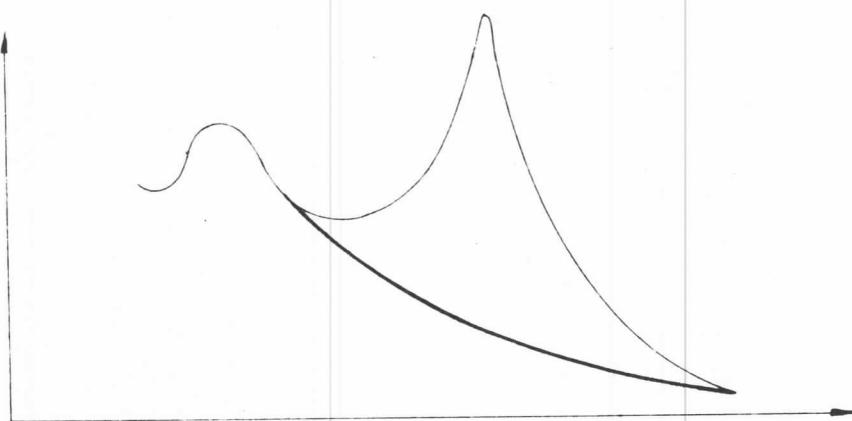
Trajanje snimanja spektara je bilo 4000 sekundi živog vremena za sva tri uzorka i standard. Snimljeni spektri su

registrovani u višekanalnom amplitudnom analizatoru, odakle su direktno crtani preko pisača (dijagrami 14, 15, 16, 17). Zatim su, numeričke vrednosti odbrojanih impulsa za svaki kanal posebno, skinute sa trake.

#### IV 4. obrada podataka

Određivanje mase traženih elemenata u uzorke je vršeno metodom etalona. Ova metoda zahteva nalaženje odnosa aktivnosti uzorka sa aktivnošću etalona. Pošto su aktivnosti upravo srazmerne sa površinom linije snimljenog spektra, dovoljno je naći ove površine za svaki element i uzeti odnos površine kod uzorka i etalon.

Površina linije se dobija kao razlika ukupne površine i površine ispod linije fona. (slika br.8.).



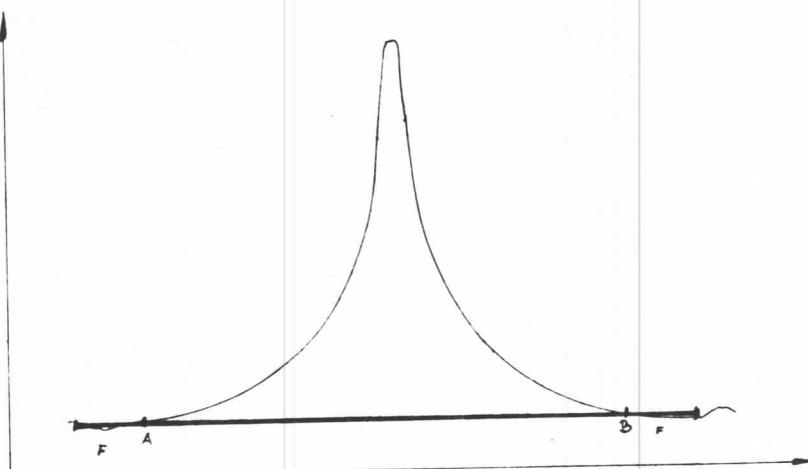
sl.8.

Ukupna površina se dobija iz višekanalnog analizatora, što ustvari predstavlja sumu broja impulsa u svakom kanalu ispod posmatrane linije. Tada je stvarna vrednost uvećana za fon koji je ovde uračunat.

Vrednost fona seочitava sa snimljenih dijagrama i to na sledeći način: ispod svake linije se povlači kriva fona sa koja se za svaki kanal određuje broj impulsa. Sabiranjem tih vrednosti za sve kanale ispod posmatrane linije, dobijamo ukupnu vrednost fona. Ovakvo dobijena vrednost je oduzeta od

ukupne površine linije, što predstavlja stvarnu vrednost.

U slučaju da je fon približno konstantan, određuje se na sledeći način: kroz tačke fona sa leve i desne strane pika povuče se linija fona (u ovom slučaju je to prava) oko koje se tačke grupišu (sl. br. 9.). Mesto gde se karakterističan zvonast oblik pika dodiruje sa linijom fona, su tražene granice linije totalne apsorpcije. Levo i desno od njenih granica uzme se nekoliko kanala za koje se izračuna srednja vrednost fona levo i desno od linije.



sl.9.

Nalaženjem aritmetičke sredine izmedju fona sa leve i desne strane dobijamo srednju vrednost fona na kome leži ispitivana linija. Množenjem srednje vrednosti fona sa brojem kanala ispod linije dobija se fon, za koji moramo smanjiti ukupnu površinu linije da bi dobili stvarnu površinu.

$$P = N_u - N_f \quad (12)$$

P - stvarna površina

$N_u$  - ukupna površina

$N_f$  - ukupna vrednost fona

Izračunate vrednosti za P, Nu, Nf date su u tabeli br. 1, 2, 3, 4, 5.

Na osnovu ovih vrednosti izraženi su sa masom standarda za svaki element posebno i tako su dobijene mase pojedinih

TABELA 1

	S	T	A	N	D	A	R	D
	N u	N f	n	m	$\overline{N} f$	n	$\overline{N} f$	P
Se	193536	16172	15	/	1078,1	16172	177364	606,541
Se	80628	7408	15	/	493,8	7408	73220	342,365
Rb	2080	544	13	16	34	442	1638	49,387
Fe	4740	410	14	16	25,62	358,75	4381,25	71,091
Zn	16522	222	19	8	27,75	527,25	15994,75	126,833

-20-

TABELA 2

	U	Z	O	R	A	K	A <sub>1</sub>	P
	N u	N f	n	m	$\overline{N} f$	n	$\overline{N} f$	P
Se	4707	4025	15	16	251,56	3773,4	9333,56	90,799
Se	3638	2691	15	12	224,25	3363,75	274,25	88,559
Rb	289	138	13	16	8,625	112,12	176,88	19,403
Fe	363	115	14	16	7,187	100,625	262,375	19,04
Zn	2026	52	19	10	5,2	98,8	1927,2	47,05

TABELA 3

	U	Z	O	R	A	K	A2	
	N <sub>u</sub>	N <sub>f</sub>	n	m	$\overline{N}_f$	n $\overline{N}_f$	P	$\Delta P$
Se	8521	5380	15	12	448,3	6724,99	179601	130,1044
Se	6570	4625	15	12	385,42	5781,25	788,75	1174592
Rb	513	212	13	16	1325	172,25	340,75	25,55295
Fe	673	221	14	16	13,81	193,37	479,63	29,0197
Zn	4085	97	19	8	12,125	230,375	3854,6	68,0596

TABELA 4

	U	Z	O	R	A	K	B	
	N <sub>u</sub>	N <sub>f</sub>	n	m	$\overline{N}_f$	n $\overline{N}_f$	P	$\Delta P$
Se	7014	2841	15	8	355,12	5326,87	1687,1	130,39
Se	5439	3623	15	12	302	4528,7	910,3	105,37
Rb	608	282	13	23	12,26	159,39	448,61	26,421
Fe	351	171	14	16	10,7	149,62	201,61	21,965
Zn	3747	48	19	6	8	152	3595	62,137

TABELA 5

	U	Z	O	R	A	K	C	
	N <sub>u</sub>	N <sub>f</sub>	n	m	$\overline{N}_f$	n $\overline{N}_f$	P	$\Delta P$
Se	9182	3738	15	8	467,2	7008,7	2173,25	149,403
Se	6955	3928	15	10	392,8	5892	1063	125,67
Rb	727	300	13	20	15	195	532	29,219
Fe	493	241	14	16	15	210,87	298	26,301
Zn	3925	50	19	6	8,3	158,33	3766,6	66,511

TABELA 6

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C
	$N/N_s$	$\Delta(N/N_s)$	$N/N_s$	$\Delta(N/N_s)$
Se	0,0101	0,00073	0,0105	0,00102
Se	0,01077	0,00116	0,0075	0,0024
Rb	0,208	0,0165	0,216	0,0246
Fe	0,1094	0,0068	0,1197	0,009
Zn	0,241	0,0019	0,241	0,006

elemenata u uzorku. Sve vrednosti za mase date su u tabeli br.6.

Znajući ove odnose, množeni su sa masom standarda za svaki element posebno i tako su dobijene mase pojedinih elemenata u uzorku. Sve vrednosti za mase date su u tabeli br.7.

Ove mase figurišu u formuli za faktor P koji je indikator zdrastvenog stanja pacijenta. Vrednosti za faktor P date su tabeli br.8.

Poslednja etapa u obradi podataka je određivanje greške.

Greške pri određivanju površine linijskih tražene su prema formulama:

$$\Delta N = \pm \sqrt{P + n \left(1 + \frac{n}{m}\right) \bar{N}_f + (0,1)^2 \sum N_i^2} \quad (13)$$

P - stvarna površina linijskih

n - broj kanala ispod pika

m - broj kanala preko kojih je računat fon

$\bar{N}_f$  - srednja vrednost fona

$N_i$  - vrednost fona po kanalu

U slučaju da se fon računa određivanjem njegove vrednosti za svaki kanal posebno ispod pika, u formuli za  $\Delta N$  koriste se samo prvi i treći potkorenii član. Ukoliko se fon traži prema drugoj metodi koja je ranije objašnjena, greška se računa samo na osnovu prvog i drugog člana potkorene veličine. Greške su unesene u tabeli br. 1, 2, 3, 4, 5.

Greška za odnos  $N/N_s$  tražena je prema obrascu:

$$\Delta \left(\frac{N}{N_s}\right) = \frac{1}{N_s} \sqrt{\Delta N^2 + \left(\frac{N}{N_s}\right)^2 \Delta N_s^2} \quad (14)$$

dok je greška pri određivanju mase dobijena na sledeći način

$$\Delta m_u = \sqrt{m_s^2 \Delta \left(\frac{N}{N_s}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_s}\right)^2 \Delta m_s^2} \quad (15)$$

TABELA 7

U Z O R A K A			
	N/N <sub>s</sub>	m/ $\mu\text{g}$	m/ $\mu\text{g}$
Se	1,015±0,05	6±0,1	0,0608±0,003
Rb	21,05±1,37	0,97±0,02	0,204±0,014
Fe	11,29±0,13	22,7±0,3	2,563±0,026
Zn	24,1 0,18	4,9 0,1	1,181± 0,00316
U Z O R A K B			
	N/N <sub>s</sub>	m( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )	m( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )
Se	1,01±0,63	6±0,1	0,0606±0,038
Rb	27,39±16,3	0,97±0,02	0,266±0,017
Fe	4,6±0,51	22,7±0,3	1,044±0,116
Zn	22,48±0,43	4,9±0,1	1,1015±0,031
U Z O R A K C			
	N/N <sub>s</sub>	m/ $\mu\text{g}$	m( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )
Se	1,27±0,075	6±0,1	0,0762±0,004
Rb	32,48±20,3	0,97±0,02	0,3151±0,02
Fe	6,8±0,61	22,7±0,3	1,5436±0,14
Zn	23,55±0,46	4,9±0,1	1,1539±0,033

TABELA 8

P			Pb/Pa	Pc/Pa
A	B	C		
0,00087	0,015604	0,0075329	17,936	8,658

### V ZAKLJUČAK

U ovom radu je ispitivan krvni serum dve osobe obolele od dijabetesa i krv jedne zdrave osobe, u cilju postavljanja dijagnoze na osnovu količine četiri traserska elementa: cinka, selena, rubidijuma i gvoždja.

Dobijeni rezultati su u potpunosti ispunili očekivanja i slažu se rezultatima kojima raspolazemo, dobijenim na osnovu ranijih ispitivanja izvršenih u ovoj oblasti. Koristeći mase ispitivanih traserskih elemenata za izračunavanje faktora P koji treba da nam bude indikator o kojoj se bolesti radi, dobili smo rezultate koji se u velikoj meri slažu sa rezultatima dobijenim u Jülich-u. Faktor P dobijen u ovom radu je nešto veći u odnosu na njihov. Pretpostavlja se da je uzrok ovom povećanju netačno odredjena količina selena u uzorku A. Do ovog je došlo usled pucanja ampule sa uzorkom A u kojoj se nalazio serum dobijen od zdrave osobe. Do pucanja je došlo u reaktoru, najverovatnije usled visoke temperature i nekog oštećenja kvarcne ampule koje nije bilo vidljivo pre stavljanja u reaktor. To je dovelo do gubljenja odredjene količine selena. Posledica toga je da u rezultatu figuriše manja vrednost od stvarne koja se nalazila u serumu pre pucanja ampule. Pored svih problema koji su se pojavili u toku eksperimenta dobili smo rezultate koji nedvosmisleno pokazuju da je ovo jedan od pravih puteva kojim treba usavršavati ovakav način postavljanja dijagnoze.

Ostale vrednosti dobijene za selen, prilikom ispitivanja njihovih količina u ampulama B i C tj. kod dva bolesnika obolela od dijabetesa, ukazuju na tačnost pretpostavke da je smanjena količina traserskih elemenata jedan od faktora koji dovode do pojave raznih oboljenja, medju kojima se nalazi i dijabetes koji smo ispitivali i u našem radu. To isto smo zapazili i za cink i gvoždje dok rubidijuma ima nešto više nego što je to slučaj kod zdrave osobe. Pravi razlog za ovo povećanje količine rubidijuma neznamo ali se pretpostavlja da je uzrok tome smanjena količina drugih traserskih elemenata, a iz uvodnog dela znamo da je to česta pojava.

Osim gore navedenih traserskih elemenata zapaženo je da u krvi ima još čitav niz elemenata i to u količinama približno istim kao što su za ove traserske elemente koje smo ispitivali. To su: Co, Sc, Cr, Sb, Cs, Ag, i Br.

Opisana metoda je korišćena u ovom radu za dokazivanje postojanja dijabetesa samo zbog toga što je faktor P najviše izražen za ovo oboljenje, inače ona nije pogodna zbog toga što postoje već uhodane, mnogo brže metode za postavljanje dijagnoze kada je u pitanju ova bolest. Međutim, ova metoda ima prednosti kod onih ispitivanja, gde se po klasičnim metodama, u cilju postavljanja dijagnoze, mora izvršiti operativni zahvat ili treba da prodje određeno vreme da bi se postavila dijagnoza.

Pošto ova metoda još nije u potpunosti razradjena ona se sada ne bi mogla koristiti samostalno, ali zato bi mogla da bude od neprocenjive koristi kod preventivnog lečenja, jer bi mogla na vreme da ukaže na postojanje mogućnosti da neka osoba obolela. Utoliko pre što bi se ovom metodom mogli koristiti i kod sistematskih pregleda.

Što se tiče daljeg razvoja i usavršavanja ove metode, predpostavlja se da bismo dobijali mnogo pouzdanije i tačnije rezultate ukoliko se ispitivanje proširi sa četiri na veći broj traserskih elemenata. Razlog koji nas navodi na ovakvu predpostavku, leži u povezanosti traserskih elemenata.

## VI DODATAK

### VI 1. odredjivanje efikasnosti detektora

Ovaj deo rada odnosi se na odredjivanje krive efikasnosti detektora u funkciji rastojanja izvor - detektor (ID). Ova veličina je odredjena eksperimentalnim putem i ceo postupak je objašnjen u delu rada koji sledi.

Prvo je napravljen nosač izvora čiji je prikaz dat na slici br.10. Kod konstrukcije nosača moralo se paziti na sledeće:

- a. da se obezbedi očuvanje geometrije tokom celog snimanja i da ona bude ista za sve izvore koji će biti korišćeni tokom snimanja.
- b. da se izmena izvora vrši lako.
- c. takodje je bila posebna pažnja posvećena izboru materijala od kog će biti nosač izvora napravljen. Materijal korišćen za pravljenje izvora treba da ima mali redni broj, jer se time izbegava da dodje do rasejanja čestica na nosaču izvora i time unese promene u spektar koji se snima.

Sledeća etapa u radu je bilo snimanje spektara standarda. Oni su takvi izvori čije energije gama raspada poznajemo, kao i period poluživota i aktivnost tih izvora. Prilikom odabiranja izvora pazilo se na to da energije emitovanih gama kvanata budu iz celog intervala rada ispitivanog spektrometra.

Za ispitivanje ovog detektora uzeti su sledeći standardi sa energijama od:

- $^{241}\text{Am}$  - Americijum sa energijom od 60 KeV
- $^{137}\text{Ba}$  - Barijum sa energijama od 81, 176, 302, 356 i 383 KeV
- $^{57}\text{Co}$  - Kobalt sa energijama od 122 i 135 Kev
- $^{137}\text{Cs}$  - Cesijum sa energijom od 662 Kev
- $^{54}\text{Mn}$  - Mangan sa energijom od 835 Kev

$^{88}\text{Y}$  - Itrijum sa energijama od 858 i 1836 Kev

$^{60}\text{Co}$  - Kobalt sa energijama od 1173 i 1332 Kev

Svi ostali podaci o korišćenim standardima su dati u tabeli br.9.

Nakon odabiranja izvora, moglo se pristupiti snimanju spektara svakog od odabranih standarda. Za svaki izvor snimana su četiri spektra, na rastojanju od pet, deset, petnaest i dvadeset santimetara od detektora. Snimanje se vrši pomoću višekanalnog analizatora. Vreme snimanja svakog spektra je posebno određivano prema aktivnosti izvora, radi dobijanja preglednijih spektara. Snimljeni spektri su prikazani na dijagramima

Sledeća etapa u obradi podataka, je preračunavanje aktivnosti izvora na dan kada je bilo izvršeno snimanje. Svaki izvor ima datu aktivnost kada je standard ispitivan kod proizvodjača. Zbog opadanja aktivnosti moramo izračunati njenu vrednost, da bi dobili stvarnu vrednost u trenutku snimanja. Smanjenje aktivnosti se izračunava prema formuli br.16.

$$A_t = A e^{-0.693 \frac{t}{T}} \quad (16)$$

A - aktivnost koju daje proizvodjač standarda

t - proteklo vreme od ispitivanja do trenutka snimanja

T - period poluraspađa

$A_t$  - aktivnost na dan snimanja spektra

Dobijene vrednosti aktivnosti su date u tabeli br.10. Radi dobijanja efikasnosti, moralo se pristupiti određivanju broja emitovanih gama kvanata energije E u sekundi  $N_e(E)$ . Ova veličina se izračunava po formuli:

$$N_e(E) = A_t(E) f(E) t(E) \quad (17)$$

$f(E)$  - broj emitovanih gama kvanata energije E

$t(E)$  - broj gama kvanata energije koji napuštaju izvor po emitovanom kvantu energije E

Podaci za  $f(E)$  i  $t(E)$  su dobijeni od proizvodjača standarda. Izračunate vrednosti za  $N_e$  su u tabeli br.11.

TABELA 9

1 VI	1973	A	A( $\mu$ Ci)	%	ESD
Americijum	$^{241}\text{Am}$	1527	12,21	5	1,7
Cobalt	$^{57}\text{Co}$	1688	11,07	4,4	1,5
Barijum	$^{133}\text{Ba}$	1565	11,85	4,8	1,6
Cezijs	$^{137}\text{Cs}$	1216	11,27	3,7	1,3
Mangan	$^{54}\text{Mn}$	1400	11,32	3,7	1,3
Cobalt	$^{60}\text{Co}$	1590	11,15	1,9	0,7
Itrijum	$^{88}\text{Y}$	1312	10,68	5	1,7

Pošto smo izračunali  $N_e$ , pristupilo se obradi linijskog spektra. Obrada spektara se sastoje u odredjivanju stvarne površine linije, na način kako je to opisano u prethodnom delu rada. Izračunate vrednosti za  $P$ ,  $N_u$  i  $N_f$  su date u tabeli 12, 13, 14 i 15. Na ovaj način dobijene površine, odgovaraju broju registrovanih gama kvanata  $P(E)$ . Iz odnosa registrovanih i ukupnog broja emitovanih, gama kvanata dobija se vrednost efikasnosti detektora za datu vrednost energije i odgovarajuće rastojanje izvor detektor.

$$\mathcal{E} = \frac{P(E)}{N_e} \quad (18)$$

Vrednosti na ovaj način dobijene efikasnosti date su u tabeli br.16.

Nakon ovog odredjivane su greške i to po formuli:

$$\Delta \mathcal{E}(E) = \frac{1}{N_e} \sqrt{\Delta P^2 + \left(\frac{P}{A}\right)^2 \Delta A^2} \quad (19)$$

Vidimo da za odredjivanje greške u poslednjoj formuli figurišu:  $N_e$ ,  $\Delta p$ ,  $A$  i  $\Delta A$ . Od tih veličina poznate su nam  $N_e$ ,  $p$  i  $A$  a potrebno je još odrediti  $\Delta p$  i  $\Delta A$  tj. odrediti grešku pri odredjivanju aktivnosti. Greška pri odredjivanju aktivnosti dobijena je iz tablica koje je dao proizvodjač standarda i koje se nalaze u tabeli br.10. Vrednost je preračunavana prema formuli:

$$\Delta A_t = \Delta A \cdot 37 \cdot 10^4 \quad (20)$$

Vrednost za grešku pri izračunavanju površine linija, odredjivana je na sledeći način:

$$P = \sum_i N_e + \sum_j N_f \quad (21)$$

$N_e$  - broj impulsa linije po kanalu

$N_f$  - broj impulsa fona po kanalu

Greška za  $N_e$  uzeta je kao:

$$\Delta N_e = \sqrt{N_e} \quad (22)$$

Dok je greška za fon

$$\Delta N_f = k N_f \quad (23)$$

pošto je ta vrednost grafički odredjivana, gde je  $K$ -konstanta i ima vrednost  $K=0,1$  tada se greška za  $\Delta p$  određuje po formuli:

TABELLA 10

	$A (\mu Ci)$	$T_{1/2} [y]$	$t_{\text{cyc}}$	$K_t$	$At (\mu Ci)$	$At (s) 10^{-4}$
$^{241}\text{Am}$	$12,21 \pm 0,21$	458	1,452	0,9977	$11,94 \pm 0,21$	$45,07 \pm 0,75$
$^{57}\text{Co}$	$11,07 \pm 0,17$	0,7397	1,449	0,2565	$2,85 \pm 0,04$	$10,53 \pm 0,16$
$^{133}\text{Ba}$	$11,85 \pm 0,19$	10,4	1,449	0,9079	$10,76 \pm 0,17$	$39,81 \pm 0,64$
$^{137}\text{Cs}$	$11,27 \pm 0,15$	30	1,449	0,967	$10,9 \pm 0,14$	$40,33 \pm 0,52$
$^{54}\text{Mn}$	$11,32 \pm 0,15$	0,856	1,441	0,312	$3,52 \pm 0,05$	$13,04 \pm 0,17$
$^{60}\text{Co}$	$11,15 \pm 0,08$	5,26	1,441	0,8274	$9,22 \pm 0,06$	$34,12 \pm 0,24$
$^{88}\text{Y}$	$10,68 \pm 0,18$	0,292	1,436 1,438	0,03302 0,03281	$0,35 \pm 0,006$ $0,35 \pm 0,006$	$1,3 \pm 0,022$ $1,3 \pm 0,022$

$$\Delta P = \pm \sqrt{L + \frac{k^2 F^2}{n}} \quad (24)$$

Sve vrednosti za greške izračunate na ovaj način su date u tabelama br. 11, 12, 13, 14, i 15.

TABELA 11

	E [KeV]	A t(s)10 <sup>-4</sup>	f(E)	t(E)	N(E)10 <sup>-4</sup>
<sup>241</sup> Am	60	45,07±0,77	0,36	0,989	16,05±0,277
<sup>133</sup> Ba	81	39,81±0,63	0,36	1	14,33±0,226
<sup>57</sup> Co	122	10,5±0,16	0,848	0,991	8,83±0,137
	135	~//~	0,114	~//~	1,187±0,018
	276	39,81±0,63	0,079	1	3,157±0,05
<sup>133</sup> Ba	302	~//~	0,204	1	8,11±0,128
	356	~//~	0,69	0,994	27,3±0,43
	383	~//~	0,099	1	3,94±0,06
<sup>137</sup> Cs	662	40,33±0,52	0,851	0,995	34,15±0,44
<sup>54</sup> Mn	835	13,07±0,17	1	~//~	13±0,175
<sup>88</sup> Y	898	1,3±0,22	0,915	0,996	1,18±0,02
<sup>60</sup> Co	1173	34,13±0,244	1	~//~	33,99±0,24
	1332	~//~	1	~//~	~//~
<sup>88</sup> Y	1836	1,3±0,022	0,995	0,097	1,29±0,022

TABELA 12

ID 5					
	E (KeV)	N u ( <sup>imp</sup> %)	N f ( <sup>imp</sup> %)	P ( <sup>imp</sup> %)	Δ P
<sup>241</sup> Am	60	353476	128695,51	224780,49	2593
<sup>133</sup> Ba	81	473817	210732,02	263084,9	4649,78
<sup>57</sup> Co	122	697966	90099,99	607866,1	1798,567
	135	83190	9896,175	7329382	347,645
<sup>133</sup> Ba	276	95705	53035,171	42669,83	1225,21
	302	155907	56658,401	99248,6	836,662
	356	357023	80920,559	27610245	1010,142
	383	62650	22829,122	39820,87	408,509
<sup>137</sup> Cs	662	644067	93453,65	5506133	996,001
<sup>54</sup> Mn	898	74109	8266,465	65842,53	280,313
<sup>88</sup> Y	898	89808	37720,75	52087,25	440,942
<sup>60</sup> Co	1173	178989	67505,13	111483,9	821,163
	1332	116998	17900,16	99097,8	374,455
<sup>88</sup> Y	1836	26704	2503,7	24200,32	165,654

TABELA 13

ID 10					
	E (KeV)	N u ( <sup>imp</sup> / <sub>s</sub> )	N f ( <sup>imp</sup> / <sub>s</sub> )	P ( <sup>imp</sup> / <sub>s</sub> )	Δ P
<sup>241</sup> Am	60	226365	89507,37	136857,6	1887,993
<sup>133</sup> Ba	81	318063	115874,06	202188,94	2866,39
<sup>57</sup> Co	122	304673	41435,37	263237,6	884,074
	135	35113	17321904	33380,81	190,439
<sup>133</sup> Ba	276	68079	33356,94	34722,06	594,4601
	302	118454	38748,02	79705,98	603,81
	356	268629	41477,04	227151,96	640,941
	383	38207	8127,42	30079,58	222,701
	662	236404	34040475	20236353	559,591
<sup>54</sup> Mn	835	66070	7383,134	58686,866	264,506
<sup>88</sup> Y	898	26497	7108,279	1938,721	181,143
<sup>60</sup> Co	1173	152167	51929,577	100237,43	685,145
	1332	103901	11939,51	91961,49	338,92
<sup>88</sup> Y	1836	9596	1035,352	8560,6	142,93

TABELA 14

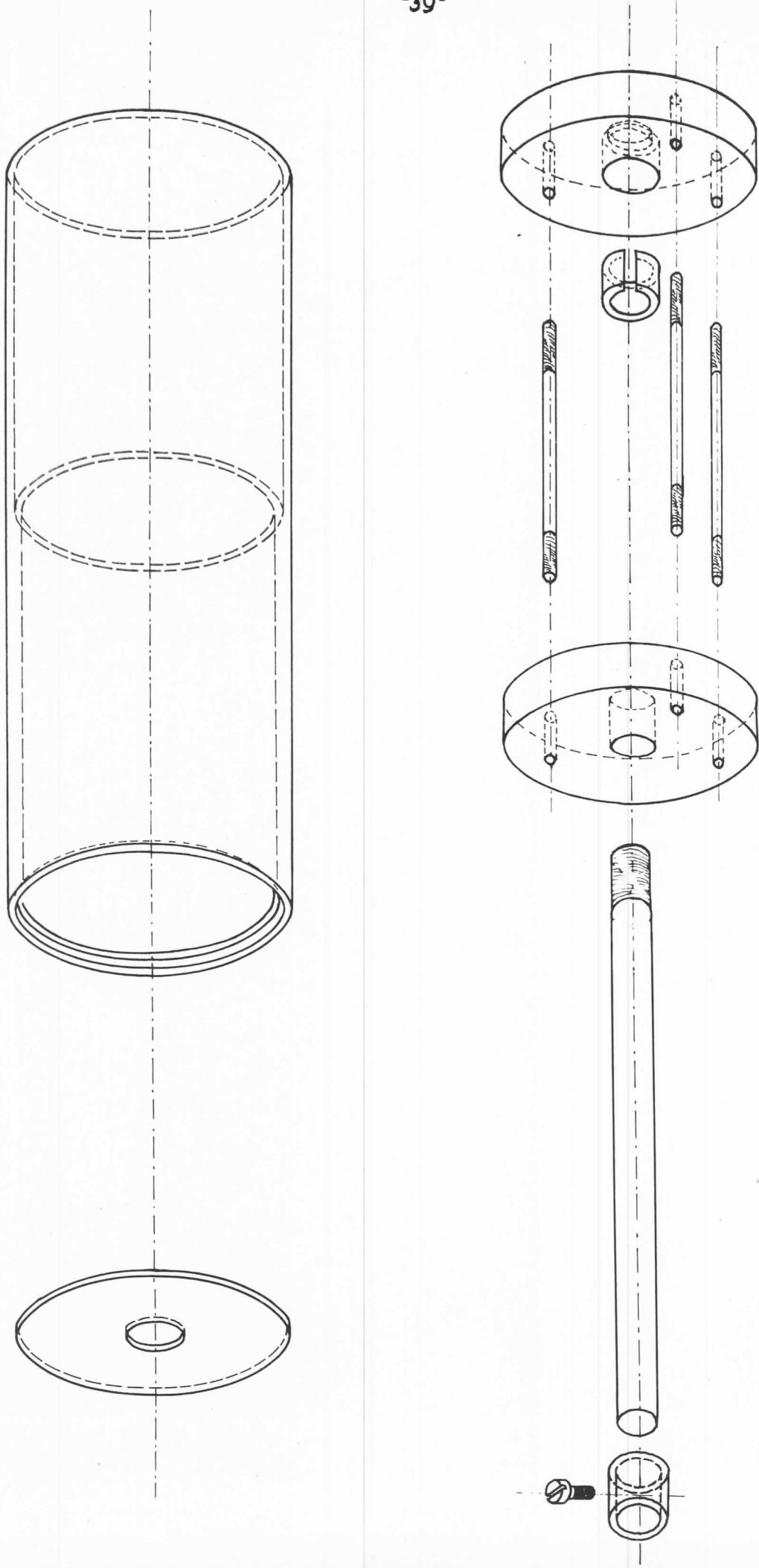
ID 15					
	E(KeV)	Nu <sup>(imp/s)</sup>	Nf <sup>(imp/s)</sup>	P <sup>(imp/s)</sup>	Δ P
<sup>241</sup> Am	60	114656	42696,41	71959,6	1012,989
<sup>133</sup> Ba	81	206781	80945,925	125835,1	1961,356
<sup>57</sup> Co	122	283129	29675,074	253453,93	788,559
	135	35251	3455,1319	31795,87	199,606
<sup>133</sup> Ba	276	49767	27477,504	22289,5	498,452
	302	82123	29814,21	52308,79	493,699
	356	172963	26971,81	145991,19	489,596
	383	21639	2876,658	18762,342	159,969
<sup>137</sup> Cs	662	240659	51375,321	189283,68	507,475
<sup>54</sup> Mn	835	67215	7836,99	59378,004	267,585
<sup>88</sup> Y	898	27468	8485,113	18982,9	191,263
<sup>60</sup> Co	1173	167156	59082,72	108073,26	728,545
	1332	108205	11931,57	96273,43	344,055
<sup>88</sup> Y	1836	9975	122228	8752,72	100,88

TABELA 15

ID 20					
	E KeV	Nu (%)	Nf (%)	P	ΔP
<sup>241</sup> Am	60	114656	4269641	7195959	1012,989
<sup>133</sup> Ba	81	206781	89674,85	155527,15	2230,59
<sup>57</sup> Co	122	327556	89674,85	293038,23	932,275
	135	45351	6776,34	38574,662	244,337
<sup>133</sup> Ba	276	64045	3676646	27278,54	634,025
	302	105853	41326,26	64526,74	645,27
	356	197133	22220,69	174912,31	508,026
	383	26087	3146,542	22940,46	167,305
<sup>137</sup> Cs	662	143351	17939,53	125411,47	395,187
<sup>54</sup> Mn	835	81406	7788,9	73617	293,087
<sup>88</sup> Y	898	17766	4576,66	13186,34	151,666
<sup>60</sup> Co	1173	200159	71651,721	128507,3	854,069
	1332	129396	17581641	111814,4	388,997
<sup>88</sup> Y	1836	7292	701,925	6590,07	86,094

TABELA 16

		5	10	15	20
	E(KeV)	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$
$^{241}\text{Am}$	60	$35,02 \pm 0,74$	$10,66 \pm 0,24$	$4,48 \pm 0,101$	$3,26 \pm 0,069$
$^{133}\text{Ba}$	81	$45,89 \pm 1,1$	$17,63 \pm 0,38$	$8,78 \pm 0,196$	$5,42 \pm 0,117$
$^{57}\text{Co}$	122	$85,82 \pm 1,31$	$29,73 \pm 0,457$	$14,31 \pm 0,219$	$8,27 \pm 0,127$
	135	$76,97 \pm 1,21$	$28,04 \pm 0,451$	$13,36 \pm 0,217$	$8,102 \pm 0,132$
	276	$33,79 \pm 1,104$	$13,75 \pm 0,323$	$7,06 \pm 0,194$	$4,32 \pm 0,178$
	302	$30,6 \pm 0,55$	$12,29 \pm 0,218$	$6,45 \pm 0,12$	$3,98 \pm 0,075$
	356	$25,28 \pm 0,47$	$10,34 \pm 0,169$	$4,75 \pm 0,086$	$2,9 \pm 0,051$
	383	$25,23 \pm 0,48$	$9,53 \pm 0,168$	$4,75 \pm 0,086$	$2,9 \pm 0,051$
$^{137}\text{Cs}$	662	$16,12 \pm 0,21$	$5,93 \pm 0,079$	$2,77 \pm 0,042$	$1,836 \pm 0,033$
$^{54}\text{Mn}$	835	$12,68 \pm 0,17$	$4,22 \pm 0,062$	$2,287 \pm 0,031$	$1,42 \pm 0,026$
$^{88}\text{Y}$	898	$10,98 \pm 0,21$	$4,09 \pm 0,093$	$2 \pm 0,039$	$1,11 \pm 0,023$
$^{60}\text{Co}$	1173	$8,2 \pm 0,083$	$2,95 \pm 0,029$	$1,59 \pm 0,017$	$0,945 \pm 0,0091$
	1332	$7,29 \pm 0,058$	$2,7 \pm 0,021$	$1,41 \pm 0,011$	$0,8222 \pm 0,006$
$^{88}\text{Y}$	1836	$4,79 \pm 0,086$	$1,66 \pm 0,039$	$0,847 \pm 0,017$	$0,509 \pm 0,011$



SLIKA 10

L I T E R A T U R A

1. Proceedings of a Symposium organized by the IAEA  
and held in Amsterdam 1967.god.  
NUCLEAR ACTIVATION TECHNIQUES IN THE LIFE SCIENCES
  
2. Proceedings of a Symposium organized by the IAEA  
and held in Bled 1972.god.  
NUCLEAR ACTIVATION TECHNIQUES IN THE LIFE SCIENCES
  
3. Proceedings of a Symposium organized by the IAEA  
and held in Vienna 1965.god.  
RADIOISOTOPE SAMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES IN MEDICINE AND BIOLOGY
  
4. Ištvan Bikit  
ODREDJIVANJE ENERGIJE I INTENZITETA GAMA-ZRAKA  
NA GERMANIJUMSKOM DETEKTORU  
Diplomski rad, Novi Sad
  
5. Lazar Dušan  
NEUTRONSKA AKTIVACIONA ANALIZA JESTIVOGL ULJA  
Diplomski rad, Novi Sad 1974.god.
  
6. Evgenije E. Medješi  
NEUTRONSKA AKTIVACIONA ANALIZA VOJVODJANSKOG  
SUNCOKRETA  
Diplomski rad, Novi Sad 1975.god.

impuls

IZVOR  $^{241}\text{Am}$

2000

$E=60 \text{ KeV}$

1000

200

0

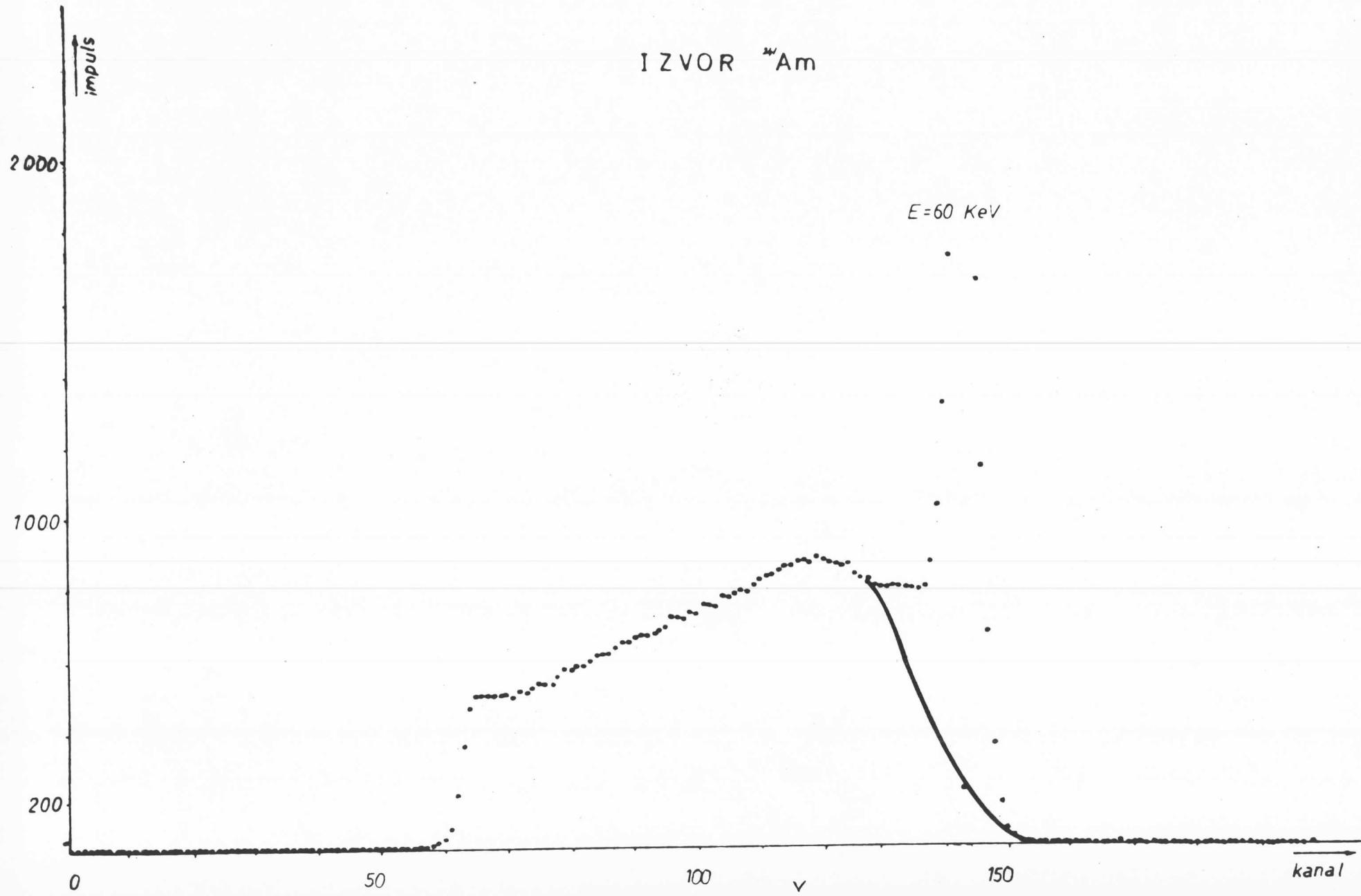
50

100

v

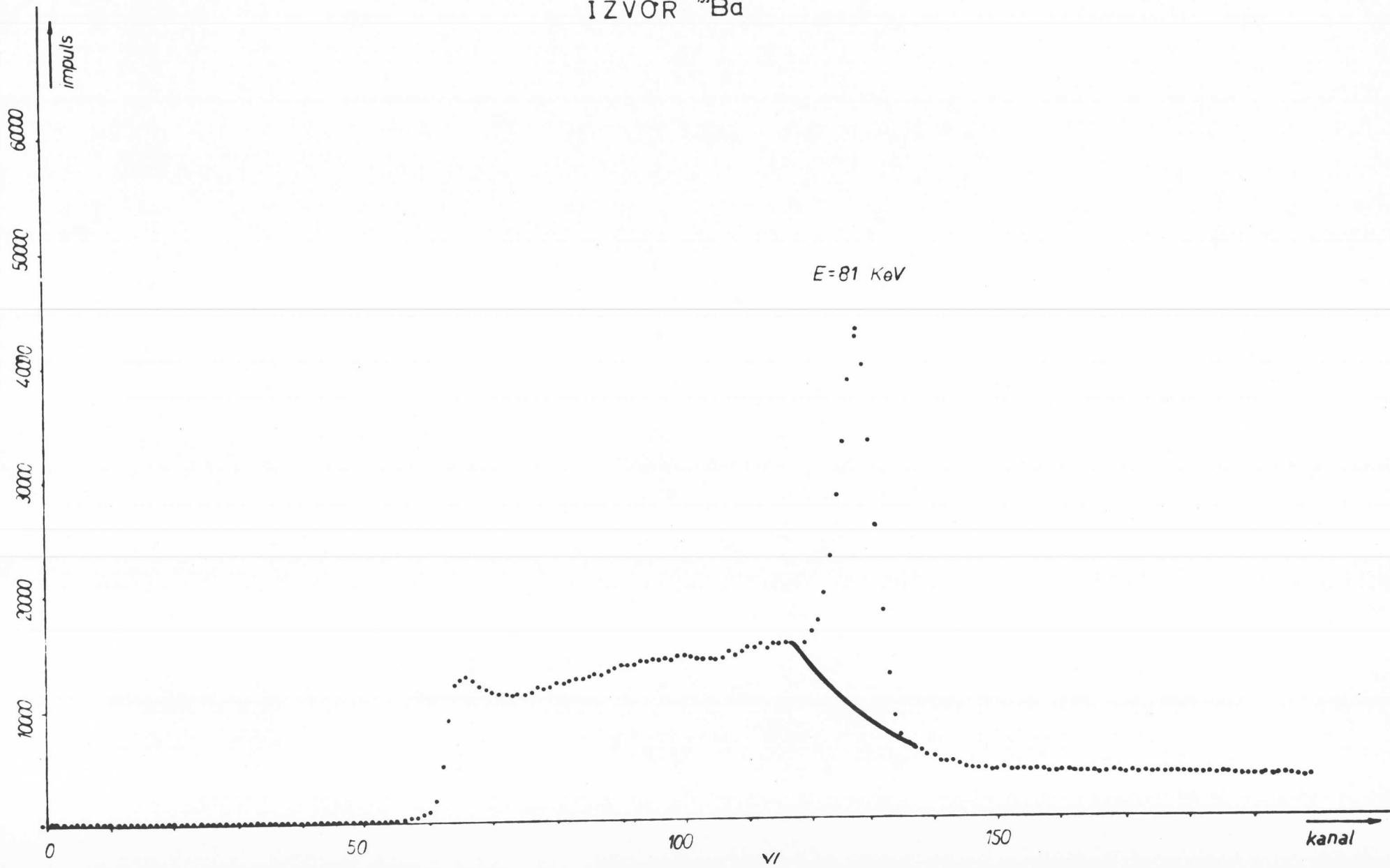
150

kanal



IZVOR  $^{103}\text{Ba}$

$E = 81 \text{ keV}$



impuls

IZVOR "Co

$E=122 \text{ KeV}$

2000

1000

200

$E=135 \text{ KeV}$

250

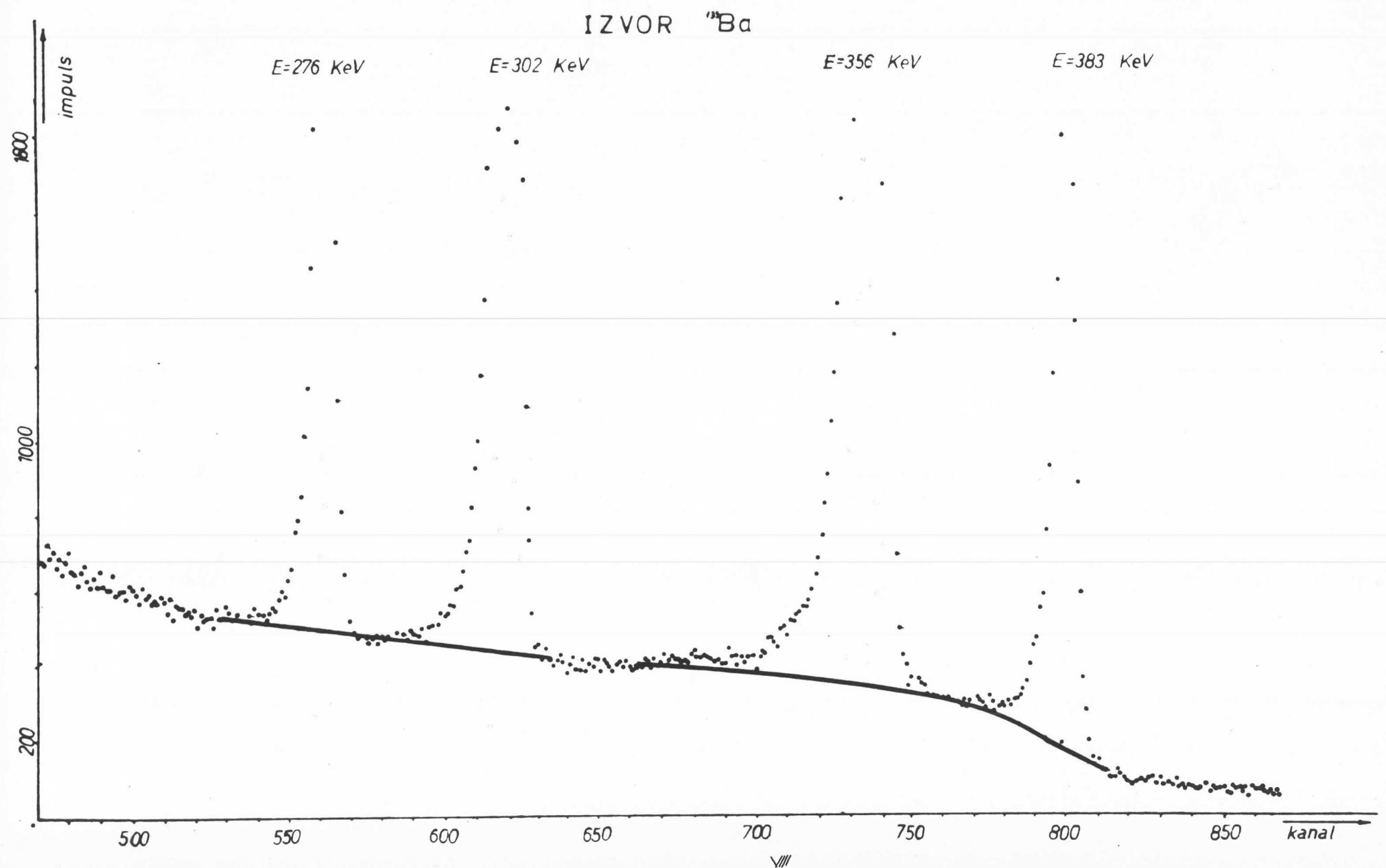
300

350

VII

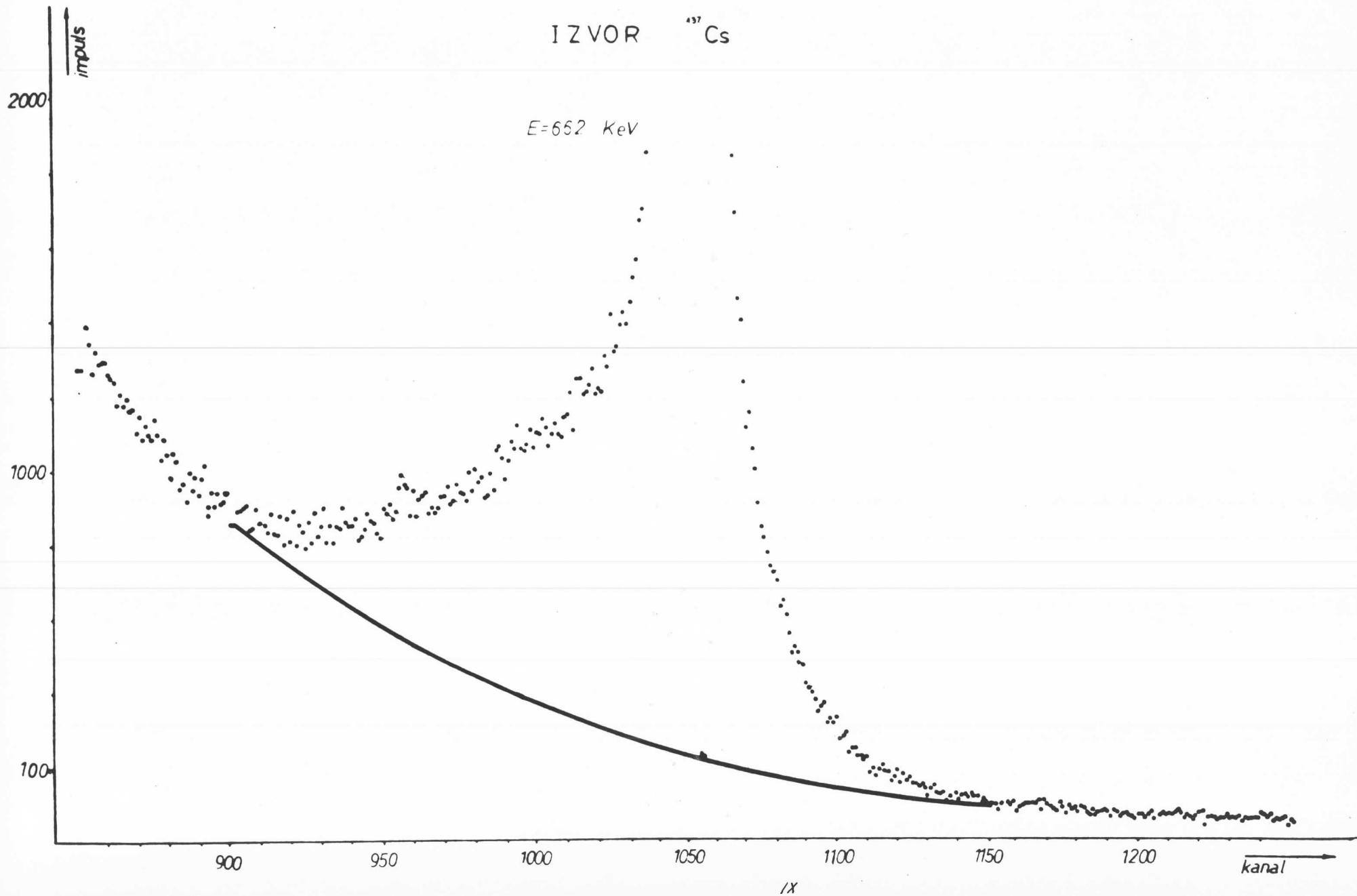
400

kanal



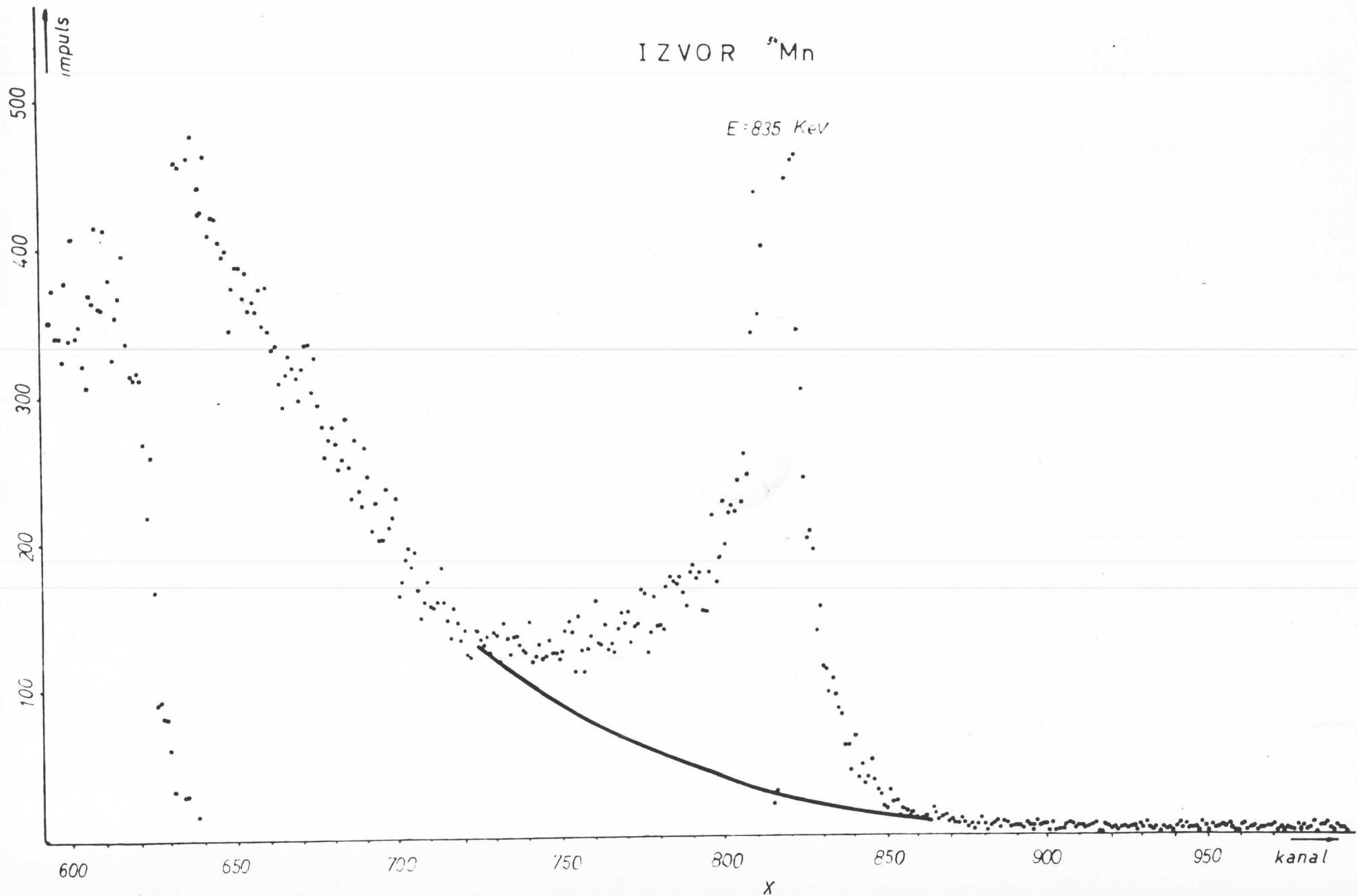
IZVOR  $^{137}\text{Cs}$

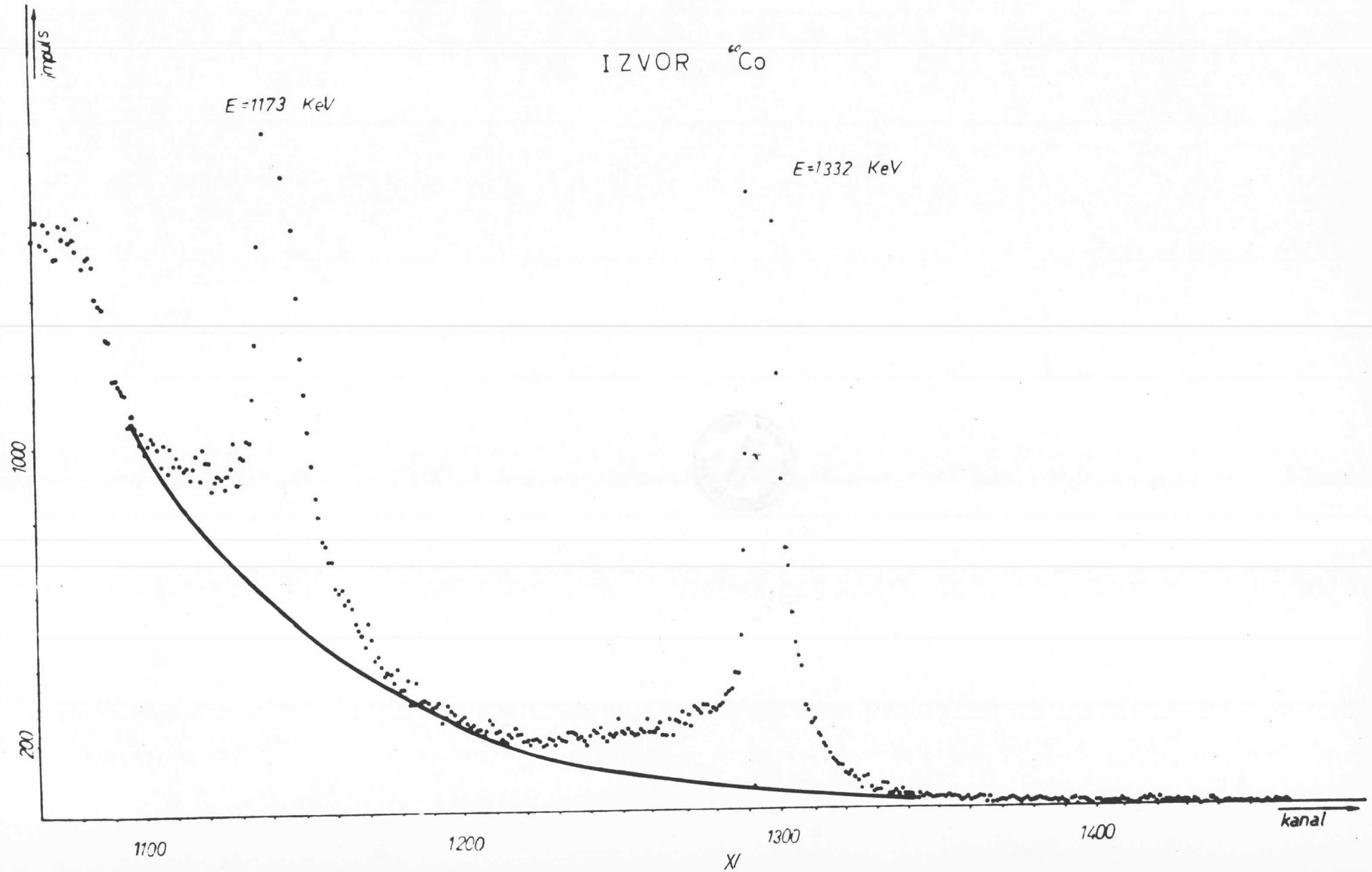
$E=662 \text{ KeV}$

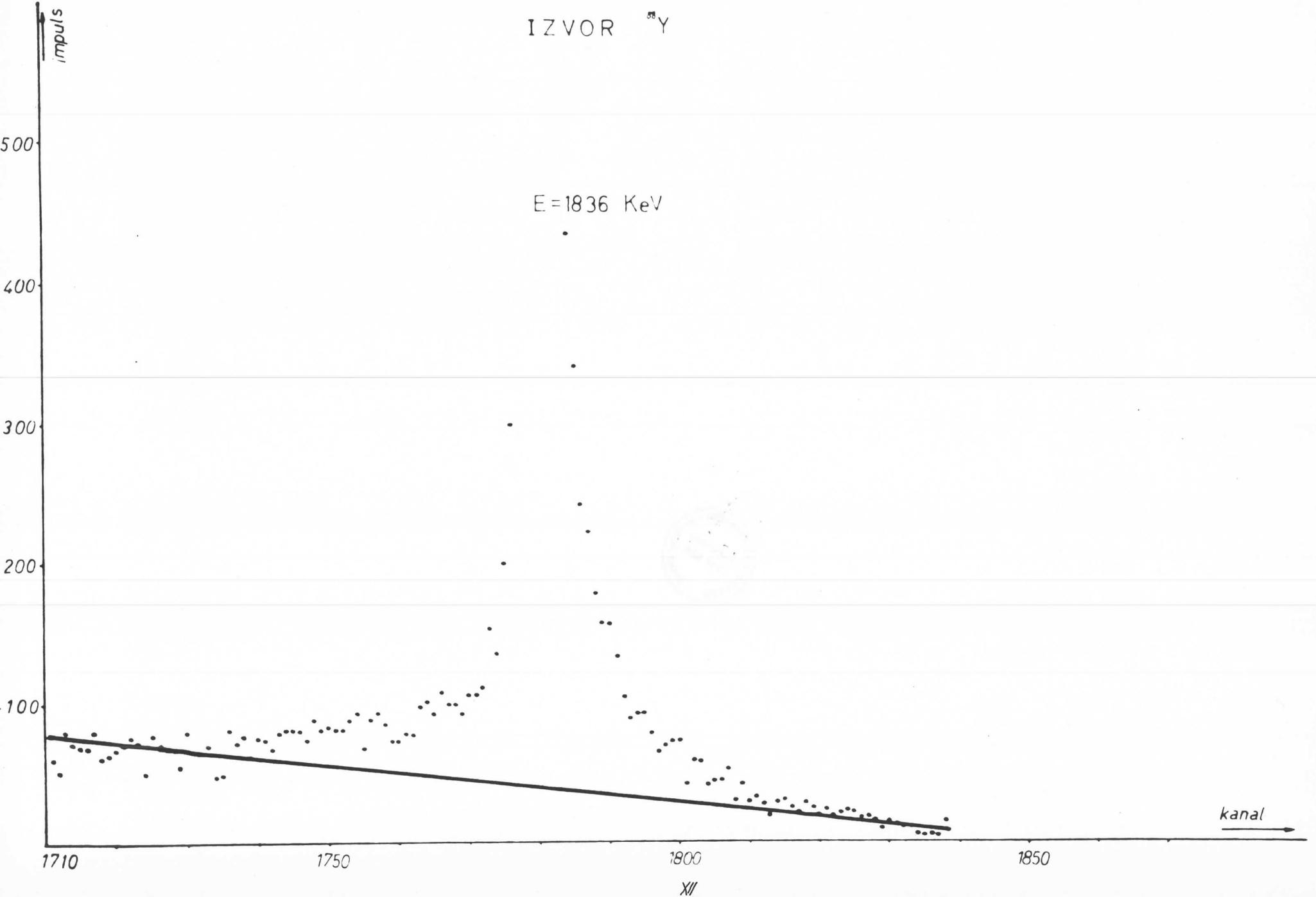


IZVOR  $^{55}\text{Mn}$

$E = 835 \text{ KeV}$







KRIVA EFIKASNOSTI

