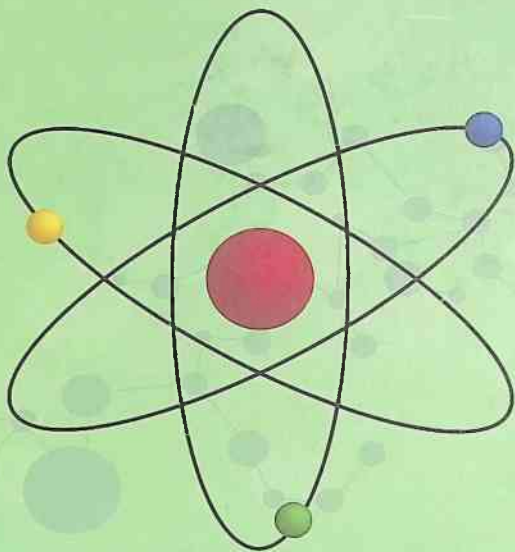


026.2  
539  
S-24

M.A. Qayumov, M.Yu. Tashmetov,  
S.R. Polvonov, U.S. Salixboyev,  
A.A. Karaxodjayev, S.V. Artyomov,  
V.P. Yakushev, B.M. Qayumov.

# SUBATOM FIZIKASI



№ 2  
539  
P-87

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI O'ZBEKISTON MILLIY  
UNIVERSITETI**

**M.A. Qayumov, M.Y. Toshmetov, U.S. Salihbayev, A.A. Qoraxo'jayev, S.R.  
Polvonov, S.V. Artemov, V.P. Yakushev, B.M. Qayumov**

# **SUBATOM FIZIKASI**

**bo'yicha laboratoriya ishlarining to'plami**

**O'quv qo'llanma**

**Toshkent  
"NIF MSH"  
2020**

UDK: 530.3  
BBK: -39.359  
Q 10

M.A. Qayumov, M.Y. Toshmetov, U.S. Salihbayev, A.A. Qoraxo'jayev, S.R. Polvonov, S.V. Artemov, V.P. Yakushev, B.M. Qayumov/ Subatom fizikasi bo'yicha laboratoriya ishlarining to'plami/o'quv qo'llanma/– Toshkent: "NIF MSH", 2020, 500 bet.

*O'quv qo'llanma yadro fizikasi yo'nalishi bo'yicha 60 ta laboratoriya ishlarini o'z ichiga oladi. Bu laboratoriya ishlari yadro fizika sohasining keng tannog'ini qamrab olgan. Zarrachalarni qayd qiluvchi detektorlarga katta e'tibor berilgan. Detektorlarning xarakteristikalarini aniqlash va ularni ishga tayyorlash yo'llari ko'rsatib o'tilgan. Laboratoriya ishlari quyidagi mavzularga qaratilgan: yadro reaksiyalari, yadro nishonlarini tayyorlash, zarrachalarning modda atomlariga ko'rsatgan ta'siri, radionuklidlarni tezlatkichlarda, yadro reaktorlarida va neytron generatorida olish, radionuklidlarning aktivligini o'lchash, dozimetriyaga tegishli ishlar, nurlanishlardan himoyalash yo'llari, neytron fizikasiga tegishli ishlar,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, zaryadli zarrachalar va neytron spektrometrlarining asosiy xarakteristikalarini tajriba yordamida aniqlash va ular yordamida radioaktiv izotoplarning kattaliklarini aniqlash.*

*O'quv qo'llanmasidan fizika-texnika yo'nalishida, yadro fizika va amaliy fizika sohasi yo'nalishlarida hamda yadro fizika kursi o'qilayotgan barcha oliy o'quv yurti bakalavr va magistr talabalari foydalanishlari mumkin.*

#### **Taqrizchilar:**

S.A. Bakiev- texnika fanlari doktori.

G'.A. Qulabdullaev-fizika-matematika fanlari nomzodi.

Y. Saydimov-fizika-matematika fanlari nomzodi.

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM  
VAZIRLIGI TOMONIDAN NASHRGA TAVSIYA ETILGAN.**

ISBN 978-9943-7011-8-2

© Qayumov M.A va boshq. 2020.

© "NIF MSH", 2020.

## SO'Z BOSHI

Ushbu o'quv qo'llanmada 59 ta laboratoriya ishi berilgan. Laboratoriya ishlarining o'tkazilishi talabalarda yadro fizika sohasini o'zlashtirishiga katta yordam beradi. Tajribalarni bevosita amalga oshirishlari natijasida talabalar nazariy tomondan olgan bilimlar mohiyatini chuqur o'zlashtirishga erishadilar. Bu kitob avtorlarning uzoq yillar davomida olib borgan ish tajribalari asosida yaratildi. Bu qo'llanmada berilgan laboratorish ishlari yadro fizika institutida olib borilayotgan ilmiy yo'nalishlar asosida va institutning texnik ta'minotlarini hisobga olgan holda yozildi. Yadro fizika tajribalarining o'ziga xos tomonlari bor. Bu tajriba ishlarida radioaktiv elementlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Shu sababli tajribaga juda katta ma'sulyat bilan qarashva puxta tayyorgarlik ko'rish kerak. Bulardan shunday xulosa kelib chiqadiki, qo'yilgan tajribalardan juda unumli foydalanish lozimdir.

Yadro fizikasi tajribalarida zarrachalami qayd qiluvchi detektorlar asosiy o'rinlardan birini egallaydi. Hozirgi vaqtda detektorlarning juda ko'pturlari yaratilgan. Tajribani o'tkazishda zarrachaning turi va energiyasiga qarab detektor tanlanadi. Detektorni tanlash o'ta muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Ssintillyatsion detektorlarga doir bir qator laboratoriya ishlari berildi. Bu ishlarda kristallni maxsus idish ichiga joylashtirish va ishga tayyorlash, fotoelektron kuchaytirgichni(FEK) tanlash, kristall va FEK birgalikda yig'ish tartibi, FEK ga yuqori kuchlanishni berish tartibi, detektorning ish kuchlanishi qiymatini aniqlash, detektorning vaqt va energiya bo'yicha ajratish qobiliyatlarini aniqlash, detektorning effektivligini aniqlash yo'llari ko'rsatib berildi.

Neytronlarni qayd qiluvchi detektorlariga tegishli laboratoriya ishlari berib o'tildi. Past va yuqori energiyali neytronlarni qayd qilishda ishlatiladigan detektorlarga alohida o'rin ajratildi. Organik kristaldan tashkil topgan ssintillyatsion detektor,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{10}\text{B}$  va  ${}^{10}\text{BF}_3$  moddalardan iborat bo'lgan detektorlarga tegishli laboratoriya ishlari berildi.

Yadro fizikasida zarrachalarni tezlashtirish uchun turli rusumdagi tezlatkichlar ishlatiladi. Ilmiy tadqiqot va amaliyotda tezlashtirilgan zarracha parametrlarining qiymatini aniqlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Shu sababli tezlashtirilgan zarrachaning energiyasini va zarrachalar oqimi miqdorini aniqlash bo'yicha laboratoriya ishlari berildi. Tezlashtirilgan zarracha energiyasini aniqlashning bir qator usullari ko'rsatib o'tildi.

Yadro fizikasida yadro reaksiyalari asosiy o'rinni egallaydi. Yadro reaksiyalari mikro dunyoning barcha sohalarida sodir bo'ladi. Yerimizga

quyoshdan kelayotgan energiya ham reaksiya mahsulidir. Yadro reaksiyalariga tegishli quyidagi laboratoriya ishlari keltirilgan: yadro reaksiyasining kinematikasini hisoblash, yadro reaksiyasining kesim va chiqish kattaliklarini aniqlash.

$\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, zaryadli zarrachalar va neytron spektrometlariga doir bir qator laboratoriya ishlari berib o'tildi. Bu spektrometrlar zamonaviy texnik vositalar bilan ta'minlangan va kuchli programma ta'minotiga ega. Bu qurilmalar yordamida reaktor va neytron generatorlarida neytronlar dastasi bilan nurlantirilgan namunaning aktivligini aniqlash bo'yicha bir qator tajriba ishlari qo'yilgan. Zaryadli zarrachalar va neytron spektrometlari yordamida yadro reaksiyasi mahsulining kesim kattaliklarini o'lchashga doir laboratoriya ishlari berib o'tildi.

Tajriba ishlarida radioaktiv izotoplardan foydalanilgani uchun nurlanib qolishdan saqlanish maqsadida ulardan himoyalaniş lozim bo'ladi. Shu maqsadda  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, va neytron zarrachalardan himoyalaniş yo'llarini ko'rsatib beruvchi bir nechta laboratoriya ishlari berildi.

O'zbek tilida birinchi bor nashr qilinayotgan bu qo'llanma fizika-texnika yo'nalishida, yadro fizikasi va amaliy fizika sohasi yo'nalishlarida hamda yadro fizika kursi o'qilayotgan barcha oliy o'quv yurti bakalavr va magistr talabalari uchun mo'ljallangan.

Mualliflar yadro fizika sohasini o'rganishga kirishgan barcha talabalar uchun mazkur kitob foydali bo'ladi degan umidda.

Mualliflar qo'llanmada uchragan kamchiliklar ko'rsatilgan har qanday tanqidiy fikrlarni ijobiy qabul qiladilar.

## **Qisqartirilgan iboralar ro'yhati**

FEK- fotoelektron kuchaytirgich

MKP-mikrokanalli plastinka

PAM-past kuchlanish manbai

YuKM-yuqori kuchlanish manbai

K-kuchaytirgich

D-detektor

KKA-ko'p kanalli analizator

S-ssintillyator

U<sub>ish.kuch.</sub>-ishchi kuchlanishi

DD-diferensial diskriminator

OSGI-Namunali spektrometrik gamma manba

OSGI-M- M rusumli namunali spektrometrik gamma manba

"T-A"- vaqtni amplitudagi o'tkazuvchi qurilma

F-formirovatel

SD-svetodiod

BZ-kechiktirish moslamasi

FSP- ostonali formirovatel

MN-mexanik nasos

DK-diffuzion nasos

TV-termik vakuummetr

mA-milliampermetr

G-galvanometr

KS- katodni stabilizatsiyalash qurilmasi

T-to'g'rilagich

N-nishon

FS-Faradey silindri

YaO'D-yarim o'tkazgichli detektor

LKS-laboratoriya koordinata sistemasi

SMS-sentra mass sistemasi

OZChQ-oqim zichligining chegaralangan qiymati

## KIRISH

Yadro fizika fanining turli sohalarga keng kirib borishi bu yo'nalishda malakali yosh kadrlarni tayyorlash vazifasini qo'ydi. Yosh kadrlarni tayyorlashda tajriba ishlarining ahamiyati juda katta. Shu sababli oliy o'quv yurtlarida tajriba ishlarinio'tkazilishigakatta e'tibor berilmoqda. Fan va amaliyotda radionuklidlardan foydalanish imkoniyatlari keskin ortdi. Bu o'z navbatida nurlanishlarga tegishli bo'lgan asbob-uskunalarining ham taraqqiy etishiga olib keldi. Shu asosda zarrachalarni qayd qiluvchi sezgirligi yuqori bo'lgan, energiya bo'yicha ajratish qobiliyati va effektivligi yuqori bo'lgan detektorlar yaratildi. Bu yo'nalishdagi ishlar uzuliksiz davom etmoqda. Detektordan olingan signallarni tahlil qilish uchun katta tezlikka ega bo'lgan va turli vazifalarni bajaruvchi elektron qurilmalar yaratilmoqda va yanada takomillashtirilmoqda. Tajriba qurilmasini tezlikda yig'ish maqsadida elektron bloklarni yagona sistemada ishlab chiqarilishiga harakat qilinmoqda. Bunga misol qilib "KAMAK" sistemasini ko'rsatish mumkin. Bu sistemada yadro fizika tajribalarini o'tkazish uchun barcha elektron bloklari mavjud. Bundan tashqari tajriba qurilmasini elektron hisoblash mashinasi (EHM) bilan bog'lash imkoniyati ham bor. Tajriba qurilmasini EHM bilan bog'lanishi tajribalarni o'tkazishning yangi tomonlarini ochib berdi. Tajribalarni avtomatik ravishda boshqarish programmalari ishlab chiqildi va ishlab chiqilmoqda. Ayniqsa, olingan tajriba natijalarini tahlil qilishga mo'ljallangan programma ta'minotlarining yaratilishi diqqatga sazovordir.

Hozirgi vaqtga kelib nazariyotchilar tajribachilar oldiga tajriba natijalarini katta aniqlikda o'lchash vazifasini qo'yimoqda. Albatta, bu qo'yilgan vazifani bajarish uchun yuqori tezlikka ega bo'lgan, ishonchli elektron bloklar va malakali kadrlar zarur bo'ladi. Malakali kadrlarni tayyorlashda laboratoriya ishlarining ahamiyati va xizmati juda kattadir. Aniq vazifalarni bajarishga mo'ljallangan asboblarni ishlab chiqilmoqda. Bunga misol qilib quyidagilarni ko'rsatish mumkin: keng qamrovli kuchaytirgichlar, generatorlar, diskriminatorlar, moslashtirish qurilmalari, analog va raqamli o'zgartiruvchilar, kechiktirish moslamalari, pechatlash moslamalari va boshqalar.

Har qanday tajribaning yakuni olingan natijalarni tahlil qilish va ulardan kerakli fizikaviy xulosalarni chiqarib olish hisoblanadi. Albatta bu ishlar katta hajmdagi hisoblashlarni bajarish orqali amalga oshiriladi. Shunday hisob ishlari mavjudki, ularni programma ta'minotisiz bajarib bo'lmaydi. Tezligi yuqori bo'lgan EHM larning va hisoblash programmlarining yaratilishi tajribachilar uchun juda katta yutuq bo'ldi. Tajribada olingan natijalarni tahlil qilish asosan ikki bosqichda bajariladi: birinchi bosqichda, detektorlar yordamida nurlanishlar qayd qilinib spektrlar o'lchanadi. Yadro reaksiyasi misolida ko'radigan bo'lsak, reaksiya mahsuli bo'lgan zarrachalarning spektri turli sochilish burchaklarida o'lchanadi. O'lchangan spektrlarga ko'ra reaksiyaning differensial kesim kattaligi aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda esa aniqlangan differensial kesim

kattaligi turli matematik apparatlar yordamida tuzilgan yadro modellari yoki statik qonuniyatlar bo'yicha tahlil qilinib, yadroga tegishli ma'lumotlar olinadi.

O'quv qo'llanmaning asosiy vazifasi quyidagilardan iborat: o'tilgan nazariy bilimlarni yanada mustahkamlash, tajribani amalga oshirish yo'llarini o'rgatish, detektorni tanlash, detektorning xarakteristikalarini tajriba orqali aniqlash, tajribaning blok-sxemasi bilan tanishish va uni yig'ish, tajribani o'tkazish ketma-ketligi bilan tanishish, programma ta'minoti bilan yaqindan tanishish va olingan natijalarni tahlil qilish yo'llarini o'rganishdan iboratdir.

Qo'llanmada berilgan bir qator laboratoriya ishlarini masalan: Yadro reaksiyasining kesim kattaligini zaryadli zarrachalar spektrometri yoki neytron spektrometrlari orqali o'lchash juda murakkab bo'lib, bu ishlarni bajarish juda ko'p vaqt talab qiladi. Bundan tashqari tajribani o'tkazish uchun katta mahorat zarur. Tajribani o'tkazish mahorati esa ko'p yillar davomida shakllanib boradi. Shu sababli talabalarni bu ko'rinishdagi ishlar bilan yaqindan tanishtirishga harakat qilindi. Bu ishlarga yadro reaksiyalari yordamida neytronlar va zaryadli zarrachalarning burchak taqsimotini o'lchashga tegishli tajriba ishlari kiradi.

Tajriba qurilmalari EHM ga bog'langanligi sababli talabalar EHM bilan ishlashni to'liq bilishlari lozim. Tajribada olingan ma'lumotlarni EHM hotirasiga yozish, hotiradan chaqirib olish, spektrlarni programma yordamida tahlil qilish va boshqalar.

Talaba tajribani bajarishidan avval laboratoriya ishida berilgan ma'lumotlar bilan to'liq tanishib chiqishi kerak. Talaba tajriba qurilmasini mustaqil ravishda yig'fa olishi, asbob-uskunalarni tajribaga tayyorlashi, detektorni tanlay bilishi va uning xarakteristikalarini aniqlash yo'llarini bilishi lozim.

Laboratoriya ishlari quyidagi tartibda yozildi: tajribadan asosiy maqsad; kerakli jihozlar, nazariy qismi; tajribani o'tkazish tartibi; olingan natijalar; nazorat savollari; foydalanilgan adabiyotlar.

Ushbu qo'llanmani yaratilishida yadro fizika instituti xodimlarining va O'zbekiston milliy universiteti "nazariy va elementar zarrachalar" kafedrasida o'qituvchilarining ko'rsatgan yordamlari katta bo'ldi. Mualliflar o'z hamkasblariga bergan yordamlari uchun chuqur minnatdorchiligini bildiradi.

## **Yadro fizika tajribalarining o'ziga xos tomonlari va talabalar uchun bir qator ko'rsatmalar**

Yadro fizika sohasidagi tajriba ishlarining o'ziga xos tomonlari bor. Avvalo, ko'zga ko'rinmaydigan hodisalarni o'rganish bo'yicha ishlar olib boriladi, ko'zga ko'rinnas zarrachalar qayd qilinadi. Bundan tashqari tajribada radioaktiv manbalar ishlatiladi. Agar ma'lum himoya choralari ko'rilmasa, manbalardan chiqayotgan turli ko'rinishdagi nurlar tajribani olib borayotgan xodimning hayotiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli radioaktiv elementlar



bilan ishlayotganda radiatsion xavfsizlik qoidalarini yaxshi bilish va ularga to'liq amal qilish lozim bo'ladi. Tajribani olib borishda ishtirok qilayotgan talabalar uchun quyidagi ko'rsatmalarni berishni lozim topdik:

1. Tajriba ishlari o'qituvchi rahbarligida olib boriladi. Tajriba ishining qo'yilishi, tajribaning bajarilish ketma-ketligi va boshqalar.
2. Talaba, tajriba ishlariga tayyor holatda bo'lishi kerak. Laboratoriyaga tegishli qo'llanmalarni yaxshi o'rganib chiqishi lozim. Tajribaning blok-sxemasini va uni ishlash prinsipini to'liq o'zlashtirishi kerak. Bundan tashqari chuqur nazariy bilimlarga ega bo'lmog'i kerak. Eng asosiysi tajriba orqali qanday kattalik aniqlanmoqdava bu kattalik nima uchun kerakligini bilishi lozim.
3. Qobig'i yaroqsiz holotga kelib qolgan simlardan umuman foydalanish kerak emas.
4. Nosoz rozetkalardan foydalanish umuman ta'qiqlanadi.
5. Tajriba ishlarida yuqori kuchlanish manbalari qatnashganligi uchun talabadan, tajribada ishlatilayotgan asbob-uskunalarining korpuslariga qo'l bilan tegish mumkin emasligini qayta-qayta uqtirish lozim.
6. Tajribada ishlatilayotgan barcha elektr asboblarning korpuslari yerga ulanishi kerak. Buni doimo nazorat qilish lozim. Yerga ulanishi turli joylarga emas, balki maxsus tayyorlangan joyga ulanishi lozim.
7. Ishlarni bajarishda shoshma-shosharlikka, tartibsizlikka aslo yo'l qo'yib bo'lmaydi. Ishni tartibli, puxta va qonun qoidalariga ko'ra bajarish kerak.
8. Ishga kerakli bo'lmagan yoki ishlatib bo'lingan radioaktiv elementlarni tezlikda ularni saqlash uchun ajratilgan maxsus joylarga olib borib qo'yish kerak.
9. Radioaktiv manbalarni qo'l bilan ushlab mumkin emas. Ular maxsus qo'lqoplar yordamida olinadi.
10. Radioaktiv elementlarni olib yurish va joyiga qo'yish ishlari o'qituvchi tomonidan amalga oshiriladi. Talabaga ruxsat berilmaydi!
11. Talabalarga, tajriba olib borilayotgan joydagi radioaktiv elementlarga tegishga ruxsat berilmaydi.
12. Ishni bajarib bo'lgandan keyin radioaktiv elementlarni detektor ustida qoldirmaslik kerak.
13. Radioaktiv manbalarni yo'qolishiga aslo yo'l qo'yib bo'lmaydi. Ular bilan juda extiyotkorlik bilan ishlash lozim.
14. Tajriba ishlari bajarib bo'lingandan keyin elektr asboblarni tok tarmog'idan o'chirish kerak.
15. Ish joyini tartibli holatiga keltiring, narsalarni o'z joylariga olib borib qo'ying.

**Qisqacha qilib aytganda, o'qituvchining ko'rsatmalariga to'liq amal qiling!**

Tajriba ishlarini yaxshi bajarishlaringiz uchun omadlar tilaymiz!

# I BOB. YADRO FIZIKASIDA TASODIFIY HODISALAR

## 1. Statistik taqsimot qonunlari va ularning vazifalari

Yadro fizikasida sodir bo'ladigan jarayonlarning ko'pchiligi tasodifiy hodisalar turkumiga kiradi. Radioaktiv izotoplarning parchalanishi natijasida hosil bo'luvchi zarrachalar ham tasodifiy hodisalar yordamida tushuntirib beriladi. Nurlanishlarni aniq bir umumiy qonuniyat bo'yicha tushuntirib bo'lmaydi. Lekin olib borilgan tajribalardan shu narsa ma'lum bo'ldiki, ularni ham ma'lum bir qonuniyatlar asosida ifodalash mumkin ekan. Nurlanish manbaidan chiqayotgan zarrachani qaysi vaqtda va qaysi yo'nalishda chiqishi noma'lumdur. Ehtimollik nazariyasiga ko'ra zarrachaning chiqishi ma'lum vaqt oraligida ro'y beradi. Demak tasodifiy hodisalar ehtimollik nazariyasi asosida tushuntiriladi. Turli tipdagi zarrachalarni qayd qiluvchi detektorlar tasodifiy zarrachalarni qayd qiladi va ularga mos keluvchi signallarni hosil qiladi. Yadro fizikasi tajriba qurilmalarida detektorlar asosiy vazifalardan birini bajaradi.

Hozirgi vaqtda tasodifiy hodisalarni tushuntirib beruvchi bir qator taqsimotlar ishlab chiqilgan. Quyida yadro fizikasi sohasida ishlatiladigan tasodifiy hodisalar taqsimotlari bilan qisqacha tanishib chiqamiz. Ularga quyidagilar kiradi: Gauss taqsimoti; Puasson taqsimoti; eksponensial taqsimot; Maksvell taqsimoti; binomal taqsimoti va boshqalar. Bulardan Gauss va Puasson taqsimotlariga kengroq to'xtalib o'tamiz. Yadro jarayonlarni o'rganishda taqsimot qonunini to'g'ri tanlash asosiy vazifalardan biridir. Detektorlarda sodir bo'ladigan jarayonlarga Puasson taqsimotini qo'llash o'rinnlidir. Radioaktiv elementlarning yemirilish jarayoni esa eksponensial taqsimot orqali tushuntirib beriladi. Detektorda qayd qilinayotgan zarrachalarni qanday turda bo'lishidan qat'iy nazar ularni fazoviy va vaqt bo'yicha taqsimot qonunlarini bilishga to'g'ri keladi. Detektorga kelib tushayotgan zarrachalarning o'rtacha qiymati va o'rtacha qiymat dispersiyasini topishda ham taqsimot qonunlari ishlatiladi. Detektorning yuzasiga zarracha kelib tushishi yoki kelib tushmasligi mumkin. Bu tasodifiy hodisadir.

Taqsimot qonunlari yordamida o'lchashdagi hatoliklar baholanadi. Dispersiya va o'rtacha kvadratik chetlashishlar aniqlanadi.

### 1.1. Gauss taqsimoti

Tajriba orqali o'lchanayotgan fizik kattalikning qiymati doimo haqiqiy qiymatiga nisbatan ma'lum qiymatga chetlashgan bo'ladi. Bu chetlashish fizik

kattalikni o'lchash davrida yo'l qo'yilgan xatoliklar hisobiga yuz beradi. O'lchashdagi hatoliklar tasodifiy va sistematik hatoliklar yig'indisidan iborat bo'ladi. Tasodifiy chetlanish tufayli yuzaga kelgan xatolik, tasodifiy kattaliklar uchun o'rinli bo'lgan Gauss taqsimot qonuniga bo'ysunadi. Bu taqsimot normal taqsimot ham deyiladi va u K.F. Gauss (1777-1855) tomonidan ishlab chiqilgan. Ushbu qonunga binoan tajribada o'lchanayotgan  $x$  kattalik qiymatining  $x, x + dx$  sohaoraligida bo'lish ehtimolligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (1)$$

bu yerda  $a$  -  $x$  kattalikning matematik kutilishi,  $\sigma^2$  - "o'lchanayotgan kattalikning dispersiyasi" deb nomlanuvchi kattalik bo'lib, uni ko'pincha  $D(x)$  orqali belgilanadi.  $D(x)$  -  $x$  "tasodifiy kattalik dispersiyasining" qisqa ko'rinishdagi yozilishidir (funktional bog'lanishni ifodalamaydi). Dispersiya, bu o'lchangan kattalik qiymatini haqiqiy qiymatiga nisbatan o'rtacha kvadratik chetlanishini ifodalaydi:

$$D(x) = \overline{(x-a)^2} = \int_{-\infty}^{\infty} (x-a)^2 W(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} (x-a)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = \sigma^2 \quad (2)$$

Dispersiya eksperimental qo'rilma va o'chash metodikasining harakteristikasi hisoblanadi. O'lchashdagi xatolik qanchalik katta bo'lsa (katta chetlanish), dispersiya shunchalik katta bo'ladi.  $\sigma = \sqrt{D(x)}$  kattaligi tasodifiy kattaliklarning standart yoki o'rtacha kvadratik chetlanishi deyiladi. Tasodifiy kattalikning (yoki miqdorning) o'rtacha kvadratik chetlanishi deb, dispersiyadan olingan kvadrat ildizga aytiladi. Ko'pchilik hollarda dispersiya oldindan ma'lum bo'lmaydi va uni faqat o'lchash natijalarining tarqoqligidan aniqlash mumkin.

Taxminan, dispersiyani quyidagicha baholash mumkin, o'lchash natijalarining o'rtacha qiymatidan o'rtacha kvadratik chetlanishni ifodalaydi.

$$\sigma^2 = D(x) = \overline{(x-\bar{x})^2} = \left( \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right) / N, \quad (3)$$

bu yerda  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$  - o'lash seriyasidagi o'rtacha qiymat,  $N$  - o'lashlar soni. Aniq kattalikka eng yaxshi yaqinlashish "tuzatilgan" siljimagan dispersiya nomi bilan yuritiladi va u quyidagi qoida bo'yicha topiladi:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}. \quad (4)$$

Keng doiradagi statistik jarayonlarni o'rganishda Gauss taqsimoti yaxshi yaqinlashish hisoblanadi. Yadro fizikasidagi ko'p jarayonlarni, masalan zaryadlangan zarralarni modda orqali o'tganda elastik sochilishining burchak taqsimotini, yarim o'tkazgichli detektorda impulslarning amplituda bo'yicha taqsimotini va h.k. o'rganish Gauss taqsimoti orqali amalga oshiriladi. Bu taqsimot yordamida tajribada yo'l qo'yilgan xatoliklar tahlil qilinadi.

Dispersiyani bilgan holda Gauss qonuni yordamida  $x$  tasodifiy kattalikni bir marta o'lchagandagi ishonchligini baholash mumkin, ya'ni qanday ehimollik bilan o'lchangan kattalikning haqiqiy qiymati  $\bar{x} + \Delta x$ ,  $\bar{x} - \Delta x$  oralig'ida yotadi degan savolga javob berish mumkin. Izlangan ehtimollik quyidagiga teng (integral belgisi ostidagi  $\alpha$  ni  $\bar{x}$  ga almashtiriladi):

$$F(x) = \int_{\bar{x}-\Delta x}^{\bar{x}+\Delta x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{\bar{x}-\Delta x}^{\bar{x}+\Delta x} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (5)$$

Yangi o'zgaruvchi kiritamiz  $y = \frac{x-\bar{x}}{\sigma\sqrt{2}} = \frac{\Delta x}{\sigma\sqrt{2}}$ . U holda (5) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$P\left(\frac{\Delta x}{\sigma\sqrt{2}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{\Delta x}{\sigma\sqrt{2}}} e^{-y^2} dy. \quad (6)$$

Ilovadagi jadvalda  $\Phi(t)$  Laplas funksiyasining qiymatlari keltirilgan bo'lib, bu bo'yicha haqiqiy qiymatning  $\bar{x}$  dan  $\bar{x} + \Delta x$  gacha bo'lgan intervalda bo'lish ehtimollikini topish mumkin.  $y$  o'zgaruvchi o'miga  $t = \frac{x-\bar{x}}{s} = \frac{Vx}{s}$  o'zgaruvchini kiritamiz. U holda izlanayotgan ehtimollik (5) tenglamaga asosan quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2p}} T_0 \int_0^t e^{-z^2/2} dz \quad (7)$$

$\bar{x} - \Delta x$  dan  $\bar{x} + \Delta x$  gacha bo'lgan intervalda ehtimollik shubhasiz ikki marta katta. "Gaussning hatolik integrali" deb nomlangan  $\Phi(t)$  integral jadvali ehtimollar nazariyasi kurslarida keltirilgan. Ushbu jadval yordamida quyidagilarni aniqlaymiz:

1-jadval. "Gaussning hatolik integrali" deb nomlangan  $\Phi(t)$  integral jadval

$\frac{\pm \Delta x}{\sigma}$	$2\Phi$	$1-2\Phi$
0	0	1
0.674	0.5	0.5
1.0	0.683	0.317
1.645	0.9	0.1
2.0	0.955	0.045
2.576	0.99	0.01
3.0	0.997	0.0027
3.291	0.999	0.001
3.89	0.9999	0.0001
4.417	0.99999	0.00001

Taqsimot funksiyalarini hisoblash uchun MathCAD, Matlab paketlaridan foydalanish qo'laydir.

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, 68% ehtimollikda kattalikning haqiqiy qiymati, o'lchash natijalaridan bitta o'rtacha kvadratik xatolikka farq qiladi, 95% ehtimollikda ikkita o'rtacha kvadratik xatolikka farq qiladi, 99,7% esa 3 ta o'rtacha kvadratik xatolikka farq qiladi. Tajribada o'lchangankattaliklarning qiymatlari hamma vaqt uning xatoliklari bilan birga ko'rsatiladi. Masalan, o'lchangan vaqt kattaligining qiymati  $T=2,25 \pm 0,04$  min (0,04 – o'rtacha kvadratik xatolik). Yuqorida aytib o'tilgan bu mutlaqo o'lchash xatoligi 0,04

min dan oshib ketmaydi degani emas, aksincha, katta xatolik ehtimolliki ancha katta – 32%. O'lchash natijalaridan xulosa qilib,

$\sigma$  standart chetlanishdan tashqari yana ehtimollik  $(Vx)_{eh}$  va o'rtacha  $(Vx)_{or}$  chetlanishlardan ham ko'p foydalaniladi. Ehtimollik chetlanish deb o'rtacha qiymatdan shunday chetlanishga aytiladiki, bunda tasodifiy kattalikning  $\bar{x} \pm (Vx)_{eh}$  chegarada topilish ehimolligi 12 ga teng bo'ladi. Standart chetlanish -  $\sigma$  va ehtimollik chetlanishlar -  $(Vx)_{eh}$  orasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$(Vx)_{eh} = 0.674 s . \quad (8)$$

O'rtacha chetlanish deb hamma yuz berishi mumkin bo'lgan chetlanishlar absolyut kattaliklarining o'rtacha qiymatiga aytiladi. O'rtacha chetlanish bilan standart chetlanish orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$(Vx)_{or} = 0.798 s . \quad (9)$$

Tasodifiy kattalik qo'p marta o'lchansa, kattalikning o'rtacha qiymati, haqiqiy qiymatidan chetlashishi kichik bo'ladi. Agar o'lchashlar  $N$  marta takrorlangan bo'lsa, o'lchanayotgan kattalikning o'rtacha qiymati quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\bar{x} = \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) / N, \quad (10)$$

(10)- ifoda Gauss taqsimotiga bo'ysunadi va uning dispersiyasi  $x$  tasodifiy kattalik  $s^2$  dispersiyasidan  $N$  marta kichik bo'ladi:

$$\sigma^2(\bar{x}) = D(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{N} = \frac{D(x)}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}. \quad (11)$$

$s(\bar{x})$  va  $s(x)$  kattaliklar bir-biridan tubdan farq qiladi. O'lchashlar sonining ko'paytirilishida, o'lchanayotgan  $x$  kattaligining o'rtacha qiymatida  $s(\bar{x})$  o'rtacha kvadratik xatolikni kamayib borishi kuzatiladi.  $s(x)$  kattaligi esa standart chetlanish hisoblanib, fizik jarayonning o'zi bilan aniqlanadi va o'lchashlar soniga bog'liq bo'lmaydi. O'lchash natijalari ko'pincha quyidagicha yoziladi:

$$x = \bar{x} \pm Vx$$

bunda 0,68 ehtimollik yoki ishonchlik bilan o'lchanayotgan  $x$  kattalikning haqiqiy qiymati  $\bar{x} \pm s(\bar{x})$  intervalda yotadi deb faraz qilinadi. Agar  $Vx$  interval  $2s(\bar{x})$  gacha oshirilsa, ushbu ehtimollik 0,95 gacha oshadi.

## 1.2. Statistika xatolik. Puasson taqsimoti

Tajribada o'lchanayotgan kattaliklarda uchraydigan xatoliklardan biri statistika xatolik hisoblanadi. Bu xatolik o'lchash asboblarning mukammalligi va aniqliklariga bog'liq bo'lmaydi, faqat o'lchanayotgan kattalikning ehtimollik xususiyatiga bog'liq bo'ladi. Statistika xatolik bu o'lchanayotgan kattalikning o'rtacha qiymati atrofidagi tebranishidir. Zarralar soni yoki unga bog'liq bo'lgan kattaliklar o'lchaganda, bu tebranishlar modda atomi strukturasi diskret bo'lishidir. Agar kam sonli zarralar bilan ish ko'rilsa, bu xatolik kichik bo'ladi. Statistika xatolik yadro yemirilishlarida ko'proq namayon bo'ladi. Chunki yadro yemirilishlari statistika qonunlarga bo'ysunadi, ya'ni ehtimollik tabiatiga egadir. Agar schetchikka (sanagich, zarralarni qayd qiluvchi asbob) quvvati kichik bo'lgan zarrachalar oqimi tushayotgan bo'lsa, xatolikning asosiy qismini tebranishlar (fluktuatsiya) yuzaga keltiradi. Bunda boshqa tasodifiy xatoliklarni hisobga olmasa ham bo'ladi. Bu jarayonlarni Puasson formulasi orqali ifodalash va dispersiyani nazariy yo'l bilan hisoblash mumkin.  $t$  vaqt intervalida schetchikka (yoki sanagich) kelib tushgan zarralarning o'rtacha soni  $\bar{N}$  ga teng bo'lsin. U holda  $t$ -intervalda sanagichga  $N$  zarraning kelib tushish ehtimolligi Puasson formulasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$P(N) = e^{-\bar{N}} \frac{\bar{N}^N}{N!}. \quad (12)$$

$D(N)$  dispersiyani, ya'ni  $N$  ning  $\bar{N}$  o'rtacha qiymatidan o'rtacha kvadratik chetlanishini hisoblaymiz:

$$D(N) = \sum_{N=0}^{\infty} (N - \bar{N})^2 P(N) = \bar{N}. \quad (13)$$

Shunday qilib, ba'zi bir vaqt intervalida uchib o'tgan zarralar sonining dispersiyasi  $t$  interval ichida uchib o'tgan zarralarning o'rtacha soniga teng bo'lar ekan. Odatda, haqiqiy o'rtacha qiymat  $\bar{N}$  noma'lum bo'ladi shu sababli uni taxminan quyidagigacha teng deb olish mumkin:

$$D(N) \approx N. \quad (14)$$

O'rtacha kvadratik xato zarralar sonidan olingan kvadrat ildizga teng:

$$\sigma = \sqrt{D(\bar{N})} = \sqrt{\bar{N}} \approx \sqrt{N}. \quad (15)$$

Bir marta o'lchashda olingan  $N$  sonini  $\bar{N} \pm \sqrt{N}$  sohada yotish ehtimolligi, ravshanki ehtimolliklar yig'indisiga teng:

$$P = e^{-\frac{\bar{N} + \sqrt{N}}{N}} \frac{\bar{N}^{\bar{N}}}{\bar{N}!} e^{\frac{\bar{N} - \sqrt{N}}{N}} \quad (16)$$

$\sqrt{N}/s$	$P$	$1 - P$
0	0	1.000
1	0.707	0.293
2	0.960	0.040
3	0.9976	0.0024

$N$  ning  $\bar{N}$  dan  $\sqrt{N}$  kattalikka farq qilish ehtimolligi  $(1 - P)$  ga teng bo'ladi.

Jadvalda  $\bar{N} = 100$  uchun  $P$  qiymatlari berilgan. Obarin  $s = \sqrt{\bar{N}} = 10$ .  $\bar{N} < 100$  bo'lganda  $P$  ehtimollik jadvalda keltirilgan qiymatlarda sezirali darajada farq bor.  $\bar{N} > 100$  bo'lganda esa bu farq katta emas.

Katta sondagi zarralar uchun (amalda  $\bar{N} \geq 20$ ) egriluvchi Puasson taqsimotining (diskret!) dispersiyasi,  $s^2 = N$  bo'lgan Gauss taqsimotidan (uzluksiz!) kam farq qiladi, ya'ni:

$$P(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N}} e^{-\frac{(N-\bar{N})^2}{2N}}. \quad (17)$$

Zarralar sonining ortishi bilan taqsimot egri chizig'ining kengligi ham ortadi, lekin uning ortishi  $\bar{N}$  qiymatining ortishiga nisbatan sekinroq bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda,  $s$  o'rtacha kvadratik xatolikning absolyut kattaligi  $\bar{N}$  oshishi bilan oshadi. Nisbiy hatolik  $\delta$  esa kamayadi. Nisbiy hatolik ( $\delta$ ) zarralar (qayd qilingan zarralar) sonidan olingan kvadrat ildizga teskari proporsional holatda bo'ladi: ya'ni,



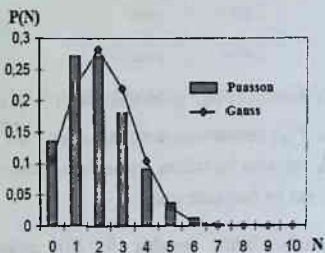
$$\delta = \frac{\sigma}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}. \quad (18)$$

(18)-ifodadan foydalanib, belgilangan aniqlikka tegishli bo'lgan qayd qilish lozim bo'lgan zarralar sonini hisoblash mumkin:

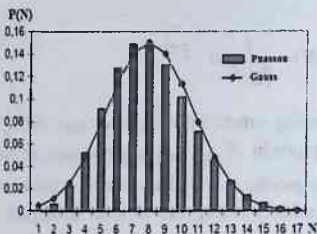
$$N = 1/\delta^2. \quad (19)$$

Shunday qilib, zarralarning o'rtacha sonini 10% aniqlik bilan o'lchash uchun detektor 100 ta zarrani qayd qilishi (yoki sanashi) zarur. Aniqlik 1% bo'lishi uchun  $10^4$  zarrani, 0,1% uchun esa  $10^6$  zarrani sanashi kerak bo'ladi.

$N = 1$  bo'lganda Puasson taqsimoti Gauss taqsimotiga o'tadi. 1.1- va 1.2.-rasmlarda bitta kuzatishdagi  $N$  parchalanishlar soni uchun Puasson va Gauss taqsimotlarining bir-biriga taqoslanishi ko'rsatilgan. 1.1-rasmda  $\bar{N} = 2$  uchun, 1.2-rasmda esa  $\bar{N} = 7$  holi uchun keltirilgan.



1.1-rasm.  $\bar{N} = 2$  uchun Puasson va Gauss taqsimotlari.



1.2-rasm.  $\bar{N} = 7$  uchun Puasson va Gauss taqsimotlari.

### 1.3. Puasson qonuni uchun taqribiy ifoda

$P(N)$  ehtimollikni (12) ifoda bo'yicha  $N$  va  $\bar{N}$  kattaliklarning uncha katta bo'lmagan qiymatlarida hisoblash qiyin emas.  $N$  ning katta qiymatlari uchun  $N!$  qiymatini Stirling formulasi bo'yicha topish mumkin:

$$N! = \sqrt{2\pi N} N^N e^{-N} \left(1 + \frac{1}{12N} + \frac{1}{288N^2} + \frac{1}{51840N^3} + \dots\right) \quad (20)$$

$N > 10$  dan katta bo'lganda formulaning faqat birinchi hadini ishlatish mumkin. (12) ifodaga Stirling ifodasidagi  $N!$  ni quyamiz va quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$P(N) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi N}} \left(\frac{\bar{N}}{N}\right)^N e^{(N-\bar{N})} \quad (21)$$

(21)-ifoda  $P(N)$  ehtimollikni hisoblash uchun juda qo'laydir. Puasson taqsimoti, (17) normal taqsimot bilan yaxshi approximationsiyalanadi agar quyidagi shart bajarilsa, ya'ni  $\bar{N} \gg 1$  va  $N$  tasodifiy kattalikning o'zgarish sohasi  $\left|\frac{N - \bar{N}}{\bar{N}}\right| = 1$  shart bilan cheklangan bo'lsa.

### 1.4. O'lchash xatoliklari va ularning turlari

Tajriba natijalarini tahlil qilishda ikki tushunchani bir-biridan farqlash lozim, ya'ni fizik kattaliklarning haqiqiy qiymati va ularni o'lchash natijasida olingan qiymatlari.

Fizik kattaliklarning haqiqiy qiymatlari bu berilgan ob'ektning xususiyatlarini miqdor va sifat jihatidan ideal aks ettiruvchi qiymatlaridir. Ular bizning bilish vositalarimizga bog'liq bo'lmagan absolyut haqiqat bo'lib, biz ularni son qiymatlari ko'rinishida ifodalashga harakat qilamiz.

O'lchash natijalari bu bizning bilish maxsulimizdir. O'lchash yo'li bilan aniqlangan fizik kattaliklarning qiymatlari o'lchash usuliga, texnik vositalarga, shuningdek, ko'zatuvchining sezgi organlariga ham bog'liq bo'ladi.

O'lchash natijasini  $X$  bilan, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatini  $Q$  bilan belgilasak ular orasidagi farq  $\Delta$  o'lchash xatoligi deyiladi:

$$\Delta = X - Q. \quad (1)$$

O'lchanayotgan kattalikning  $Q$  haqiqiy qiymati noma'lum bo'lganligi uchun o'lchash xatoligi ham noma'lum bo'ladi. Shu sababli (1) formuladagi haqiqiy qiymati o'miga uning amaldagi qiymatini qo'yamiz.

Fizik kattalikning amaldagi qiymati deb shunday qiymatga aytiladiki, bu kattalik tajribada aniqlangan va haqiqiy qiymatga juda yaqin bo'lib, bu kattalikni haqiqiy qiymat sifatida qo'llash mumkin.

O'lchash natijasida aniqlangan fizik kattalik asosan ikkita xatolik orqali beriladi (natijalami ko'rsatishda), ya'ni absolyut va nisbiy xatoliklar.

**Absolyut xatolik** deb, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan tajribada o'lchangan qiymatining ayirmasiga teng bo'lgan kattalikka aytiladi:

$$\Delta x = x_0 - x,$$

bu yerda  $x_0$  - haqiqiy qiymati,  $x$  - o'lchash natijasida olingan qiymati.

Absolyut xatolik o'lchash natijasida olingan qiymatning haqiqiy qiymatga nisbatan kichik yoki katta bo'lishiga bog'liq holda musbat yoki manfiy ishorali bo'lishi mumkin.

**Nisbiy xatolik** deb absolyut xatolikning o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy yoki o'lchangan qiymatiga nisbatiga aytiladi. Nisbiy xatolik foizlarda ifodalanadi:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100\% \text{ yoki } \varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%.$$

Tajriba orqali fizik kattalikning qiymati o'lchaganda doimo xatolikka yo'l qo'yiladi. O'lchangan natijalarga ko'rsatgan ta'siriga qarab, bu xatolik ikki turga bo'linadi.

1) Aynan bitta kattalik qayta o'lchaganda nomuntazam o'zgaradigan tasoddiy xatolik (qo'pol xatoliklar va kuzatuvchining xatolari ham);

2) Qayta o'lchaganda biror qonuniyat bo'yicha o'zgaruvchi yoki o'zgarmasdan qoluvchi sistematik xatolik.

Shunday qilib, yig'indi xatolikni quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:  
 $\Delta = \delta + \theta$ , bu yerda  $\delta$  - tasodifiy xatolik,  $\theta$  - sistematik xatolik.

Tasodifiy xatolik bu oldindan hisobga olinishi qiyin bo'lgan va har bir o'lchashga ta'siri turlicha bo'lgan tasodifiy sabablarga ko'ra yuz beradigan xatoliklardir.

Sistematik xatoliklarni kelib chiqish sabablariga ko'ra sinflarga ajratish mumkin.

Sistematik xatoliklar to'rtta turga ajratiladi:

1. **O'lchash usuliga tegishli xatolik** yoki nazariy xatolik. Bu xatolik tajriba ishlarida ham va nazariy hisob ishlarida ham uchraydi. Takomillashtirilgan o'lchash usulini qo'llash orqali bu xatolikni kamaytirishga erishish mumkin. Lekin batomom yo'q qilib bo'lmaydi. Bu xatolik qabul qilingan nazariyaning noto'g'ri yoki yetarli darajada ishlab chiqilmaganligidan yoki o'lchashlar o'tkazilganda yo'l qo'yilgan soddalashtirishlardan kelib chiqadi.

2. **Instrumental xatolik.** Tajribada ishlatilayotgan o'lchash vositalarining bergan xatoliklaridir. Instrumental xatoliklarga o'lchash vositalarining tarkibiy sxemasini yaratilishidagi *sxemalar xatoligi* va uni yig'ishda ishtirok qilgan elementlarning xususiyatlarigategishli bo'lgan va elementlarning mukammal ishlab chiqilmaganligi orqali kelib chiqadigan *texnologik xatoliklardan* iborat bo'ladi.

3. O'lchash vositalardan noto'g'ri foydalanish, qurilma xususiyatlarini o'zaro mos kelmasligi, tashqi temperaturaviy, gravitatsion, radiatsion va boshqa maydonlarning ta'siri; kuchlanish manbalarining nostabilligi, shuningdek, operatorning noto'g'ri qilgan harakatlari natijasida kelib chiqadigan xatolik.

4. Tajribani olib boruvchi xodimningba'zi sabablarga ko'ra qilgan *shaxsiy xatoliklari*. Masalan, signalni qayd qilishda kech qolishi yoki ilgari ketishi, asbob shkalasi bo'limalarining ulishini noto'g'ri aniqlashdagi xatoliklar va h.k.

O'lchash jarayonida namoyon bo'ladigan xususiyatlargako'ra sistematik xatoliklar domiy va o'zgaruvchan sistematik xatoliklarga bo'linadi.

Sistematik xatoliklarga xatto ba'zi bir fizik kattaliklarning qiymatini jadvaldan olganda(zichlik, yarim yemirilish davri, yemirilish domiysi va h.k.),

ularni yaxlitlaganda, shuningdek, hisoblash formulasiga kiruvchi ba'zi domiyliklarning taqribiy qiymatlarini olganda ham yo'l qo'yilishi mumkin.

Sistematik xatoliklarga qarshi kurash metodi, sistematik xatoliklarni aniqlash va so'ngra uning to'liq yoki qisman kompensatsiyalash yo'li bilan kamaytirish yoki istisno qilishdan iborat. O'lchash metodlarini takomillashtirish, yuqori sifatli materiallar va zamonaviy texnologiyalarning qo'llanilishi sistematik xatoliklarni shu qadar kamaytiradiki, o'lchash natijalarini qayta ishlash jarayonida ularni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shuning uchun bundan buyon sistematik xatoliklar u yoki bu usullar bilan chetlatilgan deb hisoblaymiz va faqat tasodifiy xatoliklarni ko'rib chiqamiz.

Bunday sharoitda  $\delta$  tasodifiy xatolik, tuzatilgan (yoki tuzatma)  $X$  o'lchash natijasida aniqlangan qiymatdan, o'lchanayotgan kattalikning  $Q$  haqiqiy qiymatini ayirmasiga teng bo'lgan kattalikdir:

$$\delta = X - Q.$$

Bu yerda  $X$  o'lchash natijasi bo'lib, unda sistematik xatoliklar ishtirok qilmaydi.

Tasodifiy kattaliklarni tavsiflashning eng universal usuli bu ularning integral yoki differensial taqsimot funksiyalarini izlashdan iborat.

### 1.5. O'lchanayotgan kattaliklar funksiyasining xatosi

Faraz qilamiz  $x$ ,  $y$  kattaliklarning dispersiyalarini  $\sigma_x^2$  va  $\sigma_y^2$  va o'rtacha qiymatlarini  $\bar{x}$  va  $\bar{y}$  deb belgilaylik. Bu kattaliklar bir-biriga o'zaro bog'liq bo'lmagan tasodifiy kattaliklar bo'lsin. Bu kattaliklarning funksiyasi  $f(x, y)$  ko'rinishida bo'lsin. Ushbu funksiya qiymatlari o'zining o'rtacha kattaligi atrofida qanday qonun bo'yicha taqsimlanadi va uning  $D[f(x, y)]$  dispersiyasi qanday bo'lishini ko'rib chiqamiz. Mazkur masalalarni hal qilish uchun bizga quyidagi oddiy teoremlar zarur bo'ladi:

1. Tasodifiy kattalikni doimiy songa ko'paytirganda yoki unga doimiy sonni qo'shganda faqat masshtab o'zgaradi va sanoq boshi siljiydi. Ushbu amaldan keyin taqsimot funksiyasi, Gauss taqsimoti bo'lib qoladi. Ammo, bunda Gauss taqsimoti boshqa o'rtacha qiymatga va dispersiyaga ega bo'ladi.

2. Tasodifiy kattalikka domiy sonning qo'shilishida uning dispersiyasi o'zgarmasdan qoladi.

$$D(x+c) = \overline{[(x+c) - \overline{(x+c)}]^2} = \overline{(x-\bar{x})^2} = D(x). \quad (22)$$

3. Tasodifiy kattalikni o'zgarmas (domiy) songa ko'paytirilganda dispersiya ushbu sonning kvadratiga proporsional ravishda o'zgaradi.

$$D(cx) = \overline{(cx - c\bar{x})^2} = c^2 \overline{(x-\bar{x})^2} = c^2 D(x). \quad (23)$$

4. Ehtimollar nazariyasi bo'yicha isbot qilinadiki, Gauss taqsimotiga bo'ysunuvchi ikkita o'zaro bog'liq bo'lmagan tasodifiy kattaliklarning yig'indisi ham shu taqsimotga bo'ysunadi, bunda yig'indi dispersiyani ham hisobga olish kerak bo'ladi. Ushbu qaroming (yoki) oxirgi qismini isbot qilamiz:

$$D(x+y) = \overline{[(x+y) - \overline{(x+y)}]^2} = \overline{(x-\bar{x})^2} + \overline{(y-\bar{y})^2} - 2\overline{(x-\bar{x})(y-\bar{y})}. \quad (24)$$

$(x-\bar{x})$  va  $(y-\bar{y})$  chetlanishlar o'zaro bog'liq emas (erkli) va ular ixtiyoriy ishorani qabul qilishi mumkin bo'lsin, shuning uchun o'ngdagi oxirgi had nolga teng. Buni e'tiborga olsak, biz quyidagini ega bo'lamiz:

$$D(x+y) = D(x) + D(y). \quad (25)$$

Agar xatolik yetarlicha kichik bo'lsa, u holda  $f(x,y)$  funksiyani  $\bar{x}$  va  $\bar{y}$  o'rtacha qiymatlar atrofida Teylor qatoriga yoyish va yoyilmaning faqat birinchi hadini qoldirish mumkin:

$$f(x,y) = f(\bar{x}, \bar{y}) + \frac{\delta f}{\delta \bar{x}}(x-\bar{x}) + \frac{\delta f}{\delta \bar{y}}(y-\bar{y}). \quad (26)$$

Bu yerda  $\frac{\delta f}{\delta \bar{x}}$  va  $\frac{\delta f}{\delta \bar{y}}$  ifodalar  $x = \bar{x}$  va  $y = \bar{y}$  dagi hosila qiymatlarini bildiradi.

Bu ifodani o'rtalashtirib, quyidagi ega bo'lamiz:

$$\overline{f(x,y)} = f(\bar{x}, \bar{y}).$$

Yuqorida keltirilgan (1-4) teoremlardan  $f(x,y)$  funksiya  $f(\bar{x},\bar{y})$  o'rtacha qiymati atrofidagi Gauss taqsimotiga ega bo'lib, uning dispersiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$D[f(x,y)] = \left(\frac{\delta f}{\delta \bar{x}}\right)^2 D(x) + \left(\frac{\delta f}{\delta \bar{y}}\right)^2 D(y), \quad (27)$$

yoki boshqacha belgilashlar orqali keltirsak,

$$\sigma_f^2 = \left(\frac{\delta f}{\delta \bar{x}}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta \bar{y}}\right)^2 \sigma_y^2. \quad (28)$$

Binobarin, funksiyaning o'rtacha kvadratik xatoligi:

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta \bar{x}}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\delta f}{\delta \bar{y}}\right)^2 \sigma_y^2}. \quad (29)$$

Bu yerdan ikkita kattalikning yig'indisi yoki ayrimasi uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\sigma_{x \pm y} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}, \quad (30)$$

ya'ni, yig'indi yoki ayrimaning xatoligi, alohida xatoliklar kvadratlarining yig'indisidan olingan kvadrat ildizga teng. Amalda ko'pincha  $\frac{\delta f}{\delta \bar{x}} > \frac{\delta f}{\delta \bar{y}}$  deb qabul qilinadi.

(23)- ifodadan mutloq ravshan bo'lgan xulosa kelib chiqadi. Faraz qilamiz  $t$  vaqt davomida  $N$  ta zarra qayd qilingan bo'lsin, ya'ni vaqt birligidagi zarralar soni:

$$n = N/t. \quad (31)$$

$n$  sanashlar(qayd qilishlar) tezligining dispersiyasi va o'rtacha kvadratik xatoligi mos ravishda quyidagilarga teng bo'ladi:

$$D_n = D_N/t^2 = \sigma_N^2/t^2 = N/t^2 = nt/t^2 = n/t, \quad (32)$$

$$\sigma_n = \sqrt{n/l} \quad d_n = \frac{s_n}{n} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (33)$$

Faraz qilamiz,  $f(a,b,c)$  o'zaro bog'liq bo'lmagan (erkli)  $a, b, c$  o'zgaruvchilar funksiyasi bo'lsin. O'rtacha kvadratik chetlanishni belgilashda ko'p qo'llaniladigan belgilashdan, ya'ni  $\sigma_f = \Delta f$  dan foydalanamiz. U holda  $f = a + b - c$  uchun xatolikni ko'chirish formulasiga asosan quyidagi ifodalarni olamiz:

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta c)^2}, \quad (34)$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta c)^2}}{a + b - c}. \quad (35)$$

Agar  $f = \frac{a}{bc}$ , u holda

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{1}{bc}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{a}{b^2c}\right)^2 (\Delta b)^2 + \left(\frac{a}{bc^2}\right)^2 (\Delta c)^2}, \quad (36)$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2}. \quad (37)$$

$f = a^n$  uchun

$$\frac{VZ}{Z} = n \frac{Va}{a}. \quad (38)$$

$f = \ln a$  bo'lganda

$$Vf = \frac{Va}{a} \quad (39)$$

Agar  $f = e^a$  bo'lsa, u holda

$$\frac{Vf}{f} = Va \quad (40)$$



Masalan schetchikning (sanagichning) effektiv o'lik vaqti (o'lik vaqt – sanagich yoki detektor zarralami qayd qilmay turgan vaqti) quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$t = \frac{n_1 + n_2 - n_{1,2}}{2n_1n_2}, \quad (41)$$

Bu yerda  $n_1$  va  $n_2$  mos holda 1- va 2- radioaktiv manbalardan kelayotgan zarralarning sanash tezliklari,  $n_{1,2}$  – ikkala manbadan kelayotgan zarralarningsanoq tezligi. Sanoq tezliklari, ya'ni  $n_1, n_2, n_{1,2}$  kattaliklar va ulardagi o'lchashdagi statistik xatolamibilgan holda,  $t$  o'lik vaqtni aniqlanishdagi xatolikni topamiz. Buning uchun  $n_1, n_2, n_{1,2}$  bo'yicha xususiy hosila olamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial n_1} = \frac{n_{1,2}}{2n_1n_2^2} - \frac{1}{2n_1^2}, \quad \frac{\partial t}{\partial n_2} = \frac{n_{1,2}}{2n_1n_2^2} - \frac{1}{2n_2^2}, \quad \frac{\partial t}{\partial n_{1,2}} = -\frac{1}{2n_1n_2},$$

bu ifodalarni (29) formulaga qo'yamiz va quyidagi ifodani olamiz:

$$Vt = \frac{1}{2n_1n_2} \sqrt{\frac{(n_{1,2} - n_2)^2}{n_1^2} (Vn_1)^2 + \frac{(n_{1,2} - n_1)^2}{n_2^2} (Vn_2)^2 + (Vn_{1,2})^2}. \quad (42)$$

(33)- ifodaga asosan  $\sigma_n = \sqrt{n/t}$  ekanligini va  $n_1, n_2, n_{1,2}$  sanoq tezliklarida o'lchash vaqtining bir xil ekanligini ( $t$ ) e'tiborga olib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$Vt = \frac{1}{2n_1n_2t^{1/2}} \sqrt{\frac{(n_{1,2} - n_2)^2}{n_1} + \frac{(n_{1,2} - n_1)^2}{n_2} + n_{1,2}} \text{ yoki} \quad (43)$$

$$Vt = \frac{t}{2N_1N_2} \sqrt{\frac{(N_{1,2} - N_2)^2}{N_1} + \frac{(N_{1,2} - N_1)^2}{N_2} + N_{1,2}}, \quad (44)$$

bu yerda  $N$  – sanalgan zarralar soni. Tanlangan sanash tezligida  $Vt : t^{-1/2}$ . Agar o'lchash sharoiti shunday tanlangan bo'lsaki, bunda  $n_1; n_2; n_{1,2}$  bajarilsa, unda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Vt = \frac{1}{2n^2 t^{1/2}} \sqrt{\frac{2(n_{1,2} - n)^2}{n} + n_{1,2}} \quad (45)$$

Agar  $n_{1,2}$  kattalik  $n_1 + n_2$  kattalikdan kam farq qilsa, baholash sifatida (oshirilgan) quyidagi munosabatni qo'llash mumkin:

$$Vt \gg \frac{1}{n^2} \sqrt{\frac{n}{t}} = \frac{Vn}{n^2} = \frac{1}{n} dn, \quad (46)$$

$$\frac{Vt}{t} \gg \frac{2}{2n - n_{1,2}} Vn = \frac{2n}{2n - n_{1,2}} dn. \quad (47)$$

O'lchashlarda statistik xatolik ustunlik qilayotgan bo'lsa, o'lchash xatoligini kamaytirish uchun alohida o'lchashlar orasidagi vaqtni to'g'ri taqsimlash muhim ahamiyatga egadir. Faraz qilaylik,  $n_1, n_2, n_3$  sanoq tezliklari mos holda  $t_1, t_2, t_3$  vaqtlar davomida o'lchanayotgan bo'lsin. (28)- ifodaga binoan izlanayotgan  $F(n_1, n_2, n_3)$  funksiya dispersiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$s^2 = \left( \frac{dF}{dn_1} \right)^2 \frac{n_1}{t_1} + \left( \frac{dF}{dn_2} \right)^2 \frac{n_2}{t_2} + \left( \frac{dF}{dn_3} \right)^2 \frac{n_3}{t_3}$$

$t_1 + t_2 + t_3 = T$  ( $T$  - to'liq o'lchash vaqti) shartda variatsion metod bilan minimum  $s$  izlanadi:

$$d(s^2 + lT) = \sum \left( \frac{dF}{dn_i} \right)^2 \frac{n_i}{t_i^2} + l \frac{dt_i}{dt_i} = 0.$$

Chunki  $dt_i$  variatsiyalar erkli (bog'liq emas),  $dt_i$  dagi hamma koeffitsientlar nolga teng, ya'ni:

$$\left( \frac{dF}{dn_i} \right)^2 \frac{n_i}{t_i^2} = l, \quad t_i = \frac{1}{\sqrt{l}} \left( \frac{dF}{dn_i} \right) \sqrt{n_i}$$

Shunday qilib, agar o'lchashlar orasidagi vaqt taqsimoti quyidagi qonun bo'yicha bo'lsa, xato minimal bo'ladi:

$$t_1 : t_2 : t_3 = \left| \frac{dF}{dn_1} \right| \sqrt{n_1} : \left| \frac{dF}{dn_2} \right| \sqrt{n_2} : \left| \frac{dF}{dn_3} \right| \sqrt{n_3} \quad (48)$$

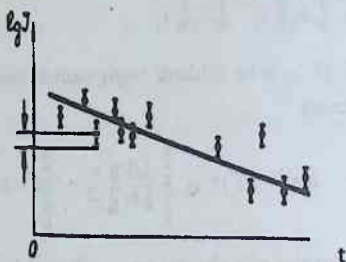
Masalan, radionuklid bilan o'lchagandagi sanoq tezligi  $n = 900 \text{ muh}^{-1}$ , fonni o'lchashdagi sanoq tezligi esa  $n_\phi = 100 \text{ muh}^{-1}$ . Radionuklidning foydali sanoq tezligi quyidagi  $F(n, n_\phi) = n - n_\phi$  ifoda yordamida o'lchanadi. Yuqorida keltirilgan (48)- ifodaga asosan o'lchash vaqtlarining nisbati quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$t_1 : t_2 = \sqrt{n} : \sqrt{n_\phi} = 3 : 1$$

Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, radionuklid bilan o'lchangandagi o'lchash vaqti, fonni o'lchash vaqtiga nisbatan 3 marta ko'p bo'ladi.

O'lchash natijalar berilganda vaqt bo'yicha o'rtacha kvadratik xatoliklarini ham ko'rsatish lozim.

Agar o'lchangan tajriba natijalari tahlil qilinishi lozim bo'lsa, (29)-ifoda orqali xatoliklarni hisoblash mumkin. Bu ifodadan foydalanish sharti: o'rtacha kvadratik xatoliklar yetarli darajada kichik bo'lsin, bunda



1-Rasm. Radioaktivning yemirilish chizig'i

o'rta qiymatga nisbatan Teylor qatoriga ajratilgan funksiyani yuqori qator xadlarini e'tiborga olmaslik mumkin. Agar natijalar grafik shaklida berilayotgan bo'lsa, har bir nuqta uchun o'rtacha kvadratik xatolik 1-rasmda ko'rsatilganidek berilishi lozim.

## 1.6. Statistik gipotezalarni tekshirish va muvofiqlik kriteriyasi (muvofiqlik alomati)

Ekspirimental ma'lumotlarni qayta ishlashning turli bosqichlarida noma'lum parametrlar qiymati va tabiatiga nisbatan ba'zi bir gipotezalarni aniq ifoda qilish va eksperimental tekshirishga zaruriyat paydo bo'ladi. Izhor qilingan gipotezani mavjud ma'lumotlar (tajribada olingan ma'lumotlar) bilan solishtirish tartibi, u yoki bu statistik kriteriya yordamida amalga oshiriladi va gipotezani statistik tekshirish deyiladi.

*Statistik gipoteza* deb noma'lum taqsimotning ko'rinishi haqida yoki ma'lum taqsimotning parametrlari haqidagi gipotezaga aytiladi.

Masalan, quyidagi gipotezalar statistik gipoteza bo'ladi:

- 1) bosh to'plam Puasson qonuni bo'yicha taqsimlangan;
- 2) ikkita normal to'plamning dispersiyasi o'zaro teng.

Birinchi gipotezada noma'lum taqsimotning ko'rinishi haqida, ikkinchisida ikkita ma'lum taqsimotning parametrlari haqida taxmin qilingan.

### 1.6.1. Pirsonning muvofiqlik kriteriyasi

Biror  $x$  doimiy tasodifiy kattalikni o'lchash natijasida  $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_k$  qiymatlar olingan bo'lib, ularning har biri mos holda  $n_1, n_2, \dots, n_1, \dots, n_k$  marta kuzatiladi. Tasodifiy sonlar kuzatiladigan tanlanmasi umumiy hajmi  $N = \sum_{i=1}^k n_i$  ga teng bo'ladi. Faraz qilamiz, kuzatilayotgan tasodifiy kattaliklar taqsimot qonuni qandaydir aniq ko'rinishda, masalan Puasson, Gaussva h.k. ko'rinishida bo'lsin. Bu farazni  $\alpha$  qiymatdorlik darajasida tekshirish zarur. Kuzatilayotgan tanlanmaning faraz qilingan taqsimotga ta'luqli ekanligini tekshirishning statistik kriteriyasi sifatida tasodifiy kattalikdan foydalaniladi:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_i^{nazar})^2}{n_i^{nazar}} = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - N p_i^{nazar})^2}{N p_i^{nazar}} = N \sum_{i=1}^k \frac{(p_i^{exper} - p_i^{nazar})^2}{p_i^{nazar}}, \quad (49)$$

bu yerda  $p_i^{nazar}$  – tekshirilayotgan taqsimot qonunidan kelib chiqadigan qiymati  $x_i$  bo'lgan tasodifiy kattalikni kuzatish nazariy ehtimolligi;  $p_i^{exper} = n_i/N$  – eksperimentda olingan tasodifiy kattalikni kuzatish ehtimolligi. Bunda  $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_k$  tanlanma qanday bosh to'plamga tegishli ekanligining farqi yo'q.

Yetarlicha katta hajmdagi tanlanmada  $\chi^2$  tasodifiy kattalik erkinlik darajasi  $f$  bo'lgan  $p_f(\chi^2)$  taqsimot qonuniga bo'ysunadi. Bunda  $\chi^2$  kattalik o'zgaruvchi sifatida qabul qilinadi.  $\chi^2$ -kriteriya jadvalida turli  $a$  qiymatdorlik darajasi uchun  $\chi_{\text{xp}}^2$  jadvallangan qiymatlari quyidagi shart bo'yicha topiladi:

$$\int_{\chi_{\text{xp}}^2}^{\infty} p_f(\chi^2) d(\chi^2) = a. \quad (50)$$

Bu yerdan berilgan  $f$  erkinlik darajasida  $\chi^2$  i  $\chi_{\text{xp}}^2$  bo'lish ehtimolligi  $a$  teng ekanligi kelib chiqadi.

$\chi^2$ -taqsimotning erkinlik darajasi soni quyidagi shartdan topiladi:

$$f = k - s - 1, \quad (51)$$

bu yerda  $k$  - tanlamadagi tasodifiy kattaliklar soni;  $s$  - taxmin qilinayotgan taqsimotning tanlanma ma'lumotlari bo'yicha baholangan parametrlar soni. Masalan, Puasson qonuni uchun  $s=1$  va  $f=k-2$ , Gauss uchun  $s=2$ ,  $f=k-3$  va h.k. Ravshanki, eksperimental va nazariy ehtimolliklar qanchalik kam farq qilsa,  $\chi^2$  kriteriyaning kattaligi ham shuncha kichik va demak, u ma'lum darajada eksperimental va nazariy taqsimotlarning yaqinligini xarakterlaydi. Bundan qabul qilingan gipotezaning haqiqatga yaqinligi ayon bo'ladi. Olingan  $\chi^2$  ning kichik qiymati mavjud tanlanma faraz qilingan taqsimot qonuniga tegishli ekanligini rad qilishga asos bo'la olmaydi.

Shuning uchun ushbu holda bir tomonlama tekshirish kriteriyasi qo'llaniladi - eksperimentda olingan  $\chi_{\text{max}}^2$  qiymat  $\chi^2$ -kriteriya jadvalidagi

$\chi^2$  katta qiymatlar sohasiga tushmasligi lozim. Agar  $\chi_{\text{max}}^2 < \chi_{\text{xp}}^2$  bo'lsa,  $\chi_{\text{xp}}^2$  qabul qilingan  $a$  qiymatdorlik darajasi mos keladi va gipoteza qabul qilinadi. Demak, agar  $\chi_{\text{max}}^2 < \chi_{\text{xp}}^2$  bo'lsa, gipotezani rad etishga asos yo'q. Agar  $\chi_{\text{max}}^2 \geq \chi_{\text{xp}}^2$  bo'lsa, gipoteza rad qilinadi.

$\chi^2$ - kriteriya jadvali chekli erkinlik darajalari soni uchun tuzilgan masalan,  $f_{\text{max}}$  ning ba'zi bir qiymatlarigacha. Katta hajmdagi tadqiq qilinayotgan tanlanmalar Pri bolshom ob'yome issleduemoy vyiborki, kogda

$(k - s - 1) > f_{\max}$ , tasodifiy kattaliklar qiymatlarining hamma diapozoni guruhlashishning  $m$  intervaliga bo'linadi. Intervallar soni 8 dan kam bo'lmashi va har bir intervalga  $x_i$  ning kamida 7+10 qiymati tushishi lozim. Tasodifiy kattalikning  $i$ -chi intervalga tushish nazariy ehtimolligi hisoblaniladi va ushbu intervaldagi  $n_i$  eksperimental nuqtalarning soni aniqlaniladi (sanaladi). Endi erkinlik darajalar soni  $f = m - s - 1$  va  $\chi^2$  ning qiymati quyidagi formula bilan hisoblaniladi:

$$\chi^2 = \sum_1^m \frac{(n_i - Np_i^{\text{nazariy}})^2}{Np_i^{\text{nazariy}}}, \quad (52)$$

bu yerda  $i$  indeks guruhlash intervali nomeriga tegishlidir.

### 1.6.2. Styudent kriteriyasi

Doimiy fizik kattalik  $x$  ni  $n$  marta o'lchash natijasida  $x_1, x_2, \dots, x_n$  qiymatlar olingan. Ushbu tanlanma olingan bosh to'plam dispersiyasi noma'lum. Berilgan tanlanma bo'yicha (10), (4), (11) formulalar yordamida  $\bar{x}$  o'rtacha qiymat,  $s_x$  dispersiya va o'rtachaning dispersiyasi  $s_x$  hisoblaniladi. Natija quyidagi ko'rinishda keltiriladi:

$$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$$

Ushbu intervalda  $x_0$  haqiqiy qiymatni bo'lish ehtimolligi, ya'ni quyidagi shartni qanoatlantiruvchi ehtimollik nimaga teng degan savolga javob berish talab qilinadi:

$$\bar{x} - s_{\bar{x}} < x_0 < \bar{x} + s_{\bar{x}}$$

Masalani yechilishining ikki varianti bo'lishi mumkin:

a)  $x$  kattalikning  $x_1$  yuqori va  $x_2$  pastki qiymatlari (ishonch intervali) beriladi va  $x_0$  haqiqiy qiymatning  $x_2 < x_0 < x_1$  ( $\alpha = 1 - p$  - ishonchlilik darajasi yoki qiymatdorlik darajasi) intervalda bo'lish ehtimolligi  $p = 1 - \alpha$  izlanadi;

b) ma'lum bir  $p$  ehtimollik beriladi va ushbu ehtimollikda  $x_0$  haqiqiy qiymatning bo'lishi mumkin bo'lgan  $(x_1, x_2)$  intervalda izlaniladi.

Ko'pincha amalda berilgan ehtimollik bo'yicha interval izlab topish lozim. Buning uchun erkinlik darajasi  $f = n - 1$  bo'lgan  $s_f(t)$  Student taqsimoti deb nomlangan standart taqsimotga bo'ysunuvchi quyidagi tasodifiy kattalik kiritiladi:

$$t = (\bar{x} - x_0) / s_{\bar{x}}, \quad (53)$$

Ushbu taqsimotning boshqa taqsimotlardan farq qiluvchi o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, bunda ko'rilayotgan bosh to'plamning noma'lum parametrlari, ya'ni  $x_0$  va  $s^2$  mavjud bo'lmaydi. Bu taqsimotning afzalligi ham shunda, ya'ni  $x_0$  va  $s^2$  parametrlarga bog'liq emasligidir.

Ishonch intervali quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$x_1 = \bar{x} + t_0 s_{\bar{x}} \text{ va } x_2 = \bar{x} - t_0 s_{\bar{x}}, \quad (54)$$

Buning ustiga (shu bilan birga)  $t_0$  parametr prichyom parametr  $t_0$  naxoditsya s ispolzovaniem tabulirovannyx znacheniy iz uravneniya vida:

$$\int_0^{t_0} s_f(t) dt = (1 - \alpha) / 2. \quad (55)$$

Student taqsimotining kritik nuqtalari  $t_0$  (Studentkoeffitsientlari)

ilovadagi 3 jadvalda keltirilgan.

## II BOB. TAJRIBAGA KERAKLI QURILMALAR

### № 1. Laboratoriya ishi

#### Fizika tajribalarida ishlatiladigan standartlar

**Ishdan asosiy maqsad:** Fizika tajribalarini olib borish uchun turli ko'rinishdagi standartlar ishlab chiqilgan. Bu laboratoriya ishining maqsadi shu standartlar bilan tanishish va ular ichidan kerakligini tanlab olishdir.

**Kerakli jihozlar:** Turli standartlarga tegishli elektron bloklari (Kamak, vektor va boshq.), KAMAK kreйти.

**Nazariy qismi:** Keyingi vaqtlarda tajriba qurilmalarini yaratishda turli vazifalarni bajarishga mo'ljallangan elektron bloklarini bir hil o'lchamda tayyorlash zarurligi paydo bo'ldi. Shu tariqa o'lchash standartlari yuzaga keldi. Bitta standartdagi turli bloklarni o'ziga tegishli kreйти karkaslarga joylashtirish mumkin. Natijada tajriba qurilmasini qiyinchiliksiz, tezlikda yig'ish imkoniyati paydo bo'ldi. Bundan tashqari tajriba qurilmasini EHM bilan bog'lash yo'llari ishlab chiqildi. Quyida bu standartlarga qisqacha to'xtalib o'tamiz:

1. **NIM standarti.** Bu sistema boshlang'ich etaplarda yaratilgan bo'lib, hozirgi davrda ham qo'llanilmoqda. Bu standart asosan yuqori energiyalar fizikasida ishlatiladigan elektron bloklarini o'z ichiga oladi. Kreйтиga 12 ta elektron bloklarini joylashtirish mumkin. Kreйти, elektron bloklarining ishlashi uchun kerakli bo'lgan tok ta'minotiga ega. Bundan tashqari bloklar o'rtasida signallarni yuqori tezlikda uzatish tizimi mavjud (nsek sohaslarida).

2. **EUROCARD sistemasi.** Bu sistema asosan ishlab chiqarish korxonalarida ishlatiladigan asbob uskunalariga tegishlidir.

3. **VEKTOR standarti.** Bu standart asosan Rossiya va SNG davlatlarida ishlatilib kelindi. Kreйтиning kenglik o'lchami boshqa sistemada ishlatiladigan kreйтиlarga nisbatan kattadir. Platalarning kengligi 20 mm ga farq qiladi. Kreйтиga 24 ta modulni joylashtirish mumkin. Elektron bloklari o'lchamlarini farqli bo'lishligi, bu bloklarni boshqa standartlarda ishlatib bo'lmagligiga olib keldi. Shu sababli VEKTOR standarti keyingi vaqtlarda tajribalarda ishlatilmay qo'yildi.

4. **KAMAK standarti.** Bu standart juda ko'p ilmiy tekshirish tajribalarida va o'ta murakkab boshqarish sistemalarida qo'llanilmoqda. Juda ko'p davlat laboratoriyalarida tajribalarni olib borish chog'ida KAMAK standarti ishlatilmoqda. Bunga asosiy sabab quyidagilardir: bloklarning bir hil o'lchamda tayyorlanishi, juda katta miqdorda va turli ko'rinishdagi elektron bloklarining yaratilishi, shinalarning standart shaklida bo'lishligi, logikasi, ko'p parametrlarni sinxronizatsiya qilinishi va boshqalardir. KAMAK standarti Yevropa, Rossiya va SNG davlatlarida keng ishlatilmoqda. Bu standart juda tez



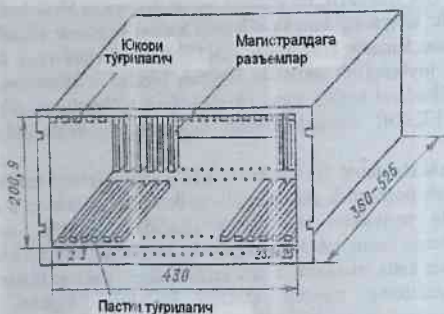
suratlar bilan rivojlanmoqda. Tajriba qurilmalarini avtomatlashtirishga tegishli bo'lgan analog- raqamli, raqam-analogli qayta o'zgartiruvchi moslamalar, registrlar, schetchiklar, kommutatorlar, kontrolyorlar, boshqarish bloklari va boshqalar yaratilmoqda. Quyida KAMAK standartiga alohida to'xtalib o'tiladi.

5. **FASTBUS sistemasi.** Bu sistema KAMAK standartining takomillashgan ko'rinishidir. Bu sistema AQSh, ESONEEvropa komiteti va SERN dagi ilmiy tekshirish laboratoriyalarida va universitetlarida ishlatilmoqda. FASTBUS sistemasida yaratilgan bloklarning tezligi KAMAK standartidagi bloklar tezligidan bir karra yuqoridir. Yangi avlod tezlatkichlarida FASTBUS sistemasi ishlatilmoqda.

**KAMAK standarti.** Yuqorida aytib o'tilganidek, hozirgi davrda ko'p sohalarda KAMAK sistemasiga tegishli bo'lgan elektron bloklari ishlatilmoqda. Bu sistemaga tegishli bo'lgan elektron bloklarning soni tobora o'sib, takomillashib bormoqda. KAMAK sistemasi asosan uchta mexanika, elektr va logika qismlaridan iboratdir. Bularga qisqacha to'xtalib o'tamiz.

**KAMAK sistemasining mexanikasi.** Bunga asosan elektron bloklarining o'lchamlari va bloklar o'rnatiladigan kreynning o'lchamlari kiradi. Bu sistemada barcha elektron bloklarining o'lchamlari bitta o'lchamga keltirilgan. Kreynning yuqori va pastki tomonlarida to'g'rilagichlar bo'lib, ular bloklarni to'g'ri joylashishini ta'minlaydi. Kreynning kengligi

430 mm, balandligi 200,9 mm, chuqurligi 360 mm ga tengdir. To'g'rilagichlar orasidagi masofa 17,2 mm ga teng. Kreynida bloklar o'rnatiladigan joylar raqamlab chiqilgan. Raqamlash chapdan o'ng tomonga qarab olib borilgan (1 dan 25 gacha). 1-rasmda KAMAK kreynining mexanikasi ko'rsatilgan. Elektron bloklari kengligiga qarab: bir o'lchamli (M1); ikki o'lchamli (M2) va uch o'lchamli (M3) bo'ladi. O'lchamlari mos ravishda: 17,2 mm; 34,4 mm va 51,6 mm ga teng bo'ladi. KAMAK kreynida haroratni bir miyorda ushlab turish uchun ventilyatsiya sistemasi mavjud.



1-rasm. KAMAK kreynining mexanikasi

**KAMAK sistemasida elektr ta'minoti.** Elektron bloklarining ishlashi uchun albatta tok ta'minoti kerak bo'ladi. Bu kuchlanishlar ham standart ko'rinishiga keltirilgan bo'lib, ularning qiymati quyidagi qiymatlarga teng:

$\pm 6$  V – mikrosxemalarni tok bilan ta'minlaydi (+6 V – tranzistor- tranzistorli logika (TTL) bilan ishlovchi mikrosxemalar uchun; -6 V – emitter-bog'lanish logikasi (ESL) asosida ishlovchi mikrosxemalar uchun).

$\pm 24$  V –tranzistorlarni va yuqori kuchlanishda ishlaydigan mikrosxemalar uchun. Kuchlanishlarbelgilangan shinalar orqali uzatiladi.

$\pm 12$  V – tranzistorlarni tok bilan ta'minlash uchun ishlatiladi.

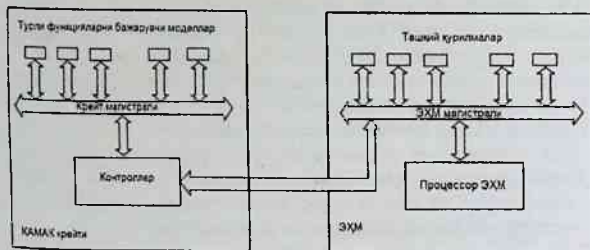
+200 V –gazorazryad lampali indikatorlarni tok bilan ta'minlaydi.

Yadro fizika tajribalarida vaqt bo'yicha olib boriladigan o'lchashlar asosan nsek sohalarida olib boriladi. Signallarni elektron blokning biridan ikkinchisiga o'tkazishda buzilishini oldini olish uchun emitter-bog'lanish logikasi (ESL) asosida ishlovchi mikrosxemalar ishlatilgan. Shu asosda bloklarning chiqish va kirish kanallari orasida moslashtirish vazifasi bajariladi. Signallarni uzatishda ishlatiladigan kabellarning induktivligi va sig'imi uzatilyotgan impulsga katta ta'sir ko'rsatadi. Natijada impulsning shaklida o'zgarishlar sodir bo'ladi. Bu salbiy ta'sirlarni oldini olish, 50 Om qarshilikli raz'em va kabellarni ishlatish orqali amalga oshiriladi. Tajribalarning ko'rsatishicha signallarning uzatilish sharoiti signalning vaqt davomidagi o'sish vaqti bilan ( $\tau$ ) belgilanadi: agar signalning o'sish vaqti  $\tau \geq 0,1$  mks bo'lsa, signalni bloklar o'rtasida moslashtirilgan va moslashtirilmagan holatlarda uzatish mumkin bo'ladi; agar signalning o'sish vaqti  $\tau \leq 0,1$  mks bo'lsa, signalni bloklar o'rtasida faqat moslashtirilgan holatlardagina uzatish mumkin bo'ladi.

Signallarning ishorasi "musbat" bo'lishi kerak. Bipolyar signallar amplitudasining o'zgarishini -5 V dan +5 V oraligida bo'lishi tavsiya etiladi.

**KAMAK standartining logikasi.** Bu logika asosan KAMAK sistemasidagi elektron bloklari o'rtasidagi bog'lanishlarni amalga oshiruvchi programma ta'minotiga bog'liqdir. Bloklar va kontroller orasidagi ma'lumotlar almashinuvi amalga oshiriladi. Tajriba qurilmasi kontroller bloki orqali EHM ga ulanadi. Kontroller orqali elektron bloklari orasidagi bog'lanish kreyt magistrali yordamida bajariladi. 2-rasmda KAMAK sistemasini tashkil etish sxemasi berilgan. Bu sxemaga ko'ra uchta vazifa bajariladi:

1. Shinalar yordamida ma'lumotlarni bloklardan kontrollerga uzatish va aksincha;
2. Kontrollerdan kelayotgan signallarga ko'ra, alohida elektron bloklarini boshqarish;
3. Kontroller orqali alohida elektron bloklarining holatlarini tekshirish.



2-rasm. KAMAK sistemasini tashkil etish

KAMAK sistemasini EHM ga ulanishida kontroller passiv qurilma hisoblanadi. U EHM kelgan ma'lumotlarni KAMAK standartiga o'tkizadi va tegishli bloklarga uzatadi va aksincha bloklardan kelgan ma'lumotlarni EHM o'qiy oladigan holatiga keltiradi. Signallarni uzatish va qabul qilish komandalari ishlab chiqilgan va bu komandalar o'zlariga tegishli harflar bilan nomlangan. Bu komandalar 4 ta guruhga ajratilgan:

1. KAMAK dagi signal komandalari (N, A, F).

N- signali, kreytdagi stansiya adresini yoki nomerini ko'rsatadi. Bu signal yordamida elektron bloki kreytning qaysi joyida turganligini bilish mumkin. Masalan: N(5)- signali ma'lumotlarni kreytning 5-holatida turgan blokiga uzatilishini ko'rsatadi. Kreytda turgan blokning adresini ifodalaydi. Elektron bloklari uchun N(1) dan N(23) gacha adreslar berilgan. N(24) va N(25)-adreslar kontroller uchun qoldirilgan. Bu adresga tegishli raqamlar ikkilik sanoq sistemasida bajariladi.

A- signali, subadres deb nomlangan. Bu bloklarning biron bir qismiga tegishli bo'ladi. Masalan: bitta blok bir nechta avtonom schetchiklarga ega bo'lsin. bunda bu schetchiklar subadres orqali belgilanadi. 16 ta subadres bilan ish olib borish mumkin (A(0) – A(15)). Bitta blokda bir nechta subadres ishlatilishi mumkin.

F- signali, bu KAMAK ning funksiyalari va operatsiyalariga tegishlidir. Ma'lumotlarni o'qish, uzatish, yozish va boshqa vazifalarni bajarish kabilar kiradi. Standartga ko'ra 32 ta operatsiyalar ishlatiladi (F(0)- F(31)). Lekin hozirgi vaqtga kelib, 18 ta operatsiya bilan ishlashga o'tilgan. Qolgan 8 tasi erkin holatda bo'lib, ularni programmani ishlab chiquvchilar ishlatishlari mumkin.

2. Sistemaholatni belgilovchi signallar (X, Q, L, B).

X- komanda qabul qilindi. Bu kamanda har bir ma'lumotni qabul qilinishida amalga oshirilishi lozim. Agar biror blok signalni qabul qilsa yoki biror vazifani bajarsa kreyt magistrali orqali kontrollerga xabar berilishi kerak. X=1 komandani bajarilganligini ifodalaydi. Agar X=0 javobi kuzatilsa, bu

tajriba qurilmasida nosozlik borligi haqida ma'lumot beradi. Blokni kerakli adresga qo'yilmaganligi yoki tok ta'minotining yo'qligini ko'rsatadi.

Q- javob signali. Har qanday adreslar bo'yicha bajarilgan ishlarga javob signallari berilishi lozim. Demak, har bir N va A signallari uchun  $Q=1$  yoki  $Q=0$  javobini berishi lozim. Q-signali asosan ma'lumotlarni o'qish va yozish ishlarida ishlatiladi.

L-so'rash komandasi. Kreytdagi har bir model signali orqali kontroller bilan bog'lanishi va aniq bir vazifani bajarishini so'rashi mumkin.

V-band ekanligini ko'rsatuvchi signal.  $B=1$  komandasi barcha elektron bloklarga kreyt magistraling band ekanligi haqida ma'lumot beradi. Band signalini programma ta'minotini yaratuvchi mutaxassis kerakli joylarda ishlatishi mumkin.

3. Sistemani boshqarish signallari (Z, C, I, S1, S2).

Z- boshlash signali. Bu signal kreytni tok tarmog'iga ulanishidan boshlanadi. Bu davrda modellar orasidagi aloqalar butunlay olib tashlanadi. Bloklarning barchasi boshlang'ich holatida bo'ladi.

S- o'chirib tashlash signali.  $S=1$  komandasi kreytda joylashgan barcha triggerlar va registrlarni boshlang'ich holatiga keltiradi. S-komandasini takror va takror ishlatish mumkin.

I-taqqiqlash signali. Bu signal EHM orqali berilishi mumkin. Taqqiqlash signalining ishlatilishi programma ta'minotini yaratuvchi mutaxassis orqali amalga oshiriladi.

S1 – ctrob signallari. S1-signalning paydo bo'lishida bloklardagi yoki kontrollerdagi barcha amallarni bajarilishi davom etadi va bunda shinalarda uzatilayotgan signallarning holatlarida o'zgarish kuzatilmaydi. S2 – signalning paydo bo'lishida bloklardagi yoki kontrollerdagi barcha amallarni bajarilishi davom etadi va bunda shinalarda uzatilayotgan signallarning holatlarida o'zgarish kuzatiladi.

4. Ma'lumotlarni uzatish signallari (W, R).

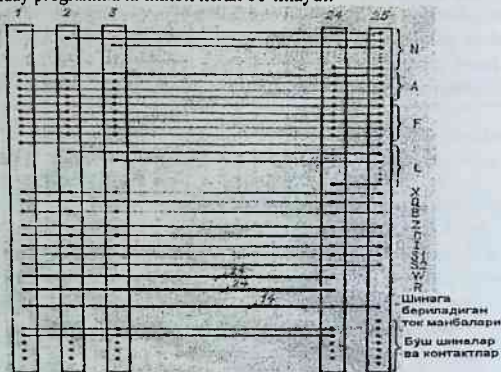
W- yozib olish signali. W-liniyasi orqali kontroller bloklarga ma'lumotlarni jo'natishi mumkin.

R-o'qish komandasi. W va R-signallari yordamida tajriba natijalarini hamda ish jarayoniga tegishli ma'lumotlarni yozib olish va o'qish vazifalarini bajaradi. KAMAK sistemasida W va R-signallari yordamida ma'lumotlarni ikkilik sanoq sistemasida 24 razryadgacha ayriboshlash imkoniyatiga ega.

**Kreyt magistrali.** Kreytdagi bloklar va kontroller orasidagi ma'lumotlarni ayriboshlash kreytning magistrali orqali amalga oshiriladi. Bloklarning bir biri bilan bog'lanishi sim to'plamlaridan iborat bo'lgan shinalar orqali bajariladi. Shinalar bajaradigan ishlariga ko'ra: adres, ma'lumotlar va boshqarish shinalariga bo'linadi. Kreytning magistrali orqali bog'lanish kanallari mavjuddir. Magistraling 24 ta raz'emi bir biri bilan bir karrali bog'lanishga ega. Kreytning 25-raz'emi boshqaruvchi hisoblanadi. Kreyt magistrallida

bog'lanishlarni ikki turga ajratish mumkin: shaxsiy bog'lanishlar, bularga ikkita raz'em orasidagi bog'lanish kiradi; uzluksiz bog'lanishlar, bunda 25 ta raz'emdagi kontaktlar bir biri bilan bog'lanadi (bunga W va R liniyalar kirmaydi). 3-rasmda kreyt magistraling chizmasi ko'rsatilgan.

KAMAK sistemasidagi elektron bloklarni maxsus tuzilgan programma ta'minoti bilan va erkin holatda ishlatish mumkin. Erkin holatda ishlatilishida xech qanday programma ta'minoti kerak bo'lmaydi.



3-rasm. Kreyt magistrali

### Nazorat savollari

1. Tajribalarda qanday standartlar ishlatiladi?
2. KAMAK sistemasi qanday afzalliklarga ega?
3. KAMAK sistemasining mexanikasi nimalardan iborat?
4. KAMAK sistemasining elektr ta'minotini aytib bering?
5. KAMAK sistemasining logikasi qanday?
6. Kreyt magistrali qanday fazifani bajaradi?
7. KAMAK sistemasida tajriba qurilmasi EHM ga qanday tartibda bog'lanadi?
8. Kontroller qanday vazifani bajaradi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.F. Pevchev // Avtomatizatsiya fizicheskogo eksperimenta, M: Energoatomizdat, 1986 g.
2. V.A. Nikitin, G.A. Ososkov // Avtomatizatsiya izmereniy i obrabotki dannykh fizicheskogo eksperimenta, M: Izd. MGU, 1986 g.
3. Yu.V. Stupin // Metody avtomatizatsii fizicheskix eksperimentov i ustanovok na osnove EVM, M: Energoatomizdat, 1983 g.

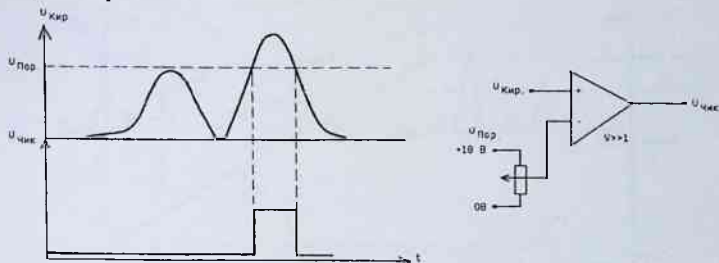
## № 2. Laboratoriya ishi

### Diskriminatorlar va ulardan foydalanish

**Ishdan asosiy maqsad:** Diskriminatorlarning turlari va ishlash prinsiplari bilan tanishish. Ulardan to'g'ri foydalanish yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jixozlar:** Integral diskriminator, differensial diskriminator, impulslar generatori, ossillograf.

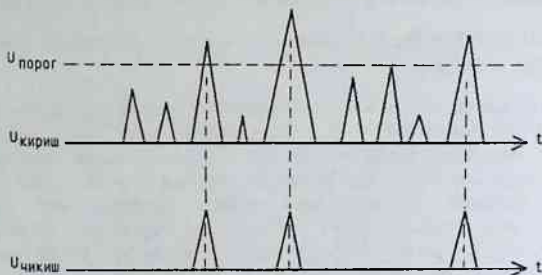
**Nazariy qismi:** Yadro fizikasi tajribalarida impulsni amplituda bo'yicha tahlil qilish metodi juda ko'p ishlatiladi. Bunga asosiy sabab detektordan olingan impulsning amplitudasi, detektorda qayd qilinayotgan zarrachaning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Impulsni amplituda bo'yicha taqsimot qilish orqali nurlanish spektrlari hosil qilinadi. Diskriminatorlarda analog ko'rinishidagi signallar logik ko'rinishidagi signallarga aylantiriladi. Diskriminatorlar porog (ostona, bo'sag'a) qiymatiga ega bo'ladi. Integral diskriminatorlari bitta pastki porogga ega bo'ladi. Porogning qiymati tajriba olib borayotgan tadqiqotchitomonidan kiritiladi. Agar diskriminatorning kirishiga berilayotgan impulsning qiymati porog qiymatidan katta bo'lsa, bu holda diskriminatorning chiqishida impuls paydo bo'ladi. Bu jarayonlar 1-rasmda ko'rsatilgan. Amplitudasi porog qiymatidan kichik bo'lgan impulslar qayd qilinmaydi, ya'ni chiqishida signallar paydo bo'lmaydi. Diskriminatorlardagi eng asosiy kattalik, bu porog qiymatining o'zgarmasligi hisoblanadi. Agar qo'yilgan porog qiymati o'lichashlarda biror sababga ko'ra o'zgarsa, o'lichangan tajriba natijarida katta xatolik paydo bo'ladi. Natijada impulsning amplituda bo'yicha taqsimotida buzilishlar sodir bo'ladi.



1-rasm. Integral diskriminator

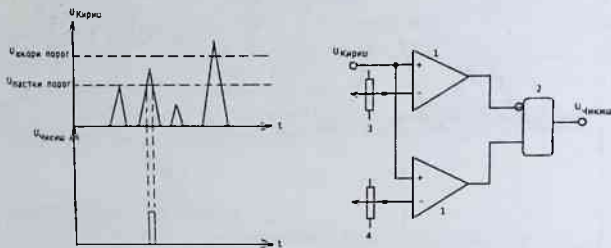
Integral diskriminatorlar asosan Shmitt triggeri sxemasi asosida yaratilgan. Bu sxemada diskriminatorning chiqishidagi signalning o'tish davomiyligi, diskriminator kirishiga berilayotgan signalning o'tish

davomiyligiga, qo'yilgan porogning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Shmitt triggerining sezgirlik darajasi 50 mV atrofidadir. Porog qiymatini 0,05-5,5 V oraligida o'zgartirish mumkin. Haroratga bo'lgan sezgirligi  $10^{-4}$  V/K. Agar tajribada o'lchashlar sanoq asosida olib borilayotgan bo'lsa, u holda odnovibrator qurilmasidan foydalanish maqsadga muvofiqdir.



2-rasm. Diskriminatorda impulsni amplituda bo'yicha tahlil qilinishi

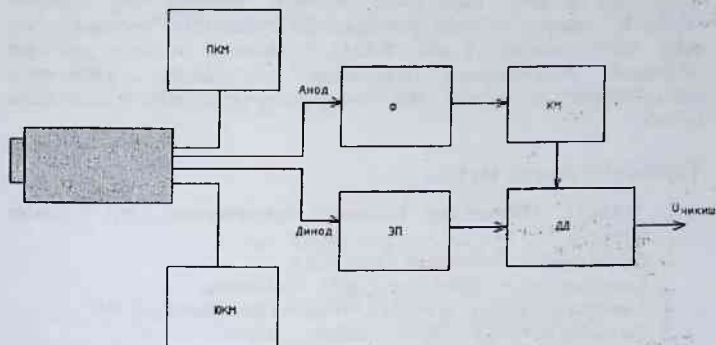
Tajribalarda ko'pincha ma'lum soha oraligidagi impuls bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Bunga imkon yaratuvchi asboblarga differensial diskriminatorlar deb nom berilgan. Ularda ikkita pastki va yuqori porog qiymatlari bo'ladi. 3-rasmda bir kanalli diskriminator ko'rsatilgan. Bu qurilma bir kanalli analizator deb ham yuritiladi. 3-rasmdagi raqamlar quyidagilarni ifodalaydi: 1-komparator, 2- "I" sxemasi, 3-yuqori porog, 4-pastki porog.



3-rasm. Bir kanalli diskriminator

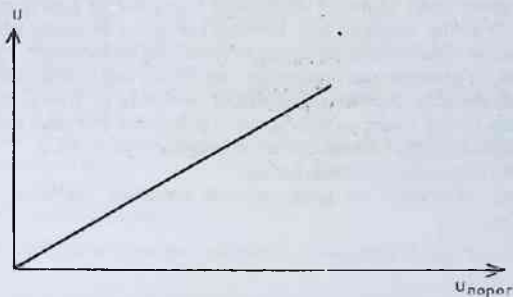
Bir kanalli analizatorning porog qiymatlarini bir biriga bog'liq bo'lmagan holda berish mumkin. Differensial diskriminatorlar yordamida kerakli soha ichidagi

impulslarni ajratib olish imkoniyati mavjud. Kerakli sohani ajratib olishga misol qilib ushbu tajribani ko'rsatish mumkin.



4-rasm. Kerakli sohadagi impulslarni ajratib olish

Xar bir diskriminator amplituda bo'yicha o'zining xarakteristikasiga ega. Ideal diskriminatorning amplituda bo'yicha xarakteristikasi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. 5-rasmda ideal diskriminatorning amplituda bo'yicha xarakteristikasi ko'rsatilgan.



5-rasm. Ideal diskriminatorning amplituda bo'yicha xarakteristikasi

Diskriminatorning eng asosiy parametrlardan biri vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati hisoblanadi. Buning ma'nosi quyidagicha: Diskriminator kirishiga

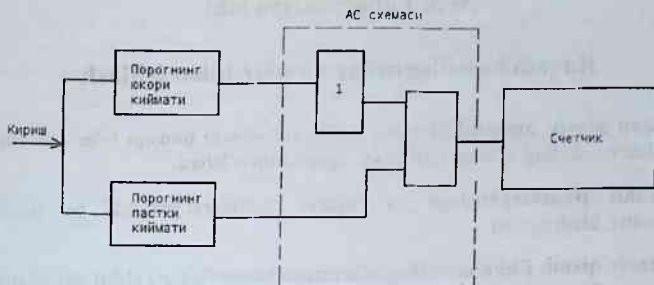


berilayotgan ikkita impuls orasidagi shunday vaqt qiymatiga aytiladiki, bunda ampulslar bir-biridan ajralgan holatda qayd qilinadi.

Hozirgi vaqtda diskriminatorlar "VISHNYa", "KAMAK" va "ORTEC" sistemalarda yaratilgan. Bular ichida "KAMAK" sistemasi keng tarqalgan. "KAMAK" sistemasi bo'yicha yaratilgan diskriminatoridan foydalanish juda qulay. Ushbu laboratoriya ishi "KAMAK" sistemasi bo'yicha yaratilgan differensial diskriminatorni o'rganishga bag'ishlangan. Differensial diskriminatorlarni ishlatishdan oldin ulardagi porog qiymatlarini aniqlash kerak bo'ladi.

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. "KAMAK" sistemasidagi differensial diskriminatorni kreyt karkasiga o'rnatish.
2. Barcha asboblarni korpuslarini Yerga ulang.
3. Keng qamrovli impuls generatoridan foydalaning.
4. 6-rasmda ko'rsatilgan sxemaga ko'ra tajriba qurilmasini yig'ing.
5. Porogning pastki qiymatini 0-ga keltiring.
6. Porogning yuqori qiymatini eng katta qiymatiga qo'ying.
7. Differensial diskriminatorning (DD) chiqishini, (AS) schetchikka ulang.
8. Impuls generatorini ishga tayyorlang. Uni ma'lum amplitudali signalga to'g'rilang.
9. 3-rasmda ko'rsatilgan DD ning chiqishida signal paydo bo'lishiga erishing. Schetchikda sanoq paydo bo'ladi.
10. Impuls generatoridan berilayotgan signalning amplitudasini aniqlang.
11. Porogning pastki qiymatini schetchikda sanoqning yo'q bo'lguniga qadar ko'tarib boring. Sanoq yo'q bo'lgandagi porogning qiymatini yozib oling.
12. Impuls generatoridan berilayotgan signalning amplitudasini oshiring.
13. Impuls generatoridan berilayotgan signalning amplitudasini aniqlang.
14. Porogning pastki qiymatini schetchikda sanoqning yo'q bo'lguniga qadar ko'tarib boring. Sanoq yo'q bo'lgandagi porogning qiymatini yozib oling.
15. Shu tariqa tajribani davom ettiring va natijalarni yozib oling.
16. Tajriba natijalarini 1-jadvada bering.
17. Signal amplitudasi va porog qiymati orasidagi bog'lanish grafigini chizing.



6-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

1-jadval. Tajriba natijalari

Porog qiymati	DD knopkasining holati				
Yuqori porog	Eng katta qiymati				
Pastki porog	1	2	3	4	5
Amplituda qiymati, V					

### Nazorat savollari:

1. Diskriminatorning qanday turlari mavjud?
2. Diskriminator qanday vazifalarni bajaradi?
3. Kerakli sohalarni qanday ajratib olish mumkin?
4. Diskriminatorning eng asosiy parametrlardan biri vaqt bo'yicha ajritish qobiliyati nimani anglatadi?
5. Diskriminatorning amplituda bo'yicha xarakteristikasi qanday olinadi?
6. Bir kanalli diskriminator qanday ishlaydi?
7. Ideal diskriminatorning amplituda bo'yicha xarakteristikasi qanday ko'rinishda bo'ladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. X. Shmidt/Izmeritel'naya elektronika v yadernoy fizike, Izdatelstvo MIR, 1989.
2. Pod red. K.G. Finogenova/Laboratory praktikum po eksperimental'nyim metodam yadernoy fiziki, M., Energoatomizdat, 1986.
3. A.P. Sitovich/Yademaya elektronika, M: Energoatomizdat, 1984.
4. V.A. Grigorev, A.A. Kolyubin, V.A. Loginov//Elektronnyye metody yadernoy-fizicheskogo eksperimenta, M., Energoatomizdat, 1988.

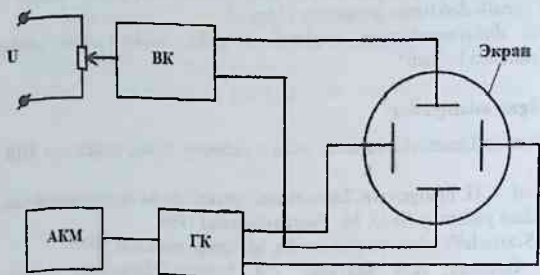
### № 3. Laboratoriya ishi

#### Raqamli ossilloqlar va ular bilan ishlash

**Ishdan asosiy maqsad:**Elektron ossilloqlar ishlab chiqarish prinsipi bilan tanishish va elektron ossilloqlar bilan turli elektr signallarini o'lchash.

**Kerakli jihozlar:**Analogli va raqamli ossilloqlar, impulsli va sinusli generator, ulash simlari.

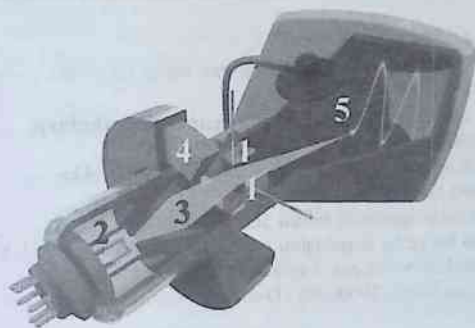
**Nazariy qismi:** Elektron ossilloqlar (qisqacha ossilloqlar) elektr signallarini vaqtga nisbatan o'zgarishlarini o'lchashga imkon beruvchi elektr asbobdir. Ossilloqlar ekranida gorizontal o'q vaqt (ns, mks, ms, s) birliklarida, vertikal o'q elektr signallarining qiymati (mv, v) birliklarida belgilanadi. Ossilloqlarning blok sxemasi 1-rasmda berilgan. Bu rasmdagi VK-vertikal kuchaytirgichni, GK-gorizontal kuchaytirgichni, AKM-arrasimon kuchlanish manbaini ifodalaydi. Ossilloqlar tarkibidagi elektron trubkada o'rganilayotgan jarayon elektronlar oqimining lyuminoforga tushib yorug'lik berishi orqali ko'riladi (2-rasm). Ossilloqlar trubkasidagi vertikal og'ish plastinkalariga o'rganilayotgan elektr signali vertikal kuchaytirgich orqali beriladi. Gorizontal plastinkalarga esa gorizontal kuchaytirgich orqali arrasimon kuchlanish beriladi. Buning oqibatida elektron oqimning vertikal bo'yicha siljishi o'rganilayotgan elektr signallarining qiymatiga, gorizontal o'q bo'yicha siljishi arrasimon kuchlanishning vaqt birligida o'zgarishiga proporsional bo'ladi. Natijada elektr signallarining vaqtga nisbatan o'zgarishi ossilloqlar ekranida ko'rinadi. Amaliyotdagi elektr signallarining qiymatlari va vaqtga nisbatan o'zgarish sohasi katta bo'ladi. Bu jarayonlarni o'lchash uchun ossilloqlarda vertikal va gorizontal o'q qiymatlarini o'zgartirish uchun klopka (pereklyuchatellar) o'rnatilgan.



1-rasm. Ossilloqlarning blok sxemasi

Ossillograf ekrani gorizontaal va vertikal chiziqalar yordamida katakchalarga bo'lingan. O'zgartirgichlar yordamida ossillografning turiga qarab, vertikal bo'yicha sezgirligini 1mv-20V soha oraligida, gorizontaal o'q bo'yicha esa 1ns-1s oraligigacha o'zgartirish mumkin. Davriy signallarni ekranda muallaq, siljimasdan turg'un turishini ta'minlash va bundan tashqari davriy bo'lmagan va yakka signallarni ko'rish uchun arrasimon kuchlanish generatori o'rganilayotgan elektr signaliga bog'langan holda (sinxronizatsiya) ishga tushiriladi. Ossillograflarda sinxronizatsiya qilish odatda quyidagi uchta turga bo'linadi:

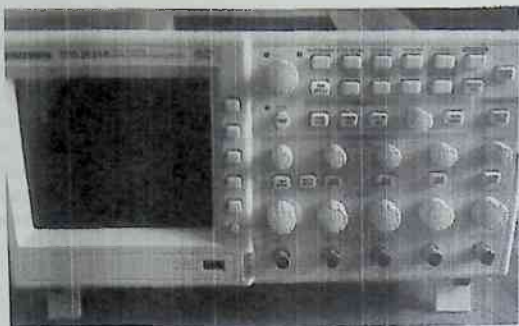
- 1). Signalning o'zidan;
- 2). Elektr tarmog'idan;
- 3). Tashqi signaldan.



2-rasm. Elektron trubka:

1-gorizontaal va vertikal plastinkalar, 2-elektronlar manbasi, 3-elektronlar dastasi, 4-magnit lovushkasi

Analogli elektron trubkali ossillograflardan farqli o'laroq raqamli ossillograflarda ekran sifatida uyali telefonlarda ishlatiladigan suyuq kristalli ekran ishlatiladi. Ossillografning ishlash prinsipi o'zgarmagan holda, ekrandagi nuqtalar analogli signallarni raqamli ko'rinishga aylantirilib joylashtiriladi. Raqamli ossillograf tarkibida shaxsiy kompyuterlarnikiga o'xshash protsessor va xotira bo'lib, kerakli dasturlar bilan taminlangan bo'ladi. Ossillografning hotiraga ega bo'lishligi juda katta imkoniyatlarni ochib beradi. Shu sababli ularda elektr signallarini o'lchash va tahlil qilish imkoniyatlari analogli ossillograflarga nisbatan juda yuqori bo'ladi. Tezligi ham yetarli darajada kattadir. Hozirgi vaqtda raqamli ossillograflarning juda ko'p turlari yaratilgan. 3-rasmda raqamli ossillograflardan biri tasvirlangan. Bu «Tektronix TDS 2024 B» rusumli ossillografdir. Uning turli variantlari mavjud bo'lib ishlash prinsiplari bir hildir (ikki yoki to'rt kanalli).



3-rasm. Ossillografning tashqi ko'rinishi

### **TDS 2024 ruzumli ossillografning xarakteristikalari:**

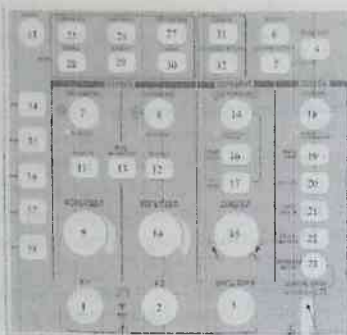
1. To'rt kanalli.
2. Ekran diagonali 145 mm bo'lgan suyuq kristalli trubka.
3. O'tkazish tezligi – 60 MGs.
4. Chastotani o'zgartirish sohasi 5Gs dan 1 GGs.
5. Vertikal bo'yicha masshtabni o'zgarishi 2 mV/katak dan 5 V/katak gacha, gorizontal bo'yicha esa, 5 ns/katak dan 50 ns/katak gacha.
6. Kirish qarshiligi  $(1000 \pm 20)$  kOm, kirish sig'imi  $(20 \pm 3)$  pF).

### **Ossillografni boshqarish tugmachalari:**

3-rasmda tasvirlangan ossillografning yuza qismiga yuqa plastmassadan tayyorlangan ruscha iboralar bitilgan plenka qoplanadi. Bunda ossillografning boshqarish knopkalarini joylashgan yuzasi quyidagi 4-rasmdagi ko'rinishni oladi. Boshqarish knopkalariga qisqacha to'xtalib o'tamiz:

1. K1 (1-Kanal) – tekshirilayotgan signalning 1-kirish kanali;
2. K2 (2-Kanal) – tekshirilayotgan signalning 2-kirish kanali;
3. VNESH SINX – tashqi signaldan sinxronizatsiya qilish uchun kirish;
4. PUSK/STOP – ishga tushirish/ to'xtatish knopkalarini;
5. ODINOChN ZAPUSK – takrorlanmaydigan signallarni ko'rish uchun;
6. AVTOUST – tekshirilayotgan signalning aniq tasvirini avtomatik ravishda rostlaydi;
- 7.; 8. POLOJENIE yoki KURSORS 1, KURSORS 2 – Signal tasvirini vertikal ko'rinishini 1- va 2- kanallarda bo'yicha tuzatadi. Kursorlar 29 knopkani bosish orqali ishga tushadi. Bunda indikator lampochkasi yonadi.

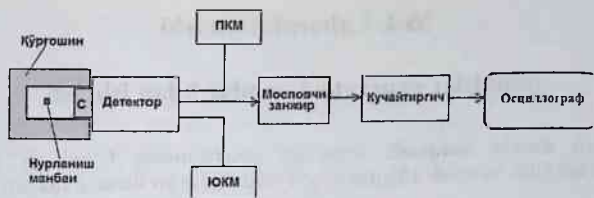
- 9.; 10. VOLT/DEL - 1- va 2- kanallarda vertikal masshtabning son qiymatini o'zgartirishda ishlatiladi;
11. MENYu K1- 1-kanal menyusini chaqirish;
12. MENYu K2- 2-kanal menyusini chaqirish;
13. MENYu MATEMATIKA –matematik funksiyalar menyusini chaqirish (1- va 2- kanallardagi signallarni qo'shish yoki ayirish);
14. POLOJENIE ili PROKRUTKA SPRAVKI - Signal tasvirini gorizontal ko'rinishini 1- va 2- kanallar bo'yicha tuzatadi. Bu komandalar 31 knopkani bosish orqali ishga tushadi. Bunda unga tegishli indikator lampochkasi yonadi;
15. SEK/DEL –gorizontal bo'yicha masshtabni o'matish. Qo'yilgan masshtabning son qiymati ekranning pastki qismida ko'rinib turadi. 16-knopka orqali boshqariladi;
16. GORIZ MENYu – signalni gorizontal bo'yicha o'zgartirish menyusini;
17. UST NUL – ekran markazida signalning paydo bo'lishini ta'minlaydi;
18. UROVEN ili VYIBOR POLZOVATELYa-ishga tushirish darajasi qo'yiladi. Bu ruchka orqali kuchlanishning qiymati belgilanadi. Bu qiymatga yetib borilganda signalning fronti yoki orqa tomondagi tushishiga ko'ra ishga tushiriladi;
19. MENYu SINX –sinxronizatsiya menyusini chaqirish;
20. UST 50% -kuchlanish qiymatini o'matish. Bu orqali signalning yaxshi tasvirini olishga erishiladi;
21. FORS ZAPUSK –ma'lumotlar to'plashni tugallanishini bildiradi;
22. PROSM IMP SINX- ekranda sinxronizatsiya impulsini ko'rish;
23. PROVERKA PROB- probnikni tekshirishda ishlatiladigan knopka (laboratoriya ishlarini bajarishda ishlatilmaydi);
24. KOMPENS PROB- probnikni tekshirishda va sozlashda ishlatiladi (bu ishlarda to'g'ri burchakli, 5V amplitudali, 1kGs chastotali skvajnasti 2 ga teng bo'lgan signal ishlatiladi);
25. SOXR/VYIZOV- signallarni hotiraga olish va hotiradan chaqirish;
26. IZMERENIYA –ossilloqraf yordamida o'lchashni avtomatik ravishda amalga oshirishda kerakli bo'lgan menyuni chaqirish (signalning 11 ta parametri bo'yicha);
27. SBOR DANNIX – ma'lumotlarni to'plash menyusini chaqirish;
28. SERVIS- servis xizmatini ko'rsatish menyusini chaqirish;
29. KURSOR – kursor o'lchashlarini amalga oshirish menyusini chaqirish;
30. EKRAN –ekran ish rejimi menyusini chaqirish;
31. SPRAVKA –ossilloqrafga tegishli spravochnik ma'lumotlarni chaqirish;
32. NASTROYKA PO UMOLChANIYu – sozlash (tayyorlovchilarga tegishli);
33. PEChAT –ekrandagi ma'lumotlarni pechatga yoki kompyuterga berish;
- 34+38 ekrandagi knopkalar.



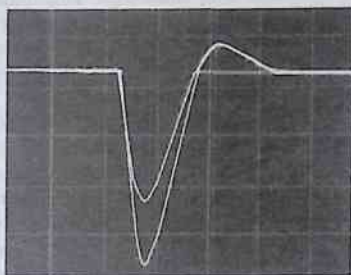
4-rasm. Ossilloqraf yuzasidagi tugmachalar va ularning vazifalari

### Ishni bajarish tartibi:

1. Ossilloqrafni yerga ulanganligini tekshirish.
2. Ish uchun nazarda elektr asboblarni tarmoqqa ulash.
3. Ossilloqraf kabelini ossilloqrafning kirish razyomiga ulash.
4. Raxbar topshirig'i bilan berilgan impulsli va sinusli signallarni generatorlarda sozlab o'rnatish.
5. Navbat bilan oldin analogli so'ng raqamli ossilloqrafni generatorlar chiqishiga ulab sozlangan signallar parametrlarini o'lchash. O'lchash jarayonida sinxronizatsiya turini o'zgartirish va ekranda bo'layotgan o'zgarishni tushinib yetish.
6. Generator sifatida G3-111 yoki G5-54 foydalanish. Ulardan berilgan signallarning parametrlarini aniqlash (amplitudasi, chastotasi, o'tish davomiyligi).
6. Ssintillyatsion detektorni ishga tayyorlash (Na(Tl)). Unga past va yuqori kuchlanishni berish (5-rasm).
7. Yuqori kuchlanish berilganidan keyin ~10 minut davomida qizdirish kerak.
8. Detektor oldiga  $^{60}\text{So}$  radionuklidini qo'yish.
9. Detektordan signal olinadigan joyiga kabelni ulash va ikkinchi uchini ossilloqrafning kirish kanaliga ulash.
10. Ossilloqraf ekranida anod signalining tasvirini olish (6-rasm).
11. Anod signalining amplitudasini aniqlash (6-rasm).
12. Anod signalining o'tish davomiyligini aniqlash (6-rasm).
13. Anod signalining frontini aniqlash (6-rasm).
14. O'lchangan natijalarni jadvalda berish.



5-рasm. Tajribaning blok-sxemasi



6-рasm. Anod signalining ko'rinishi

## Nazorat savollari

1. Ossillograflaming ishlash prinsipini gapirib bering?
2. Ossillografning qanday turlari mavjud?
3. Sinxronizatsiya qanday vazifani bajaradi?
4. Ossillografni ishga tushirish qanday tartibda amalga oshiriladi?
5. Elektron trubkani ishlashini izohlab bering?
6. «Tektronix TDS 2024 B» rusumli ossillograf qanday xarakteristikalariga ega?
7. Bu ossillograf yordamida impulsning qanday parametrlarini o'lchash mumkin?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. K.S.Polulyax//Elektrnnye izmeritelnye pribory, M: Izd. "Vysshaya shkola", 1966.
2. B.I.Gorbunov i dr. // Kontrolno - izmeritel'naya texnika, Minsk. I zd. "Vyshsheyshaya shkola", 1977.
3. V.Yu. Konchalovskiy // Sifrovoy ossillograf, Moskovskiy energeticheskiy institut, 2005.



## № 4. Laboratoriya ishi

### Impulslar generatori va ular bilan ishlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Impulslar generatorining turlari va ishlash prinsiplari bilan tanishish. Ulardan to'g'ri foydalanish yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jixozlar:** Impulslar generatori, ossillograf, sanoq moslamasi.

**Nazariy qismi:** Generatorlar aniq chastotaga, amplitudaga va turli shaklga ega bo'lgan impulslarni olish uchun ishlatiladigan elektr asbobidir. Olingan impulsning yuqorida aytilgan kattaliklarini keng soha oraliklarida olish imkoniyati mavjud. Kerakli chastotali, amplitudali va aniq shaklga ega bo'lgan impulslarni generatorning boshqarish pultidan orqali olish mumkin. Impulslar generatori tajriba qurilmalarini sozlashda, asboblarning nosozligini topishda, avtomatlashtirish, EHM va radioelektronika asboblari sozlashda o'ta zarur bo'lgan qurilma hisoblanadi. Hozirgi davrda generatorning juda ko'p turlari yaratilgan. Ular bir-biridan olinayotgan impulslarning parametrlari bilan farq qiladi. Bundan tashqari olinayotgan signallarning shakli bo'yicha ham turlarga bo'linadi. Signalning shakliga ko'ra turlarga bo'linishi quyidagicha: sinusoidal, impulsli to'g'ri burchakli (yakka tartibdagi yoki davriy ko'rinishdagi videoimpulslar; maxsus shakldagi (uch burchakli, trapesiya va arra tishli ko'rinishdagi) signallardir.

Signallarning chastotalariga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: infra tovush chastotali (0-20 Gs); past chastotali (20-200000 Gs); tovush chastotasiga mos keluvchi (20-20000 Gs); ultra tovush chastotasiga mos keluvchi (20000-200000 Gs); yuqori chastotali (20 kGs-50 MGs); o'ta yuqori chastotali (50 MGs-10 GGs).

Barcha turdagi generatorlar asosan uchta qismdan iborat: tebranishlarni hosil qiluvchi generator, tebranishlarning quvvatini oshiruvchi moslama va qayta bog'lanish zanjiri.

O'rta maktab kursidan ma'lumki, elektromagnit tebranishlarni tebranish konturi yordamida hosil qilish mumkin. Tebranish konturi sig'im va induktiv g'altagidan iborat bo'lgan elektr zanjiridir. Konturdagi tebranishlar davrini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (1)$$

bu yerda L-g'altakning induktivligi, Gn; S-kondensatorning sig'imi, F; T-tebranish davri, sek.

Tebranishlar chastotasi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

LC-generatorining asosiy kamchiligi tebranish konturining qo'pol bo'lishligi va sozlash ishlarining murakkabligidir. Uning yordamida 20 Gs -20 kGs oralig'idagi impulsni olish uchun katta qiymatga ega bo'lgan sig'im va induktivlik kerak bo'ladi. Shu sababli bu generatorlar keng tarqalmagan. 1-rasmda impuls generatorining umumiy blok-sxemasini berilgan. Generatorlar asosan uchta qismdan iborat bo'ladi: Boshlovchi generator, quvvatni kuchaytirish va chiqish moslamalari.



1-rasm. Impuls generatorining blok-sxemasini

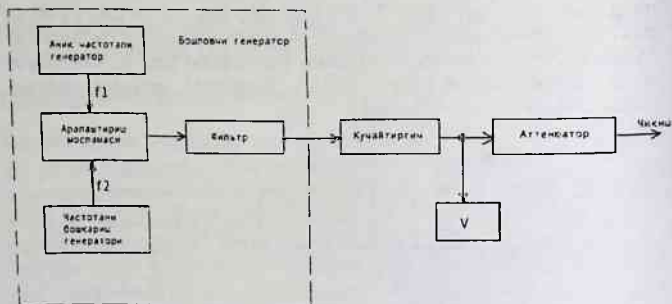
Boshlovchi generatorida aniq chastota va aniq amplitudaga ega bo'lgan sinusoidal to'liqlar hosil qilinadi. Boshlovchi generatorlar generatorning asosiy xarakteristikalarini belgilab beradi. Generatorlar elektr zanjiriga ko'ra quyidagilarga bo'linadi: LC-, RC-generatorlar va turtki generatorlari.

Quvvatni kuchaytirish moslamasida to'liqlarning quvvati oshiriladi. Signallarning energetik holatlari oshiriladi.

Chiqish moslamasi attenyuatordan, moslashtirish transformatoridan va elektron voltmetrdan iborat.

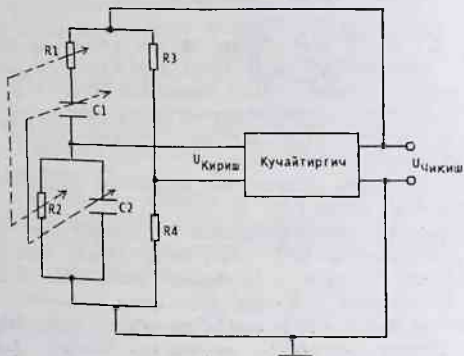
2-rasmda turtki generatorining sxemasi ko'rsatilgan. Bunda boshlovchi generator chastotalari bir-biriga yaqin bo'lgan yuqori chastotali ikkita generatordan tashkil topgan. Aniq chastotali tebranishlarni hosil qiluvchi generator  $f_1$  chastotali to'liqlarni hosil qiladi. Chastotani boshqarish generatorida esa chastotasi  $f_2$  ga teng bo'lgan to'liqlar yuzaga keladi. Hosil qilingan to'liqlar aralashtirish moslamasiga uzatiladi. Aralashtirish moslamasining chiqishida chastotalar ayirmasiga teng bo'lgan chastotali to'liq hosil bo'ladi ( $f=f_2-f_1$ ). Filtr yordamida  $f$  chastotali to'liqlar ajratib olinadi. So'ngra kuchaytirilib attenyuator orqali chiqishga beriladi.

$f_1$  va  $f_2$  chastotalarning qiymati shunday tanlanadiki, ularning ayirmasi  $f$  past chastota sohasida bo'lsin. Masalan:  $f_1=180$  kGs,  $f_2=200$  kGs,  $f=20$  kGs ga teng bo'ladi. Bu turdagi generatorlarda quyidagi kamchiliklar mavjud: sxemaning murakkabligi; past chastotalarda turg'un bo'lmasiligi.



2-rasm. Turtki generatorining sxemasi

Keyingi vaqtlarda RC-generatori keng miqyosda ishlatilmoqda. U juda sodda tuzilishga va yaxshi xarakteristikaga ega. Bu turda boshlovchi generator ikki kaskadli kuchaytirgichdan tashkil topgan. 3-rasmda RC-generatorining blok-sxemasi berilgan.



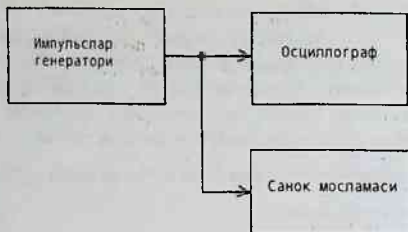
3-rasm. RC-generatorining blok-sxemasi

### Tajribani olib borish tartibi:

1. Tajriba ishlari G5-54 rusumidagi impulslar generatori yordamida amalga oshirildi. Bu generator keng qamrovli asbob hisoblanadi. Undan foydalanish juda oson. Boshqarish knopkalari orqali impulsning chastotasini, amplitudasini va o'tish davomiyligini keng soha oraliklarida o'zgartirish mumkin. Impulsning qutbini o'zgartirish knopkasi ham mavjud.
2. 4-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra tajriba qurilmasi yig'iladi.
3. Elektr asboblari Yerga ulanadi.
4. Elektr asboblari tok tarmog'iga ulanadi.
5. G5-54 generatorning boshqarish pultidagi knopkalar quyidagi holatga keltiriladi: chastota  $\sim 10^3$  Gs, amplituda  $\sim 1$  V, o'tish davomiyligi  $\sim 1$  mksek, qutbi-manfiy.
6. Generator ishga tushiriladi.
7. Ossillograf yordamida signal kuzatiladi. Signalning amplitudasi va o'tish davomiyligi o'lchanadi.
8. G5-54 generatorning chastotasi o'zgartiriladi va sanoq moslamasidagi sanoq tezligining o'zgarishi kuzatiladi.
9. G5-54 generatori impulsining o'tish davomiyligi o'zgartiriladi va signal ossillograf yordamida kuzatiladi.
10. Tajriba ishlari boshqa chastotalarda va amplitudalarda amalga oshiriladi.
11. Tajriba natijalari 1-jadvalda beriladi.

1-jadval. Tajriba natijalari

№	G5-54 generator			Ossillografda o'lchangan	
	U, V	f, Gs	t, mksek	U, V	f, Gs
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					



4-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

### Nazorat savollari:

1. Generatorlarning qanday turlari mavjud?
2. Generatorlar qanday vazifalarni bajaradi?
3. Turtki generatorining ishlash prinsipini tushuntirib bering.
4. Elektromagnit tebranishlar qanday hosil qilinadi?
5. Elektromagnit tebranishlar davri qanday aniqlanadi?
6. Impulslar generatorining blok-sxemasini tushuntirib bering.

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. B.P. Xromoy, Yu.G. Moiseev//Elektroradio izmereniya, "Radio i svyaz", 1985.
2. A.P. Sitovich//Yadernaya elektronika, M: Energoatomizdat, 1984.

## № 5. Laboratoriya ishi

### Mos keltirish sxemalari va ular bilan ishlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Mos keltirish sxemasining (MKS) turlari va ularning ishlash prinsiplari bilan tanishish. Bu sxema qanday vazifalarni bajarishini o'rganish. Uni ishga tushirish yo'llari bilan tanishish.

**Kerakli jixozlar:** Mos keltirish sxemasi, ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometr, yuqori kuchlanish manbai, past kuchlanish manbai, differensial diskriminator (DD), kechiktirish moslamasi, sanoq moslamasi.

**Nazariy qismi:** Yadro jarayonlarini o'rganish, vaqt bo'yicha o'lchash ishlari asosida olib borilayotgan bo'lsa, bu ishlarda mos keltirish sxemasi eng asosiy metodlardan biri hisoblanadi. MKS qurilmasi yordamida yuz berayotgan hodisalar vaqt bo'yicha saralanadi. Mos keltirish sxemasining bir nechta turlari mavjud. Ularga: chiziqli bo'lmagan qo'shishga asoslangan; ko'paytirishga asoslangan; eng kichigini tanlashga asoslangan va fazaga asoslangan sxemalar kiradi. Ular bilan qisqacha tanishib o'tamiz.

1. Chiziqli bo'lmagan qo'shishga asoslangan sxema. MKSning kirishiga berilayotgan impulslarni  $X(t)$  va  $U(t)$  bilan belgilaymiz. Chiqishidagi impulsni esa  $f(x,u)$  orqali ifodalaymiz. Bunda chiziqli bo'lmagan qo'shishga asoslangan sxema quyidagi ifoda orqali beriladi:

$$f(x,u) \sim F(x+u) - [F(x) + F(u)], \quad (1)$$

bu yerda  $F(x)$  va  $F(u)$  chiziqli bo'lmagan elementlarning xarakteristikalari.

2. Ko'paytirishga asoslangan sxema. Bu usulda quyidagi ifoda ishlatiladi:

$$f(x,u) \sim x \cdot u \quad (2)$$

3. Eng kichigini tanlashga asoslangan sxema. Bu usulda chiqishdagi signal, kirishdagi signallarning eng kichigiga proporsional holatda bo'ladi. Ya'ni,  $f(x,u) \sim \min(x,u)$ .

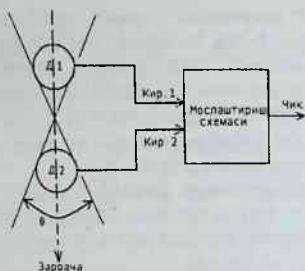
4. Fazaga asoslangan sxema. Bu sxemada chiqishdagi signal faqat kirishdagi signallarning fazasiga bog'liq bo'ladi. Signallarning amplitudasiga bog'liq bo'lmaydi.

$$f(x,u) \sim \varphi_x - \varphi_u, \quad (3)$$

bu yerda  $\varphi_x, \varphi_u$  - kirishdagi signallarning fazalari.

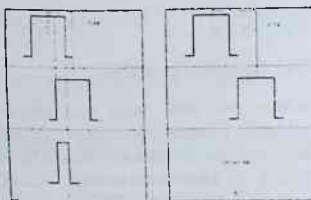
Mos keltirish sxemasi ikki yoki undan ortiq karrali bo'lishi mumkin. Necha karrali bo'lishligi kirish signallarining soniga bog'liqdir. Eng soddasi bu ikki karrali mos keltirish sxemasi hisoblanadi. Bunda kirish impulslari ikkita bo'ladi. Kirish impulslari ikkita detektordan beriladi. 1-rasmda ikki karrali mos keltirish sxemasi ko'rsatilgan. 1-rasmda ikkita detektor tasvirlangan ( $D1$  va  $D2$ ). Detektorlardan olingan signallar MKSning kirish qismlariga uzatiladi (kir.1 va kir.2).

Zarrachalarni birinchi va ikkinchi detektorlardan o'tishi mumkin bo'lgan burchagi  $\theta$  ga teng (fazoviy burchak). Bunday detektorlarning joylashish ketma-ketligiga teleskop nomi berilgan. MKSning kirishiga signallar bir xil vaqtda kirib kelsa, chiqishida signal paydo bo'ladi.



1-rasm. Ikki karrali mos keltirish sxemasi

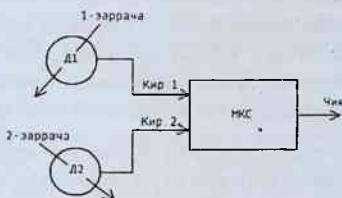
Aslida, MKS ga D2-detektordan kelayotgan signal, D1 dan kelayotgan signalga nisbatan  $\Delta t_2$  vaqtga kechikib keladi. Chunki, qayd qilinayotgan zarracha birinchi bo'lib D1 dan keyin D2 dan o'tadi. Signallarni bir biriga mos keltirishning bir qator yo'llari bor. Birinchidan xar qanday MKS o'zining chegaralangan vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatiga ( $\tau_a$ ) ega bo'ladi. Agar MKSga kirib kelayotgan signallar orasidagi vaqt ayirmasi ( $t$ ) bilan  $\tau_a$  kattaliklari o'rtasida quyidagi  $t \leq \tau_a$  tengsizlik bajarilsa, sxema zarrachani qayd qilgan bo'ladi. MKSning chiqishida signal paydo bo'ladi. Aks holda, ya'ni quyidagi munosabat  $t > \tau_a$  bajarilsa, zarracha qayd qilinmaydi. MKSning chiqishida signal paydo bo'lmaydi. Bu aytilgan fikrlarni 2a,b-rasmlar yordamida ko'rsatish mumkin.



2-rasm. Mos keltirish sxemasida signallarni joylashuvi: a-signallarning bir-biriga mos kelishi; b- signallarning bir-biriga mos kelmasligi

$t_2$ -ning qiymatini oshirish orqali mos keladigan signallar sonini oshirish mumkin. Lekin buning bir kamchiligi bor, tasodifiy sanoqlarni ortib ketishiga olib keladi. Masalan, buni quyidagi tajribada ko'rish mumkin. Ikkita detektorli teleskop berilgan. Bu detektorga turli yo'nalishlardan kelayotgan zarrachalar

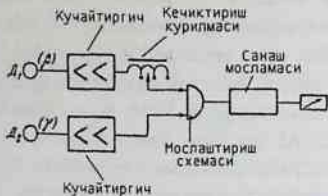
kelib tushadi. Shunday tasodifiy hodisa sodir bo'lishi mumkinki, detektorlardan hosil bo'lgan signallar orasidagi vaqt bo'yicha farq  $t \leq \tau_a$  shartni qanoatlantiradi va MKS ning chiqishida signal paydo bo'ladi. Bu signalni ikkita detektordan o'tgan zarracha hosil qilmadi, balki turli zarrachalarni detektorlardan o'tishida hosil bo'lgan impulslarga ko'ra paydo bo'ldi. Bu hodisalar tajriba natijalariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Albatta, ularni kamaytirish lozim. 3-rasmda tasodifiy signallarning paydo bo'lishiga doir qurilma ko'rsatilgan. Tasodifiy signallarni kamaytirish uchun  $\tau_a$ -kattaligini kamaytirish lozim bo'ladi. Juda kichik qilib olish ham yaxshi natija bermaydi. Chunki, bitta zarrachani ikkita detektordan o'tishida hosil bo'lgan impulslar orasidagi vaqt farqi yetarli darajada katta bo'lib, signallar bir-biriga vaqt bo'yicha mos kelmasligi mumkin va MKS bu hodisani sanamaydi. Demak, bundan  $\tau_a$ -kattaligini tanlash va uni optimal holatda olish kerak bo'ladi. Ba'zi bir tajribalarda detektorlar sifatida turli tipdagi detektorlar ishlatiladi. Zarrachani bu detektorlardan o'tishida hosil bo'lgan impulslarning paydo bo'lishligi ham turlicha bo'ladi. Natijada MKS ning kirishiga berilayotgan signallar orasidagi vaqt bo'yicha farq ham turlicha bo'ladi.  $\tau_a$ -kattaligini doimo o'zgartirish bir qator qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi.



3-rasm. Tasodifiy signallarni paydo bo'lishi

Bu qiyinchiliklarni yengish uchun kechiktirish moslamasidan foydalanish yo'lga qo'yilgan. Kechiktirish moslamasi sifatida kabellardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Chunki, bu moslamada signalning shakllari buzilmaydi. Ossillograf yordamida detektordan kelayotgan signallar orasidagi vaqt bo'yicha farq aniqlanishi mumkin. MKSning kirishiga berilayotgan signallarning biri KM orqali uzatiladi. 4-rasmda KM ishlatilgan varianti tasvirlangan.





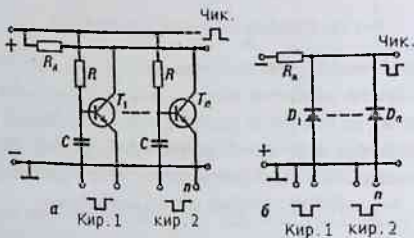
4-rasm. Kechiktirish moslamasining ishlatilishi

MKSGa ulangan har bir detektor kerakli zarrachalardan tashqari katta miqdordagi fon zarrachalarini ham qayd qiladi. Ulardan hosil bo'lgan signallarning mos kelish ehtimolligi yuzaga keladi. Shu sababli MKS ishlatilayotgan tajribalarda tasodifiy signallar qiymatini baholash kerak bo'ladi. Agar, detektordan kelayotgan signallarni Puasson taqsimotiga bo'ysinadi deb faraz qilinsa, ikki karrali MKS uchun birlik vaqt ichida mos keluvchi tasodifiy signallarning o'rtacha qiymatini ( $n_{\text{mas}}$ ) quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$n_{\text{mas}} = 2n_1 n_2 \tau_a, \quad (4)$$

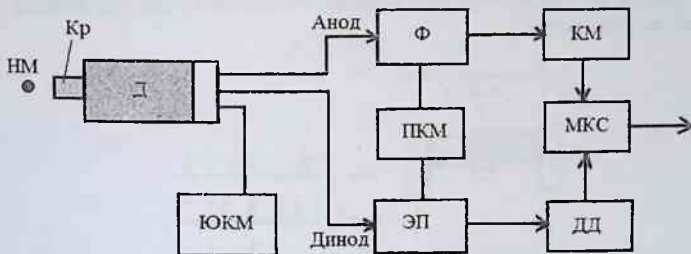
bu yerda  $n_1$  va  $n_2$ -MKS sxemasining 1- va 2-kirishiga berilayotgan tasodifiy impulslarning o'rtacha qiymati;  $\tau_a$ -MKS sxemasining vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati. Tasodifiy signallarni doimo kamaytirishga harakat qilinadi. Tajriba ishlarini olib borishda quyidagi shart bajarilishi kerak: ya'ni,  $n_{\text{mas}} \ll n_{\text{foydali}}$ .

MKS sxemalari tranzistorlar yoki diodlar yordamida quriladi. 5a,b-rasmlarda MKS sxemasining chizmalari va tok manbalari ko'rsatilgan.



5-rasm. MKS sxemasining chizmalari (a) va tok manbalari (b)

Juda ko'p tajriba ishlarida o'lchanayotgan spektrlarning kerakli sohalarini ajratib olishga to'g'ri keladi. Bunday ishlarni bajarishda MKS alohida o'rinni egallaydi. Ayniqsa, uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometrida MKSning vazifasi juda kattadir. Turli davrlarda hosil bo'lgan neytronlar gruppalarini bir-biridan ajratib olishda yordamga keladi. 6-rasmda kerakli sohani ajratib olish chizmasi berilgan.

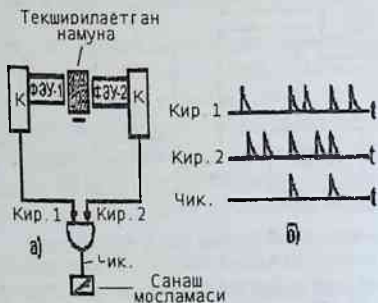


6-rasm. Kerakli sohani ajratib olish chizmasi:

NM-nurlanish manbai, Kr-kristall, D-detektor, YuKM-yuqori kuchlanish manbai, PKM-past kuchlanish manbai, F-formirovatel, EP-emitter povtoritel (takrorlagich), DD-differensial diskriminator, KM-kechiktirish moslamasi, MKS-mos keltirish sxemasi

Kerakli sohani ajratib olishda bitta detektor ishlatiladi. Detektordan ikkita signal olinadi. Agar tajribada neytron zarrachalarini o'lchash ishlari bajarilayotgan bo'lsa, detektor sifatida organik kristalli sintillyatsion detektorini ishlatish mumkin. Detektordan anod va dinod signallari olinadi. Anod signali manfiy, dinod signali esa musbat ishoralidir. Anod signalining o'tish davomiyligi ~10-15 nsek atrofida bo'ladi. Dinod signalining davomiyligi esa ~0,5-1mksek ga teng. Dinod signali EP bloki orqali DD ga uzatiladi. DD blokining ikkita porogi mavjud, bu poroglar yordamida keraksiz bo'lgan sohadagi impulslar qirqib tashlanadi va qolgan signallar MKSning bitta kirishiga beriladi. Anod signali esa formirovatel yordamida tekislanadi va kabelli KM moslamasi orqali MKSning ikkinchi kirishiga uzatiladi. Anod signali qirilmaganligi uchun unda turli amplitudali impulslar soni juda ko'p bo'ladi. Dinod signali porog yordamida qir qilgani sababli unda impulslar soni kamroq bo'ladi. MKS sxemasida ajratilgan sohaga tegishli impulslar orasida vaqt bo'yicha moslik sharti bajariladi.

MKS ishlatiladigan tajribalardan yana biri annigilyatsion  $\gamma$ -kvantlarini o'lchashdir. Pozitronni elektron bilan to'qnashishi natijasida annigilyatsion gamma kvantlari paydo bo'ladi. Agar pozitron energiyasini to'liq yo'qotib, so'ngra elektron bilan annigilyatsiya hodisasini sodir qilsa,  $\gamma$ -kvantlari o'rtasidagi burchak  $180^\circ$  ga teng bo'ladi. Agar pozitron energiyasini to'liq yo'qotmay turib, elektron bilan annigilyatsiya hodisasini sodir qilsa,  $\gamma$ -kvantlari o'rtasidagi burchak  $180^\circ$  ga teng bo'lmaydi. 7-rasmda tajriba qurilmasining blok-sxemasi berilgan.



7-rasm. Annigilyatsion  $\gamma$ -kvantlarini o'lchash sxemasi

MKS radioaktiv elementlarning aktivligini o'lchashda ham keng ishlatiladi. Agar radionuklid yadrosining parchalanishida ikki yoki undan ortiq zarrachalar hosil bo'layotgan bo'lsa, izotopning aktivligini MKS yordamida bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikkita detektor orqali aniqlash mumkin bo'ladi. Masalan, bitta parchalanishda  $\beta$ - va  $\gamma$ -kvanti hosil bo'layotgan bo'lsin. Detektorlarning o'rtasiga radionuklid joylashtiriladi. Radionuklid bilan detektorlar orasidagi masofa unchalik katta emas.  $\beta$ - va  $\gamma$ -kvanti chiqaradigan nuklid sifatida  $^{28}\text{Al}$  izotopini olish mumkin. Bu izotopning parchalanish sxemasi 8-rasmda ko'rsatilgan. Detektorlardan biri  $\beta$ -zarrachani, ikkinchisi esa  $\gamma$ -kvantini qayd qilishga mo'ljallangan. Detektorlardagi sanoq tezligini quyidagi ifodalar yordamida topish mumkin:

$$n_{\beta} = \varepsilon_{\beta} \cdot A; \quad (5)$$

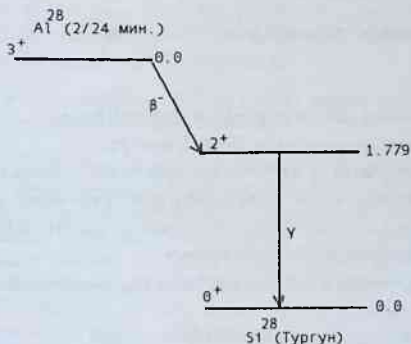
$$n_{\gamma} = \varepsilon_{\gamma} \cdot A, \quad (6)$$

bu yerda  $\varepsilon_{\beta}$ - va  $\varepsilon_{\gamma}$ —beta va  $\gamma$ -detektorlarning effektivligi; A-radionuklidning aktivligi. Agar detektordan olingan impuls MKS ning kirishiga berilsa, chiqishidagi sanoq tezligi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$n_{\beta\gamma} = \varepsilon_{\beta} \cdot \varepsilon_{\gamma} \cdot A \quad (7)$$

(5-7) ifodalardan foydalanib radionuklidning aktivligini aniqlash mumkin:

$$A = \frac{n_{\beta} \cdot n_{\gamma}}{n_{\beta\gamma}} \quad (8)$$



8-rasm.  $^{28}\text{Al}$  izotopining parchalanish sxemasi

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. 7-rasmda ko'rsatilgan annigilyatsion  $\gamma$ -kvantlarini o'lchash sxemasini yig'ish. O'lchami 50x50 mm bo'lgan Naj(Tl) sintillyatsion detektorini ishlatish (2 ta).
2. Detektorlarni rasmda ko'rsatilganidek joylashtirish. Detektorlar orasidagi masofani ~5mm bo'lishini ta'minlash.
3. Detektorlarning kristalini qo'rg'oshin devori bilan o'rash (devor qalinligi ~5 sm).
4. Detektorlarga past kuchlanish manbaini berish.
5. So'ngra detektorlarga yuqori kuchlanishni asta-sekinlik bilan berish.
6. Detektorlar oralig'iga nurlanish manbaini qo'yish.

7. Tajriba uchun kerakli bo'lgan KAMAK bloklarini tok tarmog'iga ulash (kuchaytirgich, mos keltirish sxemasi).
8. Ossillograf yordamida detektorlarning chiqishidagi impulslarni ko'rish.
9. Detektorlarning chiqishidagi impulslarni MKS sxemasining kir.1 va kir.2 ga berish.
10. MKS sxemasining chiqishidagi signalni ossillograf yordamida ko'rish.
11. Mos keltirish sxemasining chiqishini sanoq qurilmasiga ulash.
12. Sanoq raqamlarini yozib olish.
13. Nurlanish manbaini detektordan uzoqlashtirish va sanoq raqamlarini yozib olish.
14. O'lchangan natijalarni jadval ko'rinishida berish.

#### Nazorat savollari:

1. MKS sxemasining ishlash prinsipini tushuntirib bering?
2. MKS sxemasini qaysi joylarda ishlatish mumkin?
3. Tasodifiy impulslarni kamaytirish uchun nima qilish lozim?
4. MKS sxemasining vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati nimani anglatadi?
5. Anngiyatsion  $\gamma$ -kvantlarini o'lchash sxemasini tushuntirib bering?
6. Tajribani o'tkazish tartibini aytib bering?
7. Tasodifiy signallarning o'rtacha qiymatini ( $n_{\text{MKS}}$ ) aniqlash ifodasini izohlab bering?
8. Mos keltirish sxemasining qanday turlari mavjud?
9. Kechiktirish moslamasi sifatida nima sababdan kabellardan foydalanish kerak?
10. Qaysi vaqtlarda mos keltirish sxemasida KM ishlatiladi?

#### Foydalanilgan adabiyotlar

1. R y e x i n Ye. I., Chernov P. S., Basiladze S. G., Metod sovpadeniy, M., 1979.
2. *Sitovich A.P. Yadernaya elektronika.* — Moskva: Energoatomizdat, 1984.

### III BOB. DETEKTORLAR VA ULARNING XARAKTERISTIKALARI

#### № 6. Laboratoriya ishi

#### Fotoelektron kuchaytirgichlarni tanlash va ularni ishga tayyorlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Bir hil Fotoelektron kuchaytirgichlarning (FEK) xarakteristikalari bir biridan farq qiladi. Shu sababli bir nechta FEK lar ichidan tajriba talablariga to'liq javob beradigan FEK tanlab olish kerak bo'ladi. Ushbu laboratoriya ishida FEK tanlash yo'llari o'rgatiladi.

**Kerakli jihozlar:** FEK; svetodiod; FEK ni tanlash maketi; tester; ossillograf; past kuchlanish manbai; yuqori kuchlanish manbai.

**Nazariy qismi:** FEK ning asosiy vazifasi kuchsiz yorug'lik nurlarini kuchaytirib elektr impulslariga aylantirib berishdir. Dastlabki vaqtlarda FEK avtomatika, tovushli kino apparatlarida, astronomiyada, optikada va kosmosda olib borilgan ishlarda qo'llanildi. FEK larning yanada takomillashtirilishi natijasida 1946 yildan boshlab ular yadro fizika sohasida ishlatila boshlandi. Ssintillyatsion detektorlarning yaratilishi yadro texnikasining rivojlanishiga katta ta'sir ko'rsatdi. FEK larning juda ko'p turlari yaratildi. Hozirgi vaqtga kelib ixcham, parametrlari yuqori bo'lgan FEK ishlab chiqilgan.

FEK elektrovakuimli asbob bo'lib, ultrabinafsha, ko'rinuvchi va infraqizil nurlanishlarini elektr signallariga aylantiradi va ularni kuchaytiradi. Yorug'lik nurlanishlarini elektr signallariga aylantirishda asosan ikki hil elektron emissiya jarayoni sodir bo'ladi. Ulardan biri fotoelektron, ikkinchisi esa ikkilamchi elektronlardir. Elektronlar oqimi elektr va magnit maydonlari yordamida fokuslanadi. FEK larning dinod sistemasi ustida juda ko'p ishlar amalga oshirildi. Dinodlarning joylashish tartiblari o'rganib chiqilib, ularning joylashish sxemalari ishlab chiqildi. 1-rasmda dinodlarning joylashish sxemalari ko'rsatilgan. Tajribada bajariladigan ishning mohiyatiga qarab, bu ishga mos keluvchi dinodlar sistemasiga ko'ra yig'ilgan FEK tanlab olinadi.

1-rasmning a-qismida dinodlarning "Korobka" shaklida yig'ilgan varianti berilgan. Bu usul asosan o'lchamlari kichik bo'lgan FEU ishlatiladi. Effektivlikni oshirish maqsadida setkalar qo'yilgan va ularga kuchlanish beriladi. Bu FEK yuqori tezlikka ega emas. Kozirok shaklidagi ekranlar ham qo'yilishi mumkin (1b-rasm).

1-rasmning v-qismida dinodlarning "Jalyuz" shaklida yig'ilgan varianti berilgan. Bunda ham setkalar ishlatilgan bo'lib, ularga kuchlanishlar beriladi. Dinodlarning ish yuzalari yetarli darajada katta. Dinodlar orasidagi masofani

kichik qilib olish imkoniyati bor. Dinodlar orasidagi elektr maydon kuchlanganligini bir jinsli deb qarash mumkin. Asosiy kamchiligi ba'zi dinodlarda elektronlarning ko'payishi sodir bo'lmasligi mumkin, bu FEK ning effektivligini va vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini tushirib yuboradi.

1-rasmda g-qismida dinodlarning "Korita" shaklida yig'ilgan varianti berilgan. Bunda dinodlar doira ko'rinishida yig'ilgan va natijada FEK larning effektivligi kattalashgan. O'tkazish polosasi 100 MGs atrofiga yetib boradi. Elektronni ikki dinod orasidagi o'tish vaqti  $\sim 0,64$  nsek ga teng.

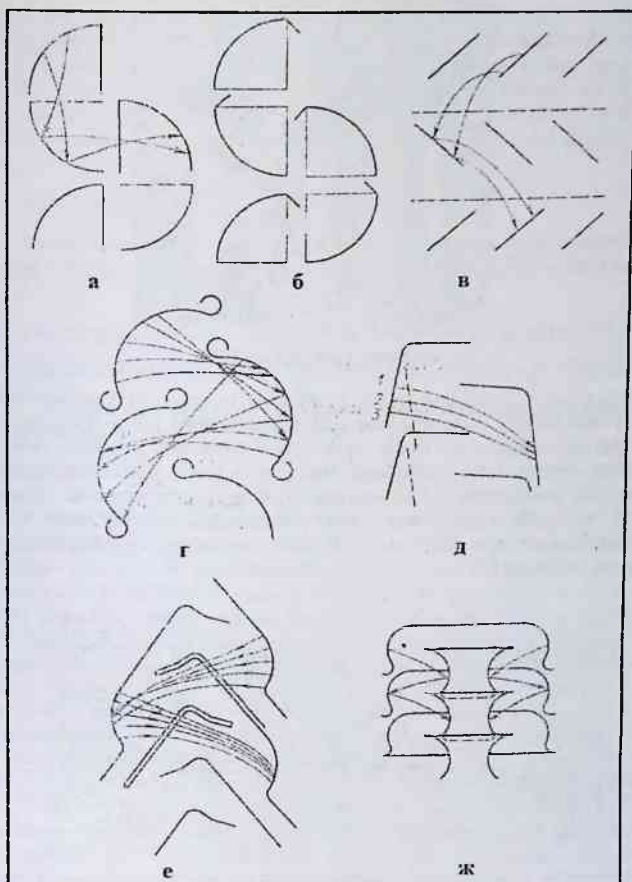
1d-rasmda dinodlarning rasmda ko'rsatilgan shaklida yig'ilgan varianti berilgan. Dinodlarning bunday yig'ilishi sochilgan elektronlarni ham tutib qolishga imkon beradi. Bu ancha takomillashtirilgan variant bo'lib, elektronlarni 1- va 3-traktoriyalari bo'yicha bosib o'tish vaqtlari bir biridan 0,2 nsek ga farq qiladi. O'lchamlari ancha katta bo'lib, elektr razryadlarini paydo bo'lishi bu tipdagi FEK larni kichiklashtirishga imkon bermaydi.

1e-rasmda dinodlar rasmda ko'rsatilgandek yig'ilgan. Yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklarga barham berilgan. Dinodlar ikki qismdan iborat bo'lib, yuqori qismi ayvoncha shaklida qurilgan. Dinodlarning yuqori qismlari bir biriga yaqinlashtirilgan. Elektronlarni bitta kaskaddagi o'tish vaqtlari orasidagi farq 0,2 nsek ga teng.

1j-rasmda dinodlar sistemasini "toroidal" shaklida yig'ilishi ko'rsatilgan. Bunda ikkitoradagi dinodlar ishlatiladi. Birinchisi tashqi dinod bo'lib, uning ichki yuzasi ish bajaradi. Ikkinchisi ichqi dinod bo'lib, uning tashqi yuzasi ish bajaradi. Elektronlarni o'zida ushlab qolishi juda katta. Tezligi yuqori va katta toklarda ham ishlashi mumkin. Lekin bunday FEK larni yig'ish ancha qiyindir.

Dinodlarning o'rnatish sxemalari bilan tanishib chiqdik. Agar FEK lar vaqt ichidagi jarayonlarni o'rganish uchun ishlatilayotgan bo'lsa, bunda vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati yuqori bo'lgan FEK lardan foydalanish kerak bo'ladi. Bular da dinodlar sistemasi "toroidal" shaklida yig'ilgandir.

Keyingi yillarda vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati yuqori bo'lgan FEK yaratildi. Ularning ko'rinishi 2-rasmda berilgan. 3-rasmda trubka ko'rinishida tayyorlangan FEK ko'rsatilgan, u maxsus oynadan tayyorlangan bo'lib, uning ustiga vodorod muxitida termo ishlov berish orqali kerakli qatlam yotqizilgan. Bu qatlam ikkilamchi elektron emissiyasini bajarilishi uchun yetarli qarshilikka ega ( $10^7$ - $10^8$  om). Kanalning chetki nuqtalariga yuqori kuchlanish beriladi. Kanal bo'ylab tok



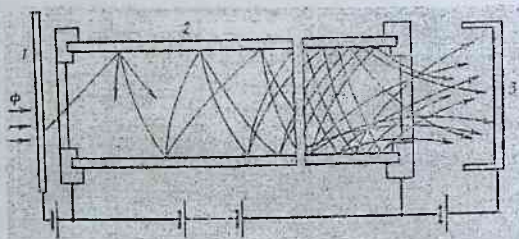
1-rasm. Dinodlar sistemasining joylashishi: a,b-“Korobka” shaklida; v-“Jalyuz” shaklida; g-“Korita” shaklida; d- “Korita” ningtakomillashirilgan ko‘rinishi; ye-“Ayvoncha” shaklda; j-“toroidal” shaklida yig‘ilgan





2-rasm. Turli tipdagi FEK

o'tishi boshlanadi. Kanalning oxirgi nuqtalariga borgan sari kuchlanishning tushishi sodir bo'ladi. Fotelektronlar bu maydon ta'sirida tezligini oshiradi va kanalning devorlariga urilib, undan ikkilamchi elektronlarni chiqaradi. Jarayon shu tariqa davom etadi. Trubkalarga taxminan 2,5 kV kuchlanish beriladi. Kuchaytirish koeffitsienti  $10^6-10^7$  qiymatiga teng bo'lishi mumkin. Keyingi yillarda bu usulda elektronlarni kuchaytirish yanada takomillashtirildi va mikrokanalli plastinkalar (MKP) yaratildi. MKP vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati juda yuqoridir ( $<1$  nsek).



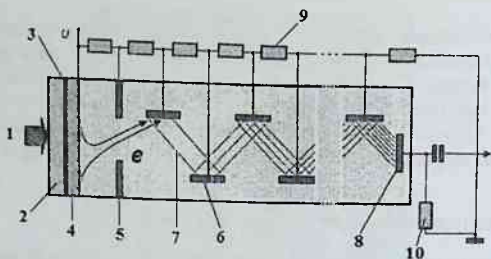
3-rasm. Trubkali FEK

Zamonaviy ssintillyatsion detektorlar ssintilyatordan va fotelektron kuchaytirgichdan (FEK) iborat. Ssintilyatorda qayd qilinayotgan zarrachaning yutilgan energiyasi ko'rinuvchi yorug'lik nuriga aylanadi. Bu nur FEK ning fotokatodiga tushib, undan elektronni urib chiqaradi. Urib chiqarilgan elektron tezlashtiruvchi elektr maydoni ta'sirida energiyasini oshiradi va birinchi

dinodga borib uriladi. Birinchi dinoddan yana qo'shimcha elektron o'tilib chiqadi. Bu jarayon boshqa dinod oraliklarida ham sodir bo'lib, elektronlar soni tobora ortib boradi. Elektronlar sonining ortib borishini ko'rsatuvchi kattalik kuchaytirish koeffitsienti(K) deyiladi. Ssintillyatsion schyotchiklarda  $K=10^6$  ga teng bo'ladi. Schyotchikning chiqishida elektr tokining impulslari hosil bo'ladi. Ssintillyatsion schyotchiklarda sodir bo'ladigan jarayonlarni 5ta qismga ajratish mumkin:

1. Ssintillyatorda zarracha energiyasining yutilishi;
2. Yutilgan energiya hisobiga ssintillyatordagi atomlar va molekulalarning uyg'ongan holatiga o'tishi va ularni asosiy holatiga o'tishida yorug'lik nurini chiqarishi;
3. FEK ning katodini yorug'lik nuri bilan bombardimon qilinishi;
4. Katodda fotonlarning yutilishi va fotoelektronlarning ajralib chiqishi;
5. Dinodlar sistemasida elektronlarning ko'payishi va elektronlarni anodda to'planishi.

Dinodlar elektronlarning chiqish ishi kichik bo'lgan materiallardan tayyorlanadi. Dinodlar orasidagi tezlashtiruvchi elektr maydoni taqsimlovchi qarshiliklar yordamida hosil qilinadi. Bu qarshiliklarning son qiymati FEK ning yig'ish chizmasida qo'rsatilgan bo'ladi. Dinodlarning o'rta oraliklarida ishlatiladigan taqsimlovchi qarshiliklarning son qiymatlari bir-biriga juda yaqin qilib tanlanadi. Qarshiliklar ichidan asbob yordamida qarshiliklari bir-biridan kam farq qiluvchilari tanlab olinadi. Fotokatodga yaqin joylashgan dinodlarga o'rnatiladigan qarshiliklar o'miga o'zgaruvchan qarshiliklarni o'rnatish maqsadga muvofiqdir. Bunday qarshiliklarni o'zgartirish orqali detektorda maksimal amplitudali signal olishga erishiladi. Amalda ko'p holatlarda 3-ta o'zgaruvchan qarshilik qo'yiladi. Anod yaqinida joylashgan 3-ta taqsimlovchi qarshiliklar o'miga ham o'zgaruvchan qarshiliklarni o'rnatish lozim. Bu qarshiliklar yordamida detektorning chiziqli xarakteristikasi normal holatga keltiriladi. Tajribaning ko'rsatishicha, bu holatga anod yaqinidagi qarshiliklarning son qiymatini o'rta zvenoda joylashgan taqsimlovchi qarshiliklarning son qiymatiga nisbatan  $1.5 \div 2.0$  marta katta qilib olish orqalierishiladi. Bu xarakteristikalarini oddiy tajriba yordamida aniqlash mumkin. 4-rasmda ssintillyatsion schyotchikning ishlash prinsipi ko'rsatilgan. 1-qayd qilinayotgan zarrachalar, 2-ssintillyator, 3- ssintillyator va fotokatod orasidagi moy qatlami (bir biriga yopishib turishini ta'minlaydi), 4-fotokatod, 5-ekran (fotoelektronlarni dinod tomonga qarab yo'naltiradi), 6-dinod (FEK larda bir nechta dinodlar ishlatiladi), 7-elektronlar, 8-anod, 9-kuchlanishni taqsimlab beruvchi qarshilik, 10-yuklama qarshiligi. Kondensator orqali anod signali olinadi.



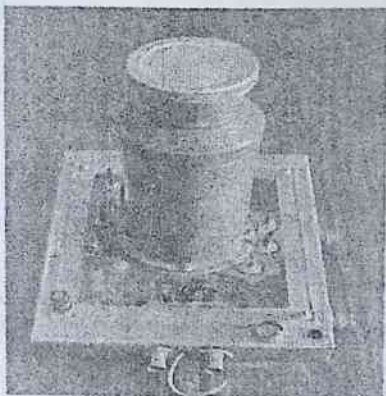
4-rasm. Ssintillyatsion schyotchikning ishlash prinsipi

**Tajribani amalga oshirish tartibi:** FEU-30 turidagi kuchaytirish moslamasini ishga tayyorlash yo'llarini ko'rib o'tamiz. Har bir FEK da unga tegishli xarakteristikalarini ko'rsatilgan pasporti bo'ladi. Unda sezgirlik darajasi, shovqin qiymati va boshqa kattaliklar berilgan bo'ladi.

1. FEK larni pasportida berilgan kattaliklar bo'yicha tanlanadi. Bunda asosan sezgirlik darajasiga va shovqin tokiga e'tibor beriladi.
2. Xarakteristikalarini bo'yicha tanlangan FEK tashqi ko'rikdan o'tkaziladi. Hamma tomoni ko'rib chiqiladi. Singan va uringan joylari bo'lmasligi kerak. FEK ning ichki tomoniga e'tibor berish lozim. Agar vakuum ketgan bo'lsa, FEK ning ichki tomoni oq rangda bo'lib qoladi. Normal bo'lgan FEK larda ichki tomoni sarg'ish rangda tovlanib turadi.
3. Tanlovning ikkinchi bosqichi boshlanadi. Bunda FEK ning dinod sistemalari nazoratdan o'tkaziladi. Dinodlar bir-biriga tegib qolmasligi lozim. Tekshirish oddiy tester yordamida amalga oshiriladi. Tester qarshilikni o'lchash holatiga o'tkaziladi. Testerning birinchi uchi FEK ning birinchi oyog'iga tekizilib, ikkinchi uchi esa boshqa oyog'lariga birin-ketin tekizilib chiqiladi. So'ngra, testerning birinchi uchi FEK ning ikkininchi oyog'iga tekiziladi, ikkinchi uchi esa boshqa oyog'lariga birin-ketin tekizilib chiqiladi va shu tariqa tekshirish oxirgi oyoqlarigacha davom ettiriladi. Agar bu tekshirishlarda dinodlarning bir-biriga ulanib qolgan joylari uchrasa, bunday FEK ishga yaroqsiz bo'ladi.
4. Tanlovdan o'tgan FEK larning xarakteristikalarini yorug'lik nurlari ta'sirida tekshiriladi. Bu ishlarni bajarish "maket" moslamasida (5-rasm) amalga oshiriladi. "Maket" moslamasida FEK ishlashi uchun barcha sharoitlar yaratilgan. "Maketning" pastki tomonida dinod oyog'lariga kuchlanishni taqsimlab beruvchi qarshiliklar o'rnatilgan (4-rasmdagidek). "Maketning" tepa qismlari burab olinadi va FEK joylashtiriladi. FEK ni o'rnatishda juda ehtiyot bo'lish kerak. Aks holda FEK sinishi mumkin.
5. FEK yaxshi o'rnatilganidan keyin, vertikal holatidan chetka chiqmasligi

uchun rezinadan tayyorlangan xalqa orasiga olinadi. Rezina xalqa FEK bilan devor orasida bo'ladi.

6. So'ngra, svetodiod o'rnatilgan qopqoq kiygiziladi. Qopqoq ustida svetodiodga signal beruvchi moslama o'rnatilgan (6-rasm).
7. Sistemaning hamma tomoni zich qilib berkitilgan. Tashqaridan yorug'lik nuri ichkariga kirmasligi lozim.
8. Svetodiodga signal berilganda u kuchsiz nur berishi kerak. Uning ishlashi tekshirilib olinadi.
9. FEK ga yuqori kuchlanish beriladi. Maketdagi oldingi uchta o'zgaruvchan qarshiliklarning qiymatlarini kichiklashtirib qo'yiladi va svetodiod surgich yordamida FEK ning markaziga olib kelinadi.

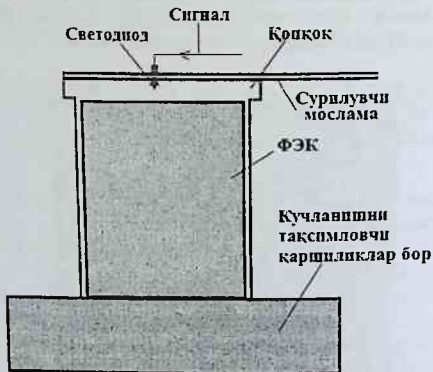


5-rasm. FEK tanlash "maketi"

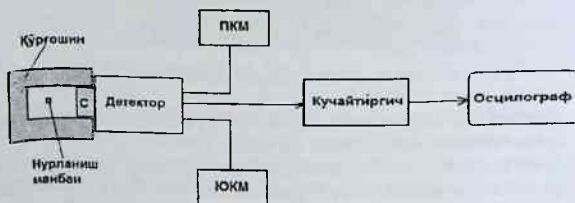
10. "Maket"dan olingan anod signali ossillografga beriladi. Svetodiodga signal beriladi va ossillografda signalning paydo bo'lishi kuzatiladi.
11. Ko'p holatlarda ossillografda signal ko'rinmaydi. Bunda oldingi uchta qarshilik asta sekinlik bilan o'zgartiriladi. Natijada impuls paydo bo'lishi kerak. Oldingi uchta qarshilik yordamida impulsning amplitudasi maksimal qiymatiga keltiriladi.
12. Keyinchalik oxirgi to'rtta o'zgaruvchan qarshilikka o'tiladi. Ularni o'zgartirish orqali impulning qanday o'zgarishi kuzatiladi. Bu qarshiliklarning qiymati o'rta zvenodagi qarshiliklardan taxminan 1,3-1,5 marta katta bo'lishi lozim.
13. "Maketdan" olingan anod signali kuchaytirilib, sanash moslamasiga

beriladi. O'lchash vaqtini 100-200 sek olish yetarlidir. O'lchash ketma ketligi 8-rasmda ko'rsatilganidek amalga oshiriladi (tajriba sxemasi 7-rasmda berilgan).

14. 0- nuqta, so'ngra 1-nuqta va boshq. nuqtalarda o'lchash ishlari bajariladi. Hamma o'lchashlarda vaqt bir hil qilib olinadi.
15. O'lchangan natijalar jadval (1-jadval) ko'rinishida beriladi. Natijalarga ko'ra FEK ning sezgirligi vertikal va gorizontal chiziqlar bo'yicha baholanadi. Nuqtalardagi sanoqlar farqi bir biridan juda katta bo'lishi kerak emas.



6-rasm. Svetodiod yordamida FEK ning turli nuqtalaridagi sezgirligini aniqlash



7-rasm. Tajribaning blok-sxemasi



8-rasm. Svetodiiodni FEK yuzasi bo‘ylab turli nuqtalarga joylashtirilishi

1-jadval. Tajriba natijalari

N	Nuqta	Nsanoq	N	Nuqta	Nsanoq
1			7		
2			8		
3			9		
4			10		
5			11		
6			12		

### Nazorat savollari

1. FEK ni ishga tayyorlash uchun qanday vazifalarni bajarish kerak?
2. FEK ni ishga tayyorlashni nimadan boshlash lozim?
3. Nima sababdan dinodlarni bir biriga ulanib qolmasligini tekshirish kerak?
4. FEK da mikroteshikchani bor yoki yo‘qligini qanday aniqlash mumkin?
5. FEK larda dinodlar sistemasi qanday ko‘rinishlarda bo‘ladi?
6. Nima sababdan oldingi uchta qarshilik o‘zgaruvchan qilib o‘rnatilgan?
7. Nima sababdan FEK joylashgan muhitga tashqaridan yorug‘lik nuri umuman tushmasligi kerak?
8. Qanday turdagi svetodiioddan foydalanish lozim?
9. FEK ni tanlash “maket”iga o‘rnatishda nimalarga e‘tibor berish kerak?
10. FEK ning yuzasi bo‘yicha sezgirligi qanday aniqlanadi?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiye K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

## № 7. Laboratoriya ishi

### Ssintillyatsion kristallarni yig'ish va tajriba ishlariga tayyorlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion kristallar bilan tanishish va ularni tajribaga tayyorlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Turli o'lchamli kristallar; nur qaytargich moddalar; alyuminiydan tayyorlangan idish; rezina xalqalar; teflondan tayyorlangan xalqa; kley.

**Nazariy qismi:** Ssintilyatorlarga kelib tushgan zarrachalar muhitning atomlari bilan ta'sirlashishda bo'ladi. Zarrachalarning energiyasi muhit atomlarini ionlashtirishga va uyg'ongan holatiga o'tkazishga sarflanadi. Ssintilyatorlar atomlari uyg'ongan holatidan asosiy holatiga o'tishda o'ziga xos bo'lgan nurlanishlarni chiqaradi. Ko'pincha ssintilyatorlar o'zining nurlanishlariga shaffof bo'ladi va natijada nurlarning bir qismi kristall tashqarisiga chiqib ketadi. Shu sababli kristallning atroflari nur qaytaruvchi modda bilan o'raladi.

Kristallarda lyuminessensiya hodisasi asosan ikki yo'l bilan sodir bo'ladi:

1. **Fluoressensiya nurlanish.** Agar atom nur chiqarish yo'libilanuyg'ongan holatidan asosiy holatiga o'tishi, atom uyg'ongan holatining o'rta yashash vaqtiga mos ravishda sodir bo'lsa, bu **Fluoressensiya** nurlanishi hisoblanadi. Bu nurlanish statik qonunlar asosida izohlanadi. Nurlanish davomiyligi juda qisqa bo'ladi.
2. **Fosforessensiya nurlanish.** Agar atom nur chiqarish yo'libilanuyg'ongan holatidan asosiy holatiga o'tishi biror sabablarga ko'ra taqiqlangan bo'lsa, bu holda metastabil holatlari paydo bo'ladi. Bunda atom uyg'ongan holatidan birdaniga asosiy holatiga o'ta olmaydi. U dastlab energiyasi kichikroq bo'lgan boshqa bir uyg'ongan holatiga o'tadi. Natijada, bu holatdan asosiy holatiga o'tishiga xech qanday to'siqlar bo'lmaydi. Bunda nurlanish davomiyligi **Fluoressensiya** nurlanishiganisbatan ancha katta qiymatga ega bo'ladi.

Ssintilyatorlarning asosiy xarakteristikalariga konversion effektivlik, nurlanish spektri va nurlanishning davomiyligi kabi kattaliklar kiradi.

### Konversion effektivlik

Har bir ssintilyator o'zining konversion effektivligiga ega. Bu asosiy kattaliklaridan biri hisoblanadi. Zarracha ssintilyatorda energiyasini yo'qotadi. Yo'qotilgan energiyaning ma'lum qismi yorug'lik nuri ko'rinishida tashqariga chiqadi. Yorug'lik nuriga sarflangan energiyaning ssintilyatorda yutilgan energiyaga bo'lgan nisbatiga konversion effektivlik kattaligi deyiladi. Demak, konversion effektivlik yutilgan energiyaning necha foyni yorug'lik nuri energiyasiga aylanganligini ko'rsatadi. Konversion effektivlik kattaligi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$C_{k.e.} = \frac{E_f}{\Delta E} \quad (1)$$

bu yerda  $E_f$ - yorug'lik fotonining energiyasi;  $\Delta E$ - zarrachaning ssintilyatorda yutilgan energiyasi.

Ssintilyatorda konversion effektivlikning qiymati bir necha 10% larni tashkil etadi. Agar ssintilyatordan chiqayotgan yorug'lik nurining intensivligi zarrachaning yo'qotgan energiyasiga proporsional bog'lanishda bo'lsa, bunday ssintilyatorlarni zarrachalarning energiyasini aniqlashda ishlatish mumkin. Har bir ssintilyator o'ziga tegishli to'lqin uzunligidagi yorug'lik nurini chiqaradi va ular ma'lum soha oralig'ida joylashadi (1-jadval).

### Nurlarning chiqish kattaligi

Nurlarning chiqish kattaligi- bu fotonlar sonining o'rtaqa qiymatidagi fotonlar energiyasini, ionlashtiruvchi zarrachalarning ssintilyatordagi yo'qotgan energiyasiga bo'lgan nisbatidir.



Csintillyatsion schyotchikning asosiy tashkil etuvchilari ssintillyator va FEK hisoblanadi. Ssintillyator sifatida yorug'lik nurini chiqarish qobiliyatiga ega bo'lgan noorganik va organik birikmalar ishlatiladi. Bazi bir adabiyotlarda bu kristallar fosforlar deb nomlangan. Yorug'lik nurini chiqarishiga lyuminessensiya hodisasi deyiladi. Nurni chiqish davomiyligi  $\sim 10^{-15}$  sek davom etadi. Ssintillyator chiqarayotgan nurning spektri turli birikmalarda turlichadir. Spekrtda maksimum intensivlik turli ssintillyatorlarda turlicha bo'lib, qizil, ko'rinuvchi yoki ultrabinafsha nur sohasida yotadi. Tajribadan shu narsa ma'lum bo'ldiki, nurlanish spektri ionlashtiruvchi zarrachaning tabiatiga bog'liq emas. Yorug'lik nurining chiqishi darhol yuz bermasdan, ma'lum vaqt oralig'ida davom etib, eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi.

$$J = J_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

bu yerda  $t$  - nurlanish boshlangandan keyingi vaqt;  $\tau$  - nurlanishning davomiyligi;  $J_0$  - lyuminessensiya nurlanishining maksimal intensivligi;  $J$  -  $t$  vaqtdan keyingi intensivligi.

Ssintillyatorlar quyidagi talablarga javob berishlari kerak:

1. Konversion effektivligi imkon qadar katta bo'lsin;
2. ssintillyatorning nurlanish spektrining sohasi FEK dagi fotokatodning sezgirlik darajasining maksimal bo'lgan sohasiga mos kelsin.

3. Lyuminessensiya nurlanishini yuzaga keltiruvchi moddalar o'zi chiqargan nurlarga shaffof bo'lsin, ya'ni nurlarni yaxshi o'tkazsin. Bu kattalik  $\beta$ -,  $\gamma$ - va rentgen nurlarini qayd qilishda muhim ahamiyatga ega;

4. Ajratish qobiliyati yaxshi bo'lishligi uchun, nurlanish davomiyligi kichik bo'lishi lozim;

5. Qayd qilinayotgan zarrachaning energiyasi bilan ssintillyatorlarda nurlanayotgan nur intensivligi o'rtasida to'g'ri bog'lanish mavjud bo'lishi kerak;

6. Moddalardan o'tish qobiliyati katta bo'lgan zarrachalarni qayd qilish uchun ssintillyatorning zichligi yetarli darajada katta bo'lishi kerak.

Zarrachaning turiga va energiyasiga mos ravishda ssintillyator tanlanadi. Tanlashda yuqorida sanab o'tilgan kattaliklarga e'tibor berish kerak. Ssintillyatorlar ikki guruhga bo'linadi, noorganik va organik. Organik fosforlar: kristall, suyuq va plastmass ko'rinishlarda bo'ladi. Noorganik va organik ssintillyatorlarda lyuminessensiya mexanizmlari turlicha yuz beradi.

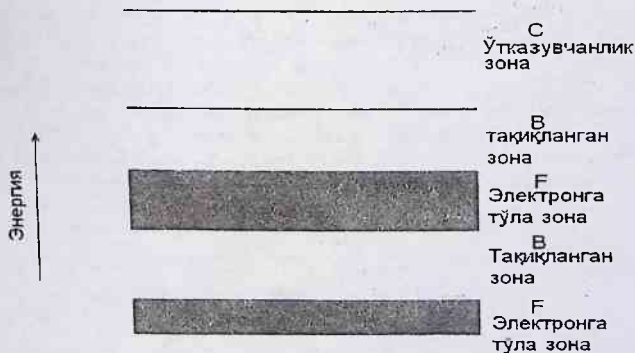
### Noorganik ssintillyatorlar va ularning xarakteristikalari

Noorganik ssintillyatorlarga tegishli asosiy parametrlar 1-jadvalda berilgan. Ular kristalli ssintillyatorlar deb yuritiladi. Lyuminessensiya hodisasining mexanizmi yarim o'tkazgichli detektorlardagi mexanizmga o'xshash bo'lib, qattiq jismlardagi zona oraliklari nazariyasi bilan tushintiriladi.

Kvant mexikasiga ko'ra, tashqi ta'sirlardan holi bo'lgan har qanday modda atomidagi elektron, aniq bitta energiyaga ega bo'lishi kerak. Bundan izolyatsiya qilingan atomlardagi elektronlarning energetik spektri bir qator ingichka chiziqlardan iborat bo'lishligi kelib chiqadi. Bu chiziqalar oraligi taqiqlovchi zonalar bilan ajralgan bo'ladi.

Agar atom izolyatsiya qilinmagan, molekula ichida joylashgan bo'lsa, atomlar o'rtasida ta'sirlashishlar yuz berishi natijasida energetik sathlar bo'linadi va tor yo'lakchalar paydo bo'ladi. Qattiq jismlarda modda atomlari o'rtasidagi ta'sirlashish katta bo'lganligi uchun energetik sathlarning bo'linish darajasi ham yuqori bo'ladi. Bu energetik sathlar keng yo'lakchalarni hosil qilib, ruhsat etilgan zonani yuzaga keltiradi. Ruhsat etilgan zonada energetik sathlar shu darajada ko'pki, ularni uzluksiz deb qabul qilish mumkin. Ruhsat etilgan zonalar bir biridan taqiqlangan zonalar bilan ajralgan bo'ladi.

Agar izolyator ideal kristall panjaradan tashkil topgan bo'lsa, ruhsat etilgan zona elektronlar bilan to'lgan bo'ladi. O'tkazuvchanlik zonasida esa hech qanday elektron bo'lmaydi. Kristallda o'tkazuvchanlik sodir bo'lmaydi. O'tkazuvchanlik zonasi bilan eng yuqorida joylashgan ruhsat etilgan zona oraligi bir biridan bir necha elektronvolt energiyaga farq qiladi. Demak elektroni to'lgan zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazish uchun, unga bir necha elektronvolt energiya berish kerak bo'ladi. Bu energiyani elektron fotonlardan oladi. Elektroni bo'shab qolgan joyda esa teshikli o'tkazuvchanlik yuz beradi. 1-rasmda izolyatoridagi energetik zonalarning sxemasi ko'rsatilgan.



1-rasm. Izolyatoridagi energetik zonalarning sxemasi

Noorganik fosforlarda ssintillyatsiya jarayonining sodir bo'lishini ko'rib o'tamiz. Kristallarda lyuminessensiya mexanizmini nazariy jihatdan

quyidagicha izohlash mumkin. Noorganik fosforlarda lyuminessensiyaning energetik modeli 2-rasmda tasvirlangan. Ssintillyatorni tayyorlashda uni ichiga aktivator kiritiladi. Buning natijasida A-sathlar paydo bo'ladi. D- sathlar esa kristall strukturasi buzilishidan hosil bo'ladi. Yorug'lik nuri ta'siridagi lyuminessensiyani ko'rib o'tamiz. Bu hodisaga fotolyuminessensiya deyiladi. Bunda F-zonadagi elektron o'tkazuvchanlik S- zonasiga o'tadi (1-chiziq). Bundan tashqari, A-sathdagi elektronlar ham o'tkazuvchanlik S- zonasiga o'tadi (2-chiziq). 2-o'tish aktivatsiya sathlari bo'lib, erkin holatda bo'ladi. 2-o'tishda ham nur energiyasini qo'shimcha yo'qotadi. Bu erkin sathlar nurlanishning markazi hisoblanadi. Nurlanish jarayoni quyidagi ko'rinishda sodir bo'ladi. O'tkazuvchanlik sohasidagi elektronlarning bir qismi aktivatorida bo'shab qolgan sathlarga o'tadi (3-chiziq) va o'ta qisqa vaqt ichidagi nurlanish sodir bo'ladi (Fluorensensiya). S-zonadagi boshqa elektronlar esa kristall panjaralarining buzilishidan hosil bo'lgan sathlarga o'tadi (4-chiziq). Bu o'tishdagi energiya nur ko'rinishiga aylanmasdan, panjaraga uzatiladi va issiqlik energiyasiga aylanadi. D-zonadagi elektronlarning o'tishida nurlanishni hosil bo'lishi uchun dastlab elektronlar S-zonaga o'tishlari lozim, buning uchun elektron tashqaridan energiya olishlari kerak bo'ladi (5-chiziq). D-zonadan A-zonaga to'g'ridan to'g'ri o'tish taqiqlangan. S-zonaga o'tgan elektronlar yana 3-chiziqqa mos keluvchi o'tishni sodir etadi va nurlanish yuz beradi ( Fosforessensiya).

Csintillyatsion schyotchiklarda asosan fluorensensiya jarayoni sodir bo'ladi. Bunda nurlanish  $10^{-9} \div 10^{-5}$  sek vaqt oralig'ida yuz beradi. Amalda eng ko'p ishlatiladigan noorganik fosforlar va ularga tegishli xarakteristikalar 1-jadvalda berilgan. 1-chiziq asosidagi o'tishda elektronga to'la bo'lgan F-sohada teshikcha hosil bo'ladi. Bu teshikcha uzoq vaqt yashamaydi. Aktivatoridagi elektronlar bu bo'shab qolgan joyni darhol egallaydi (6-chiziq). Qisqacha qilib aytganda fosforda nurlanish bimolekulyar xarakterga ega bo'ladi. Buning ma'nosi quyidagicha, nurlanish porsiyasi ionlashishdagi nurlanish markazi bilan elektronlarning rekombinatsiyasiga asoslanadi. Ionlashtiruvchi zarrachalar ssintillyatoridagi elektronlarni o'tkazuvchanlik sohasiga olib o'tadi.

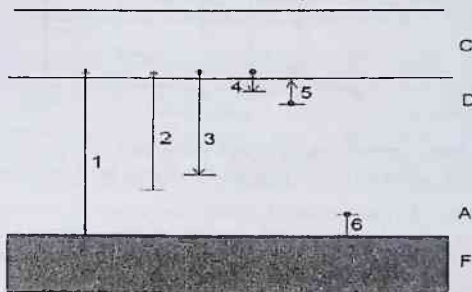
1-jadval. Ssintillyatorlarning xarakteristikalar

Ssintillyator	Zichli-gi, g/sm <sup>3</sup>	Konversion effektiv-ligi, %	Nurlanishning maksimal qiy-matidagi to'1-qin uzunligi, A°	Nurlanish-ning davomiyligi, sek
ZnS(Ag)	4,1	20	4500	10 <sup>-5</sup>
NaI(Tl)	3,67	8	4100	2,3·10 <sup>-7</sup>
CsI(Tl)	4,51	3,6	5650	1,0·10 <sup>-6</sup>
Trans-stilben (1,2-defeniletilen), krist., S <sub>14</sub> N <sub>12</sub>	1,16	2	4100	6,0·10 <sup>-9</sup>

Tolan (difenilaseti-len), $S_{14}N_{10}$	1,18	1,5	3900	$4,0 \cdot 10^{-9}$
Naftalin, $S_{10}N_8$	1,15	0,4	3450	$(3-7) \cdot 10^{-8}$
Antrasen, $S_{14}N_{10}$	1,25	4	4450	$2,7 \cdot 10^{-8}$
R-terfenil, $S_{18}N_{14}$ (ksiloldagi suyuqlik)	0,86	1,5	3800	$2,0 \cdot 10^{-9}$
R-terfenil, $S_{18}N_{14}$ (polistirol)	1,1	1	3800	$2,0 \cdot 10^{-9}$

1-jadvalda ko'rsatilgan noorganik fosforlardan tajribada eng ko'p qo'llaniladiganlari ZnS(Ag) va NaJ(Tl) kristallari. ZnS(Ag) fosforida aktivator sifatida Ag yoki Cu ishlatiladi. Bunda nurlanish doimiyliigi katta bo'lib,  $10^{-5}$  sekundni tashkil etadi. Bu uning asosiy kamchiligi hisoblanadi. Bundan tashqari katta o'lchamdagi kristallarni olish mumkin emas. Shu sababli ZnS(Ag) mayda kristall kukun ko'rinishida ishlatiladi. ZnS(Ag) kristalli o'zining nurlanishiga unchalik shoffof emas. Qalinligi  $25-50 \text{ mg/sm}^2$  ga teng bo'lganda shoffoflik darajasi umuman yo'qoladi. Demak katta qalinlikdagi ZnS(Ag) ishlatish imkoniyati yo'q. ZnS(Ag) kristall yordamida  $\alpha$ -zarrachalarni va og'ir yadrolarni bo'linishida hosil bo'luvchi mahsulotlarni qayd qilish mumkin.

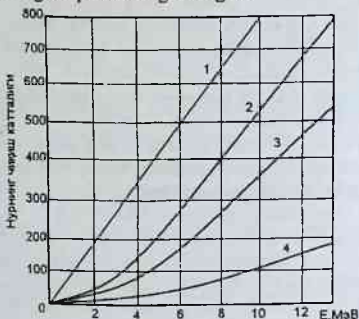
NaJ(Tl) kristali tajribada eng ko'p ishlatiladi. Ayniqsa rentgen va  $\gamma$ -nurlarini qayd qilishda NaJ(Tl) kristalliga tenglasha oladigan detektorlar yo'q. NaJ(Tl) fosforini katta o'lchamlarda olish imkoniyati bor. NaJ(Tl) kristalining nurlanish doimiyliigi 0.25 mksek. ga teng. Uning asosiy kamchiligi namlikka bo'lgan chidamsizligidir. Ularni namlikdan himoyalash lozim. Buning uchun fosfor sirti yog' qatlami bilan qoplanishi lozim.



2-rasm. Noorganik fosforlarda lyuminessensiyaning energetik modeli

## Organik fosforlar

Organik fosforlar kristall va eritmalar ko'rinishida bo'ladi. Kristall organik fosforlarga antrasen, naftalin, stilben, tolan, terfenel va boshqalar kiradi. Eritma ko'rinishidagi fosforlarga turli moddalarni qo'shish mumkin. Organik ssintillyatorlar juda kichik nurlanish vaqtiga ega, shu sababli vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati yuqoridir. Organik fosforlarning konversion effektivligi qayd qilinayotgan zarrachaning turiga bog'liq. Ionlashtirish qobiliyati kichik bo'lgan zarrachalar uchun chaqnashdagi yorug'lik nurining intensivligi maksimal qiymatga ega bo'ladi. Demak yuqori energiyali elektronlarni va neytronlarni organik kristallar yordamida qayd qilish maqsadga muvofiqdir. Zarrachani ionlashtirish qobiliyati katta bo'lsa, konversion effektivligi keskin kamayadi. Buni quyidagicha izohlash mumkin. Ionlashishda molekular buziladi va yorug'lik fotonlarining bir qismini so'ndiradi. Ionlashish zichligi qancha katta bo'lsa, so'ngan energiya ham shuncha katta bo'ladi. Tajribada ko'p ishlatiladigan organik kristall bu antrasendir. 3-rasmda antrasen kristalida turli zarrachalar uchun nurning chiqish kattaligi berilgan.



3-rasm. Antrasen kristalida turli zarrachalar uchun nurning chiqish kattaligi: 1-elektronlar; 2- protonlar; 3-deytronlar; 4-  $\alpha$ -zarrachalar.

3-rasmdan ko'rinish turibdiki, elektronlar uchun bu kattaliklar orasidagi bog'lanish to'g'ri chiziqdan iborat. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, organik kristallar yordamida elektronlarni katta aniqlik bilan o'lchash mumkin.

Organik kristallar noorganik kristallarga nisbatan bir qator yutuqlarga ega. Organik kristallarda nurlanish davomiyligi nihoyat darajada kichik,  $10^{-9}$  dan  $10^{-8}$  sek oralig'ida bo'ladi. Bundan tashqari katta o'lchamdagi kristallarni olish imkoniyati bor. Lekin konversion effektivlik kattaligi noorganik kristallarnikiga nisbatan kichikdir.

Organik kristallardagi ssintillyatsiya jarayoni noorganik kristallardagidan farq qiladi. Bu Birks tomonidan izohlab berilgan. Bu nazariyaga ko'ra ionlashtiruvchi zarrachalar kristalldan o'tganda, energiyasi  $\sim 8$  ev bo'lgan gipotetik birlamchi fotonlar nurlanar ekan. Birlamchi fotonlarning paydo bo'lishiga asosiy sabablardan biri ionlarning rekombinatsiyasi yoki kuchli uyg'ongan holatidagi molekullarning asosiy holatiga o'tishi natijasidir. Ionlashtiruvchi zarrachalarning moddalardan o'tishida doimo birlamchi fotonlar hosil bo'ladi. Moddaning tabiatiga bog'liq holda birlamchi fotonlar qayta yutilishi va lyuminessensiya hodisasini namoyon qilishi yoki ximiyaviy ta'sir ko'rsatishi yoki issiqlik energiyasiga aylanishi mumkin. Organik kristallarda birlamchi fotonlar asosan lyuminessensiya hodisasini sodir etadi.

Neytron zarrachalarini qayd qilishda asosan organik fosforlar ishlatiladi. Ayniqsa bu borada stilben kristallini aytib o'tish lozim. Stilbendagi nurlanishning vaqt bo'yicha doimiyligi  $8,2 \cdot 10^{-9}$  sek ga teng bo'lgani uchun, uni katta sanoq qiymatlarida ishlatish mumkin. Bundan tashqari stilbenda neytron va gamma kvantlarini hosil qilgan impulslarining formalari turlichadir va shu asosida neytronni gammadan ajratish imkoniyati yuzuga keladi. 1-jadvalda tajribalarda eng ko'p ishlatiladigan organik fosforlarning xarakteristikalari berilgan.

Plastmass ssintillyatorlari organik kristallarga nisbatan nurlanish dozasi ga bo'lgan chidamliligi taxminan 50 marta kattadir. Ularni  $3 \cdot 10^6$  r dozagacha ishlatish mumkin. Bundan tashqari bu kristallarni juda katta o'lchamlarda tayyorlash imkoni bor. Neytronlarning energiyasi asosan uchish vaqtiga asoslangan spektrometrlar yordamida o'lchanadi. Bu usulda katta uchish masofalari ishlatiladi. O'lchash katta masofalarda olib borilayotgan vaqtlarda plastmass ssintillyatorlarining o'rmini xech qanday boshqa kristallar bosa olmaydi.

Organik kristallarni suyuqlik formalari ham mavjud bo'lib, ular eritmalar holda tayyorlanadi. Nurlanishni hosil qilishda eritmadagi molekullar ishtirok etadi. Eng yaxshi suyuq kristall sifatida r-terfenilni ksiloldagi eritmasini ko'rsatish mumkin. Suyuq fosforlarning eng asosiy yutug'i bu nurlanish ta'siridagi buzilishlar kristallning bir joyida bo'lmasdan, butun hajmi bo'ylab tarqaladi. 2-jadvalda suyuq organik fosforlarning xarakteristikalari berilgan.

2-jadval. Suyuq organik fosforlarning xarakteristikalari

Eritilgan modda	Erituvchi	Antrasenga nisbatan effektivligi, %	Eritmaning taxminiy konsentratsiyasi g/l
Antrasen	Ksilol	6	1.4
Stilben	Ksilol	4	3

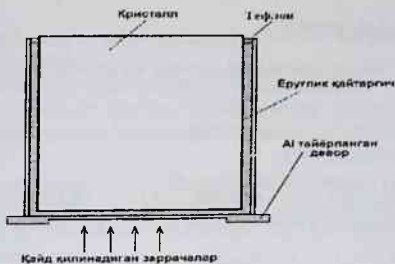
Naftalin	Ksilol	3	5-250
R-terfenil	Ksilol	48	5
	Benzol	34	4.5
	Toluol	43	4

Gazli ssintilyatorlar ham bor. Eng yaxshilari toza inert gazlari hisoblanadi (geliy, argon, kripton va ksenon). Nurlanishning davomiyligi  $10^{-8}$  sek ga teng. Gaz bosimining ortishida nurlanishning chiqish kattaligi ortadi.

**Tajribani o'tkazish tartibi:** ssintilyatorlarni ishga tayyorlash uchun quyidagi ishlarni amalga oshirish lozim.

1. Kristallni har tomondan himoyalash va nurni qaytaruvchi moddani joylashtirish uchun Al moddasidan tayyorlangan maxsus idish tayyorlanadi (4-rasm). Idishning diametri kristallning diametridan ~5mm ga katta bo'lishi kerak.
2. Bu idish tayyor bo'lganidan keyin, idishning tubiga ~2mm qalinlikdagi nur qaytaruvchi modda zich qilib preslanadi (zichlashtiriladi) ( $Al_2O_3$  yoki MgO). Bu ishlar gorizontal tekislikda bajariladi.
3. Idish ichiga ehtiyotkorlik bilan ssintilyator tushiriladi. Ssintilyatorningpastki tomoni qaytaruvchi moddaning ustiga o'tiradi. Ssintilyator idishning markaziga o'rnatiladi. Ssintilyator va idish devori orasida bir hil masofa qolishi kerak.
4. Ssintilyator va idish devori orasidagi bo'shliqqa nur qaytaruvchi modda solinadi va preslanadi. Bu ish 4-rasmda ko'rsatilganidek ssintilyatorning yuqori qismlarigacha davom ettiriladi (ssintilyatorning yuqori qismidan 2 mm joy ochiq qolishi lozim). Ssintilyator va FEK bir biriga yaxshi tegib turishi uchun.
5. So'ngra, qaytaruvchi moddaning to'kilmasligi uchun teflondan tayyorlangan xalqa kiygiziladi va kleylanadi.

4-5-raslarda maxsus idish ichiga solingan va solinmagan o'lchamlari turlicha bo'lgan organik va noorganik ssintilyatorlar ko'rsatilgan ( $NaJ(Tl)$ ), stilben, plastmass). Ssintilyatorlarni timalishiga, chiziqlar paydo bo'lishiga aslo yo'l qo'yib bo'lmaydi. Ular bilan ishlaganda juda ehtiyot bo'lish lozim.



4-rasm. Alyuminiydan tayyorlangan maxsus idish ichiga solingan ssintilyator



5-rasm. Organik va noorganik ssintilyatorlar

### Nazorat savollari

1. Ssintilyatorlar qanday nurlanishlarni yuzaga keltiradi?
2. Qanday turdagi ssintilyatorlar bor?
3. Konversion effektivlik nimani anglatadi?
4. Vaqtga asoslangan tajribalarda qaysi ssintilyatorlardan foydalanish kerak?
5. Nima sababdan nur qaytaruvchi modda ishlatiladi?
6. Nima sababdan organik kristallarda vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati katta bo'ladi?
7. Qaytaruvchi modda sifatida qaysi birikmalardan foydalanish mumkin?
8. Ssintilyatorlar qanday xarakteristikalariga ega?
9. Organik kristallarda ionlashtirish qobiliyati kichik bo'lgan zarrachalar hosil qilgan chaqnashdagi yorug'lik nurining intensivligini nima sababdan katta bo'lishini izohlab bering?
10. Havo namligiga chidamsiz bo'lgan ssintilyatorlardan qanday foydalanish kerak?



## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiyey K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy-fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

## № 8. Laboratoriya ishi

### FEK va ssintillyatsion kristallarni birgalikda yig'ish va tajriba ishlariga tayyorlash

**Ishdan asosiy maqsad:** FEK va ssintillyatsion kristallarni yig'ish yo'llarini o'rganish. Yig'ilgan ssintillyatsion detektorga kuchlanishni berishdan oldin qanday tekshirishlardan o'tkazish kerakligini o'rganish.

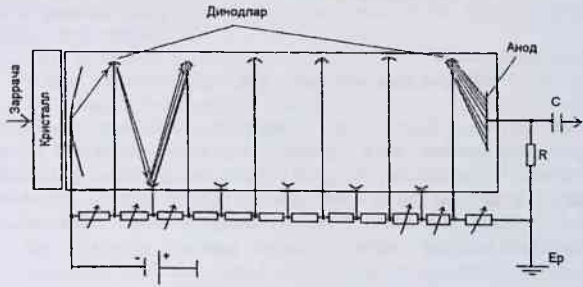
**Kerakli jihozlar:** FEK, kristallar, vakuum yog'i, FEU o'rnatiladigan qurilma, rezina xalqalar, qopqoq.

**Nazariy qismi:** Zamonaviy ssintillyatsion detektorlar ssintillyatordan va fotoelektron kuchaytirgichdan (FEK) iborat. Ssintillyatorda qayd qilinayotgan zarrachaning yutilgan energiyasi ko'rinuvchi yorug'lik nuriga aylanadi. Bu nur FEK ning fotokatodiga tushib, undan elektronni urib chiqaradi. Urib chiqarilgan elektron tezlashtiruvchi elektr maydoni ta'sirida energiyasini oshiradi va birinchi dinodga borib uriladi. Birinchi dinoddan yana qo'shimcha elektron otilib chiqadi. Bu jarayon boshqa dinod oraliklarida ham sodir bo'lib, elektronlar soni tobora ortib boradi. Elektronlar sonining ortib borishini ko'rsatuvchi kattalik kuchaytirish koeffitsienti (K) deyiladi. Ssintillyatsion schyotchiklarda  $K=10^6$  ga teng bo'ladi. Schyotchikning chiqishida elektr tokining impulsarlari hosil

bo'ladi. Ssintillyatsion schyotchiklarda sodir bo'ladigan jarayonlarni 5-ta qismga ajratish mumkin:

1. Ssintillyatorda zarracha energiyasining yutilishi.
2. Yutilgan energiya hisobiga ssintillyatoridagi atomlar va molekullarning uyg'ongan holatiga o'tishi va ularni asosiy holatiga o'tishida yorug'lik nurini chiqarishi.
3. FEK ning katodini yorug'lik nuri bilan bombardimon qilinishi.
4. Katodda fotonlarning yutilishi va fotoelektronlarning ajralib chiqishi.
5. Dinodlar sistemasida elektronlarning ko'payishi va elektronlarni anodda to'planishi.

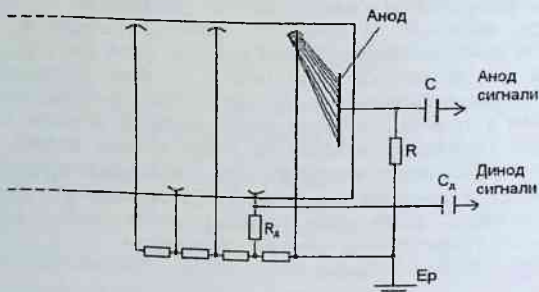
Dinodlar elektronlarning chiqish ishi kichik bo'lgan materiallardan tayyorlanadi. Dinodlar orasidagi tezlashtiruvchi elektr maydoni taqsimlovchi qarshiliklar yordamida hosil qilinadi. Bu qarshiliklarning son qiymati FEK ning yig'ish sxemasida qo'rsatilgan bo'ladi. Dinodlarning o'rta oraliklarida ishlatiladigan taqsimlovchi qarshiliklarning son qiymatlari bir-biriga juda yaqin qilib tanlanadi. Qarshiliklar ichidan pribor yordamida qarshiliklari kam farq qiluvchilari tanlab olinadi. Fotokatodga yaqin joylashgan dinodlarga o'rnatiladigan qarshiliklar o'rniga o'zgaruvchan qarshiliklarni o'rnatish maqsadga muvofiqdir. O'zgaruvchan qarshiliklarni o'zgartirish orqali detektorda maksimal amplitudali signal olishga erishiladi. 3-ta o'zgaruvchan qarshilik qo'yish yetarlidir. Anod yaqinida joylashgan 3-ta taqsimlovchi qarshilik o'rniga ham o'zgaruvchan qarshiliklarni o'rnatish lozim. Bu qarshiliklar yordamida detektorning chiziqli xarakteristikasi normal holatga keltiriladi. Tajribani ko'rsatishicha bu holatga erishiladi, qachonki, anod yaqinidagi qarshiliklarning son qiymatini o'rta zvenoda joylashgan taqsimlovchi qarshiliklarning son qiymatiga nisbatan 1.5 ÷ 2.0 marta katta qilib olinsa. Bu xarakteristikalarni oddiy tajriba yordamida aniqlash mumkin. 1-rasmda Ssintillyatsion schyotchikning ishlash prinsipi ko'rsatilgan.



1-rasm. Ssintillyatsion schyotchikning ishlash prinsipi

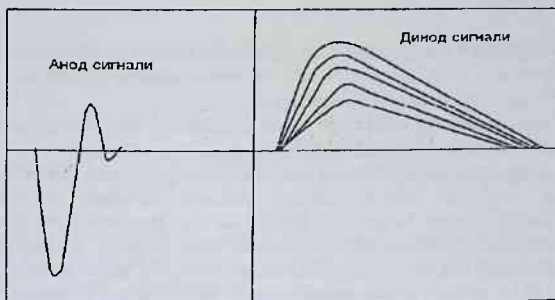
Ssintillyatsion schyotchikdan olinayotgan signallarga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Dinodlar sistemasida ko'paygan elektronlar anodga borib tushadi. Anodda manfiy zaryadlar to'planganligi uchun yerga nisbatan potensialga ega bo'ladi. Anod zanjiri  $R$  – qarshilik orqali yerga ulanganligi sababli, undan  $I$ - tok o'tadi va bu qarshilikda  $U$ - potensial tushishi yuz beradi.  $U = I \cdot R$  ning qiymati anod zanjirida hosil bo'lgan impulsning amplitudasi bo'lib, keyinchalik bu impulsni anod signali deb yuritamiz. Ko'p holatlarda  $R$ -qarshilikning qiymati  $50 \div 100 \text{ Om}$  oralig'ida olinadi. Anod signalini olish va uni keyingi elektron bloklariga uzatish  $C$ -kondensator orqali amalga oshiriladi. Kondensatorning vazifasi FEK dagi yuqori kuchlanishni past kuchlanishda ishlaydigan qismlariga o'tib ketmasligini ta'minlaydi. Bundan tashqari,  $RC$ -zanjiri yordamida anod signalining kerakli parametrlari olinadi.

Agar ssintillyatsion schyotchiklar spektrometrlarda ishlatilayotgan bo'lsa, bu holda schyotchikdan ikkinchi signalni olish lozim bo'ladi. Bu signal anodga yaqin joylashgan dinodlarning biridan olinadi. Tajribani ko'rsatishicha bu signalni anodga nisbatan ikkinchi o'rinda turgan dinoddan olish maqsadga muvofiqdir. Bu dinod signali deyiladi. 2-rasmda dinod signalini olish zanjiri ko'rsatilgan.



2-rasm. Dinod signalini olish zanjiri

$R_d$ -ning qiymatini  $30 \div 100 \text{ kOm}$  oralig'ida olish mumkin. Dinod signalining formasi musbat, anod signaliniki esa manfiydir. Anod signali formirovatel blokiga uzatiladi. Dinod signali esa emmitter qaytargichiga beriladi. Anod signalining kengligi  $10-15 \text{ nsek}$  atrofida bo'ladi. Dinod signalining kengligi  $0.5-1 \text{ mksek}$  atrofidadir. 3-rasmda anod va dinod signallarining formalari (shakllari) berilgan.



3-rasm. Anod va dinod signallarining formalari

Dinod signali diferensial diskriminatori (DD) blokiga uzatiladi. DD blokida past va yuqori poroglari yordamida spektrning kerakli sohalari tanlab olinadi. Anod va dinod signallari mos keltirish (SS) blokiga beriladi. 4-rasmda signalning kerakli sohasini ajratib olish zanjirining blok-sxemasi berilgan. SS blokidan keyingi signal spektrometrlning boshqa bloklariga uzatiladi. Detektorda qayd qilingan zarrachalar energiya bo'yicha saralanadi va EXM ning hotirasiga yozib qo'yiladi. Qayd qilinayotgan zarrachaning turiga qarab, ssintillyatsion schyotchikdagi ssintillyator tanlab olinadi.

### Ssintillyatsion detektorlarni yig'ish tartibi

Ssintillyatsion detektorlarni normal ishlashi ko'p jihatdan FEK va kristallni yaxshi o'rnatilganligiga bog'liq bo'ladi. FEK va kristall biriga juda yaxshi tekizilishi kerak va ular orasida havo qolmasligi lozim. 5-rasmda ssintillyatsion detektorni yig'ish ketma-ketligi berilgan. Demak, yig'ishni juda tartibli, qonun qoidalar asosida olib borish kerak bo'ladi. Quyida yig'ish ketma-ketligini aytib o'tamiz:

1. FEK ni maxsus tayyorlangan yorug'lik nurini o'tkazmaydigan moslama ichiga o'rnatiladi. O'rnatishda juda ehtiyot bo'lish kerak. FEK ning oyoqchalari kuchlanishni taqsimlab beruvchi qarshiliklar o'rnatilgan panelga kiritiladi. Bu joyda juda yaxshi kontakt bo'lishiga erishish lozim. FEK ni katta kuch bilan ezish kerak emas, chunki u sinishi mumkin.
2. FEK o'rnatilganidan so'ng, uni vertikal holatiga keltiriladi va surilib ketmasligi uchun unga rezinadan tayyorlangan xalqa kiygiziladi. Bu xalqa FEK bilan devor oralig'ida joylashadi.
3. Bu ishlarning barchasi moslama vertikal holatida turganida amalga oshiriladi. FEK ning oynasi va ssintillyatorning yuzasi yumshoq material yordamida spirt bilan tozalanadi. Tozlashda material markazdan chetka qarab suriladi.

4. Tozalangan FEK va ssintillyator quritiladi. Bir necha minutdan so'ng spirt uchib ketadi. FEK ning oynasida va ssintillyatorning yuzasida xech qanday narsalar bo'lmisligi kerak.
5. FEK ning oynasining markaziga yupqa qalinlikdagi vazilen yog'i surtiladi ikki tomchi vakuum yog'i tomiziladi.
6. FEK ning oynasiga ssintillyator sekinlik bilan qo'yiladi va aylantiriladi. Bunda yog' bir tekisda hamma tomonga tarqaladi va kontakt ssintillyatorning barcha yuzasida mavjud bo'ladi. Bog'lanish shu darajada bo'ladiki, ssintillyatorni FEK dan tortib olish mumkin bo'lmaydi. Bu ishni qilishda katta kuch ishlatilishi kerak emas, aks holda ssintillyatorida nosozliklar paydo bo'lishi mumkin. Agar ssintillyatorni chiqarish kerak bo'lsa, uni chetga qarab surish orqali chiqarib olinadi.
7. Ssintillyator joylashtirilganidan keyin moslamaga burab kiritiluvchi (qizil rangda berilgan) moslama o'rnatiladi.
8. Ssintillyatorni FEK ning markazida turishini ta'minlash uchun unga rezina xalqasi o'rnatiladi.
9. Ssintillyatorni FEK ga yaxshi tegib turishini ta'minlash uchun ssintillyatorning chetki nuqtalariga yumshoq material o'rnatiladi.
10. Qopqoq sekinlik bilan buraladi. Qopqoq ssintillyator ustiga qo'yilgan yumshoq materialni eza boshlaydi. Ozigina ezgandan keyin burashni to'xtatish lozim.



5-rasm. Ssintillyatsion detektorni yig'ish tartibi

#### Nazorat savollari:

1. Ssintillyatsion detektorni yig'ish nimadan boshlanadi?
2. FEK ni vertikal holatida bo'lishini ta'minlash uchun nimalar qilish lozim?

3. FEK oynasi va ssintillyator orasiga qanday moddalarni surtish mumkin va u qanday vazifani bajaradi?
4. FEK oynasi va ssintillyator o'rtasida yaxshi kontakt bo'lishi uchun nima qilish kerak?
5. Ssintillyatorning ustki tomoniga nima sababdan yumshoq material qo'yiladi?
6. Ssintillyator qo'yilganidan so'ng qopqoqni burab berkitish qanday amalga oshiriladi?
7. Ssintillyatsion detektorni bu tartibda yig'ishning qanday afzal tomonlari bor?
8. FEK va ssintillyatorlar nima sababdan yaxshi berkitilgan alyuminiydan tayyorlangan korpus ichiga olinadi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiye K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.
7. A.P. Sitovich // Yadernaya elektronika, M: Energoatomizdat, 1984.

## № 9. Laboratoriya ishi

### Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanish berish tartibi

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanish qanday tartibda berilishi bilan yaqindan tanishish. Yuqori kuchlanish bilan ish olib borilayotganda qanday ehtiyot choralarini ko'rish kerakligini bilish.

**Kerakli jihozlar:** Naj(Tl) ssintillyatsion detektor; past kuchlanish manbai; yuqori kuchlanish manbai; keng qamrovli kuchaytirgich; moslashtirish zanjiri; gamma nurlanishlar komplekti; ossillograf.

**Nazariy qismi:** Ssintillyatsion detektorlarning yaxshi ishlashi quyidagi kattaliklarga bog'liq bo'ladi: kuchlanishning berilish rejimini tanlash, bunda qilinadigan ishning mohiyatiga qarab tanlanadi; beriladigan kuchlanishning

qutblarini tanlash (kuchlanishning (-) va (+) qutblarini qaysi tomonlarga berilishini aniqlash); yuqori kuchlanish manbaining turg'unligini ta'minlash.

FEK ning normal ishlashi uchun uyuqori kuchlanish berilganida, dinodlar orasida hosil bo'lgan tezlashtiruvchi potentsiallar dinoddan keyingi dinodga o'tishida doimo ortib boruvchi musbat potentsial ko'rinishida bo'lishi lozim. Shu shart bajarilgandagina FEKda elektronlar oqimining ortib borishi kuzatiladi. Bu potentsiallar taqsimlash qarshiliklari yordamida hosil qilinadi (1-rasm). Fotokatod yaqinidagi qarshiliklarni shunday tanlash lozimki, bunda hosil bo'lgan fotoelektronlarning ko'pchiligi birinchi dinodga kelib tushsin. Bundan tashqari anod yaqinidagi qarshiliklarning qiymatlari o'rta zvenoda joylashgan qarshiliklarning qiymatiga ko'ra 1,5÷2 marta katta qilib olinishi tajribaiardan aniqlangan. Bu FEK chiziqli rejimida ishlashini ta'minlaydi. FEK bu rejimda ishlaganda dinod sistemasidan oqayotgan tokning qiymati anod tokining qiymatidan ~10 marta katta bo'lishi kerak. Dinodlar sistemasidagi tokning katta bo'lib ketishi ham FEK ning qizishi va undagi shovqin toklarini ortishi kabi salbiy oqibatlariga olib kelishi mumkin. FEK ning pasportida ko'rsatilishicha taqsimlash qarshiliklarining qiymatlari 20 kOm-5MOm oralig'ida bo'lishi mumkin. Agar bu ko'rsatilgan qiymatdan kichik bo'lgan qarshiliklar ishlatilsa, dinodlar sistemasidan katta tok o'tishi va FEK kuyishiga olib kelishi mumkin. Agar qarshilikning qiymati ko'rsatilgan qiymatdan katta bo'lsa, FEK oyoqlariga ulangan simlarda razryadlanish hodisalarining paydo bo'lishi va bu dinodlar orasidagi kuchlanishning qiymatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Agar FEK larda elektronlar oqimi kuchli fokuslanayotgan bo'lsa, bu holda taqsimlash qarshiliklarini 1-2% aniqlikda tanlash lozim bo'ladi. Bu qarshiliklar yuqori turg'unlikka ega bo'lishi va shu bilan birgalikda haroratga bog'liqligi kam bo'lishi kerak. Agar dinodlar sistemasini "Jalyuz" shaklida yig'ilgan bo'lsa, qarshiliklarni tanlashga katta e'tibor berilmaydi. Agar FEK qisqa to'liqinli impulslar sohasida qo'llanilayotgan bo'lsa, unda anod toki 1,5-2 A yetib borishi mumkin. Chiziqli bog'lanishni yo'qotmaslik uchun anod yaqinidagi qarshiliklarga shunt kondensatorlarini ulash lozim bo'ladi. Shunt kondensatorining qiymati quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$S=100q/3^{n-1} U_i, F \quad (1)$$

*bu yerda q-anod toki impulsidagi zaryad; n-dinodlar soni; U<sub>i</sub>-dinodlar orasidagi kuchlanish, V.*

### ***Yuqori kuchlanish manbaini ulash usullari***

*FEK beriladigan yuqori kuchlanishni ikki hil ko'rinishda ulash mumkin. Bu usullarning o'ziga tegishli yutuq va kamchiliklari bor. Odatda manbaining musbat qutbi yerga, manfiy qutbi esa katodga ulanadi. Bu masalaga qisqacha to'xtalib o'taylik.*

*1. Anod yerga, katodga esa manbaining manfiy qutbi ulangan holatini ko'rib o'taylik (1-rasm). Bu usulda quyidagi yutuqlarga ega bo'linadi: anod zanjirida*

keraksiz bo'lgan sig'im kattaligi kichik bo'ladi; anod tokini o'lchash osonlashadi; moslashtirish kabelini o'rnatish qulay bo'ladi. Lekin, FEK magnit va elektr maydonlaridan himoya qiltuvchi metall ekranlarni FEK ballonidan 10-20 mm atrofidagi joyga o'rnatish lozim bo'ladi.

2. Fotokatod yerga, anodga esa kuchlanishning musbat qubi ulanadi. Bu ko'rinishdagi ulanishda anod zanjiriga o'tkazuvchi va shunt kondensatorlarini ulash kerak bo'ladi. Shovqin toklarining qiymati ancha kichik bo'ladi.

Ko'rib o'tilgan ulanish yo'llaridan, anodni yerga ulash usuli yuqori kuchlanishlar bilan ishlashda bir qator qulayliklarga ega (xavfsizlik jihatidan).

### Anod zanjiri

Anod zanjiri orqali kerakli anod signali olinadi. Bu signal anod kuchlanishiga ulangan qarshilik orqali olinadi. Anod signali manfiy shaklga ega. Anod zanjiridagi sig'im va qarshiliklar ko'paytmasi zanjirning o'zgarmas vaqt kattaligini belgilaydi. Anod signalining o'tish davomiyligi bu kattalik bilan solishtiriladi.

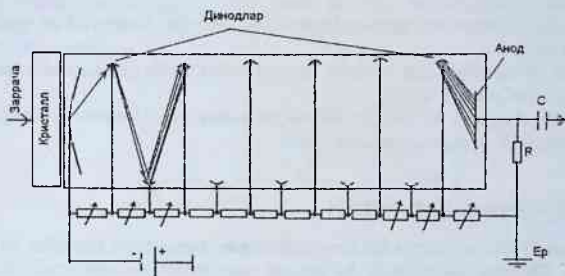
1. Agar,  $\tau$ -impulning o'tish davomiyligi, RC-o'zgarmas vaqt kattaligidan juda kichik bo'lsa, ya'ni:  $\tau \ll RC$  bajarilsa, kondensator anod toki orqali zaryadlana boshlaydi va anod zanjiridagi kuchlanish impulsining amplitudasi anodda yig'ilayotgan zaryadga proporsional holatda bog'lanadi.

2. Agar o'lchashlar impulslarning vaqt bo'yicha statik taqsimotiga ko'ra olib borilayotgan bo'lsa, bu holda quyidagi tengsizlik bajarilishi kerak:

$RC \ll 1/N$ , bu yerda N-impulslar sanog'ining o'rtacha tezligi

3. Agar, FEK ning chiqishidagi signal, fotokatodga tushayotgan nurlanish yoritilganligiga proporsional holatida bo'lsa, bunda quyidagi ifoda bajarilishi kerak:  $RC \leq 0,16/f_b$ , bu yerda  $f_b$ -signalidagi eng katta chastota.

4. Agar tajribada juda qisqa to'lqinli nur impulslari bilan ish olib borilayotgan bo'lsa, bu holda anodni yerga ulash usulini ishlatgan ma'qul.



1-rasm. Ssintillyatsion schyotchikning ishlash prinsipi



## **Kuchlanish manbaini stabilizatsiyalash (turg'unlashtirish)**

FEK dan olinayotgan signallar yuqori kuchlanish manbaiga bog'liq. Shu sababli tok manbai yuqori turg'unlikka ega bo'lishi kerak. Kuchlanishning o'zgarishi juda kichik bo'lishi lozim. Kuchlanishning o'zgarishi FEK ning kuchaytirish koeffitsientini o'zgarishiga olib keladi. Bu o'z novbatida signalning amplitudasini o'zgarishiga olib keladi. Kuchaytirish koeffitsientining o'zgarishini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$\Delta M/M = (0,7-1,0) \cdot n \cdot \Delta U/U, \quad (2)$$

bu yerda  $\Delta M/M$ - kuchaytirish koeffitsienti o'zgarishining nisbiy qiymati;  $n$ - dinodlar soni;  $\Delta U/U$ - kuchlanish o'zgarishining nisbiy qiymati.

FEK dan olingan signalni 1 % atrofida o'zgarishini ta'minlash uchun kuchlanish o'zgarishini 0,05-0,1 % atrofida ushlab turish kerak bo'ladi. Demak, FEK ning tok manbalari kuchli stabilizatsiyalangan bo'lishi lozim.

### **FEK bilan ishlash qoidalari**

FEK yuqori kuchlanish bilan ishlaganligi uchun ma'lum belgilangan qoidalar asosida ish olib borish kerak. Quyida ko'rsatilgan narsalarga katta e'tibor berish lozim:

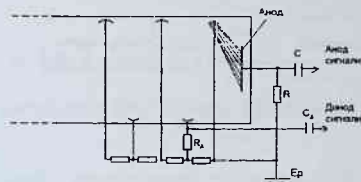
1. Asboblarning yerga ulanishi kerak bo'lgan joylar albatta yerga ulanishi lozim (maxsus tayyorlangan joyga).
2. Detektorga yuqori kuchlanishni berishdan oldin, taqsimlash qarshiliklarining yig'indi qarshiligini o'lchash kerak, uning qiymati taxminan bir necha MOM ga teng bo'lishi mumkin. Agar kichik qarshilikni ko'rsatsa, FEK ga umuman yuqori kuchlanishni ulab bo'lmaydi. Aks holda FEK dan katta tok o'tib, uni kuydirishi mumkin.
3. Yuqori kuchlanish berilgandan keyin FEK va uning korpuslariga qo'l bilan tegish ta'qiqlanadi.
4. Tajriba olib borilayotgan joylarda harorat tavsiya qilingan normalardan ortib ketmasligini ta'minlash kerak.
5. FEK larga tegishli bo'lmagan magnit va elektr maydonlarini hosil qiluvchi manbalarni FEK yoniga qo'ymaslik kerak.

### **FEK signallarini olish yo'llari**

Ssintilyatsion schyotchikdan olinayotgan signallarga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Dinodlar sistemasida ko'paygan elektronlar anodga borib tushadi. Anodda manfiy zaryadlar to'planganligi uchun yerga nisbatan potensialga ega bo'ladi. Anod zanjiri  $R$  – qarshilik orqali yerga ulanganligi sababli, undan I- tok o'tadi va bu qarshilikda  $U$ - potensial tushishi yuz beradi.  $U = I \cdot R$  ning qiymati

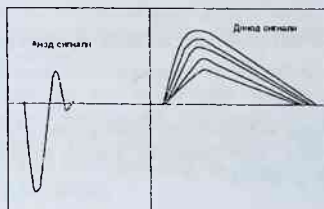
anod zanjirida hosil bo'lgan impulsning amplitudasi bo'lib, keyinchalik bu impulsni anod signali deb yuritimiz. Ko'p holatlarda R-qarshilikning qiymati  $50 \div 100 \text{ Om}$  oralig'ida olinadi. Anod signalini olish va uni keyingi elektron bloklariga uzatish C-kondensator orqali amalga oshiriladi. Kondensatorning vazifasi FEK dagi yuqori kuchlanishni past kuchlanishda ishlaydigan qismlariga o'tib ketmasligini ta'minlaydi. Bundan tashqari, RC-zanjiri yordamida anod signalining kerakli parametrlari olinadi.

Agar ssintillyatsion schyotchiklar spektrometrlarda ishlatilayotgan bo'lsa, bu holda schyotchikdan ikkinchi signalni olish lozim bo'ladi. Bu signal anodga yaqin joylashgan dinodlarning biridan olinadi. Tajribaning ko'rsatishicha bu signalni anodga nisbatan ikkinchi o'rinda turgan dinoddan olish maqsadga muvofiqdir. Bu dinod signali deyiladi. 2-rasmda dinod signalini olish zanjiri ko'rsatilgan.



2-rasm. Dinod signalini olish zanjiri

$R_d$ -ning qiymatini  $30 \div 100 \text{ kOm}$  oralig'ida olish mumkin. Dinod signalining formasi musbat, anod signaliniki esa manfiydir. Anod signali formirovatel blokiga uzatiladi. Dinod signali esa emmitter qaytargichiga beriladi. Anod signalining kengligi 10-15 nsek atrofida bo'ladi. Dinod signalning kengligi 0.5-1 mksek atrofidadir. 3-rasmda anod va dinod signallarining ko'rinishlari berilgan.



3-rasm. Anod va dinod signallarining formalari

4-rasmda anod signaliga ko'ra detektorning ish qobiliyatini tekshirish sxemasi keltirilgan. Tekshirishda namunali, nuqtaviy gamma nurlanish manbasi ishlatilgan ( $^{60}\text{So}$ ). Manba qo'rg'oshindan tayyorlangan devor ichiga joylashtirilgan. FEK va undagi elektr zanjirlarini tok bilan ta'minlash uchun past kuchlanish manbai (PKM) va yuqori kuchlanish manbalari (YuKM) ulangan.  $\gamma$ -kvantlari ssintilyatorga (S) kelib tushadi va bu yerda yorug'lik nurlari paydo bo'ladi. Nurlar FEK ning fotokatodiga tushib undan elektronlarni urib chiqaradi. Elektronlar soni dinodlar sistemasida ko'payadi va anodga kelib tushadi. Anod signalining amplitudasi kichik bo'lganligi uchun kuchaytirish moslamasiga uzatiladi. Kuchaytirilgan signalni ossilograf yordamida ko'rish va tahlil qilish mumkin.



4-rasm. Anod signaliga ko'ra detektorning ish qobiliyatini tekshiri

### Nazorat savollari

1. Ssintilyatsion detektorni yig'ish nimadan boshlanadi?
2. FEK ni vertikal holatida bo'lishini ta'minlash uchun nimalar qilish lozim?
3. FEK oynasi va ssintilyator orasiga qanday moddalarni surtish mumkin va u qanday vazifani bajaradi?
4. FEK oynasi va ssintilyator o'rtasida yaxshi kontakt bo'lishi uchun nima qilish kerak?
5. Ssintilyatorning ustki tomoniga nima sababdan yumshoq material qo'yiladi?
6. Ssintilyator qo'yilganidan so'ng qopqoqni burab berkitish qanday amalga oshiriladi?
7. Ssintilyatsion detektorni bu tartibda yig'ishning qanday afzal tomonlari bor?
8. FEK va ssintilyatorlar nima sababdan yaxshi berkitilgan alyuminiydan tayyorlangan korpus ichiga olinadi?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusovich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiye K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnoy yadernoy fizike, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

### № 10. Laboratoriya ishi

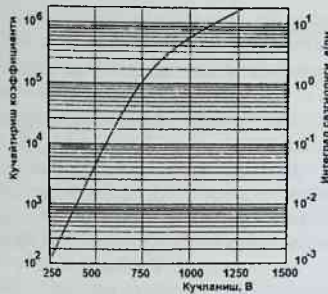
#### Ssintillyatsion detektorning ish kuchlanishini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion detektorning ish kuchlanishini aniqlash yo'llarini o'rganish. Berilgan ssintillyatsion detektor uchun ish kuchlanishini bevosita tajriba orqali topish. Detektorning sanoq xarakteristikasini olish.

**Kerakli jihozlar:** Naj(Tl) ssintillyatsion detektor; past kuchlanish manbai; yuqori kuchlanish manbai; keng qamrovli kuchaytirgich; moslashtirish zanjiri; ko'p kanalli analizator; EHM; pechatlash moslamasi; gamma nurlanishlar komplekti; ossillograf.

**Nazariy qismi:** Ssintillyatsion detektorning ish kuchlanishini aniqlash asosiy ishlardan biri hisoblanadi. Detektorning to'g'ri ishlashi ko'p jixatdan ish kuchlanishining to'g'ri aniqlanishiga bog'liq bo'ladi. Har bir detektor uchun ish kuchlanishi tajriba orqali topiladi.

FEK larning sezgirliigi va kuchaytirish koeffitsienti berilgan ish kuchlanishining qiymatiga juda kuchli bog'langandir. I-rasmdan ko'rinib turibdiki, past kuchlanishlarda FEK sezgirligini keskin o'zgarishi kuzatilmogda. Demak past kuchlanishlarda kuchlanishning oz miqdorda tebranishi ham bu kattalikning o'zgarishiga olib keladi.



1-rasm. FEK ning kuchaytirish koeffitsiyentining va integral sezgirligining kuchlanishga bog'liqligi

Detektorlarning eskirishi va charchashi yuz beradi. Bunda detektorlarning asosiy xarakteristikalari yomonlashadi. Eskirish bu qaytarib bo'lmaydigan jarayondir. Charchash hodisasini tiklash uchun ish boshlashdan oldin detektorlarni ulab 20-30 minut davomida qizdirish lozim (yuklama berilmaydi).

2-rasmda tajribaning blok-sxemasi ko'rsatilgan.  $\gamma$ -nurlanish manbai qo'rg'oshindan tayyorlangan himoya devori ichiga o'rnatilgan. Devorning qalinligi 5 sm ga teng. S-o'lchami 40x40 mm bo'lgan Naj(Tl) ssintillyatori. Fotoelektron kuchaytirgich sifatida FEK -30 ishlatildi (boshqa FEK larni ham ishlatish mumkin). Yuqori kuchlanish tok manbai (YuKM) sifatida VS-22 yoki Kamak sistemasidagi bloklarni ishlatish mumkin. Kuchaytirgich sifatida esa keng qamrovli Kamak sistemasidagi kuchaytirgichdan foydalanish mumkin.

Kuchaytirilgan signalni ossillograf yordamida ko'rish mumkin, so'ngra esa u ko'p kanalli analizatorga (KKA) uzatiladi.



2-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

## Tajribani o'tkazish tartibi:

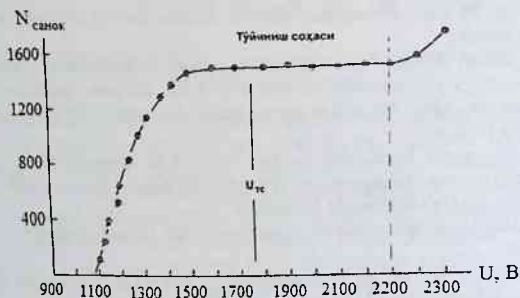
1. 2-rasmda ko'rsatilgan blok-sxema asosida tajriba qurilmasini yig'ish. Ulanish kabellarini nazoratdan o'tkazish.
2. Qurilmaning yerga ulanishi kerak bo'lgan joylarini ko'zdan o'tkazish (alohida ajratilgan joylarga).
3. Qurilmadagi asboblarga tokni berish. Bu vaqtda FEK beriladigan kuchlanish uzilgan holatda bo'lishi lozim "V<sub>sk</sub>".
4. Yuqori kuchlanish manbaidagi kuchlanish berish kalitlari past ko'rsatgichka o'tkaziladi va "Vk." ulanadi.
5. Detektor 20-30 min. davomida qizdiriladi. Bunda detektor o'zining turg'un ish rejimiga keladi.
6. Himoya devori ichiga gamma nurlanish manbai joylashtiriladi.  $\gamma$ -manbai shunday masofaga joylashtirish lozimki, detektorda ortiqcha yuklanish sodir bo'lmasin va shu bilan birgalikda sanoq tezligi fon sanoq tezligidan yetarli darajada katta bo'lsin.
7. Detektorga yuqori kuchlanish beriladi va sekinlik bilan oshirib boriladi. Sanash moslamasida sanoqning boshlanishi kuzatiladi. Sanoq boshlangan kuchlanishdan boshlab tajriba ishi boshlanadi.
8. Detektorning kuchlanishi aniq bir qiymatga qo'yilib 100 sek ichidagi sanoqlar yozib olinadi.
9. Kuchlanishning qiymati 50 V ga oshiriladi va 100 sek ichidagi sanoq yozib olinadi. Bu o'lchashlar birin ketin amalga oshirilib boriladi.
10. Kuchlanishning bir qiymatiga yetib borgandan keyin 100 sek ichidagi sanoqlar qiymatini taxminan o'zgarimasdan qolishi kuzatiladi. Bu to'yinish sohasi deb yuritiladi (2).
11. Kuchlanishni o'zgartirib 100 sek ichidagi sanoqlarni o'lchash ishlari davom ettiriladi. To'yinish sohasining kengligi aniqlanadi.
12. Kuchlanishning ma'lum qiymatiga yetib borganda 100 sek ichidagi sanoqlar qiymatining ortib borishi kuzatiladi. Shu joyda tajriba ishlari oxiriga yetadi.
13. Kuchlanish va sanoq qiymatlari orasidagi grafik chiziladi. Bu grafikdan to'yinish sohasi boshlangan kuchlanishning qiymati topiladi ( $U_{is}$ ).
14. To'yinish sohasi boshlangan kuchlanishning  $U_{is}$  qiymatiga 100 V qo'shish orqali turg'un ish rejimiga keltiriladi va bu detektorning ish kuchlanishi xisoblanadi. Ya'ni:  $U_{ish\ kuch} = U_{is} + 100\text{ V}$ .

## Tajriba natijalari:

1-jadval. O'lchash natijalari

N	$U, \text{V}$	$t, \text{sek}$	$N_{\text{canoq}} + N_{\text{fon}}$	$N_{\text{fon}}$	$N = (N_{\text{canoq}} + N_{\text{fon}}) - N_{\text{fon}}$
1.					
2.					

3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					



3-rasm. Detektorning sanoq xarakteristikasi

### Nazorat savollari

1. Ish kuchlanishini aniqlash nima uchun kerak?
2. Ish kuchlanishini aniqlash nimadan boshlanadi?
3. To'yinish sohasi deb nimaga aytiladi?
4. Nima sababdan to'yinish sohasidan keyin sanoqlarning ortib borishi kuzatiladi?
5. Nima sababdan past kuchlanishlarda sanoq qiymatini keskin ortishi kuzatiladi?
6. Nima sababdan  $U_{тс}$  qiymatiga 100 V qo'shish kerak?
7. Kuchlanishning qiymati nima sababdan 50 V oshirib boriladi?
8. Nima sababdan nurlanish manbai qo'rg'oshin devor ichiga olinadi?
9. Nima sababdan tajribani o'tkazishdan oldin tajriba qurilmasini qizdirish lozim?
10. FEK ning integral sezgirligi kuchlanishning qiymatiga qanday bog'langan?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusевич // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiyey K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnoy yadernoy fizike, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

### № 11. Laboratoriya ishi

#### Ssintillyatsion detektorning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion detektorning asosiy kattaliklaridan biri bo'lgan vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini tajriba yordamida aniqlash.

**Kerakli jihozlar:** impulsli generator; svetodiod; formirovatel; FEK; kechiktirish bloklari; "T-A" konvektor; ko'p kanalli analizator.

**Nazariy qismi:** Detektorga ketma ket keluvchi zarrachalarni bir biridan eng kichik vaqt oralig'ida ajrata olishiga, vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati deyiladi. Radioaktiv nurlanishlar ssintillyatorga kelib urilganida, lyuminessensiya nurlanishini yuzaga keltiradi. Bu nurlar FEK ning fotokatodiga tushib, undan fotoelektronlarni urib chiqaradi. Elektronlar dinodlar oralig'idagi tezlashtiruvchi elektr maydoni ta'sirida tezligini oshiradi va dinodga urilishi orqali elektronlar soni keskin ortib boradi. Bu jarayon anod yonidagi dinodgacha davom etadi. Juda katta elektronlar oqimi anodga kelib tushadi. Anodda yerga nisbatan potentsiallar farqi yuzaga keladi va anod qarshiligidan tok o'tadi. Qarshilikda  $U_a$ -potensial tushishi sodir bo'ladi va bu anod signalining amplitudasidir (1-rasm).

FEU impulsning paydo bo'lish jarayoniga to'xtalib o'taylik. R-anod qarshiligi, S -anod zanjirini yerga nisbatan parazit sig'imi bo'lsin. Agar ssintillyator nurlarni eksponensial qonun bo'yicha chiqaryapti deb faraz qilsak.

$$I_t = I_0 e^{-t/\tau}. \quad (1)$$



bu yerda  $\tau$  – yorug'lik intensivligini ye-marta kamayishi uchun ketgan vaqt. Agar  $\tau \ll RC$  bo'lsa, nurlanish vaqtida anod sig'imi razryadlanishga ulgumaydi, anod impulsining o'zgarishi quyidagi qonuniyatga bo'ysunadi:

$$A_t = -\frac{Q}{C}(1 - e^{-t/\tau}), \quad (2)$$

Bu yerda  $Q$ -ssintillyatorning bitta chaqnashida hosil bo'lgan va anodga yetib kelgan to'liq zaryad miqdori. Impulsning tez o'sishi va  $A_0=Q/C$  qiymatiga yetib borishi, keyin  $S$ -sig'imning asta sekin razryadlanishi boshlanadi. Impulsning kamayib borishi quyidagi qonunga bo'ysinadi:

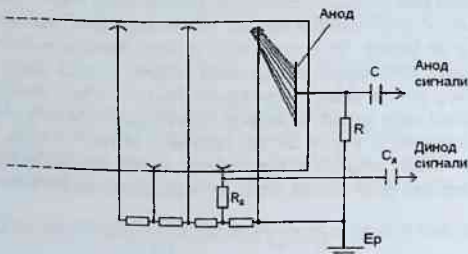
$$A_t = A_0 \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) \quad (3)$$

Ssintilyatorada paydo bo'ladigan yorug'lik nurlarini nurlanish davomiyligi juda kichikdir. Lekin elektronlarni dinodlar orasidagi harakatlanishiga ketgan vaqt  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  sek atrofida bo'ladi. Demak, FEK chegaralangan vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatiga ega bo'ladi.

Agar noorganik ssintilyator ishlatilgan bo'lsa, unda yorug'lik nurining nurlanish davomiyligi  $>10^{-7}$  sek tashkil qiladi. Bunda FEK ning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati ahamiyatga ega bo'lmay qoladi. Vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini ssintilyatorning nurlanishi belgilaydi.

Agar organik ssintilyator ishlatilgan bo'lsa, unda yorug'lik nurining nurlanish davomiyligi  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  sek atrofida bo'ladi. Bu holda FEK vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati katta ahamiyatga ega bo'lib qoladi.

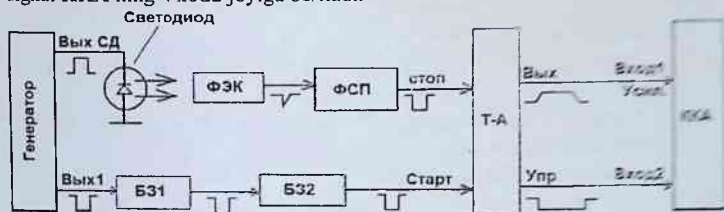
Hozirgi vaqtlarda ajratish qobiliyati  $(1-2) \cdot 10^{-10}$  sek bo'lgan tajriba qurilmalari yaratilgan.



1-rasm. Anod va dinod signallarini olish zanjiri

## Blok-sxemani ishlash prinsipi

Tajribaning blok-sxemasi 2-rasmda berilgan. Svetodiodga generatordan impuls berilganda undan yorug'lik nurlari tarqaladi. Bu nurlar o'stillayotgan chiqargan nurlarga o'xshashdir. Ossiillograf yordamida formirovki (Ф) berilayotgan signalning amplitudasi nazorat qilinadi. Uzatilayotgan signal FEK va FSP da ma'lum vaqtga ushlanib qoladi. Shu sababli Vxod1 olingan signal BZ1 va BZ2 kechiktirish bloklari yordamida kechiktiriladi. Bir biriga mos keltirilgan STOP va START signallari "T-A" konverter blokiga uzatiladi. "T-A" "Вых" olingan signal ko'p kanalli analizatorning (ККА) Vxod1 beriladi va bu yerda signal kuchaytiriladi. "T-A" konvertorning "Upr" joyidandolingan signal KKA ning Vxod2 joyiga beriladi.



2-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Qurilmani 2-rasmda ko'rsatilganidek yig'ish. FEK korpusini svetodiodning korpusiga ulash. FEK ichiga tashqaridan yorug'lik nurini umuman kirmasligini ta'minlash lozim.
2. FEK ga sekinlik bilan yuqori kuchlanishni berish. Kuchlanish qiymatini 10 V atrofida oshirib borish. F blokining chiqishida signal paydo bo'lishini ossillograf yordamida kuzatib turish. Turg'un signal paydo bo'lgunicha kuchlanishni oshirib borish.
3. FEK dagi kechiktirish vaqtini aniqlash kerak bo'ladi. Buning uchun ossillograf yordamida generatorning  $V_{\text{вых1}}$  dan olingansignal bilan FEK chiqishidagi signallar orasidagi vaqt intervali topiladi (ossiillograf anod raz'emiga FEK korpusiga ulanadi). Hisoblash ishlarida signallarni ulash kabellaridagi ushlab qolinishi ham hisobga olinishi lozim (5 nsek/m).
4. FEK vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini tekshirishda "T-A" blokining "Вых" olingan signal ko'p kanalli analizatorning (ККА) Vxod1 beriladi. BZ1 va BZ2 kechiktirish bloklari yordamida o'lchanayotgan spektr analizatorning oxiriga kanallariga keltiriladi. Kechiktirish vaqtini 1 nsek qadam bilan o'zgartirish kerak.

5. Kechiktirish vaqti va FEK ajratish qobiliyatini kuchlanishga bog'liqligini o'rganish uchun kuchlanishning bir nechta qiymatida tekshirish lozim.

### Nazorat savollari

1. Tajribaning blok-sxemasini ishlashini tushuntirib bering?
2. Svetodiod qanday vazifani bajaradi?
3. Formirovatelning vazifasi nimadan iborat?
4. **BZ1** va **BZ2** kechiktirish bloklari qanday vazifani bajaradi?
5. FEK ichiga tashqaridan yorug'lik nurini umuman kirmasligini ta'minlash nima uchun kerak?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusевич // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiyey K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

## № 12. Laboratoriya ishi

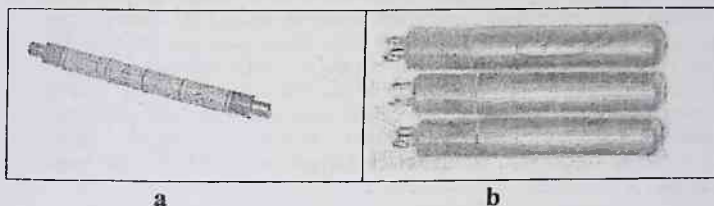
### Geyger-Myuller schyotchigi

**Ishdan asosiy maqsad:** Geyger-Myuller schyotchigi bilan tanishish va uning ishlash prinsiplarini o'rganish. Schyotchikni tajriba ishlariga tayyorlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Turli tipdagi Geyger-Myuller schyotchiklari.

**Nazariy qisimi:** Yadro qurilmalarida va dozimetrik o'lchashlarda Geyger-Myuller schyotchigi asosiy asbob bo'lib qoldi. Bunga uning juda soddaligi, ixchamligi va barqarorligi sabab bo'ldi. Tarixga nazar tashlaydigan bo'lsak, Geyger schyotchigini kashf qilinganiga 100 yildan ortdi. U 1908 yili nemis

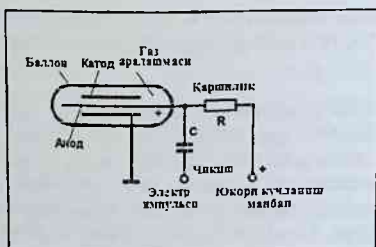
fizigi X.V. Geyger tomonidan yaratildi. Keyinchalik, 1928 yili boshqa nemis fizigi V. Myuller bilan birgalikda schyotchik takomillashtirildi. Shunga ko'ra Geyger-Myuller schyotchigi deb yuritila boshlandi. Yadro fizikasining boshlang'ich bosqichlarida, ayniqsa atom energetikasi va yadro quollarini yaratilish vaqtlarida bu qurilmadan keng foydalanildi. 1a,b-rasmda STS-5 va SI-24BG turidagi gazrazyadli Geyger-Myuller schyotchiklari ko'rsatilgan.



1-rasm. Geyger-Myuller schyotchiklari: a- STS-5 turidagi gazrazyadli schyotchik; b-SI-24BG turidagi Geyger-Myuller schyotchigi

Gazrazyadli schyotchiklarning turi nihoyat darajada ko'p. Ular yordamida  $\alpha$ -,  $\beta$ -  $\gamma$ - va neytron zarrachalarini qayd qilish mumkin. Zarrachaning turiga mos ravishda schyotchik korpusining materiali va ichiga qamalgan gaz tanlanadi. Boshqa turdagi schyotchiklarning ko'rinishi ham 1-rasmda ko'rsatilgan schyotchiklarga o'xshashdir. 2-rasmda Geyger schyotchigining tuzilishi va ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Katod manfiy anod esa musbat qutbga ulanadi. Schyotchikning devori katod vazifasini o'taydi. Qalinligi 0,02÷3 mm oralig'ida bo'lgan metall (W) sim anod vazifasini bajaradi. Anod simi trubkaning markazidan o'tadi. Uning ishlash prinsipi juda sodda bo'lib, radioaktiv zarrachalarni gaz atomlariga urilishda ionlarning hosil bo'lishiga asoslangandir. Qurilma metall yoki shisha balondan iborat bo'lib, yaxshilab berkitilgan. Balon ichiga inert gazlar (neon, argon yoki gaz aralashmasi) qamalgan. Balon ichiga ikkita elektrod o'rnatilgan (katod, anod). Qarshilik orqali elektrodlar orasiga o'zgarmas yuqori kuchlanish beriladi va elektrodlar orasidan zarracha o'tganda gaz atomlari ionlashtiradi. Bundan tashqari qayd qilinishi kerak bo'lgan zarracha schyotchik devoriga urilishida undan elektronlarni urib chiqaradi va bu elektronlar kamera ichiga kirib boradi va gaz atomlarini ionlashtiradi (demak, qayd qilinayotgan zarrachani kamera ichiga kirishi shart emas). Hosil bo'lgan ionlar va elektronlar elektrodlariga qarab harakatlanadi. Elektronlar tezligini katta qiymatga oshiradi va gaz atomlariga urilishi natijasida qo'shimcha ionlarni hosil qiladi. Elektronlarning ko'payishi katod materialida fotoeffekt jarayonining sodir bo'lishiga asoslangandir. Bu elektronlar zarba ionlashtirishda

muhim ahamiyatga ega. Hosil bo'lgan elektronlar elektr maydon ta'sirida energiya olib o'zlarini ham gaz atomlarini ionlashtiradi. Bu jarayon bir necha bor takrorlanadi va elektronlar miqdori ko'chki ko'rinishida ortib boradi. Elektrodlar orasidagi fazoda elektron-ion bulutlari hosil bo'ladi va elektr o'tkazuvchanligi ortadi. Natijada mustaqil razryadlanish jarayoni boshlanadi. Schyotchikdagi razryadlanish kuchlanishning ma'lum bir qiymatida yuz beradi ( $U_{raz}$ ). Bunda schyotchikda elektr toki paydo bo'ladi va bu tokning qiymati fazoda to'plangan zaryadlar miqdoriga bog'liq bo'ladi. O'zgaras razryadlanish jarayoni vaqtida schyotchik kelib tushayotgan zarrachalarni sanay olmaydi. Agar razryadlanish jarayoni to'xtatilmasa schyotchikni sanay olmaydigan vaqti juda katta bo'lib ketadi. Bu o'z navbatida o'lchash hatoligini katta bo'lishiga olib keladi. Bunday schyotchiklarni yuqori oqimli nurlanishlar manbai uchun umuman ishlatib bo'lmaydi. Razryadlanish jarayoni to'xtaydi, qachonki, elektrodlar orasidagi kuchlanish  $U < U_{raz}$  bo'lganda. Demak razryadni so'ndirish lozim. Razryadlanishni so'ndirish usuliga qarab Geyger schyotchiklari ikki turga bo'linadi.

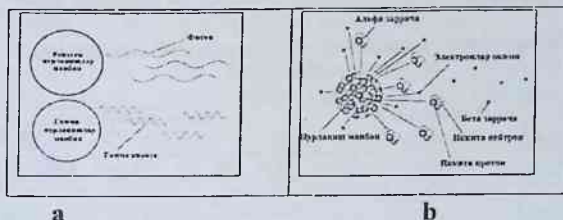


2-rasm. Geyger schyotchigining tuzilishi va ulanish sxemasi

1. O'zini so'ndira olmaydigan schyotchiklar. Bularda razryadlanish jarayonining tugallanishi tok manbaining o'chirilishi orqali amalga oshiriladi. Natijada, schyotchikning sanash tezligi kichik bo'ladi va ularni katta quvvatga ega bo'lgan nurlanish manbaiga ishlatib bo'lmaydi. Bu schyotchiklarning tiklanish vaqti  $10^2$  sekundga teng. Keyinchalik bu schyotchik takomillashtirildi va katta intensivlikka ega bo'lgan nurlanishlarga qo'llash imkoniyati paydo bo'ldi. Zarrachalar oqimi quvvatiga bo'lgan chidamliligi  $\sim 100$  imp./sek.

2. O'zini-o'zi so'ndira oladigan galogen schyotchiklar. Razryadlanish jarayonini so'ndirish uchun schyotchik kamerasi ichidagi gaz aralashmasiga mahsus birikmalar qo'shiladi (xlor, brom, yod, spirt). Bundan tashqari qiymati 1-10 MoM bo'lgan yuklama qarshilik ishlatiladi. Shu asosda qurilmaning tezligi oshiriladi. Bunday schyotchiklarning tiklanish vaqti  $10^3$ - $10^4$  sekundga tengdir. Zarrachalar oqimi quvvatiga bo'lgan chidamliligi  $10^3$ - $10^4$  imp./sek tashkil etadi.

Geyger-Myuller schyotchiklari zarrachalarni sanash uchun ishlatiladi. Zarrachalarning energiyasini va turini ajratib bera olmaydi. Bu ishlarni bajarish uchun maxsus qurilmalardan foydalanish lozim. Bu schyotchiklar rentgen va  $\gamma$ -kvantlarini juda yaxshi qayd qiladi. Bizga ma'lumki, radiatsion nurlanishlar ikki turga bo'linadi. Birinchisi, elektromagnit nurlanishlar, bunga rentgen va  $\gamma$ -kvantlari kiradi. Rentgen nurining to'liqin chastotasi juda kattadir.  $\gamma$ -kvantlarining to'liqin chastotasi esa undan ham kattadir. 3-rasmda rentgen va  $\gamma$ -kvantlarining to'liqin chastotalarini qiyoslanishi ko'rsatilgan.



3-rasm. Turli zarrachalar to'liqin uzunliklarining bir-biriga qiyoslanishi: a- Rentgen va  $\gamma$ -kvantlari to'liqin chastotalarini qiyoslanishi; b- radionuklidning  $\beta$ - va  $\alpha$ -zarrachalarini chiqarishi

$\alpha$ -zarrachalarini Geyger-Myuller schyotchigi yordamida sanash bir qator qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Bu zarrachaning moddalarga kirish chuqurligi kichik bo'lganligi uchun schyotchik devoridan ichkariga kira olmaydi. Energiyasi katta bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalar kamera ichiga kira oladi va gazni ionlashtirishi mumkin.  $\alpha$ -zarrachalarni qayd qilish uchun asosan torsovoy shaklda tayyorlangan schyotchiklar ishlatiladi.

$\beta$ -zarrachalarga kelsak ularning moddalardan o'tish qobiliyati  $\alpha$ -zarrachaga nisbatan kattadir. Shunday bo'lgan taqdirda ham past energiyali  $\beta$ -zarrachalar kamera ichiga kira olmaydi. Lekin energiyasi yetarli darajada katta bo'lgan  $\beta$ -zarrachalar kamera ichiga bemalol kira oladi. Geyger-Myuller schyotchigi rentgen va  $\gamma$ -kvantlarini juda yaxshi qayd qiladi.  $\beta$ -zarrachalarni qayd qilish uchun yupqa devorli silind va torsovoy shaklda tayyorlangan schyotchiklar ishlatiladi. Energiyasi  $Ye_{\beta}=500 \div 700$  keV oraliqida bo'lgan beta zarrachalarini qayd qilish uchun yupqa devorli silindsimon schyotchiklar ishlatiladi. Energiyasi  $Ye_{\beta}=100 \div 200$  keV oraliqida bo'lgan beta zarrachalarini qayd qilish uchun esa torsovoy ko'rinishdagi schyotchik ishlatiladi. Uning kirish qismidagi slyudaning qalinligi  $1 \div 5$  mg/sm<sup>2</sup> oraliqida bo'ladi. Turli qalinlikdagi slyuda materialini turli energiyali  $\beta$ -zarrachalarga bo'lgan shaffolligi tajribada aniqlangan va 1-jadvalda berilgan. Schyotchikning kirish qismidagi slyuda

qalinligini  $\beta$ -zarrachalarga bo'lgan shaffofligini (%) quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$\frac{N_0}{N} = e^{-2,2 \cdot 10^3 \cdot d / E_{\text{mak}}^{4/3}} \quad (1)$$

bu yerda  $N_0$  - schyotchikka kelib tushayotgan zarrachalar soni;  $N$  - schyotchikning ish sohasiga kirib borgan zarrachalar soni;  $d$  - slyudaning qalinligi,  $\text{mg}/\text{sm}^2$ ;  $E_{\text{mak}}$  -  $\beta$ -zarrachalarining maksimal energiyasi, MeV.

1-jadval. Slyuda materialining turli energiyali  $\beta$ -zarrachalarga bo'lgan shaffofligi (%)

Izotop	$\beta$ -zarrachaning mak. Energiyasi	Slyudaning qalinligi, $\text{mg}/\text{sm}^2$		
		3	7	20
$^{32}\text{S}$	0,15	40	12	0,24
$^{18}\text{F}$	0,70	89	78	49,2
$^{32}\text{P}$	1,69	96	92,6	80,3
$^{42}\text{K}$	3,50	98	97	92

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, turli qalinlikdagi slyuda materialining turli energiyali  $\beta$ -zarrachalarga ko'rsatgan shaffoflik darajasi turlichadir. Bu ayniqsa past energiyali  $\beta$ -zarrachalarda katta qiymatga ega. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, past energiyali  $\beta$ -zarrachalarni qayd qilishda iloji boricha slyudaning qalinligini kichik qilib olish lozim.

### Geyger-Myuller schyotchigining xarakteristikasi

Geyger-Myuller schyotchigi silindr va torsevoy ko'rinishda tayyorlangan. Silindr shakldagisi 4a-rasmda, torsevoy ko'rinishda tayyorlangani esa 4b-rasmda berilgan. Past energiyali  $\alpha$ - va  $\beta$ -zarrachalarini qayd qilish uchun schyotchikning devorlari yupqa qalinlikda va



a

b

4-rasn. Turli ko'rinishdagi Geyger-Myuller schyotchiklari: a-Beta-2M turdagi torsevoy gamma-schyotchik; b- Beta-1 turdagi torsevoy  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -schyotchik

bu zarrachalarga kam to'sqinlik qiluvchi materiallardan tayyorlangan. Shu sababli nurlanishlar dozasi aniqlanayotganda zarrachaning energiyasiga katta e'tibor berish lozim. Geyger-Myuller schyotchigining asosiy xarakteristikalariga to'xtalib o'tamiz.

1. Tuzilishi. Agar aktivligi kichik bo'lgan nurlanish manbai bilan ish olib borilayotgan bo'lsa, bu holda torsovoy ko'rinishidagi schyotchiklardan foydalanish maqsadga muvofiqdir, chunki, bularda ish yuzasi nisbatan yetarli darajada kattadir. Bu schyotchiklar  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -zarrachalarini alohida yoki birgalikda qayd qilish imkoniyatiga ega.
2. Ish sohasi. Bu kattalik schyotchikning o'lchamini baholaydi. Ish sohasi qancha katta bo'lsa, unga kelib tushayotgan zarrachalar soni shunchalik ko'p bo'ladi. Radiatsiyaga bo'lgan sezgirligi ham yuqori bo'ladi.
3. Shaxsiy foni (imp./sek). Xar qaday o'lchash asboblari shaxsiy fon kattaligi mavjud. Bu fon atrof muhitdan kelayotgan nurlanishlar hisobidan, schyotchik o'ralgan materiallardan va elektr zanjiridagi nosozliklardan paydo bo'lishi mumkin. Foni albatta kamaytirish lozim, bo'lmasa kerakli ma'lumotlar "fon" ostida qolib ketadi.
4. Radiatsiyaga sezgirligi (imp./sek). Bu kattalik tajriba orqali radioaktiv manbalar yordamida aniqlanadi. Manbalar sifatida koba-60, seziy-137, radiy-226, uglerod-14 va boshqalarni ishlatish mumkin. Standart manbalardagi sanoq tezligi topiladi va berilgan sanoqqa solishtiriladi. Qayd qilish qobiliyati (effektivligi). Barcha detektorlar o'zining qayd qilish qobiliyatiga ega. Bu kattalik tajriba orqali topiladi. Schyotchik yuzasiga tushgan zarrachalardan qanchasini sanalganligini ko'rsatuvchi kattalikdir. Bu kattalik standart manbalar yordamida aniqlanadi. Manbalar sifatida plutoniya-239 (alfa-nurlanish) talliy-204 (beta-nurlanish) va boshqa izotoplarni ishlatish mumkin. Beta manba sifatida stronsiya-90 va uning mahsuli ittriy-90 izotoplarini ishlatish mumkin.
5. Qayd qilinishi lozim bo'lgan zarrachalarning energiya sohalari (MeV yoki keV). Radiaktiv izotoplar turli energiyali zarrachalarni chiqaradi. Schyotchiklarning qayd qilish qobiliyati zarracha energiyasiga bog'liqdir, bu ayniqsa  $\gamma$ -kvanti uchun o'rinlidir. Bundan tashqari zarracha schyotchik kamerasiga kirib borishi uchun yetarli energiyaga ega bo'lishi lozim. Dozimetr asboblari qayd qilinishi kerak bo'lgan zarrachalarning energiyasi ko'rsatiladi.

## Rentgen va $\gamma$ -kvantlarini qayd qilish

Foton elektromagnit nurlanishlari hisoblanadi. Uning tezligi yorug'lik tezligiga tengdir. Geyger-Myuller schyotchigining effektivligi juda kichik bo'lib, ko'pincha 1% tashkil qiladi. Effektivligini oshirish uchun katod yuzasini

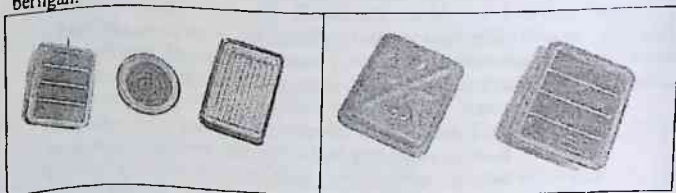


oshirishga to'g'ri keladi. Rentgen va  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilish bilvosita orqali amalga oshadi. Bu nurlar schyotchik devoridan yoki ichidagi gazdan elektronlarni urib chiqaradi. Elektronlar sonini ko'paytirish uchun devor va katod materiallari tanlanadi. Rentgen va  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilishga mo'ljallangan schyotchiklarda bular e'tiborga olingan. Faqat rentgen va  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilish uchun schyotchik oldiga qalinligi kichik bo'lgan qo'rg'oshin yoki temir plastinkasini qo'yish kerak. Plastinka  $\alpha$ -,  $\beta$  - zarrachalarini ushlab qoladi.

Dozimetriyada quyidagi silindr ko'rinishidagi SI21G, SI22G, SI34G, Gamma-1-1, Gamma-4, Gamma-5, Gamma-7S (tuzilishi SBM-20 o'xshash), Gamma-8, Gamma-11 va boshqa Geyger-Myuller schyotchiklari ishlatiladi. Torsovoy ko'rinishida tayyorlangan Gamma-6, Beta-1M, Beta-2M, Beta-5M (to'rtburchak shaklida), Beta-6M va boshqalar ham dozimetriyada qo'llaniladi. Beta-2M schyotchigining xarakteristikasini ko'rib o'taylik: ish sohasining yuzasi  $14 \text{ sm}^2$ ; radiatsiyaga sezgirligi  $^{60}\text{So}$  bo'yicha  $240 \text{ imp/mkR}$ ; fon sanoqlarining qiymati  $1 \text{ imp/s.}$ ; energiya sohasi  $0,05 \text{ MeV}$  do  $3 \text{ MeV}$ .

### Gamma va past energiyali beta zarrachalarini qayd qilish

Past energiyali  $\beta$  -zarrachalarini qayd qilish og'ir vazifalardan biri hisoblanadi. Odatda bunday zarrachalarni qayd qilish uchun torsovoy ko'rinishidagi schyotchiklar ishlatiladi. Ularning yuza qismlariga o'ta yupqa slyuda yoki polimer plenkalari ishlatiladi. Undan past energiyali  $\beta$  -zarrachalari o'tib schyotchik kamerasiga kirib boradi. 5a,b-rasmda gamma va past energiyali beta zarrachalarini qayd qilishga mo'ljallangan Geyger-Myuller schyotchigi berilgan.



a

b

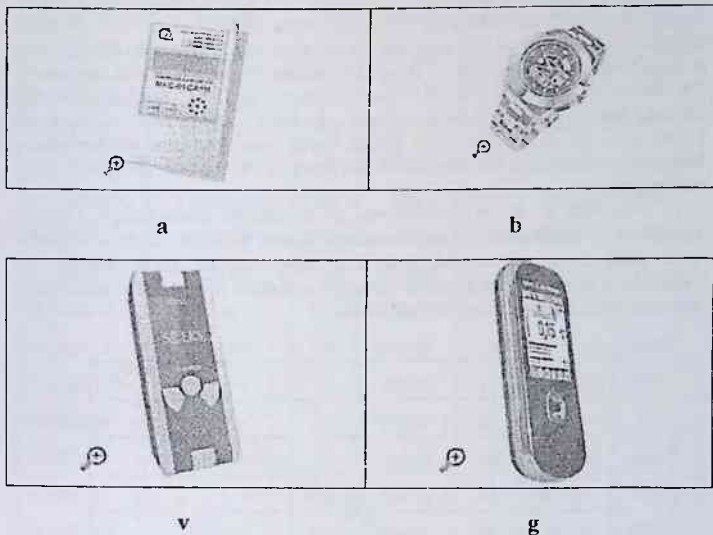
5-rasm. Past energiyali beta va gamma nurlarini o'lchashga mo'ljallangan Geyger-Myuller schyotchiklari: a-torsovoy Geyger schyotchigining tuzilishi; b- Beta-5 tipdagi torsovoy  $\beta$ -,  $\gamma$ -schyotchik.

Hozirgi vaqtda Beta-5 turdagi torsovoy schyotchiklar ishlatilmoqda. Uning ish yuzasi  $37 \text{ sm}^2$ . fon sanoqlarining qiymati  $2,2 \text{ imp/s.}$ ;  $\gamma$ -nurlanish

bo'yicha energiya sohasi 0,05 MeV dan 3 MeV gacha. Beta zarrachalarini qayd qilish qobiliyati 80 % atrofida.

### Gamma, beta va alfa zarrachalarini qayd qilish

Alfa zarrachalarini past energiyali  $\beta$ -zarrachalariga nisbatan ham qayd qilish mushkuldir. Bunga asosiy sabab  $\alpha$ -zarrachalarini moddalardan o'tish qobiliyatining o'ta kichikligidir. Shu sababli yuza qismlariga o'ta yupqa slyuda plenkasini ishlatish kerak bo'ladi. Lekin o'ta yupqa slyuda plenkasi schyotchikning mexanik mustahkamligini kamaytirib yuboradi. 13-17 mkm

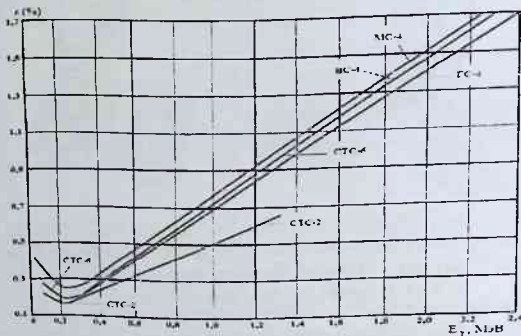


6-rasm. Turli tipdagi dozimetrlar: a- MKS turidagi dozimetr ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -zarrachalarini o'lchaydi); b- SIG-RM1208M turidagi soatli dozimetr (rentgen va  $\gamma$ -nurlarini o'lchaydi); v- kvantum dozimetri ( $\beta$ -,  $\gamma$ -zarrachalarini o'lchaydi); g- SMG-I dozimetri ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -zarrachalarini o'lchaydi)

qalinlikdagi slyuda plenkasi yordamida ish yuzasi ( $30 \text{ sm}^2$ ) qoplanadi (SBT10, SI8B). Alfa zarrachalarini qayd qilishda schyotchikni nurlanish manbaiga juda yaqin joylashtirish kerak. Qalinligi 4-5 mkm bo'lgan slyuda bilan ish yuzasi  $0,2 \text{ sm}^2$  bo'lgan schyotchikni tayyorlash mumkin bo'ldi (SBT-9). Tajriba va hisob natijalariga ko'ra quyidagilar aniqlandi: Agar schyotchikning yuzasi qalinligi 15

mkm bo'lgan slyuda bilan qoplangan bo'lsa, 5 MeV energiyali  $\alpha$ -zarrachani qayd qilish uchun schyotchikni radionukliddan 2 mm masofa uzoqlikda joylashtirish kerak. Agar schyotchikning yuzasi qalinligi 10 mkm bo'lgan slyuda bilan qoplangan bo'lsa, schyotchikni radionukliddan 13 mm uzoqlikka joylashtirish mumkin. Agar  $\alpha$ -zarrachaning energiyasi  $>5$  MeV dan katta bo'lsa, schyotchikning o'rnatish masofasi ham ortib boradi. Agar  $\alpha$ -zarrachalari kuchli  $\gamma$ -nurlanishlar maydoni ichida bo'lsa,  $\gamma$ -nurlarini ta'sirini kamaytirish uchun katod yuzasini kamaytirish lozim bo'ladi. Shu asosda halaqit beruvchi  $\gamma$ -nurlarini 1000 martagacha kamaytirishga erishish mumkin.  $\beta$ -va  $\alpha$ -zarrachalari bergan doza qiymatlarini quyidagi yo'l bilan ajratib olish mumkin. Dastlab  $\beta$ - va  $\alpha$ -zarrachalari bergan yig'indi doza qiymati aniqlanadi. So'ngra schyotchik oldiga qog'oz filtr qo'yiladi va doza qiymati o'lchanadi. Qog'oz filtr  $\alpha$ -zarrachalarini ushlab qoladi. O'lchangan natijalar bir biridan ayrib tashlanadi. Shu tariqa  $\alpha$ -zarrachalar bergan doza qiymati topiladi.  $\delta(a,b,v,g)$ -rasmda Geyger-Myuller schyotchigidan iborat bo'lgan zamonaviy dozimetrlar ko'rsatilgan. Bu dozimetrlar 2010 yildan keyin yaratildi. Ular ma'lumotlarni hotirasida saqlay oladi. Ma'lumotlarni son qiymati yoki grafik ravishda berishi ham mumkin.

1-jadvalda  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -zarrachalarini qayd qilishda ishlatiladigan Geyger-Myuller schyotchiklarining asosiy xarakteristikalari berilgan. Gamma nurlarini qayd qilish asosan o'zini-o'zi tiklaydigan schyotchiklar yordamida amalga oshiriladi.  $\gamma$ -zarrachalari schyotchik dovoriga urilishida undan elektronlarni urib chiqaradi. Bu elektronlarning bir qismi kamera



7-rasm. Schyotchiklarni qayd qilish qobiliyatini foton energiyasiga bog'liqligi

1-jadval. Geyger-Myuller schyotchiklarning asosiy xarakteristikalari

№ n/n	Счетчик тури	Гамма нурла- нишга сезгир- лиги, мкр <sup>-1</sup>	Иш куч- ла- ниш, В	Санок бошлан- гандаги кучланиш В	Фон. с <sup>-1</sup>	Ўлчамн, мм	Масса, г
1.	СТС 6	210.0 ±21.7	400	285-335	1.83	Ø22.0x199	25.0
2.	СБТ 9	45.0 ±10	400	260-330	0.17	Ø11.0x67	8.5
3.	СБТ 10	352.5 ±40	400	260-320	—	70.0x91x38	150.0
4.	СБТ 11	48.0 ±6.5	400	260-320	0.25	29.0x55x23	33.0
5.	СБМ 9	10.7 ±2.5	450	250-330	0.13	Ø15.0x1000	60.0
6.	СБМ 10	10.5 ±1.5	400	260-340	0.13	Ø6.0x25	0.9
7.	СБМ 11	2.4 +0.8, -0.9	400	350	0.13	Ø10.0x257	29.0
8.	СБМ 12	2.1 ±0.7	400	360	0.13	Ø10.0x187	30.0
9.	СБМ 13	190.0 ±30	1250	1120-117	—	Ø19.0x195	25.0
10.	СБМ 14	43.8 ±9.1	1250	1120-117	—	Ø11.0x105	10.0
11.	СБМ 19	247.5 ±26	400	260-320	2.0	Ø18.8x195	25.0
12.	СБМ 20	67.5 ±7.5	400	260-320	1.0	Ø11.0x108	10.0
13.	СБМ 21	8.0 ±1.5	400	260-320	0.2	Ø5.0x21	1.0
14.	СИ 1Г	52.5±6.3, -6.2	400	280-335	0.41	Ø16.0x94	15.0
15.	СИ 5Ф	—	900	750-805	0.5	Ø18.5x95	27.0
16.	СИ 8БМ	280.0 ±30	400	255-285	2.0	Ø80x32	100.0
17.	СИ 22Г	228.0±23	400	285-335	1.25	Ø19.0x215	45.0
18.	СИ 24БГ	—	400	270-320	0.5	Ø11.0x112	11.0
19.	СИ 28 БГ1	84.0±7.6	900	805-845	0.5	Ø6.5x116	3.0
20.	СИ 28 БГ2	84.0±7.6	900	805-845	0.5	Ø6.5x116	3.0
21.	СИ 29БГ	41.0±8	400	250-340	0.5	Ø10.3x52	5.5

ichiga kiradi va gazni ionlashtiradi. 7-rasmda bir qator schyotchiklarning qayd qilish qobiliyatini foton energiyasiga bog'liqligi aks ettirilgan.

2-jadvalda schyotchiklarning o'lchamlari va qayd qiladigan zarrachalarning turi ko'rsatilgan. Bundan tashqari 1-jadvalda berilmagan schyotchiklar ham o'rin olgan. Olib borilayotgan tajribaning mohiyatiga qarab schyotchiklarni tanlash mumkin.

2-jadval. Schyotchiklarga tegishli kattaliklar

№	Schyotchik turi	O'lchami, mm			Ish kuchlanishi, V	O'lchaydigan nurlanishlar
		Uzunligi	Kengligi	Diametri		
1.	SBT9	74	-	12	400	$\beta, \gamma$
2.	SBT10	88	67	37	400	$\beta, \gamma$
3.	SBT11	55	29	25	400	$\beta, \gamma$
4.	SBM9		-	6x15	450	$\beta, \gamma$
5.	SBM10	25	-	6	400	$\beta, \gamma$
6.	SBM11	257	-	12	400	$\beta, \gamma$
7.	SBM12	187	-	12	400	$\beta, \gamma$
8.	SBM13	195	-	19	1250	$\beta, \gamma$
9.	SBM14	105	-	11	1250	$\beta, \gamma$
10.	SBM19	195	-	19	400	$\beta, \gamma$
11.	SBM20	108	-	11	400	$\beta, \gamma$
12.	SBM21	21	-	6	400	$\beta, \gamma$
13.	SI1G	90	-	16	400	$\gamma$
14.	SI8BM		-	84	400	$\beta, \gamma$
15.	SI34GM	57	-	8	400	$\gamma$
16.	SI19BG	16	-	8	400	$\beta, \gamma$
17.	SI22G	220	-	19	400	$\gamma$
18.	SI21GM	256	-	19	400	$\gamma$
19.	SI23BG	195	-	19	400	$\beta, \gamma$
20.	SI24BG	111	-	11	400	$\beta, \gamma$
21.	SI28BG	116	-	7	400	$\beta, \gamma$
22.	SI29BG	62	-	10,3	400	$\beta, \gamma$
23.	SI37GM	66	-	8	400	$\gamma$
24.	SBM30	120	-	18	400	$\gamma$
25.	SBM31	50	-	10	400	$\gamma$
26.	SBM32	115	-	10	400	$\beta, \gamma$

3-jadvalda Geyger-Myuller schyotchiklarini ishlatilish sohalari va unda o'lanadigan nurlanishlar berilgan. Energiyasi katta bo'lgan  $\beta$ -nurlariga qattiq  $\beta$ -nurlari deb nom berilgan.

3-jadval Geyger-Myuller schyotchiklarini ishlatilish sohalari

Ishlatilish sohasi	Asbobning turi	O'lchami, mm	Massasi, g
Meditsina sohasida qattiq $\beta$ -nurlanishlarni o'lchashda	SBM 9	d15.0 * 1000	60.0
	SBM 11	d10.0 * 257	29.0
	SBM 12	d10.0 * 187	30.0
Qattiq $\beta$ - va $\gamma$ -nurlanishlarni o'lchashda. Radiatsion nazorat. Defektoskopiya va boshqa sohalarda.	SBM 19	d18.8 * 195	25.0
	SBM 20	d11.0 * 108	10.0
	SBM 30	d18.0 * 107	15.4
	SBM 32	d9.67 * 102	3.6
	STS 5	d12.0 * 110	3.6
	STS 6	d22.0 * 199	25.0
	SI 1G	d16.0 * 94	15.0
	SI 5F	d18.5 * 95	27.0
	SI 22G	d19.0 * 215	45.0
	SI 29BG	d10.3 * 62	5.5
Kichik o'lchamli schyotchiklar. Qattiq $\beta$ - va $\gamma$ -nurlanishlarni o'lchashda. Radiatsion nazoratda ishlatiladi.	SBM 10	d6.0 * 25	0.9
	SBM 21	d6.0 * 21	1.0
	SBM 31	d9.7 * 37	2.6
Yadro reaktorlarida ishlatiladi. Yuqori haroratga chidamli schyotchiklar Qattiq $\beta$ - va $\gamma$ -nurlanishlarni o'lchashda.	SBM 13	d19.0 * 195	25.0
	SBM 14	d11.0 * 105	10.0
	SI 28BG	d6.5 * 116	3.0
Qattiq $\beta$ - va $\gamma$ -nurlanishlarni o'lchashda. Sezgirlik darajasini o'zgartirish mumkin.	SI 23BG	d18.0 * 195	25.0
	SI 24BG	d11.0 * 112	11.0
Torsovoy schyotchiklar. 60 keV+2 MeV energiya oralig'idagi beta- va gamma nurlarini o'lchashda.	SBT 9	d11.0 * 67	8.5
	SBT 10A	70.0*91*38	150.0
	SBT 11A	29.0*56*23	33.0
	SI 8BM	d80.3 * 32	100.0
	SI19BGM	d9.3 * 21	5.0
Yuqori effektivlikka ega bo'lgan schyotchiklar. Yadro spektrometriyasida ishlatiladi. $\gamma$ -nurlarini o'lchashda.	SI 4G	d33.0 * 360	90.0
	VS 9	d33.0 * 360	90.0

## RENTGEN SCHYOTCHIKLARI

Meditsinada, geofizikada, yadro fizikasida rentgen nurlarini o'lashda	SI 9R	d55.0 * 244	360.0
	SI 10R	d55.0 * 244	360.0
	SRM 19	d20.0 * 98	55.0
	SRM 20	d26.0 * 18	43.0

Schyotchiklarning nomlanishi qisqartirma harflar orqali berilgan. Ularni o'qish uchun quyidagi sistemalarga murojat qilish kerak. Schyotchiklarni belgilash uchta sistemaga ko'ra olib borilgan:

1. Birinchi sistemada belgilanish: SI- schyotchik izlucheniy; keyingi keladigan sonlar-konstruksiya nomeri; sondan keyingi keladigan harflar-qayd qilinadigan zarrachalar (A-alfa, B-beta, G-gamma, N-neytron, R-rentgen, F-foton). masalan: SI 10R, SI 4G va boshqalar.
2. Ikkinchi sistemada belgilanish: birinchi harf-katod materiali ( M-mednyy, G-grafitovyy, V-volframovyy, ST-stalnoy; S- samogasyaychiysya; sonlar-konstruksiya nomeri. Masalan: STS-6, MS-7 va boshqalar.
3. Uchinchi sistemada belgilanish: S-schyotchik; ikkinchi harf-qayd qilinadigan zarrachaga tegishli; uchunchi harf- schyotchikning tuzilishiga tegishli ( S-steklyannyy, M-metallicheskiy, T-torsoviy, U-uviolevoe steklo); harflardan keyingi keladigan sonlar-modifikatsiya nomeri. Masalan: SBM-9, SRM-20 va boshqalar.

### Nazorat savollari

1. O'zini-o'zi so'ndiruvchi schyotchikning ishlashini tushintirib bering?
2. Geyger-Myuller schyotchiklari yordamida qanday zarrachalarni qayd qilish mumkin?
3. Geyger-Myuller schyotchiklarini qaysi sohalarda ishlatish mumkin?
4. Geyger-Myuller schyotchikining asosiy xarakteristikalarini aytib bering?
5. STS-6schyotchigidagi ifodalar nimani anglatadi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. V.K. Lyapidevskiy // Metody detektirovaniya izlucheniy, M: Energoatomizdat, 1987.
2. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiyey K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.

## № 13. Laboratoriya ishi

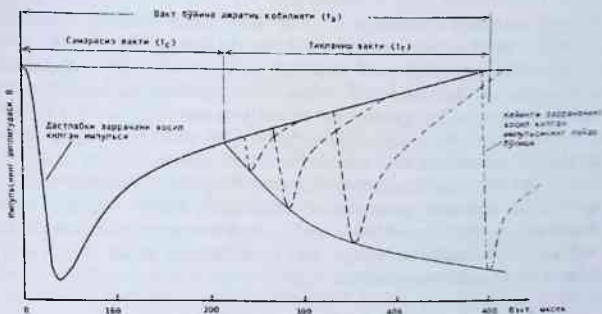
### Detektorlarning samarasiz vaqtini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Detektorlarning samarasiz vaqtini aniqlash usullari bilan tanishish. Detektorning samarasiz vaqtini ikkita radioaktiv manba yordamida aniqlash usuliga to'liq o'xtalib o'tamiz.

**Kerakli jixozlar:** Ssintilyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometr, yuqori kuchlanish manbai, past kuchlanish manbai, ikkita  $^{137}\text{Cs}$  radioaktiv manba, sanoq moslamasi, kuchaytirgich.

**Nazariy qismi:** Barcha turdagi qayd qiluvchi qurilmalarning zarrachalarni qayd qilmaydigan vaqti bo'ladi. Bu vaqt ichida detektor o'ziga kelib tushgan zarrachani sanamaydi. Bunga sabab, kelib tushgan dastlabki zarracha detektorda o'zining energiyasini yo'qotadi va natijada impuls paydo bo'ladi. Paydo bo'lgan impuls kelgusi bloklarga uzatiladi va detektorda so'ndirilish jarayoni boshlanadi. Bu jarayonlarni o'tishi uchun ketgan vaqt ko'pincha detektorning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini belgilaydi ( $t_a$ ). 1-rasmda misol tariqasida Geyger-Myuller schyotchigida sodir bo'ladigan samarasiz ( $t_c$ ) va tiklanish ( $t_r$ ) vaqtlari ko'rsatilgan. 1-rasmdan ko'rinib turibdiki, schyotchikning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati, samarasiz va tiklanish vaqtlarining yig'indisiga teng.

$$t_a = t_c + t_r \quad (1)$$



1-rasm. Geyger-Myuller schyotchigida samarasiz va tiklanish vaqtlari



Turli detektorlarni samarasiz va tiklanish vaqtlari turlichadir. Bu kattaliklar ssintillyatsion detektorlarda yetarli darajada kichik bo'lib, ularni yuqori intinsivlikka ega bo'lgan nurlanishlarga qo'llash mumkin. Detektorning samarasiz vaqti deganda, detektorga ketma-ket kelib tushayotgan zarrachalar orasidagi vaqtning eng kichik qiymati bo'lib, bunda zarrachalarning ikkalasi ham qayd qilinadi. 1-jadvalda turli detektorlarning asosiy xarakteristikalari berilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, Ssintillyatsion, yarim o'tkazgichli va Cherenkov detektorlarining vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati juda yuqoridir. Bunga mos ravishda samarasiz vaqti ham juda kichik.

1-jadval. Detektorlarning asosiy xarakteristikalari

Detektor nomi	Fazoviy ajratishi, sm	Vaqt bo'yicha ajratishi, sek	Samarasiz vaqti, sek
Geyger-Myuller schyotchigi	1	$10^{-6}$	$10^{-4}$
Ionlashgan kamera	1	$10^{-6}$	$10^{-4}$
Proporsional schyotchik	1	$10^{-7}$	$10^{-5}$
Ssintillyatsion schyotchik	1	$10^{-9}$	$10^{-9}$
Cherenkov detektori		$10^{-9}$	
Yarim o'tkazgichli detektor	1	$10^{-9}$	$10^{-9}$
Fotoyadro emulsiya	$10^{-4}$		
Vilson kamerasi	$10^{-1}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$
Diffuzion kamera	$10^{-1}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$
Pufakli kamera	$10^{-2}$	$10^{-3}$	1
Uchqunli kamera	$10^{-2}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$
Dielektrik detektor	$10^{-3}$		

Yuqori nurlanish quvvatiga ega bo'lgan radionuklidlar bilan ish olib borilayotganda, detektorlarni tanlashga katta e'tibor berish lozim. Bunday ishlarni bajarishda samarasiz yoki vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati juda kichik bo'lgan detektorlarni tanlash kerak bo'ladi. Bu tajribalarda ham detektorning samarasiz vaqti mavjud bo'lganligi uchun ma'lum sanoq qiymatlari yo'qotiladi. Demak, yo'qotilgan sanoq qiymatlarini tiklash uchun tajriba orqali samarasiz vaqti aniqlanadi va tuzatma ko'rinishida hisoblash ifodalari ichiga kiritiladi.

Samarasiz vaqtini aniqlashning ikki usuli bilan tanishib chiqamiz:

1. Nurlanish manbai quvvatini o'zgartirish orqali. Tajriba nurlanish manbaini detektorga nisbatan turli masofalarga qo'yish orqali amalga oshiriladi. Bu tajribalarda  $nt_c \ll 1$  shart bajarilishi kerak. Bunda quyidagi ifodalarni yozishimiz mumkin:

$$m = n(1 - nt_c) \text{ yoki } n = m(1 + mt_c), \quad (2)$$

Bu yerda n-detektorga tushayotgan zarrachalar oqimining quvvati; m-sanoq tezligi. Birinchi masofadagi zarrachalar oqimining quvvatini va sanoq tezligini mos ravishda  $n_1$  va  $m_1$  deb belgilaymiz. Masofa o'zgartirilgandan keyingi qiymatlarini esa mos ravishda  $n_2$  va  $m_2$  deb olamiz.  $n_1$  va  $n_2$  kattaligi o'rtasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$n_1, n_2 = K n_1, \quad (3)$$

Bu yerda K-manba quvvatining o'zgarishini ko'rsatuvchi kattalik.

(2) va (3)-ifodalarni birgalikda yechish va shakl almashtirish orqali quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$t_c = \frac{(K m_1 - m_2)}{(m_2^2 - K m_1^2)} \quad (4)$$

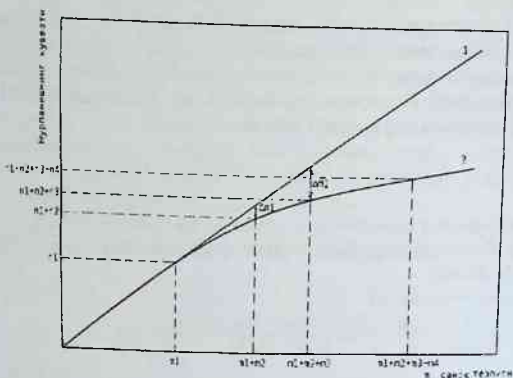
2. Ikki va undan ortiq nurlanish manbalaridan foydalanish. Manbalarining nurlanish quvvatlari mos ravishda  $n_1$  va  $n_2$  ga teng bo'lsin. Birinchi manba qo'yilgandagi sanoq tezligini  $m_1$ , ikkinchi manba qo'yilgandagi sanoq tezligini esa  $m_2$  bilan belgilaylik. Ikkala manba birgalikda qo'yilgandagi sanoq tezligini  $m_{12}$  deb olaylik.

$$t_c = \frac{(m_1 + m_2 - m_{12})}{2 m_1 m_2} \quad (5)$$

2-rasmda tajribada aniqlangan nurlanishning quvvati bilan sanoq tezliklari orasidagi bog'lanish tasvirlangan. 1-chiziqda sanoqlar yo'qotilmagan holatiga tegishli bog'lanish ifodalangan. Bu bog'lanish to'g'ri chiziqdan iboratdir. 2-chiziqda esa yo'qotilgan sanoqlarning qiymati hisobga olingan. Shu sababli bog'lanish to'g'ri chizikli emas. Detektorga tushayotgan zarrachalar miqdorining ortib borishida  $\Delta m$  ning qiymatini ham ortib borishi kuzatiladi. Har doimo  $m_{12} < (m_1 + m_2)$  sharti bajariladi. Ikkita nurlanish manbai uchun quyidagi ifoda o'rinaldir:

$$m_{12} + \Delta m_1 = (m_1 + m_2) \quad (6)$$

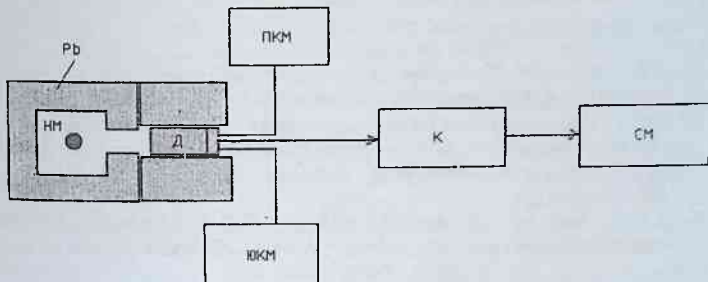
Tenglik alomati bajariladi. Tajribada topilgan nuqtalarga ko'ra chiziq tortiladi (2-chiziq). Shu grafikdan foydalanib yo'qotilgan sanoqlar uchun tuzatma kiritiladi ( $\Delta m_1$ ). Bu tajribani ko'p manbalar uchun ham amalga oshirish mumkin. Tajriba ishlarini bajarishda fon sanoqlarini kamaytirishga harakat qilish lozim. Detektor atroflarini qalinligi 5 sm bo'lgan qo'rg'oshin devor bilan o'rash va nurlanish manbai joylashtiriladigan tomoniga ochiq joy qoldirilishi kerak.



2-rasm.  $n$  va  $m$ - kattaliklari orasidagi bog'lanish grafigi

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. 3-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra tajriba qurilmasini yig'ish kerak. Fon sanoqlarini kamaytirish uchun NM va D-detektor atrofiga qo'rg'oshin devorini o'rnatish.
2. Kamida ikkita radioaktiv manba tanlab olinadi.
3. Detektorga past kuchlanishni berish.
4. Detektorga yuqori kuchlanishni asta-sekinlik bilan berish.
5. Detektorni 5-10 minut davomida qizdirish.
6. Detektorning oldiga NM joylashtirish. NM bilan detektor orasidagi masofani o'zgartirish orqali sanoq qiymatini yo'qolishini kamaytirish. Olingan natijaga ko'ra 1- chiziqni chizish.
7. 2-chiziqni olish tartibi:
  - 7.1. Detektorning oldiga bitta manbani joylashtirish va sanoq teligini yozib olish (2-jadval).
  - 7.2. Detektorning oldidan birinchi nurlanish manbani olish va uning o'rniga ikkinchi nurlanish manbaini joylashtirish va sanoq tezligini yozib olish (2-jadval).
  - 7.3. Detektorning oldiga ikkita nurlanish manbalarini joylashtirish va sanoq teligini yozib olish (2-jadval).
  - 7.4. 2-chiziqqa tegishli grafikni chizish.
  - 7.5. Grafikdan foydalanib yo'qotilgan sanoq qiymatlarini aniqlash.



3-rasm. Tajribaning blok-sxemasi:

NM-nurlanish manbai, YuKM-yuqori kuchlanish manbai, PKM-past kuchlanish manbai, K-kuchaytirgich, SM- sanash moslamasi, D-detektor

#### 2-tajriba natijalari

No	Nurlanish manbai	Sanoq tezligi	Yo'qotilgan sanoq qiymati
1.	n1		
2.	n2		
3.	n1+n2		

#### Nazorat savollari:

1. Samarasiz vaqtini aniqlashning qanday usullari mavjud?
2. Samarasiz vaqtini paydo bo'lishiga asosiy sabab nima?
3. Yuqori nurlanish quvvatiga ega bo'lgan radionuklidlar bilan ish olib borilayotganda qanday detektorlardan foydalanish kerak?
4. (5)-ifodani tushuntirib bering?
5. Ssintillyatsion, yarim o'tkazgichli va Cherenkov detektorlarida samarasiz vaqtini juda kichik bo'lishligini izohlab bering?
6. Tajribani o'tkazish ketma-ketligini aytib bering?
7. 2-rasmda tajribada aniqlangan nurlanishning quvvati bilan sanoq tezliklari orasidagi bog'lanish tasvirlangan. Undagi 1-chiziq qanday hodisani ifodalaydi?
8. 2-rasmda tajribada aniqlangan nurlanishning quvvati bilan sanoq tezliklari orasidagi bog'lanish tasvirlangan. Undagi 2-chiziq qanday hodisani ifodalaydi?
9. Nima sababdan tajribalarda doimo  $m_{12} < (m_1 + m_2)$  tengsizlik bajariladi.
10.  $\Delta m$ -kattalik nimanı ifodalaydi va undan qanday foydalanish kerak?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

3. A.P. Kondrashov, Ye.V. Shestopalov//Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений, Atomizdat, 1977.
4. Pod red. K.G. Finogenova//Лабораторный практикум по экспериментальным методам ядерной физики, М., Энергоатомиздат, 1986.
5. K. Klaynknext//Детекторы корпускулярных излучений, изд. "Mir" М., 1990.
6. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusевич//Основы экспериментальных методов ядерной физики, М., Энергоатомиздат, 1985.

### № 14. Laboratoriya ishi.

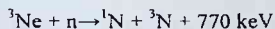
#### Past energiyali neytronlarni qayd qiluvchi detektorlar va ularni ishga tayyorlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Past energiyali neytronlarni qayd qiluvchi detektorlar bilan tanishish. Ishlash prinsiplarini o'rganish va ularni tajriba ishlari tayoqlash.

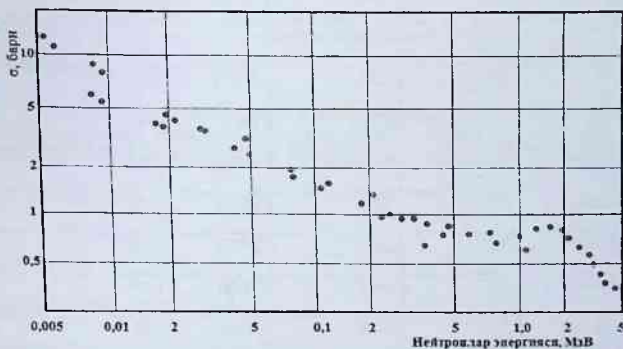
**Kerakli jihozlar:**  $^{10}\text{V}$  va  $^3\text{Ne}$  asosidagi detektorlar,  $\text{BF}_3$  asosidagi detektor, past va yuqori kuchlanish manbalari, sanash moslamasi, Pu-Be neytron nurlanish manbai.

**Nazariy qismi:** Neytron zarrachasini qayd qilish yadro fizikasida og'ir vazifalardan biri hisoblanadi. Buning asosiy sababi uning zaryadga ega bo'lmaganligi, moddalardan o'tish qobiliyatining juda yuqoriligidir. Detektorni tanlash neytronning energiyasiga bog'liq holda amalga oshiriladi. Energiyasi 1÷100 MeV oralig'ida bo'lgan neytronlarni organik kristalli sintillyatsion detektorlar yordamida qayd qilish mumkin. Bu detektorlarning effektivligi boshqa detektorlarga nisbatan ancha katta. Energiyasi uncha katta bo'lmagan neytronlarni gazradyadli schyotchiklar yordamida qayd qilish mumkin. Bu schyotchiklarning effektivligi issiqlik va sekin neytronlar uchun yetarli darajada kattadir. Shu sababli schyotchiklarning sirti vodorodga boy bo'lgan moddalar bilan o'raladi (Polietilen, parafin, neytron to'xtatkich, suv va boshqalar). Energiyasi katta bo'lgan neytronlar bu modda atomi yadrolari bilan elastik to'qnashishi natijasida energiyasini kamaytiradi. Energiyasi kamaygan neytronlar gazradyad schyotchik kamerasining ichiga kirib boradi. Issiq va sekin neytronlarni qayd qilish  $^{10}\text{V}(n,\alpha)^6\text{Li}$  yadro reaksiyasiga asoslangandir.

Hosil bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalar schyotchik kamerasidagi gazlarni ionlashtiradi. Demak kamera ichiga borni kiritish lozim. Bor kamera ichiga gaz ( $VF_3$ ) yoki qattiq amorf bor ko'rinishida kiritiladi. Amorf ko'rinishidagi bor katod sirtiga bir tekisda yotqiziladi. Uning qalinligi  $\alpha$ -zarrachaning energiyasiga qarab tanlanadi.  $\alpha$ -zarracha to'liq yutilishi lozim. Bunda schyotchikning neytronlarni qayd qilish darajasi eng katta qiymatga ega bo'ladi. 1-jadvalda  $^{10}V$  va  $^3Ne$  asosidagi detektorda ishlatiladigan schyotchiklarning xarakteristikalari berilgan. Bu detektorlar asosan past energiyali neytronlarni qayd qilishda ishlatiladi. Yuqori energiyali neytronlarni qayd qilishda ko'pincha plastik ssintillyatorlar qo'llaniladi. Plastik ssintillyatorlar ichiga kerakli qo'shimcha elementlarni kiritish oson. Bundan tashqari juda katta o'lchamdagi detektorlarni tayyorlash mumkin. Bu detektorlar juda katta sanash tezligiga ega. Issiq va yuqori energiyali neytronlarni qayd qilishda  $^3Ne$  detektorlardan keng foydalanib kelinmoqda. Bu detektor doimo takomillashtirilib, xarakteristikalari tabora yaxshilanib borilmoqda. Dozimetriyada va monitor detektorlari sifatida ishlatilib kelinmoqda. Bu detektorda asosan quyidagi yadro reaksiyasi sodir bo'ladi:



Reaksiyaning kesim kattaligi issiq neytronlar uchun  $\sigma = 5040 \pm 200$  barnga tengligi tajribalar orqali aniqlandi. Neytron energiyasining ortib borishida reaksiyaning kesimi kamayib boradi ( $E_n = 1,2 \text{ MeV}$ ,  $\sigma = 1,1 \text{ barn}$ ). 1-rasmda  $^3Ne(n,p)^3He$  reaksiyaning kesim kattaligi turli energiyali neytronlar uchun berilgan.



1-rasm.  $^3Ne(n,p)^3He$  reaksiyaning kesim kattaligi

Bu usul bilan neytronlarni qayd qilishda halaqid beruvchi jarayon neytronlarni  $^3Ne$  yadrosidagi elastik sochilishidir. Bu jarayonning kesim kattaligi

${}^3\text{Ne}(n,p){}^3\text{He}$ reaksiyaning kesim kattaligidan  $\sim 2$  marta kattadir. Proporsional schyotchiklarda  ${}^3\text{Ne}$  gazi ishlatiladi.  ${}^3\text{Ne}$  schyotchiklarini energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini oshirish uchun quyidagi amallarni bajarish lozim: birinchidan, gazning tarkibida kislorod bo'lmasligi kerak, chunki u elektronlarni o'ziga qabul qilib oladi; ikkinchidan,  ${}^3\text{Ne}$  tarkibida tritinyning miqdori juda kam bo'lishi kerak, aks holda tritidan chiqqan elektronlar gazda yutilib katta amplitudali signallarni beradi va foydali signallar uning ostida qolib ketadi.

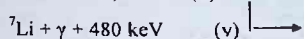
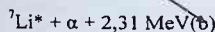
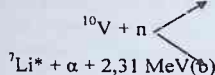
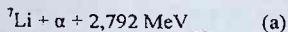
1-jadval.  ${}^{10}\text{V}$  va  ${}^3\text{Ne}$  schyotchiklarining xarakteristikalarini

№	Schyotchik turi	O'lchami, mm		Ish kuchlanishi, V	Qayd qilish qobiliyati %, issiq neytronlar uchun
		Diametr	Uzunligi		
V-10 schyotchiklar					
1.	SNM9	18	133	1300	-
2.	SNM11	18	335	1600	15
3.	SNM12	8	215	500	15
4.	SNM13	8	85	500	15
5.	SNM14	18	153	1600	15
Ne-3 schyotchiklar					
6.	SNM16	18	135	2300	80
7.	SNM17	18	228	2600	80
8.	SNM18	32	320	1375	70
9.	SNM18-1	32	320	2500	70
10.	SI-19N	32	218	2400	70
11.	SNM56	32	140	1800	70
12.	SNM66	25,5	601,5	1600	70
13.	SNM66	25,5	601,5	1600	70
14.	SNM66-2	25,5	1016	1600	80

15.	SNM66-3	25,5	1524	1600	80
16.	SNM67	32	276	1700	70
17.	SNM68	26	237	1500	70
18.	SNM72	32	160	1800	70
19.	SNM73	32	340	1800	70
20.	SNM76	32	1045	1700	70
21.	SNM76-1	32	1545	1700	70
22.	SNM77	50	263	1800	70
23.	SNM77M	50	263	1800	70
24.	SNM79	50	113	1800	70
25.	SNM79M	50	113	1800	70
26.	SNM80	50	323	1800	70
27.	SNM80M	50	323	1800	70

### <sup>10</sup>V-detektor

<sup>10</sup>V-detektor asosan issiq va past energiyali neytronlarni qayd qilishda qo'llaniladi. Issiq neytronlarini qayd qilish darajasi 6,3 % tashkil qiladi. Neytronlar <sup>10</sup>V-detektoriga tushib quyidagi yadro reaksiyalarini sodir qiladi:

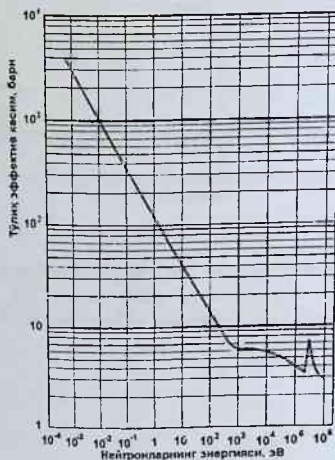


(a)-jarayon issiq neytronlarga tegishlidir. (b)-jarayonning sodir bo'lishi neytron yutilishining ~94 % tashkil qiladi. Bunda uyg'ongan holatidagi <sup>7</sup>Li\* yadrosi hosil bo'ladi. Bu yadro ~7,7 · 10<sup>-14</sup> sek yashaydi va asosiy holatiga o'tishida 480 keV energiyali γ-kvantini chiqaradi. α va γ-kvantlarini bir hil vaqt oralig'ida chiqadi deb faraz qilish mumkin.



Past energiyali neytronlarni  $^{10}\text{V}$  yadrosida yutilishi, bunday neytronlarni qayd qilishdagi asosiy jarayon hisoblanadi. Bu jarayonning kesim kattaligi juda katta bo'lib,  $\sim 4000$  barnga tengdir. Kesim kattaligi neytronning tezligiga  $1/v$  munosabatda bog'lanishga ega. Bu bog'lanish neytron energiyasining bir necha yuz elektronvolt qiymatida o'rinalidir. Yadro reaksiyasi natijasida hosil bo'lgan  $\alpha$  va  $^7\text{Li}$  yadrolarining modda ichidagi yurish masofasi juda kichikdir. Har bir neytronning yutilishiga bitta 480 keV energiyali gamma kvanti to'g'ri keladi. Bu o'z navbatida  $\gamma$ -kvantlar sonini aniqlash orqali neytronlar sonini topish imkonini beradi.

Yadro reaksiyasi natijasida hosil bo'lgan mahsulotlar orasida energiya quyidagicha taqsimlanadi: umumiy energiyaning 7/11 qismi  $\alpha$ -zarrachaga; 4/11 qismi  $^7\text{Li}$  yadrosiga taqsimlanadi. Bu zarrachalarning ionlashtirish qobiliyatlari deyarli bir biriga yaqindir. Shunga ko'ra ular hosil qilgan impulslarning amplitudalari ham bir biriga tengdir. (a) va (b)-ifodalardagi 2,79 va 2,31 MeV sonlari jarayonlarda hosil bo'lgan  $\alpha$ -va  $\text{Li}$



2-rasm. Turli energiyali neytronlarning bordagi to'liq kesim kattaligi

yadro zarrachalari o'rtasida taqsimlanadi. (v)-ifodadagi 480 keV son qiymati  $\gamma$ -kvantining energiyasi hisoblanadi. Keyingi vaqtlarda  $^{10}\text{V}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyaning kesim kattaligini aniq o'lchash uchun bir qator tajriba ishlari amalga oshirildi. Ulardan olingan natijaga ko'ra  $^{10}\text{V}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyaning kesim kattaligi past energiyali neytronlar uchun 755 barnga teng bo'ldi. 2-rasmda  $^{10}\text{V}(n,\alpha)^7\text{Li}$

reaksiyaning kesim kattaligini neytronlar energiyasiga bog'liq holda o'zgarishi berilgan.

2-rasmdan ko'rinib turibdiki, o'ta past energiyali neytronlarning bor elementiga ko'rsatgan ta'siri katta qiymatga ega. Energiyaning ortib borishida to'liq kesim kattaligini kamayib borishi kuzatilmoqda. Neytronning energiyasi  $10^3$  eV ga teng bo'lganda, kesim kattaligi ~6 barnga teng bo'ldi. Bu detektorlar yordamida issiq neytronlarni juda yaxshi qayd qilish mumkin.

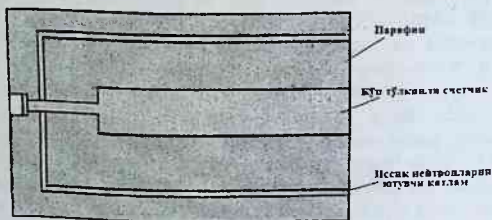
### Ko'p to'liqlarga mo'ljallangan neytron schyotchigi ( $BF_3$ -detektor)

Juda ko'p tajribalardaneytron va  $\gamma$ -kvantlari doimo birgalikda keladi. Neytronlarni qayd qilishda  $\gamma$ -kvantlari bir qator qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Shu sababli  $\gamma$ -kvantlariga sezgirligi kam bo'lgan detektorni tanlash lozim bo'ladi. Organik ssintillyatorlar  $\gamma$ -kvantlarini juda yaxshi qayd qiladi. Neytron oqimining quvvatini aniqlashda va monitor detektori sifatida ishlatiladigan detektorlarning  $\gamma$ -kvantlarga bo'lgan sezgirligi kam bo'lishi kerak. Bu ko'rinishdagi neytron detektoriga ko'p to'liqlarga mo'ljallangan neytron schyotchigi kiradi. Ko'p to'liqlarga mo'ljallangan neytron schyotchigi deyilishiga sabab, uning sezgirligi  $10$  keV  $\div$   $10$  MeV oralig'idagineytronlar uchun deyarli bir xildir. Ba'zi bir adabiyotlarda bu detektor "Uzun schyotchik" deb ham yuritiladi. Bu schyotchikning tuzilishi quyidagicha  $BF_3$  gazi qamalgan kamera parafin ichiga o'rnatiladi. Yuqori energiyali neytronlar parafin atomlari bilan ta'sirlashishi natijasida energiyasini kamaytirib past energiyali neytronlarga aylanadi va  $^{10}V$  yadrosiga yutiladi. Schyotchiklarda  $^{10}V(n,\alpha)^7Li$  reaksiyasi sodir bo'ladi. Bular V yoki  $BF_3$  schyotchiklar deb yuritiladi. Proporsional sohada neytronlar hosil qilgan impulslarni gamma kvantlari hosil qilgan impulslardan ajratish imkoniyati mavjuddir. Bunga sabab  $\gamma$ -kvantlari hosil qilgan elektronlar to'liq energiyasini bermasdan kamera tashqarisiga chiqish ehtimolligi juda katta.  $\alpha$ -zarrachalari esa to'liq energiyasini beradi. Natijada elektronlar hosil qilgan impulslar amplitudasi  $\alpha$ -zarrachalari hosil qilgan impulslar amplitudasidan juda kichik bo'ladi. Diskriminator poregi orqali kichik amplitudali impulslarni qirqib tashlash mumkin.  $BF_3$  schyotchikning effektivligi  $^{10}V(n,\alpha)^7Li$  reaksiyaning kesim kattaligiga bog'liq. Shu sababli effektivligini oshirish uchun  $BF_3$  gaz tarkibidagi  $^{10}V$  element miqdori boyitiladi (80-90 %).

Silindrik ko'rinishidagi  $BF_3$  schyotchiklar keng tarqalgan. Ularda gazning bosimi 0,5-1 atm. atrofida bo'ladi. Agar neytronlar schyotchikka uning o'qi bo'ylab tushayapti deb faraz qilsak, u holda schyotchikning effektivligini ushbu ifoda orqali hisoblash mumkin:

$$\varepsilon = 1 - e^{-\sigma_a N \cdot l}, \quad (1)$$

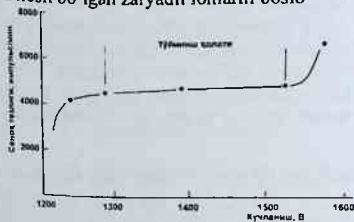
bu yerda  $N$ - schyotchikning  $1 \text{ sm}^3$  hajmidagi  $^{10}\text{V}$  yadrolarining soni;  $\sigma_a - ^{10}\text{V}(n,\alpha)^7\text{Li}$  reaksiyaning kesimi kattaligi,  $\text{sm}^2$ ;  $l$  — schyotchikning uzunligi,  $\text{sm}$ . Neytronning energiyasi ortishi bilan effektivligi kamayib boradi, chunki reaksiyaning kesimi ( $\sigma_a$ ) kamayib boradi. 3-rasmda ko'p to'liqli schyotchik tasvirlangan. Schyotchikning tomonlari parafin va issiq neytronlarni yutuvchi qatlam bilan o'ralgan. Bu schyotchikning elektr zanjiri aynan Geyger-Myuller schyotchigiga o'xshashdir.  $\text{BF}_3$  schyotchiklariga proporsional holatida bo'lishligini ta'minlash uchun  $\sim 2500 \text{ V}$  kuchlanish beriladi. Ba'zi hollarda  $\text{BF}_3$  schyotchiklarining xarakteristikasini yaxshilash maqsadida kamera ichiga argon gazi kiritiladi. Schyotchik atrofiga parafinni qo'yilishiga sabab,  $\text{BF}_3$  schyotchik yuqori energiyali neytronlarga bo'lgan sezgirligi kichikdir. Neytronlar parafinga kelib tushgach, undagi vodorod atomlari bilan ta'sirlashib o'z energiyasini kamaytiradi. Past energiyali neytronlarni  $\text{BF}_3$  schyotchigi katta effektivlik bilan sanaydi.



3-rasm. Ko'p to'liqli schyotchik ( $\text{BF}_3$  schyotchigi)

Parafinning qalinligi qayd qilinayotgan neytronning energiyasiga qarab tanlanadi.

Bu turdagi detektorlarda gaz bilan to'ldirilgan schyotchiklar ishlatiladi. Neytronlar ta'sirida hosil bo'lgan zaryadli ionlarni bosib



4-rasm. Schyotchikning sanoq xarakteristikasi

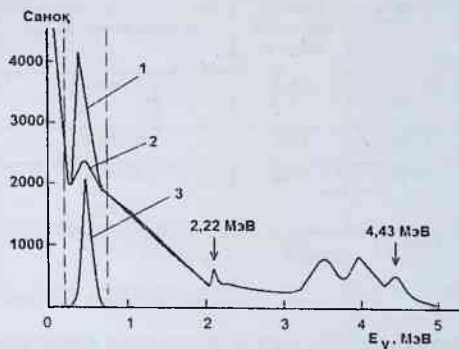
o'tish masofasini kamaytirish uchun borning gaz ko'rinishidagi birikmalaridan foydalanish kerak bo'ladi. Bunday birikmalaridan biri

$\text{BF}_3$  hisoblanadi. Bu schyotchiklar turli shakllarda tayyorlangan. Eng ko'p tarqalgan turi silindr shaklidir. Silindrning diametri, to'laning qalinligi va gazning bosimi turlicha bo'ladi. Odatda,  $\text{BF}_3$  birikmadagi  $^{10}\text{V}$  boyitilganlik darajasi 96 % ni tashkil qiladi. Silindrning diametri 22 mm, to'laning qalinligi esa 0,05 mm ga teng. Schyotchikning uzunligi 150 mm, qamalgan gazning bosimi 12 mm sim ustuniga tengdir. Schyotchikning ish kuchlanishi ~ 1400 V atrofida bo'ladi. Schyotchikning sanoq xarakteristikasidan ish kuchlanishini aniqlash mumkin bo'ladi. 4-rasmda  $\text{BF}_3$  gazi qamalgan schyotchikning sanoq xarakteristikasi berilgan.

## Lil ssintilyatori

Lil ssintilyatori "issiq" neytronlarni qayd qilishda ishlatiladi.  $^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$  reaksiyaning kesim kattaligi juda kattadir. Shu sababli uning effektivligi 80 % yetib boradi. Neytronlar bilan bir qatorda  $\gamma$ -kvantlari ham qayd qilinadi. Neytronlarni ajratib olish uchun ikkinchi detektor ishlatiladi. Ikkinchi detektorni neytronlarga bo'lgan sezgirliги juda kichikdir ( $\text{NaI}(\text{TI})$ ). Ajratib olish quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. Yig'indi spektr  $\text{LiI} + \text{NaI}(\text{TI})$  detektorlari yordamida o'lchanadi.
  2.  $\text{NaI}(\text{TI})$ -detektori orqali  $\gamma$ -spektr o'lchanadi.
  3. Yig'indi spektrdan  $\gamma$ -spektr ayrib tashlanadi.
  4. Neytron spektri ajralib qoladi.
- 3-rasmda Pu-ve neytron manbasi yordamida o'lchangan spektrlar tasvirlangan.



5-rasm. Pu-ve neytron manbasi yordamida o'lchangan spektrlar

Bu manba o'zidan neytron va gamma kvantlarini chiqaradi. 5-rasmdagi 1-chiziq yig'indi spektrni (LiI+ NaI(Tl)), 2-chiziq NaI(Tl) detektorida o'lchangan spektrni 3-chiziq esa natijaviy spektrni ko'rsatadi. Shtrixlangan chiziqlar diskriminatorming paski va yuqori poroglaridir.

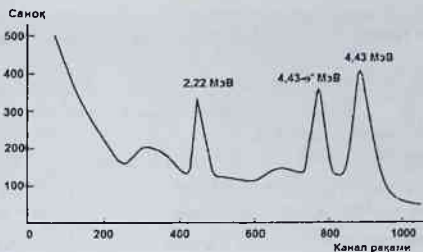
### Volframat kadmii CWOmonokristalli

Neytronlarni qayd qilish uchun volframat kadmiy CWO monokristallini ishlatish mumkin. Bu o'lchashlarda ikkita filtr ishlatiladi: qalinligi 10 mm bo'lgan LiI kristali neytronlar uchun; qalinligi 50 mm bo'lgan Pb-gamma kvantlari uchun. Neytronlarning yutilishi natijasida  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'ladi. Neytronlarni  $^{186}\text{W}$  yadrosiga yutilishida 145,8 keV va 273,4 keV;  $^{113}\text{Sd}$  yadrosiga yutilishida 558 keV; issiq neytronlarni vodorodga ko'rsatgan ta'sirida esa 2,22 MeV energiyali  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'ladi. 6-rasmda CWO monokristalli yordamida Pu- $\text{Ve}$  neytron manbasidan chiqayotgan spektrlar o'lchangan. Kristalning o'lchami 40x40 mm. O'lchashlarda ikkita filtr ishlatilgan: Pb-50 mm; LiI-10 mm. 6-rasmda yuqori energiyali spektrlar ko'rsatilgan bo'lsa, 7-rasmda esa past energiyali spektrlar tasvirlangan. 2-jadvalda issiq neytronlar uchun LiI(Eu), GSO, CWO neytron ssintillyatorlarining effektiv qiymatlari bir-biriga solishtirilgan. 8-rasmda Pu-Be manbasidan chiqayotgan neytronlarning energetik taqsimoti (BGO-plastik detektor) ko'rsatilgan.

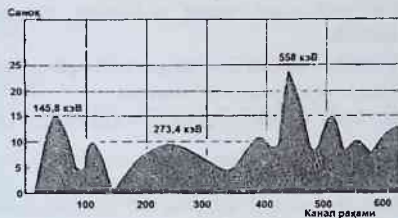
2-jadval. Issiq neytronlar uchun LiI(Eu), GSO, CWO neytron ssintillyatorlarining effektiv qiymatlari

Ssintilya-tor	Detektor	Detektor-ning o'lchami, mm	Ikkilamchi zarrachalar yoki $\gamma$ -kvantlar energiyasi, keV	Effektivligi, %
LiI(Eu)	Monokristall	25x2	$^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$	87
GSO	Kristall	63x3	30÷1000	67
CWO	Kristall	80x2	20÷100 30÷1000	3,4 11,8
CWO	Monokristall	40x40	30÷1000	14,3

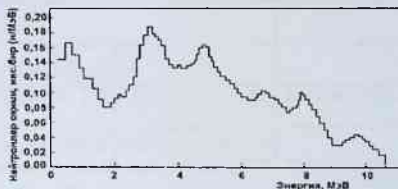
2-jadvaldan ko'rinib turibdiki, LiI(Eu) detektorining effektiv qiymati boshqa detektorlarga nisbatan anchagina katta.



6-rasm. CWO monokristalli yordamida o'lgangan Pu-Be neytron manbasidan chiqayotgan spektrlar (katta energiyalar)



7-rasm. CWO monokristalli yordamida o'lgangan Pu-Be neytron manbasidan chiqayotgan spektrlar (past energiyalar)



8-rasm. Pu-Be manbasidan chiqayotgan neytronlarning energetik taqsimoti (BGO-plastik detektor)

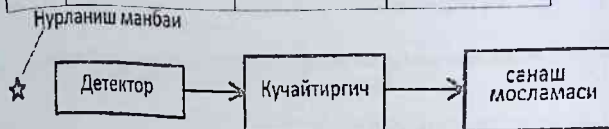
### Tajribani amalga oshirish tartibi:

1. Tajriba qurilmasini 9-rasmda berilgan blok-sxemaga ko'ra yig'ish. Yerga ulanadigan joylarini ulash. Nurlanish manbasi uchun himoya devorini o'rnatish.

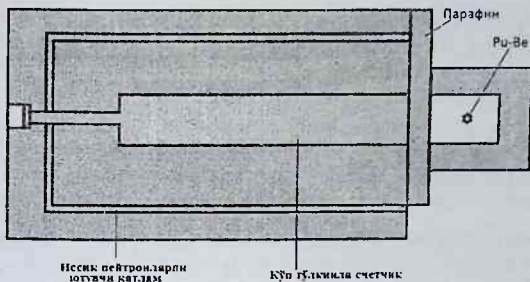
2. 10-rasmda ko'rsatilganidek nurlanish manbasi uchun himoya devorini o'rnatish.
3. Pu-Be manbasidan neytronlar bilan bir qatorda  $\gamma$ -kvantlari chiqishini ham e'tiborga olish lozim.  $\gamma$ -kvantlarini kamaytirish uchun qo'rg'oshin devorlaridan foydalanish mumkin.
4. Detektorga beriladigan kuchlanishni berish. Kuchlanishni  $\sim 100$  V ga oshirib borish va sanoq boshlangan kuchlanishning qiymatini yozib qo'yish kerak.
5. Kuchlanishning ma'lum qiymatiga borganda sanoq tezligi o'zgarmas bo'lib qoladi. To'yinish sohasi boshlanadi. Bu sohaning kengligi topiladi.
6. Detektorning ish kuchlanishi topiladi. Tajriba ishlarida bu kuchlanishning qiymati o'zgartirilmaydi.
7. Neytron manbasi bilan detektor o'rtasiga turli qalinlikdagi neytron to'xtatgichlarni qo'yish orqali sanoq tezligining o'zgarishi kuzatiladi. Natijalar yozib boriladi.
8. Neytron manbasi bilan detektor o'rtasiga turli qalinlikdagi qo'rg'oshin plastinkalari qo'yiladi va natijalar yozib boriladi.
9. Olingan natijalar tahlil qilinib, neytron to'xtatgichning optimal qalinligi topiladi.

10. Natijalar jadval ko'rinishida beriladi.

№	Neytron to'xtatgichning Qalinligi, sm	Pb qalinligi, mm	Sanoq tezligi, imp./sek
1.	10		
2.	20		
3.	30		
4.	40		
5.	50		



9-rasm. Tajribaning blok-sxeması



10-rasm. Tajribaning geometriyasi

### Nazorat savollari

1. Past energiyali neytronlarni qayd qilish uchun qanday detektorlardan foydalanish mumkin?
2. Past energiyali neytronlar detektor atomlari bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
3. LiI ssintilyatorining ishlash prinsipini tushintirib bering?
4. Nima uchun ko'p to'liqinli schyotchik deyiladi?
5.  $^{10}\text{V}$ -detektori yordamida qanday energiyali neytronlarni qayd qilish mumkin?
6. Nima sababdan neytron manbasini bilan detektor o'rtasiga turli qalinlikdagi neytron to'xtatgichlarni qo'yish lozim?
7. Schyotchikning sanoq xarakteristikasi qanday olinadi va uni izohlab bering?
8.  $^3\text{Ne}$  detektorlari yordamida neytronlar qayd qilinayotganda asosan qaysi jarayon sodir bo'ladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Pod red. Dj. Mariona i Dj. Faulera // Fizika bystryx neytronov, tom 1, M: 1963.
2. V.D. Allen // Registratsiya neytronov, M: 1962.
3. Ye.A. Kramer-Ageev, V.N. Lavrenchik, V.T. Samosadnyy, V.P. Protasov // M: Energoatomizdat, 1990.



## IV BOB. GAMMA SPEKTROMETRLAR VA ULARNING XARAKTERISTIKALARI

### № 15. Laboratoriya ishi

#### Ssintillyatsion detektorli $\gamma$ -spektrometrning energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometрни energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini tajriba orqali aniqlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Naj(Tl) ssintillyatsion detektor; past kuchlanish manbai; yuqori kuchlanish manbai; keng qamrovli kuchaytirgich; moslashtirish zanjiri; ko'p kanalli analizator; EHM; pechatlash moslamasi; gamma nurlanishlarmanbalari komplekti.

**Nazariy qismi:** Ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometrlar zarrachalar miqdorini va energiyasini aniqlashda ishlatiladigan qurilmadir. Energiya bo'yicha ajratish qobiliyati  $\gamma$ -spektrometrning asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi. Zarrachalarning energiyasini aniqlashda, ssintillyatorda yutilgan energiya bilan chaqnashdagi nurlanish orasida to'g'ri bog'lanish bo'lishi lozim. Ya'ni FEK chiqishidagi impulsning amplitudasi chaqnashdagi nurlanish intensivligiga proporsional holatda bo'lishi lozim. FEK ham signallarni proporsional holatda kuchaytiradi.

Ssintillyatorda yutilgan energiya ( $\Delta E$ ) bilan impuls amplitudasi ( $U$ ) o'rtasidagi bog'lanishni quyidagicha yozish mumkin:

$$U=f(\Delta E) \quad (1)$$

Bu bog'lanish Naj(Tl) va Cs<sub>j</sub>(Tl) kristallari uchun juda yaxshi o'rganilgan. Shu sababli ular tajriba ishlarida keng qo'llanilmoqda. FEK ning chiqishidagi impulsning amplitudasi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$A=Q/C_a=N_0ek/C_a=E\alpha\beta\epsilon k/C_a, \quad (2)$$

bu yerda  $N_0=E\alpha\beta\epsilon$ - chaqnash vaqtida fotokatoddan chiqqan elektronlar soni; ye- elektronning zaryadi;  $k$ -FEK ning kuchaytirish koeffitsienti;  $S_a$ -FEK anod zanjiridagi sig'im;  $Ye$ -zaryadli zarrachani ssintillyatorda yo'qotgan energiyasi (eV);  $\alpha$ -ssintillyatomning konversion effektivligi;  $\beta$ - chaqnash vaqtida hosil bo'lgan nurlarning hammasi fotokatodga kelib tushmasligini xarakterlovchi kattalik;  $\epsilon$ -fotokatod effektivligi xarakterlovchi koeffitsient bo'lib, energiyasi 1eV bo'lgan yorug'lik nuri qancha fotoelektronlar soniga mos kelishini ifodalaydi.

Yuqorida ko'rsatilgan kattaliklardan faqat elektronning zaryadi va anod zanjiridagi sig'im o'zgarماسidir. Qolgan kattaliklar esa bir hodisadan ikkinchi xodisaga o'tganda o'z qiymatini o'zgartiradi.

1-rasmda FEK ning ssintillyatoriga energiyasi o'zgarماس bo'lgan monoenergiyali zaryadli zarrachalar tushgan vaqtidagi FEK ning chiqishida hosil bo'lgan impulsning amplitudasi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, amplitudaning maksimal qiymatidan ( $A_0$ ) chap va o'ng tomonlarida chetlanishlar mavjud. Aslida, ideal holatda impulsning amplitudasi bitta chiziqda yotishi lozim edi (chetga chiqishlar yo'q). Real sharoitda bunday hodisa kuzatilmaydi. Yuqorida aytib o'tilgan kattaliklarning o'zgarishi natijasida impulsning amplitudasida chetlanishlar sodir bo'lib, impuls kengayadi. Shularga ko'ra ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometrlarning nisbiy amplituda bo'yicha ajratish qobiliyati quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$R = \Delta A / A_0 \quad (3)$$

$\gamma$ -spektrometrlarning nisbiy amplituda bo'yicha ajratish qobiliyati ( $R$ ) topish uchun impuls amplitudasining yarim balandligidagi kengligi qiymatini amplituda qiymatiga bo'lish kerak bo'ladi. Bizga ma'lumki impulsning amplitudasi ssintillyatorda yutib qolingan energiyaga proporsionaldir. Ya'ni:  $A \sim E$ . Shunga ko'ra,  $\gamma$ -spektrometrlarning nisbiy energiya bo'yicha ajratish qobiliyati ( $R$ ) topiladi:

$$R = \Delta E / E_0 \quad (4)$$

$\Delta E$ -kattaligini yuzaga keltiruvchi sabablar:

1. Zaryadli zarrachalarning energiyasini ssintillyatorda yo'qotish davomiyligi;
2. Lyuminessensiya jarayonining davomiyligi;
3. Ssintillyatorning optik jixatidan bir jinsli bo'lmاسligi;
4. Fotokatodga, ssintillyatorning turli joylaridan kelib tushayotgan nurlar uchun sharoitning turlicha bo'lishligi.

Chaqnashda hosil bo'lgan nurlar intensivligi, zaryadli zarrachalarni ssintillyatorda yo'qotgan energiyasiga bog'liqdir. Shu sababli ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometrlarning ajratish qobiliyati qayd qilinayotgan zarrachaning energiyasiga bog'liq bo'lib qoladi. Tajriba natijalaridan ma'lum bo'ldiki,  $\gamma$ -spektrometrlarning nisbiy ajratish qobiliyatini yetarli aniqlikda ushbu ifoda orqali topish mumkin ekan:

$$R = \Delta E / E_0 = (B + D / E)^{1/2}, \quad (5)$$

bu yerda B va D-kattaliklar, zarrachalarni qayd qilish jarayonlaridagi statistik fluktuatsiyalarga bog'liqdir. B va D-kattaliklar har bir Ssintillyatsion detektor uchun o'zgarmas bo'lgan kattaliklardir.  $\gamma$ -spektrometrlning nisbiy ajratish qobiliyatini osongina, lekin aniqligi yuqori bo'lmagan qiymatini quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$R = \text{const}/(E)^{1/2} \quad (6)$$

$\gamma$ -spektrometrlning ajratish qobiliyati tajriba orqali aniqlanadi. Bunda quyidagi ifoda ishlatiladi:

$$R = \Delta E/E_0 \cdot 100\% \quad (7)$$

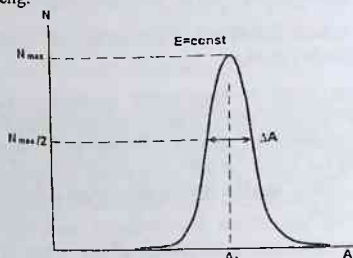
$\Delta E$  va  $Y_{e_0}$ -kattaliklari bir hil o'lchov birligida beriladi. Odatda  $\gamma$ -spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati  $^{137}\text{Cs}$  radionuklidining 0,662 MeV energiyali  $\gamma$ -kvantiga ko'ra aniqlanadi ( $R(0,662 \text{ MeV})$ ). Agar spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati  $^{137}\text{Cs}$  ga ko'ra aniqlangan bo'lsa, boshqa energiyalar uchun ajratish qobiliyatini ( $R_E$ ) ushbu ifoda orqali topish mumkin:

$$R_E = 0,815/(E)^{1/2} \cdot R(0,662 \text{ MeV}) \quad (8)$$

$\gamma$ -spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati, ildiz ostidagi  $\gamma$ -kvant energiyasiga teskari bog'langandi.

$$\Delta E = 0,815 \cdot R(0,662) \cdot (E)^{1/2} \quad (9)$$

Boshqa energiyali  $\gamma$ -kvantlari uchun gamma manbai sifatida NSGM (namunali spektrometrik gamma manbalar) yoki NSGM-M rusumidagi  $\gamma$ -nurlanishlar beruvchi radionuklidlar to'plamidan foydalanish mumkin. NSGM to'plamida 11 ta radionuklid bor. Bu radionuklidlarning har birining o'rtacha aktivligi  $\sim 10^5$  Bk ga teng.



Bu to'plamdagi radioaktiv manbalar shunday tanlanganki, ularning parchalanish sxemasi juda sodda bo'lib, ishlatishga qulaydir. NSGM

to'plamidagi manbalar 0,059 – 1,8 MeV energiya orliqlarini qamrab olgan. 1-jadvalda NSGM to'plamidagi manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikallari berilgan.

1-rasm. FEK ning chiqishidagi impulsning amplitudasi

1-jadval. NSGM to'plamidagi  $\gamma$ -manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikallari

Nuklid	$\gamma$ -nuring energiyasi, Yey, MeV	Absolyut chiqish kattaligi, $I_{abs}, \%$	Yarim yemirilish davri, $T_{1/2}$
<sup>241</sup> Am	59,537	35,75	432,19 yil
<sup>57</sup> So	122,061	85,70	271,81 kun
	136,474	10,60	
<sup>139</sup> Se	165,857	77,88	137,67 kun
<sup>203</sup> Hg	279,197	81,57	46,59 kun
<sup>113</sup> Sn	391,705	64,95	115,09 kun
<sup>137</sup> Cs	661,660	85,08	30,17 yil
<sup>54</sup> Mn	834,848	99,98	312,16 kun
	898,047	94,18	
<sup>88</sup> Y	1836,07	99,34	106,62 kun
	898,047	94,18	
<sup>65</sup> Zn	1115,55	50,70	244,12 kun
	1173,24	99,89	
<sup>60</sup> Co	1332,50	99,98	5,27 yil
	511,00	180,88	
<sup>22</sup> Na	1274,54	99,94	2,602 yil
	511,00	180,88	

1-jadvalga murojat qilsak unda 391-661 keV energiya oraliqlarida faqat yagona <sup>22</sup>Na radionuklidining 0,511 MeV li annigilyatsion  $\gamma$ -kvanti uchraydi. Gamma spektrlarning kamligi spektrometrlarni sozlash ishlaridagi aniqlik darajasini kamaytiradi. Shu sababli keyingi vaqtlarda o'zidan juda ko'p miqdorda  $\gamma$ -spektrlarini chiqaradigan  $\gamma$ -manbalar ishlatilmoqda. Bunday manbalar to'plami namunali spektrometrik gamma manbalar-M (NSGM-M) deb nomlandi. Bu to'plam 7 ta radioaktiv elementni o'z ichiga oladi. 2-jadvalda NSGM-M to'plamidagi manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikallari berilgan.

2-jadval. NSGM-M to'plamidagi  $\gamma$ -manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikallari

Nuklid	Yarim yemirish davri	Energiya orliklari	Gamma spektrlar soni

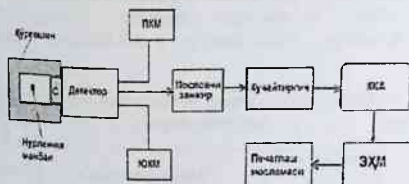
$^{56}\text{Co}$	77,9 kun	846-3548	14
$^{75}\text{Se}$	119,78 kun	66-400	9
$^{109m}\text{Ag}$	249,75 kun	447-1562	15
$^{133}\text{Ba}$	10,54 yil	53-384	9
$^{152}\text{Eu}$	13,54 yil	122-1528	14
$^{182}\text{Ta}$	114,43 kun	152-264	7
		1002-1289	9
$^{192}\text{Ir}$	73,89 kun	201-884	14

NSGM-M to'plamidagi  $\gamma$ -manbalar quyidagicha tayyorlangan diametri 29 mm, qalinligi 2 mm bo'lgan dyuralyuminiydan tayyorlangan plastinka markaziga diametri 5 mm bo'lgan radionuklid qoplangan. Dyuralyuminiy plastinkalari qalinligi 11 mg/sm<sup>2</sup> organik plyonka bilan o'ralgan.

### Tajribaning blok-sxemasi

Tajriba qurilmasining blok-sxemasi 2-rasmda berilgan.  $\gamma$ -nurlanish manbai qo'rg'oshindan tayyorlangan himoya devori ichiga olingan. Ssintillyatsion detektorda ishlatilgan ssintillyatordir (Naj(Tl)). Tanlangan masofada sanoq tezligi ~30-50 sek<sup>-1</sup> ga teng bo'lishi tajribani o'tkazish uchun yetarlidir.

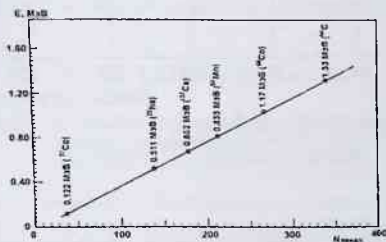
Tajriba qurilmasining ishlashiga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Detektordan olingan signal moslashtirish blokiga uzatiladi. Bu moslama FEK ning chiqishidagi katta qarshilik keyingi blokning kichik qarshiligiga moslashtiriladi va shu orqali signalning normal uzatilishiga erishiladi. Signal moslashtirish zanjiridan keyin keng qamrovli kuchaytirgichka beriladi. Kuchaytirilgan signal ko'p kanalli analizatorga (KKA) uzatiladi. Analizatorda turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarining spektri paydo bo'ladi. Katta energiyali  $\gamma$ -kvantlar analizatorning katta kanallariga, kichik energiyaga ega bo'lganlari esa kichik kanallariga yoziladi. O'lichangan tajriba natijalarini pechatga chiqarib olish mumkin.



2-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

## Tajribani amalga oshirish tartibi

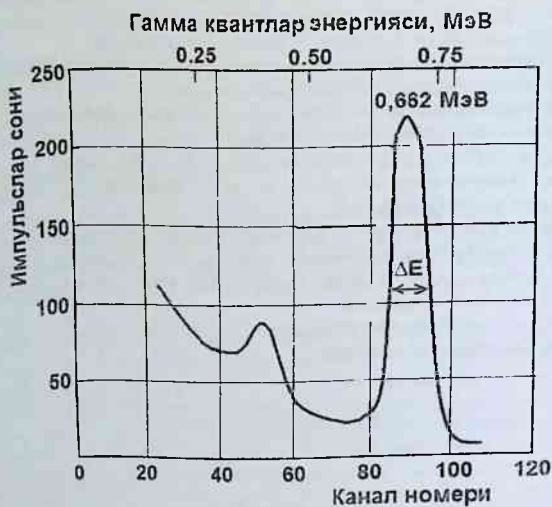
1. Tajriba qurilmasini 2-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra yig'ib. Elektron asboblari korpuslarini yerga ulash.
2. Past kuchlanish manbalarini ulash. Analizatorni ishga tayyorlash.
3. Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanishni berish. Kuchlanishni o'stira-sekinlik bilan oshirib borish va ish kuchlanishi qiymatida to'xtatish.
4. Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanish berilganidan keyin 10-15 minut davomida qizdirish.
5. Fon spektrini o'lchash va uni yozib qo'yish.
6.  $^{137}\text{Ss}$  radionuklidni belgilangan masofaga qo'yish. Kuchaytirgich yordamida  $^{137}\text{Ss}$  dan chiqqan  $\gamma$ -spektrni analizatorning o'rtasidagi kanaliga yo'zishni ta'minlash (4-rasm). Keyin kuchaytirgichga umuman tegilmaydi.
7. Gamma spektrlarning analizatoridagi o'rinlari aniqlanadi va yozib olinadi (spektrning eng katta qiymatga ega bo'lgan kanal nomeri).
8. Keyin boshqa  $\gamma$ -manba qo'yiladi va uning spektri o'lchanadi. Spektrlarning analizatoridagi o'rni aniqlanadi va yozib olinadi.
9. O'lchangan tajriba natijalari jadval ko'rinishida beriladi (3-jadval).
10. Gamma kvantlarining energiyasi va kanal nomerlari (N) orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi (3-rasm).
11. Nuqtalar bo'yicha to'g'ri chiziq o'tkaziladi. Nuqtalarni chiziq'larga nisbatan joylashishi o'rganiladi va baholanadi. 3-rasmda  $U=f(\Delta E)$  bog'lanish misol tariqasida berilgan. Agar nuqtalar chiziq ustida yotgan bo'lsa,  $U=f(\Delta E)$  bog'lanish juda yaxshi hisoblanadi.
12. Bir nechta energiyali  $\gamma$ -kvantlar uchun  $R_1: R_2: R_3 = I/(E_1)^{1/2}: I/(E_2)^{1/2}: I/(E_3)^{1/2}$  bog'lanish borligi tekshiriladi.



3-rasm. Gamma kvantlarining energiyasi va kanal nomerlari (N) orasidagi bog'lanish grafigi

3-jadval. Tajriba natijalari

N	Radio-nuklid	$E_\gamma$ , MeV	R	$R_1: R_2: R_3$	$1/(E_1)^{1/2}: 1/(E_2)^{1/2}: 1/(E_3)^{1/2}$
1.	$^{137}\text{Cs}$	0,662	$R(0,662)=$		
2.	$^{60}\text{Co}$	1,17	$R_1(1,17)=$		
3.	$^{60}\text{Co}$	1,33	$R_2(1,33)=$		
4.	$^{22}\text{Na}$	1,275	$R_3(1,27)=$		
5.					
6.					



4-rasm.  $^{137}\text{Cs}$  radionuklidning  $\gamma$ -spektri

**Nazorat savollari:**

1.  $\gamma$ -spektrometning nisbiy ajratish qobiliyatini aniqlashda qaysi radionuklid ishlatiladi?
2. Agar spektrometning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati  $^{137}\text{Cs}$  ga ko'ra aniqlangan bo'lsa, boshqa energiyalar uchun ajratish qobiliyati ( $R_E$ ) qanday aniqlanadi?

3.  $\gamma$ -spektrometrning nisbiy amplituda bo'yicha ajratish qobiliyati qanday topiladi?
4.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishni aniqlashda nima sababdan sanoq tezligini juda katta olish kerak emas?
5. Kristall va radionuklid orasidagi masofa qanday tanlanadi?
6.  $\gamma$ -spektrometrning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati,  $\gamma$ -kvant energiyasiga qanday bog'langan?
7. Impuls amplitudasidan energiyaga o'tish nimaga asoslangan?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiyu K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimental'nomu yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.

## № 16. Laboratoriya ishi

### Ssintillyatsion detektorli $\gamma$ -spektrometrning kanallarini energiya bo'yicha sozlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometrning kanallarini energiya bo'yicha sozlash yo'llarini o'rganish va mustaqil amalga oshirish.

**Kerakli jihozlar:** Naj(Tl) ssintillyatsion detektor; past kuchlanish manbai; yuqori kuchlanish manbai; keng qamrovli kuchaytirgich; moslashtirish zanjiri; ko'p kanalli analizator; EHM; pechatlash moslamasi; gamma nurlanishlar manbalari to'plami.



**Nazariy qismi:** Ssintillyatsion detektorlarni ikki xil maqsadlarda ishlatish mumkin:

1. Zarrachalarni sanashda (dozimetriyada va boshq.);
2. Zarrachalar miqdorini va energiyasini aniqlashda. Bunday qurilma ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometr deb yuritiladi. Zarrachalar energiyasini aniqlashda, ssintillyatorida yutilgan energiya bilan chaqnashdagi nurlanish orasida to'g'ri bog'lanish bo'lishi lozim. Ya'ni, FEK chiqishidagi impulsning amplitudasi chaqnashdagi nurlanish intensivligiga proporsional holatda bo'lishi lozim. FEK ham signallarni proporsional holatda kuchaytiradi.

Ssintillyatorida yutilgan energiya ( $\Delta E$ ) bilan impuls amplitudasi ( $U$ ) o'rtasidagi bog'lanishni quyidagicha yozish mumkin:

$$U=f(\Delta E) \quad (1)$$

Bu bog'lanish Naj(Tl) va Cs<sub>j</sub>(Tl) kristallari uchun juda yaxshi o'rganilgan. Shu sababli ular tajriba ishlarida keng qo'llanilmoqda. Har bir kristall uchun bu bog'lanish tajriba orqali aniqlanadi va grafik shaklida beriladi. Tajribalar o'tkazishda bu grafikdan foydalanish mumkin va noma'lum bo'lgan zarrachaning energiyasini topish imkoniyati paydo bo'ladi. Modda tarkibini tekshirishda  $U=f(\Delta E)$  orasidagi chiziqli bog'lanish muhim hisoblanadi. Tajriba orqali bu bog'lanishni aniqlashning bir qator usullari mavjud. Qisqacha shularga to'htalib o'tamiz. Qayd qilinayotgan zarrachaning energiyasiga qarab usullardan biri tanlab olinadi. Agar  $\gamma$ -kvantning energiyasi  $\leq 4$  MeV kichik bo'lsa, u holda  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishni aniqlashda, turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarni chiqaruvchi radioaktiv nuklidlar ishlatiladi. Bu usul juda sodda va qisqa vaqt ichida bajariladi. Gamma manbai sifatida NSGM (OSGM) yoki NSGM-M (OSGM-M) rumumidagi  $\gamma$ -nurlanishlar beruvchi radionuklidlar to'plamidan foydalanish mumkin. OSGM to'plamida 11 ta radionuklid bor. Bu radionuklidlarning o'rtacha aktivligi  $\sim 10^5$  Bk ga teng.

Bu to'plamdagi radioaktiv manbalar shunday tanlanganki, ularning parchalanish sxemasi juda sodda bo'lib, ishlatishga qulaydir. NSGM to'plamidagi manbalar 0,059 – 1,8 MeV energiya oriqlarini qamrab olgan. NSGM to'plamidagi manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikallari 1-jadvalda berilgan.

1-jadval. NSGM to'plamidagi  $\gamma$ -manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikallari

Nuklid	$\gamma$ -nurlanish energiyasi, Yey, keV	Absolyut chiqish kattaligi, $I_{abs}$ , %	Yarim yemirilish davri, $T_{1/2}$
--------	--	---	-----------------------------------

<sup>241</sup> Am	59,537	35,75	432,19 yil
<sup>57</sup> So	122,061	85,70	271,81 kun
	136,474	10,60	
<sup>139</sup> Se	165,857	77,88	137,67 kun
<sup>203</sup> Hg	279,197	81,57	46,59 kun
<sup>113</sup> Sn	391,705	64,95	115,09 kun
<sup>137</sup> Cs	661,660	85,08	30,17 yil
<sup>54</sup> Mn	834,848	99,98	312,16 kun
<sup>88</sup> Y	898,047	94,18	106,62 kun
	1836,07	99,34	
<sup>65</sup> Zn	1115,55	50,70	244,12 kun
<sup>60</sup> Co	1173,24	99,89	5,27 yil
	1332,50	99,98	
<sup>22</sup> Na	511,00	180,88	2,602 yil
	1274,54	99,94	

1-jadvalga murojat qilsak unda 391-661 keV energiya oraliqlarida faqat yagona <sup>22</sup>Na radionuklidining 0,511 MeV li annigilyatsion  $\gamma$ -kvanti uchraydi. Gamma spektrlarning NSGM da kamligi spektrometrlarni sozlash ishlaridagi aniqlik darajasini kamaytiradi. Shu sababli keyingi vaqtlarda o'zidan juda ko'p miqdorda  $\gamma$ -spektrlarini chiqaradigan  $\gamma$ -manbalar ishlatilmoqda. Bunday manbalar to'plami namunali spektrometrik gamma manbalar-M (NSGM-M) deb nomlandi. Bu to'plam 7 ta radioaktiv elementni o'z ichiga oladi. NSGM-M to'plamidagi manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikalari 2-jadvalda berilgan.

2-jadval. NSGM-M to'plamidagi  $\gamma$ -manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikalari

Nuklid	Yarim yemirish davri	Energiya orliklari	Gamma spektrlar soni
<sup>56</sup> Co	77,9 kun	846-3548	14
<sup>75</sup> Se	119,78 kun	66-400	9
<sup>110m</sup> Ag	249,75 kun	447-1562	15
<sup>133</sup> Ba	10,54 yil	53-384	9
<sup>152</sup> Eu	13,54 yil	122-1528	14
<sup>182</sup> Ta	114,43 kun	152-264	7
		1002-1289	9
<sup>192</sup> Ir	73,89 kun	201-884	14

NSGM-M to'plamidagi  $\gamma$ -manbalar quyidagicha tayyorlangan diametri 29 mm, qalinligi 2 mm bo'lgan dyuralyuminiydan tayyorlangan plastinka markaziga diametri 5 mm bo'lgan radionuklid qoplangan. Dyuralyuminiy plastinkalari qalinligi 11 mg/sm<sup>2</sup> organik plyonka bilan o'ralgan.

### Tajribaning blok-sxemasi

Tajriba qurilmasining blok-sxemasi 1-rasmda berilgan.  $\gamma$ -nurlanish manbai qo'rg'oshindan tayyorlangan himoya devori ichiga olingan. Ssintillyatsion detektorda ishlatilgan Naj(Tl) ssintillyatordir. O'lchanayotgan  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishning aniqligi, ssintillyator bilan  $\gamma$ -nurlanish manbai orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi. Sanoqlar tezligi  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishga ta'sir ko'rsatmasligi uchun masofa tanlanadi. Tanlangan masofada sanoq tezligi ~30-50 sek<sup>-1</sup> ga teng bo'lishi tajribani o'tkazish uchun yetarlidir.

Tajriba qurilmasining ishlashiga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Detektordan olingan signal moslashtirish blokiga uzatiladi. Bu moslama FEK ning chiqishidagi katta qarshilik keyingi blokning kichik qarshiligiga moslashtiriladi va shu orqali signalning normal uzatilishiga erishiladi. Signal moslashtirish zanjiridan keyin keng qamrovli kuchaytirgichga beriladi. Kuchaytirilgan signal ko'p kanalli analizatorga (KKA) uzatiladi. Analizatorida turli energiyali  $\gamma$ -kvantllarining spektri paydo bo'ladi. Katta energiyali  $\gamma$ -kvantllar analizatorning katta kanallariga, kichik energiyaga ega bo'lganlari esa kichik kanallariga yoziladi. O'lchangan tajriba natijalarini pechatga chiqarib olish mumkin.

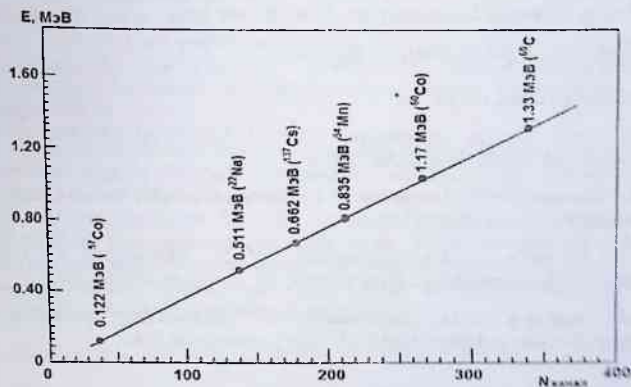


1-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

### Tajribani amalga oshirish tartibi

1. Tajriba qurilmasini 1-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra yig'ish. Elektr asboblari korpuslarini yerga ulash.
2. Past kuchlanish manbalarini ulash. Analizatorni ishga tayyorlash.
3. Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanishni berish. Kuchlanishni asta-sekinlik bilan oshirib borish va ish kuchlanishi qiymatida to'xtatish.

4. Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanish berilganidan keyin 10-15 minut davomida qizdirish.
5. Fon spektrini o'lchash va uni yozib qo'yish.
6.  $^{60}\text{Co}$  radiomuklidni belgilangan masofaga qo'yish. Kuchaytirgich yordamida katta energiyali  $\gamma$ -spektrni analizatorning katta kanallariga yozilishini ta'minlash. Keyin kuchaytirgichga umuman tegilmaydi.
7. Gamma spektrlarning analizatoridagi o'rinlari aniqlanadi va yozib olinadi (spektrning eng katta qiymatga ega bo'lgan kanal nomeri).
8. Keyin boshqa  $\gamma$ -manba qo'yiladi va uning spektri o'lchanadi. Spektrlarning analizatoridagi o'rni aniqlanadi va yozib olinadi.
9. O'lchangan tajriba natijalari jadval ko'rinishida beriladi.
10. Gamma kvantlarining energiyasi va kanal nomerlari ( $N$ ) orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi.
11. Nuqtalar bo'yicha to'g'ri chiziq o'tkaziladi. Nuqtalarni chiziq'larga nisbatan joylashishi o'rganiladi va baholanadi. 2-rasmda  $U=f(\Delta E)$  bog'lanish misol tariqasida berilgan. Agar nuqtalar chiziq ustida yotgan bo'lsa,  $U=f(\Delta E)$  bog'lanish juda yaxshi hisoblanadi.



2-rasm. Gamma kvantlarining energiyasi va kanal nomerlari ( $N$ ) orasidagi bog'lanish grafigi

### 3-jadval. Tajriba natijalari

N	Radionuklid	$E_{\gamma}$ , MeV	N
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			

### Nazorat savollari

1.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanish qanday aniqlanadi?
2.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanish gamma spektrometring qanday xarakteristikasini belgilaydi?
3.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishning aniqlik darajasi nuqtalar soniga qanday bog'langan?
4.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishni aniqlashda nima sababdan sanoq tezligini juda katta olish kerak emas?
5. Kristall va radionuklid orasidagi masofa qanday tanlanadi?
6.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishdan qanday foydalanish mumkin?
7. Moslash zanjiri qanday vazifani bajaradi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. N.G. Volkov, V.A. Xristoforov, N.P. Ushakova // *Методы ядерной спектроскопии*, M: Energoatomizdat, 1990.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // *Прикладная сцинтилляционная гамма-спектроскопия*, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // *Основы экспериментальных методов ядерной физики*, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaktsiey K.G. Finogenova // *Лабораторный практикум по экспериментальной ядерной физике*, M: Energoatomizdat, 1986.

## № 17. Laboratoriya ishi

### Naj(Tl) csintillyatsion detektorining absolyut effektivligini turli energiyali $\gamma$ -kvantlar uchun aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Ssintillyatsion detektorning absolyut effektivligini aniqlash yo'llarini o'rganish va uni mustaqil amalga oshirish.

**Kerakli jihozlar:** Naj(Tl) ssintillyatsion detektor; past kuchlanish manbai; yuqori kuchlanish manbai; keng qamrovli kuchaytirgich; moslashtirish zanjiri; ko'p kanalli analizator; EHM; pechatlash moslamasi; gamma nurlanishlar manbalari komplekti.

**Nazariy qismi:** Zarrachalar miqdorini va energiyasini aniqlashda ishlatiladigan qurilmalardan biri bu ssintillyatsion detektorli  $\gamma$ -spektrometrdir. Ularda ishlatilayotgan detektorlarning turlariga qarab spektrometrlar ham turli tiplarga bo'linadi. Naj(Tl) noorganik ssintillyatorning absolyut effektivligini aniqlash masalasiga to'xtalib o'tamiz. Bizga ma'lumki Naj(Tl) kristalli detektor effektiv qiymatining kattaligi bilan boshqa detektorlardan ajralib turadi. Aktivligi past bo'lgan nurlanishlarni o'lchashda unga teng keladigani hozircha topilgani yo'q.

Shunday o'lchashlar bo'ladi, bularda nisbiy o'lchash usulini qo'llab bo'lmaydi. Bu holda absolyut o'lchash usulini ishlatishga to'g'ri keladi. Absolyut o'lchash usuli ancha murakkab bo'lib, ko'p parametrlarni aniqlash lozim bo'ladi. Absolyut o'lchashda detektorning absolyut effektivligi aniq o'lchangan bo'lishi kerak. Bu kattalik aniq tajriba geometriyasi uchun aniqlangan bo'ladi.

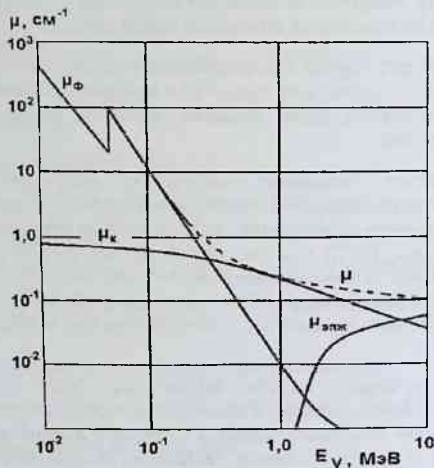
Detektorning absolyut effektivligi  $\gamma$ -kvantlarini ssintillyatorda yo'qotgan energiyasiga bog'liq bo'ladi. Yo'qotgan energiyasi esa  $\gamma$ -kvantlarining ssintillyator atomlariga ko'rsatgan ta'sirlariga asoslanadi.  $\gamma$ -kvantlari energiyasiga bog'liq holda fotoeffekt, kompton effekt va elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi jarayonlarini sodir etadi. Masalan, qalinligi d-bo'lgan ssintillyator yuzasiga perpendikulyar yo'nalishda parallel gamma nurlari tushayotgan bo'lsin.  $\gamma$ -kvantlarini ssintillyator atomlari bilan ta'sirlashish ehtimolligini ushbu ifoda orqali topish mumkin:

$$W = 1 - e^{-\mu d} = 1 - e^{-(\sigma_f + \sigma_k + \sigma_{epj})N_0 d}, \quad (1)$$

bu yerda  $\sigma_f$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_{epj}$  - bitta atom uchun fotoeffekt, kompton effekt va elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi jarayonlarining kesim kattaliklaridir;  $N_0 = 1 \text{ sm}^{-3}$

hajmdagi atomlar soni,  $1/\text{sm}$ ;  $\mu = (\sigma_f + \sigma_k + \sigma_{epj})N_0$ -uchta jarayonlar natijasida  $\gamma$ -kvantlarining yutilishini ifodalovchi kattalik.

Bu kattaliklar Naj(Tl) kristalli uchun o'rganib chiqilgan. 1-rasmda Naj(Tl) kristallida turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarini ko'rsatgan ta'sirlarining kesim kattaliklari berilgan. 1-rasmdan ko'rinib turibdiki



1-rasm. Naj(Tl) kristallida turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarini ko'rsatgan ta'sirlarining kesim kattaliklari

$\gamma$ -kvantlarining past energiyalarida asosan fotoeffekt jarayoni yuz beradi. 1,02 MeV energiyadan boshlab elektron-pozitron juftini hosil bo'lish jarayonlari boshlanadi. Energiya ortib borgan sari fotoeffekt jarayonining kesim kattaligi keskin kamayib boradi va taxminan 2 MeV energiyalarda uning qiymati 0 ga teng bo'lib qoladi.

Detektorning asosiy kattaliklaridan biri uning effektivligi ( $\epsilon$ ) hisoblanadi. Bu kattalik birlik vaqt ichida detektorga kelib tushgan ( $N_0$ ) zarrachadan qancha qismi ( $N$ ) qayd qilinganligini ko'rsatadi. Ya'ni:

$$\epsilon = \frac{N}{N_0} \quad (2)$$

Detektor effektivligining qiymati qayd qilinayotgan zarrachaning energiyasiga, ssintillyatorning zichligiga, o'rtacha atom nomeriga, ssintillyatorning o'lchamlariga va o'lchash geometriyasiga bog'liqdir. Detektorning effektivligini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$N = K_{geom} \cdot K_{kuch} \cdot K_{yut} \cdot K_{aj} \cdot K_{soc} \cdot K_{ns} \cdot K_{ps} \cdot \varepsilon \cdot A, \quad (3)$$

bu yerda  $N$ -sanoq tezligi,  $K_{geom}$ -o'lchash geometriyasiga berilgan tuzatma,  $K_{kuch}$ -nurlanishning kuchsizlanishiga berilgan koeffitsient,  $K_{aj}$ -detektorning ajratish qobiliyatiga berilgan tuzatma,  $K_{yut}$ -nurlanishning ssintillyator ichidagi yutilishiga berilgan tuzatma,  $K_{soc}$ -atrof-muhitdan sochilib kelayotgan nurlanishga berilgan tuzatma,  $K_{ns}$ -nishon tagligidan sochilib kelayotgan nurlanishga berilgan tuzatma,  $K_{ps}$ -radioaktiv izotopning parchalanish sxemasiga berilgan tuzatma,  $\varepsilon$ -detektorning effektivligi,  $A$ - radioaktiv izotopning ishlatilayotgan vaqtidagi aktivligi. (3)-ifodadan detektorning effektivligi ( $\varepsilon$ ) kattaligini topamiz:

$$\varepsilon = \frac{N}{K_{geom} \cdot K_{kuch} \cdot K_{yut} \cdot K_{aj} \cdot K_{soc} \cdot K_{ns} \cdot K_{ps} \cdot A} \quad (4)$$

O'lchash geometriyasini tanlash va o'lchash sharoitlarini ishlab chiqish orqali (4) ifodadagi  $K_{yut}$ ,  $K_{aj}$ ,  $K_{soc}$ ,  $K_{ns}$  kattaliklar 1 soniga keltiriladi. Bu holda (4) ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\varepsilon = \frac{N}{K_{geom} \cdot K_{kuch} \cdot K_{ps} \cdot A} \quad (5)$$

(5)-ifodadagi  $K_{geom}$ ,  $K_{kuch}$ , va  $K_{ps}$  kattaliklarini aniqlash masalasiga to'xtalib o'tamiz.

1. O'lchash geometriyasini aniqlash. Agar tajribada nuqtaviy nurlanish manbai ishlatilayotgan bo'lsa, bunda  $K_{geom}$  kattaligi ushbu ifoda orqali topiladi:

$$K_{geom} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ 1 - \frac{R}{\sqrt{R^2 + r^2}} \right\}, \quad (6)$$

bu yerda  $R$ -nurlanish manбайдan detektorgacha bo'lgan masofa,  $r$ -ssintillyatorning radiusi.

2. A-kattaligini topish. Bu kattalik nurlanish manbaining hozirgi vaqtidagi aktivligini topishga tegishli bo'lgan kattalik. Nurlanish manbaini tayyorlangan vaqtidagi aktivligi ( $A_0$ ) pasportida ko'rsatilgan bo'ladi. Yemirilish qonuniga asosan ishlatilayotgan vaqtidagi aktivligi aniqlanadi ( $A$ ). Aktivlikning kamayib borishi quyidagi ifoda orqali topiladi:



$$A = A_0 \exp\left(-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}\right), \quad (7)$$

bu yerda t-radionuklidni tayyorlangan va ishlatilayotgan davr oraliqlaridagi vaqt qiymati,  $T_{1/2}$ - radionuklidning yarim yemirilish davri.

3.  $K_{ps}$ -kattaligini topish. Radionuklidning parchalish sxemasiga berilgan tuzatma bo'lib, adabiyotlarda berilgan ma'lumotlardan olinadi.

4.  $\gamma$ -kvantlarini ssintillyator solingan idish devorlaridagi kuchsizlanishini hisobga oluvchi tuzatmadir. Idish devorining qalinligi kichik bo'lganligi uchun uning qiymatini hisobga olmasa ham bo'ladi. Agar o'lchashlar katta aniqlikni ta'lab qilsa, u holda bu tuzatmani quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$j_d = j_0 \cdot \exp(-\mu d), \quad (8)$$

bu yerda  $j_0$ - ssintillyator oldidagi  $\gamma$ -kvantlari oqimining quvvati,  $j_d$ -qalinligi d-bo'lgan idish devoridan keyingi  $\gamma$ -kvantlari oqimining quvvati,  $\mu$ - idish devori materialining  $\gamma$ -kvantlarini kuchsizlantirish kattaligi (adabiyotlarda berilgan).

*Detektorning absolyut effektivligi aniqlashda nuqtaviy, namunali radionuklidlar ishlatiladi. Tajribada turli energiyali gamma spektrlar ishlatiladi.  $\gamma$ -kvantlarining energiyasi qancha keng soha oralg'ida olingan bo'lsa, shuncha yaxshi hisoblanadi. Qancha ko'p nuqtalar olinsa, absolyut effektivlikning aniqlik darajasi shunchalik yuqori bo'ladi. Gamma manbai sifatida NSGM(OSGM) yoki NSGM-M(OSGM-M) rusumidagi  $\gamma$ -nurlanishlar beruvchi radionuklidlar to'plumidan foydalanish mumkin. NSGM (OSGM) to'plamida 11 ta radionuklid bor. Bu radionuklidlarning o'rtacha aktivligi  $\sim 10^5$  Bk ga teng. Bu to'plamdagi radioaktiv manbalar shunday tanlanganki, ularning parchalanish sxemasi juda sodda bo'lib, ishlatishga qulaydir. NSGM (OSGM) to'plamidagi manbalar 0,059 – 1,8 MeV energiya oriqalarini qamrab olgan. 1-jadvalda NSGM(OSGM) to'plamidagi manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikalari berilgan.*

1-jadval. NSGM(OSGM) to'plamidagi  $\gamma$ -manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikalari

Nuklid	$\gamma$ -nurlanish energiyasi, Yey, MeV	Absolyut chiqish kattaligi, $I_{abs}$ , %	Yarim yemirilish davri, $T_{1/2}$
$^{241}\text{Am}$	59,537	35,75	432,19 yil
$^{57}\text{So}$	122,061 136,474	85,70 10,60	271,81 kun
$^{139}\text{Se}$	165,857	77,88	137,67 kun
$^{203}\text{Hg}$	279,197	81,57	46,59 kun

<sup>112</sup> Sn	391,705	64,95	115,09 kun
<sup>137</sup> Cs	661,660	85,08	30,17 yil
<sup>54</sup> Mn	834,848	99,98	312,16 kun
<sup>88</sup> Y	898,047	94,18	106,62 kun
	1836,07	99,34	
<sup>62</sup> Zn	1115,55	50,70	244,12 kun
<sup>60</sup> Co	1173,24	99,89	5,27 yil
	1332,50	99,98	
<sup>22</sup> Na	511,00	180,88	2,602 yil
	1274,54	99,94	

1-jadvalga murojat qilsak unda 391-661 keV energiya oraliqlarida faqat yagona <sup>22</sup>Na radionuklidining 0,511 MeV ii annigilyatsion  $\gamma$ -kvanti uchraydi. Gamma spektrlarning kamligi spektrometrlarni sozlash ishlaridagi aniqlik darajasini kamaytiradi. Shu sababli keyingi vaqtlarda o'zidan juda ko'p miqdorda  $\gamma$ -spektrlarini chiqaradigan  $\gamma$ -manbalar ishlatilmoqda. Bunday manbalar to'plami namunali spektrometrik gamma manbalar-*MNSGM-M* (*OSGM-M*) deb nomlandi. Bu to'plam 7 ta radioaktiv elementni o'z ichiga oladi. 2-jadvalda *MNSGM-M* (*OSGM -M*) to'plamidagi manbalarning yadro-fizikaviy xarakteristikalari berilgan.

2-jadval. *MNSGM-M* (*OSGM -M*) to'plamidagi  $\gamma$ - manbalarining yadro-fizikaviy xarakteristikalari

Nuklid	Yarim yemirish davri	Energiya orliklari	Gamma spektrlar soni
<sup>56</sup> Co	77,9 kun	846-3548	14
<sup>75</sup> Se	119,78 kun	66-400	9
<sup>110m</sup> Ag	249,75 kun	447-1562	15
<sup>133</sup> Ba	10,54 yil	53-384	9
<sup>152</sup> Eu	13,54 yil	122-1528	14
<sup>182</sup> Ta	114,43 kun	152-264	7
		1002-1289	9
<sup>192</sup> Ir	73,89 kun	201-884	14

*MNSGM-M* (*OSGM -M*) to'plamidagi  $\gamma$ - manbalar quyidagicha tayyorlangan diametri 29 mm, qalinligi 2 mm bo'lgan dyuralyuminiydan tayyorlangan plastinka markaziga diametri 5 mm bo'lgan radionuklid qoplangan. Dyuralyuminiy plastinkalari qalinligi 11 mg/sm<sup>2</sup> organik plyonka bilan o'ralgan.

## Tajribaning blok-sxemasi

2-rasmda tajriba qurilmasining blok-sxemasi berilgan.  $\gamma$ -nurlanish manbai qo'rg'oshindan tayyorlangan himoya devori ichiga olingan. S-ssintillyatsion detektorda ishlatilgan Naj(Tl) ssintilyatoridir. Tanlangan masofada sanoq tezligi  $\sim 30-50 \text{ sek}^{-1}$  ga teng bo'lishi tajribani o'tkazish uchun yetarli bo'ladi.

Tajriba qurilmasining ishlashiga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Detektordan olingan signal moslashtirish blokiga uzatiladi. Bu moslama FEK ning chiqishidagi katta qarshilik keyingi blokning kichik qarshiligiga moslashtiriladi va shu orqali signalning normal uzatilishiga erishiladi. Signal moslashtirish zanjiridan keyin keng qamrovli kuchaytirgichka beriladi. Kuchaytirilgan signal ko'p kanalli analizatorga (KKA) uzatiladi. Analizatorida turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarining spektri paydo bo'ladi. Katta energiyali  $\gamma$ -kvantlar analizatorning katta kanallariga, kichik energiyaga ega bo'lganlari esa kichik kanallariga yoziladi.



2-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

Gamma spektrlar EHM xotirasiga yoziladi va kerak bo'lganda programma ta'minoti orqali tahlil qilinadi. O'Ichangan tajriba natijalarini qog'ozga chiqarib olish mumkin

### Tajribani amalga oshirish tartibi

1. Tajriba qurilmasini 2-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra yig'ish. Elektr asboblari korpuslarini yerga ulash.
2. Past kuchlanish manbalarini ulash. Analizatorni ishga tayyorlash.
3. Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanishni berish. Kuchlanishni asta-sekinlik bilan oshirib borish va ish kuchlanishi qiymatida to'xtatish.
4. Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanish berilganidan keyin 10-15 minut davomida qizdirish.
5. Fon spektrini o'lchash va uni yozib qo'yish

6.  $^{60}\text{Co}$  radionuklidni belgilangan masofaga qo'yish. Kuchaytirgich yordamida energiyasi 1332 keV bo'lgan  $\gamma$ -spektrni analizatorning katta kanallariga yozilishini ta'minlash. Keyin kuchaytirgichga umuman tegilmaydi.

7. Gamma spektrlarning vaqt birligi ichidagi sanoqlari va o'lchash vaqti yozib olinadi. Spektrlardagi sanoq qiymati 10000 kam bo'lmastligi lozim.

8. Keyin boshqa  $\gamma$ -manba qo'yiladi va uning spektri o'lchanadi. Spektrlarning sanoq qiymatlari va o'lchash vaqtlari yozib olinadi.

9. O'lchashlar boshqa energiyali gamma spektrlar uchun ham shu tariqa davom ettiriladi va yozib olinadi.

10. Har bir o'lchangun gamma spektrlardan fon sanoqlari ayrib tashlanadi.

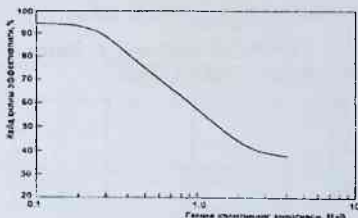
11. Tajriba natijalari jadval ko'rinishida beriladi (3-jadval).

12. Har bir energiyali gamma spektr uchun detektorning absolyut effektivlik qiymati aniqlanadi va grafi ko'rinishida beriladi.

3-jadval. Tajriba natijalari

N	Radio-nuklid	$E_\gamma$ , MeV	t, o'lchash vaqti	$N_{to'lq}$	$N_{fon}$	$N_{to'lq} - N_{fon}$	N	$\epsilon$
1.	$^{137}\text{Cs}$	0,662						
2.	$^{60}\text{Co}$	1,17						
3.	$^{60}\text{Co}$	1,33						
4.	$^{22}\text{Na}$	1,275						
5.								
6.								

$E_\gamma$  va  $\epsilon$ -kattaliklarorasiidagi bog'lanishni grafik ravishda berish mumkin. Ular orasidagi bog'lanish quyidagi ko'rinishda bo'ladi (3-rasm).



3-rasm.  $E_\gamma$  va  $\epsilon$ -kattaliklarorasiidagi bog'lanish grafigi

## Nazorat savollari

1.  $\gamma$ -spektrometrlning nisbiy ajratish qobiliyatini aniqlashda qaysi radionuklid ishlatiladi?
2. Agar spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati  $^{137}\text{Cs}$  ga ko'ra aniqlangan bo'lsa, boshqa energiyalar uchun ajratish qobiliyati ( $R_E$ ) qanday aniqlanadi?
3.  $\gamma$ -spektrometrlning nisbiy amplituda bo'yicha ajratish qobiliyati qanday topiladi?
4.  $U=f(\Delta E)$  bog'lanishni aniqlashda nima sababdan sanoq tezligini juda katta olish kerak emas?
5. Kristall va radionuklid orasidagi masofa qanday tanlanadi?
6.  $\gamma$ -spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati,  $\gamma$ -kvant energiyasiga qanday bog'langan?
7. Impuls amplitudasidan energiyaga o'tish nimaga asoslangan?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiye K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Raxmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

## № 18. Laboratoriya ishi

### Yarim o'tkazgichli detektorlar va ularning xarakteristikallari

**Ishdan asosiy maqsad:** Yarim o'tkazgichli detektorlarning turlari bilan tanishish. Ular bilan tajriba ishlarini olib borishini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Turli tipdagi yarim o'tkazgichli detektorlar, tok manbalari, keng qamrovli kuchaytirgich, dastur ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Yarim o'tkazgichli detektorlar (YaO'D)  $\gamma$ -kvantlari va rentgen nurlarini qayd qilishda alohida o'rin tutadi. Bunga sabab, uning yuqori energiya bo'yicha ajratish qobiliyatiga egaligi va dastur ta'minotiga ega bo'lishidir. Germaniy va kremniyli YaO'D asosan quyidagi firmalarda ishlab chiqarilmoqda: Canberra (AQSh), ORTEC (AQSh), BSI (Latviya) va Dubna (Rossiya). Germaniy va kremniyli YaO'D tashqari HgI<sub>2</sub>, CdTe, GaAs yarim o'tkazgich materiallaridan tayyorlangan detektorlar ham ishlatilmoqda. Yarim o'tkazgichli detektorlar juda qimmatdir.

Germaniy va kremniy YaO'D ikki xil ko'rinishda tayyorlanadi: planar va koaksional. Keng tarqalgan turi akseptor sifatida kiritilgan Li detektori hisoblanadi. Bu detektorlar Si(Li) va Ge(Li) ko'rinishida belgilanadi. Planar tipdagi Si(Li) va Ge(Li) detektorlar asosan rentgen va yumshoq  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilishda ishlatiladi (10 keV dan katta). Koaksional tipdagi Ge(Li) detektori yordamida energiyasi 10 MeV gacha bo'lgan  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilish mumkin. 1-jadvalda bir qator yarim o'tkazgich materiallarining xarakteristikallari berilgan.

1-jadval. Yarim o'tkazgich materiallarining xarakteristikallari

Material	Ruxsat etilmagan zona kengligi, eV	Effektiv zaryad	Zichligi, g/sm <sup>3</sup>	Elektron-teshik jufti hosil bo'lishiga sarflanadigan energiya, eV	Ish harorati, K	Ajrashish qobiliyati, %
Ge	0,67	32	5,33	77	2,96	0,46
Si	1,1	14	2,33	77 300	3,76 3,61	-
GaAs	1,35	31,33	5,36	130 300	4,51 4,2	2,6
GaSe	2,03	31,34	4,55	300	6,3	-

GaP	2,2	23	4,13	-	-	-
CdTe	1,5	48,52	5,86	300	4,43	3,80
CdSe	1,7	41	5,74	-	-	-
Hg <sub>2</sub>	2,26	80,53	6,40	300	4,2	3,5

1980 yillardan keyin toza germaniyni ajratib olish uslublari yaratilgandan so'ng, katta o'lchamga ega bo'lgan o'ta toza germaniy detektorlari tayyorlana boshlandi. Undagi yot atomlar miqdori  $\sim 10^{-10}$  1/atom ga teng ekanligi aniqlandi. Bu detektorlar ikki turga bo'linadi: HPGe(p) va HPGe(n). HPGe(n) detektorini past energiyali  $\gamma$ -kvantlariga bo'lgan sezgirligi juda yuqori. Uni kuchli neytronlar oqimida ham ishlatish mumkin. Detektorning yon va ustki tomonlarini segmentlash usullari yaratilgandan so'ng ularni qo'llanish sohalari kengaydi va uning sezgirligi yanada oshdi.

Hozirgi vaqtda HPGe(n) detektorining maksimal hajmi 200 sm<sup>3</sup>, HPGe(p)-350 sm<sup>3</sup> ga teng bo'ldi. Yarim o'tkazgichli detektorlarning radiatsiyaga bo'lgan chidamligi ssintillyatsion detektorlarga nisbatan kuchsizdir. YaO'D zarrachalarning turiga, energiyasiga va quvvatiga qarab o'z xarakteristikalarini o'zgartirib boradi. Nurlanish ta'siri ostida kristalda nuqsonlar paydo bo'ladi va kristal panjaralarini buzilishiga olib keladi. Nurlanish dozasi qancha katta bo'lsa, buzilish ko'lemi ham shuncha katta bo'ladi. Bu buzilishlar natijasida YaO'D ning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati yomonlashadi. Tajribadan shu narsa aniqlandiki, agar kristalga  $10^7 \div 10^8$  1/sm<sup>2</sup> neytronlar oqimi tushsa, uning energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini yomonlashgani kuzatildi. YaO'D kuchli ionlashtiruvchi zarrachalarga va neytronlarga iloji boricha qo'llash tavsiya etilmaydi.

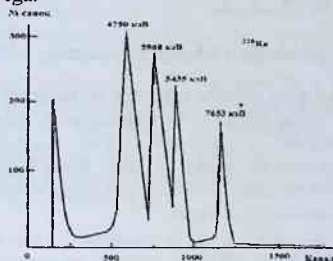
### Galliy arsenad GaAs

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, GaAs kristali sovutilishi kerak bo'lmagan kelgusida keng ishlatilishi mumkin bo'lgan detektorlar turkumiga kiradi. Bu kristalda uy haroratida elektronlarning ko'chishi kattadir. Kristalni tashkil etuvchi elementlar atom nomerlarining katta bo'lishligi ( $Z_{Ga}=31$ ,  $Z_{As}=33$ ) uning effektiv qiymatini germaniy detektorining effektiv qiymatiga teng bo'lishiga olib keladi (bir xil hajmda olinganda).

Hozirgi vaqtda katta qarshilikka ega bo'lgan GaAs kristali faqat zarrachalarni qayd qilish tajribalarida ishlatilmoqda. Spektrometriyada qo'llash darajasiga hali yetib borilganicha yo'q. Katta o'lchamdagi kristalni tayyorlash mushkul bo'lib turibdi. Yuzasi 2 mm<sup>2</sup> bo'lgan detektorga 250 V kuchlanish berilganda, uy haroratida olingan energiya bo'yicha ajratish qobiliyati, 122 keV (<sup>57</sup>So) energiya bo'yicha 1,9 keV ga teng bo'ldi.

## Kadmiy tellur CdTe

Keyingi vaqtlarda CdTe (CdZnTe) kristali  $\gamma$ -nurlanishlarni qayd qilishda keng ishlatilmoqda. Kristallarni olish metodlarining takomillashib borishi natijasida spektrometriyada qo'llanilishi mumkin bo'lgan kristallar yaratilmoqda. CdTe detektorlari yuqori effektivligi, signal/shovqin nisbatining yaxshiligi va energiya bo'yicha ajratish qobiliyatining kattaligi bilan boshqa detektorlardan ajralib turadi (uy haroratida). Bu material yuqori radiatsiyaga chidamliligi sababli dozimetriya o'lchashlarida ishlatilmoqda. Kelgusida modda tarkibini aniqlashda ishlatiladigan spektrometriyada qo'llash ko'zda tutilmoqda. Ish yuzasi katta bo'lgan kristallarni olish yo'llari qidirilmoqda. Kichik o'lchamdagi bu kristallarning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati Naj(Tl) kristalining ajratish qobiliyatiga yaqindir. Shu kristal asosidagi spektrometr yordamida energiyasi 20 keV dan 3 MeV gacha bo'lgan  $\gamma$ -kvantlarini o'lchash mumkin. O'lchami 5x5x1 mm bo'lgan CdTe kristaliga 70 V kuchlanish berildi va ajratish qobiliyati 10 % ga teng bo'ldi (59,6 keV,  $^{241}\text{Am}$ ). Rentgen va zaryadli zarrachalarni ham o'lchash mumkinligi tajribalar orqali ko'rsatib berildi. CdTe kristali yordamida  $\alpha$ -zarrachalarning spektri o'lchandi.  $\alpha$ -manba sifatida  $^{226}\text{Ra}$  izotopi ishlatildi. 1-rasmda  $\alpha$ -zarrachalarning spektri ko'rsatilgan. O'lchashlar havoda amalga oshirildi. Bu tipdagi detektorlar germaniya detektorlariga effektivligi va energiya bo'yicha ajratish qobiliyati bo'yicha tenglasha olmaydi. Lekin kichik o'lchamga ega bo'lgan dozimetrik asboblarni yaratishda o'z o'rniga ega.



1-rasm.  $^{226}\text{Ra}$  manbasi chiqargan  $\alpha$ -zarrachalarning spektri

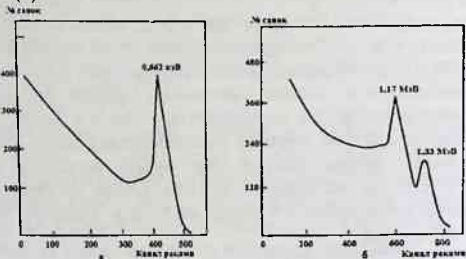
1-rasmdan ko'rinib turibdiki, CdTe detektorlari  $\alpha$ -zarrachalarni yaxshi ajratib bermoqda. Lekin energiya bo'yicha ajratish qobiliyati bo'yicha yuza barer Si detektorlariga yetib bora olmaydi.

## Simob diiodid $\text{HgI}_2$

$\text{HgI}_2$  detektorlari bilan olib borilgan o'lchash ishlarida odatda qalinligi 0,5-1 mm bo'lgan kristallar ishlatiladi. Haroratga bo'lgan chidamliligi yuqori. Bu

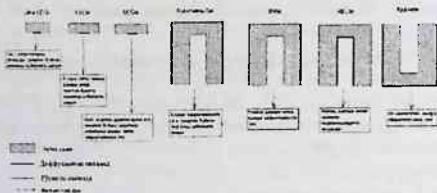


uning ochiq havoda monitor detektorlari sifatida ishlatish imkoniyatini beradi. Kristal ustida olib borilgan ishlar va olinish usulining takomillashtirilishi uning spektrometrik xarakteristikalarini yaxshilanishiga olib keldi. Masalan: O'Ichami  $10 \times 8 \times 0,5$  mm bo'lgan  $HgI_2$  detektorining energiya bo'yicha ajratish qobiliyati 60, 122 va 662 keV energiyalar uchun aniqlandi va ular mos ravishda 1,2, 2,0 va 4,5 keV ga teng bo'ldi. Sezuvchan qatlamning qalinligi 1,5 sm, aktivlik yuzasi  $17 \text{ sm}^2$  bo'lgan katta kristalli detektor yaratildi. Agar bu detektorlar  $0^\circ\text{S}$  haroratgacha sovutilsa, past energiyalarda uning spektrometrik xarakteristikalari Si detektorlariga yaqinlashadi. 2-rasmda  $HgI_2$  yordamida o'Ichangan  $\gamma$ -spektrlar ko'rsatilgan. Gamma manbalari sifatida  $^{137}\text{Cs}$  va  $^{60}\text{Co}$  radionuklidlar ishlatildi. Detektorning qalinligi 1 sm. 2-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $\gamma$ -spektrlar bir biridan yaxshi ajralgan (b).



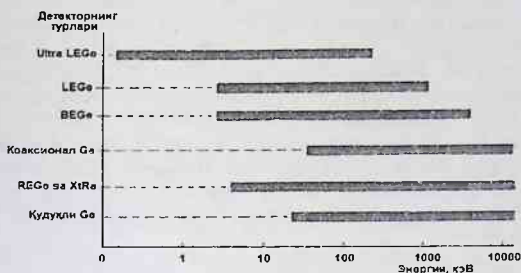
2-rasm.  $HgI_2$  yordamida o'Ichangan  $\gamma$ -spektrlar: a- $^{137}\text{Cs}$ ; b- $^{60}\text{Co}$

Gamma kvantlarini qayd qilishda germaniy detektorlariga teng keladigani yo'q. Bu detektorlar o'zining energiya bo'yicha ajratish qobiliyatining yuqori bo'lishligi bilan boshqalardan ajralib turadi. Germaniy detektorlarining turlari juda ko'p bo'lib, ular yordamida amaliy va ilmiy ishlar bajarilmoqda. Quyida ularning asosiy turlari ko'rsatilgan. 3-rasmda germaniy detektorlarining turlari va ularning xarakteristikalari berib o'tilgan.



3-rasm. Germaniy detektorlarining turlari

4-rasmda Germaniy detektorlarining energiya bo'yicha o'lchash sohalarining chegaralari ko'rsatilgan. Bu ma'lumotlarga ko'ra o'lchanayotgan energiyaga mos keladigan detektorni tanlash imkoniyati paydo bo'ladi.



4-rasm. Germaniy detektorlarining turlari va ularning energetik diapazoni

### O'ta past energiyalarga mo'ljallangan Ultra LEGe detektori

Ultra LEGe detektori o'ta past va o'rtacha energiyali gamma va rentgen nurlarini o'lchashga mo'ljallangan. Shovqin darajasi juda past. Pik/shovqin nisbati juda kichik. O'ta past va o'rtacha energiyalarda energiya bo'yicha ajratish qobiliyati va nurlanish quvvatiga bo'lgan chidamliligi yetarli darajada katta. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: GULxxyyz; undagi xx-detektorning yuzasini,  $\text{sm}^2$  ( $0,3 \div 10$  oralig'ida o'zgaradi); uu-detektor qalinligi, mm ( $5 \div 10$  oralig'ida o'zgaradi); z-ishlatilgan dastlabki tezlatkichni (R-RC ko'rinishidagi teskari bog'lanish, R-optoelektronli teskari bog'lanish). Masalan: GUL0110R-past energiyaga mo'ljallangan, yuzasi  $1 \text{ sm}^2$  bo'lgan, qalinligi 10 mm ga teng germaniy detektori, RC teskari bog'lanishli dastlabki tezlatgich ishlatilganligini ifodalaydi.

### Past energiyali gamma kvantlarga mo'ljallangan LEGe detektori

LEGe detektoridashovqin darajasi juda past, pik/shovqin nisbati juda kichik. Past va o'rtacha energiyalarda energiya bo'yicha ajratish qobiliyati yuqori. Nurlanish quvvatiga bo'lgan chidamliligi yetarli darajada katta. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: GLxxyyz; undagi xx-detektorning yuzasini,  $\text{sm}^2$  ( $0,5 \div 38$  oralig'ida o'zgaradi); uu-detektor qalinligi, mm ( $5 \div 25$  oralig'ida o'zgaradi); z-ishlatilgan dastlabki tezlatkich turini (R-RC ko'rinishidagi teskari bog'lanish, R-optoelektronli teskari bog'lanish). Masalan: GL0515R-past energiyaga mo'ljallangan, yuzasi  $5 \text{ sm}^2$  bo'lgan, qalinligi 15 mm ga teng germaniy detektori, RC teskari bog'lanishli dastlabki tezlatkich ishlatilganligini ifodalaydi.

## Keng qamrovli BEGe detektori

BEGe detektorienengiyasi 3 keV dan 3 MeV gacha bo'lgan gamma kvantlarini o'lchashga mo'ljallangan. Past va yuqori energiyalarda ham o'zining energiya bo'yicha ajratish qobiliyatining yuqori bo'lishligi bilan boshqa detektorlardan ajralib turadi. Effektivligi koaksial detektorlariga nisbatan kattadir. Bu detektor fon sanoqlarining kichikligi va effektivligining yuqori bo'lishligi sababli dozimetriyada, yadro chiqindilarini o'lchashda va yadro materiallarini nazorat qilishda asosiy qurilma hisoblanadi. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: VExxyy; undagi xx-detektorning yuzasini,  $\text{sm}^2$  ( $20 \div 50$  oralig'ida o'zgaradi); uu-detektor qalinligi, mm ( $20 \div 30$  oralig'ida o'zgaradi); Masalan: VE5030-Keng qamrovli germaniy detektor, yuzasi  $50 \text{ sm}^2$  bo'lgan, qalinligi 30 mm ga teng.

## Koaksial germaniy GC detektori

GC rusumli koaksial germaniy detektorlari ko'p maqsadlarda ishlatiladi. Bu detektorlar gamma kvantlarni 50 keV dan 10 MeV energiya oraliqlarida o'lchay oladi. Effektivlik qiymati va energiya bo'yicha ajratish qobiliyati yetarli darajada kattadir. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: GCxxyy; undagi xx-detektorning nisbiy effektiv kattaligini, % ( $10 \div 100$  oralig'ida o'zgaradi); uu- energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini 1332 keV energiyaga ko'ra, bir necha yuz eV birligida ( $18 \div 23$  oralig'ida o'zgaradi); Masalan: GC3018-koaksial germaniy detektori, effektivligi 30 % bo'lgan, ajratish qobiliyati 1,8 keV ga teng.

## Reversiv elektrodli (REGe) va energetik diapazoni kengaytirilgan (XtRa) koaksial detektorlar

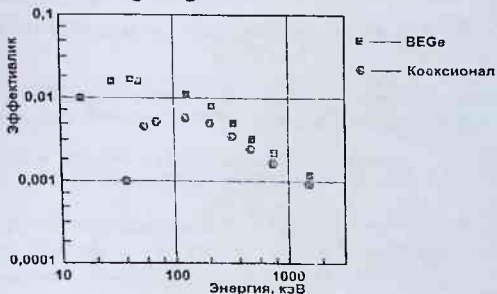
Uboshqa koaksial detektorlarga nisbatan quyidagi farqlarga ega. r-turdagi elektrod frontal yuzada, n-turi esa ichki sohada joylashgan. Bu o'zgarishlar natijasida kirish devorining qalinligi kamaytirilgan va nurlanishga bo'lgan chidamliligi oshirilgan. REGe turida ishga yaroqsiz qatlamning samarasiz (myortvyy) qalinligi nisbatan kichikdir ( $\sim 0,3$  mm). Kirish devori sifatida Ve elementidan foydalanilganda, energiyasi  $< 5$  keV bo'lgan  $\gamma$ -kvantlarni o'lchash imkoniyatini beradi. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: GRxxyy; undagi xx-detektorning nisbiy effektiv kattaligini, % ( $10 \div 70$  oralig'ida o'zgaradi); uu- energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini 1332 keV energiyaga ko'ra, bir necha yuz eV birligida ( $18 \div 27$  oralig'ida o'zgaradi); Masalan: GR3020-koaksial germaniy detektori, effektivligi 30 % bo'lgan, ajratish qobiliyati 2,0 keV ga teng.

Ko'pchilikkoaksial detektorida ishga yaroqsiz qatlamning samarasiz (myortvyy) qalinligi nisbatan katta bo'lib  $\sim 0,5 \div 1,5$  mm oralig'ida bo'ladi. Bu

qatlam 40 keV va undan kichik energiyali gamma kvantlarini o'zida yutib qoladi. Demak bu detektorlar yordamida past energiyali  $\gamma$ -kvantlarni o'lchab bo'lmaydi. Xtrakoaksial detektorida esa ishga yaroqsiz qatlarning qalinligi nisbatan kichik bo'lib  $\sim 0,3$  mm atrofidadir. Kirish devori sifatida  $Vc$  elementidan foydalanish, energiyasi  $< 3$  keV bo'lgan  $\gamma$ -kvantlarni o'lchash imkoniyatini beradi. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: GXxyy; undagi xx-detektorning nisbiy effektiv kattaligini, % ( $10 \div 100$  oralig'ida o'zgaradi); uu- energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini 1332 keV energiyaga ko'ra, bir necha yuz eV birligida ( $18 \div 23$  oralig'ida o'zgaradi).

### Quduqli koaksial Ge detektori

Quduqli koaksial Ge detektor boshqa detektorlarga nisbatan effektiv qiymatini kattaligi bilan ajralib turadi. Nurlanish manbai aktiv hajm bilan deyarli o'ralgan bo'ladi. Kirish devori sifatida Al elementidan foydalanilgan uning qalinligi  $\sim 0,5$  mm ga teng. Quduqning chuqurligi 40 mm, diametri 10 yoki 16 mm atrofida bo'ladi. Bu detektorlar yordamida o'ta past energiyali  $\gamma$ -kvantlarni o'lchash imkoniyati yo'q. Bu tipdagi detektorlar quyidagicha belgilanadi: GWxyy; undagi xx-detektorning nisbiy effektiv kattaligini, % ( $10 \div 40$  oralig'ida o'zgaradi); uu- energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini 1332 keV energiyaga ko'ra, bir necha yuz eV birligida ( $20 \div 23$  oralig'ida o'zgaradi); Masalan: GW3022-koaksial germaniy detektori, effektivligi 30 % bo'lganda, ajratish qobiliyati 2,2 keV ga teng.

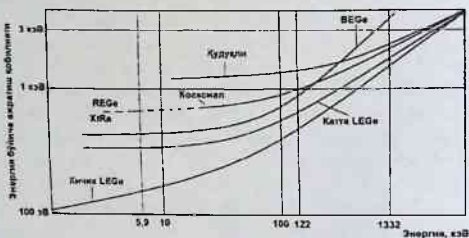


5-rasm. Aniq bir geometriya uchun  $Y\alpha O'D$  effektivligining qiymatlari

5-rasmda  $Y\alpha O'D$  effektiv qiymatlari ikki xil turdagi detektorlar uchun berilgan. O'lchashlar bir hil geometriyada amalga oshirilgan. Gamma manbalar detektor sirtidan 2,5 sm balandlikka qo'yilgan. 5-rasmdan ko'rinib turibdiki,

BEGe detektorining effektivligi koaksial detektorining effektivligidan katta. Bu farq ayniqsa gamma kvantlarining kichik energiyalarida sezilarlidir.  $Y_{\epsilon} > 200$  keV bo'lganda effektiv qiymatlarining farqi kamayib boradi. Ikkala detektor uchun ham energiyaning ortib borishida effektiv qiymatlarini kamayib borishi kuzatiladi.

6-rasmda turli tipdagi YaO'D energiya bo'yicha ajratish qobiliyati ko'rsatilgan. Bu kattalik  $\gamma$ -kvantining turli energiyalari uchun amalga oshirilgan. 6-rasmdan ko'rinib turibdiki, o'lchami kichik bo'lgan LEGe turidagi detektor o'zining yuqori energiya bo'yicha ajratish qobiliyatiga ega bo'lishligi bilan boshqalardan ajralib turadi. Albatta bu kattalik xar bir detektor uchun tajriba orqali aniqlanishi lozim. Chunki, bir xil o'lchamli, bir xil turdagi detektorlar bir bidadan xarakteristikalari bo'yicha farq qiladi. Bu ularning tayyorlanish jarayonlariga bog'liqdir.



6-rasm. Turli tipdagi YaO'D energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini energiyaga bog'liqligi

7-rasmda toza germaniy detektoridan iborat bo'lgan  $\gamma$ -spektrometr ko'rsatilgan. Bu qurilma kuchli programma ta'minotiga ega.



7-rasm. Toza germaniy detektorli  $\gamma$ -spektrometr

## Nazorat savollari:

1. Quduqli koaksial Ge detektorlari qaysi tajribalarda ishlatiladi?
2. Keng qamrovli BEGe detektorlari qanday xarakteristikaga ega?
3. Past energiyali gamma kvantlarini o'lchashga mo'ljallangan LEGe detektorlari qanday xarakteristikaga ega?
4. Nima sababdan yarim o'tkazgichli detektorlarning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati katta?
5. Kadmiy tellur CdTe detektorlarini qaysi joylarda ishlatish mumkin?
6. Galliy arsenid GaAs kristali qanday xususiyatlarga ega?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
3. Pod redaksiyei K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimental'nomu yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
4. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
5. S.A. Baldin, N.A. Vartanov, Yu.V. Ioannesyans i dr. // Prikladnaya spektrometriya s poluprovodnikovymi detektorami, M: Atomizdat, 1974.

## № 19. Laboratoriya ishi

### Toza germaniy detektorli gamma spektrometrning energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Toza germaniy detektorli gamma spektrometrning energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Toza germaniy detektor, sovutish moslamasi, yuqori kuchlanish manbai, DSA rusumli raqamli analizator, qo'rg'oshindan tayyorlangan himoya devori, EHM, programma ta'minoti.

**Nazariy qismi:** Yarimo'tkazgichli detektorlar (YaO'D)  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilishda ishlatiladigan asosiy qurilma hisoblanadi. Bu detektorlar o'zining yuqori energiya bo'yicha ajratish qobiliyatiga ega bo'lishligi bilan boshqalardan ajralib turadi. Shu sababli ko'p tajribalarda aynan YaO'D qo'llaniladi. Zarrachalarni qayd qilishi  $\gamma$ -kvantlarini detektordagi modda atomlariga

ko'rsatgan ta'sirlariga ko'ra belgilanadi.  $\gamma$ -kvantlar asosan atomning elektronlari bilan ta'sirda bo'ladi. Bu ta'sirlar uch xil ko'rinishda bo'lib, fotoeffekt, kompton effekt va elektron-pozitron juftining hosil bo'lishidir. Bu jarayonlarning sodir bo'lish ehtimolligi  $\gamma$ -kvantlarning energiyasiga bog'liq holatda o'zgaradi. Qisqacha qilib aytganda detektorning ichida  $\gamma$ -kvantlarning ta'siri natijasida elektronlar paydo bo'ladi. Bu elektronlar atomlarni uyg'ongan holatiga yoki ionlashgan holatiga o'tkazadi. Hosil bo'lgan zaryadli zarrachalar detektorda qisqa vaqi ichida energiyalarini yo'qatadi. Yo'qotilgan energiya hisobiga elektr signallari paydo bo'ladi. Signalning amplitudasi detektorga berilgan energiyaga bog'liq bo'ladi. Zarracha qancha katta miqdordagi energiya yo'qotgan bo'lsa signalning amplitudasi ham shuncha katta bo'ladi.

Fotoeffekt jarayonida  $\gamma$ -kvant kristall atomidaga K, L va M qobiq elektronlari bilan ta'sirlashadi.  $\gamma$ -kvanti to'liq energiyasini elektronga berib, o'zi yo'qoladi. Energiya olgan elektron atomini tashlab tashqariga chiqadi. Bo'sh qalغان qobiqqa yuqori qobiqda joylashgan elektron o'tadi va ortiqcha energiya harakteristik nurlanish ko'rinishida nurlanadi. Bu jarayonlar  $\sim 10^{-16}$  sek davomida yuz beradi. Fotoeffekt jarayonida energiyaning saqlanish qonunini quyidagicha yozish mumkin:

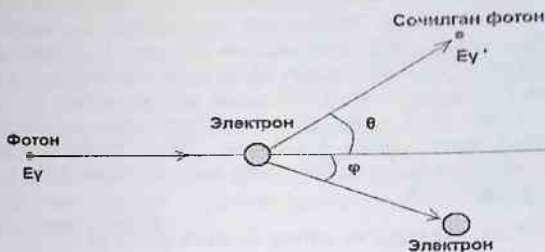
$$E_{\gamma} = E_{\text{bog}'} + E_{\text{kin}} \quad (1)$$

bu yerda  $E_{\text{bog}'}$ -elektronning atomga bog'lanish energiyasi,  $E_{\text{kin}}$ -atomini tashlab chiqqan elektronning kinetik energiyasi,  $E_{\gamma}$ -gamma kvantining energiyasi. (1)-ifodadan  $E_{\text{kin}}$ -kattaligini topish mumkin:

$$E_{\text{kin}} = E_{\gamma} - E_{\text{bog}'} \quad (2)$$

Fotoeffekt jarayonini yuz berishi uchun  $E_{\gamma} \geq E_{\text{bog}'}$ . Shart bajarilishi lozim. Aks holda bu jarayon sodir bo'lmaydi.

Kompton sochilish asosan atomiga kuchsiz bog'langan, tashqi qobiqlarda joylashgan elektronlarda sodir bo'ladi.  $\gamma$ -kvanti elektron bilan to'qnashib, unga bir qism energiyasini beradi va o'zi harakat yo'nalishini o'zgartirib, ma'lum burçhakka sochiladi. 1-rasmda gamma kvantni elektrondagi sochilishi tasvirlangan.



1-rasm. Kompton sochilish

bu yerda  $Y_{\gamma}$ -gamma kvantining to'qnashishdan oldingi energiyasi,  $\theta$ - gamma kvantining sochilish burchagi,  $Y_{\gamma'}$  - gamma kvantining to'qnashishdan keyingi energiyasi.

Sochilgan gamma kvantning energiyasini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$E'_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}}{\left(1 + \left[\frac{E_{\gamma}}{m_0 c^2}\right](1 - \cos\theta)\right)}, \quad (3)$$

,u yerda  $m_0 c^2$ - elektronning tinch holatidagi energiyasi.

Kompton elektronlarining kinetik energiyasini ushbu ifoda orqali topish mumkin:

$$E_{komp.}^e = \frac{E_{\gamma}}{\left(1 + m_0 c^2 / E_{\gamma} (1 - \cos\theta)\right)}, \quad (4)$$

(4)-ifodadan ko'rinib turibdiki, kompton elektron o'zining eng katta energiyasiga  $\theta = 0^\circ$  da erishadi. Bunda gamma kvanti orqaga qaytadi va (4)-ifoda quyidagi sodda ko'rinishni oladi:

$$E_{komp.}^e = \frac{2E_{\gamma}^2}{(m_0 c^2 + 2E_{\gamma})} \quad (4)$$

Gamma kvantning energiyasi  $Y_{\gamma} \geq 1,02$  MeV bo'lganda  $\gamma$ -kvantlar YaO'D kristallining atom yadrolari maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qiladi. Bu jarayonda ham energiyaning saqlanish qonuni to'liq bajariladi. Gamma kvantning energiyasi elektron-pozitron juftini hosil qilishga



( $2m_0c^2$ ) va ularning kinetik energiyalariga sarflanadi. Elektron va pozitron zarrachalari kristall ichida harakatlanib energiyasini kamaytirib boradi. Pozitron atomdagi elektron bilan uchrashib annigilyatsiya hodisasini sodir etadi. Natijada energiyasi 0,511 MeV bo'lgan ikkita gamma kvanti hosil bo'ladi. Bu gamma kvantlar bir biriga nisbatan  $180^\circ$  burchak ostida tarqaladi. Annigilyatsion gamma kvantlar kristalda to'liq yutilishi mumkin yoki yutilmasligi ham mumkin. Annigilyatsion gamma kvantlardan bittasi kristalda yutilmasdan tashqariga chiqish ehtimolligi ham bor. Spektrlarni tahlil qilishda bu hodisalarni e'tiborga olish kerak bo'ladi.

### Tajribaning blok-sxemasini va uning ishlash prinsipi

2-rasmda tajribaning blok sxemasi aks ettirilgan. O'ta toza germaniy detektori ishlatilgan. Suyultirilgan azot haroratida ishlatiladi. Azot bor yoki yo'qligi indikator lompochkasi orqali aniqlanadi. Bu  $\gamma$ -spektrometr to'liq programma ta'minotiga ega. Fon sanoqlarini kamaytirish uchun detektor qo'rg'oshindan tayyorlangan qalinligi 10 sm bo'lgan himoya devori ichiga o'rnatilgan. Bu  $\gamma$ -spektrometrdan raqamli analizator ishlatilgan. Kuchli programma ta'minotiga ega (Genie 2000). Spektrlarni tahlil qilish shu programma ta'minoti yordamida amalga oshiriladi. Radionuklidlarga tegishli bibliotekaga ega.



2-rasm. Tajribaning blok-sxemasini

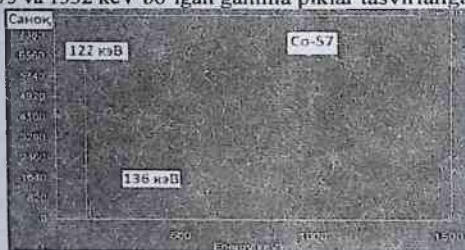
### Tajribani o'tkazish tartibi:

1.  $\gamma$ -spektrometрни va EHM tok tarmog'iga ulash. Detektorning pastki qismiga o'rnatilgan indikator lompochkasiga nazar tashlash. Agar u ko'kish rangda yonayotgan bo'lsa, detektorga yuqori kuchlanishni berish mumkin.
2. Yuqori kuchlanish avtomatik holda beriladi. Kompter orqali belgilangan kuchlanishning qiymati beriladi. Kuchlanish sekin asta ortib borib berilgan kuchlanishda to'xtaydi.

3. Kuchlanish berilganidan keyin,  $\gamma$ -spektrometr  $\sim 10$  min. davomida qizdiriladi. Bunda  $\gamma$ -spektrometr turg'un ish rejimiga keladi.
4. Fon spektri o'lanadi. Fon spektrini 300 sek atrofida o'lchash yetarli bo'ladi.
5. Detektorning ustiga  $^{57}\text{So}$  manbasi qo'yiladi. 122 keV energiyali gamma pikning spektri o'lanadi. Pikdagi statistik sanoq qiymati  $\sim 10000$  bo'lganda o'lchash to'xtatiladi va EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.
6. Detektor oldiga qo'yilgan  $^{57}\text{So}$  manbasi olinib uning o'rniga  $^{60}\text{So}$  manbasi qo'yiladi. Energiyalari 1,17 va 1,33 MeV bo'lgan gamma kvantlari o'lanadi. Pikdagi statistik sanoq qiymati  $\sim 10000$  bo'lganda o'lchash to'xtatiladi va EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.

### Spektrlarni tahlil qilish:

1. Hotiraga yozilgan  $\gamma$ -spektrlar ekranga chaqiriladi. Genie 2000 programma ta'minoti yordamida tahlil qilinadi (3- va 4-rasmlar). 3-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $^{57}\text{So}$  izotopidan chiqqan energiyalari 122 va 136 keV bo'lgan gamma piklar juda yaxshi ko'rinib turibdi. 4-rasmda esa  $^{60}\text{So}$  izotopidan chiqqan energiyalari 1173 va 1332 keV bo'lgan gamma piklar tasvirlangan.



3-rasm.  $^{57}\text{So}$  manbasidan chiqqan 122 va 136 keV energiyali gamma spektrlar



4-rasm.  $^{60}\text{So}$  manbasidan chiqqan 1,17 va 1,36 MeV energiyali gamma spektrlar

- Spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini past va yuqori energiyalarda aniqlash mumkin. Past energiyalarda  $^{57}\text{So}$  manbasidan foydalanisa bo'ladi. Yuqori energiyalarda  $^{60}\text{So}$  manbasidan foydalanish mumkin.
- Yuqori energiyalarda energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash yo'lini ko'rib o'tamiz. Ekstranga  $^{60}\text{So}$  manbasidan chiqqan  $\gamma$ -spektrni chaqiramiz.
- 1,17 va 1,36 MeV energiyali gamma piklarning eng katta qiymatiga mos keluvchi kanallar qiymatini yozib olamiz ( $N_1, 1,17 \text{ MeV}$ ;  $N_2, 1,33 \text{ MeV}$ ).
- Gamma piklar orasidagi kanallar sonini topamiz. Buning uchun  $\Delta N = N_2 - N_1$  ayrib tashlaymiz.
- Gamma piklar energiyasining ayirmasini topamiz. Ya'ni,  $\Delta E = E_2 - E_1$  ayrib tashlaymiz.
- Har bir kanalga mos keluvchi energiyani aniqlaymiz (kanalning bahosi-F). U quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\frac{\Delta E}{\Delta N} = \frac{(E_2 - E_1)}{(N_2 - N_1)} = F$$

- Energiasi 1,33 MeV bo'lgan gamma pikning yarim balandligidan yuqorida bo'lgan nuqtalar soni topiladi (Z).
- Spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati (G) quyidagicha aniqlanadi:

$$G = F \cdot Z$$

### Tajriba natijalari:

Tajribada topilgan kattaliklarni 1-jadvalda beramiz.

1-jadval. Tajriba natijalari

N	Radionuklid	$E_\gamma, \text{MeV}$	$\Delta N$	$\Delta E$	F	Z	G
1.	$^{60}\text{So}$	1,17					
		1,33					

### Nazorat savollari

- Kanalning baholanishi nimani anglatadi?
- Spektrometrlning energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini bitta gamma manbasi yordamida aniqlash mumkinmi?
- Tajribaning blok-sxemasini tushuntirib bering?
- Tajriba qanday ketma ketlikda olib boriladi?
- Nima sababdan gamma pikning yarim balandligidan yuqorida joylashgan nuqtalar olinadi?
- Nima uchun pikdagi statistik sanoqlar kam bo'lmasligi lozim?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. M.I. Prutkina, V.L. Shashkin // Spravochnik po radiometricheskoy razvedke i radiometricheskomu analizu, Energoatomizdat, 1984.
2. Ye.I. Jeleznova, I.P. Shumilin, B.Ya. Yufa // Radiometricheskie metody analiza yestestvennykh radioaktivnykh elementov, M: Nedra, 1968
3. S.A. Baldin, N.A. Vartanov, Yu.V. Yerghaylov va boshq. // Prikladnaya spektrometriya s poluprovodnikovymi detektorami, M: Atomizdat, 1974.
4. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov va boshq. // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

## № 20. Laboratoriya ishi

### Toza germaniy detektorli gamma spektrometrning effektivligini turli energiyali $\gamma$ -kvantlari uchun aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Toza germaniy detektorli gamma spektrometrning effektivligini turli energiyali  $\gamma$ -kvantlari uchun aniqlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Toza germaniy detektori, sovutish sistemasi, raqamli analizator, yuqori kuchlanish manbai, gamma radioaktiv manbalar komplekti (OSGM), EHM.

**Nazariy qismi:** spektrometrning asosiy kattaliklaridan biri effektivlik hisoblanadi. Agar tajribada absolyut o'lchashlar amalga oshirilayotgan bo'lsa, o'lchangan natijaning aniqligi asosan effektivlik qiymatining aniqlik darajasiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli bu katalikni iloji boricha yuqori aniqlikda topishga harakat qilish lozim. Effektivlikni nazariy yo'l bilan va tajriba orqali topish mumkin. Nazariy yo'l bilan topilgan effektivlikni ishonchligi unchalik yuqori emas. Buni quyidagicha izohlashimiz mumkin:  $\gamma$ -kvantlarini detektor atomlariga qilgan ta'sir mexanizmlarining ko'pligi va bu mexanizmlarni  $\gamma$ -kvantlarning energiyasiga kuchli bog'liq bo'lishligi; Bundan tashqari effektivlikning qiymati detektorning o'lchamlariga va spektrometrdan ishlatilayotgan elektron bloklarga ham bog'liq bo'lishligidir. Bu kattaliklarning barchasini hisobga olishning iloji yo'q. Bundan shunday hulosalar kelib chiqardiki, effektivlikning qiymatini faqat tajriba orqali aniqlash lozim. Effektivlikni fizik ma'nosiga to'xtalib o'taylik. Detektorning yuzasiga  $N_0$  zarrachalar kelib tushayotgan bo'lsin, shulardan detektor  $N_q$  qayd qilayotgan bo'lsin. Bu aytilganlarni matematik ifoda ko'rinishida yozamiz:

$$\varepsilon = \frac{N_q}{N_0} \quad (1)$$

bu yerda  $N_0$ -detektor sirtiga kelib tushayotgan  $\gamma$ -kvantlarning miqdori,  $N_q$ -detektor qayd qilayotgan  $\gamma$ -kvantlarning miqdori,  $\varepsilon$  – detektorning effektivligi. Bu kattalik o'lchov birligiga ega emas. Effektivlikning ma'nosi quyidagicha, detektor sirtiga kelib tushayotgan zarrachalarning qancha qismini qayd qilishini ko'rsatuvchi kattalikdir. Yuqorida aytilganidek bu kattalik tajriba orqali aniqlanadi. Tajriba nisbiy usul yordamida amalga oshiriladi. Bu ishlarda NSGM (OSGM) yoki OSGM-M gamma manbalar komplektlaridan foydalanish mumkin. NSGM (OSGM) komplektida 11 ta radioaktiv izotop mavjud. Ularning xarakteristikalarini boshqa laboratoriya ishlarida berilgan. Effektivlik kattaligi qancha ko'p energiyali  $\gamma$ -kvantlar uchun aniqlangan bo'lsa, uning aniqlik darajasi shuncha yuqori bo'ladi. NSGM (OSGM) komplektidagi  $\gamma$ -kvantlarning energiyasini ko'rib chiqadigan bo'lsak,  $Y_{e\gamma}=0,391\pm 0,662$  MeV soha oralig'ida faqat Na-22 izotopi chiqargan 0,511 MeV energiyali  $\gamma$ -kvanti uchraydi. Energiyaning  $Y_{e\gamma}=1,33\pm 1,8$  MeV soha oralig'ida esa biron- bir  $\gamma$ -spektrni uchratmaymiz. Shu sababli keyingi vaqtlarda NSGM (OSGM) va NSGM-M (OSGM-M) gamma manbalar komplektlari birgalikda ishlatilmoqda. NSGM-M (OSGM-M) tarkibidagi gamma manbalar o'zidan juda ko'p sonli  $\gamma$ -spektrlarni chiqaradi. Masalan: So-55 izotopi o'zidan  $Y_{e\gamma}=0,846\pm 3,548$  MeV soha oralig'ida bo'lgan 14 ta  $\gamma$ -spektrlarni chiqaradi.

Tajriba orqali effektivlikning qiymati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{\sum \left( \frac{N_{fo\gamma}}{\tau} \right)}{N_0 \cdot e^{-0,693t/T_{1/2}}} \quad (2)$$

bu yerda  $N_{0\gamma}$ -liniyaga mos keluvchi  $\gamma$ -kvantlarning miqdori ( $\gamma$ -manbaning pasportida berilgan bo'ladi), t-ishlatilayotgan gamma manbaning tayyorlangan vaqtidan tajriba o'tkazilayotgandavrgacha bo'lgan oraliq vaqti,  $T_{1/2}$ -radionuklidning yarim yemirilish davri,  $\sum \left( \frac{N_{fo\gamma}}{\tau} \right)$ - $\tau$ -vaqt davomida o'lchangan  $\gamma$ -spektrlardagi sanoqlar qiymati,  $\tau$  – o'lchash vaqti.

Ko'p holatlarda  $N_0$  o'rniga  $\gamma$ -manbaning aktivligi ishlatiladi. Bunda (2)-ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{\sum \left( \frac{N_{fo\gamma}}{\tau} \right)}{A_0 I_{abs} \cdot e^{-0,693t/T_{1/2}}} \quad (3)$$

bu yerda  $A_0$ -nurlanish manbaining tayyorlangan vaqidagi aktivligi (pasportida berilgan bo'ladi),  $I_{abs}$ -gamma kvantlarining absolyut chiqish kattaligi.

(3)-ifodadagi  $A = A_0 \cdot e^{-0,693t/T_{1/2}}$  deb belgilasak, ushbu ifoda kelib chiqadi:

$$\varepsilon = \frac{\sum \left( \frac{N_{\text{tov}_i}}{t} \right)}{A \cdot I_{\text{abs}}} \quad (4)$$

(4)-ifoda yordamida  $\gamma$ -spektrometning effektivligi aniqlanadi. Detektorning oldiga turli gamma manbalar qo'yiladi va  $\varepsilon$ -kattaligi topiladi.  $\gamma$ -kvantining energiyasini ortib borishida effektivlik qiymatining kamayib borishi kuzatiladi.

### Tajribaning blok-sxemasi

Tajribalar yarim o'tkazgichli detektor yordamida amalga oshirildi. Detektor sifatida o'ta toza germaniy ishlatildi. Bu detektor juda ixcham va dala sharoitlarida ham ishlatish imkoniyati bor (BigMAC). Fon zanoqlarini kamaytirish uchun detektorning hamma tomoni 10 sm qalinlikdagi qo'rg'ochin devor bilan o'ralgan. Detektorning tepa tomoni ochiladigan va yopiladigan himoya devoriga ega bo'lgan qurilma bilan jihozlangan. Qurilma g'ildirakchalarga o'rnatilgan. Uni juda oson harakatlantirish mumkin. Qurilma chetga suriladi va detektor ustiga o'lchanayotgan namuna joylashtiriladi. So'ngra detektorning usti yopiladi va o'lchash ishlari boshlanadi. 1-rasmida  $\gamma$ -spektrometning blok-sxemasi ko'rsatilgan.

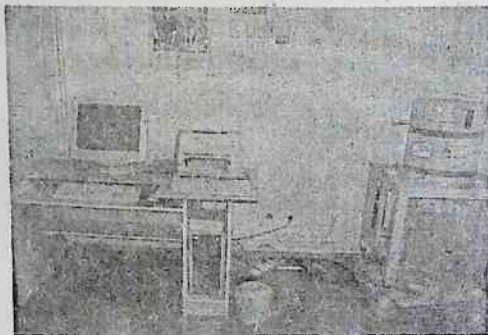


1-rasm.  $\gamma$ -spektrometning blok-sxemasi

Detektor ustiga stolcha o'rnatilgan. Stolcha ustiga nurlantirilgan namuna qo'yiladi. Radionuklidning aktivligiga qarab stolchanning balandligi tanlanadi. Aktivlik katta bo'lsa, balandligi katta bo'lgan stolcha ishlatiladi. Yuqori kuchlanish manbai (YuKM) orqali detektorga kuchlanish beriladi. Kuchlanishning berilishi avtomatik ravishda programma ta'minoti asosida EHM orqali beriladi. Berilgan kuchlanish bir tekisda ortib borib belgilangan qiymatidi to'xtaydi. Bu o'zgarishlarni ekranda kuzatib borish mumkin. Detektorning

pastki tomoniga yordamchi kuchaytirgich (YoK) o'rnatilgan. Kuchaytirilgan signallar ko'p kanalli raqamli analizatorga (KKA) uzatiladi. KKA blokida  $\gamma$ -kvantlar energiyalari bo'yicha turlarga ajratiladi. O'lchangan  $\gamma$ -spektrlar EHM ning hotirasiga yoziladi. Spektrlarni tahlil qilishda hotiraga yozib qo'yilgan spektrlar ekranga chaqiriladi va "Genie-2000" programma ta'minoti yordamida tahlil qilinadi.

2-rasmda himoya devori ichiga joylashtirilgan detektor va  $\gamma$ -spektrometrlarning bloklari ko'rsatilgan.



2-rasm. Himoya devori ichiga joylashtirilgan detektor va  $\gamma$ -spektrometr

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Tajriba qurilmasini 1-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra yig'ish. Elektr asboblarning korpuslarini yerga ulash.
2. Spektrometrdagi barcha bloklarni va EHM tok tarmog'iga ulash.
3. Germaniy detektoriga yuqori kuchlanishni berish. Kuchlanish asta-sekinlik bilan, avtomatik ravishda oshib boradi va ish kuchlanishi qiymatida to'xtataydi.
4. Germaniy detektoriga yuqori kuchlanish berilganidan keyin 10-15 minut davomida qizdiriladi.
5. Fon spektri o'lchanadi va EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.
6. <sup>60</sup>So radionuklidni belgilangan masofaga qo'yiladi. Kuchaytirgich yordamida energiyasi 1332 keV bo'lgan  $\gamma$ -spektrni analizatorning katta kanallariga yozilishi ta'minlanadi. Keyin kuchaytirgichga umuman tegilmaydi.
7. Gamma spektrlarning vaqt birligi ichidagi sanoqlari va o'lchash vaqti yozib olinadi. Spektrlardagi sanoq qiymati 10000 kam bo'lmasligi lozim.
8. Keyin boshqa  $\gamma$ -manba qo'yiladi va uning spektri o'lchanadi. Spektrlarning sanoq qiymatlari va o'lchash vaqtlari yozib olinadi.

9. O'lchashlar boshqa energiyali gamma spektrlar uchun ham shu tariqa davom ettiriladi va yozib olinadi.

10. Har bir o'lchangan gamma spektrlardan, fon sanoqlari ayirib tashlanadi

11. Tajriba natijalari jadval ko'rinishida beriladi (3-jadval).

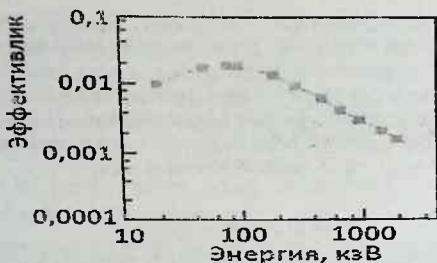
12. Har bir energiyali gamma spektr uchun detektorning absolyut effektivlik qiymati aniqlanadi va grafik ko'rinishida beriladi (3-rasm).

3-jadval. Tajriba natijalari

N	Radio-nuklid	$E_{\gamma}$ MeV	t, o'lchash vaqti	$N_{to'liq}$	$N_{fon}$	$N_{to'liq}-N_{fon}$	N	$\epsilon$
1.	$^{137}\text{Cs}$	0,662						
2.	$^{60}\text{Co}$	1,17						
3.	$^{60}\text{Co}$	1,33						
4.	$^{22}\text{Na}$	1,275						
5.								
6.								

$\gamma$  va  $\epsilon$ -kattaliklar orasidagi bog'lanishni grafik ravishda berish mumkin. Ular orasidagi bog'lanish quyidagi ko'rinishda bo'ladi (3-rasm). Bu grafik misol tariqasida berildi. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, effektivlikning qiymati  $\alpha$ -kvantining past energiyalarida energiyaning ortib borishida biroz ortishi kuzatilmog'da. Keyinchalik esa energiyaning ortib borishida kamayib borishi ko'zga tashlanmog'da. Buni quyidagicha izohlash mumkin.  $\alpha$ -kvantining yuqori energiyalarida elektron-pozitron juftini hosil bo'lish jarayoni katta ehtimollik bilan sodir bo'ladi. Pozitron zarrachasi detektor atomidagi elektronlar bilan to'qnashib annigilyatsiya hodisasi yuz beradi. Natijada, energiyalari 0,511 MeV bo'lgan ikkita gamma kvanti paydo bo'ladi. Bu  $\alpha$ -kvantlari bir-biriga nisbatan  $180^\circ$  burchak ostida tarqaladi. Bu hosil bo'lgan annigilyatsion  $\alpha$ -kvantlari detektorda to'liq energiyasini yo'qotmasligi mumkin (bittasi tashqariga chiqishi mumkin yoki ikkalasi ham).





3-рasm. Turli energiyali  $\alpha$ -kvantlari uchun effektivlikning qiymati

### Nazorat savollari:

1. Effektivlikning qiymati qaysi o'lchashlarda ishlatiladi?
2. Effektivlikning qiymati nima sababdan  $\alpha$ -kvantlarning energiyasini ortib borishida kamayib boradi?
3. (4)-ifodani tushuntirib bering?
4. Tajribani o'tkazishda nimalarga katta ahamiyat berish kerak?
5. Tajriba o'tkazishning ketma-ketligi qanday bo'ladi?
6. Effektivlikning fizik ma'nosini aytib bering?
7. Nima sababdan tajribada turli energiyali  $\gamma$ -kvantlari ishlatiladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
4. Pod redaksiyei K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimental'nomu yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefinkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
6. M.A. Kayumov, I. Xidirov, M. Karimov, J. Rahmanov, U Begimkulov // Fizikadan laboratoriya ishlari, Toshkent, 2003.

# V BOB. TURLI ZARRACHALARNI MODDA ATOMLARI VA YADROLARIGA KO'RSATGAN TA'SIRI

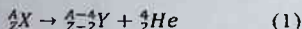
## № 21. Laboratoriya ishi

### $\alpha$ -zarrachani havodagi bosib o'tgan yo'lini aniqlash

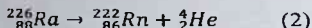
Ishdan asosiy maqsad:  $\alpha$ -zarrachani havoda bosib o'tgan masofasini aniqlash usulini o'rganish. Bosib o'tgan masofani  $\alpha$ -zarrachaning energiyasiga qanday bog'liq ekanligini aniqlash.

**Kerakli jixozlar:** Qalinligi ~200 mikron bo'lgan Si detektori, kuchaytirgich, tok manbalari, kollimatorlar,  $^{226}\text{Ra}$ -alfa nurlanish manbai, programma ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Atom yadrolarining o'z-o'zidan parchalanishi natijasida  $\alpha$ -zarrachalari hosil bo'ladi.  $\alpha$ -zarrachaning tarkibi ikkita proton va ikkita neytrondan iborat.  $\alpha$ -parchalanish asosan og'ir yadrolarda, ya'ni massa soni  $A > 200$  va zaryadi  $Ze > 82$  dan katta bo'lgan yadrolarda sodir bo'ladi. Bu parchalanishni quyidagi sxema bo'yicha ko'rsatish mumkin:



Parchalanishda hosil bo'lgan yadro elementlar davriy sistemasida ikki katakka oldinga qarab suriladi (massa soni 4 ga, zaryadi esa 2 ga kamayadi). Bu parchalanishga misol qilib quyidagilarni ko'rsatish mumkin:



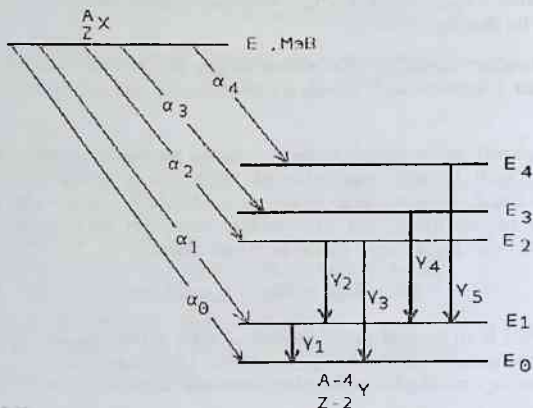
$\alpha$ -zarrachalarining xarakteristikalari 1-jadvalda berilgan. U ikki marotabali magik yadro hisoblanadi.

1-jadval.  $\alpha$ -zarrachalarining xarakteristikalari

Massa soni	Zaryadi	Spini	Magnit momenti	m, massa a.b.m.
4	2	0	0	4,001488

$\alpha$ -zarrachaning kinetik energiyasi parchalanayotgan yadroning tinchlikdagi energiyasini, parchalanishda hosil bo'lgan yadroning tinchlikdagi energiyasi

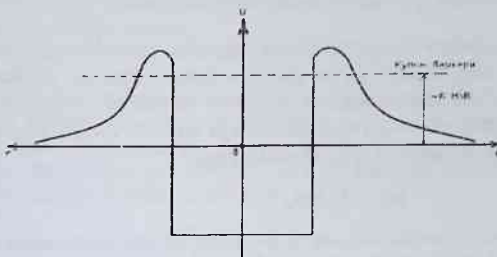
bilan alfa zarracha energiyalari yig'indisining ayrimasiga teng bo'ladi. Bu kattaliklar aniq son qiymatiga ega bo'lganligi uchun  $\alpha$ -zarrachaning energiyasi chiziqli bo'ladi. Olib borilgan aniq tajriba ishlarida  $\alpha$ -spektrni "nozik strukturaga" ega bo'lishligi aniqlandi. Bir nechta  $\alpha$ -spektrlarning nurlanishi kashf qilindi. Ularning energiyasi ham chiziqli ekanligi ma'lum bo'ldi.  $\alpha$ -zarrachalar spektrining chiziqli bo'lishligi atom yadrosini ham diskret energetik holatlarda bo'lishligini ko'rsatadi. 1-rasmda atom yadrosida nozik strukturalarning bo'lishligi misol tariqasida ko'rsatib berilgan.



1-rasm. Misol tariqasida berilgan yadroning nozik strukturasida

Parchalanishda hosil bo'lgan  $\frac{A-4}{Z-2} Y$  yadrosi asosiy holatida bo'lishidan tashqari bir qator uyg'ongan holatlarida ham bo'lishi mumkin. Bu o'z navbatida turli energiyali  $\alpha$ -zarrachalar spektrlarini yuzaga keltiradi. Bundan tashqari uyg'ongan holatidagi  $\frac{A-4}{Z-2} Y$  yadro, uyg'ongan holatidan asosiy holatiga o'tishida bir nechta gamma kvantlarini chiqaradi.

$\alpha$ -zarrachalarini yadrodan ajralib chiqishiga kulon bareri to'sqinlik qiladi. Parchalish davrida yadro ichida  $\alpha$ -zarrachasi paydo bo'ladi. Bu zarracha yadroni tark etishi uchun kulon bareri to'sig'ini yengib o'tishi kerak bo'ladi. 2-rasmda yadro ichidagi potensialning ko'rinishi va kulon barerining taxminiy qiymati berilgan. 2-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $\alpha$ -zarrachaning to'liq energiyasi kulon barerining energiyasidan kichikdir. Demak  $\alpha$ -zarracha



2-rasm. Kulon bareri

yadrodan tashqariga chiqib keta olmasligi kerak edi. Lekin tajribalarda  $\alpha$ -zarrachalarini yadrodan uzilib tashqariga chiqanligi kuzatildi. Bu hodisa kvant mexanikasi yordamida tushuntirib berildi. Bu jarayonga tunnel effekti deb nom berildi. Bunda  $\alpha$ -zarrachaning to'liqin xususiyati e'tiborga olindi.  $\alpha$ -zarrachani kulon bareri to'sig'idan sizib o'tish ehtimolligi, albatta, kulon barerining balandligiga va kengligiga bog'liqdir. Bu kattaliklar kichik bo'lsa,  $\alpha$ -zarrachalarini chiqish ehtimolligi katta bo'ladi.

Tabiiy  $\alpha$ -radioaktiv elementlar chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachaning maksimal energiyasi 9 MeV dan ortmaydi. Lekin yuqori energiyali  $\alpha$ -zarrachalarni ( $>10$  MeV) yadro reaksiyalari yordamida olish mumkin. Energiyasi 9 MeV bo'lgan  $\alpha$ -zarracha havoda 10 sm masofalarga yetib bora oladi holos.

$\alpha$ -zarrachalarini moddalardan o'tishida uning atomi yadrosi va elektronlari bilan ta'sirlashadi. Ta'sirlashishning turlari albatta,  $\alpha$ -zarrachaning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Ta'sirlarni yaxshi bilish dozimetriyada va zarrachalardan himoyalash masalalarini hal qilishda katta ahamiyatga ega. Past energiyalarda  $\alpha$ -zarrachani yadroga qilgan ta'sirini hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki bu ta'sirning kesim kattaligi nihoyat darajada kichikdir.  $\alpha$ -zarrachalar asosan atomdagi elektronlar bilan elastik va noelastik ta'sirlashishda bo'ladi. Elastik ta'sirlashishda  $\alpha$ -zarracha deyarli energiyasini o'zgartirmaydi. Shu sababli bu ta'sirni hisobga olmasa ham bo'ladi. Demak,  $\alpha$ -zarracha moddalardan o'tish davomida noelastik ta'sir hisobiga o'z energiyasini elektronlarga beradi.  $\alpha$ -zarrachaning elektr maydoni ta'sirida atomdagi elektron tezlik oladi. Natijada, tezlik olgan elektronlar atomdan uzilib tashqariga chiqadi yoki katta energiyali qobiqlarga o'tadi (uyg'ongan holatiga). Hosil bo'lgan elektronlar atomlarni yana qo'shimcha ionlashtiradi. Uyg'ongan atomlar esa asosiy holatiga o'tishida ma'lum energiyali xarakteristik nurlanishlarni chiqaradi.

Energiyasi  $Y_{e_0} > 10$  MeV dan katta bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalar juda ko'p jarayonlarni yuzaga keltiradi. Elastik va noelastik sochilishdan tashqari atom yadrosi bilan ta'sirlashadi, ya'ni yadro reaksiyalarini sodir etadi. Bu reaksiyalar natijasida zaryadli zarrachalar, neytronlar va  $\gamma$ -kvantlar paydo bo'ladi. Albatta

bu zarrachalarning energiyasi  $\alpha$ -zarrachaning energiyasiga bog'liq holda o'zgaradi.

Turli  $\alpha$ -radioaktiv yadrolardan chiqayotgan  $\alpha$ -zarrachaning energiyasini va moddalardagi o'tish masofasi (bosib o'tgan yo'li)ni ( $R$ ) o'lchash hamda yarim yemirilish davrini aniqlash orqali bu kattaliklar o'rtasida qonuniyat mavjudligi aniqlandi. Uchta radioaktiv oilaga kiruvchi  $\alpha$ -radioaktiv elementlar uchun Geyger va Netoll quyidagi ifodani aniqladi:

$$\lg \lambda = A \cdot \lg R_{\alpha} + B, \quad (1)$$

bu yerda  $A$  - o'zgarmas son bo'lib, uning qiymati barcha uchta radioaktiv oilalar uchun bir-hildir.  $V$ -ning qiymati esa bir-biridan 5% farq qiladi.  $\lambda$ -parchalanish doimiysi. O'lchashlar shuni ko'rsatdiki hozirgi davda ma'lum bo'lgan  $\alpha$ -radioaktiv yadrolar chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachalarning energiyasi  $4 \text{ MeV} \leq E_{\alpha} \leq 9 \text{ MeV}$  oraligida bo'lishligi, yarim yemirilish davri esa  $10^{10} \text{ yil} \geq T_{1/2} \geq 10^{-7} \text{ sek.}$  soha oraligida o'zgarishi aniqlandi.

$\alpha$ -zarrachalarni moddalarga kirib borish chuqurligi (bosib o'tgan yo'li)ni aniqlash doimo kerak bo'ladi. Bosib o'tilgan yo'lni aniqlash uchun sodda empirik ifodalar keltirib chiqarilgan. Bu ifoda gaz uchun quyidagi ko'rinishga ega ( $0^{\circ}$ , 760 mm.sim.us.) :

$$R_{\alpha H} = 0,309 \cdot E_{\alpha}^{1/2}, \text{ cm} \quad (1)$$

$$\text{yoki } R_{\alpha H} = 0,32 \cdot E_{\alpha}^{3/2}, \text{ cm} \quad (2)$$

bu yerda  $Y_{e\alpha}$ - $\alpha$ -zarrachaning energiyasi, MeV. Bu ifoda orqali energiyasi 8 MeV gacha bo'lgan  $\alpha$ -zarrachaning bosib o'tilgan yo'lini 5% hatolik bilan topish mumkin. Boshqa muhitlardagi bosib o'tilgan yo'lini esa ushbu ifoda yordamida topish mumkin:

$$R_{\alpha} = \frac{10^{-4} \sqrt{AE_{\alpha}^3}}{\rho}, \text{ sm} \quad (3)$$

Bosib o'tilgan yo'l kattaligini boshqa ifoda orqali yanada aniqroq topish imkoniyati bor.

$$R_{\alpha} = \frac{10^{-4} \cdot A \sqrt{E_{\alpha}^3}}{\rho \sqrt{Z^2}}, \text{ sm} \quad (4)$$

bu yerda  $Ye_{\alpha}$ - $\alpha$ -zarrachaning energiyasi, MeV;  $\Lambda$ -atom massasi;  $\rho$  — moddaning zichligi,  $g/sm^3$ ,  $Z$ -tartib nomeri.

$\alpha$ -zarrachalarni turli moddalardagi bosib o'tilgan yo'lini, havodagi bosib o'tilgan yo'lga nisbatan aniqlash mumkin. Bunda moddalarning tormozlash qobiliyati ishlatiladi ( $S$ ). Havo uchun  $S_h$ , modda uchun esa  $S_m$  deb belgilaymiz. Tormozlash qobiliyatining ma'nosi zarrachani moddani bir birlik masofasini bosib o'tishida yo'qotgan energiyasini ifodalaydi. Bu ko'pincha chiziqli tormozlash qobiliyati deb ham yuritiladi.  $S_h/S_m$  nisbat nisbiy chiziqli tormozlash qobiliyati deyiladi va  $S_L$  bilan belgilanadi:

$$S_L = \frac{S_{\square}}{S_m} = \frac{R_{\alpha\square}}{R_{\alpha m}}, \quad (5)$$

bu yerda  $R_{\alpha\square}, R_{\alpha m}$  - alfa zarrachasining havodagi va moddadagi bosib o'tilgan yo'li, sm.

Bulardan tashqari nisbiy massaviy tormozlash qobiliyati ( $S_m$ ) ham hisoblash ishlarida qo'llaniladi:

$$S_m = \frac{\rho_{\square} \cdot R_{\alpha\square}}{\rho_m \cdot R_{\alpha m}} \quad (6)$$

Nisbiy tormozlash qobiliyatini ( $S_a$ ) modda atomiga ham qo'llash mumkin:

$$S_a = \frac{\rho_{\square} R_{\alpha\square}}{\rho_m \cdot R_{\alpha m}} \cdot \frac{A_{\square}}{A_M'} \quad (7)$$

Tajribalardan shu narsa ma'lum bo'ldiki, atom massasining ortib borishida, atomning tormozlash qobiliyatini ( $S_a$ ) tahminan  $\sqrt{A_m}$  ga proporsional holda ortishi kuzatilgan.  $S_a/\sqrt{A_m}$  nisbati turli kimyoviy elementlar uchun bir xil ekanligi va 0,3 ga tengligi aniqlandi. Shunga ko'ra (6)-ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$S_a/\sqrt{A_m} = 0,3 = \frac{\rho_{\square} R_{\alpha\square} \sqrt{A_M'}}{\rho_m \cdot R_{\alpha m} \cdot A_{\square}} \quad (8)$$

(7)-ifodadan alfa zarrachasining moddadagi bosib o'tilgan yo'lini aniqlaymiz:

$$R_{\alpha m} = 3 \cdot 10^{-8} \frac{R_{\alpha\square} \sqrt{A_M'}}{\rho_m}, \text{ sm} \quad (9)$$

Biologik to'qinalar uchun:  $A=15,7$ ;  $\rho = 1 \text{ g/sm}^3$ ;  $Z=7,5$  ga teng.

Havo uchun esa:  $A_h=14,4$ ;  $\rho = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/sm}^3$ ;  $Z=7,5$  ga teng.

2-jadvalda  $\alpha$ -zarrachalarini havoda, alyuminiyda va biologik to'qmalardagi bosib o'tilgan yo'llari berilgan.  $\alpha$ -zarrachalarini turli moddalardagi bosib o'tilgan yo'li moddaning zichligiga bog'liqdir. Havoning zichligi kichik bo'lganligi uchun bosib o'tilgan yo'l qiymati boshqa moddalardagi bosib o'tilgan yo'l qiymatlariga nisbatan katta.

2-jadval.  $\alpha$ -zarrachalarini havoda, alyuminiyda va biologik to'qmalardagi bosib o'tilgan yo'llari

$E_{\alpha}$ , MeV	Havo, sm	Al, mkm	Biologik to'qima, mkm
4,0	2,5	16	31
4,5	3,0	20	37
5,0	3,5	23	43
5,5	4,0	26	49
6,0	4,6	30	56
6,5	5,2	34	64
7,0	5,9	38	72
7,5	6,6	43	81
8,0	7,4	48	91
8,5	8,1	53	100
9,0	8,9	58	110
9,5	9,8	64	120
10,0	10,6	69	130

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Elektr asboblari Yerga ulanganligi tekshiring.
2. 3-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra tajriba qurilmasi yig'ilsin.
3. Kuchaytirgich va EXM tok tarmog'iga ulang.
4. Si-detektoriga belgilangan chetlantirish kuchlanishi asta-sekinlik bilan bering.
5. "Aspekt" programma ta'minoti ishga tushiring.
6. Si-detektorining ishlashini tekshirish uchun detektorning oldiga  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi joylashtiring.
7. Ossillograf yordamida kuchaytirgichdan keyingi signalni tekshiring.
8. Si-detektor qo'zg'almas qilib o'rning. Tajriba ishlarida unga boshqa tegilmaydi.
9. Masofani o'zgartirish qurilmasi yordamida  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidini Si-detektor oldiga yaqinlashtiring. Eng yaqin masofa  $d=1\text{sm}$ . O'lchash 2 marta amalga oshirilsin.
10. Tajribani boshlashga komanda bering. EHM ekranida  $\alpha$ -zarrachalariningspektrlari paydo bo'ladi. 4-rasmda ko'rsatilgan  $\alpha$ -spektrlar olinishi lozim. O'lchash ishlarini eng katta energiyali  $\alpha$ -zarrachalar uchun amalga oshiramiz. Bu  $\alpha$ -zarracha 4-rasmda 5-raqam bilan ko'rsatilgan. Uning energiyasi  $Y_{\alpha}=7,687\text{ MeV}$  ga teng. O'lchash vaqtini 300 sek olish yetarlidir.

O'lchash 2 marta amalga oshirilsin. O'lchangan natijani EHM ning hotirasiga yozib qo'ying.

11.  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidini Si-detektoriga nisbatan uzoqlashtiring va  $d=2\text{sm}$  uzoqlikka o'rnatib. O'lchashni 300 sek davom ettiring. O'lchash 2 marta amalga oshirilsin. O'lchangan natijani EHM ning hotirasiga yozib qo'ying.

12.  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidini Si-detektoriga nisbatan  $d=3\text{ sm}$  uzoqlikka o'rnatib. O'lchashni 300 sek davom ettiring. O'lchash 2 marta amalga oshirilsin. O'lchangan natijani EHM ning hotirasiga yozib qo'ying.

13. O'lchash ishlarini shu ko'rinishda boshqa masofalarda ham amalga oshiring. O'lchash 2 marta amalga oshirilsin. O'lchangan natijalarni EHM ning hotirasiga yozib qo'ying.

14. Ma'lum masofaga yetib borganda,  $N_{\text{can}}$  sanoq qiymati,  $N_{\text{rcn}}$  sanoq qiymatidan farq qilmay qoladi (5-rasm, fon chizig'i). O'lchash ishlari to'xtatiladi.

15. O'lchangan natijalarni 3-jadvalga kiriting.

16.  $N_{\text{can}}$  va  $d$  kattaliklar orasidagi grafikni chizing (5-rasm).

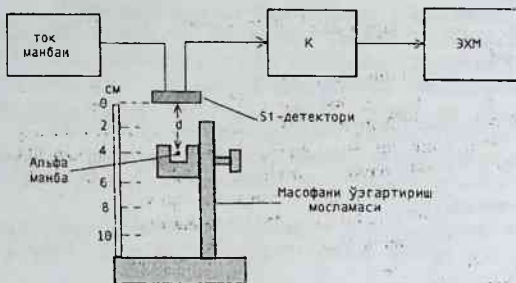
17. Grafikdan foydalanib  $R_{\text{mak}}$  kattaligini aniqlang.

18. O'lchashdagi xatoliklarni baholang.

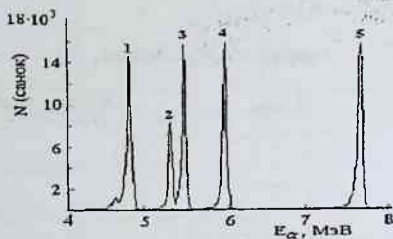
3-jadval. O'lchash natijalari

№	d,sm	$N_{\text{sanoq}}$	$N_{\text{sanoq}}(\text{o'rtacha})$
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		
9	9		
10	10		

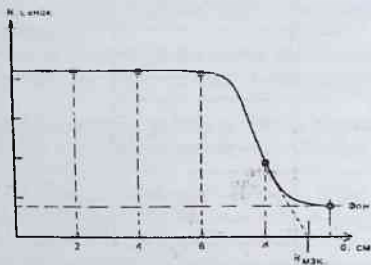




3-rasm. Tajribaning geometriyasi va blok-sxemasi



4-rasm.  $^{226}\text{R}$  radionuklididan chiqayotgan alfa spektrlar



5-rasm. Tajriba natijalarining grafik tasviri

### Nazorat savollari:

1.  $\alpha$ -zarrachalari moddalardan o'tishida modda atomlari bilan qanday ta'sirlashadi?
2.  $\alpha$ -zarrachalarini yadrolardan ajralib chiqishini tushuntirib bering?
3. Geyger va Netoll ifodasini izohlab bering?
4. Tajriba geometriyasi va blok-sxemasini tushuntirib bering?
5. Tajriba ketma-ketligi qanday tartibda amalga oshiriladi?
6. 4-rasmda ko'rsatilgan  $^{226}\text{Ra}$  radionuklididan chiqayotgan alfa spektrlarni tushuntirib bering?
7. Tunnel effektini tushuntirib bering?
8. Tajribada nima sababdan  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi bilan Si-detektor orasidagi masofa oshirilib borildi?
9. Grafikdan  $R_{\text{max}}$  qiymati qanday aniqlandi?
10. Nima sababdan  $\alpha$ -zarrachalar spektrlari chiziqli bo'ladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. A.P. Kondrashov, Ye.V. Shestopalov//Osnovy fizicheskogo eksperimenta i matematicheskaya obrabotka rezultatov izmereniy, Atomizdat, 1977.
2. Pod red. K.G. Finogenova//Laboratornyy praktikum po eksperimental'nyim metodam yadernoy fiziki, M., Energoatomizdat, 1986.
3. K. Klaynknext//Detektory korpuskulyarnyx izlucheniyy, izd. "Mir" M., 1990.
4. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusевич//Osnovy eksperimental'nykh metodov yadernoy fiziki, M., Energoatomizdat, 1985.

## № 22. Laboratoriya ishi

### Gamma nurlarining qo'rg'oshinli to'siqdagi kuchsizlanishini o'rganish

**Isbdan asosiy maqsad:** Gamma nurlarini qo'rg'oshin elementida kuchsizlanishini o'rganish.  $\gamma$ -manbasi sifatida  $^{60}\text{Co}$  radionuklidi ishlatiladi.

**Kerakli jibozlar:**  $\gamma$ -nurlanish manbai, detektor,  $\gamma$ -spektrometr, kollimatorlar, turli qalinlikdagi qo'rg'oshin plastinkalar.

**Nazariy qismi:** Gamma nurlanish elektromagnit to'lqinlar hisoblanadi. Moddalardan o'tishida  $\gamma$ -nurlari atomning elektronlari va yadrolari bilan ta'sirlashadi, natijada  $\gamma$ -nuri oqimining quvvati kamayadi. Gamma kvantining energiyasi  $0 \div 10$  MeV soha oraliklarida fotoeffekt, Kompton effekt va elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi kabi jarayonlar sodir bo'ladi. Gamma kvantining energiyasi 10 MeV dan katta bo'lganda esa fotoyadro reaksiyalari yuz beradi.

Fotoyadro reaksiyalariga ( $\gamma, p$ ), ( $\gamma, n$ ) va ( $\gamma, \alpha$ ) jarayonlari kiradi. ( $\gamma, p$ ) va ( $\gamma, n$ ) reaksiyalariga yadro fotoeffekti deb ham yuritiladi.

### Fotoeffekt

Fotoeffekt hodisasida  $\gamma$ -kvant atomning elektronlari bilan ta'sirlashadi. Elektron atomiga bog'langan deb olinadi, Gamma kvantining energiyasi elektronni atomga bog'lanish energiyasiga teng va undan katta bo'lgan holatlarda bu jarayon sodir bo'ladi. Fotoeffektda foton atomga yutiladi va elektron uzilib chiqadi. 1-rasmda Fotoeffekt hodisasi tasvirlangan. Fotoning energiyasi to'liq uzatiladi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra foton energiyasining bir qismi elektronni atomidan uzish energiyasiga qolgan energiya esa elektronning kinetik energiyasiga sarflanadi.

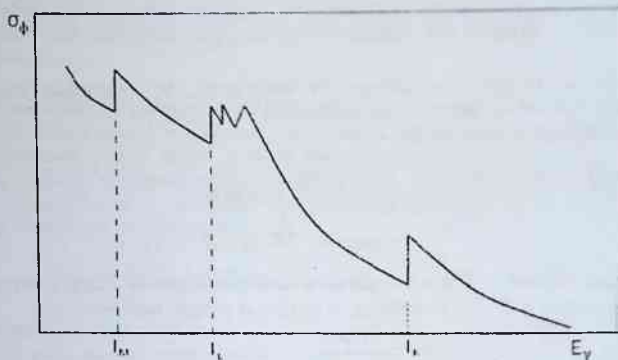
$$E_e = E_\gamma - I_e, \quad (1)$$

bu yerda  $E_\gamma$ -gamma kvantining energiyasi,  $I_e$ - atom qobiqlaridagi ionlashtirish potentsiali,  $E_e$  - uzilib chiqqan elektronning kinetik energiyasi. Agar  $E_\gamma < E_k$  bo'lsa fotoeffekt L-, M- va boshqa qobiqlarda yuz berishi mumkin. Agar  $E_\gamma < I_L$  bo'lsa, fotoeffekt M-, N- va boshqa qobiqlarda yuz beradi. Agar  $E_\gamma < I_e$  bo'lsa i-qobiqda fotoeffekt jarayoni yuz bermaydi. Agar  $E_\gamma > I_e$  bo'lsa va  $E_\gamma$  ortib borishida fotoeffektning ro'y berish ehtimolligi kamayib boradi. Buni  $E_\gamma$  va  $I_e$  energiyalarini bir-biriga solishtirish orqali izohlab berish mumkin.  $E_\gamma > I_e$  munosabatida  $E_\gamma$  energiyasining ortib borishida atomning i-qobig'ida joylashgan elektron erkin elektron holatiga yaqinlashadi va  $\sigma_f$  kesim kattaligi kamayadi. Bu aytilgan mulohazalar tajriba va nazariya orqali o'z tasdig'ini topgan. Gamma kvantning katta energiyalarida  $\sigma_f$  kesimi kichik. Kvant energiyasining kamayib borishida  $\sigma_f$  kesim kattaligi ortib boradi va  $E_\gamma = I_e$  ga teng bo'lganda  $\sigma_f$  kesim kattaligini keskin kamayishi kuzatiladi. Bunga sabab  $E_\gamma < I_e$  bo'lganda k-qobiqdagi elektronni uzib chiqarishga qodir bo'lmaydi. Gamma kvanti energiyasining keyingi kamayib borishida  $\sigma_f$  kesim kattaligini yana ortib borishi kuzatiladi va  $E_\gamma = I_L$  ga teng bo'lganda  $\sigma_f$  kesim kattaligida yana kamayish kuzatiladi. Bu hodisa shu tariqa keyingi qobiqlardagi elektronlarda ham kuzatiladi. Bo'shab qolgan elektronning joyiga yuqori qobiqlardagi elektronlarning o'tishi natijasida rentgen nurlanishi yoki Oje elektronlarining chiqishi kuzatiladi. Oje elektronlarining chiqishi atomning uyg'ongan energiyasini to'g'ridan-to'g'ri atomdagi elektronga uzatilishi orqali ro'y beradi. Fotoeffekt hodisasi erkin elektronlarda sodir bo'lmaydi. Buni energiya va impulsning saqlanish qonunlari asosida izohlash mumkin. 27-rasmda Fotoeffekt kesim kattaligini gamma kvant energiyasiga bog'liqligi ko'rsatilgan. Fotoeffekt hodisasini chuqur o'rganish orqali quyidagi bog'lanishlar aniqlandi:

$$\sigma_\Phi \sim \frac{Z^3}{E_\gamma}, \text{ bu bog'lanish o'rinli quyidagi shart bajarilsa, } E_\gamma \gg I_k$$

bu yerda Z-moddaning zaryadi.

$\sigma_{\phi} \sim \frac{Z^5}{E_{\gamma}^{7/2}}$ , bu bog'lanish o'rinli quyidagi shart bajarilsa,



1-rasm. Fotoeffekt kesim kattaligini gamma kvant energiyasiga bog'liqligi

Yuqorida aytib o'tilgan fikrlarga asosan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

1. Fotoeffekt jarayoni og'ir yadrolarda katta ehtimollik bilan sodir bo'ladi.
2. Gamma kvantining past energiyalarida asosan fotoeffekt jarayoni yuz beradi.
3. Gamma kvantining yuqori energiyalarida fotoeffekt jarayoni yuz bermaydi. Gamma kvantning energiyasi 10 Mev dan ortiq bo'lgan holatlarda fotoeffekt hodisasi umuman kuzatilmaydi.

### Kompton effekt

Kompton effektida gamma kvanti erkin elektron bilan ta'sirlashadi. Atomdagi elektronni erkin deb faraz qilishimiz mumkin, qachonki,  $Ye_{\gamma} > E_{\text{at}}$  shart bajarilsa. Bu jarayonda  $\gamma$  -kvant energiyasining bir qismi tepki elektronning kinetik energiyasiga aylanadi. Foton qolgan energiyasi bilan sochiladi. Kompton effektida  $\gamma$  -kvantning sochilish ehtimolligi muhit atomidagi elektronlarning zichligiga bog'liq bo'ladi ( $n_e \sim Z$ ). Kompton effekti jarayonining kesim kattaligi quyidagi nisbatga bog'liqdir.

$$\sigma_{\text{KOMPT}} \sim Z/E_{\gamma} \quad (2)$$

Kompton effekti na faqat tinch turgan elektronlarda, balki harakandagi elektronlarda ham sodir bo'ladi.

Energiya va impulsning saqlanish qonunlariga asosan quyidagi tenglamalarni keltirib chiqaramiz. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra:

$$h\nu_0 = h\nu + E_e, \quad (3)$$

bu yerda  $h\nu_0$ -fotonning boshlang'ich energiyasi;  $h\nu$ - sochilgan fotonning energiyasi;  $E_e$ -tepki elektronning energiyasi.

Impulsning saqlanish qonuniga ko'ra:

$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cdot \cos \varphi + \frac{E_e}{c} \cdot \cos \theta \quad (4)$$

va

$$\frac{h\nu}{c} \cdot \sin \varphi - \frac{E_e}{c} \sin \theta = 0.$$

Agar birlamchi foton energiyasini elektronning tinchlikdagi energiyasiga ( $m_0 c^2$ ) nisbatini  $\alpha$  — deb belgilasak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\alpha = \frac{h\nu_0}{m_0 c^2}, \quad (5)$$

Tepki elektronni olgan energiyasini quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$E_e = h\nu_0 \frac{\alpha(1 - \cos \varphi)}{1 + \alpha(1 - \cos \varphi)}, \quad (6)$$

Elektrondan sochilgan fotonning energiyasi ushbu ifoda yordamida aniqlanadi:

$$h\nu = h\nu_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \varphi)}, \quad (7)$$

Sochilgan foton dastlabki yo'nalishiga nisbatan hohlagan yo'nalishni olishi mumkin. Sochilish burchagiga qarab sochilgan foton va tepki elektron orasida energiya taqsimlanadi. Agar sochilish burchagi  $\varphi = 0$  bo'lsa, sochilgan foton birlamchi foton yo'nalishida bo'ladi va bunda energiyasini o'zgartirmaydi. Sochilish yuz bermaydi. Agar  $\varphi = 180^\circ$  bo'lsa, foton orqaga qarab sochiladi. Bunda sochilgan fotonning energiyasi eng kichik bo'ladi:

$$h\nu_{\text{min.}} = h\nu_0 \cdot \frac{1}{1 + 2\alpha}. \quad (8)$$

Agar foton  $\varphi = 90^\circ$  ga sochilgan bo'lsa, sochilgan fotonning energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$h\nu = \frac{h\nu_0}{(1 + \alpha)} \quad (9)$$

Foton bir-nechta to'qnashishlar natijasida o'z energiyasini kamaytirib borib, so'ngra fotoeffekt jarayonini sodir etadi. Bundan tashqari tepki elektronlari

shunday energiyaga ega bo'lishlari mumkinki, ular atomdagi elektronlarni urib chiqarish qudratiga ham ega bo'lib qoladi.

Gamma nurlarining dozasini hisoblashda va ulardan himoyalaniish choralarni ishlab chiqishda yuqorida ko'rib o'tilgan jarayonlarga katta o'tibor berish lozimdir.

### Elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi

Agar fotonning energiyasi 1,02 MeV dan katta bo'lsa, uchunchi jarayon elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi kuchga kiradi. Foton atom yadrosi maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qiladi. Fotonning bir qism energiyasi tepki yadroga uzatiladi. Energiyaning saqlanish qonuni bo'yicha quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$h\nu_0 = 1,02 \text{ M}\text{eB} + \varepsilon^+ + \varepsilon^- \quad (10)$$

Elektron-pozitron juftini hosil bo'lish jarayoni bo'shliqda sodir bo'lmaydi. Bu jarayonni yuz berishi uchun albatta yadro yoki elektron bo'lishi kerak. Zarrachalar o'rtasida energiya taqsimlanadi. Birinchi holat: Fotonni yadro maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilishidagi energiya taqsimoti. Bunda tepki yadroni olgan energiyasi nihoyat darajada kichik bo'lganligi uchun uni hisobga olmasa ham bo'ladi. 2a-rasmda fotonni yadro maydoni ta'siridagi elektron-pozitron juftini hosil qilish jarayoni ifodalangan. Rasmda tepki yadro ko'rsatilmagan. 2b-rasmda fotonni elektron maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilish jarayoni ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, elektron va pozitron zarrachalaridan tashqari tepki elektroni ham bor. Bunga uchlama hodisa deyiladi. Ko'rsatib o'tilgan hodisalardan tashqari, yana quyidagi jarayonlar ham kuzatilishi mumkin.

Ikkita fotonning ta'sirlashishida elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi. Bu jarayon yuz berishi mumkin qachonki, fotonlarning yig'indi energiyasi

$$E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} > 2m_e c^2 \quad (11)$$

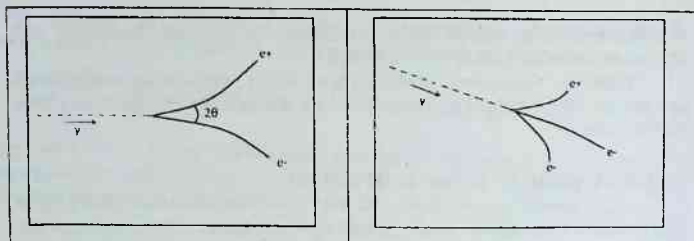
elektronni tinchlikdagi energiyasining ikkilanganidan katta bo'lsa.

Ikkita elektronlarning o'zaro to'qnashishida ham elektron-pozitron jufti hosil bo'lishi mumkin. Bu hodisani sodir bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$E_e \geq 7 m_e c^2 \quad (12)$$

Umuman olganda elektron-pozitron juftini hosil bo'lishining kesim kattaligi quyidagi bog'lanishga ega:

$$\sigma_{\text{xy}\phi\tau} \sim Z^2 \cdot \ln 2 E_\gamma \quad (13)$$



(a)

(b)

2-rasm. Fotolni maydon ta'sirida sodir qiladigan jarayonlari: (a)- fotolni yadro maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilishi, (b)- foton elektron maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilishi

### Gamma nurlarini moddalardan o'tishidagi to'liq kesim kattaligini hisoblash

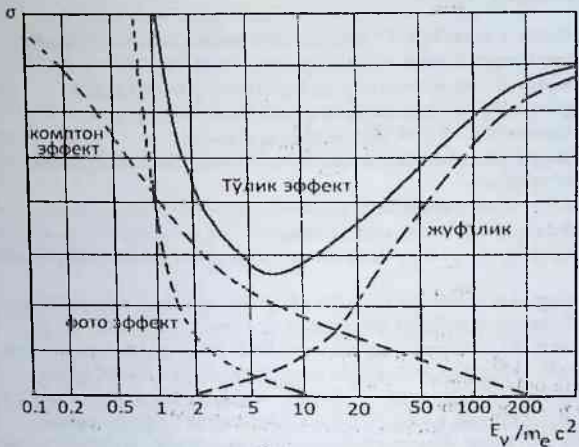
Gamma nurlarini moddalardan o'tishida sodir bo'ladigan fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftini hosil bo'lishi jarayonlarini birgalikda ko'rish kerak.  $\gamma$ -kvantning energiyasiga qarab bu jarayonlarning kesim kattaliklari turlicha bo'ladi. To'liq kesim kattaligi fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftining hosil bo'lish jarayonlarining kesim kattaliklarining yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\sigma_{\text{t\`ul}} = \sigma_{\text{fot.}} + \sigma_{\text{komp.}} + \sigma_{\text{жуфт.}} \quad (14)$$

To'liq kesim kattaligini tashkil etuvchilarning kesim kattaliklari gamma kvantning energiyasiga va muhitning zaryadiga bog'liq holatda o'zgaradi.  $\gamma$ -kvantning past energiyalarida asosan fotoeffekt hodisasi ro'y beradi. Oraliq energiyalarda esa kompton effektining hissasi katta bo'ladi. Yuqori energiyalarda elektron –pozitron juftini hosil bo'lish jarayonining qo'shgan hissasi katta bo'ladi.

Gamma nurlaridan himoyalash vositasi sifatida asosan qo'rg'oshin ishlatiladi. Shu sababli qo'rg'oshinda fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftini hosil bo'lish jarayonlarining kesim kattaliklari turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarda yaxshi o'rganilgan.

3-rasmda qo'rg'oshin elementi uchun to'liq va fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftini hosil bo'lish jarayonlarining kesim kattaliklari berilgan.



3-rasm. Qo'rg'oshin elementi uchun to'liq va uni tashkil etuvchilarning kesim kattaliklari

### Tajriba qismi:

1. 4-rasmda ko'rsatilgan tajribaning blok sxemasini yig'ish. Kollimator sifatida qo'rg'oshindan foydalanish. Kollimatorning diametri 4-6 mm bo'lishi yetarlidir.
2. Detektor sifatida ssintillyatsion yoki yarim o'tkazgichli detektordan foydalanish mumkin.
3. Gamma manbasi sifatida  $^{137}\text{Cs}$  yoki  $^{60}\text{Co}$  izotoplarini ishlatilish mumkin.
4. Qalinliklari 2-4 mm bo'lgan qo'rg'oshin plastinkalari kerak bo'ladi (10 dona).



3-rasm. Tajribaning blok sxemasi



## Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Tajriba qurilmasi 3-rasmda ko'rsatilgan blok sxema asosida yig'iladi. Taxribada gamma spektrometri ishlatiladi.
2. Nurlanish manbai va detektor oraligiga kollimator joylashtiriladi. Kollimatorning uzunligi 5-8 sm bo'lishi yetarlidir.
3. Gamma spektrometr va EHM tok manbaiga ulanadi.
4. Detektorga yuqori kuchlanish asta-sekinlik bilan beriladi. Belgilangan kuchlanishda to'xtatiladi.
5. EHM o'lchash rejimiga keltiriladi.
6. Detektor oldiga gamma manba qo'yiladi.
7. EHM ning ekranida  $\gamma$ -spektr paydo bo'ladi. Spektr EHM hotirasiga yozib qo'yiladi.
8. Kollimatorning oldi tamoniga birinchi plastinka qo'yiladi va  $\gamma$ -spektr o'lchanadi. Olingan spektr EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.
9. Kollimatorning oldi tamoniga qo'shimcha ikkinchi plastinka qo'yiladi va  $\gamma$ -spektr o'lchanadi. Olingan spektr EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.
10. Kollimatorning oldi tamoniga qo'shimcha uchinchi plastinka qo'yiladi va  $\gamma$ -spektr o'lchanadi. Olingan spektr EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.
11. O'lchashlar shu tariqa davom etadi. Spektarning intensivligi har bir plastinka qo'yilganida kamayib boradi.
12. Olingan spektrlar tahlil qilinib, kuchsizlantirish grafigi chiziladi.

## Tajriba natijalari:

Tajriba natijalari ushbu jadvalda beriladi.

1-tajriba natijalari

No	Qo'rg'oshin plastinkasining qalnligi, mm	Sanoq tezligi, N/t
1	0,2	
2	0,4	
3	0,6	
4	0,8	
5	1,0	
6	1,2	
7	1,4	
8	1,3	
9	2,0	
10	2,2	

## Nazorat savollari:

1. Fotoeffekt hodisasini tushintirib bering.
2. Nima sababdan tajribada kollimator ishlatiladi?
3. Kompton effekt hodisasini tushintirib bering.

4. Ikki elektronlarning o'zaro ta'qashishida ham elektron-positron jufti hosil bo'lishi mumkinmi?
5. Kompton effekt jarayonining kesim kattaligi modda atomining zaryadiga qanday bog'langan?
6. Fotoeffekt hodisasining kesim kattaligi modda atomining zaryadiga qanday bog'langan?
7. Ikki fotonning ta'sirlashishida elektron-positron juftini hosil bo'lishi mumkinmi?
8. Oje elektronlarining chiqishi qanday holatlarda kuzatiladi?
9.  $\gamma$ -kvantning past energiyalarida asosan qaysi jarayon soxir bo'ladi?
10. To'liq kesim kattaligi nimani anglatadi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Marusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
3. Pod redaktsiyey K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimental'nomu yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
4. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
5. M.A. Baturiskiy // " Vzaimodeystviye ioniziruyuyemogo izlucheniya s veshestvom", Minsk, 2005.

## № 23. Laboratoriya ishi

### Zarrachalarning moddalardan o'tishi davomida yo'qotgan energiyasini aniqlash

**Tajribadan asosiy maqsad:** Zarrachalarni moddalardan o'tishi davomida yo'qotgan energiyasini hisoblash. Yo'qotilgan energiyani hisoblash programmasini ishlatish yo'llarini o'rganish.

**Nazariy qismi:**

#### ZARRACHALARNING MODDALARDAN O'TISHIDA YO'QOTGAN ENERGIYANI.

Zarrachalarning moddalardan o'tishi davomida yo'qotgan energiyasini hisoblashdan oldin. Nurlanishni komputatsiya yuki elektronuymon birligini tegishli ekanligini aniqlash kerak. Komputatsiya natijasida zaryadli va zaryudsiz

zarrachalardan tashkil topishi mumkin. Yuqorida ko'rib o'tilgan nurlanishlarni ikki guruhga ajratishimiz mumkin: korpuskulyar va elektromagnit nurlanishlar.

### Korpuskulyar nurlanish

Bu guruhga kiruvchi zarrachalarni ko'rib o'tamiz.

1. Alfa nurlanish. Geliy atomining yadrosi. Qo'rg'oshindan og'ir bo'lgan yadrolarning parchalanishida va yadro reaksiyalarida alfa nurlanish sodir bo'ladi.
2. Beta-nurlanish. Elektron va pozitron zarrachalari. Yengil elementlardan tortib og'ir elementlargacha bo'lgan yadrolar  $\beta$ -parchalanishni sodir etishi mumkin.
3. Kosmik nurlanishlar. Yer sirtiga kosmosdan yetib keladi. Uning asosiy tarkibi proton va geliy yadrosidan iborat. Og'ir tashkil etuvchilarining qiymati 1% dan kichik. Kosmik nurlanishlar atmosfera qatlami ichiga kirib borib, gaz atomlari bilan ta'sirlashib, ikkilamchi nurlanishni yuzaga keltiradi (mezonlar, gamma kvantlar, neytronlar va boshq.).
4. Neytronlar. Yadro reaksiyolari natijasida hosil bo'ladi.
5. Bo'linish mahsulotlari. Yadro chiqindilari. Yadro energetikasi. Og'ir yadroning bo'linishi.
6. Protonlar va ionlar. Turli ko'rinishdagi tezlatkichlar.

### Elektromagnit nurlanishlar

Elektromagnit nurlanishlarmanbai juda ko'p. Ular keng energiya oraliklarini o'z ichiga oladi. Atom yadrolarining gamma nurlanishi, elektronlarning tormizlanishidagi nurlanishi va radioto'lqinlar kiradi. 1-jadvalda elektromagnit to'lqinlarning xarakteristikalari berilgan.

1-jadval. Elektromagnit to'lqinlar xarakteristikasi

Nurlanish manbai	Energiya, eV	To'lqin uzunligi, m	Chastota, Gs
Tormizlanishdagi nurlanish	$10^9$	$10^{-16}$	$10^{24}$
Gamma nurlanish	$10^5$	$10^{-12}$	$10^{20}$

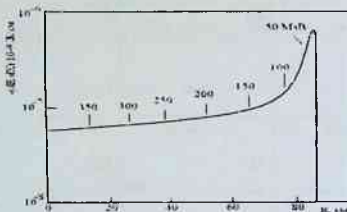
Rentgen nurlanish	$10^3$	$10^{-10}$	$10^{18}$
Ultrabinafsha nur	$10^1$	$10^{-8}$	$10^{16}$
Ko'rinuvchi nur	$10^{-1}$	$10^{-6}$	$10^{14}$
Infraqizil nur	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{12}$
Qisqa to'lqinli nur	$10^{-5}$	$10^{-2}$	$10^{10}$
O'ta yuqori chastotali nur (O'YuCh)	$10^{-7}$	1	$10^8$
Yuqori chastotali radioto'lqin (YuCh)	$10^{-9}$	$10^2$	$10^6$
Past chastotali radioto'lqin (PCh)	$10^{-11}$	$10^4$	$10^4$

Nurlarning moddalarga ko'rsatgan ta'siri, zarrachalarni moddadan o'tishida yo'qotgan energiyasi orqali belgilanadi. Turli nurlar moddalar bilan turlicha ta'sirlashadi. Keyigi bo'limda shu masalaga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Korpuskulyar va elektromagnit nurlanishlar moddadan o'tganda doimo o'z energiyasini yo'qotadi, boshqacha qilib aytganda energiyasining bir qismi modda atomlariga uzatiladi. Nurlanish dozasini hisoblashda shu yo'qotilgan energiyani bilish lozim bo'ladi. Yo'qotilgan energiya ( $\Delta E$ ) zarrachaning turiga, massasiga, energiyasiga va zaryadi bor yoki yo'qligiga bog'liqdir. Shu sababli yo'qotilgan energiyani ( $\Delta E$ ) hisoblashni og'ir va yengil zarrachalar, neytronlar va elektromagnit nurlanishlar uchun alohida ko'rib chiqamiz.

### Og'ir zaryadli zarrachalarni moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasini hisoblash

Og'ir zaryadli zarrachalarga protonlarni, deytrolarni, tritonlarni,  $^3\text{Ne}$  va  $^4\text{Ne}$  zarrachalarini, yadrolarni parchalanishida hosil bo'lgan yadro bo'laklarini kiritish mumkin. Og'ir zaryadli zarrachalar asosan modda atomlarining elektronlari bilan ta'sirlashadi va atomni ionlashtiradi. Hisob ishlarini

reletivistik bo'lmagan holat uchun amalga oshiramiz ( $V \ll C$ ).  $V$ -tezlik bilan harakatlanayotgan og'ir zarracha, tinch turgan elektronga bir marta ko'rsatgan ta'sirida yo'qotgan energiyasi  $\Delta E_{\text{max}} = 2m_e V^2$  ga teng bo'ladi. Og'ir zarracha moddadan o'tib borishida ko'p karrali ta'sirlashib, o'z energiyasini asta-sekinlik bilan kamaytirib boradi. Ionlashtirishga sarflangan solishtirma energiya moddaning tormozlash qobiliyati orqali beriladi ( $dE/dx$ ). Moddaning tormozlash qobiliyati zarrachaning energiyasiga bog'liq. Yo'qolishdagi solishtirma energiyaning qiymati zarracha kinetik energiyasining kamayishida ortib boradi. Zarrachani modda ichida energiyasini to'liq yo'qotguncha yurgan yo'lga bosib o'tilgan yo'l ( $R$ ) deyiladi. 1-rasmda yo'qolishdagi solishtirma energiya qiymatini zarracha kinetik energiyasiga bog'liqligi ko'rsatilgan.



1-rasm. Yo'qolishdagi solishtirma energiya qiymatini zarrachaning kinetik energiyasiga bog'liqligi

Og'ir zarrachalarni ionlashtirishga sarflangan solishtirma energiyasini quyidagi ifoda orqali topish mumkin. Bunda quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$E \ll (M/m_e)Mc^2;$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n_e z^2 e^4}{1.6 \cdot 10^{-12} m_e v^2} \cdot$$

$$\cdot \left[ \ln \frac{2m_e v^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \text{эВ} \cdot \text{см}^{-1} \quad (1)$$

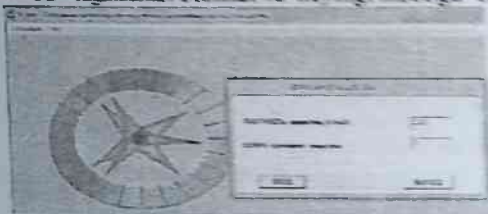
bu yerda  $M$ -zarrachaning massasi (g),  $e$ - elektron zaryadi ( $4.8 \cdot 10^{-10}$  SGSE birligida),  $Z$ -zarrachaning zaryadi (elektron zaryadi birligida),  $v$ -zarracha tezligi (sm/sek),  $s$ - yorug'lik tezligi (sm/sek),  $n_e$ - moddaning 1  $\text{sm}^3$  dagi elektronlar soni,  $m_e$ -elektronning massasi(g),  $\beta = v/c$ ,  $I$ - modda

atomlarini o'rtacha ionizatsiya energiyasi  $I = 235 \cdot Z$ ,  $Z$  element atom yadrolarining zaryadi.

Hisob ishlari deytrom energiyasini  $S$  elementidan o'tishda yo'qolgan energiyasini aniqlashga qaratiladi. Deytromning energiyasi 14 MeV ga tengdir. Hisob ishlari "LOSS" programmasi yordamida bajariladi.

### Hisobni amalga oshirish tartibi:

1. Birinchi bosqichdamoddaga tegishli ma'lumotlar kiritiladi. Uning zichligi va modda tarkibidagi turli tashkil etuvchilari. Masalan: birinchi bosqichda toza Si elementi ishlatilgan bo'lsa, uning zichligi 2.33 ga teng. Toza bo'lganligi uchun 1 soni qo'yiladi. Bu kiritilgan ma'lumotlar 1-rasmda berilgan. "VVOD" tugmachasi bosiladi va keyingi hisobga o'tiladi.



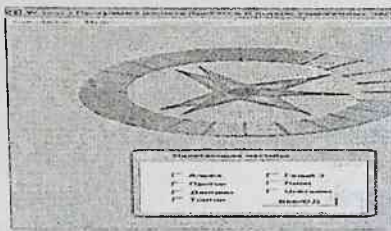
1-rasm. Moddaning zichligi va tarkibiga tegishli ma'lumotlar

2. Ikkinchi bosqichdamoddaga tegishli keyingi ma'lumotlar beriladi. Masalan: Si elementi uchun quyidagi kattaliklar: zaryadi-14, atom massasi-28, modda tarkibidagi turli tashkil etuvchilarning miqdori, toza Si bo'lganligi uchun 1 soni beriladi. Berilgan sonlar 2-rasmda berilgan. "VVOD" tugmachasi bosiladi va keyingi hisobga o'tiladi.



2-rasm. Moddaga tegishli bo'lgan ma'lumotlarning berilishi

3. Uchinchi bosqichda qaysi zarracha uchun yo'qotilgan energiyani topish kerakligi beriladi. Masalan: deytron uchun amalga oshiraylik. Buning uchun sichqoncha yordamida deytron yozuvi oldiga belgi qo'yiladi. 3-rasmda qaysi zarracha uchun yo'qotilgan energiyani topish kerakligi berilgan.



3-rasm. Qaysi zarracha uchun yo'qotilgan energiyani topish

4. To'rtinchi bosqichda moddaga kelib tushayotgan zarrachaning energiyasi beriladi. Masalan: deytronning energiyasi 14 MeV ga teng bo'lsin. Bunda 14 soni terilib "VVOD" tugmachasibosiladi va keyingi hisobga o'tiladi. 4-rasmda kiritilgan 14 soni ko'rinib turibdi.



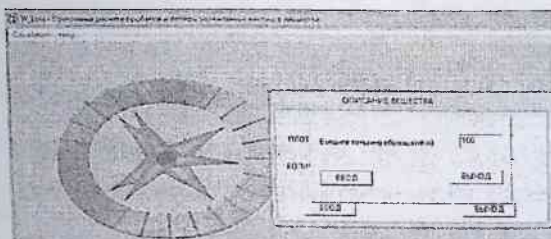
4-rasm. Zarracha energiyasining berilishi

5. Beshinchi bosqichda zarrachaning modda ichiga kirib borish chuqurligi (bosib o'tilgan yo'lini) yoki yo'qotgan energiyasini topish so'raladi. Sichqoncha yordamida kerakli komanda tanlanadi. Komanda oldiga belgi qo'yiladi. Masalan: «poteri energii v vechestve» oldiga belgi qo'yilgan bo'lsin. 5-rasmda qaysi kattalikni topish kerakligi berilgan. "VVOD" tugmachasi bosiladi va hisob ishlari keyingi bosqichga o'tadi.



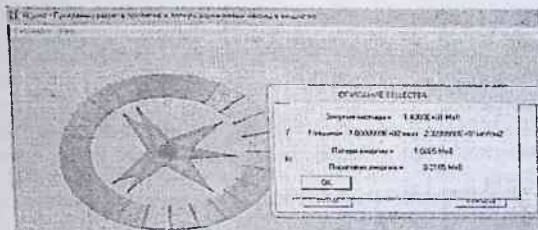
5-рasm. Qaysi kattalikni topish kerakligi berilgan.

6. Oltinchi bosqichda, moddaning qalinligi beriliishi lozim (mkm). Masalan: kremniy elementining qalinligi 100 mikronga teng bo'lsin. Bunda 100 soni teriladiva "VVOD" tugmachasi bosiladi. 6-rasmda berilgan ma'lumotlar ko'rsatilgan. Hisob ishlari yakunlanadi.



6-рasm. Modda qalinligini berish

7. Yettinchi bosqichda hisob natijalari olinadi.



7-рasm. Hisob natijalari



7-rasmdan ko'rinib turibdiki, energiyasi 14 MeV bo'lgan deytronlar qalinligi 100 mikron bo'lgan kremniy elementidan o'tganda 1,09 MeV ga teng bo'lgan energiyasini yo'qotadi.

### Nazorat savollari

1. Zarrachaning yo'qotgan energiyasi qanday kattaliklarga bog'liq.
2. Agar modda tarkibi aralashmadan iborat bo'lsa, zarrachaning yo'qotgan energiyasini topishda nimalarni hisobga olish lozim.
3. Yo'qolishdagi solishtirma energiya qiymatini zarracha kinetik energiyasining kamayishida ortib borishini qanday izohlash mumkin.
4. (1)-ifodani tushintirib bering.
5. O'rtacha ionlashtirish energiyasi nima va u qanday aniqlanadi.
6. Bu programmani elektron zarrachasi uchun ishlatish mumkinmi.
7. Zarrachalar moddalardan o'tayotganda qanday jarayonlarni sodir etadi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. S.V. Starodubsov // Polnoe sobiran. nauch. trud., tom.2, 1975
2. N.N. Pucherov, S.V. Romanovskiy, T.D. Chesnokova // Tablitsy massovoy tormoznoy sposobnosti i bosib o'tilgan yo'lov zaryajennyx chastis s energiyey 1-100 MeV, Izd. « Naukova dumka», Kiev, 1975.
3. O.F. Nemes, Yu.V. Gofman // Spravochnik po yadernoy fizike, 1975.

## № 24. Laboratoriya ishi

### Moddaning mexanik xossalari ga ionlashtiruvchi nurlarning ta'siri

**Ishdan asosiy maqsad:** turli materiallarning (rezina, qog'oz, mato, teri, polietilen plyonka, ip va boshq.) uzilish yuklamalarining qiymatini yutilish dozasi ga bog'liq bo'lishligini o'rganish. Namuna sifatida ipakdan tayyorlangan ip tolalari ishlatildi.

**Kerakli jihozlar:** ionlashtiruvchi nurlar manbai, PARAM XLW (PC) rusumli uzish mashinasi, qalinlikni o'lchagich, chizg'ich, qaychi, har xil diametrlilik ipak tolalari, Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometri, V3002 rusumli radioxromlik plyonkali detektor (0.55÷86 kGr), haroratni boshqaruvchi isitish qosqoni (xona haroratidan ~100 °S gacha), kompyuter.

**Nazariy qismi:** hozirgi vaqtda ko'pgina mahsulotlarning mexanik xususiyatlari nurlanish ta'siri (elektronlar oqimi yoki gamma nurlari bilan) orqali ularning mexanik xossalari yaxshilanmoqda. Bundan tashqari tibbiyot mahsulotlarini sterilizatsiya qilish ishlari amalga oshirilmoqda. Ionlashtiruvchi nurlar moddalar bilan ta'sirlashib, ularning molekulari orasidagi bog'lanishni uzadi va natijada ularning mustahkamligi o'zgaradi. Shu sababli nurlanish ta'siri yordamida sterilizatsiya qilinayotgan yoki ishlov berilayotgan mahsulotlarning mustahkamligini o'rganish katta ahamiyat kasb etadi. Ishlab chiqarishda rezina, qog'oz, mato, gazlama, teri, polietilen plyonka hamda ip tolalarining mustahkamligini o'rganish katta ahamiyatga egadir. Bu yo'nalishdagi ishlar 1940 yillardan boshlangan. Polimer mahsulotlarining paydo bo'lishi bu yo'nalishdagi ishlarni tez suratlar bilan rivojlanishiga turtki bo'ldi. Bunga misol qilib polietilenni ko'rsatish mumkin. Bu amalda juda ko'p ishlatiladigan materialdir. Bu material o'zining ximiyaviy chidamliligi, namlikka bo'lgan chidamliligi va yuqori dielektrik xususiyatiga ega bo'lishligi bilan boshqa materiallardan ajralib turadi. Lekin uning bitta asosiy kamchiligi bor. Polietilennning harorati ortib borgan sari uning mexanik mustahkamligi kamayib boradi. 80° S haroratda mexanik mustahkamligi keskin kamayadi. Harorat 105° S ga yetganda erish protsessi boshlanadi. Nurlanish ta'sirida bu kamchiliklarga barham berildi. Buni quyidagicha izoxlash mumkin. Nurlanish dozalari ta'sirida modda molekulari o'rtasida ko'ndalang bog'lanishlarning paydo bo'lishligidir. Olib borilgan tajriba ishlari shuni ko'rsatdiki, nurlantirish dozasining qiymati bir necha o'n megarad bo'lganda polietilennning erish harorati ~110° S ga ko'tarildi. Moddalarni nurlantirishda elektron tezlatkichlari juda qulay qurilma hisoblanadi. Keyingi vaqtlarda tekstil materiallarini ham nurlantirish ishlari yo'lga qo'yildi. Bu ishlarni bajarishda nurlanish dozasining qiymati 0,5÷5 Mrad oraligida olindi. Paxta va sintetik materiallardan tayyorlangan mahsulotlar ham nurlanishdan o'tkazila boshlandi. Bu sohada Yaponiyada ham bir qator ishlar amalga oshirildi. Nurlanishdan o'tkazilgan tekstil materiallarda eskirishga bo'lgan chidamliligi ortganligi kuzatildi. Bundan tashqari mikroorganizmlarga va bakteriyalarga bo'lgan chidamliligi ham ko'tarildi.

Yuqorida keltirilgan materiallarning mustahkamligi uzilish yuklamalarini o'lchash bilan aniqlanadi. Uzilish yuklamasi – materialning cho'zilish vaqtida uning uzilish paytidagi eng katta kuchlanishdir. Uzilish yuklamasi – Nyuton (N) va kilogramm-kuch (kgk) birliklarida o'lchanadi. Materialning uzilish yuklamasini bilgan holda uzilish paytidagi mexanik kuchlanishni aniqlash mumkin:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

bu yerda, F – uzilish yuklamasi, S – namunaning ko'ndalang kesim yuzasi.

Berilgan mexanik kuchlanish qiymatida har xil nisbiy uzayishga mos keluvchi elastiklik moduli qiymatlarini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

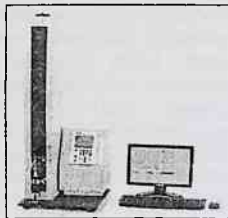
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (2)$$

bu yerda  $\varepsilon$ -nisbiy uzayish kattaligi, u quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\varepsilon = \Delta L/L, \quad (3)$$

bu yerda L-materialning boshlang'ich uzunligi,  $\Delta L$ - tashqi kuch ta'sirida materialning boshlang'ich va oxirgi uzunliklarining ayirmasi.

PARAM XLW (PC) rusumli mikrokompyuterli avtomatik uzish mashinasi rezina, qog'oz, mato, teri, polietilen plyonka, tasma hamda ip kabi materiallarning fizik – mexanik xossalarini o'zgarishini aniqlashga imkon yaratib beradi (1 – rasm).



1 – rasm. PARAM XLW (PC) rusumli mikrokompyuterli avtomatik uzish mashinasi

PARAM XLW (PC) rusumli mikrokompyuterli avtomatik uzish mashinasining harakatlanuvchi qisqichining yurish yo'lining uzunligi 1000 mm, 7 ta harakatlanish tezligi mavjud: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 500 mm/min. Mashinaning uzish yuklamasi 0÷500 N, namuna joylashtiriladigan qisqichning kengligi 0÷50 mm.

#### Tajriba qismi:

1. Ionlashtiruvchi nurlar manbai sifatida gamma nurlanish manbai  $^{60}\text{So}$  izotopidan yoki "Elektronika U-003" elektron tezlatkichidan foydalaniladi.
2. Uzilish yuklamasini aniqlashda PARAM XLW (PC) rusumli mikrokompyuterli uzish mashinasidan foydalaniladi.
3. GOST 6611.2-73 (ISO 2062-72, ISO 6939-88) bo'yicha namunalar tayyorlanadi va uzilish yuklamalari aniqlanadi.
4. Namuna sifatida turli diametrlilik ipkadan tayyorlangan ip to'laridan foydalaniladi.

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Namunalar gamma nurlanish manbaida yoki "Elektronika U-003" elektron tezlatkichida radiatsiyaviy ishlov berib nurlantiriladi.

2. Namunalardagi yutilish dozasi o'lchanadi.
3. Qalinlikni o'lchaydigan asbob yordamida namunalarning diametri o'lchanadi.
4. Namunalar 30 sm uzunlikda qirqib olinadi.
5. PARAM XLW (PC) uzish mashinasi va EHM tok manbaiga ulanadi.
6. PARAM XLW (PC) uzish mashinasining mikrokompyuter monitorida quyidagi oyna hosil bo'ladi:

**Auto Tensile Tester**

**Labthink**

**(2010.06)**

7. Ixtiyoriy tugma bosilib asosiy menyuga o'tiladi.

**Item**

- 1: Tensile
- 2: Strength & Elon
- 3: Break & Elon
- 4: Hot Seal Strength
- 5: Tear
- 6: 180 pcel
- 7: 90 pcel

8. 1 tugmasini bosib **Tensile (Uzish)** buyrug'i tanlanadi.

**Tensile**

- 1: Preset
- 2: Print
- 3: Search
- 4: Calibration

9. 1 tugmasini bosib **Preset (yuklash)** buyrug'i tanlanadi.

**Preset**

- |              |            |
|--------------|------------|
| 1: Length    | 010 mm     |
| 2: Width     | 15.0 mm    |
| 3: Thickness | 0.020 mm   |
| 4: Speed     | 300 mm/min |
| 5: Date      | 03/09/15   |
| 6: Set       |            |
| 7: Sensor 1  |            |

10. **Preset (yuklash)** buyrug'i oynasiga quyidagi ketma-ketlikda namunaning uzunligi, kengligi, qalinligi, cho'zilish tezligi va tajriba sanasi kiritiladi. Ushbu

tajribada ip namunasining kengligi , qalinligi va diametri kabi kattaliklari kiritiladi.

11. Kattaliklar kiritilib bo'lgach Testtugmasi bosiladi.

Tensile	
$N_0=1$	
$L_0=020$ mm	
$L_1=$ mm	
$F=$ N	
$\hat{\epsilon}=$ %	
$V=500$ mm/min	
Pause	

12. EHM da PARAM XLW (PC) uzish mashinasi dasturi ishga tushiriladi.

13. PARAM XLW (PC) uzish mashinasining namuna joylashtiriladigan qisqichlari orasidagi masofa 200 mm holatiga "Up", "Down" va "Stop" tugmalari orqali keltiriladi.

14. Namuna qisqichlar orasiga o'rnatiladi va Test tugmasi bosiladi.

15. EHM monitorida cho'zilish grafigi va absolyut va nisbiy uzayish qiymatlari hosil bo'ladi. Tajriba 6 marta takrorlanadi va tajriba natijalari EHM xotirasiga saqlab qo'yiladi.

16. Saqlangan fayl PARAM XLW (PC) uzish mashinasi dasturi orqali ochiladi va olingan natijalar tahlil qilinadi.

### Tajriba natijalari:

Tajriba natijalari ushbu jadvalda berildi.

№	Yutilish dozasi, kGr	Uzilish yuklamasining o'rtacha qiymati, N	Absolyut uzayish, mm	Nisbiy uzayish, %
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

Tajriba natijalari asosida modda mustahkamligini belgilovchi kattaliklar (uzilish yuklamasi, absolyut va nisbiy uzayish) bilan yutilish dozasi orasidagi bog'lanish graflari chiziladi.

## Nazorat savollari:

1. Moddaning mustahkamligiga radiatsiyaning ta'siri qanday bo'ladi?
2. Uzilish yuklamasi qanday kattalik?
3. Elastiklik moduli deb nimaga aytiladi?
4. Mexanik kuchlanish deb nimaga aytiladi?
5. Tajribani o'tkazish tartibi qanday bo'ladi?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. L.V. Chepel // *Primenenie uskoriteley elektronov v radiatsionnoy ximii*, M: Atomizdat, 1975.
2. A. Svollou // *Radiatsionnaya ximiya organicheskix soedineniy*, M: izd-vo instr. lit., 1963.
3. A. Charl'zbi // *Yadernye izlucheniya i polimery*, M: izd-vo instr. lit., 1962.
4. E.E. Finkel, S.S. Liuenko, R.P. Braginskiy // *Radiatsionnaya ximiya i kabelnaya texnika*, M: Atomizdat, 1968.
5. I.V. Savelev // *Umumiy fizika kursi, I – tom*, Toshkent: "O'qituvchi", 1973 y.
6. S.P. Strelkov // *Mexanika*, Toshkent: "O'qituvchi", 1977 y.
7. S.E. Frish, A.V. Timoreva // *Umumiy fizika kursi, I – tom*, Toshkent: "O'qituvchi", 1965 y.
8. B.P. Golubev // *Dozimetriya i zashchita ot ioniziruyuyux izlucheniya*, Moskva: "energoatomizdat", 1986 g.
9. URL: [www.labthink.cn](http://www.labthink.cn)

## № 25. Laboratoriya ishi

### Tezlatkichlarda tezlashtirilgan zarrachalarning energiyasini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Tezlashtirilgan zarrachalar energiyasini aniqlash usullari bilan tanishish. Zarrachalar energiyasini bevosita uchish vaqtiga ko'ra aniqlash usulini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Ssintillyatsion detektor, neytron spektrometri, siklotron, tezlashtirilgan zarrachalar oqimi, ko'p kanalli analizator, EHM.

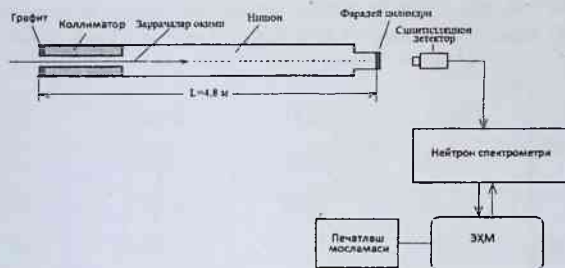
**Nazariy qismi:** Yadro fizikasida olib borilayotgan tajribalarda tezlatkichlarda tezlashtirilgan zarrachalarning asosiy kattaliklarini aniqlash va nazorat qilish talab etiladi. Bu kattaliklarga quyidagilar kiradi: tezlashtirilgan zarrachalar oqimining energiyasi; tezlashtirilgan zarrachalar oqimining quvvati; zarrachalar oqimi impulsining vaqt birligi ichida o'tish davomiyligi; tezlashtirilgan

zarrachalar to'plamining geometrik o'lchamlari. Bajarilayotgan tajriba ishlarining mohiyatiga qarab yuqorida aytib o'tilgan kattaliklardan bir nechitasi asosiy kattalik hisoblanadi. Masalan, moddalarni nurlantirish yoki radionuklidlarni olish tajriba ishlarida zarrachalar oqimining energiyasini va quvvatini bilish yetarli bo'ladi. Agar uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometri yordamida o'lchash ishlari amalga oshirilayotgan bo'lsa, bu holda zarrachalar oqimining energiyasini va quvvatini bilish yetarli bo'lmaydi. Bu kattaliklardan tashqari zarrachalar oqimi impulsining vaqt birligi ichida o'tish davomiyligini ham bilish lozim bo'ladi. Bu kattalik spektrometrlning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini belgilaydi va tajribada o'lchanayotgan natijalarning aniqlik darajasiga katta ta'sir ko'rsatadi.

Tezlatkichlar yordamida tajriba ishlari olib borilayotganda, tezlashtirilgan zarrachalarning parametrlarini aniqlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Bu kattaliklar asosan tajriba orqali aniqlanadi. Bu kattaliklarni aniqlash uchun turli usullarni qo'llash mumkin. Bu usullar ichidan ishlatilishi sodda, o'lchash aniqligi yuqori va shu bilan birga kattalikni o'lchashdagi tezligi yuqori bo'lgan usulini tanlab olish lozim.

Tezlatkichlarda tezlashtirilgan zaryadli zarrachalarning energiyasini o'lchashga to'g'ri keladi. Zarrachaning energiyasini bilmasdan turib hech qanday tajriba ishlarini bajarib bo'lmaydi. Tajribani o'tkazishga tayyorgarlik ko'rilayotgan vaqtda ham bajariladigan barcha hisob ishlarizarrachaning aniqlik darajasiga bir energiyasi uchun amalga oshiriladi. Hozirgi vaqtda zarrachalarning energiyasini o'lchashning bir qator usullari yaratilgan. Bu usullar quyidagilardan iborat: zarracha energiyasini  $Y_{e_x} = f(\theta)$  bog'lanish yordamida hisoblash; yadro reaksiyalari yordamida tajriba orqali aniqlash; zarrachaning energiyasini uchish vaqtiga asosan aniqlash; zarrachaning energiyasini kinematik usul orqali aniqlash; zarrachaning energiyasini moddadagi kirish chuquligiga (bosib o'tilgan yo'liga) asosan aniqlash; zarrachaning energiyasini moddadan o'tishida yo'qotgan energiyasiga ko'ra aniqlash yo'llari mavjud. Bu usullardan birini tanlash zarrachani tezlashtirish kamerasi ichida yoki tashqarisida bo'lishligiga qarab tanlanadi. Zarracha energiyasini  $Y_{e_x} = f(\theta)$  bog'lanish yordamida hisoblash usulini ikkala holat uchun ham qo'llash mumkin. Lekin zarracha energiyasining qiymati tezlatkichning juda ko'p kattaliklariga bog'liq bo'ladi. Shu sababli bu usul orqali zarrachaning energiyasini katta aniqlikda o'lchab bo'lmaydi. Agar tajriba ishlarida zarrachaning energiyasini bilishga katta talab qo'yilmasa, bu usulni ishlatish mumkin. Kamera ichidagi zarrachaning energiyasini o'lchash ancha qiyin vazifa hisoblanadi. Bunga sabab kamera ichida va tashqarisida tezlatkich ishlab turgan vaqtda turli ko'rinishdagi nurlanishlar miqdori juda katta bo'ladi. Natijada energiyani o'lchashda qatnashayotgan kattalikni nurlanish maydoni ichidan ajratib olish bir qator qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Shunday materiallar mavjudki, ulardan zaryadli zarrachalar o'tganda o'zining izini qoldiradi va qoldirilgan iz juda yaxshi ko'rinib turadi. Qoldirilgan

izning uzunligini bilgan holda zarrachaning energiyasini hisoblab topish mumkin. Bu usulni kamera ichiga qo'llash mumkin. O'lchashdagi aniqlik darajasi unchalik yuqori emas (5%-8%). Yadro reaksiyalarini amalga oshirishda tezlashtirilgan zarrachalar tezlatkich kamerasidan uzoq masofalarga olib boriladi ( $L > 10 \text{ m}$ ). Kamera tashqarisidagi zarrachaning energiyasini juda ko'p usullar yordamida aniqlash mumkin. Bu usullar ichida uchish vaqtiga asosanib topish o'zining soddaligi va aniqlik darajasining yuqoriligi bilan boshqalardan ajralib turadi ( $< 1\%$ ). Agar yadro reaksiyalari orqali yadroga tegishli spektroskopik ma'lumotlar olinayotgan bo'lsa, bu holda zarrachaning energiyasini uchish vaqtiga ko'ra yoki kinematik usul orqali aniqlash maqsadga muvofiqdir. Chunki, bu usullar yordamida zarrachalarning energiyasini katta aniqlikda o'lchash mumkin. Quyida bu usullar bilan chuqurroq tanishib chiqamiz.



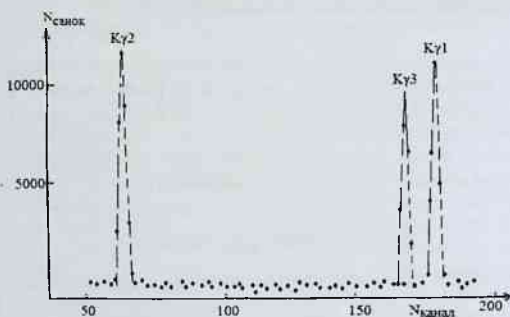
1-rasm. Tajribaning geometriyasi

Tezlashtirilgan zarrachalar energiyasini aniqlashning eng asosiy usulini ko'rib o'tamiz. Bunda qisqa vaqt ichida zarrachaning energiyasini topish imkoniyati bor. Bundan tashqari aniqlanish darajasi juda yuqori. O'lchashdagi xatolik 1% atrofidadir. Bu usul kameradan tashqariga chiqarilgan zarracha uchun qo'llaniladi. Kameradan chiqarilgan zarracha 4-5 m masofani to'g'ri chiziq bo'ylab bosib o'tishi kerak. Zarrachani shu masofani qancha vaqt ichida bosib o'tishi aniqlanadi. Uchib o'tish vaqti neytron spektrometri yordamida o'lchanadi. Tajribaning geometriyasi 1-rasmda berilgan. Tezlashtirilgan zarracha yupqa qalinlikdagi nishonga kelib tushadi va bir qismi nishonning yadrolari bilan yadro reaksiyasini sodir etadi. Nishonda turli zarrachalar va kuchli gamma nurlanish paydo bo'ladi. Nishondan yadro reaksiyasini sodir etmasdan o'tgan zarrachalar oqimi Faradey silindriga kelib tushadi. Faradey Silindrining (Fs) tubida grafit moddasi joylashtirilgan. Grafitdan kuchli gamma kvantlari chiqadi. Nishondan va Faradey silindridan chiqqan  $\gamma$ -nurlari ssintillyatsion detektorga borib tushadi va unda qayd qilinadi. Detektordan



olingan signallar neytron spektrometriga uzatiladi va vaqt bo'yicha tahlil qilinadi. Bizga ma'lumki, siklotronda tezlashtirilayotgan zarrachalar oqimi to'plam-to'plam ko'rinishida bo'ladi. To'plamlar orasidagi vaqt doimo bir hil bo'lib, uning qiymati  $T=1/\nu$  ifodadan aniqlanadi. 1-rasmda tajribaning geometriyasi tasvirlangan. Tajriba deytron zarrachasi uchun amalga oshirildi. Deytron zarrachasi U-150 tipidagi siklotron tezlatkichida tezlashtirildi. Bu siklotron proton va deytron zarrachalarini 20 MeV gacha,  $^3\text{Ne}$  va  $^4\text{Ne}$  ionlarini esa 40 MeV gacha tezlashtirib berishi mumkin.

$K\gamma_1$  va  $K\gamma_2$ - nishondan chiqqan  $\gamma$ -nurlari;  $K\gamma_3$ -Faradey silindridan chiqqan gamma kvantlari. Nishon va FS orasidagi masofa  $L=4,8$  m ga teng. 2-rasmda neytron spektrometrida o'lchangan gamma kvantlarining spektri tasvirlangan. Neytron detektori sifatida organik kristalli ssintillyatsion schetchikni ishlatish mumkin. Nishon sifatida esa yupqa Al materialidan foydalanish mumkin. Energiyani o'lchash uchun  $\sim 5$  min. vaqt kerak bo'ladi.



2-rasm. Gamma kvantlarining spektri

Zarrachaning energiyasini hisoblash quyidagi ifoda yordamida amalga oshirildi:

$$\tau = 3,34 + \frac{T}{L} \left( 1 + \frac{K_{\gamma_1} - K_{\gamma_3}}{K_{\gamma_1} - K_{\gamma_2}} \right) (1)$$

Hisob ishlarida quyidagi kattaliklar ishlatildi:  $T=103,9$  nsek;  $L=4,8$  m;  $K\gamma_1=179$ ;  $K\gamma_2=65$ ;  $K\gamma_3=172$ . Hisob natijalariga ko'ra deytron zarrachasi 1 m masofani bosib o'tishi uchun 26,23 nsek sariflashi aniqlandi. Bu topilgan vaqtga asoslangan holda 1-jadvaldan foydalanib deytronning energiyasi topiladi.

1-jadval. Turli energiyali p, d,  $^3\text{He}$  va  $^4\text{He}$  zarrachalarining 1 m masofani bosib o'tishi uchun sarflagan vaqti

$E_w$ , MeV	$\tau$ , nsek; $L=1$ m			
	$E_p$	$E_d$	$E_{^3\text{He}}$	$E_{^4\text{He}}$
10	22,37	32,25	38,70	44,74
12	20,80	29,50	35,98	41,60
14	19,31	27,30	33,40	38,62
16	18,05	25,50	31,23	36,10
18	17,04	24,10	29,48	34,08
20	16,13	22,83	27,90	32,26
22	15,42	21,74	26,68	30,84
24	14,79	20,85	25,59	29,58
26	14,18	19,99	24,53	28,36
28	13,68	19,27	23,65	27,34
30	13,19	18,59	22,82	26,38
32	12,77	18,00	22,09	25,54
34	12,40	17,48	21,45	24,80
36	12,05	16,99	20,85	24,10
38	11,74	16,55	20,31	23,48
40	11,43	16,12	19,77	22,86

26,23 nsekuchish vaqtiga mos keluvchi deyttronning energiyasini 15,18 MeV ga teng ekanligi aniqlandi. Deyttronning energiyasi yadro reaksiyasi usuli orqali ham aniqlangan edi. Bunda deyttronning energiyasi 15,2 MeV ga teng bo'lgan edi. Ikki xil usul bilan topilgan deyttronning energiyasi bir biridan juda kam farq qiladi.

### **Tajribani amalga oshirish tartibi:**

1. Yerga ulanishi kerak bo'lgan joylarga alohida e'tibor beriladi. Yerga ulanishi kerak bo'lgan joylar albatta yerga ulanishlari lozim.

2. Neytron spektrometridagi barcha bloklar tok manbaiga ulanadi.

3. Neytron detektoriga past kuchlanishlar beriladi. So'ngra yuqori kuchlanish beriladi. Kuchlanishning qiymati asta sekinlik bilan oshirib boriladi va ish kuchlanishi qiymatida to'xtatiladi.

4. Ish kuchlanishi berilganidan keyin ossillograf yordamida detektordan olinayotgan anod signalining amplitudasi o'lchanadi va oldin aniqlangan qiymatiga solishtiriladi (detektor oldiga  $^{60}\text{So}$  radionuklidi qo'yiladi).

5. Dinod signali tekshiriladi (detektor oldiga  $^{60}\text{So}$  radionuklidi qo'yiladi).

6. Tekshirilgan anod va dinod signallari neytron spektrometriga beriladi.

7. "Start" signali siklotronning VCh generatoridan olinadi va neytron spektrometriga beriladi.

8. Neytron spektrometrining ishlashi tekshiriladi.

9. Neytron detektori belgilangan masofaga va  $\theta=0^\circ$  ga joylashtiriladi.

10. Detektor oldiga qo'yilgan radioaktiv manba olib tashlanadi.

11. Zarrachalar oqimini berishga ruxsat beriladi.

12. Zarrachalar oqimi berilishi bilanoq analizator ekranida kuchli  $\gamma$ -spektrlar paydo bo'ladi.

13.  $\gamma$ -spektrlar ma'lum statistika bilan o'lchanadi (piklardagi son qiymat 10000 kichik bo'lmasin). O'lchashga katta vaqt kerak bo'lmaydi (5 min. yetarlidir).

14. O'lchangan  $\gamma$ -spektrlar EHM hotirasiga yozib qo'yiladi.

15. (1)-ifoda yordamida hisoblash ishlari bajariladi.

16. Zarrachani 4,8 m masofani bosib o'tish uchun ketgan vaqti ( $t$ ) aniqlanganidan so'ng, 1-jadvaldan foydalanib tezlashtirilgan zarrachaning energiyasi topiladi.

**Tajriba natijalari:** O'lchashni bir necha marta amalga oshirib, o'lchanayotgan kattalikning o'rtacha qiymatini topish mumkin. O'lchash natijalarini quyidagi 2-jadval ko'rinishida berish tavsiya etiladi.

## 2-jadval. O'lchash natijalari

$N_0$	$N_{y1}$	$N_{y2}$	$N_{y3}$	$\tau$ , (nsek)	$E_d$ , MeV
1.					
2.					
3.					

### Nazorat savollari

1. Tezlashtirilgan zarrachalar oqimi qanday parametrlarga ega?
2. Tezlashtirilgan zarrachalarning energiyasini aniqlashning qanday usullari mavjud?
3. Zarracha energiyasini  $Y_{e_x} = f(\theta)$  bog'lanish asosida aniqlashda qanday kamchiliklar bor?
4. Zarrachaning energiyasini uchish vaqtiga ko'ra aniqlash usulini tushintirib bering.
5. Tajriba geometriyasini gapirib bering.
6. (1)-ifodada qanday kattaliklar bor va ular nimani ifodalaydi?
7. Nima uchun katta uchush masofasi tanlab olingan?
8. Tajriba ishi qanday tartibda amalga oshiriladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadromoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadromoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
3. M. Gulyamov, B.I. Islamov, M.A. Kayumov, K. Xamidova, R.G. Ragachurin, F. Kadirov, M.Yu. Tashmetov // Neytronnyy spektrometr po vremeni proleta na baze siklotrona U-150 IYaF AN UzSSR, Atomnaya energiya, t.60, №3, 1986, 198-201.

## № 26. Laboratoriya ishi

### Elektronika U-003 rusumli elektron tezlatkichida tezlashtirilgan elektronlarning energiyasini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Riso 2 Piece Aluminum (Belgiya) standart o'lchov ponasi va plynkali detektor orqali elektron zarrachalarining energiyasini aniqlash usulini o'rganish va bevosita tajribada ishtirok etish.

**Kerakli jihozlar:** "Elektronika U-003" elektron tezlatkichi, Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometri, alyumindan tayyorlangan Riso 2 Piece Aluminum (Belgiya) standart o'lchov ponasi, V3110 tipli radioxromli plynkali detektor (2÷20 MeV), temperaturani boshqaruvchi isitish pechkasi (xona temperaturasidan ~100 °S gacha), kompyuter.

**Nazariy qismi:** Elektronning massasi kichik bo'lganligi uchun moddadan o'tishida atom elektronlari va yadrolari bilan ko'p marta to'qnashadi va harakat yo'nalishini o'zgartirib boradi. Harakat traektoriyasi egri chiziqdan iborat bo'ladi. Shu sababli yengil zarrachalar uchun effektiv kirib borish chuqurligi (bosib o'tilgan yo'li) iborasi qo'llaniladi. Effektiv bosib o'tilgan yo'l kattaligini ushbu empirik ifoda yordamida topish mumkin:

$$R(\text{Al}) = 0,4 \cdot E_e^{1,4}, \text{ bu yerda } Y_{e_e} < 0,8 \text{ MeV}; \quad (1)$$

$$R(\text{Al}) = 0,54 \cdot E_e - 0,133, \text{ bu yerda } Y_{e_e} > 0,8 \text{ MeV}$$

Agar elektronning alyuminiydagi effektiv bosib o'tilgan yo'li ma'lum bo'lsa, quyidagi ifoda yordamida boshqa moddalar uchun effektiv bosib o'tilgan yo'lning qiymatini aniqlash mumkin:

$$R(A, Z) = R(\text{Al}) \frac{\left(\frac{Z}{A}\right)_{\text{Al}}}{\left(\frac{Z}{A}\right)} \quad (2)$$

Bu ifoda alyuminiy uchun keltirib chiqarilgan. Effektiv bosib o'tilgan yo'l bu moddaning shunday eng kichik qalinligiki, bu qalinlikda elektron o'z energiyasini to'liq yo'qotadi. 1-jadvalda turli energiyali elektronlarni turli moddalardagi effektiv bosib o'tilgan yo'llari keltirilgan.

1-jadval. Turli energiyali elektronlarni turli moddalardagi effektiv brems o'tilgan yo'li (sm)

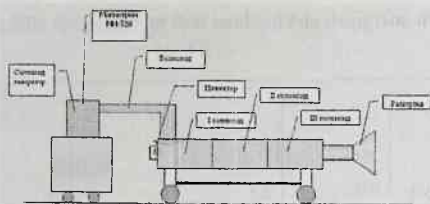
Modda \ Energiya, MeV	0,05	0,5	5	50	500
Havo	4,1	160	2000	17000	63000
Suv	0,0047	0,19	2,6	19	78
Alyuminiy	0,002	0,056	0,95	4,3	8,6
Qo'rg'oshin	0,0005	0,02	0,30	1,25	2,5

2-jadvalda turli elementlar uchun elektronlarning kritik energiyalari va radiatsion uzunliklarining qiymatlari berilgan. Bu kattaliklar moddaning turiga va elektronning energiyasiga bog'liqdir. Kritik energiya qiymatida, ionlashirishga sarflangan energiya, radiatsion nurlanishga sarflangan energiyaga teng bo'ladi.

2-jadval. Turli elementlar uchun elektronlarning kritik energiyalari va radiatsion uzunliklari

Modda	Kritik energiya, MeV	Radiatsion uzunlik L, sm
N	340	$7 \cdot 10^5$
S	103	19,4
Havo	83	$3 \cdot 10^4$
Al	47	8,9
Fe	24	1,77
Cu	21,5	1,4
Pb	6,9	0,5

"Elektronika U-003" elektron tezlatkichi chiziqli rezonans tipidagi tezlatkiclarga mansubdir. Bu tezlatkichning ishlash prinsipi elektronlarga o'ta yuqori chastotali (O'YuCh) yuguruvi elektromagnit to'lqinlarning rezonans ta'sir hodisasiga asoslangan. 1 - rasmda "Elektronika U-003" elektron tezlatkichining umumiy ko'rinishi tasvirlangan.

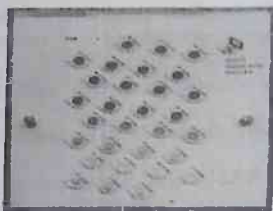


1 – rasm. “Elektronika U-003” elektron tezlatkichining umumiy ko‘rinishi

“Elektronika U-003” elektron tezlatkichida elektronlar energiyasini 4÷8 MeV oralig‘ida olish imkoniyati bor. Bunda elektronlar oqimining zichligini  $5 \cdot 10^9$  el/( $\text{sm}^2 \cdot \text{s}$ )dan  $6 \cdot 10^{11}$  el/( $\text{sm}^2 \cdot \text{s}$ ) gacha o‘zgartirish mumkin.

### Tajriba qismi:

1. “Elektronika U-003” elektron tezlatkichida tezlantirilgan elektronlar dastasidan foydalaniladi.
2. Elektronlar energiyasini aniqlash uchun V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlar to‘plamidan iborat bo‘lgan standart alyuminiy materialidan tayyorlangan ponadan foydalaniladi. Bu to‘plamda 30 dona V3110 tipli detektor maxsus karton qog‘ozga shunday joylashtirilganki, bunda bu to‘plam alyuminiy pona orqasiga joylashtirilganda har bir detektor bir-biridan ketma-ket ravishda 1 mm qalinlikka farq qiladi (2 – rasm). Detektorlarni joylashtirish masalasiga chuqurroq to‘xtalib o‘taylik. 2a-rasmda karton qog‘ozga joylashtirilgan detektorlarning joylashish tartibi ko‘rsatilgan. Bu detektorlarni nurlanish oqimining yo‘nalishiga o‘rnatish keyingi rasmlarda ko‘rsatib o‘tilgan. 2b-rasmga kelsak, bunda karton qog‘ozga joylashtirilgan detektorlar pona shaklidi alyuminiydan tayyorlangan qurilma ustiga o‘rnatilgan. 2v-rasmda esa 2b-rasmda aytilganidek yig‘ilgan moslama ustiga yana bitta pana shaklidagi alyuminiydan tayyorlangan moslama joylashtiriladi. Bu tomoni elektronlar oqimi kelib tushadigan yo‘nalishdir. Bu qurilmada detektorlar bir biriga nisbatan shunday geometriyada joylashadiki, detektorlar oldidagi alyuminiyning qalinligi har doimo 1 mm ga farq qiladi. Qalinligi kichik bo‘lgan Al plastinka orqasida turgan detektorga ko‘p sonli elektronlar kelib tushadi va mos ravishda doza miqdori ham katta bo‘ladi. Al plastinkaning qalinligi ortib borgan sari detektorga kelib tushayotgan elektronlarning soni ham kamayib boradi. Natijada doza qiymatini ham kamayib borishi kuzatiladi. Shu tariqa elektronlarning Al plastinkasi ichiga kirib borish masofasi (bosib o‘tilgan yo‘li) aniqlanadi.



a)



b)



v)

2- rasm. V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlar to'plamini standart alyuminiy ponaga o'ratilishi

3. V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlar to'plamiga issiqlik ishlov berish uchun Nabertherm pechkasidan foydalaniladi.

4. V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlarni optik zichligi Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometrda o'lchanadi.

5. V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlarni optik zichligining qiymatlari V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlar uchun maxsus yozilgan kompyuter dasturiga kiritiladi.

#### **Tajribani o'tkazish tartibi:**

1. V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlar to'plami o'ratilgan standart alyumin pona elektronlar dastasi yo'nalishiga perpendikulyar qilib nurlantirish zonasiga joylashtiriladi.



2. V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlar to'plami kerakli vaqt davomida nurlantirilgandan keyin optik zichligining turg'unligini mustahkamlash uchun 58,5 °S haroratda 5 minut termik ishlov beriladi.

4. Kompyuterga oldindan o'rnatilgan maxsus WINdoze for Excel 2002 dasturi ishga tushiriladi.

5. WINdoze for Excel 2002 dasturi ishga tushgach dasturdagi V3002 bo'limi tanlanadi.

6. Termik ishlov berilgan V3110 tipli radioxromli plyonkali detektorlarning har birini optik zichligi alohida-alohida Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometrda 552 nm to'lqin uzunligida o'chanadi.

7. O'lchash davomida V3110 detektorlarning optik zichligining qiymati spektrofotometr displeyiga chiqariladi.

8. WINdoze for Excel 2002 dasturining Riso Wedge (T3110) bo'limiga kerakli ma'lumotlar quyida ko'rsatilan jadvaldagedek kiritiladi (sana, tajriba bajaruvchining ismi sharifi, tajriba raqami, detektorning raqami va boshqalar): 4-jadvalda kerakli ma'lumotlarni kiritish tartibi ko'rsatilgan.

4-jadval. Tajribani o'tkazishda kerakli bo'lgan ma'lumotlarni kiritilish tartibi.

Detector ID	Optical Density	Absorbance (AU)	Average Current (nA)	Pulse Rep Rate (pps)	Scan Speed (mm/s)
05X002	0.270	0.957	47.8-1	65.0	25.5

9. Ushbu jadvalga 20- chi satrdan boshlab 30 ta detektorning har birini ID raqami V ustunga kiritiladi. S ustunda esa bu detektorlarga mos alyumiynining qalinlik qiymati kiritilgan bo'ladi.

10. Jadvalning navbatdagi ustuniga detektorlarning optik zichliklari qiymati mos holda kiritiladi.

11. Shundan keyin jadvalning Ye ustunga kompyuter kursori keltirilib faollashtiriladi va klaviaturaning Ctrl+Shift+A tugmachalari bosiladi.

12. Jadvalning F va N ustunlarida yutilgan dozaning qiymati hosil bo'ladi.

5-jadval. Detektorlarning nomeri, Al plastinkalarining qalinliklari, Detektorlarning optik zichliklari va dozalarning qiymatlari berilgan.

A	B	C	D	E	F	G	H
№	№	№	№	№	№	№	№
№	№	№	№	№	№	№	№
19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100	100

13. Elektronlarning energiyasi maxsus tuzilgan dastur asosida quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi.

$$E_p = 5.09 \cdot R_p \cdot c + 0.2 \quad (5)$$

bu yerda, s- tuzatish koeffitsienti bo'lib (*correction factor*),

$c = \frac{2.663z/cm^3}{2.7z/cm^3} = 0,986$  ga teng;  $R_p$  –yutilish dozasi nolga teng bo'lgandagi

standart aliyuminiy plastinkasining qalinligi va bu kattalik quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$R_p = L_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

14. Yutilish dozalari bilan aliyuminiy plastinkasining qalintliklari orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi (3-rasm). Bu grafikni tahlil qilish orqali elektronlarning energisi aniqlanadi. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, aliyuminiy plastinkasining qalinligini ortib borishida dozaning qiymatini kamayib borishi kuzatilmoqda. Qalinlik ma'lum qiymatiga yetib borganda doza qiymati o'zgarmasdan qoladi (dozaning eng kichik qiymati).

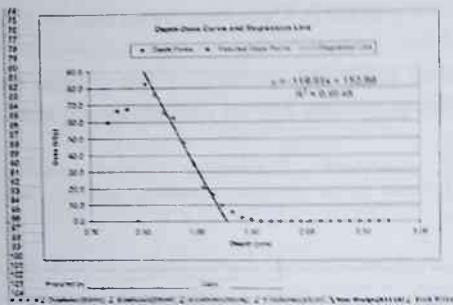
6-jadvalda turli energiyali elektron zarrachalarini aliyuminiyda yo'qotgan energiyasi va bosib o'tilgan yo'li berilgan.

6-jadval. Turli energiyali elektron zarrachalarini alyuminiydagi yo'qotgan energiyasi va bosib o'tilgan yo'li.

$E_e$ , MeV	$(dE/dx)_{ion.}$ , MeV/(g/sm <sup>2</sup> )	$(dE/dx)_{rad.}$ , MeV/(g/sm <sup>2</sup> )	R, g/sm <sup>2</sup>
0,010	16,57	$8,600 \cdot 10^{-3}$	$3,519 \cdot 10^{-4}$
0,015	12,25	$8,482 \cdot 10^{-3}$	$7,074 \cdot 10^{-4}$
0,020	9,884	$8,373 \cdot 10^{-3}$	$1,165 \cdot 10^{-3}$
0,030	7,316	$8,276 \cdot 10^{-3}$	$2,356 \cdot 10^{-3}$
0,040	5,931	$8,252 \cdot 10^{-3}$	$3,833 \cdot 10^{-3}$
0,060	4,456	$8,446 \cdot 10^{-3}$	$7,873 \cdot 10^{-3}$
0,080	3,675	$8,746 \cdot 10^{-3}$	0,01279
0,100	3,191	$9,105 \cdot 10^{-3}$	0,01864
0,150	2,526	$1,005 \cdot 10^{-2}$	0,03641
0,200	2,187	$1,100 \cdot 10^{-2}$	0,05772
0,300	1,847	0,01317	0,1077
0,400	1,690	0,01549	0,1640
0,600	1,550	0,02011	0,2871
0,800	1,496	0,02469	0,4168
1,000	1,473	0,02933	0,5493
1,500	1,464	0,04071	0,8825
2,000	1,476	0,05204	1,212
3,000	1,508	0,07612	1,855
4,000	1,537	0,1025	2,476
6,000	1,581	0,1604	3,658
8,000	1,613	0,2217	4,777
10,00	1,637	0,2869	5,841
20,00	1,709	0,6317	10,54
30,00	1,747	0,9973	14,48
40,00	1,773	1,373	17,88
60,00	1,808	2,141	23,55
80,00	1,831	2,923	28,16
100,0	1,849	3,710	32,04

**Tajriba natijalari:**

Tajriba natijalari quyidagi grafik ko'rinishda taqdim etiladi.



3 – rasm. Yutilish dozasi bilan alyuminiy qalinligi orasidagi bog‘lanish grafigi.

#### Nazorat savollari:

1. “Elektronika U-003” elektron tezlatkichidagi elektronlar dastasining parametrlarini aytib bering?
2. “Elektronika U-003” elektron tezlatkichining ishlash prinsipini tushuntiring?
3. Tezlashtirilgan elektronlarning energiyasini qanday usullar yordamida aniqlash mumkin?
4. Energiyani topishda ushbu laboratoriya ishida qanday yo‘l tanlab olingan?
5. Bu usulni boshqa usullarga nisbatan qanday afzalliklari bor?
6. Nima sababdan ponasimon alyuminiy moslamasi ishlatilgan?
7. Nima uchun ponasimon moslamada aynan alyuminiy elementi ishlatilgan?
8. 3-rasmdagi kattaliklar orasidagi bog‘lanishni izohlab bering?
9. Dozani aniqlashda qanday detektordan foydalanilgan?
10. Detektorning optik zichligi qanday aniqlanadi?

#### Foydalanilgan adabiyotlar

1. [www.gexcorporation.com](http://www.gexcorporation.com)
2. V.P. Kovalev // Vtorichnye izlucheniya uskoriteley elektronov, M: Atomizdat, 1979.
3. L.V. Chepel //Primenenie uskoriteley elektronov v radiatsionnoy ximii, M: Atomizdat, 1975.

## № 27. Laboratoriya ishi

### Elektronlar oqimini moddalardan o'tishi davomida yo'qotgan energiyasiga ko'ra dozaning qiymatini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Elektronlar oqimini moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasiga ko'ra yutilgan dozaning qiymatini aniqlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Ionlashtiruvchi nurlar manbai, Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometri, V3002 rusumli radioxromli plyonkali (0.55÷86 kGr) detektor (yutilgan dozaning qiymatini o'lchaydi), avtomatik haroratni boshqaruvchi isitish qurilmasi (xona haroratidan ~100 °S gacha), kompyuter.

**Nazariy qismi:** Elektron zarrachalarini moddalardan o'tishida sodir bo'ladigan jarayonlar, og'ir zaryadli zarrachalarni moddalardan o'tishida sodir bo'ladigan jarayonlarga nisbatan farqlidir. Bunga asosiy sabab elektron zarrachasi massasining kichikligidir. Har bir ta'sirlashishda bu zarracha o'zining impulsini katta qiymatda o'zgartiradi. Bu o'z navbatida zarracha harakati yo'nalishini o'zgarishiga olib keladi. Yengil zaryadli zarrachalarning bunday harakatida nurlanish paydo bo'ladi. Yengil zaryadli zarrachalarni moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasini hisoblashda asosan ikkita jarayon muhim hisoblanadi. Birinchisi, modda atomlarini ionlashtirishga sarflangan energiya, ikkinchisi esa radiatsion nurlanishga ketgan energiyadir. Yengil zarrachalar modda bilan ta'sirlashganda bir va ko'p karrali elastik sochilishga uchraydi. Bundan tashqari noelastik sochilish ham sodir bo'ladi. Noelastik sochilishda yengil zarrachalar energiyasini modda atomlarini ionlashtirishga va uyg'ongan holatlariga o'tkazishga sarflaydi. Bor va Bete nazariyalarida elektronlarni moddalarga ko'rsatadigan ta'sir mexanizmlari juda aniq bayon etilgan. Bu nazariyaga ko'ra elektronning past energiyalarda birlik uzunlikda ionlashtirishga sarflangan energiyaning o'rtacha qiymatini quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion.}} = \frac{4\pi e^4 n_A Z}{m_a v^2} \ln \frac{16m_a v^2}{2\bar{w}}, \quad (1)$$

bu yerda  $n_A$  — moddaning 1  $\text{sm}^3$  hajmidagi atomlar soni bo'lib,

$n_A = \frac{N_A \rho}{A}$ , ifoda yordamida topiladi.  $N_A$  — Avogadro soni;  $\rho$  —

moddaning zichligi,  $g/cm^3$ ;  $A$  - massa soni;  $\bar{W}$  — atomlarning o'rtacha uyg'onish energiyasi. O'zgarmas sonlarni o'rni qo'ysak (29) — ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion.}} = 0.306\rho\frac{Z}{A}\beta^{-2} \cdot \ln\frac{1.16\cdot E}{W} \text{ MeV/cm.} \quad (2)$$

(2) - ifodadagi  $\frac{Z}{A}$  — nisbat juda kam o'zgaradi, shu sababli  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion.}}$  — ning kattaligi asosan modda zichligiga va elektronning energiyasiga bog'liq bo'ladi.

Moddadan o'tayotgan elektronlarni birlamchi elektronlar deb ataymiz, bu elektronlar modda atomini ionlashtirib, ikkilamchi elektronlarni yuzaga keltiradi. Ikkilamchi elektronlarning ba'zi birlari shunday energiyaga ega bo'lib qoladiki, ular modda atomini qo'shimcha ionlashtirish qobiliyatiga ega bo'ladi. Bunday elektronlarga  $\delta$  — elektronlar deyiladi.

Elektronlar o'z energiyasini atomlarni ionlashtirish va uyg'ongan holatga o'tkazishdan tashqari, yadroning kulon ta'sirida olgan tezlanishlari natijasida chiqargan tormizlanish nurlanishiga ham sariflaydi. Tormizlanish nurlanishiga sariflangan energiya Gaytler ifodasi orqali topiladi:

$$\begin{aligned} -\left(\frac{dE}{dx}\right) &= n_A \Gamma_0^2 \frac{Z^2}{137} (E + m_a c^2) \left[ 4 \ln \frac{2(E + m_a c^2)}{m_a c^2} - \frac{4}{3} \right] = \\ &= 3.44 \cdot 10^{-4} (E + m_a c^2) \frac{Z^2}{A} \rho \left[ 4 \ln \frac{2(E + m_a c^2)}{m_a c^2} - \frac{4}{3} \right], \end{aligned} \quad (3)$$

bu yerda  $r_0 = e^2/m_a c^2$  — elektronning klassik radiusi bo'lib,  $2.8 \cdot 10^{-13}$  sm ga teng. Demak radiatsion nurlanishga sariflangan energiya  $Z^2$  — bog'liqdir. Ionlashtirishga ketgan energiya esa  $Z$  — bog'liq. Elektronning past energiyalarida  $(dE/dx)_{\text{ion}}$  katta qiymatga ega bo'ladi. Energiyaning ortib borishida  $(dE/dx)_{\text{rad}}$  qiymati ortib boradi. Radiatsion nurlanishga ketgan energiyani, ionlashtirishga sariflangan energiyaga nisbatini aniqlash mumkin:

$$K = 1.25 \cdot 10^{-3} \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}}}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}}} Z E_e, \quad (4)$$

Agar elektronning ma'lum energiyasida moddadan o'tishida sarflangan energiyalari bir biriga teng bo'lib qolsa, ya'ni  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{rad}} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ion}}$  elektronning bunday energiyasiga kiritik energiya deyiladi.

Radiatsion nurlanish katta bo'lgan energiya sohalarida elektronlarning moddadan o'tishida yo'qotgan to'liq energiyasi eksponensial qonuniyat bo'yicha kamayadi:

$$E = E_0 e^{-x/L}, \quad (5)$$

bu yerda  $Ye_0$  –elektronning boshlang'ich energiyasi;  $Ye$  -elektronni moddani  $x$ -chuqurligiga kirib borgandagi energiyasi;  $L$ -radiatsion uzunlik. Radiatsion uzunlik deb shunday masofaga aytiladiki, moddadan o'tayotgan elektron energiyasini radiatsion nurlanish hisobiga ya martaga kamaytiradi. Bu kattalik turli moddalar uchun turli qiymatga ega.

Elektronning energiyasi kritik energiyadan katta bo'lgan holatlarda radiatsiyaga sarflangan energiya, ionlashtirishga sarflangan energiyaga nisbatan har doimo katta bo'ladi. 1-jadvalda "Elektronika U-003" tipidagi elektron tezlatkichining asosiy parametrlari berilgan. 1-rasmda U-003" tipidagi elektron tezlatkichining umumiy ko'rinishi ko'rsatilgan.

1-jadval. "Elektronika U-003" elektron tezlatkichining asosiy parametrlari

Tezlatkichning xarakteristikalari	
Energiyaning o'zgarish oraligi, MeV	4-8
Tok impulsining davomiyligi, sek	(1, 2, 4) · 10 <sup>-6</sup> ; (5, 10, 20) · 10 <sup>-9</sup>
Impulsdagi tokning qiymati, A	
Davomiyligi 1-4 mks	0-1
Davomiyligi 5,10 va 20 ns	1-7
Tok impulsining chastotasi, sek <sup>-1</sup>	300, 250, 200, 100, 50, 10, 1
Elektron oqimining diametri, mm	5
Elektron oqimining o'rtacha quvvati, kVt	5-10
Oqimning sochish kengligi, mm	400
Sochilishdagi notekislik, %	15



1-rasm. U-003" tipidagi elektron tezlatkichining umumiy ko'rinishi

Ionlashtiruvchi nurlar moddalardan o'tganda modda atomlari va yadrolari bilan ta'sirlashadi. Bu ta'sirlashishlar turli ko'rinishlarda sodir bo'ladi. Ionlashtiruvchi nurlar moddalardan o'tishi davomida energiyasini yo'qotib boradi. Har qanday ko'rinishdagi nurlarning moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasining yutilishini doza orqali ifodalash mumkin. Yutilgan doza dozimetriyaning asosiy kattaligi hisoblanadi. Yutilgan doza – birlik hajmdagi modda massasiga, ionlashtiruvchi nurlanishlar energiyasining yutilishidir. Yutilgan doza quyidagicha yoziladi:

$$D_{\text{umumiy}} = \frac{dE}{dm} \quad (1)$$

bu yerda,  $dE$  – ionlashtiruvchi nurlanish tomonidan birlik hajmdagi modda massasiga berilgan o'tacha energiya,  $J$ ;  $dm$  – birlik hajmdagi modda massasi,  $kg$ .

Xalqaro birliklar sistemasida (XBS) yutilish dozasi uchun o'lchov birligi qilib 1 Grey (Gr) qabul qilingan.  $1Gr = 1J/kg$  ga teng bo'lib, massasi 1  $kg$  bo'lgan moddaga 1J energiyaning yutilishini ko'rsatadi. Xalqaro birliklar sistemasiga kirmaydigan o'lchov birligi *Rad* hisoblanadi. *Rad* massasi 1  $g$  bo'lgan moddaga turli ko'rinishdagi nurlanishlarning 100 erg energiyasining yutilishidir. Grey va *Rad* o'lchov birliklari orasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$1Gr = 1J/kg = 100 \text{ rad} = 10^4 \text{ erg/g}$$

Tajribalarda yutilgan doza qiymatlarini radioxromli plyonkali detektorlar yordamida aniqlash mumkin. 2-rasmda V3002 rusumli radioxromli plyonkali detektorlar ko'rsatilgan.



2 – rasm. V3002 rusumli radioxromli plyonkali detektor (a – umumiy ko'rinishi, b - 2 xil yutilish dozasi nurlantirilgan)

### Tajriba qismi:

1. Ionlashtiruvchi nurlar manbai sifatida gamma nurlanish manbai  $^{60}\text{So}$  izotopidan yoki "Elektronika U-003" (1-rasm). elektron tezlatkichidan foydalanish mumkin.
2. Yutilgan dozani aniqlash uchun V3002 rusumli radioxromli plyonkali detektor ishlatiladi (2-rasm). Bunda V3002 tipli detektorning bitta paketchasida



o'lchash xatoligini kamaytirish uchun 2 dona, ya'ni shartii ravishda A va V harflar bilan belgilangan detektorlar joylashtirilgan.

3. V3002 tipli radioxromli plyonkali detektorga termik ishlov berish uchun Nabertherm 30-1100 °S pechkasidan foydalaniladi.

4. V3002 tipli radioxromli plyonkali detektorlarni optik zichligi Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometrda o'lchanadi.

5. V3002 tipli radioxromli plyonkali detektorlarning optik zichligi qiymatlarini aniqlash uchun maxsus programmalar yozilgan va kompyuter xotirasiga kiritilgan.

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. V3002 tipli radioxromli plyonkali detektor nurlantirish zonasiga joylashtiriladi.

2. V3002 tipli radioxromli plyonkali detektor kerakli vaqt davomida nurlantirilgandan keyin optik zichligi turg'unligini mustahkamlash uchun unga 58,5 °S haroratda 5 minut davomida termik ishlov beriladi.

4. Kompyuterga oldindan o'rnatilgan maxsus WINdoze for Excel 2002 dasturi ishga tushiriladi.

5. WINdoze for Excel 2002 dasturi ishga tushgach dasturdagi V3002 bo'limi tanlanadi.

6. Termik ishlov berilgan V3002 tipli radioxromli plyonkali detektorlarning (A va V detektorlarning) har birining optik zichligi alohida Thermo Spectronic Genesys 20 spektrofotometrda 552 nm to'liq uzunligida o'lchanadi.

7. O'lchash davomida V3002 dozimetrik detektorlarning optik zichligining qiymati spektrofotometr displeyiga chiqariladi.

8. WINdoze for Excel 2002 dasturining Dose Report (V3002) bo'limiga kerakli ma'lumotlar quyida ko'rsatilgan 2-jadvaldagidek kiritiladi (sana, tajriba bajaruvchining ismi sharifi, tajriba raqami, detektorning raqami va boshqalar):

2-jadval. Kerakli ma'lumotlarni kiritilishi.

Row	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
7	Customer ID				Process Number	1					
8	Product	V3002			Process Specification	V3002					
9	Lot/ID				Drawn Lot Range	0 00		Shelf Life (days)	1.0		
10	Quantity				Max Draw Speed	20		Min Draw Speed	10		
11	Process Date	2002-11-01			Use Draw in Process	0.0		Min Draw in Process	0.0		
12	Production Date	2002-11-01									
13	Approval Date	2002-11-01									
14											
15	Customer Name	XXXXXXXXXX			Customer Code	XXXXXXXXXX			Average Thickness (mm)		
16	Customer Address	XXXXXXXXXX			Customer Code	XXXXXXXXXX			Actual Average Thickness (mm)		
17	Customer ID	XXXXXXXXXX			Product Name	XXXXXXXXXX			Thickness (mm)		
18	Customer ID	Thickness	W	W	W	W	W	W	W	W	W
19		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

9. Shundan keyin 2-jadvalga ma'lumotlarni kiritish davom ettiriladi. 2-jadvalning 20 satriga quyidagi ketma-ketlikda detektorning ID raqami, detektorning o'zimiz shartli ravishda belgilangan raqami, A-detektorning optik zichligi qiymati, V-detektorning optik zichligi qiymatlari kiritiladi. Bu kiritilgan ma'lumotlar quyidagi 3-jadvalda berilgan.

3-jadval. 20- satrga kiritilgan kattaliklar

19	Detector ID	Detector Position	Intensity of Ac. Vark	Response	Adjusted
20	4023157	10-1	0.571	0.576	13.728
21					
22					
23					

10. 3-jadvalning navbatdagi ustunida A va V detektorlar optik zichliklarining o'rtacha qiymatini detektor plyonkasining qalinligiga bo'lgan nisbatining qiymati hosil bo'ladi.

11. Shundan keyin 3-jadvalning F ustuniga kompyuter kursori keltirilib faollashtiriladi va klaviaturaning Ctrl+Shift+A tugmachalari bosiladi.

12. 3-jadvalning G ustunida yutilgan dozaning qiymati hosil bo'ladi. Bu dozaning qiymati 4-jadvalda ko'rsatilgan.

4-jadval. Doza qiymatining berilishi

19	Detector ID	Detector Position	Intensity of Ac. Vark	Response	Adjusted
20	4023157	10-1	0.571	0.576	13.728
21					
22					
23					

## Tajriba natijalari:

Tajriba natijalari 5- jadvalda berildi.

### 5-jadval. Tajriba natijalari

№	Detektoring ID raqami	Yutilish dozasi, kGr
1		
2		
3		
4		
5		

### Nazorat savollari:

1. Yutilgan doza deganda nimani tushunasiz?
2. Yutilish dozasiing birliklarini ayting?
3. Nima uchun radioxromli plyonkali detektorga termik ishlov beriladi?
4. Elektronlar modda atomlari bilan qanday turdagi ta'sirlarni sodir etadi?
5. Tormozlanish nurlanishi qanday yuz beradi?
6. Kritik energiya nimani anglatadi?
7. Xalqaro birliklar sistemasida (XBS) yutilish dozasiing o'lchov birligi qilib nima qabul qilingan?
8. Radiatsion uzunlik deb qanday masofaga aytiladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. B.P.Golubev // Dozimetriya i zashchita ot ioniziruyuyux izlucheniya, Moskva: "energoatomizdat", 1986 g.
2. M.A. Qayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlardan himoyalalanish, Toshkent: "Davr nashriyoti", 2013 y.
3. [www.gexcorporation.com](http://www.gexcorporation.com)

## № 28. Laboratoriya ishi

### O'ta yupqa nishonlarning qalinligini $\alpha$ -zarrachalar yordamida aniqlash

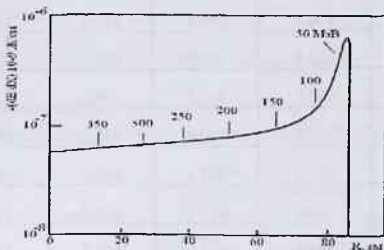
**Ishdan asosiy maqsad:** O'ta yupqa nishonlarning qalinligini  $\alpha$ -zarrachalari yordamida aniqlash.  $\alpha$ -zarrachalar manbasi sifatida  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi ishlatiladi.

**Kerakli jihozlar:**  $\alpha$ - nurlanish manbai ( $^{226}\text{Ra}$ ), kollimatorlar,  $\alpha$ -spektrometr, qalinligi o'lchanadigan yupqa nishon, Si-detektor, EHM.

**Nazariy qismi.** Og'ir zaryadli zarrachalarga protonlarni, deytronlarni, tritonlarni,  $^3\text{Ne}$  va  $^4\text{Ne}$  zarrachalarini, yadrolarning parchalanishida hosil bo'lgan yadrolarni kiritish mumkin. Og'ir zaryadli zarrachalar asosan modda atomlarining elektronlari bilan ta'sirlashadi va atomni ionlashtiradi. Hisob ishlarini relyativistik bo'lmagan holat uchun amalga oshiramiz ( $V \ll C$ ). V-tezlik bilan harakatlanayotgan og'ir zarracha, tinch turgan elektronga bir marta ko'rsatgan ta'sirida yo'qotgan energiyasi  $\Delta E_{\text{max}} = 2m_e V^2$  ga teng bo'ladi. Og'ir zarracha moddadan o'tib borishida ko'p marta ta'sirlashib, o'z energiyasini asta-sekinlik bilan kamaytirib boradi. Ionlashtirishga sarflangan solishtirma energiya moddaning tormozlash qobiliyati orqali beriladi ( $dE/dx$ ). Moddaning tormozlash qobiliyati zarrachaning energiyasiga bog'liq. Yo'qolishdagi solishtirma energiyaning qiymati zarracha kinetik energiyasining kamayishida ortib boradi. Zarrachani modda ichida energiyasini to'liq yo'qotguncha yurgan yo'lga bosib o'tilgan yo'l ( $R$ ) deyiladi. 1-rasmda yo'qolishdagi solishtirma energiya qiymatini zarracha kinetik energiyasiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

Og'ir zarrachalarni ionlashtirishga sarflangan solishtirma energiyasini quyidagi ifoda orqali topish mumkin. Bunda quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$E \ll (M/m_e)Mc^2;$$



1-rasm. Yo'qolishdagi solishtirma energiya qiymatini zarracha kinetik energiyasiga bog'liqligi

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n_e z^2 e^4}{1.6 \cdot 10^{-12} m_e v^2} *$$

$$\approx \left[ \ln \frac{2m_e v^2}{T} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \text{эВ} \cdot \text{см}^{-1} \quad (1)$$

bu yerda  $M$ -zarrachaning massasi (g),  $e$ - elektron zaryadi ( $4.8 \cdot 10^{-10}$  SGSE birligida),  $Z$ -zarrachaning zaryadi (elektron zaryadi birligida),  $v$  –zarracha tezligi (sm/sek),  $s$  - yorug'lik tezligi (sm/sek),  $n_e$  –moddaning  $1 \text{ sm}^3$  dagi elektronlar soni,  $m_e$  –elektronning massasi (g),  $\beta = v/c$ ,  $\bar{I}$ - modda atomlarini o'rtacha ionlashtirish energiyasi  $\bar{I} = 13.5 \cdot Z$ ,  $Z$ -modda atom yadrolarining zaryadi. 1-jadvalda turli energiyali zaryadli zarrachalami alyuminiy moddasidagi (kirib borish chuqurligi) bosib o'tilgan yo'li berilgan.

1-jadval. Turli energiyali zaryadli zarrachalami alyuminiy moddasidagi kirib borish chuqurligi (bosib o'tilgan yo'li)

Alyuminiy,  $Z=13$ ,  $1 \text{ mg/cm}^2=3.703$  mikron

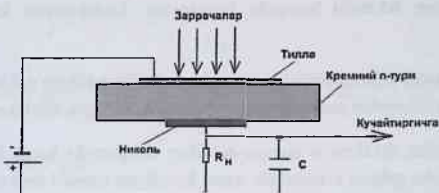
Energiya, MeV	$^1\text{H}$	$^2\text{H}$	$^3\text{H}$	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$
10	169,8	103,0	78,39	19,83	16,63
12	233,5	140,6	106,2	26,78	22,29
14	306,1	183,2	137,7	34,65	28,67
16	387,2	230,7	172,7	43,41	35,77
18	476,7	282,9	211,2	53,02	43,55
20	574,3	339,9	253,0	63,48	52,01
22	680,0	401,4	298,1	74,76	61,12
24	793,5	467,4	346,5	86,85	70,88
26	914,7	537,8	398,0	99,46	81,27
28	1044	612,5	452,7	113,4	92,28
30	1180	691,6	510,5	127,9	103,9
32	1323	774,9	571,3	143,1	116,1
34	1474	862,3	635,2	159,0	129,0
36	1632	953,9	702,0	175,7	142,4

Zaryadli zarrachalami turli moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasini aniqlash uchun "Range" deb nomlangan hisoblash programmasi yaratilgan.

**Tajriba qismi:** Nishon qalinligi  $\alpha$ -zarrachaning yo'qotgan energiyasiga ko'ra aniqlanadi. Bu usul o'zining yuqori aniqlik darajasi bilan boshqalardan ajralib turadi.  $\alpha$ -zarrachalarning spektrlari yuza barer kremniy detektorlari yordamida o'lchanadi. Tajriba ikki bosqichda amalga oshiriladi.

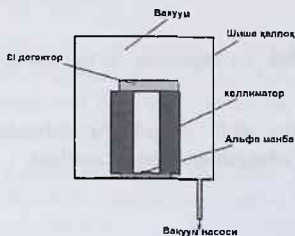
1. Birinchi bosqichda  $\alpha$ -spektrlar nishon qo'yilmagan holatida o'lchanadi. O'lchangan spektr kompyuter xotirasiga yozib qo'yiladi.
2. Ikkinchi bosqichda  $\alpha$ -manba bilan detektor o'rtasiga qalinligi aniqlanishi kerak bo'lgan nishon qo'yiladi va  $\alpha$ -spektrlar yana o'lchanadi.

Ikkinchi o'lchashdagi spektrlar birinchi o'lchashdagi spektrlarga nisbatan analizatorida chap tamonga qarab suriladi. Chunki,  $\alpha$ -zarrachalar energiyasining bir qismini nishonda yo'qotadi. Shu yo'qotilgan energiyaga ko'ra nishon qalinligi topiladi. 2-rasmda Si detektorini ulanish sxemasi ko'rsatilgan.



2-rasm. Si detektorini ulanish sxemasi

Tok manbai orqali Si-detektoriga kuchlanish beriladi. Xar bir detektor uchun kuchlanishning qiymati ma'lumdir. 3-rasmda tajribaning geometriyasi berilgan.



3-rasm. Tajribaning geometriyasi

## Tajribani amalga oshirish tartibi:

1. Nishon qo'yilmagan holatidagi o'lchash. 3-rasmdagi o'lchash geometriyasi yig'iladi. Shisha qalpoq o'matiladi. Vakuum nasosi ishga tushiriladi. Shisha qalpoq maxkam joylashganidan so'ng, shisha qalpoq usti yana alyuminiydan yasalgan qalpoq bilan yopiladi.

2. Kompyuter ishga tushiriladi va kerakli fayllar ochiladi.

3. Detektorga belgilangan kuchlanish beriladi. Detektordagi signallar o'lchanadi. Bu signallar kuchaydirgichga uzatiladi. Kuchaytirilgan signallar kompyuter xotirasida yozila boshlaydi.

4.  $\alpha$ - spektrlar o'lchab bo'linganidan so'ng kompyuter xotirasiga yozib qo'yiladi.

5. O'lchashning ikkinchi bosqichi boshlanadi. Detektordan kuchlanish olib tashlanadi.

6. Vakuum nasosi tamoni berkitiladi va shisha qalpoq ichiga sekinlik bilan xavo kiritiladi. Alyuminiydan yasalgan qalpoq olinadi. So'ngra shisha qalpoq olinadi.

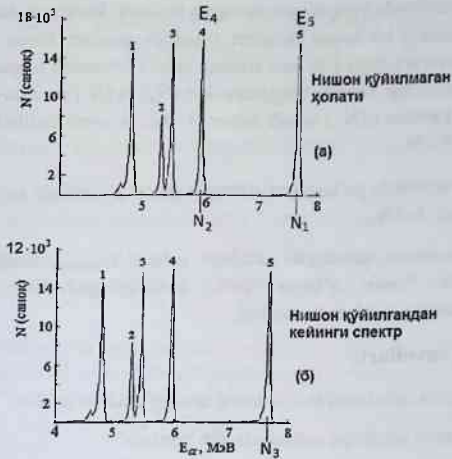
7.  $\alpha$ -manba bilan detektor o'rtasiga qalinligi aniqlanishi kerak bo'lgan nishon qo'yiladi. Shisha qalpoq o'matiladi, xavo kiradigan tamoni berkitiladi. Vakuum nasosi tomoni asta-sekinlik bilan ochiladi. Vakuum olish boshlanadi.

8. Shisha qalpoq maxkam o'mashganidan keyin ustiga alyuminiydan yasalgan qalpoq o'matiladi.

9. Detektorga kuchlanish beriladi. Kompyuter ekranida  $\alpha$ - spektrlar yozila boshlaydi.

10.  $\alpha$ - spektrlar o'lchab bo'linganidan so'ng kompyuter xotirasiga yozib qo'yiladi.

O'lchangan  $\alpha$ - spektrlar tahlil qilinadi va nishonda yo'qolgan energiya aniqlanadi. 4-rasmda o'lchangan spektrlar ko'rsatilgan.



4-расм. О'лчанган  $\alpha$ - спектрлар. (a)-нисшон қо'йилмаган ҳолати, (b)-нисшон қо'йилган ҳолати

### Натжаларни тahlil қилиш:

1.  $\alpha$ -спектрлар о'лчанганидан кейин, 4(a)-расмда ко'рсатилган (нисшон қо'йилмаган ҳолатидagi) спектрдан бitta каналга то'g'ри келувчи энергиянинг қиймати топилadi (каналнинг баҳоланиши). Бuning учун 5-рақамли  $\alpha$ -спектрнинг энергияси аниқланadi (E<sub>5</sub>). Со'нгра 4-рақамли  $\alpha$ -спектрнинг энергияси аниқланadi (E<sub>4</sub>). Энергияларнинг айирмаси аниқланadi:  $\Delta E = Y_{E_5} - Y_{E_4}$ .
2. 5-рақамли  $\alpha$ -спектрнинг энг максимал қийматига то'g'ри келувчи каналнинг рақами аниқланadi (N<sub>1</sub>). Со'нгра 4-рақамли  $\alpha$ -спектрнинг энг максимал қийматига то'g'ри келувчи каналнинг рақами топилadi (N<sub>2</sub>). Каналларнинг айирмаси аниқланadi:  $\Delta N = N_1 - N_2$ .
3. Бitta каналнинг баҳоланиши (K) quyidagi ifoda орқали топилadi. Ya'ни:  $K = \Delta E / \Delta N$ , keV/канал. Бу аниқланган катталиқ бitta каналга то'g'ри келувчи энергия ҳисобланadi.



4. Yupqa nishonda yo'qotilgan energiya topiladi. Buning uchun (a) va (b)-spektrlarning bir biriga nisbatan siljishini aniqlash lozim. 5-raqamli  $\alpha$ -spektrning siljishini topamiz. Buning uchun 5-raqamli  $\alpha$ -spektrning (a) va (b)-rasmlardagi kanallarning raqamlari ( $N_1$ ) va ( $N_3$ ) mos ravishda topiladi. Siljish kanalini ( $\Delta N_1$ ) topish uchun  $N_1$  dan  $N_3$  ayrib tashlash lozim, ya'ni  $\Delta N_1 = N_1 - N_3$ .
5. Yupqa nishonda yo'qotilgan energiya quyidagi ifodaga ko'ra aniqlanadi.  

$$Ye_{yutilgan} = K \cdot \Delta N_1.$$
6. Yupqa nishon qalinligini aniqlash uchun  $Ye_{yutilgan}$  energiyaga to'g'ri keluvchi "bosib o'tilgan yo'l" kattaligi jadvallar yoki "Loss" programmasi yordamida topiladi.

### Nazorat savollari:

1. Yupqa nishon qalinligini aniqlashning qanday usullari bor?
2. O'lchash nima sababdan vakuumda olib boriladi?
3. Nima sababdan o'lchash ikki marta amalga oshiriladi?
4. Yupqa nishonda yo'qotilgan energiya qanday topiladi?
5. Kanalning baholanishi nimani anglatadi?
6.  $Ye_{yutilgan}$  energiyaga to'g'ri keluvchi "bosib o'tilgan yo'l" kattaligi qanday topiladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.
3. Pod redaksiyey K.G. Finogenova // Laboratornyy praktikum po eksperimentalnyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.
4. V.I. Vaganov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratornyye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.
5. M.A. Baturiskiy // " Vzaimodeystvie ioniziruyushchego izlucheniya s veshchestvom", Minsk, 2005.

## VI BOB. IONLASHTIRUVCHI ZARRACHALARDAN HIMOYALANISH

### № 29. Laboratoriya ishi

#### **$\alpha$ -zarrachalardan himoyalanişni tashkil qilish**

**Ishdan asosiy maqsad:**  $\alpha$ -radionuklidlar bilan tanishish.  $\alpha$ -zarrachalaridan himoyalaniş yo'llarini o'rganish. Himoya devori materiallarini tanlash.

**Kerakli jihozlar:**  $\alpha$ -zarracha manbai ( $^{226}\text{Ra}$ ), himoya devorlari (oddiy qog'oz, alyuminiy, orgsteklo),  $\alpha$ -spektrometr, programma ta'minoti, EHM, dozimetr.

**Nazariy qismi:** Al'fa zarracha geliy atomining yadrosidir. Tabiatda o'zidan  $\alpha$ -nurlarni tarqatuvchi radioaktiv elementlar mavjud bo'lib, ular asosan massa soni katta bo'lgan yadrolarga to'g'ri keladi (Z). Turli  $\alpha$ -radioaktiv yadrolardan chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachaning energiyasini va moddalardagi o'tish masofasini (probegini) (R) o'lchash hamda yarim yemirilish davrini aniqlash orqali bu kattaliklar o'rtasida qonuniyat mavjudligi aniqlandi. Uchta radioaktiv oilaga kiruvchi  $\alpha$ -radioaktiv elementlar uchun Geyger va Netoll quyidagi ifodani aniqladi:

$$\lg \lambda = A \cdot \lg R_{\alpha} + B, \quad (1)$$

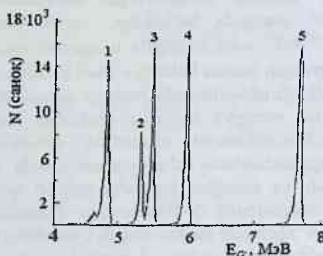
bu yerda A- o'zgarmas son bo'lib, uning qiymati barcha uchta radioaktiv oilalar uchun bir-hildir. V-ning qiymati esa bir-biridan 5% farq qiladi.  $\lambda$ - parchalanish doimiysi. O'lchashlar shuni ko'rsatdiki hozirgi davda ma'lum bo'lgan  $\alpha$ -radioaktiv yadrolar chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachalarning energiyasi  $4 \text{ MeV} \leq E_{\alpha} \leq 9 \text{ MeV}$  oraligida bo'lishligi, yarim yemirilish davri esa  $10^{10} \text{ yil} \geq T_{1/2} \geq 10^{-7} \text{ sek.}$  soha oraligida o'zgarishi aniqlandi.  $\alpha$ -radioaktiv elementlar bilan ishlayotgan vaqtda bularga e'tibor berish kerak. Hozirgi vaqtda  $\alpha$ -nurlari ko'p maqsadlarda ishlatilmoqda. Bularga qisqachato'xtalib o'tamiz:  $\alpha$ -spektrometr kanallarini energiya bo'yicha sozlashda, kremniyli yuza-barer detektorlarining harakteristikalarini aniqlashda, detektorlarning qalinligini o'lchashda, o'ta yupqa nishonlarni qalinligini aniqlashda, zaryadli zarrachalar spektrometrini sozlash va energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini tekshirish ishlarida va boshqa maqsadlarda qo'llanilmoqda. Yuqorida ko'rsatib o'tilgan ishlarni bajarish uchun namunali spektrometrik  $\alpha$ -manbalar(NSAM) yaratilgan. Quyidagi 1- jadvalda bir nechta  $\alpha$ -manbalarining asosiy metrologik harakteristikalari ko'rsatilgan.

1-jadval. NSAM ning asosiy metrologik xarakteristikalari

Radionuklid	Tashiq $\alpha$ -nurlanishning $2\pi$ sr.,s <sup>-1</sup> burchakdagi qiymati	Manbaning aktivligi, Bk	$\alpha$ -zarrachalar-ning energiyasi, KeV
<sup>238</sup> Ru	$2,3 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	5499,1 5456,3
<sup>239</sup> Ru	$1,9 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	5156,7 5143,9
<sup>226</sup> Ra va uning mahsulotlari	$1,9 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	4601,7 4784,4 5489,5 6002,4 7686,9 5499,1 5456,3
<sup>233</sup> U, <sup>238</sup> Ru, <sup>239</sup> Ru	$1,9 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	5156,7 5143,9 5105,9 4824,4 4782,7

Hozirgi vaqtda 1-jadvalda ko'rsatilgan  $\alpha$ -manbalar to'plami chiqarilmoqda. To'plamdagi har bir  $\alpha$ -manbaning tayyorlanishi quyidagicha. Diametri 24 mm qalinligi 2 mm bo'lgan zanglamas po'lat plastinkasi markaziga  $\alpha$ -radioaktiv element qoplangan. Bu radioaktiv qoplamaning diametri 12 mm ga teng. <sup>226</sup>Ra manbasi esa qo'shimcha dioksid titan plyonkasi bilan o'ralgan.

1-rasmda <sup>226</sup>Ra manbasi chiqarayotgan  $\alpha$ -spektrlar ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki bu manba o'zidan bir nechta monoenergiyali  $\alpha$ -zarrachalarini chiqaradi. Bu o'z navbatida spektrometr shkalalarini energiya bo'yicha sozlash ishlarini osonlashtiradi.



1-rasm. <sup>226</sup>Ra manbasidan chiqarayotgan  $\alpha$ -spektrlar

Tabiiy  $\alpha$ -radioaktiv elementlar chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachaning maksimal energiyasi 9 MeV dan ortmaydi. Lekin yuqori energiyali  $\alpha$ -zarrachlarni ( $>10$  MeV) yadro reaksiyalarini yordamida olish mumkin.  $\alpha$ -zarrachasidan himoyalaniшни tashkil qilish uchun, birinchidan  $\alpha$ -zarrachani moddalardan o'tish davomida yo'qotgan energiyasini hisoblash yo'llarini o'zlashtirish kerak. Bundan tashqari  $\alpha$ -zarrachasi atom yadrosi va elektronlari bilan ta'sirlashishi natijasida qanday turdagi ikkilamchi zarrachalar paydo bo'lishini bilish lozim. Albatta, tabiiy  $\alpha$ -radioaktiv elementlar chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachalardan himoyalaniş qiyinchilikni yuzaga keltirmaydi, chunki, bunday zarrachani oddiy qog'oz varoqi yordamida to'sish mumkin. Energiyasi 9 MeV bo'lgan  $\alpha$ -zarracha havoda 10 sm masofalarga yetib bora oladi holos. Lekin yuqori energiyali  $\alpha$ -zarrachalardan qanday himoyalaniş kerak degan masala oldimizda turadi. Bu masalani hal qilishdan oldin  $\alpha$ -zarrachaga tegishli bo'lgan xarakteristikalami ko'rib chiqaylik. 2-jadvalda  $\alpha$ -zarrachaga tegishli kattaliklar berilgan.

2-jadval. Alfa zarrachaga tegishli kattaliklar

Belgilanishi	Massa soni, A	Zaryadi, Z	Massasi, a.m.b.	Solishtirma bog'liq ener., MeV	Spini, S
${}^4\text{He}$	4	2	4,0026	~7,0	0

$\alpha$ -zarrachalarni moddalardan o'tishida uning atomi yadrosi va elektronlari bilan ta'sirlashadi. Ta'sirlashishning turlari albatta, zarrachaning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Ta'sirlarni yaxshi bilish dozimetriyada va zarrachalardan himoyalaniş masalalarini hal qilishda katta ahamiyatga ega. Past energiyalarda  $\alpha$ -zarrachani yadroga qilgan ta'sirini hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki bu ta'sirning kesim kattaligi nihoyat darajada kichikdir.  $\alpha$ -zarrachalar asosan atomdagi elektronlar bilan elastik va noelastik ta'sirlashishda bo'ladi. Elastik ta'sirlashishda  $\alpha$ -zarracha deyarli energiyasini o'zgartirmaydi. Shu sababli bu ta'simi hisobga olmasa ham bo'ladi. Demak,  $\alpha$ -zarracha moddalardan o'tish davomida noelastik ta'sir hisobiga o'z energiyasini elektronlarga beradi.  $\alpha$ -zarrachaning elektr maydoni ta'sirida atomdagi elektron tezlik oladi. Natijada, tezlik olgan elektronlar atomidan uzilib tashqariga chiqadi yoki katta energiyali qobiqlarga o'tadi (uyg'ongan holatiga). Hosil bo'lgan elektronlar atomlarni yana qo'shimcha ionlashtiradi. Uyg'ongan atomlar esa asosiy holatiga o'tishida ma'lum energiyali kvantlarni chiqaradi.

Energiyasi  $Y_{e\alpha} > 10$  MeV dan katta bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalar juda ko'p jarayonlarni yuzaga keltiradi. Elastik va noelastik sochilishdan tashqari atom yadrosi bilan ta'sirlashadi, ya'ni yadro reaksiyalarini sodir etadi. Bu reaksiyalar natijasida zaryadli zarrachalar, neytronlar va  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'ladi. Albatta

bu zarrachalarning energiyasi  $\alpha$ -zarrachaning energiyasiga bog'liq holda o'zgaradi. Katta energiyali  $\alpha$ -zarrachalardan himoyalaniş ancha qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Ayniqsa, neytron va  $\gamma$ -kvantlaridan himoyalaniş bir qator muomolarni keltirib chiqaradi. Bularda himoyalaniş uchun turli materiallardan tayyorlangan devorlar uyushmasidan foydalanish kerak bo'ladi. Neytron va  $\gamma$ -kvantlaridan himoyalaniş yo'llari boshqa laboratoriya ishlarida ko'rsatib o'tilgan.

$\alpha$ -zarrachalarni moddalarga kirib borish chuqurligini (probegini) aniqlash doimo kerak bo'ladi. Kirib borish chuqurligini aniqlash uchun sodda empirik ifodalar keltirib chiqarilgan. Bu ifoda gaz uchun quyidagi ko'rinishga ega ( $0^\circ$ , 760 mm.sim.us.) :

$$R_{\alpha H} = 0,309 \cdot E_{\alpha}^{1/2}, \text{ cm} \quad (2)$$

bu yerda  $Ye_{\alpha}$ - $\alpha$ -zarrachaning energiyasi, MeV. Bu ifoda orqali energiyasi 8 MeV gacha bo'lgan  $\alpha$ -zarrachaning probegini 5% hatolik bilan topish mumkin. Boshqa muhitlardagi kirib borish chuqurligini esa ushbu ifoda yordamida topish mumkin:

$$R_{\alpha} = \frac{10^{-4} \sqrt{AE_{\alpha}^3}}{\rho}, \text{ sm} \quad (3)$$

Kirib borish chuqurligi kattaligini boshqa ifoda orqali yanada aniqroq topish imkoniyati bor.

$$R_{\alpha} = \frac{10^{-4} \cdot A \sqrt{E_{\alpha}^3}}{\rho^3 \sqrt{Z^2}}, \text{ sm} \quad (4)$$

bu yerda  $Ye_{\alpha}$ - $\alpha$ -zarrachaning energiyasi, MeV; A-atom massasi;  $\rho$  — moddaning zichligi,  $g/cm^3$ , Z-tartib nomeri.

$\alpha$ -zarrachalarni turli moddalardagi kirib borish chuqurligini, havodagi kirib borish chuqurligiga nisbatan aniqlash mumkin. Bunda moddalarning tormozlash qobiliyati ishlatiladi (S). Havo uchun  $S_h$ , modda uchun esa  $S_m$  deb belgilaymiz. Tormozlash qobiliyatining ma'nosi, zarrachani moddani bir birlik masofasini bosib o'tishida yo'qotgan energiyasini ifodalaydi. Bu ko'pincha chiziqli tormozlash qobiliyati deb ham yuritiladi.  $S_h/S_m$  nisbat nisbiy chiziqli tormozlash qobiliyati deyiladi va  $S_L$  bilan belgilanadi:

$$S_L = \frac{S_{\square}}{S_m} = \frac{R_{\alpha \square}}{R_{\alpha m}}, \quad (5)$$

bu yerda  $R_{\alpha_0}, R_{\alpha_m}$  - alfa zarrachasining havodagi va moddadagi kirib borish chuqurliklari, sm.

Bulardan tashqari nisbiy massaviy tormozlash qobiliyati ( $S_m$ ) ham hisoblash ishlarida ishlatiladi:

$$S_m = \frac{\rho_0 \cdot R_{\alpha_0}}{\rho_m \cdot R_{\alpha_m}} \quad (6)$$

Nisbiy tormozlash qobiliyatini ( $S_a$ ) modda atomiga ham qo'llash mumkin:

$$S_a = \frac{\rho_0 R_{\alpha_0}}{\rho_m \cdot R_{\alpha_m}} \cdot \frac{A_0}{A_M} \quad (7)$$

Tajribalardan shu narsa ma'lum bo'ldiki, atom massasining ortib borishida, atomning tormozlash qobiliyatini ( $S_a$ ) taxminan  $\sqrt{A_m}$  ga proporsional holda ortishi kuzatilgan.  $S_a/\sqrt{A_m}$  nisbati turli kimyoviy elementlar uchun bir xil ekanligi va 0,3 ga tengligi aniqlandi. Shunga ko'ra (6)-ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$S_a/\sqrt{A_m} = 0,3 = \frac{\rho_0 R_{\alpha_0} \sqrt{A_M}}{\rho_m \cdot R_{\alpha_m} \cdot A_0} \quad (8)$$

(8)-ifodadan alfa zarrachasining moddadagi kirib borish chuqurligini aniqlaymiz:

$$R_{\alpha_m} = 3 \cdot 10^{-8} \frac{R_{\alpha_0} \sqrt{A_M}}{\rho_m}, \text{ sm} \quad (9)$$

Biologik to'qimalar uchun:  $A=15,7$ ;  $\rho = 1 \text{ g/sm}^3$ ;  $Z=7,5$  ga teng.

Havo uchun esa:  $A_h=14,4$ ;  $\rho = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/sm}^3$ ;  $Z=7,5$  ga teng.

Yuqorida ko'rsatilgan ifodalar yordamida  $\alpha$ -zarrachalarni turli moddalardagi kirib borish chuqurligini hisoblab topish mumkin. Bu hisob natijalari himoya devori qalinligini aniqlashga yordam beradi.

$\alpha$ -radioaktiv nuklidlarni odam terisiga va ichki organlariga kirishiga aslo yo'l qo'yib bo'lmaydi. Agar biror sababga ko'ra odam badaniga yoki qo'lga to'kilgan bo'lsa, radionuklidning bergan doza qiymatini quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$D = \frac{0,5 \cdot A_t \cdot E_{\alpha} \cdot t \cdot \rho_t}{R_{\alpha_t}} \quad (10)$$

bu yerda  $A_T$ -to'qimaning effektiv massa soni;  $t$ -nurlanish vaqti, sek;  $\rho$ -to'qimaning zichligi,  $g/cm^3$ ;  $R_{\alpha t}$  - $\alpha$ -zarrachacini to'qimadagi probegi. -jadvalda turli energiyali  $\alpha$ -zarrachalarini havodagi, alyuminiydagi va biologik to'qimadagi probeglari berilgan.

Agar ish olib borayotgan xodimning terisiga yoki halat sirtiga radionuklid to'kilgan bo'lsa, u bergan yutilgan dozaning qiymatini ushbu ifoda orqali aniqlash mumkin.

$$D_{yut} = \frac{j_{ozchq}^{\alpha} \cdot E_{\alpha} \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot t}{100 R_{\alpha}}, \text{ rad} \quad (11)$$

bu yerda  $j_{ozchq}^{\alpha}$  - $\alpha$ -zarrachacini oqim zichligi, zarr./ $cm^2$ ·sek;  $t$ -bir hafta davomidagi ish vaqti, soat; 100-radga energetik ekvivalent, 100 erg/g;  $E_{\alpha}$ - $\alpha$ -zarrachaning energiyasi, MeV;  $R_{\alpha}$  - $\alpha$ -zarrachacini biologik to'qimadagi kirib borish chuqurligi,  $g/cm^2$ .

(11)-ifodadan  $j_{ozchq}^{\alpha}$ -kattaligi aniqlandi.  $D_{ef}$  -o'rniga bir hafta ichida olinishi mumkin bo'lgan dozaning chegaraviy qiymati qo'yiladi, ya'ni  $D=0,04$  ber=0,04 rad.

$$j_{ozchq}^{\alpha} = \frac{0,04 \cdot 100 \cdot R_{\alpha}}{E_{\alpha} \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot t} \quad (12)$$

3-jadvalda  $\alpha$ -zarrachalarini havoda, alyuminiyda va biologik to'qmalardagi kirib borish chuqurligi berilgan. Agar  $\alpha$ -zarrachalarini havodagi kirib borish chuqurligini ma'lum bo'lsa, (9)-ifoda orqali boshqa moddalar uchun kirib borish chuqurligi kattaligini topish mumkin.

3-jadval.  $\alpha$ -zarrachalarini havoda, alyuminiyda va biologik to'qmalardagi kirib borish chuqurligi

$E_{\alpha}$ , MeV	Havo, sm	Al, mkm	Biologik to'qima, mkm
4,0	2,5	16	31
4,5	3,0	20	37
5,0	3,5	23	43
5,5	4,0	26	49
6,0	4,6	30	56
6,5	5,2	34	64
7,0	5,9	38	72
7,5	6,6	43	81
8,0	7,4	48	91
8,5	8,1	53	100
9,0	8,9	58	110
9,5	9,8	64	120
10,0	10,6	69	130

$\alpha$ -radioaktiv nuklidlarni odanining ichki organiga kirishiga aslo yo'l qo'yib bo'lmaydi. Chunki uni ionlashtirish qobiliyati juda yuqori bo'lganligi uchun to'qimalarga juda katta ta'sir ko'rsatadi. Ochiq turdagi  $\alpha$ -manbalar bilan ish olib borilayotganda ichki organlarga kirib borishiga yo'l qo'ymaydigan choralamni ko'rish kerak.

### **$\alpha$ -zarrachalardan himoyalaniшни tashkil qilish:**

Demak, yuqorida aytilgan fikrlarga ko'ra, tashqi nurlanish dozasini beruvchi  $\alpha$ -manbalardan himoyalaniش tartibi quyidagicha amalga oshiriladi:

1.  $\alpha$ -zarrachalarini beruvchi radioaktiv element aniqlanadi.  $\alpha$ -radioaktiv izotopning parchalanishida hosil bo'luvchi mahsulotlar tahlil qilinadi. Agar bu mahsulotlar ichida radioaktiv elementlar mavjud bo'lsa, ular chiqargan nurlanishlar ham hisobga olinadi.

2. Radionuklid chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachalarining energiyalari aniqlanadi. Agar radionuklid va uning mahsulotlari chiqarayotgan  $\alpha$ -spektrlar bir nechta bo'lsa, ular ichidan eng katta energiyaga ega bo'lgani tanlanadi.

3.  $\alpha$ -radioaktiv izotopining aktivligi yoki doza quvvati baholanadi.  $\alpha$ -dozimetrlar yordamida manbadan ma'lum uzoqlikdagi nuqtadagi doza yoki doza quvvati o'lchanadi. Tanlangan nuqta sifatida xodim ish olib boradigan joyni olish mumkin.

4.  $\alpha$ -zarrachalarini moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasi qaysi jarayonlarga ko'ra sodir bo'lishiga qayta murojat qilamiz (bu oldingi boblarda ko'rib o'tilgan edi). Asosiy ta'sirlar: Kulon kuchlari, elastik sochilish va muhit atomlarini ionlashtirish.

5.  $\alpha$ -zarrachalarini muhit atomlari bilan qilgan ta'sirlari tahlil qilinadi va himoya devorining materiali tanlanadi. Agar  $\alpha$ - va  $\beta$ -zarrachalardan himoyalaniشga to'g'ri kelsa, material sifatida Al-foydalanish maqsadga muvofiqdir.

6. Himoyalaniشda na faqat devorlardan balki, masofa va vaqt kattaliklaridan ham umumli foydalanish kerak.

7. Himoya devori o'rnatilgandan keyin xodim ishlaydigan joydagi doza yoki dozaning quvvati o'lchanadi.

8. Tajriba orqali o'lchangan natijalar chegaralangan qiymatlariga solishtiriladi va tegishli xulosalar keltirib chiqariladi.

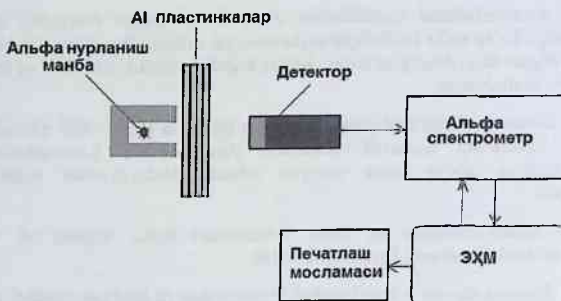
9. Agar  $\alpha$ -manba ochiq turda bo'lsa, ochiq turdagi manbalar bilan ishlash qoidalariga to'liq amal qilish lozim. Bunday manbalar ikki turdagi nurlanish dozasini beradi. Tashqi nurlanish dozasini qiyinchiliksiz kamaytirish mumkin.



Ammo, ichki tamondan beriladigan nurlanish dozasini kamaytirish uchun bir qator choralarni ko'rishga to'g'ri keladi.

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. 2-rasmda ko'rsatilgan tajribaning geometriyasi va blok-sxemasini yig'ish.
2.  $\alpha$ -manbani tanlash.  $^{226}\text{Ra}$  olingani ma'qul. Parchalanish sxemasi anchagina sodda.
3. Detektor sifatida oknosi juda yuqqa bo'lgan schetchikni ishlatish mumkin.
4. Alfa spektrometr va detektorlarni tok tarmog'iga ulash. Bir oz qizdirish kerak.
5. Detektorga kuchlanishni sekinlik bilan berish va belgilangan qiymatida to'xtatish lozim.
6. Alfa spektrometr va EHM ish rejimiga keltiriladi.
7.  $^{226}\text{Ra}$  nurlanish manbaini detektordan ma'lum uzoqlikka himoya devori ichiga joylashtiriladi.
8. Alyuminiy plastikalar bo'lmagan vaqtidagi spektr o'lchanadi va sanoq tezligi aniqlanadi. Natija EHM ning hotirasiga yozib boriladi.
9.  $^{226}\text{Ra}$  nurlanish manbai va detektor orasiga alyuminiy plastikasining bittasi quyiladi va sanoq tezligi topiladi. Olingan natija yozib qo'yiladi.
10.  $^{226}\text{Ra}$  nurlanish manbai va detektor orasiga quyilgan alyuminiy plastikasining yoniga ikkinchi plastinka quyiladi va sanoq tezligi topiladi. Olingan natija yozib qo'yiladi.



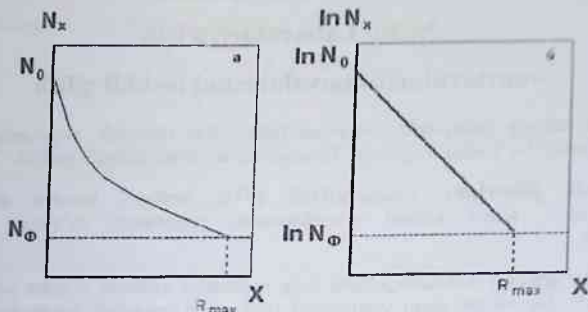
2-rasm. Tajribaning geometriyasi va blok-sxemasi

11. O'lchashlar shu tariqa davom etadi. Sanoq tezligi fonlarning sanoq tezligiga yaqinlashadi. O'lchashlar to'xtatiladi.
12. O'lchangan natijalarga ko'ra sanoq tezligi va plastinkalar qalinliklari orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi. Bu grafik 7-rasmda ko'rsatilgan. 7a-

rasmida grafik oddiy shkalada chizilgan, 7b-rasmida esa bog'lanishi yarimlogarifm shkalasida chizilgan.

13. Sanoq tezligini fon sanoq tezligiga tenglashtirib qolishi  $\beta$ -zarrachalar bilan alyuminiy plastikalarda to'liq yutilishini ko'rsatadi.

14. Alyuminiy plastikalarning qalinliklari qo'shilib, alyuminiyning yig'indi qalinligi topiladi.



3-rasm.  $\alpha$ -zarrachalarining alyuminiy platinkasida yutilishi.

### Nazorat savollari

1.  $\alpha$ -parchalanishda siljish qoidasi qanday bo'ladi?
2.  $\alpha$ -parchalanishda yadroda qanday o'zgarishlar sodir bo'ladi?
3.  $\alpha$ -zarrachalardan himoyalashda qanday materiallardan foydalanish kerak?
4.  $\alpha$ -zarrachalar modda atomi bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
5. Bote-Blox tenglamasini tushuntirib bering?
6.  $\alpha$ -zarrachalar moddalardan o'tishida o'z energiyasini qanday yo'llar bilan yo'qotadi?
7.  $^{90}\text{Sr}$  izotopining parchalanish sxemasini izohlab bering?
8.  $\alpha$ -zarrachalar moddalardan o'tishida intensivligini qanday qonuniyat asosida kamaytirib boradi?
9. Bir nechta  $\alpha$ -radioaktiv elementlarni aytib bering?
10. Nima uchun tajribada ishlatilayotgan alyuminiy plastinkalarning qalinliklarini juda kichik olish kerak (50 mikronlarda)?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.P. Chernyaev // Vzaimodeystvie ioniziruyushogo izlucheniya s veshchestvom, M: Fizmatlit, 2004.
2. L.D. Zaripova // Zamita ot ioniziruyushogo izlucheniya, Kazan, 2008.
3. N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov // Zamita ot ioniziruyushix izlucheniya, M: Energoatomizdat, Tom 1, 1989.
4. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalanih, Toshkent, Davr, 2013.

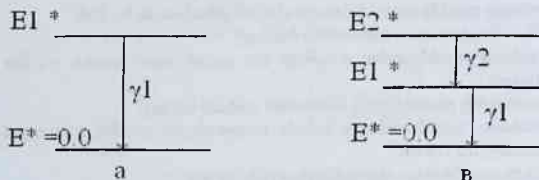
## № 30. Laboratoriya ishi

### γ-nurlaridan himoyalanihni tashkil qilish

**Ishdan asosiy maqsad:** γ-radionuklidlar bilan tanishish. γ-zarrachalaridan himoyalanih yo'llarini o'rganish. Himoya devori materiallarini tanlash.

**Kerakli jihozlar:** γ-radionuklidi ( $^{60}\text{Co}$  boshq.), himoya devorlari (qo'rg'oshin, temir, beton), γ-spektrometr, programma ta'minoti, EHM, dozimetr.

**Nazariy qismi:** Tabiatdagi juda ko'p radioaktiv yadrolar o'zidan γ-kvantini chiqaradi. Bu nurlar atom yadrolarini uyg'ongan energetik holatlaridan quyi energetik holatlariga o'tishida hosil bo'ladi. Bu jarayonni radiatsion o'tish deb ham yuritish mumkin. Radiatsion o'tish tashqi ta'sirlarsiz o'z - o'zidan sodir bo'ladi. Radiatsion o'tish bir karrali yoki ko'p karrali (kaskadli) bo'lishi mumkin. Bir karrali radiatsion o'tishda uyg'ongan holatdagi yadro asosiy holatiga bitta gamma kvantini chiqarish orqali o'tadi (1a-rasm.). Kaskadli o'tishda esa uyg'ongan holatdagi yadro asosiy holatiga bir-nechta gamma kvantlarni birin-ketin chiqarish orqali o'tadi (1v-rasm.). 1-rasmdaradiatsiono'tishning ikki turi



1-rasm. Radiatsion o'tishning ikki turi

O'z tabiatiga ko'ra gamma nuri yadroning o'zgarishida hosil bo'luvchi qisqa to'liqlik elektromagnit nurlanishidir. Odatda γ-kvantlarining energiyasi 10 keV ÷ 5 MeV soha oraliklarida bo'ladi. Bu energiyalarga mos keluvchi to'liqlik uzunliklari  $10^8 \geq \lambda \geq 2 \times 10^{-11}$  sm soha oraligida o'zgaradi.

Gamma kvantining energiyasi radiatsion o'tish sodir bo'lgan energetik soha energiyalarining ayirmasiga teng bo'ladi, ya'ni

$$E = E_\gamma = \pi \delta \approx E_i - E_f, \quad (1)$$

bu yerda  $E_i$ -yadroning boshlang'ich holat energiyasi;  $E_f$  - yadroning keyingi holat energiyasi.

Energiya va impulsning saqlanish qonunlariga ko'ra:

$$E = E_\gamma + E_{yad.}$$

$$P_\gamma + P_{yad.} = 0 \quad (2)$$

bu yerda  $E_{yad.}$  va  $P_{yad.}$  tepki yadroning energiyasi va impulsidir. Bu ifodadan  $E_{yad.}$  osongina boholash mumkin:

$$E_{yad.} = \frac{(\pi \delta)^2}{2Mc^2} \quad (3)$$

Bu yerda sodir bo'ladigan jarayonlar 2-rasmda o'z aksini topgan.



2-rasm. Uyg'ongan holatdagi yadroning  $\gamma$ -nurlanishi

Hisoblarga ko'ra  $Y_{e\gamma} = 0,1 + 1$  MeV energiyalarida massa soni  $A=100$  ga teng yadrolarning olgan tepki energiyasi  $E_{yad.} \approx 0,1 \div 10$  eV atrofida bo'lar ekan. Demak yadroning uyg'ongan holat energiyasini asosan  $\gamma$ -kvanti o'zi bilan olib chiqib ketar ekan. Natijada gamma kvantining energiyasi diskret ko'rinishda bo'ladi. Atom yadrosi turli sabablarga ko'ra ( $\alpha$ - va  $\beta$ -emirilishlar) uyg'ongan energetik holatlarda bo'ladi. Odatda  $\alpha$ -yemirilishdan keyin hosil bo'lgan uyg'ongan holatidagi yadro asosiy holatga o'tishida past energiyali  $\gamma$ -kvantlarini chiqaradi ( $E_\gamma < 5$  MeV).  $\beta$ -emirilishda hosil bo'lgan yadrolarning radiatsion o'tishlaridagi  $\gamma$ -kvantlarning energiyasi 2 – 2,5 MeV energiyagacha yetib boradi.

Gamma nurlanish elektromagnit to'lqinlar hisoblanadi. Moddalardan o'tishida  $\gamma$ -nurlari atomning elektronlari va yadrolari bilan ta'sirlashadi, natijada  $\gamma$ -nuri oqimining quvvati kamayadi. Gamma kvantining energiyasi 10 MeV gacha bo'lgan oraliklarida fotoeffekt, Kompton effekt va elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi kabi jarayonlarni sodir etadi. Gamma kvantining energiyasi

10 MeV dan katta bo'lganda esa fotoyadro reaksiyalarining kanallari ochiladi. Fotoyadro reaksiyalariga  $(\gamma, p)$ ,  $(\gamma, n)$  va  $(\gamma, \alpha)$  jarayonlari kiradi.  $(\gamma, p)$  va  $(\gamma, n)$  reaksiyalariga yadro fotoeffekti deb ham yuritiladi.

## Fotoeffekt

Fotoeffekt hodisasida  $\gamma$ -kvant atomning elektronlari bilan ta'sirlashadi. Elektron atomga bog'langan deb olinadi. Gamma kvantining energiyasi elektronni atomga bog'lanish energiyasiga teng va undan katta bo'lgan holatlarda bu jarayon sodir bo'ladi. Fotoeffektida foton atomda yutiladi va elektron uzilib chiqadi. 3-rasmda Fotoeffekt hodisasining kesimi tasvirlangan.

Fotonning energiyasi to'liq uzatiladi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra foton energiyasining bir qismi elektronni atomidan uzish energiyasiga, qolgan energiya esa elektronning kinetik energiyasiga sarflanadi.

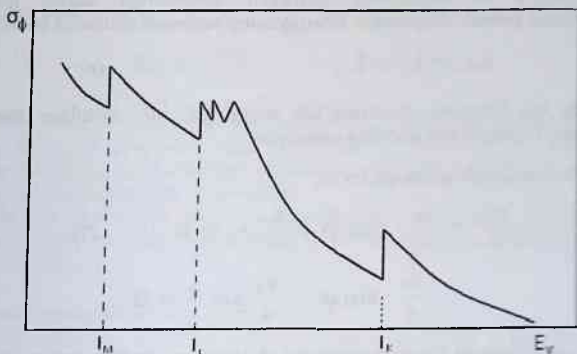
$$E_e = E_\gamma - I_i, \quad (4)$$

bu yerda  $E_\gamma$ -gamma kvantining energiyasi,  $I_i$ - atom qobiqlaridagi ionlashtirish potentsiali,  $E_e$ - uzilib chiqqan elektronning kinetik energiyasi. Agar  $E_\gamma < E_k$  bo'lsa fotoeffekt L-, M- va boshqa qobiqlarda yuz berishi mumkin. Agar  $E_\gamma < I_L$  bo'lsa, fotoeffekt M-, N- va boshqa qobiqlarda yuz beradi. Agar  $E_\gamma < I_i$  bo'lsa i-qobiqda fotoeffekt jarayoni yuz bermaydi. Agar  $E_\gamma > I_i$  bo'lsa va  $E_\gamma$  ortib borishida fotoeffektning ro'y berish ehtimolligi kamayib boradi. Buni  $E_\gamma$  va  $I_i$  energiyalarini bir-biriga solishtirish orqali izohlab berish mumkin.  $E_\gamma > I_i$  munosabatida  $E_\gamma$  energiyasining ortib borishida atomning i-qobig'ida joylashgan elektron erkin elektron holatiga yaqinlashadi va  $\sigma_f$  kesim kattaligi kamayadi. Bu aytilgan mulohazalar tajriba va nazariya orqali o'z tasdig'ini topgan. Gamma kvantning katta energiyalarida  $\sigma_f$  kesimi kichik. Kvant energiyasining kamayib borishida  $\sigma_f$  kesim kattaligi ortib boradi va  $E_\gamma = I_i$  ga teng bo'lganda  $\sigma_f$  kesim kattaligini keskin kamayishi kuzatiladi. Bunga sabab  $E_\gamma < I_i$  bo'lganda K-qobiqdagi elektronni uzib chiqarishga qodir bo'lmaydi. Gamma kvanti energiyasining keyingi kamayib borishida  $\sigma_f$  kesim kattaligini yana ortib borishi kuzatiladi va  $E_\gamma = I_i$  ga teng bo'lganda  $\sigma_f$  kesim kattaligida yana kamayish kuzatiladi. Bu hodisa shu tariqa keyingi qobiqlardagi elektronlarda ham kuzatiladi. Bo'shab qolgan elektronning joyiga yuqori qobiqlardagi elektronlarning o'tishi natijasida rentgen nurlanishi yoki Oje elektronlarining chiqishi kuzatiladi. Oje elektronlarining chiqishi atomning uyg'ongan energiyasini to'g'ridan-to'g'ri atomdagi elektronga uzatilishi orqali ro'y beradi. Fotoeffekt hodisasi erkin elektronlarda sodir bo'lmaydi. Buni energiya va impulsning saqlanish qonunlari asosida izohlash mumkin. 3-rasmda Fotoeffekt kesim kattaligini gamma kvant energiyasiga bog'liqligi ko'rsatilgan. Fotoeffekt hodisasini chuqur o'rganish orqali quyidagi bog'lanishlar aniqlandi:

$\sigma_{\Phi} \sim \frac{Z^5}{E_{\gamma}}$ , bu bog'lanish o'rinli quyidagi shart bajarilsa,  $E_{\gamma} \gg I_k$

bu yerda Z-moddaning zaryadi.

$\sigma_{\Phi} \sim \frac{Z^5}{E_{\gamma}^{7/2}}$ , bu bog'lanish o'rinli quyidagi shart bajarilsa,



3-rasm. Fotoeffekt kesim kattaligini gamma kvant energiyasiga bog'liqligi

Yuqorida aytib o'tilgan fikrlarga asosan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

1. Fotoeffekt jarayoni og'ir yadrolarda katta ehtimollik bilan sodir bo'ladi.
2. Gamma kvantining past energiyalarida asosan Fotoeffekt jarayoni yuz beradi.
3. Gamma kvantining yuqori energiyalarida Fotoeffekt jarayoni yuz bermaydi. Gamma kvantning energiyasi 10 MeV dan ortiq bo'lgan holatlarida fotoeffekt hodisasi umuman kuzatilmaydi.

### Kompton effekt

Kompton effektida gamma kvanti erkin elektron bilan ta'sirlashadi. Atomdagi elektronni erkin deb faraz qilishimiz mumkin, qachonki,  $Ye\gamma > E_{bog'}$  shart bajarilsa. Bujarayonda  $\gamma$ -kvant energiyasining bir qismi tepki elektronning kinetik energiyasiga aylanadi. Foton qolgan energiyasi bilan sochiladi. Kompton effektida  $\gamma$ -kvantning sochilish ehtimolligi muhit

atomidagi elektronlarning zichligiga bog'liq bo'ladi ( $n_e \sim Z$ ). Kompton effekt jarayonining kesim kattaligi quyidagi nisbatga bog'liqdir.

$$\sigma_{\text{KOMPT}} \sim Z/E_\gamma \quad (5)$$

Kompton effekti na faqat tinch turgan elektronlarda, balki harakatdagi elektronlarda ham sodir bo'ladi.

Energiya va impulsning saqlanish qonunlariga asosan quyidagi tenglamalarni keltirib chiqaramiz. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra:

$$h\nu_0 = h\nu + E_e, \quad (6)$$

bu yerda  $h\nu_0$ -fotonning boshlang'ich energiyasi;  $h\nu$ - sochilgan fotonning energiyasi;  $E_e$ -tepki elektronning energiyasi.

Impulsning saqlanish qonuniga ko'ra:

$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cdot \cos \varphi + \frac{E_e}{c} \cdot \cos \theta \quad (7)$$

va

$$\frac{h\nu}{c} \cdot \sin \varphi - \frac{E_e}{c} \sin \theta = 0.$$

Agar birlamchi foton energiyasini elektronning tinchlikdagi energiyasiga ( $m_0 c^2$ ) nisbatini  $\alpha$  — deb belgilasak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\alpha = \frac{h\nu_0}{m_0 c^2}, \quad (8)$$

Tepki elektronni olgan energiyasini quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$E_e = h\nu_0 \frac{\alpha(1-\cos \varphi)}{1+\alpha(1-\cos \varphi)}, \quad (9)$$

Elektrondan sochilgan fotonning energiyasi ushbu ifoda yordamida aniqlanadi:

$$h\nu = h\nu_0 \cdot \frac{1}{1+\alpha(1-\cos \varphi)}, \quad (10)$$

Sochilgan foton dastlabki yo'nalishiga nisbatan xohlagan yo'nalishni olishi mumkin. Sochilish burchagiga qarab sochilgan foton va tepki elektron orasida energiya taqsimlanadi. Agar sochilish burchagi  $\varphi = 0$  bo'lsa,

sochilgan foton birlamchi foton yo'nalishida bo'ladi va bunda energiyasini o'zgartirmaydi. Sochilish yuz bermaydi. Agar  $\varphi = 180^\circ$  bo'lsa, foton orqaga qarab sochiladi. Bunda sochilgan fotonning energiyasi eng kichik bo'ladi:

$$h\nu_{\text{min.}} = h\nu_0 \cdot \frac{1}{1+2\alpha} \quad (11)$$

Agar foton  $\varphi = 90^\circ$  ga sochilgan bo'lsa, sochilgan fotonning energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$h\nu = \frac{h\nu_0}{(1+\alpha)} \quad (12)$$

Foton bir-nechta to'qnashishlar natijasida o'z energiyasini kamaytirib borib, so'ngra fotoeffekt jarayonini sodir etadi. Bundan tashqari tepki elektronlar shunday energiyaga ega bo'lishlari mumkinki, ular atomdagi elektronlarni urib chiqarish qudratiga ham ega bo'lib qoladi.

Gamma nurlarining dozasini hisoblashda va ulardan himoyalash choralarini ishlab chiqishda yuqorida ko'rib o'tilgan jarayonlarga katta e'tibor berish lozimdir.

### Elektron–pozitron juftini hosil bo'lishi

Agar fotonning energiyasi 1,02 MeV dan katta bo'lsa, uchinchi jarayon elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi kuchga kiradi. Foton atom yadrosi maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qiladi. Fotonning bir qism energiyasi tepki yadroga uzatiladi. Energiyaning saqlanish qonuni bo'yicha quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$h\nu_0 = 1.02 \text{ MэВ} + \varepsilon^+ + \varepsilon^- \quad (13)$$

Elektron-pozitron juftini hosil bo'lish jarayoni bo'shliqda sodir bo'lmaydi. Bu jarayonni yuz berishi uchun albatta yadro yoki elektron bo'lishi kerak. Zarrachalar o'rtasida energiya taqsimlanadi. Birinchi holat: Fotonni yadro maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilishidagi energiya taqsimoti. Bunda tepki yadroni olgan energiyasi nihoyat darajada kichik bo'lganligi uchun uni hisobga olmasa ham bo'ladi. 4a-rasmda fotonni yadro maydoni ta'siridagi elektron-pozitron juftini hosil qilish jarayoni ifodalangan. Rasmda tepki yadro ko'rsatilmagan. 4b-rasmda fotonni elektron maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilish jarayoniko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, elektron va pozitron zarrachalaridan tashqari tepki elektroni ham bor. Bunga uchlamchi hodisa deyiladi. Ko'rsatib o'tilgan hodisalardan tashqari, yana quyidagi jarayonlar ham kuzatilishi mumkin.



Ikkita fotonning ta'sirlashishida elektron-pozitron juftini hosil bo'lishi. Bu jarayon yuz berishi mumkin qachonki, fotonlarning yig'indi energiyasi

$$E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} > 2m_e c^2 \quad (14)$$

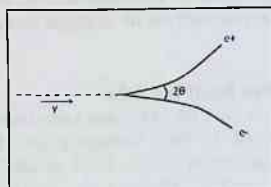
Elektronni tinchlikdagi energiyasining ikkilanganidan katta bo'lsa.

Ikkita elektronlarning o'zaro to'qnashishida ham elektron-pozitron jufti hosil bo'lishi mumkin. Bu hodisani sodir bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$E_e \geq 7 m_e c^2 \quad (15)$$

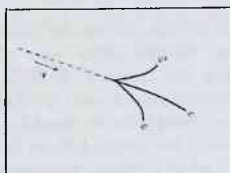
Umuman olganda elektron-pozitron juftini hosil bo'lishining kesim kattaligi quyidagi bog'lanishga ega:

$$\sigma_{\text{жyфT}} \sim Z^2 \cdot \ln 2 E_{\gamma} \quad (16)$$



(a)

4. (a)-rasm. Foton yadro maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilishi



(b)

4. (b)-rasm. Foton elektron maydoni ta'sirida elektron-pozitron juftini hosil qilishi

## Gamma nurlarini moddalardan o'tishidagi to'liq kesim kattaligi va uni hisoblash

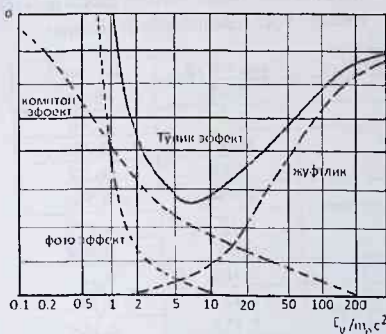
Gamma nurlarini moddalardan o'tishida sodir bo'ladigan fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftini hosil bo'lishi jarayonlarini birgalikda ko'rish kerak.  $\gamma$ -kvantning energiyasiga qarab bu jarayonlarning kesim kattaliklari turlicha bo'ladi. To'liq kesim kattaligi fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftining hosil bo'lish jarayonlarining kesim kattaliklarining yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\sigma_{\text{тул.}} = \sigma_{\text{фот.}} + \sigma_{\text{комп.}} + \sigma_{\text{жуфт.}} \quad (17)$$

To'liq kesim kattaligini tashkil etuvchilarning kesim kattaliklari gamma kvantning energiyasiga va muhitning zaryadiga bog'liq holatda o'zgaradi.  $\gamma$ -kvantning pastenergiyalarda asosan fotoeffekt hodisasi ro'y beradi. Oraliq energiyalarda esa kompton effektining hissasi katta bo'ladi. Yuqori energiyalarda elektron –pozitron juftini hosil bo'lish jarayonining qo'shgan hissasi katta bo'ladi.

Gamma nurlaridan himoyalalanish vositasi sifatida asosan qo'rg'oshin ishlatiladi. Shu sababli qo'rg'oshinda fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftini hosil bo'lish jarayonlarining kesim kattaliklari turli energiyali kvantlari uchun yaxshi o'rganilgan.

5-rasmda qo'rg'oshin elementi uchun to'liq, fotoeffekt, kompton effekt va elektron –pozitron juftini hosil bo'lish jarayonlarining kesim kattaliklari berilgan.



5-rasm. Qo'rg'oshin elementi uchun to'liq va uni tashkil etuvchilarning kesim kattaliklari

Ko'pincha  $\gamma$ -manbalar bilan ish olib borilayotganda oqim zichligining chegaralangan qiymatini hisoblashga to'g'ri keladi. Buning uchun hisoblash ifodalari keltirib chiqarilgan. Bu ifodada ekvivalent doza ( $D_{ekv}$ ), gamma kvanti energiyasi ( $E_\gamma$ ) va  $\gamma$ -kvanti oqim zichligining chegaraviy qiymatlari ( $J_{OZChQ}^A$ ) orasidagi bog'lanish ifodalangan. Shu ifodadan foydalanib turli energiyali  $\gamma$ -kvantlari uchun  $J_{OZChQ}^A$ -kattaligi aniqlanadi.

$$D_{ekv}^Y = J_{OZChQ}^A \cdot E_\gamma \cdot (\mu_{en})_m \cdot t \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot K, \quad (18)$$

Bu yerda  $Ye_\gamma$ -gamma kvanti intensivligi, MeV/(m<sup>2</sup>·s);  $(\mu_{en})_m$ -fotonni biologik to'qimadagi massa bo'yicha yutilish koeffitsienti, m<sup>2</sup>/kg;  $1,6 \cdot 10^{-13}$  energetik ekvivalent, 1 MeV, J/MeV; K-sifat koeffitsienti, foton uchun K=1 ga teng; t-xodimning bir yil davomidagi ish vaqti (t=1700 soat).

(1)-ifodadan  $J_{OZChQ}^A$ -kattaligi topiladi:

$$J_{OZChQ}^A = \frac{D_{ekv}^Y}{E_\gamma \cdot (\mu_{en})_m \cdot t \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot K}, \quad (19)$$

$(\mu_{en})_m$  -kattaligining son qiymati (2)-jadvaldan olinadi.

1-jadvalda turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarining suvdagi massa bo'yicha  $\mu_m$ - va  $\mu_{ch}$ -chiziqli kuchsizlanish koeffitsientlari berilgan. Bu kattaliklar  $\gamma$ -kvantlar intensivligini moddalardan o'tishi davomida kamayib borishini aniqlashda kerak bo'ladi.

1-jadval. Turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarini suvdagi massa bo'yicha  $\mu_m$ - va  $\mu_{ch}$ -chiziqli kuchsizlanish koeffitsientlari

$E_\gamma$ , MeV	$\mu_m$ , sm <sup>2</sup> /g	$\mu_{ch}$ , sm <sup>-1</sup>
0,01	5,31	5,31
0,015	1,64	1,64
0,02	0,789	0,789
0,03	0,37	0,37
0,04	0,264	0,264
0,05	0,222	0,222
0,06	0,204	0,204
0,08	0,183	0,183
0,1	0,171	0,171
0,142	0,155	0,155
0,15	0,151	0,151
0,2	0,137	0,137

0,279	0,121	0,121
0,3	0,119	0,119
0,4	0,106	0,106
0,412	0,105	0,105
0,5	0,0966	0,0966
0,6	0,0896	0,0896
0,662	0,0860	0,0860
0,8	0,0786	0,0786
1,0	0,0706	0,0706
1,25	0,0630	0,0630
1,5	0,0575	0,0575
2,0	0,0493	0,0493
2,75	0,0410	0,0410
3,0	0,0396	0,0396
4,0	0,0339	0,0339
5,0	0,0301	0,0301
6,0	0,0275	0,0275
8,0	0,0240	0,0240
10,0	0,0219	0,0219

(2)-jadvalda turli energiyali fotonlarning massa bo'yicha va chiziqli yutilish koeffitsientlari,  $(\mu_{en})_m$ ;  $(\mu_{en})_{ch}$  suv uchun berilgan(  $suv, \rho = 1 \text{ g/sm}^3$ ).

(2)-jadval. Turli energiyali fotonlarning massa bo'yicha va chiziqli yutilish koeffitsientlari,  $(\mu_{en})_m$ ;  $(\mu_{en})_{ch}$  ( $suv, \rho = 1 \text{ g/sm}^3$ )

$E_\gamma, \text{ MeV}$	$(\mu_{en})_m, \text{ sm}^2/\text{g}$	$(\mu_{en})_{ch}, \text{ sm}^{-1}$
0,01	0,484	4,84
0,015	0,134	1,34
0,02	0,0536	0,536
0,03	0,0152	0,152
0,04	0,0068	0,0680
0,05	0,00415	0,0415
0,06	0,00315	0,0315
0,08	0,00258	0,0258
0,1	0,00254	0,0254
0,145	0,00273	0,0273
0,15	0,00276	0,0276

0,2	0,00297	0,0297
0,279	0,00316	0,0316
0,3	0,00319	0,0319
0,4	0,00328	0,0328
0,412	0,00329	0,0329
0,5	0,0033	0,0330
0,6	0,00328	0,0328
0,662	0,00326	0,0326
0,8	0,00320	0,0320
1,0	0,00310	0,0310
1,25	0,00296	0,0296
1,5	0,00283	0,0283
2,0	0,00260	0,0260
2,75	0,00235	0,0235
3,0	0,00228	0,0228
4,0	0,00206	0,0206
5,0	0,00192	0,0192
6,0	0,00180	0,0180
8,0	0,00166	0,0166
10,0	0,00156	0,0156

(19)-ifodaga son qiymatlarni qo'yish orqali, hisoblashga qulay bo'lgan ifodani keltirib chiqaramiz:

$$\begin{aligned}
 J_{\text{OZChQ}}^A &= \frac{D_{\text{ekv}}^Y}{E_Y \cdot (\mu_{\text{en}})_m \cdot t \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot K} \\
 &= \frac{2 \cdot 10^{-2}}{E_Y \cdot (\mu_{\text{en}})_m \cdot t \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot K} = \\
 &= \frac{2 \cdot 10^{-2}}{E_Y \cdot (\mu_{\text{en}})_m \cdot 1700 \cdot 3600 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 1} = \frac{17,4 \cdot 10^3}{E_Y \cdot (\mu_{\text{en}})_m}
 \end{aligned}$$

Shu ifoda yordamida turli energiyali fotonlar uchun  $J_{\text{OZChQ}}^A$  -qiymatini aniqlash mumkin. Masalan: energiyasi  $Y_{e\gamma}=1\text{MeV}$  bo'lgan fotonlar uchun  $J_{\text{OZChQ}}^A$  -qiymati topilsin:

Yechish: 1 MeV energiyali fotonlar uchun  $(\mu_{en})_m$  — qiymatini (2)-jadvaldan olamiz, ya'ni  $\mu_m = 0,00310 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

$$J_{\text{OZChQ}}^A = \frac{17,4 \cdot 10^3}{E_{\gamma} \cdot (\mu_{en})_m} = \frac{17,4 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,00310} = \frac{5273 \cdot 10^3}{1} = 527 \cdot 10^4 \text{ foton/m}^2 \cdot \text{sek} = 527 \text{ foton/sm}^2 \cdot \text{sek}$$

$J_{\text{OZChQ}}^A$  — qiymatini boshqa ifoda orqali ham topish mumkin:

$$J_{\text{OZChQ}}^A = \frac{D_{\text{ekv}}^Y}{d \cdot t} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{d \cdot 1700 \cdot 3600} = \frac{0,28 \cdot 10^{-8}}{d}$$

d-ning qiymati (3)-jadvalda berilgan. d- ma'nosi quyidagicha, aniq energiyali bitta fotonning solishtirma dozasini ifodalaydi.

3-jadvalda monoenergetik  $\gamma$ -nurlanishi beradigan dozaning va zarrachalar oqimi zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymatlari berilgan.

3-jadval. Monoenergetik  $\gamma$ -nurlanishlarning doza xarakteristikasi

Fotonning energiyasi, MeV	Solishtirma dozasi (d), Zv·m <sup>2</sup> /foton	$J_{\text{OZChQ}}^A$ foton/m <sup>2</sup> ·sek	Izotroplik koeffitsienti
$2 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-16}$	$17 \cdot 10^6$	2
$3 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-17}$	$38 \cdot 10^6$	2
$5 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-17}$	$88 \cdot 10^6$	2
$1 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-17}$	$72 \cdot 10^6$	1,8
$2 \cdot 10^{-1}$	$9,8 \cdot 10^{-17}$	$28 \cdot 10^6$	1,7
$5 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$11 \cdot 10^6$	1,6
1	$4,8 \cdot 10^{-16}$	$5,6 \cdot 10^6$	1,4
2	$8,3 \cdot 10^{-16}$	$33 \cdot 10^5$	1,3
5	$1,6 \cdot 10^{-15}$	$17 \cdot 10^5$	1,2
10	$2,9 \cdot 10^{-15}$	$10 \cdot 10^5$	1,2
20	$4,3 \cdot 10^{-15}$	$6 \cdot 10^5$	1,2

4-jadvalda beton devorining qalinligi turli kuchsizlantirish koeffitsientlari uchun berilgan, sm ( $\rho = 2,3 \text{ g/sm}^3$ ). Agar Gamma nurlaridan himoyalashda beton ishlatilgan bo'lsa, bu jadvaldan to'liq foydalanish mumkin.

4-jadval. Beton devorining qalinligi, sm ( $\rho = 2,3 \text{ g/sm}^3$ )

Kuchsizlantirish	$\gamma$ -kvantlarining energiyasi, MeV
------------------	---

risk koef. K	0,1	0,145	0,2	0,279	0,3	0,4	0,412	0,5	0,6	0,662	0,7	0,8
1,5	2,6	3,5	4,7	6,0	6,3	7,5	7,6	8,2	8,2	8,2	8,2	8,3
2	4,7	5,9	7,6	9,4	9,9	11,3	11,4	12,3	12,4	12,4	12,4	12,6
5	5,6	7,9	11	14,6	15,5	18,8	19,1	21,1	21,8	22,1	22,3	22,6
8	7,0	9,5	12,9	16,8	17,8	22	22,3	24,6	25,6	26,1	26,4	27,2
10	8,2	10,9	14,6	18,6	19,7	23,7	23,9	25,8	26,8	27,3	27,6	28,4
20	8,2	11,2	15,3	20,1	21,4	25,8	26,3	29,9	31,9	32,9	33,6	35
30	8,5	11,8	16,4	21,5	22,8	27,8	28,3	32,9	34,8	35,8	36,4	37,8
40	8,5	12,3	17,6	22,8	24,2	29,6	30,1	34	36,2	37,2	37,9	39,6
50	9,9	13,2	18,8	23,8	25,1	30,8	31,3	35	37,6	38,8	39,4	41,2
60	11,0	14,8	20	24,8	26,1	31,7	32,3	36,4	38,5	39,7	40,5	42,5
80	11,5	15,2	20,4	26,2	27,7	33,6	34,2	38,7	41,1	42,3	43	44,8
100	11,5	15,9	21,1	27,3	28,9	35,2	35,8	39,9	43	44,4	45,5	47,2
200	12,7	17,1	23,5	30,5	32,4	39,2	39,8	44,6	47,9	49,5	50,5	52,6
500	13,8	18,3	24,6	33	35,4	43,9	44,7	50,5	54,5	56,2	57,3	58,8
1000	15,5	20,8	28,2	36,9	39,2	48,1	48,9	55,2	59,2	61,1	62,5	65,3
2000	17,6	23	30,5	39,8	42,3	52,4	53,3	59,9	64,1	66,1	67,4	70,4
5000	18,8	24,8	33,1	43	45,6	56,4	57,6	65,7	70	72,4	74	77
10 <sup>4</sup>	18,8	25,7	35,2	45,7	48,5	60,3	61,4	69,3	74,7	77,4	79,1	82,9
5·10 <sup>4</sup>	21,1	28,4	38,4	49,1	51,9	63,4	64,5	72,8	78,2	81,8	83,1	87,3
10 <sup>5</sup>	23,3	31,3	42,3	53,4	56,4	68,6	69,7	78,1	83,4	86,6	88,7	93,4
5·10 <sup>5</sup>	30,5	38,9	50,5	61,6	64,6	75,1	76	82,8	88,3	91,5	93,5	98,1
2·10 <sup>5</sup>	38,3	46	56,7	67,9	69,8	79,4	80,3	86,9	92,4	95,8	97,7	102,8
10 <sup>6</sup>	44,8	51,8	61,5	71,1	73,7	83,7	84,6	91,7	98,1	101,6	103,9	109,5
5·10 <sup>6</sup>	49,3	56,5	66,4	77	79,8	89,8	90,7	97,4	103,7	107	109,2	114,1
2·10 <sup>6</sup>	57,6	64,1	73,1	82,1	84,5	93,3	94,2	101	107,4	112,2	113,6	119,7
10 <sup>7</sup>	59,4	67,9	79,7	88,3	91,6	100,6	101,2	108	114,1	117,8	120,2	126
5·10 <sup>7</sup>	64,0	72,8	84,9	93,4	95,7	104,7	105,4	110,3	117,1	121,2	123,6	130

4-jadvalning davomi

K	γ-kvantlarning energiyasi, MeV											
	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,2	9,4	10	11,7	11,7	11,7
2	12,9	13,3	13,6	13,8	14,1	14,3	15	15,3	16,4	18,8	18,8	18,8
5	23,5	24,6	25,8	27	28,2	29,4	31,8	32,9	35,2	38,7	39,3	39,9
8	28,8	30,5	32,2	33,8	35,2	36,4	38,8	39,9	43,4	48,1	48,7	49,3
10	29,9	31,9	34	35,9	37,6	39	42	43,4	47,5	51,6	52,8	54
20	37	39,9	42,5	44,8	47	48,6	52,3	54	58,7	64,6	65,7	69,3
30	40,5	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	57,9	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1
40	42,8	45,3	49,8	52,8	55,2	57,3	61,9	64	69,8	77,5	79,2	84,5
50	44,6	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	64,8	66,9	72,8	81,6	83,9	89,8
60	45,8	50,1	54	57,5	60,5	62,7	67,7	69,8	74	85,1	88	93,9
80	48,1	52,4	56,4	59,9	63,4	65,7	71,4	74	81	90,4	93,9	100,4
100	50,5	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	74,7	77,5	84,5	95,1	98	105,1
200	56,4	60,8	65,3	69,7	74	77,2	84,6	88,6	95,7	108	112,1	120,9
500	64,6	69,8	74,8	79,8	84,5	88,5	97,1	101	110,4	124,4	129,7	139,7
1000	70,4	76,1	81,7	87,6	92,7	97	106,6	110,9	120,9	137,9	143,2	155

2000	75,7	82,2	88,5	94,6	100,4	104	115,6	120,9	132,1	150,3	156,1	163,5
5000	82,8	90,2	97,4	104,2	110,9	115,5	127,3	132,7	146,8	166,7	173,8	186,7
10 <sup>4</sup>	89,2	97,2	104,5	111,5	118,6	124,7	137,4	143,2	156,7	179	187,8	201,3
2·10 <sup>4</sup>	94,5	102,7	110,8	118,6	126,2	131,7	146,1	152,6	167,3	190,1	201,9	216
5·10 <sup>4</sup>	102,1	111,5	120,4	128,4	136,2	142	159,1	164,9	181,4	206,6	218,4	233,6
10 <sup>5</sup>	106,8	116,9	126,6	135,7	144,4	150,7	166,6	173,8	191,4	218,4	231,3	248,9
2·10 <sup>5</sup>	112,7	125,7	135,6	145,1	153,8	160,2	171,9	177,3	201,9	231,3	245,4	263
5·10 <sup>5</sup>	119,7	133,8	142,5	152,6	162	169,2	187,6	196	214,8	247,1	261,8	281,2
10 <sup>6</sup>	124,4	140,2	149,8	160,6	171,4	178,6	193	205,4	225,4	260,6	274,7	295,8
2·10 <sup>6</sup>	131,5	148,4	157,8	169,2	179,6	187,2	205,4	213,7	237,1	272,4	287,6	308,8
5·10 <sup>6</sup>	133,8	154,7	165,8	178	189	197,8	218,4	227,8	250,1	287,6	302,9	327,5
10 <sup>7</sup>	142	160	170,8	183,6	194,9	203,4	225,8	236	259,4	299,4	314,6	340,5

5-jadvalda suv devorining qalinligi turli kuchsizlantirish koeffitsientlari uchun berilgan, sm ( $\rho = 1,0 \text{ g/sm}^3$ ). Agar gamma nurlaridan himoyalanişda suv ishlatilgan bo'lsa, bu jadvaldan to'liq foydalanish mumkin.

5-jadval. Suv devorining qalinligi, sm ( $\rho = 1,0 \text{ g/sm}^3$ )

Kuchsizlantirish koeff. K	y-kvantlarining energiyasi, MeV											
	0,1	0,145	0,2	0,279	0,3	0,4	0,412	0,5	0,6	0,662	0,7	0,8
1,5	19	21	23	23	23	22	22	21	21	20	20	20
2	21	24	27	28	28	28	28	28	27	27	27	27
5	25	30	37	42	43	45	45	46	47	47	47	48
8	27	33	41	47	49	52	52	54	54	54	54	56
10	30	36	45	50	51	54	54	57	57	57	58	60
20	33	40	50	58	60	64	64	68	69	70	71	72
30	37	44	54	63	65	70	70	73	75	76	77	79
40	38	46	57	66	69	74	74	77	80	81	82	84
50	39	48	60	69	71	77	77	80	83	84	85	88
60	40	49	62	71	74	79	79	83	86	87	88	91
80	45	53	65	74	77	83	83	87	90	92	93	96
100	46	55	67	77	80	86	86	89	93	95	96	100
200	48	58	73	84	87	94	95	99	103	105	107	111
500	52	65	83	94	97	104	105	110	115	118	120	124
1000	58	71	89	102	105	113	114	119	125	129	131	136
2000	63	76	95	108	112	120	121	128	134	138	140	146
5000	68	82	102	117	121	131	132	140	146	150	153	160
10 <sup>4</sup>	74	89	109	125	129	139	140	148	155	159	162	169
2·10 <sup>4</sup>	80	94	114	131	135	147	148	157	165	169	172	180
5·10 <sup>4</sup>	82	98	121	139	144	157	158	168	177	182	185	193
10 <sup>5</sup>	88	104	126	145	150	164	165	176	185	190	194	203
2·10 <sup>5</sup>	90	108	133	152	157	172	173	184	194	199	203	213
5·10 <sup>5</sup>	97	115	140	160	166	182	184	195	205	212	216	226
10 <sup>6</sup>	102	120	146	166	172	189	191	203	213	220	224	234
2·10 <sup>6</sup>	110	128	153	173	179	195	197	211	221	228	232	242



$5 \cdot 10^6$	120	136	160	181	187	205	207	221	234	242	247	258
$10^7$	129	145	167	187	193	212	214	229	242	250	256	269

5-jadvalning davomi

Kuchsiz- lanti- rish koeff. K	$\gamma$ -kvantlarining energiyasi, MeV											
	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
1,5	20	19	19	19	20	20	21	21	22	23	25	25
2	28	28	28	29	30	31	33	34	35	39	41	41
5	50	52	54	56	59	61	65	67	71	83	89	93
8	58	62	66	68	72	74	79	81	89	105	113	120
10	62	66	70	74	78	80	85	88	97	115	124	131
20	76	82	87	91	96	99	107	111	125	144	159	170
30	83	89	94	100	105	109	118	122	139	162	178	190
40	89	95	101	106	112	116	126	131	149	173	192	204
50	93	99	106	112	118	122	133	138	156	184	204	217
60	96	102	109	116	123	127	139	144	162	191	213	226
80	102	110	116	123	130	134	147	153	171	204	225	240
100	105	114	120	128	134	139	153	159	180	211	235	251
200	118	127	135	143	152	157	172	179	204	242	268	285
500	133	145	155	164	173	180	199	207	236	278	310	330
1000	145	157	168	178	188	195	216	225	257	305	343	336
2000	156	170	182	193	204	212	235	245	280	330	372	398
5000	171	185	199	212	224	234	259	271	308	368	413	443
$10^4$	183	198	213	227	241	251	278	290	330	393	444	477
$2 \cdot 10^4$	194	211	227	243	258	270	298	311	354	420	475	511
$5 \cdot 10^4$	208	227	244	261	277	290	320	334	383	457	516	556
$10^5$	220	240	259	276	294	306	339	353	404	484	547	590
$2 \cdot 10^5$	231	252	272	290	308	322	356	372	426	511	578	622
$5 \cdot 10^5$	246	268	289	310	329	343	389	397	454	543	616	665
$10^6$	254	279	302	324	345	360	396	417	478	571	649	701
$2 \cdot 10^6$	262	287	310	334	357	373	412	435	498	597	677	733
$5 \cdot 10^6$	281	308	333	357	379	397	440	462	528	633	719	778
$10^7$	292	318	345	370	393	411	458	480	549	650	748	810

6-jadvalda temir devorining qalinligi turli kuchsizlantirish ko'effitsientlari uchun berilgan, sm ( $\rho = 7,89 \text{ g/sm}^3$ ). Agar gamma nurlaridan himoyalashda temir ishlatilgan bo'lsa, bu jadvaldan to'liq foydalanish mumkin.

6-jadval. Temir devorining qalinligi, sm ( $\rho = 7,89 \text{ g/sm}^3$ )

Kuchsizlantirish ko'eff. K	$\gamma$ -kvantlarining energiyasi, MeV											
	0,1	0,145	0,2	0,279	0,3	0,4	0,412	0,5	0,6	0,662	0,7	0,8
1,5	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,4	1,5	1,7	1,8	1,85	2
2	0,7	0,9	1,2	1,6	1,7	2,2	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1
5	1,4	1,9	2,5	3,2	3,4	4,1	4,2	4,3	5,1	5,3	5,5	5,7
8	1,7	2,3	3,1	4	4,2	5,1	5,2	5,8	6,3	6,5	6,7	7,1
10	1,9	2,5	3,5	4,4	4,6	5,6	5,7	6,3	6,8	7,1	7,3	7,7
20	2,3	3,1	4,3	5,4	5,7	6,8	6,9	7,7	8,3	8,6	8,8	9,4
30	2,4	3,3	4,5	5,8	6,2	7,5	7,6	8,5	9,2	9,6	9,8	10,4
40	2,5	3,5	4,8	6,2	6,6	8	8,1	9,1	9,8	10,2	10,5	11,1
50	2,9	3,9	5,2	6,7	7,1	8,4	8,5	9,5	10,3	10,7	11	11,6
60	3,1	4,1	5,6	7,1	7,5	8,8	8,9	9,8	10,7	11,1	11,4	12,1
80	3,2	4,3	5,9	7,3	7,7	9,2	9,3	10,4	11,2	11,7	12	12,7
100	3,4	4,5	6,1	7,7	8,1	9,6	9,7	10,8	11,7	12,2	12,5	13,2
200	4,2	5,4	7	8,7	9,1	10,7	10,9	12	13,1	13,6	14	14,3
500	4,4	5,8	7,7	9,6	10,1	12	12,2	13,7	14,9	15,6	16	17
1000	4,5	6,1	8,2	10,4	11	13,2	13,4	15	16,3	17	17,5	18,6
2000	4,9	6,6	9	10,7	11,1	14,4	14,6	16,2	17,7	18,5	19	20,3
5000	5,6	7,5	10,1	11,9	13,4	15,8	16	17,7	19,3	20,7	21,5	23
$10^4$	6,8	8,8	11,5	13	14,7	17,1	17,3	19	20,7	22,6	23,5	25,5
$2 \cdot 10^4$	8	10,1	12,9	15,3	16	18,3	18,5	20,2	21,9	23,8	24,8	27,1
$5 \cdot 10^4$	8,6	10,8	13,8	16,3	17	19,6	19,9	21,8	23,6	24,6	26,6	29,1
$10^5$	10	12,4	15,8	17,7	18,2	20,8	21,1	23	24,9	26	28,7	32,1
$2 \cdot 10^5$	11,3	13,2	15,9	18,6	19,3	21,8	22,1	24,1	26,1	27,3	29,1	32,1
$5 \cdot 10^5$	12	14,1	16,9	19,7	20,4	23,2	23,5	25,6	27,8	29,1	31,9	35,1
$10^6$	12,8	14,5	17,9	20,6	21,4	24,2	24,5	26,7	28,9	30,2	32,9	36,1
$2 \cdot 10^6$	13,5	15,8	18,9	21,4	22,1	25	25,3	27,7	30,3	31,8	34,7	38,1
$5 \cdot 10^6$	14,5	16,8	19,4	22,4	23,2	26,5	26,8	29,3	32,2	33,7	36,6	40,1
$10^7$	15	17,2	20,3	23,5	24,3	27,6	27,9	30,5	33,2	34,8	37,8	41,1

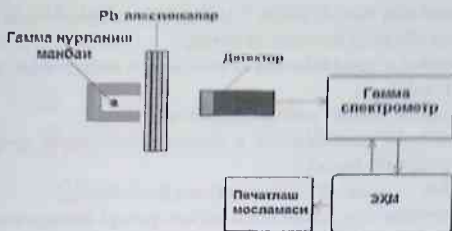
6-jadvalning davomi

Kuchsizlantirish ko'eff. K	$\gamma$ -kvantlarining energiyasi, MeV											
	1,0	0,125	1,5	1,75	2,0	2,2	2,75	3,0	4,0	5,0	6,0	10,0
1,5	2,1	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,8	2
2	3,3	3,45	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3	4,4	4,5	4,6	4	3,4
5	6,4	6,9	7,4	7,8	8,1	8,3	8,7	8,9	9,4	9,6	9	8
8	7,8	8,5	9,1	9,6	10,1	10,3	10,9	11,2	11,6	12,1	11,3	10,4
10	8,5	9,3	10	10,6	11	11,4	11,9	12,2	12,6	13,2	12,4	11,4

20	10,3	11,3	12,2	13	13,6	14,1	14,9	15,3	15,9	16,6	16	15
30	11,4	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	16,6	17	17,7	18,8	18	17
40	12,2	13,3	14,4	15,3	16,1	16,6	17,6	18,2	19,1	20,4	19,4	18,4
50	12,7	13,9	15,1	16,1	16,9	17,5	18,6	19,1	20	21,5	20,6	19,6
60	13,2	14,5	15,7	16,7	17,6	18,2	19,4	19,9	21	22,4	21,4	20,6
80	14	15,5	16,3	17,8	18,7	19,4	20,6	21,2	22,2	24	23	22
100	14,5	16,1	17,3	18,5	19,5	20,2	21,5	22,1	23,3	25	24	23,1
200	16,3	18	19,6	20,8	22	22,8	24,3	25	26,6	28,4	27,4	26,6
500	18,7	20,6	22,3	23,7	25	25,9	27,9	28,8	30,6	32,7	32	31,2
1000	20,5	22,6	24,4	26,1	27,5	28,6	30,7	31,7	33,7	36	35,4	34,6
2000	22,2	24,5	26,5	28,3	30	31,2	33,5	34,6	36,8	39,2	38,7	37,9
5000	24,3	27	29,4	31,4	33,3	34,3	36,9	38,2	40,7	43,2	43	42,2
10 <sup>4</sup>	26	28,8	31,3	33,5	35,5	36,9	39,6	40,9	43,7	46,5	46,3	45,2
2·10 <sup>4</sup>	27,6	30,6	33,2	35,6	37,8	39,2	42	43,4	46,5	50,8	49,6	48,6
5·10 <sup>4</sup>	29,9	33	35,9	38,4	40,8	42,3	45,7	47,2	50,4	55	54	53
10 <sup>5</sup>	31,5	34,9	38	40,7	43,2	44,7	48,3	50	53,4	58,3	57,2	56,1
2·10 <sup>5</sup>	33,3	36,8	40,1	43	45,4	47,1	50,9	52,6	56,4	61,8	60,8	59,8
5·10 <sup>5</sup>	35,4	39,1	42,5	45,5	48,3	49,9	54,5	56,1	60,2	66	65	64
10 <sup>6</sup>	37	41,1	44,7	47,8	50,6	52,3	56,8	58,8	63,3	69	68,3	67
2·10 <sup>6</sup>	38,7	42,9	46,6	49,9	52,8	54,7	59,1	61,4	66,2	72,3	71,2	70,3
5·10 <sup>6</sup>	40,9	45,5	49,4	52,7	55,7	57,7	62,6	64,9	70,3	76,5	75,5	74,8
10 <sup>7</sup>	42,4	47,1	51,3	54,8	57,9	60,1	65,1	67,5	73,1	79,4	78,8	78

### Tajribani o'lkazish tartibi:

1. 6-rasmda ko'rsatilgan tajribaning geometriyasi va blok-sxemasini yig'ish.
2.  $\gamma$ -manbani tanlash. <sup>60</sup>Co olingani ma'qul.
3. Detektor sifatida yarim o'lkazgichli detektorlardan foydalanish mumkin.
4. Gamma spektrometr va detektorlarni tok tarmog'iga ulash. Bir oz qizdirish kerak.
5. Detektorga kuchlanishni sekinlik bilan berish va belgilangan qiymatida to'xtatish lozim.
6. Gamma spektrometr va EHM ish rejimiga keltiriladi.
7. <sup>60</sup>Co nurlanish manbaini detektordan ma'lum uzoqlikka himoya devori ichiga joylashtiriladi.
8. Qo'rg'oshin plastikalar bo'lmagan vaqtidagi spektr o'lchanadi va sanoq tezligi aniqlanadi. Natija EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.
9. <sup>60</sup>Co nurlanish manbai va detektor orasiga qo'rg'oshin plastinkasining bittasi qo'yiladi va sanoq tezligi topiladi. Olingan natija yozib qo'yiladi.
10. <sup>60</sup>Co nurlanish manbai va detektor orasiga qo'yilgan qo'rg'oshin plastinkasining yoniga ikkinchi plastinka qo'yiladi va sanoq tezligi topiladi. Olingan natija yozib qo'yiladi.



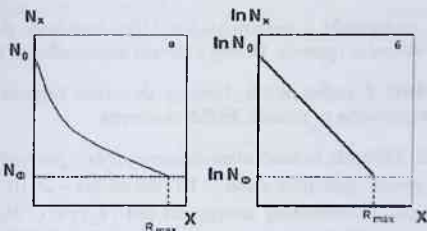
6-rasm. Tajribaning geometriyasi va blok-sxemasi

11. O'lchashlar shu tariqa davom etadi. Sanoq tezligi fonlarning sanoq tezligiga yaqinlashadi. O'lchashlar to'xtatiladi.

12. O'lgan natijalarga ko'ra sanoq tezligi va plastinkalar qalinliklari orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi. Bu grafik 7-rasmda ko'rsatilgan. 7a-rasmda grafik oddiy shkalada chizilgan, 7b-rasmda esa bog'lanish yarimlogarifm shkalasida chizilgan.

13. Sanoq tezligini fon sanoq tezligiga tenglashib qolishi  $\gamma$ -zarrachalarning alyuminiy plastinkalarida to'liq yutilishini ko'rsatadi.

14. Qo'rg'oshin plastinkalarining qalinliklari qo'shilib, qo'rg'oshinning yig'indi qalinligi topiladi.



7-rasm.  $\gamma$ -nurlarining qo'rg'oshin platinkasida yutilishi.

### Nazorat savollari

1.  $\gamma$ -parchalanishda siljish qoidasi qanday bo'ladi?
2.  $\gamma$ -parchalanishda yadroda qanday o'zgarishlar sodir bo'ladi?
3.  $\gamma$ -zarrachalardan himoyalashda qanday materiallardan foydalanish kerak?

4.  $\gamma$  -zarrachalar modda atomi bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
5. Kompton effektini tushuntirib bering?
6.  $\gamma$  -zarrachalar moddalardan o'tishida o'z energiyasini qanday yo'llar bilan yo'qotadi?
7. Fotoeffekt jarayonini tushuntirib bering?
8.  $\gamma$  -zarrachalar moddalardan o'tishida intensivligini qanday qonuniyat asosida kamaytirib boradi?
9. Bir nechta  $\gamma$  -radioaktiv elementlarni aytib bering?
10. Elektron-pozitron juftini hosil bo'lish porogi nimaga teng?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.P. Chemyaev // Vzaimodeystvie ioniziruyushogo izlucheniya s veshestvom, M: Fizmatlit, 2004.
2. L.D. Zaripova // Zamita ot ioniziruyushogo izlucheniya, Kazan, 2008.
3. N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov // Zamita ot ioniziruyushix izlucheniya, M: Energoatomizdat, Tom 1, 1989.
4. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalaniish, Toshkent, Davr, 2013.

## № 31. Laboratoriya ishi

### $\beta$ -zarrachalardan himoyalaniishni tashkil qilish

**Ishdan asosiy maqsad:**  $\beta$ -radionuklidlar bilan tanishish.  $\beta$ -zarrachalaridan himoyalaniish yo'llarini o'rganish. Himoya devori materiallarini tanlash.

**Kerakli jihozlar:**  $\beta$ -radionuklidi, himoya devorlari (alyuminiy, orgsteklo),  $\beta$ -spektrometr, programma ta'minoti, EHM, dozimetri.

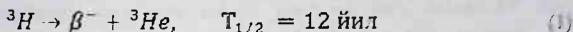
**Nazariy qismi:** Tabiatda  $\beta$ -parchalanishga moyil bo'lgan yadrolar juda ko'p. Bu yadrolarning yarim yemirilish davri  $\sim 10^{-2}$  sekundan  $\sim 2 \times 10^{15}$  yillar oraligiga to'g'ri keladi.  $\beta$ -parchalanishning energiyasi esa 18 keV ( ${}^3\text{N}$ ) dan 16.6 MeV gacha ( ${}^{15}\text{N}$ ) o'zgaradi. Elektron va pozitron zarrachalarining xarakteristikalari I-jadvalda berilgan.

I-jadval. Elektron va pozitron zarrachalarining xarakteristikalari

Xarakteristikasi	Son qiymati	
	Elektron	Pozitron
Spin, h	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Massa $m_e c^2$ , MeV	0,511	0,511
Elektr zaryadi, Kulon	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$+1,602 \cdot 10^{-19}$

Magnit momenti, $ch/2 m_e c$	1,001	1,001
Yashash vaqti $\tau$ , vil	$>4,6 \cdot 10^{26}$	$>4,6 \cdot 10^{26}$
Lepton soni $L_e$	+1	-1
Lepton sonlari $L_\mu, L_\tau$	0	0

Hozirgi vaqtda  $\beta$ -parchalanishning uch hil ko'rinishi ma'lum:  $\beta^-$ -parchalanish,  $\beta^+$ -parchalanish va elektronning yutilishi ( $K$ -yutilish).  $\beta^-$ -parchalanishga misol qilib  ${}^3\text{N}$  yadrosini ko'rsatishimiz mumkin.



Bu parchalanishda tritiy yadrosidagi bitta neytron proton zarrachasiga aylanadi.  $\beta^-$  parchalanishning energiya bo'yicha sodir bo'lishlik shartini qo'yidagicha yozish mumkin:

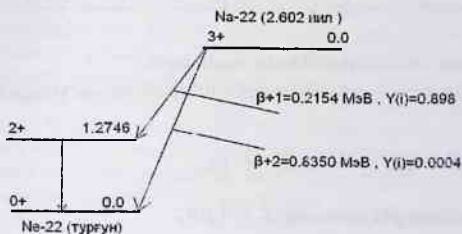
$$M(A, Z) > M(A, Z + 1) + m_e \quad (2)$$

$\beta^-$ -parchalanishda ajralib chiqadigan energiyani quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$E(\beta^-) = [M_{\text{a}^-}(A, Z) - M_{\text{a}^+}(A, Z + 1)] C^2 \quad (3)$$

(1)-ifodada ko'rsatilgan parchalanishda ajralib chiqadigan energiyaning qiymati  $E(\beta^-) = 0,018 \text{ MэВ}$  ga teng.

$\beta^+$ -parchalanishga misol qilib  ${}^{22}\text{Na}$  yadrosini ko'rsatish mumkin. 1-rasmda  ${}^{22}\text{Na}$  yadrosining parchalanish sxemasi berilgan. Pozitron elektronning antizarrachasi bo'lib, spini, massasi va magnit momenti bir-xildir. Zaryadi esa musbat zaryadga ega.



1-rasm.  ${}^{22}\text{Na}$  yadrosining parchalanish sxemasi

${}^{22}\text{Na}$  yadrosining parchalanish sxemasida yadroning asosiy va uyg'ongan holatlarining spinlari berilgan. Bu yerda  $Y(i)$  kattaligi radioaktiv elementdagi

bitta yadroning parchalanishiga mos keluvchi pozitronlar sonini ko'rsatadi.  $\beta+1$  va  $\beta+2$  lar esa pozitronlarning energiyasini ifodalaydi.  $^{22}\text{Na}$  yadrosini  $\beta_1^+$  - parchalanishida  $^{22}\text{Ne}$  yadrosi 1,2746 MeV energiyali birinchi uyg'ongan holatida bo'ladi. Uyg'ongan holatidan asosiy holatiga o'tishda 1,2746 MeV energiyali  $\gamma$ -kvantini chiqaradi. Zarrachalar modda atomi zarrachalari bilan elektromagnit va kuchsiz ta'sirlashishda bo'ladi. Pozitron dastlab o'zini elektron kabi tutadi. Moddadan o'tib borishida modda atomlarini ionlashtirish va uyg'ongan holatiga o'tkazish hisobiga energiyasini kamaytirib boradi. Pozitronning energiyasi bir-necha o'n elektronvoltga teng bo'lganda (pozitronni tinch holatida turibdi deyish mumkin) pozitron elektron bilan to'qnashadi va birinchi turdagi annigilyatsiya hodisasini sodir etadi. Bu hodisada elektronni erkin holatda turibdi deb olinadi. Annigilyatsiya hodisasi vaqtida ikkala zarracha ham harakatsiz bo'lsa, bir-xil 0,511 MeV energiyali ikkita gamma kvanti hosil bo'ladi. Bu  $\gamma$ -kvantlar bir-biriga nisbatan aniq  $180^\circ$  burchak ostida tarqaladi. Annigilyatsion  $\gamma$ -kvantlari adabiyotlarda  $\gamma\pm$  ko'rinishida beriladi. 2-jadvalda  $^{22}\text{Na}$  radionuklidi chiqarayotgan nurlanishlar va ularga tegishli kattaliklar berilgan.

2-jadval.  $^{22}\text{Na}$  radionuklidi chiqarayotgan nurlanishlar.

Nurlanish	Chiqish kattaligi $Y(i), (\text{Bk}\cdot\text{s})^{-1}$	Energiyasi $E(i), \text{MeV}$
$\beta+1$	$8,98\cdot 10^{-1}$	0,2154
$\beta+2$	$6,00\cdot 10^{-1}$	0,8350
$\gamma\pm$	1,80	0,511
$\gamma$	$9,99\cdot 10^{-1}$	1,275

Bujadvaldaxarakteristiknurlanishlarko'rsatilmagan.

$\beta$  parchalanishnienergiyabo'yichasodirbo'lishlikshartiniqo'yidagichayozishmumkin:

$$M(A, Z + 1) > M(A, Z) + m_e \quad (4)$$

Agarbutengsizlikningikkitomonini  $(Z + 1)m_e$

gako'paytiri byadromassasidanatommassasigao'tilsa, tengsizlikquyidagiko'rinishnioladi:

bunda

$$M_{\text{aT}}(A, Z + 1) > M_{\text{aT}}(A, Z) + 2m_e \quad (5)$$

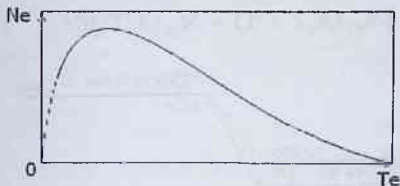
$\beta^+$ -parchalanishda ajralib chiqadigan energiyani quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$E(\beta^+) = [M_{\text{at}}(A, Z) - M_{\text{at}}(A, Z - 1) - 2m_e] C^2 \quad (6)$$

$\beta$ -zarrachalarning spektrlari to'g'risida to'xtalib o'taylik. (3)-ifodaga ko'ra  $\beta$ -zarrachalarning energiyasi monoenergetik bo'lishi lozim edi. Lekin magnitli  $\beta$ -spektrometrlarda o'lchangan  $\beta$ -zarrachalarning energiya bo'yicha taqirnoti shuni ko'rsatdiki,  $\beta$ -zarrachalarning spektri uzluksiz bo'lib, energiyasi  $Ye=0$  dan  $Ye=T_c(\text{maks.})$  oraligida bo'ladi.  $T_c(\text{maks.})$  energiyani quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$T_c(\text{maks.}) = E_\beta = [M_{\text{at}}(A, Z) - M_{\text{at}}(A, Z + 1)] C^2 \quad (7)$$

(7)-ifodadan ko'rinib turibdiki,  $T_c(\text{maks.})$  energiya atomlarning boshlang'ich



2-rasm.  $\beta$ -zarrachalarning spektri

va oxirgi holat energiyalarining ayirmasiga tengdir. 2-rasmda  $\beta$ -zarrachalarning spektri ko'rsatilgan.  $\beta$ -zarrachalarning spektrini uzluksiz bo'lishligi quyidagicha izohlanadi.  $\beta$ -parchalanishda elektron va yana bitta zarracha neytrino paydo bo'lar ekan. Neytrino zarrachasi o'zi bilan  $E=E_\beta - T_c$  energiyani olib ketadi. Elektron va neytrino zarrachalari energiyalarining yig'indisi  $\beta$ -parchalanish energiyasiga tengdir. Radioaktiv yadroni  $\beta$ -parchalanishda elektron zarrachasini paydo bo'lishini qanday qilib tushuntirish mumkin. Atom yadrosi tarkibida elektron mavjud emas. Elektron zarrachasi yadroning  $\beta$ -parchalanishi vaqtida, yadrodagi neytronning protonga aylanishi natijasida paydo bo'ladi. Bu jarayonning sxemasini quyidagicha yozish mumkin:



$\beta$ -parchalanishda neytrino zarrachasini mavjudligi tajriba orqali tasdiqlangan.  $\beta^-$ -radioaktiv elementlar ishlatilayotgan vaqtida doimo 0,511 MeV energiyali gamma kvanti va boshqa energiyali  $\gamma$ -kvantlari mavjud bo'ladi.

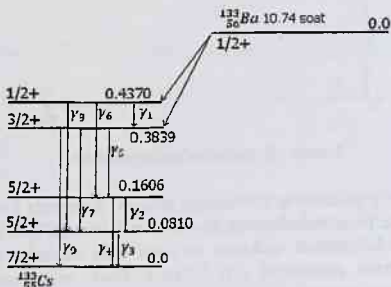


$\beta$ -parchalanishning uchinchi turi elektronning yutilishidir. Bunda atom yadrosi o'z atomi qobig'idagi elektronni yutadi. Bo'shab qolgan qobiqqa yuqori qobiqlarda joylashgan elektronlar o'tadi va ortiqcha energiya rentgen nuri ko'rinishida nurlanadi. Elektron yutilishi jarayoni og'ir yadrolarda ko'plab uchraydi. Bunga asosiy sabab  $K$ -qobig'ini yadroga yaqin joylashganligidir. Bundan tashqari elektronning yutilishi  $L$  va  $M$  - qobiqlarda ham sodir bo'ladi. Bu jarayonga misol qilib  $^{133}\text{Ba}$  yadrosini ko'rsatish mumkin. 3-rasmda  $^{133}\text{Ba}$  yadrosining parchalanish sxemasi berilgan.  $^{133}\text{Ba}$  radionuklidining yarim yemirilish davri 10,74 yilga teng. Elektron yutilishi natijasida  $^{133}\text{Cs}$  yadrosi hosil bo'ladi.  $^{133}\text{Cs}$  yadrosi uyg'ongan holatlarda bo'ladi va u asosiy holatiga o'tganda turli energiyali  $\gamma$ -kvantlarini chiqaradi. Elektron yutilishi jarayonining energiya bo'yicha sodir bo'lishlik shartini qo'yidagicha yozish mumkin:

$$M_{\text{aT}}(A, Z) < M_{\text{aT}}(A, Z + 1) \quad (9)$$

Elektron yutilishida ajralib chiqadigan energiyani quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$E_{\text{310}} = [M_{\text{aT}}(A, Z + 1) - M_{\text{aT}}(A, Z)] C^2 \quad (10)$$



3-rasm.  $^{133}\text{Ba}$  yadrosining parchalanish sxemasi

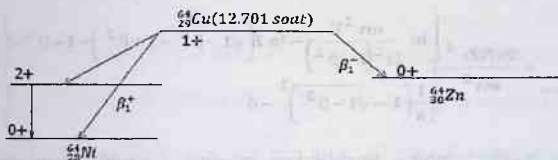
3-jadvalda  $^{133}\text{Ba}$  radionuklididan chiqayotgan nurlanishlar ko'rsatilgan. Nurlanishlarning energiyalari va chiqish kattaliklari berib o'tilgan.

3-jadval.  $^{133}\text{Ba}$  radionuklidi chiqaradigan nurlanishlar

Nurlanish	Chiqish kattaligi $\Upsilon(i), (\text{Bk}\times\text{s})^{-1}$	Energiyasi $E(i), \text{MeV}$
$\gamma_1$	$2,17 \cdot 10^{-2}$	$5,315 \cdot 10^{-2}$
$\gamma_2$	$2,56 \cdot 10^{-2}$	$7,962 \cdot 10^{-2}$

$\gamma_3$	$3,38 \cdot 10^{-1}$	$8,100 \cdot 10^{-2}$
$\gamma_4$	$6,15 \cdot 10^{-3}$	$1,606 \cdot 10^{-1}$
$\gamma_5$	$4,60 \cdot 10^{-3}$	$2,232 \cdot 10^{-1}$
$\gamma_6$	$7,09 \cdot 10^{-2}$	$2,764 \cdot 10^{-1}$
$\gamma_7$	$1,84 \cdot 10^{-1}$	$3,029 \cdot 10^{-1}$
$\gamma_8$	$6,21 \cdot 10^{-1}$	$3,560 \cdot 10^{-1}$
$\gamma_9$	$8,91 \cdot 10^{-2}$	$3,839 \cdot 10^{-1}$

Shunday yadrolar ham borki ular bir vaqtning o'zida uch xil ko'rinishdagi  $\beta^-$ -parchalanish nisodir etadi. Bungamisolqilib  $^{64}\text{Cu}$  yadrosiniko'rsatish mumkin. 4-rasmda  $^{64}\text{Cu}$  yadrosining parchalanish sxemasiberilgan.  $^{64}\text{Cu}$  radionuklidining yarimemirilish davri 12,70 soatgateg. Bu emirilish natijasida  $^{64}\text{Ni}$  (turg'un) va  $^{64}\text{Zn}$  (turg'un) yadrolari hosil bo'ladi.



4-rasm.  $^{64}\text{Cu}$  yadrosining parchalanish sxemas

$^{64}\text{Cu}$  yadrosining parchalanishida 40%  $\beta^-$  yemirilishga, 40% elektron yutilishiga, 20% esa  $\beta^+$  yeminilishga to'g'ri keladi. 4-rasmdagi YeS1-elektron yutilishini YeS2-  $\beta^-$  parchalanishni ifodalaydi. 4-jadvalda  $^{64}\text{Cu}$  radionuklidi chiqarayotgan nurlanishlar va ularga tegishli kattaliklar berilgan. 4-jadvalda xarakteristik nurlanishlar ko'rsatilgan.

4-jadval.  $^{64}\text{Cu}$  radionuklidi chiqaradigan nurlanishlar

Nurlanish	Chiqish kattaligi $Y(i), (\text{Bk} \times \text{s})^{-1}$	Energivasi $E(i), \text{MeV}$
$\beta^-$	$3,72 \cdot 10^{-1}$	0,1902
$\beta^+$	$1,79 \cdot 10^{-1}$	0,2781
$\gamma_{\pm}$	$3,58 \cdot 10^{-1}$	0,511
$\gamma_1$	$4,90 \cdot 10^{-3}$	1,346

Beta radioaktiv elementlar juda keng tarqalgan.  $\beta^-$ -parchalanish ikki hol ko'rinishda sodir bo'ladi.  $\beta^-$ -parchalanish, bunda yadrodan elektron zarra chiqadi ajralib chiqadi.  $\beta^+$ -parchalanish, bunda yadrodan pozitron zarra chiqadi ajralib

chiqadi. Bu parchalanish yadrodagi nuklonlarda sodir bo'ladi. Yadro ichida o'zgarishlar yuz beradi. Bu parchalanishlarda massa soni o'zgarmaydi.  $\beta^-$  parchalanishda elektronning energiyasi 0,02 MeV dan ~20 MeV gacha o'zgaradi. Moddalardan o'tishida elektron va pozitron zarrachalari energiyalarini bir hilda kamaytirib boradi. Lekin, pozitron energiyasini kamaytirib borib, elektron bilan uchrashib annigilyatsiya hodisasini sodir etadi va ikkita  $\gamma$ -kvanti paydo bo'ladi. Bu  $\gamma$ -kvanlarining energiyasi 0,51 MeV ga teng. Ular bir-biriga nisbatan  $180^\circ$  burchak ostida tarqaladi. Demak,  $\beta'$ -radioaktiv elementlar bilan ish olib borilayotganda, himoya vositasi ishlab chiqilayotganda annigilyatsion  $\gamma$ -kvanlarini e'tiborga olish kerak bo'ladi.

Elektron va pozitron zarrachalarini moddalardan o'tishi davomida atomlar bilan elastik va noelastik ta'sirlashishda bo'ladi. Natijada modda atomlarini ionlashtiradi va bu jarayon uchun energiya sarflaydi. Bunga sarflangan energiyani Bote-Blox tenglamasi orqali aniqlash mumkin:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{non}} = \frac{2\pi NZe^4}{mv^2} \left\{ \ln \frac{mv^2 E}{2I^2(1-\beta^2)} - \ln 2 \left( \sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2 \right) + 1 - \beta^2 + \left. \frac{1}{8} \left( 1 - \sqrt{1-\beta^2} \right)^2 - \delta \right\} \quad (11)$$

bu yerda  $m$ -elektronning tinchlikdagi massasi,  $I$ -modda atomlarini o'rtacha ionlashtirish potentsiali;  $\beta = v/c$ ,  $v$ -elektronning tezligi,  $N$ -moddaning  $1 \text{ sm}^3$  hajmidagi atomlar soni,  $Z$ -moddaning atom nomeri,  $Ye$ -elektronning kinetik energiyasi,  $\delta$ -zichlik effekti berilgan tuzatma.

Bulardan tashqari elektronlar modda atomining yadrolari va elektronlari maydoni ta'sirida tormozlanishlari mumkin va natijada tormozlanish nurlanishlarini hosil qiladi. Bu jarayonga ham elektron o'zining ma'lum energiyasini sarflaydi. Radiatsion yo'qotilishdaga energiyani Bete va Gaytler kvant elektrodinamikasi asosida izohlab berdi. Uncha katta bo'lmagan energiyalarda solishtirma radiatsion yo'qotilishdaga energiyani quyidagi ifoda yordamida topish mumkinligini ko'rsatib berdi:

$$\left(\frac{dE_e}{dx}\right)_{\text{pas}} \cong A \cdot E_e \quad (12)$$

$$\left(\frac{dE_e}{dx}\right)_{\text{pas}} \sim |a|^2 \sim Z^2/m^2_e$$

bu yerda  $A$  – muhitning zichligiga va zaryadiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik.

Himoyalani shu tashkil etishda elektronlarni moddalardagi kirib borish chuqurligini bilish lozim bo'ladi. Himoya materiali sifatida zaryadi katta bo'lmagan moddalarni ishlatish kerak bo'ladi (alyuminiy, orksteklo va boshq.). Ko'p hollarda Al materialidan foydalaniladi. Elektronlarni Al dagi kirib borish chuqurligi juda yaxshi o'rganilgan bo'lib, turli energiyalar uchun qo'llaniladigan bir qator empirik ifodalar keltirib chiqarilgan. Shu ifodalar yordamida qiyinchiliksiz, kirib borish chuqurligi kattaligining son qiymatini topish mumkin.

$$R = 0,407 \cdot E_e^{1,38} \text{ g/sm}^2; \quad 0,15 \text{ MeV} < E_e < 0,8 \text{ MeV} \text{ energiya oraliklarida} \quad (13)$$

$$R = 0,562 \cdot E_e - 0,094 \text{ g/sm}^2; \quad Y_{e_e} > 0,6 \quad \text{MeV} \quad \text{katta bo'lganda} \quad (14)$$

$$R = 0,542 \cdot E_e - 0,133 \text{ g/sm}^2; \quad 0,8 \text{ MeV} < E_e < 3 \text{ MeV} \text{ energiya oraliklarida} \quad (15)$$

$$R = 0,246 \cdot E_e - 0,106 \text{ g/sm}^2; \quad 10 \text{ MeV} < E_e < 23 \text{ MeV} \text{ energiya oraliklarida} \quad (16)$$

$$R_{\text{экр}} = A_1 \left[ \frac{1}{A_2} \ln(1 - A_2 \alpha_0) - \frac{A_3 \alpha_0}{(1 + A_4 A_5 \alpha_0)} \right]; \quad 0,3 \text{ keV} < E_e < 30 \text{ MeV} \quad (17)$$

bu yerda  $E_0/m_0c^2$  ( $E_0$ -elektronning energiyasi, MeV),  $m_0c^2$ -elektronning tinchlikdagi massasi ( $m_0c^2=0,511$  MeV);  $A_1=0,2335 \text{ M/Z}^{1,209}$ ;  $A_2=1,78 \cdot 10^{-4}Z$ ;  $A_3=0,9891-3,01 \cdot 10^{-4}Z$ ;  $A_4=1,468-1,180 \cdot 10^{-2}Z$ ;  $A_5=1,232/Z^{0,109}$  (M-atom massasi, Z-atom nomeri).

(17)-ifoda ekstrapolyatsiya yo'li bilan topilgan monoenergetik elektronlarning atom nomerlari 5,3 dan (polietilenniing effektiv atom nomeri) 82 gacha bo'lgan moddalardagi kirib borish chuqurligidir.

Elektron va pozitronlar muhitlardan o'tishi davomida o'z energiyalarini kamaytirib boradi. Yo'qotilgan energiya quyidagilarga sarflanadi: Atomlarni uyg'ongan holatga o'tkazishga; atomlarni ionlashtirishga; radiatsion nurianishga va yadro o'zgarishlariga (bu jarayon sodir bo'lishi mumkin, qanchunki, elektronning energiyasi yetarli darajada katta bo'lsa). Himoya devori materialini shunday tanlash kerakki, bu material elektronning energiyasini o'zida yaxshi yutsin va shu bilan birgalikda energiyani yutgan material o'zidan yuqori energiyali gamma va neytron zarrachalarini chiqarmasin. Aks holda himoya vositasini tashkil etish murakkablashib ketadi. Yuqorida aytilganidek, himoya devori materiali sifatida Al moddasini ishlatish mumkin.

Himoya devori orqasidagi zarrachalar oqimi bergan ekvivalent dozaning qiymati (biologik to'qima uchun) quyidagi ifoda orqali topiladi

$$D_{\text{эKB}} = \left( -\frac{dE_{\beta^-}}{dx} \right) \cdot \frac{I_{\beta_{\text{эKB}}} \cdot t \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}}{K} \leq 2 \cdot 10^{-2} \quad (18)$$

bu yerda  $-\frac{dE_{\beta^-}}{dx}$  - ionlashtirishga sarflangan energiya, MeV/m;  $I_{\beta_{\text{эKB}}}$  - oqim zichligining chegaralangan qiymati, zar./m<sup>2</sup>·sek; K-sifat koeffitsienti (elektron uchun K=1 ga teng);  $1,6 \cdot 10^{-13}$  energetik ekvivalent.

(18)-ifodadagi  $D_{\text{эKB}}$  o'miga 20 mZv (bir yillik davomidagi doza qiymati) sonini qo'yamiz va ifodadan  $I_{\beta_{\text{эKB}}}$  - kattaligini topamiz:

$$\begin{aligned} I_{\beta_{\text{эKB}}} &= \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot K}{\left( \frac{dE_{\beta^-}}{dx} \right) \cdot t \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 1}{\left( \frac{dE_{\beta^-}}{dx} \right) \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 1700 \cdot 3600} = \\ &= \frac{17 \cdot 10^2}{\left( \frac{dE_{\beta^-}}{dx} \right)} \quad (19) \end{aligned}$$

Himoya devorining qalinligi shunday tanlanadiki, devor orqasidagi zarrachalar oqimi zichligining qiymati, uning chegaralangan qiymatidan ortib ketmasligi kerak. Zarrachalar oqimi zichligining chegaralangan qiymatini (19)-ifodadan topsa bo'ladi yoki adabiyotlarda berilgan qiymatlardan foydalanish mumkin.  $\left( \frac{dE_{\beta^-}}{dx} \right)$  - qiymatini esa (5)-jadvaldan olish mumkin (biologik to'qima uchun).

$\beta$ -zarrachalarning intensivligi moddalardan o'tishi davomida eksponensial qonuniyat bo'yicha kamayib boradi. Bu qonuniyatni ushbu ifoda orqali berish mumkin:

$$j = j_0 \cdot \exp(-\mu_m \alpha), \quad (20)$$

bu yerda  $d$ -devorning qalinligi, g/sm<sup>2</sup>;  $\mu_m$ -massa bo'yicha kuchsizlantirish koeffitsienti, sm<sup>2</sup>/g;  $j_0$ -devor oldidagi  $\beta$ -zarrachalarining intensivligi, zar./sm<sup>2</sup>·sek;  $j$ - devor orqasidagi  $\beta$ -zarrachalarining intensivligi, zar./sm<sup>2</sup>·sek.

$\mu_m$ - massa bo'yicha kuchsizlantirish koeffitsienti beta zarrachaning maksimal energiyasi bilan quyidagi bog'lanishga ega:

$$\mu_m \approx 15,5 E_{\beta}^{-1,41} \approx 17 E_{\beta}^{-1,43} \approx 22 E_{\beta}^{-1,33} \quad (21)$$

(9)-ifoda orqali  $\mu_m$ -kattaligining son qiymatini aniqlash mumkin.

5-jadvalda turli energiyali elektron zarrachalarini biologik to'qimadagi yo'qotgan energiyasi va kirib borish chuqurligi berilgan.

5-jadval. Turli energiyali elektron zarrachalarini biologik to'qimadagi yo'qotgan energiyasi va kirib borish chuqurligi

$E_e, \text{MeV}$	$(dE/dx)_{\text{ion}}, \text{MeV}/(\text{g}/\text{sm}^2)$	$(dE/dx)_{\text{rad}}, \text{MeV}/(\text{g}/\text{sm}^2)$	$R, \text{g}/\text{sm}^2$
0,010	22,92	$4,971 \cdot 10^{-3}$	$2,467 \cdot 10^{-4}$
0,015	16,96	$4,974 \cdot 10^{-3}$	$5,061 \cdot 10^{-4}$
0,020	13,34	$4,810 \cdot 10^{-3}$	$8,435 \cdot 10^{-4}$
0,030	9,764	$4,735 \cdot 10^{-3}$	$1,733 \cdot 10^{-3}$
0,040	7,864	$4,702 \cdot 10^{-3}$	$2,882 \cdot 10^{-3}$
0,060	5,852	$4,777 \cdot 10^{-3}$	$5,873 \cdot 10^{-3}$
0,080	4,799	$4,921 \cdot 10^{-3}$	$9,672 \cdot 10^{-3}$
0,100	4,149	$5,087 \cdot 10^{-3}$	0,01417
0,150	3,263	$5,609 \cdot 10^{-3}$	0,02792
0,200	2,812	$6,169 \cdot 10^{-3}$	0,04451
0,300	2,369	$7,420 \cdot 10^{-3}$	0,08359
0,400	2,160	$8,754 \cdot 10^{-3}$	0,1279
0,600	1,976	0,01146	0,2251
0,800	1,907	0,01418	0,3279
1,000	1,880	0,01694	0,4332
1,500	1,877	0,02402	0,6981
2,000	1,902	0,03130	0,9604
3,000	1,963	0,04673	1,471
4,000	2,018	0,06346	1,964
6,000	2,105	0,09977	2,906
8,000	2,172	0,1384	3,802
10,00	2,226	0,1798	4,461
20,00	2,396	0,3986	8,559
30,00	2,498	0,6311	11,59
40,00	2,570	0,8701	15,09
60,00	2,673	1,360	20,56
80,00	2,746	1,859	25,32
100,0	2,802	2,363	29,54

6-jadvalda turli energiyali elektron zarrachalarini alyuminiydagi yo'qotgan energiyasi va kirib borish chuqurligi berilgan.  $\beta$ -zarrachalaridan himoyalaniшни tashkil qilishda bu ma'lumotlardan foydalanish mumkin.

6-jadval. Turli energiyali elektron zarrachalarini alyuminiydagi yo'qotgan energiyasi va kirib borish chuqurligi

$E_e, \text{MeV}$	$(dE/dx)_{\text{ion}}, \text{MeV}/(\text{g}/\text{sm}^2)$	$(dE/dx)_{\text{rad}}, \text{MeV}/(\text{g}/\text{sm}^2)$	$R, \text{g}/\text{sm}^2$
0,010	16,57	$8,600 \cdot 10^{-3}$	$3,519 \cdot 10^{-3}$
0,015	12,25	$8,482 \cdot 10^{-3}$	$7,074 \cdot 10^{-3}$

0,020	9,884	$8,373 \cdot 10^{-3}$	$1,165 \cdot 10^{-3}$
0,030	7,316	$8,276 \cdot 10^{-3}$	$2,356 \cdot 10^{-3}$
0,040	5,931	$8,252 \cdot 10^{-3}$	$3,833 \cdot 10^{-3}$
0,060	4,456	$8,446 \cdot 10^{-3}$	$7,873 \cdot 10^{-3}$
0,080	3,675	$8,746 \cdot 10^{-3}$	0,01279
0,100	3,191	$9,105 \cdot 10^{-3}$	0,01864
0,150	2,526	$1,005 \cdot 10^{-2}$	0,03641
0,200	2,187	$1,100 \cdot 10^{-2}$	0,05772
0,300	1,847	0,01317	0,1077
0,400	1,690	0,01549	0,1640
0,600	1,550	0,02011	0,2871
0,800	1,496	0,02469	0,4168
1,000	1,473	0,02933	0,5493
1,500	1,464	0,04071	0,8825
2,000	1,476	0,05204	1,212
3,000	1,508	0,07612	1,855
4,000	1,537	0,1025	2,476
6,000	1,581	0,1604	3,658
8,000	1,613	0,2217	4,777
10,00	1,637	0,2869	5,841
20,00	1,709	0,6317	10,54
30,00	1,747	0,9973	14,48
40,00	1,773	1,373	17,88
60,00	1,808	2,141	23,55
80,00	1,831	2,923	28,16
100,0	1,849	3,710	32,04

7-jadvalda A-kategoriya uchun  $\beta$ -zarrachalar zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymati va ekvivalent doza qiymatlari berilgan. Bu jadvaldan foydalanib himoya devorining qalinligini aniqlash mumkin.

7-jadval. A-kategoriya uchun  $\beta$ -zarrachalar zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymati va ekvivalent doza qiymati

$\beta$ -spektrning energiyasi, MeV	o'rtacha	Ekvivalent doza, teriga birlik iflyuens bergan doza, $10^{-10} \text{Zv} \cdot \text{sm}^2$	Zarrachalar zichligining yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymati, $\text{sm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
0,05		1,0	820
0,07		1,8	450
0,10		2,6	310
0,15		3,4	240
0,20		3,8	215

0,30	4,3	190
0,40	4,5	180
0,50	4,6	180
0,70	4,8	170
1,00	5,0	165
1,50	5,2	160
2,00	5,3	155

Agar beta radioaktiv elementlar chiqarayotgan zarrachalardan himoyalash lozim bo'lsa, bu holda birinchi navbatta  $\beta$ -zarrachaning maksimal energiyasini aniqlash kerak bo'ladi. Bu ma'lumotlar bir qator adabiyotlarda keng yoritib berilgan. (8)-jadvalda bir qator  $\beta$ -radionuklidlarning xarakteristikalarini berilgan.

8-jadval.  $\beta$ -radionuklidlarning xarakteristikalarini

Radionuklid	$T_{1/2}$	O'rtacha energiya, MeV	$\beta$ -zarrachaning maksimal energiyasi, MeV	Bitta parchalanish-ga tegishli chiqish kattaligi, %
$^3\text{H}$	12,35y	0,00568	0,0176	100
$^{14}\text{S}$	5568 y	0,049	0,1585	100
$^{24}\text{Na}$	15,0 c	0,553	4,16	99,9
$^{32}\text{P}$	14,5 kun	0,695	1,711	100
$^{33}\text{P}$	25,4 kun	0,0766	0,248	100
$^{35}\text{S}$	87,44 kun	0,0488	0,167	100
$^{41}\text{Ar}$	1,827 c	0,479	2,515	0,88
$^{40}\text{K}$	$1,28 \cdot 10^9$ y	0,585	1,3	0,893
$^{45}\text{Ca}$	163,0 kun	0,0772	0,254	100
$^{56}\text{Mn}$	2,578 kun	0,86	2,85	50
$^{60}\text{Co}$	5,27 y	0,094	1,478	0,01
$^{63}\text{Ni}$	96,0 y	0,017	0,066	100
$^{64}\text{Cu}$	12,7 c	0,19	0,573	37
$^{90}\text{Sr}$	29,12 y	0,196	0,535	100
$^{90}\text{Y}$	64,0 c	0,935	2,245	100
$^{93}\text{Zr}$	64,05 kun	0,115	0,89	3
$^{93}\text{Nb}$	$2,03 \cdot 10^4$ y	0,166	0,50	100
$^{95}\text{Nb}$	35,15 c	0,043	0,93	0,03
$^{98}\text{Tc}$	$4,2 \cdot 10^6$ y	0,156	0,30	100
$^{99}\text{Tc}$	$2,13 \cdot 10^5$ y	0,101	0,295	99
$^{106}\text{Ru}$	368,2 kun	0,010	0,039	100
$^{107}\text{Pd}$	$6,5 \cdot 10^6$ y	0,00926	0,035	100
$^{114}\text{Ag}$		2,018	4,60	
$^{115}\text{Ag}$		1,249	2,90	



<sup>122</sup> Sb		0,527	1,971	
<sup>126</sup> I	13,02 kun	0,298	1,125	
<sup>128</sup> I	24,99 min	0,791	2,12	
<sup>134</sup> Cs	2,062y	0,152	0,657	68
<sup>137</sup> Cs	30,0 y	0,195	1,167	8
<sup>139</sup> Ba	82,7 min	0,91	2,34	
<sup>152</sup> Eu	13,2 y	0,288	1,184	
<sup>154</sup> Eu	16,0 y	0,228	1,185	7
<sup>198</sup> Au	2,697 kun	0,315	1,371	0,025
<sup>199</sup> Au		0,084	0,460	
<sup>203</sup> Hg	46,9 kun	0,057	0,212	100
<sup>208</sup> Tl	3,1 min	0,562	2,380	1,5
<sup>212</sup> Bi		0,783	2,255	
<sup>214</sup> Pb		0,214	0,980	

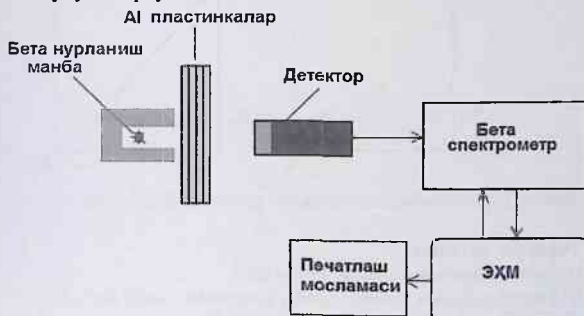
### Himoya vositasini tashkil etish:

Beta zarrachalaridan himoyalaniş vositalarini tashkil etish quyidagi tartibda amalga oshiriladi.

1.  $\beta$ -zarrachasini chiqarayotgan radionuklid aniqlanadi. Bu radionuklid qanday turdagi nurlanishlarni chiqarishi aniqlanadi.
2.  $\beta$ -zarrachasining maksimal energiyasi topiladi. Boshqa turdagi zarrachalar mavjud bo'lsa, ularning ham maksimal energiyalari aniqlanadi.
3.  $\beta$ -manbaining aktivligi aniqlanadi.
4. Manbadan xodim ish olib boradigan nuqttagacha bo'lgan masofa topiladi.
5. Xodim ish olib boradigan nuqtalarda himoya devori bo'lmagan holatda nurlanish dozasi yoki dozaning quvvati o'lchanadi ( $\beta$ -zarrachasining oqim zichligi, zar./sm<sup>2</sup>·sek).
6. Himoya devorining materiali tanlanadi (Z-katta bo'lmagan materiallar).
7. Tanlab olingan nuqtalarda himoya devori o'rnatilgandan keyingi nurlanish dozasi yoki dozaning quvvati o'lchanadi ( $\beta$ -zarrachasining oqim zichligi, zar./sm<sup>2</sup>·sek).
8. Kuchsizlantirish koeffitsienti K topiladi.  $K=D/D_{dchq}=R/R_{dqchq}=j/j_{ozchq}$ .
9. Agar,  $K \leq 1$  bo'lsa, himoya devorining qalinligi zarrachalardan himoyalaniş uchun yetarlidir.
10. Agar,  $K > 1$  bo'lsa, devorning qalinligi zarrachalardan himoyalaniş uchun yetarli bo'lmaydi.
11. Qo'shimcha himoya devori o'rnatilib,  $K \leq 1$  ga erishiladi. Qo'shimcha devorning qalinligi  $\beta$ -zarrachalar dastasini moddalardan o'tishida eksponensial qonun bo'yicha kamayib borishiga ko'ra topiladi.
12. Devorlar o'rnatilganidan keyin tajriba orqali sezgir dozimetrdan yordamida tanlab olingan nuqtalarda  $\beta$ -zarrachalar bergan doza yoki dozaning quvvati o'lchanadi.

### Tajribani bajarish tartibi:

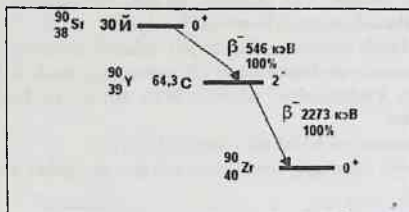
1. 5-rasmda ko'rsatilgan tajribaning geometriyasi va blok-sxemasini yig'ish.
2.  $\beta$ -manbani tanlash.  $^{90}\text{Sr}$  olingani ma'qul. Parchalanish sxemasi anchagina sodda. Parchalanish sxemasi 6-rasmda berilgan.
3. Detektor sifatida torsovoy schetchigini ishlatish mumkin.
4. Beta spektrometr va detektorlarni tok tarmog'iga ulash. Bir oz qizdirish kerak.
5. Detektorga kuchlanishni sekinlik bilan berish va belgilangan qiymatida to'xtatish lozim.
6. Beta spektrometr va EHM ish rejimiga keltiriladi.
7.  $^{90}\text{Sr}$  nurlanish manbaini detektordan ma'lum uzoqlikka himoya devori ichiga joylashtiriladi.
8. Alyuminiy plastinkalar bo'lmagan vaqtidagi spektr o'lchanadi va sanoq tezligi aniqlanadi. Natija EHM ning hotirasiga yozib boriladi.
9.  $^{90}\text{Sr}$  nurlanish manbai va detektor orasiga alyuminiy plastinkasining bittasi quyiladi va sanoq tezligi topiladi. Olingan natija yozib qo'yiladi.
10.  $^{90}\text{Sr}$  nurlanish manbai va detektor orasiga quyilgan alyuminiy plastinkasining yoniga ikkinchi plastinka quyiladi va sanoq tezligi topiladi. Olingan natija yozib qo'yiladi.



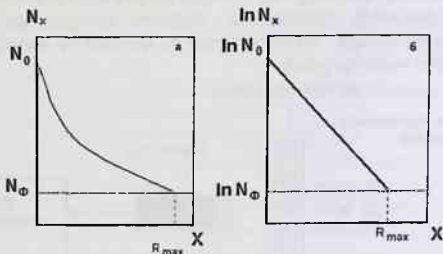
5-rasm. Tajribaning geometriyasi va blok-sxemasi

11. O'lchashlar shu tariqa davom etadi. Sanoq tezligi fonlarning sanoq tezligiga yaqinlashadi. O'lchashlar to'xtatiladi.
12. O'lchangan natijalarga ko'ra sanoq tezligi va plastinkalar qalinliklari orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi. Bu grafik 7-rasmda ko'rsatilgan. 7a-rasmda grafik oddiy shkalada chizilgan, 7b-rasmda esa bog'lanish yarimlogarifm shkalasida chizilgan.
13. Sanoq tezligini fon sanoq tezligiga tenglashib qolishi  $\beta$ -zarrachalarini alyuminiy plastinkalarida to'liq yutilishini ko'rsatadi.

14. Alyuminiy plastinkalarining qalinliklari qo'shilib, alyuminiyning yig'indi qalinligi topiladi.



6-rasm.  $^{90}\text{Sr}$  izotopining parchalanish sxemasi



7-rasm.  $\beta$ -zarrachalarining alyuminiy platinkasida yutilishi.

### Nazorat savollari

1.  $\beta$ -parchalanishning qanday turlari bor?
2.  $\beta$ -parchalanishda yadroda qanday o'zgarishlar sodir bo'ladi?
3.  $\beta$ -zarrachalardan himoyalashda qanday materiallardan foydalanish kerak?
4.  $\beta$ -zarrachalar modda atomi bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
5. Bote-Blox tenglamasini tushuntirib bering.
6. Elektronlar moddalardan o'tishida o'z energiyasini qanday yo'llar bilan yo'qotadi?
7.  $^{90}\text{Sr}$  izotopining parchalanish sxemasini izohlab bering.
8. Elektronlar moddalardan o'tishida intensivligini qanday qonuniyat asosida kamaytirib boradi?
9. Bir nechta  $\beta$ -radioaktiv elementlarni aytib bering.
10.  $\beta$ -zarrachalar zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymati nimani anglatadi?

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.P. Chernyaev // Vzaimodeystvie ioniziruyushchego izlucheniya s veshchestvom, M: Fizmatlit, 2004.
2. L.D. Zaripova // Zashchita ot ioniziruyushchego izlucheniya, Kazan, 2008.
3. N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov // Zashchita ot ioniziruyushchego izlucheniya, M: Energoatomizdat, Tom 1, 1989.
4. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalaniish, Toshkent, Davr, 2013.

## № 32. Laboratoriya ishi

### Neytron zarrachalardan himoyalaniishni tashkil qilish

**Ishdan asosiy maqsad:** Neytron manbalari bilan tanishish. Neytron zarrachalaridan himoyalaniish yo'llarini o'rganish. Himoya devori materiallarini tanlash.

**Kerakli jihozlar:** Neytron manbalari, himoya devorlari (neytron to'xtatgich, mahsus beton, temir, neytron detektor, neytron spektrometri, EHM, sanash moslamasi).

**Nazariy qismi:** Radioaktiv  $\alpha$ -neytron manbalaridan qanday qilib homoyalaniish kerakligi haqida fikr yuritimiz. Neytron manbalari chiqaradigan neytronlarning maksimal energiyasi  $\sim 12,0$  MeV ga tengdir (radioaktiv  $\alpha$ -manbalar asosidagi). Neytronlar energiyasiga qarab modda atomining yadrolari bilan turli ko'rinishdagi ta'sirlarni sodir etadi. Neytronlar yadrolar bilan elastik va noelastik to'qnashishlari mumkin. Bu ta'sirlar natijasida neytron energiyasini kamaytirib boradi. Neytronlarning energiyasiga qarab himoya devorining materiali tanlab olinadi.

Neytron zarrachasi birinchi bo'lib  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$  yadro reaksiyasi yordamida olingan. Hozirgi davrda ham bu reaksiya neytronlar oqimini olish uchun qo'llanilmoqda.  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$  reaksiyasi radioaktiv  $\alpha$ -neytron manbalar tarkibiga kiradi. 1-jadvalda radioaktiv  $\alpha$ -neytron manbalarning xarakteristikallari berilgan.

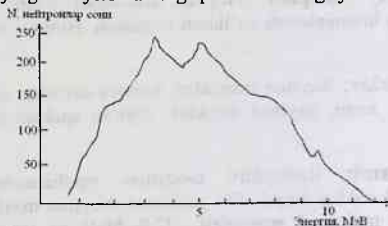
1-jadval. Radioaktiv  $\alpha$ -neytron manbalarning xarakteristikallari

Manba	Yarim yemirilish davri	Neyt. chiqish kattaligi, neyt./Bk·s	Bitta neytronga to'g'ri keluvchi $\gamma$ -kvantlar soni	Neytronning o'rtacha energiyasi, MeV	Neyt. maks. energiyasi, MeV
Ra-Be	1620 y.	17	$5 \cdot 10^3$	4,63	12,2
Po-Be	138 kun	1,6-3,0	$\sim 1$	5,3	10,9

Pu-Bc	24360 y.	1,7	~1	4,5	10,7
Ra-B	1620 y.	6,8	$2 \cdot 10^4$	-	-
Po-B	138 kun	0,9	-	2,7	5
Rn-Bc	3,8 kun	15	-	-	12,2

1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, Ra-Be va Ra-B manbalari neytron zarrachalaridan tashqari kuchli  $\gamma$ -nurlarini ham chiqaradi. Po-Be va Pu-Be manbalari  $\gamma$ -nurlarini kam chiqarganligi sababli amalda ko'p qo'llaniladi. Bu manbalar yordamida  $10^7$  neyt./sek ga teng neytronlar oqimini olish mumkin. Neytronlarning chiqish kattaligi manbaning tayyorlanishiga bog'liqdir.

1-rasmda Po-Be manbasidan chiqayotgan neytronlarning energetik spektri ko'rsatilgan. Neytronning eng yuqori energiyasi 10,9 MeV ga teng. Manbadan chiqayotgan neytronlar oqimi izotrop xususiyatiga ega. Radioaktiv  $\alpha$ -neytron manbalaridan chiqayotgan neytronlarning spektri bir-biriga juda o'xshashdir.



1-rasm. Po-Be manbasidan chiqayotgan neytronlarning energetik spektri

### Neytronlarni energiya bo'yicha klassifikatsiyasi

Neytronlarni kinetik energiyasi bo'yicha klasslarga bo'lish mumkin. Albatta klasslarga ajratish nisbiy bo'lib, kinetik energiyani qanday soha oraliklarida ko'rilayotganligiga bog'liqdir. Agar o'ta past va relyativistik energiyali neytronlar sohasini ko'radigan bo'lsak, bu holda neytronlarni quyidagi klasslarga ajratishimiz mumkin (2-jadval).

2-jadval. Neytronlarni kinetik energiya bo'yicha klassifikatsiyasi

Gruppa	Energiyasi, eV	Izoh
O'ta past energiyali neytronlar	$< 10^{-7}$	Kinetik energiyasi $< 0,001$ K haroratga mos keladi.
Sovuq neytronlar	$10^{-7} - 10^{-2}$	

Issiq neytronlar	0,01–0,1	Kinetik energiyasi issiqliq harakatiga tengdir. To'liq uzunligi atom o'lchamiga yaqin
Rezonans neytronlar	0,1+50	Yadrolarga ta'sir kesimlarida keskin maksimumlar namoyon bo'ladi
Sekin neytronlar	50–500	
Oraliq neytronlar	500–10 <sup>5</sup>	
Tez neytronlar	10 <sup>5</sup> –10 <sup>7</sup>	
Yuqori energiyali neytronlar	10 <sup>7</sup> –10 <sup>9</sup>	Kinetic energiyasi tinchlikdagi energiyasiga tenglashadi.
Relyativistik energiyali neytronlar	>10 <sup>9</sup>	Zarrachaning tezligi yorug'lik tezligiga yaqinlashadi.

3–jadvalda neytronlarni to'sishda ishlatiladigan materiallarning guruhleri berilgan

3-jadval. Neytrondan himoyalanishda ishlatiladigan materiallar guruhi

№	Materiallarning guruhi	Materiallarning nomi
1.	Tarkibida vodorodi bor yengil moddalar. Neytronlar-ning energiyasini kamaytirish uchun ishlatiladi.	Vodorod, suv, polietilen, parafin, neytron to'xtatgich va boshqalar.
2.	Tarkibida vodorodi yo'q yengil moddalar. Neytronlar oqimining quvvatini kamaytirish uchun qo'llaniladi.	Uglerod, karbid bor va boshqalar.
3.	O'rtacha massali elementlardan tashkil topgan moddalar. Neytronlar oqimining quvvatini kamaytirish uchun qo'llaniladi.	Beton, minerallar va boshqalar.
4.	Og'ir materiallar. Neytronlar oqimining quvvatini kamaytirish uchun ishlatiladi.	Temir, qo'rg'oshin, molibden, volfram, titan va boshqalar.
5.	Tarkibida vodorodi bor metall moddalar. Neytronlarning energiyasini va quvvatini kamaytirish uchun ishlatiladi.	Temirli beton va boshqalar.

### ( $\alpha, n$ )-neytron manbalaridan himoyalanish

Laboratoriyalarda neytron manbalari mavjud bo'lib, ular asosan neytron detektorlarining ishlash qobiliyatini tekshirishda va neytron spektrometrlarini

sozlashda ishlatiladi. Neytron manbalari turli aktivlikda tayyorlanadi. Oldingi laboratoriya ishlarida bu manbalar to'g'risida to'liq ma'lumotlar berilgan. Endilikda esa ulardan qanday qilib homoyalanish kerakligi haqida fikr yuritimiz. Bu manbalar izotrop xususiyatiga egadir. Neytronlarning maksimal energiyasi ~12 MeV ga yaqin. Yuqori energiyali neytronlardan himoyalanishning eng optimal yo'li, bu turli materiallardan tashkil topgan ko'p qatlamli devor uyushmasidan foydalanishdir. Neytron manbasi tomoniga vodorod atomlariga boy bo'lgan moddalarni qo'yish kerak. So'ngra qo'rg'oshin elementini qo'yish mumkin. Betonni ham ishlatish mumkin chunki, uning tarkibida vodorod ham bor va og'ir elementlar ham mavjud.

Himoya devorlarining qalinligini hisoblash usullarini ko'rib o'tamiz. Hisoblashning bir qator yo'llari mavjud bo'lib, bularga: Yadro reaksiyalarining kesim kattaliklari bo'yicha hisoblash; neytronlarning moddalardagi relaksatsiya uzunligiga asosan hisoblash; neytronlarning moddalardagi yarim kuchsizlanish kattaliklarini bilgan holda hisoblash usullari kiradi. Bular ichidan neytronlarning moddalardagi relaksatsiya uzunligi yordamida hisoblash keng tarqalgan. Relaksatsiya uzunligi( $\lambda$ ) turli moddalar uchun aniqlangan va jadvallar ko'rinishida berilgan.  $\lambda$  -ning qiymati juda ko'p parametrlarga bog'liqdir: neytronlarning energiyasiga; himoya devorining materialiga va qalinligiga; himoyalanish vositasining geometriyasiga va boshqalarga. Relaksatsiya uzunligi( $\lambda$ ) turli moddalar uchun hisoblash yo'li bilan va tajriba orqali topilgan.  $\lambda$  -ning qiymati devor qalinligiga bog'liq bo'lmasligi ham mumkin, buning uchun himoya devorini qismlarga bo'lamiz va shu qismlarda neytronlar oqimining kuchsizlanishi eksponensial qonun bo'yicha kamayadi. Shu holat bajarilganda  $\lambda$  ni o'zgarmas deb olish mumkin. 4-jadvalda turli moddalar, turli energiyali neytronlar va himoya devorining turli qalinliklari uchun relaksatsiya uzunligining( $\lambda$ ) qiymatlari berilgan.

4-jadval. Relaksatsiya uzunligining( $\lambda$ ) qiymatlari, g/sm<sup>2</sup>

Muhit	Qalinligi, g/sm <sup>2</sup>	E energiyali neytronlarning relaksatsiya uzunligini, $\lambda$				
		> 0,33	> 2,0	> 3,0	> 5,0	> 7,0
Suv	10-30	8,1 <sup>+1</sup>	8,1 <sup>+1</sup> ; 7,6	8,1 <sup>+1</sup> ; 7,6	9,2 <sup>+1</sup> ; 9,6	11,1 <sup>+1</sup> ; 10,1
	30-60	8,9 <sup>+1</sup>	9,3 <sup>+1</sup> ; 9,1	8,1 <sup>+1</sup> ; 7,6	10,5 <sup>+1</sup> ; 10,4	11,2 <sup>+1</sup> ; 11,2
	60-100	9,3 <sup>+1</sup>	10,7 <sup>+1</sup> ; 10,6	8,1 <sup>+1</sup> ; 7,6	11,0 <sup>+1</sup> ; 11,3	12,1 <sup>+1</sup> ; 12,6
	0-100	10,1 <sup>+1</sup>	-	-	-	-
Uglerod	0-50	-	18,9	20,9	23,0	20,0
	50-100	-	20,0	24,7; 21,7	24,0	21,7

	100-150	21,1 <sup>2</sup>	21,7; 23,0	26,6; 24,4	25,4	27,1; 23,4
	150-220	26,8 <sup>1</sup>	24,3; 26,4	26,3; 26,4	27,8	25,6
	0-220	24	22,0	22,9	25,0	22,7
Karbid bor	0-90	-	-	16,7; 20,6 <sup>2,1</sup>	-	-
	11-65	-	-	-	-	21,9 <sup>1</sup>
Poli-etilen	0-28	-	5,78	6,9 <sup>1</sup> ; 6,20	7,15 <sup>1</sup> ; 6,70	8,4 <sup>1</sup> ; 7,35
	28-55	-	6,67	7,6 <sup>1</sup> ; 6,95	8,20 <sup>1</sup> ; 7,45	8,9 <sup>1</sup> ; 7,86
	55-83	-	7,63	8,1 <sup>1</sup> ; 7,81	8,75 <sup>1</sup> ; 8,08	9,9 <sup>1</sup> ; 8,36
	0-83	-	6,70	7,00	7,45	7,86
Temir	0-510	-	59; 55,4	51; 50,7	49,5 59,2	49,5 49,2
	0-840	-	117	107	109	109
Qo'rg'oshin	11-565	-	-	106,0 <sup>1</sup>	-	98,20 <sup>1</sup> ; 98,40 <sup>1</sup>

4-jadvaldagi belgilar: \*<sup>1</sup>- hisoblash yo'li bilan olingan natijalar; \*<sup>2</sup>- energiyasi  $E_n > 0,5 \text{ MeV}$  bo'lgan neytronlar uchun.

4-jadvalda berilgan relaksatsiya uzunliklarining qiymatlari hisoblash va tajriba orqali topilgan. Bu qiymatlar orasidagi farq unchalik katta emas. Hisob ishlarida  $\lambda$  ning qiymati sm birligida beriladi. 4-jadvalda berilgan  $\lambda$  ning qiymatini modda zichligiga bo'linsa,  $\lambda$  ning qiymati santimetrغا aylanadi.

Juda ko'p yadro qurilmalarida himoya devori sifatida beton ishlatiladi. Unga turli moddalarni aralashtirish orqali kerakli xarakteristikaga ega bo'lgan betonni olish mumkin. Betonning turlari juda ko'p. Agar beton ishlatilsa, himoya vositasini tashkil etish anchagina orzonga tushadi. Beton bu universal himoyalash materialini hisoblanadi. Atom reaktorlari va tezlatgich binolarining devorlari mahsus betonlardan quriladi. Turli betonlar uchun yuqori energiyali neytronlarning relaksatsiya uzunligining qiymatlari 5-jadvalda berildi.

5-jadval. Turli tipdagi betonlardagi neytronlarning relaksatsiya uzunligi,  $\text{g}/\text{sm}^2$

Muhit	Devor qalinligi, $\text{g}/\text{sm}^2$	Turli energiyali neytronlar uchun relaksatsiya uzunligi, Mev			
		2-10	3-10	> 3	5-10
Temir serpentin	0-100	25,5	25,7		27,4



beton	100-200	26,4	26,9		28,6
	200-340	27,2	27,9		29,2
	0-340	26,5	26,9		28,5
Limonitli beton	54-216			24,2	
	216-229			35	
Magnezitli beton	90-230			28,0	
Oddiy beton	60-220			27,5	
Oddiy beton PSh markali	50-190			26,4	
	190-275			38,4	
Serpentin beton	0-220		23,0	24,0	24,4
Xromitli beton	140-300			32,0	

Himoya devorining qalinligini aniqlash masalasiga to'xtalib o'tamiz. Yuqorida aytib o'tilganidek, uning bir qator usullari mavjud:

1. Bu usullardan birida, neytron zarrachalarini himoya devori atomlarining yadrosi bilan ta'sirlashish kesim kattaliklarini hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Neytron zarrachasi turli ko'rinishdagi yadro reaksiyalarni yuzaga keltiradi. Har bir reaksiya o'zining mikroskopik kesim kattaligiga ega bo'ladi ( $\sigma_1, \sigma_2$  va boshq.). Bu mikroskopik kesim kattaliklarning yig'indisi aniqlanadi va unga makroskopik kesim kattaligi deyiladi.

$$\Sigma_t = \sigma_1 n_{A_1} + \sigma_2 n_{A_2} + \dots \quad (1)$$

bu yerda  $\sigma_1, \sigma_2$  — har bir reaksiya kanali uchun mikroskopik kesim kattaliklari,  $\text{sm}^2$ ;  $\Sigma_t$  — makroskopik kesim kattaligi,  $\text{cm}^{-1}$ ;  $n_A$  —  $1 \text{ sm}^3$  hajmdagi har bir element atom yadrolarining soni.  $n_A$  — quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$n_A = \frac{\rho \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{A}, \quad (2)$$

bu yerda  $\rho$  — moddaning zichligi,  $\text{g/sm}^3$ ;  $A$  — yadroning massa soni.

Bu usulda hisoblash quyidagi tartibda olib boriladi:

- A). Himoya devori bo'lmagan vaqtidagi R-masofadagi neytronlar oqimining zichligi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$J_R = \frac{I_0}{4\pi R^2}, \quad (3)$$

bu yerda  $I_0$  — manbadan chiqayotgan neytronlar oqimi, neyt./sek.; neytron manbaidan ko'rilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa, sm.

B). X-qalinlikdagi himoya devori o'rnatilgandan keyingi, R-masofadagi neytronlar oqimining zichligi ushbu ifoda orqali topiladi:

$$J_X = J_R \cdot \exp(-\Sigma_t X) \quad (4)$$

V). X-qalinlikdagi himoya devoridan keyingi nuqtada aniqlangan neytronlar oqimining zichligi  $J_X$ , uning chegaralangan qiymati bilan solishtiriladi, ya'ni  $J_X \leq J_{(OZChQ)_A}$ . Agar  $J_X > J_{(OZChQ)_A}$  bo'lsa, himoya devorining qalinligi oshirilib boriladi.

2. Ikkinchi usuli, neytronning moddadagi relaksatsiya uzunligiga ko'ra himoya devorining qalinligini aniqlash. Hisobni amalga oshirish ketma-ketligi quyidagicha:

A). (3)- ifoda yordamida R —masofadagi neytronlar oqimining zichligi topiladi.

B). So'ngra, X-qalinlikdagi devordan keyingi nuqtadagi neytronlar oqimining zichligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$J_X = J_R \cdot \exp(-X/\lambda) \quad (5)$$

V).  $J_X$  va  $J_{(OZChQ)_A}$  kattaliklari bir-biriga solishtiriladi. Devor qalinligini oshirish orqali  $J_X \leq J_{(OZChQ)_A}$  munosabat olinadi.

1. Agar issiq neytronlardan himoyalaniş lozim bo'lsa, himoya devorining materiali sifatida kadmiy (Cd)elementidan foydalanish kerak. Bu element issiq neytronlarni juda yaxshi yutadi ( $\sigma=1000$  mb). Qalinligi 1 mm bo'lgan kadmiy issiq neytronlar intensivligini  $10^9$  martaga kamaytiradi. Lekin bu jarayonda turli energiyali  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'ladi. Bu  $\gamma$ -kvantlarining maksimal energiyasi 7,5 MeV gacha yetib boradi. Demak, bu  $\gamma$ -kvantlaridan himoyalaniş lozim. Bu muomoni hal qilishning ikki yo'li bor:

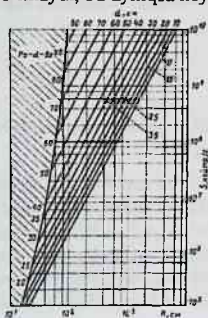
a). Kadmiy qatlamidan keyin qo'rg'oshinli devorni o'rnatish. Qo'rg'oshin devorining qalinligi  $\gamma$ -kvantlarining intensivligiga va energiyasiga qarab o'zgarib boradi.  $\gamma$ -kvantlaridan himoyalaniş va devor qalinliklarini hisoblash yo'llari boshqa laboratoriya ishlarida berilgan.

b). Issiq neytronlardan himoyalanişda ko'pincha kadmiy aralashmasidan foydalaniladi. Kadmiy va qo'rg'oshin elementlaridan tashkil topgan qotishina tayyorlanadi. Bu qotishmalarda kadmiy massa bo'yicha 5% tashkil qiladi, qolgan qismi esa qo'rg'oshindir.

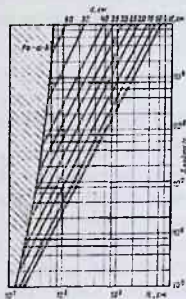
2. Agar yuqori energiyali neytronlar bo'lsa, ulardan himoyalaniş uchun dastlab, ularning energiyasini kamaytirish lozim. Himoya devori sifatida vodorodga boy bo'lgan materiallardan foydalanish kerak bo'ladi. Bu materiallarga parafin, neytron to'xtatgich va suv kiradi. Ularning zichliklari bir-

birga yaqin bo'lib birga teng deb olish mumkin. Yuqori energiyali neytronlardan himoyalanişda ko'pincha suv ishlatiladi. Temir idishlar ichiga suvni quyib turli o'lchamdagi himoya devorlarini tashkil qilish mumkin. Energiyasi kamaygan neytronlardan qutilish uchun betondan foydalanish mumkin. Demak yuqori energiyali neytronlardan himoyalaniş uchun turli materiallardan tashkil topgan devorlar uyushmasidan foydalanish lozim.

2(a),(b)- rasmlarda radioaktiv  $\alpha$ -neytron manbalaridan chiqqan neytronlar energiyasini suv yordamida kamaytirishga tegishli diagramma berilgan. Bunday hisoblar bir hafta davomidagi dozaning chegaralangan qiymati uchun hisoblangan va unga tegishli diagramma chizilgan. Bu diagrammalarda masofa, suvning qalinligi va neytron intensivliklari orasidagi bog'lanish aks ettirilgan (A-kategoriya uchun). Diagrammalar nima sababdan aynan suv uchun ishlab chiqildi degan o'rinni savol paydo bo'lishi mumkin. Bunga asosiy sabab, suv orzon, hamma joyda mavjud va undan turli qalinlikdagi himoya devorlarini qiyinchiliksiz yaratish mumkin. Bundan tashqari himoya devorlarida tirqishlar hosil bo'lmaydi, bu ayniqsa neytronlardan



(a)



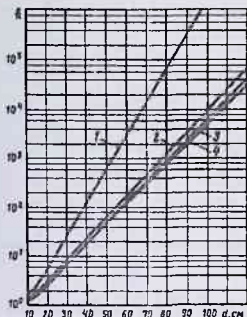
(b)

2-rasm. Neytronlardan himoyalaniş. (a)- Ro- $\alpha$ -Ve neytron manbasidan himoyalaniş uchun nomogramma (suv); (b)- Ro- $\alpha$ -V neytron manbasidan himoyalaniş (suv).

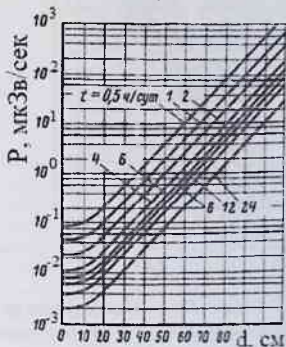
himoalanishda katta ahamiyatga ega. 2a-rasmdagi diagrammadan Ro- $\alpha$ -Ve neytron manbasidan chiqayotgan neytronlardan himoyalaniş uchun foydalanish mumkin. Diagrammaning yuqori qismida suvning qalinligi berilgan (sm), pastki qismida esa, manba va xodim orasidagi masofa aks ettirilgan (R, sm). Diagrammaning o'ng qismida neytronlarning intensivligi berilgan (neyt./sek).

3(a)-rasmda kuchsizlantirish koeffitsienti bo'yicha himoya devori qavlinligini aniqlash nomogrammasi ko'rsatilgan: undagi 1-Ro- $\alpha$ -V; 2-Ra- $\alpha$ -Be; 3-Ro- $\alpha$ -Ve; 4-Pu- $\alpha$ -Be ga tegishli. Nomogrammaning pastki tamonida suvning qalinligi berilgan, chap yon tamonida esa kuchsizlantirish koeffitsienti (K) berilgan. Bu nomogramma yordamida turli neytron manbalaridan chiqayotgan neytronlar oqimini, ma'lum qalinlikdagi suv necha marta kuchsizlantirishini aniqlash mumkin.

3(b)-rasmda dozaning quvvati, suvning qalinligi va bir kundagi ishlash vaqti orasidagi bog'lanishlarga tegishli nomogramma aks ettirilgan. Nomogrammaning pastki tamonida suvning qalinligi berilgan, chap yon tamonida esa dozaning quvvati ko'rsatilgan. Chiziqlarga qo'yilgan raqamlar (0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 12; 24 s/kun) bir kundagi ish vaqtini ifodalaydi.



(a)



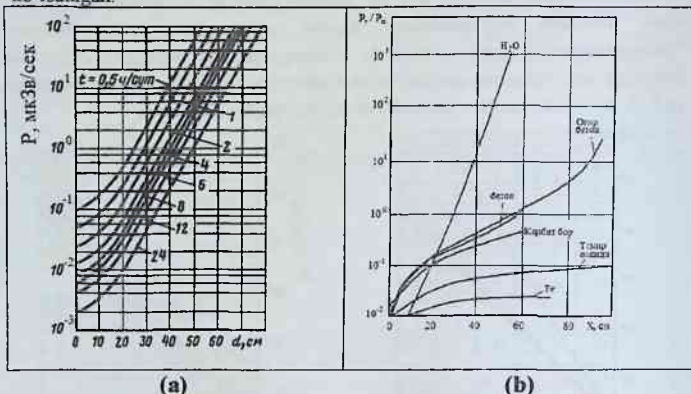
(b)

3-rasm. (a)-kuchsizlantirish koeffitsienti bo'yicha himoya devori qavlinligini aniqlash: 1-Ro- $\alpha$ -V; 2-Ra- $\alpha$ -Be; 3-Ro- $\alpha$ -Ve; 4-Pu- $\alpha$ -Be. (b)-turli soatlarda ekvivalent dozaning qiymati.

Yuqorida aytilgan ediki, neytron himoya devorida yutilgan vaqtda ikkilamchi  $\gamma$ -kvantlarini chiqaradi. Yengil va og'ir materiallardan tayyorlangan devorlarda ikkilamchi  $\gamma$ -kvantlari turlicha xarakterga ega. Shu sababli neytronlardan himoyalashda turli materiallardan tashkil topgan devorlarni o'rnatish ketma-ketligiga katta e'tibor berish lozim. Bunda albatta neytronning energiyasi hisobga olinadi. Engil yadro muhitli devor neytronlar energiyasini kuchli kamaytiradi, lekin shu devorning birinchi qadamlarida ikkilamchi  $\gamma$ -kvantlarini yuzaga keltiradi. Agar devor ichiga kirib borishdagi nuqталarda  $\gamma$ -

kvantlari va neytronlar yuzaga keltirgan doza quvvatlarining nisbati kuzatilsa, devor ichiga kirib borgan sari bu nisbatning ortib borishi kuzatiladi. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, neytronlarni to'sish uchun yengil atomlardan tashkil topgan devorlar yetarli bo'lmaydi. Shu sababli yengil atomlardan tashkil topgan devorlardan keyin albatta og'ir atomdan iborat bo'lgan materiallarni o'rnatish kerak bo'ladi.

4(a)-rasmda Ro- $\alpha$ -V manbasidan chiqayotgan neytronlardan doza quvvati va nurlantirish vaqti orasidagi bog'lanishga ko'ra himoyalaniish usuli ko'rsatilgan.



4-rasm. Neytronlarning doza quvvati bilan nurlantirish vaqti orasidagi bog'lanish. a-Ro- $\alpha$ -V neytron manbasi uchun; b-har xil materiallarning turli chuqurliklaridagi quvvatlar nisbati ( $R_\gamma / R_n$ ).

O'zida yengil va og'ir atomlari bor materiallar mavjuddir. Bular neytronlardan himoyalaniishda eng yaxshi materiallar hisoblanadi. Bularga misol qilib quyidagilarni ko'rsatish mumkin: beton, gidridli metallar va boshq. 4b-rasmida har xil materiallarning turli chuqurliklaridagi quvvatlar nisbati ( $R_\gamma / R_n$ ) ko'rsatilgan.

Ikkilamchi  $\gamma$ -kvantlarini kamaytirishning bir qator usullari mavjud. Ulardan biri yengil va og'ir atomlar tarkibiga neytronlarni yaxshi yutuvchi va o'zidan past energiyali  $\gamma$ -kvantlarini chiqaruvchi elementlarni qo'shishdir. Bunday modda bor hisoblanadi.  $^{10}\text{V}(n,\alpha)^7\text{Li}$  yadro reaksiyasi issiqlik va past energiyali neytronlarda katta kesimda yuz beradi. Neytronlar dozasini hisoblashda bu jarayonlarni ham e'tiborga olish kerak. 3-jadvalda turli energiyali neytronlarning bir birlik flyuensi beradigan effektiv

dozaning qiymatlari berilgan. Bundan tashqari neytronlar oqim zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymatlari ham berilgan.

6-jadval. Odanning to'liq badaniga turli energiyali neytronlarning bir birlik flyuensi beradigan effektiv dozasi va neytronlar oqimi zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymatlari (OZChQ<sub>A</sub>.)

Neytronlar-ning energiyasi, MeV	Ekvivalent doza, odanning to'liq badaniga ta'sir qilayotgan bir birlik flyuens, $10^{10} \text{Zv} \cdot \text{sm}^2$		Oqim zichligining bir yil davomidagi o'rtacha chegaralangan qiymati $\text{sm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$	
	IZO	PZ	IZO	PZ
Issiq neytronlar	3.30	7.60	$9,90 \cdot 10^2$	$4,30 \cdot 10^2$
$1,0 \cdot 10^{-7}$	4.13	9.95	$7,91 \cdot 10^2$	$3,28 \cdot 10^2$
$1,0 \cdot 10^{-6}$	5.63	$1,38 \cdot 10^1$	$5,80 \cdot 10^2$	$2,37 \cdot 10^2$
$1,0 \cdot 10^{-5}$	6.44	$1,51 \cdot 10^1$	$5,07 \cdot 10^2$	$2,16 \cdot 10^2$
$1,0 \cdot 10^{-4}$	6.45	$1,46 \cdot 10^1$	$5,07 \cdot 10^2$	$2,24 \cdot 10^2$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	6.04	$1,42 \cdot 10^1$	$5,41 \cdot 10^2$	$2,30 \cdot 10^2$
$1,0 \cdot 10^{-2}$	7.70	$1,83 \cdot 10^1$	$4,24 \cdot 10^2$	$1,79 \cdot 10^2$
$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,02 \cdot 10^1$	$2,38 \cdot 10^1$	$3,20 \cdot 10^2$	$1,37 \cdot 10^2$
$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,73 \cdot 10^1$	$3,85 \cdot 10^1$	$1,89 \cdot 10^2$	$8,49 \cdot 10^1$
$1,0 \cdot 10^{-1}$	$2,72 \cdot 10^1$	$5,98 \cdot 10^1$	$1,20 \cdot 10^2$	$5,46 \cdot 10^1$
$2,0 \cdot 10^{-1}$	$4,24 \cdot 10^1$	$9,90 \cdot 10^1$	$7,71 \cdot 10^1$	$3,30 \cdot 10^1$
$5,0 \cdot 10^{-1}$	$7,50 \cdot 10^1$	$1,88 \cdot 10^1$	$4,36 \cdot 10^1$	$1,74 \cdot 10^1$
1,0	$1,16 \cdot 10^2$	$2,82 \cdot 10^2$	$2,82 \cdot 10^1$	$1,16 \cdot 10^1$
1,2	$1,30 \cdot 10^2$	$3,10 \cdot 10^2$	$2,51 \cdot 10^1$	$1,05 \cdot 10^1$
2,0	$1,78 \cdot 10^2$	$3,83 \cdot 10^2$	$1,84 \cdot 10^1$	8,53
3,0	$2,20 \cdot 10^2$	$4,32 \cdot 10^2$	$1,49 \cdot 10^1$	7,56
4,0	$2,50 \cdot 10^2$	$4,58 \cdot 10^2$	$1,31 \cdot 10^1$	7,13
5,0	$2,72 \cdot 10^2$	$4,74 \cdot 10^2$	$1,20 \cdot 10^1$	6,89
6,0	$2,82 \cdot 10^2$	$4,83 \cdot 10^2$	$1,16 \cdot 10^1$	6,76
7,0	$2,90 \cdot 10^2$	$4,90 \cdot 10^2$	$1,13 \cdot 10^1$	6,67
8,0	$2,97 \cdot 10^2$	$4,94 \cdot 10^2$	$1,10 \cdot 10^1$	6,61
10,0	$3,09 \cdot 10^2$	$4,99 \cdot 10^2$	$1,06 \cdot 10^1$	6,55
14,0	$3,33 \cdot 10^2$	$4,96 \cdot 10^2$	9,81	6,59
20,0	$3,43 \cdot 10^2$	$4,80 \cdot 10^2$	9,52	6,81

### ( $\alpha, n$ ) asosidagi neytron manbalaridan himoyalash tartibi

1. Neytron manbasining turi anaqlanadi. Neytronning eng yuqori energiyasi topiladi.
2. Neytron manbasining aktivligi aniqlanadi. Bundan tashqari manba chiqarayotgan  $\gamma$ -kvantlari va ularning energiyalari aniqlanadi.
3. Neytron manbasidan xodim ish olib boradigan nuqtagacha bo'lgan masofa o'lchanadi.

4. Aniqlangan nuqtada himoya devori bo'lmagan holatda dozaning quvvati yoki neytronlarning oqim zichligi o'lchanadi.
5. Neytronlar oqim zichligining chegaralangan qiymati aniqlanadi.
6. Kuchsizlantirish koeffitsienti (K) aniqlanadi.
7. Agar  $K \leq 1$  bo'lsa, himoya devori kerak bo'lmaydi. Agarda  $K > 1$  munosabat bajarilsa, himoya devorini o'rnatish kerak bo'ladi.
8. Quyiladigan himoya devorining qalinligini relaksatsiya usuli yordamida hisoblash mumkin.
9. Monogrammalardan foydalanib himoya devorining qalinligini topish mumkin. Suvning o'miga parafin yoki neytron to'xtatgichni ishlatish mumkin.
10. Agar joy masalasi yetarli bo'lsa, u holda betondan foydalanish maqsadga muvofiqdir.
11. Himoya devori o'rnatilgandan keyin, albatta doza quvvati yoki neytronlar oqimining zichligi dozimetrlar yordamida o'lchanishi lozim.
12. O'lchangan doza quvvati yoki neytronlar oqimining zichligi ularning chegaralangan qiymati bilan taqqoslanadi va tegishli xulosalar keltirib chiqariladi.

### **Tajribani o'tkazish tartibi:**

1. 5-rasmda ko'rsatilgan sxemaga ko'ra tajriba qurilmasi yig'iladi.
2. Neytron manbasi sifatida Pu-Beishlatiladi. Undagi neytronlar oqimining qiymati  $10^5$  n/sek ga teng. Neytron manbasi neytron to'xtatgichdan tayyorlangan himoya devori ichiga joylashtiriladi.
3. Qalinligi 5sm bo'lgan bir nechta neytron to'xtatgichlar tayyorlab qo'yiladi.
4. Neytron detektori yoki uning o'miga neytron dozimetrini ishlatish mumkin.
5. Tajribada ishtirok etayotgan asboblarning tok tarmog'iga ulanadi va ish holatiga keltiriladi.
6. Neytron manbasi va neytron to'xtatgichlar bo'lmagan holatidagi dozaning qiymati yoki sanoq tezligi aniqlanadi (Fon).
7. Rasmda ko'rsatilganidek neytron manbasi joylashtiriladi.
8. Neytron manbasi va detektor o'rtasiga bir dona neytron to'xtatgich joylashtiriladi. Sanoq tezligi yoki dozaning qiymati aniqlanadi va yozib qo'yiladi.

8. Neytron to'xtatgichning yoniga ikkinchi neytron to'xtatgich joylashtiriladi. Sanoq tezligi yoki dozaning qiymati aniqlanadi va yozib qo'yiladi.

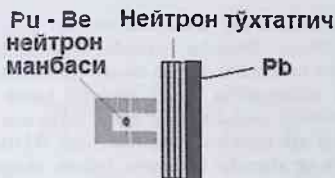


5-rasm. Tajribaning geometriyasi va blok-sxemasi

9. Shu tariqa tajriba davom ettiriladi. Neytron to'xtatgichlar soni ortib boradi. Sanoq tezligi yoki doza qiymatining o'zgarishi juda kichik qiymatga yetib keladi. Bunda neytron to'xtatgichlar sonini oshirishga ehtiyoj bo'lmaydi. Energiyasi kamaygan neytronlarni yutilishida  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'ladi.

10.  $\gamma$ -kvantlardan himoyalaniش uchun qo'rg'oshin materialidan foydalanish mumkin. Neytron to'xtatgichlardan keyin qo'rg'oshin devori o'rnatiladi (5 sm).

11. Neytronlardan himoyalaniш uchun bir nechta materiallardan tashkil topgan devorlar uyushmasidan foydalanish kerak bo'ladi. 6-rasmda himoya devorlarining uyushmasi ko'rsatilgan.



6-rasm. Himoya devorlari uyushmasi

### Nazorat savollari

1. Neytronlardan himoyalaniшda qanday kattaliklarga e'tibor berish kerak?
2. Neytronlar modda atomlari bilan qanday ta'sirlashadi?



3. Yuqori energiyali neytronlardan himoyalanişda qanday moddalarni ishlatish lozim?
4. Neytron oqimi moddalardan o'tishi davomida ikkilamchi  $\gamma$ -kvantlarini paydo bo'lishini tushuntirib bering.
5. Nima sababdan neytronlarni moddalardan o'tish qobiliyati juda katta?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.P. Chernyaev // Vzaimodeystvie ioniziruyushchego izlucheniya s veshchestvom, M: Fizmatlit, 2004.
2. L.D. Zaripova // Zauita ot ioniziruyushchego izlucheniya, Kazan, 2008.
3. N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov // Zauita ot ioniziruyushchego izlucheniya, M: Energoatomizdat, Tom 1, 1989.
4. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalaniş, Toshkent, Davr, 2013.

## № 33. Laboratoriya ishi

### $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ va neytron nurlaridan himoyalanişda ishlatiladigan materiallar va ularni tanlash

**Ishdan asosiy maqsad:**  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  va neytron nurlaridan himoyalanişda ishlatiladigan materiallar bilan tanishish va ulardan foydalanish yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Nurlanishlardan himoyalanişda ishlatiladigan bir qator materiallar ( mahsus beton, temir, qo'rg'oshin, orksteklo va boshq.

**Nazariy qismi:** Nurlanishlardan himoyalanişning eng yaxshi yo'li, bu devorlardan foydalanishi. Devorlar sifatida turli materiallarni ishlatish mumkin. Himoya devori materialini tanlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Zarrachaning turi va energiyasiga qarab material tanlab olinadi. Zaryadli zarrachalardan himoyalaniş unchalik qiyin emas, lekin ular yadro reaksiyalari hisobiga moddalardan o'tish qobiliyati yuqori bo'lgan ikkilamchi zarrachalarni chiqarishi mumkin. Bu qo'shimcha muomoni keltirib chiqaradi. Materiallarni tanlashda bular e'tiborga olinadi. Devor materialini tanlash quyidagilarga ko'ra olib boriladi:

1. Tanlangan material zarrachani o'zida yaxshi yutsin. Ikkilamchi zarrachalarni iloji boricha kam chiqarsin.
2. Material arzon va topish imkoniyati oson bo'lsin.
3. Devorni qurish oson va ixcham holatda bo'lsin.

4. Materiallar tashqi mexanik ta'sirlarga, issiqlikka chidamli, nurlanishlar ta'sirida o'zining mexanik xususiyatlarini saqlab qolishi lozim.
5. Nurlanish ta'sirida devor materiallarining aktivlashib qolishiga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Shu sababli materialni tanlashda bu masalaga ham katta e'tibor berish kerak.

1-jadvalda zarrachalardan himoyalashda ishlatiladigan materiallarning bir nechta ko'rsatilgan. Bu jadvalda bu materiallarning zichliklari, tarkibidagi elementlar va qaysi maqsadlarda ishlatilishi ko'rsatilgan. Bulardan tashqari qaysi materiallar qanday zarrachalarni yaxshi to'sa olishligi haqida ham ma'lumotlar berilgan. Neytron oqimlaridan himoyalashda birinchi o'rinda neytronning energiyasiga e'tibor berish kerak bo'ladi. Agar yuqori energiyali neytronlar oqimidan himoyalash lozim bo'lsa, bu holda turli materiallardan tashkil topgan devor qatlamlari uyushmasidan foydalanish kerak.

1-jadval. Himoyalashda ishlatiladigan materiallar

№	Material	Zichli-gi, g/sm <sup>3</sup>	Xarakteristikasi	Qaysi maqsadlarda ishlatiladi.
1	Suv	1,0	N <sub>2</sub> O, tarkibida vodorod ko'p bo'lgan modda. Orzon va hamma joyda bor. N <sub>2</sub> O + bo'r	Yuqori energiyali neytronlar energiyasini kamaytiradi va issiqlik neytronlariga aylanadi. Bundan tashqari neytronlarni yutadi. Bunda H(n,γ) D reaksiyasi yuz beradi va natijada Ye <sub>n</sub> ≈2,23 MeV energiyali gamma kvanti paydo bo'ladi. Agar suvga bo'r qo'shilsa, bo'r issiq neytronlarni B(n,α)Li reaksiya asosida yutadi va Ye <sub>n</sub> ≈0,5 MeV energiyali γ-kvanti hosil bo'ladi.
2	Parafin	0,9	(SN <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> (SN <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> + bor Tarkibida vodorod ko'p bo'lgan modda.	Yuqori energiyali neytronlarning energiyasini kamaytiradi va yutadi. Yuqori haroratlarda ishlatib bo'lmaydi. Turli shakllarda tayyorlanadi. Eritib, quyish orqali turli shakllardagi bloklarni tayyorlash mumkin.
3	Neytron to'xtatqich	0,9	(SN <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> (SN <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> + bor Tarkibida vodorod ko'p bo'lgan modda.	Yuqori energiyali neytronlarning energiyasini kamaytiradi. Yuqori haroratlarda ishlatib bo'lmaydi. Turli shakllarda tayyorlanadi. Bir-biriga kiruvchi bloklardan tashkil topadi. Suvga o'xshash xususiyatga ega.
3	Polietyl-en	0,918- 0,93	(SN <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> , (S <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> )-polimer + bo'r Tarkibida vodorod ko'p bo'lgan modda.	Yuqori energiyali neytronlarning energiyasini kamaytiradi. Harorati 115°S gacha bo'lgan joylarda ishlatish mumkin. Turli formalarda tayyorlash mumkin. Neytronlarning yutilishda chiqadigan γ-kvantlarni kamaytirish uchun B elementi qo'shiladi. Eng yaxshi sekantatqich hisoblanadi. Suvga o'xshash xususiyatga

				ega.
4	Grafit	2.265	S	Grafit asosan issiqlik neytronlar reaktorida sekinlatgich va qaytargich sifatida ishlatiladi. Yetarli darajada mustahkam va unga mexanik ishlov berish oson.
5	Og'ir suv	1.1042	D <sub>2</sub> O	Eng yaxshi sekinlatgich. Juda qimmatli modda. Reaktorlarda ishlatiladi. Faqat kerakli joylardagina ishlatiladi. Himoya devori sifatida ishlatilmaydi.
6	Plast-mass		Tarkibida vodorodi ko'p bo'lgan modda.	Yuqori energiyali neytronlarning energiyasini kamaytiradi va yutadi. Yuqori haroratlarda ishlatib bo'lmaydi. Kichik o'lchamli joylarda ishlatiladi.
7	Bor karbid	2.52	V <sub>4</sub> S	Issiqlikka juda chidamli. <sup>10</sup> B(n,α) <sup>7</sup> Li reaksiyasi asosida neytronlarni yutadi Mo'rt material.
8	Kadmий	8,65	Cd Cd + Pb	Energiyasi E <sub>n</sub> < 5 eV dan kichik bo'lgan neytronlarni juda yaxshi yutadi. Qalinligi 0,1 sm bo'lgan kadmiy neytronlar oqim zichligini 10 <sup>9</sup> martaga kamaytiradi. Cd(n,γ) Cd reaksiyasida 7,5 MeV energiyagacha bo'lgan γ-kvantlar hosil bo'ladi.
9	Bo'rtli grafit		V <sub>4</sub> S; V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> va boshq.	Past energiyali neytronlarni yaxshi yutadi. Aktivlanish darajasi juda kichik. Qalinligi 2,5 sm bo'lgan bu material issiqlik neytronlar oqimini 400 martaga kamaytiradi.
10	Beton	2.4÷3.2	Limonitli beton 2FeO <sub>3</sub> 3H <sub>2</sub> O → 65% H <sub>2</sub> O → 12%	Neytron va γ-kvantlaridan himoyalanişda ishlatiladi. Bu beton oddiy betonga nisbatan mustahkamligi yuqoridir.
		3.2÷3.3	Xromli beton	Betonga FeCrO <sub>4</sub> birikmasi qo'shiladi. Bu beton issiqlikka chidamli. Ish harorati 1100 K ga teng. Neytron va γ-kvantlaridan himoyalanişda ishlatiladi.
		3.0÷3.6	Bariyli beton	Betonga BaSO <sub>4</sub> birikmasi aralashiriladi. Qurilish materiali sifatida ishlatiladi. Neytron va γ-kvantlaridan himoyalanişda ishlatiladi.
		2.6÷6.6	Beton + Fe	Neytron va γ-kvantlaridan himoyalanişda ishlatiladi. Oddiy betonga nisbatan zichligi katta bo'lganligi sababli, bu devorning qalinligi kichik bo'ladi. Yuqori energiyali neytronlarni yaxshi to'sadi. Devorlarni monolit qilib quyish mumkin yoki bloklar ko'rinishida o'rnatish imkoniyati bor.
		2.5÷2.7	Serpentin beton	Tarkibi: 3MgO SiO <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O va Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> moddalar aralashiriladi. Bu betonni 750 K haroratgacha ishlatish mumkin. Neytron va γ-kvantlaridan himoyalanişda ishlatiladi.
		2,3	Oddiy beton	Yadro qurilmalarida himoya devorining

				asosini tashkil qiladi. Uning tarkibida yengil va og'ir elementlar mavjud. Neytron va $\gamma$ -kvantlaridan himoyalashda ishlatiladi. Agar joy masalasi yetarli bo'lsa, hozirgi qalinlikdagi devorni qurish mumkin.
11	Borli po'lat		Fe + B	Bu modda $\gamma$ -kvantlarni va neytronlarni yaxshi to'sadi. Issiq neytronlarni juda yaxshi yutadi. Bu jarayonda $Y_{\gamma}=0,5$ MeV energiyali gamma kvantini chiqaradi. Aktivlanish darajasi kichik.
12	Qo'rg'oshin	11,34	Pb	Qo'rg'oshin asosan $\gamma$ -kvantlaridan himoyalashda ishlatiladi. Yuqori haroratli joylarda ishlatib bo'lmaydi. Turli formalarda tayyorlangan.
13	Qo'rg'oshinli oyna	3,3÷4,6	Pb + oyna	Bokslarda, rentgen apparatlarida va boshq. joylarda ishlatiladi. Turli qalinlikdagi qo'rg'oshinli oynalar tayyorlangan (5, 10, 15 sm va boshq.). Turli qalinlikda va turli o'lchamlarda tayyorlanadi. Shaffof bo'lib orqa tomonidagi narsalarni yaxshi ko'rish mumkin.
14	Temir	7,89	Fe	Temir yadro qurilmalarida asosiy konstruksion material hisoblanadi. U $\gamma$ -kvantlarni va neytronlarni yaxshi to'sadi. $\gamma$ -kvantlarni to'sishda temirning qalinligi qo'rg'oshin qalinligining 30 % ga ekvivalentdir. Neytronlarni to'sishda esa qo'rg'oshinga nisbatan unimil hisoblanadi. Lekin uning bir kamchiligi bor. Fe nurlanishda kuchli aktivlashadi va o'zidan $Y_{\gamma}=1,1$ MeV va $Y_{\alpha}=1,29$ MeV energiyali kvantlarni chiqaradi.
15	Alyumi-niy	2,7	Al	Alyuminiy va uning qotishmalari asosan $\beta$ -nurlanishlardan himoyalashda ishlatiladi.
16	Vol'fram	19,32	W	Joy va massaga chegaralashlar mavjud bo'lsa, hamda yuqori haroratli joylarda ishlatiladi. Qo'rg'oshin o'miga ishlatiladi. $\gamma$ -kvantlarni juda yaxshi to'sadi. Juda qimmatli, shu sababli juda zarur bo'lgan taqdirda ishlatiladi.
17	Tantal	16,6	Ta	Joy va massaga chegaralashlar mavjud bo'lsa, hamda yuqori haroratli joylarda ishlatiladi. Qo'rg'oshin o'miga ishlatiladi. $\gamma$ -kvantlarni juda yaxshi to'sadi. Juda qimmatli, shu sababli juda zarur bo'lgan taqdirda ishlatiladi.
18	G'isht	1,4÷1,9		G'isht yadro qurilma binolarini qurishda asosiy materiallardan biri hisoblanadi. G'isht ham nurlanishlarning quvvatini bir

				munchog'a kamaytiradi. Uning zichligi kichik bo'lganligi uchun devorning qalinligi juda katta bo'lib ketadi. Shu sababli g'isht himoya devori sifatida kam ishlatiladi.
19	Tuproq			Tuproq nurlanishlardan himoya devori sifatida ishlatilishi mumkin. Agar yadro qurilmasi Yer sirtiga nisbatan past sathlarda qurilgan bo'lsa. Tuproq zichlashtiriladi. Tuproq tarkibida yengil va og'ir elementlar mavjud. Demak, $\gamma$ -kvantlarni va neytronlarni quvvatini kamaytiradi.

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Tajribada ishlatiladigan barcha bloklarni tok tarmog'iga ulash.
2. Detektor sifatida neytron detektorini ishlatish mumkin. Detektorga ish kuchlanishini berish va 10 min. davomida qizdirish.
3. Nurlanish manbai va plastinkalar quyilmagan holatida fon sanoqlarini o'lchash.
4.  $^{60}\text{So}$  manbasini joylashtirish va 300 sek ichidagi sanoq qiymatini yozib qo'yish.
5. Manba va detektor oraligiga qalinligi 2sm bo'lgan qo'rg'oshin plastinkasini joylashtirish va 300 sek ichidagi sanoq qiymatini yozib qo'yish.
6. Qo'rg'oshin plastinkasini olib tashlab uning o'rniga qalinligi 2sm bo'lgan neytron to'xtatgichni joylashtirish va 300 sek ichidagi sanoq qiymatini yozib qo'yish.
7. Manba va detektor oraligiga qo'yilgan neytron to'xtatgichni va  $^{60}\text{So}$  manbasini olib tashlash.
8. Pu-Be nurlanish manbaini joylashtirish va 300 sek ichidagi sanoq qiymatini yozib qo'yish.
9. Manba va detektor oraligiga qalinligi 5 sm bo'lgan qo'rg'oshin plastinkasini joylashtirish va 300 sek ichidagi sanoq qiymatini yozib qo'yish.
10. Qo'rg'oshin plastinkasini olib tashlab uning o'rniga qalinligi 5 sm bo'lgan neytron to'xtatgichni joylashtirish va 300 sek ichidagi sanoq qiymatini yozib qo'yish.
11.  $^{60}\text{So}$  va Pu-Be nurlanish manbalarini saqlanadigan joylariga olib borib qo'yish.

12. Detektorga berilgan yuqori kuchlanishni asta-sekinlik bilan olib tashlash.
13. Olingan natijalarni jadval ko'inishida berish.
14. Natijalarni tahlil qilish va tegishli xulosalarni keltirib chiqarish.



1-rasm. Tajribaning geometriyasi va blok-sxemasi

2-jadval. Tajriba natijalari

Nurlanish manbai	Material	Qalinligi, sm	O'lchash vaqti	Sanoq
$^{60}\text{So}$	Pb	2	300	
	Neytron to'xtatgich	2	300	
Pu-Be	Pb	5	300	
	Neytron to'xtatgich	5	300	

### Nazorat savollari:

1.  $\beta$ -zarrachalardan himoyalashda qanday materiallardan foydalanish lozim?
2.  $\gamma$ -zarrachalardan himoyalashda qanday materiallardan foydalanish lozim?
3. Yuqori energiyali neytronlardan himoyalashda qanday materiallardan foydalanish lozim?
4. Nima sababdan tezlatkichlarda himoya devori sifatida asosan mahsus betonlar ishlatiladi?

5. Qo'rg'oshinli oynalar qaysi joylarda ishlatiladi va u qanday afzalliklarga ega?

6. Issiq neytronlardan qanday himoyalaniş mumkin?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. A.P. Chernyaev // Vzaimodeystvie ioniziruyushchego izlucheniya s veshstvom, M: Fizmatlit, 2004.
2. L.D. Zaripova // Zaщita ot ioniziruyushchego izlucheniya, Kazan, 2008.
3. N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov // Zaщita ot ioniziruyushchego izlucheniya, M: Energoatomizdat, Tom 1, 1989.
4. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalaniş, Toshkent, Davr, 2013.

## VII BOB. NURLANISHLAR DOZASI VA DOZIMETRIYA ASBOBLARI

### № 34. Laboratoriya ishi

#### Dozimetr asboblarini sozlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Dozimetr asboblarini sozlash usullarini o'rganish. Berilgan dozimetr asbobini sozlash. Dozimetr asboblaridan to'g'ri foydalanish yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jixozlar:** Dozimetr asboblari, aktivligi aniq bo'lgan radioaktiv manbalar, qo'rg'oshindan tayyorlangan kollimatorlar, qalinligi 0,5 mm bo'lgan platina filtri, o'lchov lineykasi, nazorat dozimetri.

**Nazariy qismi:** Dozimetr asboblarini har oyda sozlab turish kerak bo'ladi. Qo'zg'almas qilib o'ratilgan dozimetr asboblarini sozlash, agar uning ishlashida nosozlik belgilari kuzatilmasa, har uch oyda o'tkazishga ruhsat beriladi. Remont qilingan dozimetrlarni ishlatishtan oldin albatta sozlash kerak. Har bir dozimetrning ko'rsatishi nazorat qilishga mo'ljallangan dozimetrning ko'rsatishiga solishtirish orqali tekshirilib turmog'i lozim.

Sozlash ishlarini bajarish uchun namunali nurlanish manbalariga ega bo'lgan komplekt kerak bo'ladi. Hozirgi davrda dozimetrlarning turlari juda ko'p va ular turli zarrachalarning dozasini o'lchashga mo'ljallangan. Sozlash ishlarini bajarishdan oldin, bu dozimetr yordamida qanday zarrachalarning dozasi o'lchanishi aniqlanishi kerak. So'ngra, shu zarrachalarga mos keladigan namunali nurlanish manbalarini topish kerak bo'ladi. Agar dozimetr asbobi turli zarrachalarning dozalarini aniqlashga mo'ljallangan bo'lsa, sozlash ishlarini har bir zarracha uchun alohida bajarishga to'g'ri keladi. Agar sozlashda radioaktiv radionuklidi ishlatilayotgan bo'lsa, uni qalinligi 0,5 mm bo'lgan platina ichiga olish kerak.  $^{137}\text{Cs}$  radionuklidi esa qalinligi 0,3-1,0 mm bo'lgan alyuminiy plastinkasi ichida bo'lishi lozim.

Sozlashda ishlatilayotgan nurlanish manbalarining ishlatilayotgan vaqidagi aktivligini aniq bilish kerak. Buning uchun namunani tayyorlangan vaqidagi aktivligini bilmoq kerak. Bu qiymat namunaning pasportida berilgan bo'ladi. Namunaning t-vaqtdan keyingi aktivligini  $A(t)$  quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-(\ln 2 \cdot t)/T} \quad (1)$$

bu yerda  $A_0$  - namunaning pasportida berilgan boshlang'ich aktivligi,  $T_{1/2}$  - namunaning yarim yemirilish davri;  $t$  - o'tgan vaqt oraligi.



Agar namuna aktivligi millikyurida (mKyuri) berilgan bo'lsa, dozaning quvvati ushbu ifoda orqali topiladi:

$$P = \frac{K \cdot A(t) \cdot 10^6}{R^2} \text{ mkR/s} , \quad (2)$$

Bu yerda R-kattaligi namunadan dozimetr asbobigacha bo'lgan masofa, sm; K-namunaning gamma o'zgarmas kattaligi, R·sm<sup>2</sup>/mKi·s.

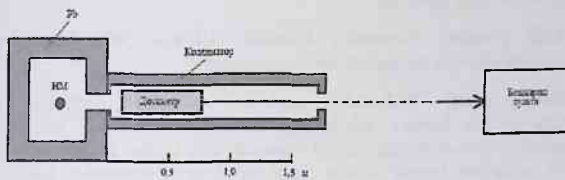
Dozimetrlarni sozlash va tekshirishdan o'tkazishda radioaktiv manbadan chiquvchi nurlanishlarni kollimatsiyalash kerak. Bu ishlar kollimatorlar yordamida amalga oshiriladi. Kollimatorlar dozimetr asbobiga atrofdan sochilish natijasida kelayotgan nurlardan himoya qiladi. Nurlarni kollimatsiyalash sozlash ishlarida eng asosiy ishlardan biri hisoblanadi. Bundan tashqari sozlash ishlarini olib borayotgan xodimni nurlanishlardan himoya qiladi. Kollimatsiyalash bir necha qismdan iborat bo'ladi. Detektorga tushayotgan nurlarni kollimatsiyalash. Bu kollimatsiya nurlanish manbai bilan detektor oraligida tor tirqishni qoldirish orqali amalga oshiriladi. Kollimatsiyalash quyidagi talablarga javob berishi lozim:

1. Nurlanishning tarqalish burchagi 15% dan ortmasligi kerak.
2. Nurlanish manbaini o'rab turgan qo'rg'oshin devorining qalinligi, manbadan 0,5 m uzoqlikdagi nuqtada doza quvvatining chegaralangan qiymatidan ortib ketmasligini ta'minlashi kerak.
3. Dozimetrga kelib tushayotgan nurlarni yo'lini to'sish uchun ishlatishga qulay bo'lgan qo'rg'oshindan tayyorlangan moslama bo'lishi kerak. Moslamani qo'yish va olish unchalik qiyinchilikni yuzga keltirmasin.
4. Sozlashda detektorni turli masofalarga surishga to'g'ri keladi. Shu sababli detektorni qo'yilishi kerak bo'lgan masofalar aniqlanib, manbaga nisbatan uzoqligi yozib qo'yilishi kerak.
5. Detektorni turli masofalarga qo'yilishida doimo manba va detektor markazlarini bitta to'g'ri chiziqda bo'lishligi nazorat qilinishi lozim.

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Tajribani bajarishdan oldin, tajriba uchun tayyorlangan dastur bilan tanishib chiqish kerak.
2. O'qituvchi tamonidan berilgan dozimetr asbobining tashqi ko'rinishlari nazoratdan o'tkazilishi lozim.
3. Masalan, gamma dozimetr berilgan bo'lsin. Bunda sozlash uchun gamma nurlanish manbalaridan foydalanamiz (<sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co va boshq.).
4. 1-rasmda ko'rsatilgan tajriba sxemasi yig'iladi. Nurlanish manbai va dozimetr asbobining atrofi qo'rg'oshin devor bilan o'raladi. Devorning qalinligi 5 sm bo'lishligi yetarlidir.
5. Aniq masofaga nurlanish manbai qo'yiladi va dozimetr ishga tushiriladi.

- O'lchash ishlari bir necha marta amalga oshiriladi va natijalar yozib boriladi.
- Dozimetr nurlanish manbaiga nisbatan boshqa masofaga qo'yiladi. O'lchash ishlari bir necha marta takrorlanadi va natijalar yozib boriladi.
- Masofa o'zgartirilganda dozimetrlarning ko'rsatishida  $1/R^2$  munosabatning bajarilishi tekshiriladi.
- Shu masofalarda kontrol dozimetri orqali ham o'lchash ishlari bajariladi. O'lchash ishlari bir necha marta takrorlanadi va natijalar yozib olinadi.
- Sozlanayotgan va kontrol dozimetrlarining o'lchashlarda topilgan qiymatlarining o'rtacha qiymati aniqlanadi.
- O'rtacha qiymatlarini bir-biriga solishtirish orqali tegishli xulosalar keltirib chiqariladi.



1-rasm. Tajribaning blok-sxemasini

#### Nazorat savollari:

- Sozlash ishlari bajarish nima uchun kerak?
- Nima sababdan nurlanishning tarqalish burchagi 15% dan ortmasligi kerak?
- Nurlarni kollimatsiyalash qanday amalga oshiriladi?
- Nima uchun o'lchash ishlari turli masofalarda olib boriladi?
- Dozimetr asbobining atrofi nima sababdan qo'rg'oshin devor bilan o'raladi?
- Namuna aktivligi millikyurida (mKyuri) berilgan bo'lsa, dozaning quvvati qanday ifoda orqali topiladi?
- Tajribaning blok-sxemasini tushuntirib bering?
- Radionuklidning t-vaqtdan keyingi aktivligi  $A(t)$  qanday aniqlanadi.
- Nazorat dozimetri nima uchun kerak?

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

- B.P. Golubev // Dozimetriya i zaychita ot ioniziruyushchix izlucheniye, M., Atomizdat, 1986.
- L.D. Zaripova // Zaychita ot ioniziruyushchego izlucheniya, Kazan, 2008.

3. 3.N.G. Gusev, V.A. Klimanov, V.P. Mashkovich, A.P. Suvorov // Zamita ot ioniziruyuxix izlucheni, M: Energoatomizdat, Tom 1,1989.
4. 4. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalani, Toshkent, Davr, 2013.

## № 35. Laboratoriya ishi

### Shaxsiy dozimetrik nazoratni tashkil qilish

**Ishdan asosiy maqsad:** Radioaktiv manbalar bilan ishlayotgan xodimlarning badanlarini, kiyimlarini, xalat sirtlarini va ish joylarining  $\alpha$ -radioaktiv elementlar bilan ifloslanish darajasini o'lash yo'llarini o'rganish. Bundan tashqari  $\alpha$ -radioaktiv ifloslanish darajasini o'lashga mo'ljallangan zamonaviy dozimetrlar bilan tanishish.

**Kerakli jixozlar:** Dozimetrik kasetalar, UIM2-2, BDZA2-01 rusumidagi dozimetrik asbobl va ssintillyatsion detektorlar.

**Nazariy qismi:** Radioaktiv nurlanishlar bilan ishlovchi shaxslarni nurlanishlardan himoya qilish eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa,  $\alpha$ -zarrachalardan yaxshi himoyalani lozim, chunki  $\alpha$ -zarrachalarini ichki tamondan bergan dozasi juda xavflidir.  $\alpha$ -manbalar insonning ichki organlariga xavo, suv va oziq ovqatlar orqali kirib boradi. Ichki tamonga kirib borayotgan  $\alpha$ -radioaktiv moddalar miqdori asosan ish joylarini radioaktiv ifloslanishiga bog'liqdir. Shu sababli ish joylarini radioaktiv ifloslanishini o'lash eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Radioaktiv ifloslanishni o'lash uchun ko'plab shaxsiy dozimetrlar yaratilgan. Texnikaning tez suratlari bilan o'sib borishi bu turdagi dozimetrlarga ham o'z ta'sirini ko'rsatdi. Hozirgi vaqtga kelib yangi xarakteristikalar yuqori bo'lgan, icham ko'rinishdagi shaxsiy dozimetrlar yuzaga keldi. Doza miqdorini aniq o'lash uchun yangi turdagi parametrlari yuqori bo'lgan dozimetrlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Bundan tashqari ularni ishlash prinsiplarini ham yaxshi o'zlashtirish lozim.

Radiatsiyadan himoyalani sanitar normalarida (SanPin-2006) radioaktiv manbalar bilan ishlayotgan xodimlarning badanlarida, kiyimlarida, xalat sirtlarida va ish joylarida bo'lishi mumkin bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalarining chegaralangan qiymatlari berilgan.

A-kategoriya kiruvchi xodimlar uchun shaxsiy dozimetrlarning bo'lishi majburiydir. Bu dozimetrlar quyidagi vazifalarni bajaradi:

1. Teri va shaxsiy himoyalani vositalari sirtidagi radioaktiv ifloslanishlarni radioaktiv holatini nazorat qilish;
2. Radioaktiv elementlarni odam organizmi ichiga kirib borish dinamikasini bevosita yoki bilvosita radimetriya orqali nazorat qilish;

3.  $\beta$ -,  $\gamma$ -, rentgen, issiq va yuqori energiyali neytronlar bergan doza quvvatining qiymatlarini dozimetrlar yordamida aniqlash.

Shaxsiy dozimetrlarning quyidagi usullari mavjud. Ular bilan qisqacha tanishib chiqaniz:

◦ Ionlashtirishga asoslangan usul. Bu usulda nurlanishlar gaz atomlarini ionlashtiradi va ionlar tashqi elektr maydoni ta'sirida tartibli harakatga keladi. Qayd qiluvchi asbobda elektr impulslari paydo bo'ladi. Ionlashgan kamera va proporsional schetchiklarning ishlashi bunga misol bo'la oladi.

◦ Radiofotoluminescent (RFL) usuli. Bu usulda tarkibida kumush atomi va ionlari mavjud bo'lgan lyuminofor ishlatiladi. Nurlanish ta'sirida lyuminaforda ultrafiolet ko'rinishidagi nurlanish hosil bo'ladi. Bundan tashqari lyuminofor tarkibida quyidagi elementlar ham ishlatiladi: alyuminiy, fosfor, kislorod, lity va boshq.

◦ Termoluminescent (TLD) usuli. Bu usulda nurlanish ta'sirida qizigan termoluminafor kristalli o'zidan yorug'lik nurini chiqaradi. Bunga misol qilib LiF va CaF<sub>2</sub> ko'rsatish mumkin.

◦ Fotografiya usuli. Bu usulda ximiyaviy tahlildan o'tkazilgan plenkalarning rangi nurlanish ta'sirida o'zgaradi (qora tusga kiradi). Doza qanchalik katta bo'lsa, qorayish darajasi ham shunchalik ortib boradi.

1-jadvalda yuqorida aytib o'tilgan usullarning yutuq va kamchiliklari ko'rsatib o'tilgan. Ushbu jadvaldan foydalanib, kerakli dozimetmi tanlab olish mumkin. Bundan tashqari 2-jadvalda bu usullarning bir-biriga nisbatan qiyosiy xarakteristikalari yoritib berilgan.

1-jadval. Shaxsiy dozimetriyada qo'llaniladigan usullarning xarakteristikalari

Metod	Yutuqlari	Kamchiliklari
Ionlashtirish	1. Arzon, sodda, detektor va yordamchi qurilmalarni topish oson 2. Bir qator modellarda doza qiymatini to'g'ridan to'g'ri olish imkoniyati bor. 3. Yuqori sezgirlikka ega.	1. Bir qator modellarda energiyaga bog'liqligi yuqori. 2. O'lchanayotgan doza sohasining torligi. 3. Razryadlanish vaqtida katta miqdordagi ma'lumotlarni yo'qolib ketish ehtimolligi bor. 4. Olinayotgan natijani doza quvvatiga bog'liqligi. 5. $\beta$ va neytron zarrachalarining dozasini aniqlash imkoniyati yo'qligi.

Fotografiya	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Detektor va kerakli asboblarning arzonligi.</li> <li>2. Xujatlashdirish.</li> <li>3. <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-, issiq va yuqori energiyali neytronlarni qayd qilishi mumkinligi</li> <li>4. O'lchash natijalarini yuqori sifatli.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Energiyaga bog'liqligi yuqori.</li> <li>2. O'lchanayotgan doza sohasining torligi.</li> <li>3. O'lchashdagi hatolikni nisbatan katta bo'lishligi.</li> <li>3. Detektor va asboblarni sozlash ishlarining nisbatan qiyinligi.</li> <li>4. Atrof muhitning ta'siriga sezgirligi.</li> <li>5. Materiallarni ko'plab ishlatilishi.</li> </ol>
Radiofotoluminescent (RFL)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O'lchanayotgan doza sohasining kengligi.</li> <li>2. Natijalarni uzoq saqlash imkoniyati.</li> <li>3. Dozani qayta o'lchash imkoniyati.</li> <li>4. Yuqori sezgirlikka ega bo'lishligi.</li> <li>5. O'lchashdagi hatolikni nisbatan kichik bo'lishligi.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Energiyaga bog'liqligi yuqori.</li> <li>2. Detektor sirtlarining ifloslanishiga juda sezgirligi.</li> </ol>
Termoluminescent (TLD)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O'lchanayotgan doza sohasining kengligi.</li> <li>2. Yuqori sezgirlikka ega bo'lishligi.</li> <li>3. Olinayotgan natijani doza quvvatiga bog'liq bo'lmasligi.</li> <li>4. Energiyaga bog'liqligi nisbatan kichik.</li> <li>5. Natijalarni uzoq saqlash imkoniyati mavjud.</li> <li>6. Detektorni qayta ishlatish mumkin.</li> <li>7. Atrof muhitning ta'siriga sezgirligining yo'qligi.</li> <li>8. <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>- va rentgen nurlarini qayd qilishi mumkinligi.</li> <li>9. Detektor o'lchamlarining qichik bo'lishligi.</li> <li>10. O'lchash ishlarini avtomatlashdirish va ma'lumotlarni EHM uzatish mumkinligi.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Detektor sezgirligini nurlanish turiga bog'liqligi.</li> <li>2. Apparatning murakkabligi.</li> <li>3. Boshlang'ich narhi-ning yuqoriligi.</li> <li>4. Sanash vaqtida ma'lumotlarning yo'qolish ehtimolligi bor.</li> </ol>

2-jadval. Shaxsiy dozimetriyada ishlatiladigan usullarning qiyosiy xarakteristikalari

Dozimetrik kattaliklar	Radiofoto-lyuminescent (RFL)	Termolyuminescent(TLD) LiFasosidagi	Fotoplyonka	Ionlashgan
O'lchashdagi kichik chegara. mGr	0,1	0,1	0,5	0,05
O'lchashdagi yuqori chegara. Gr	100	1000	1	2
Energiyaga bog'liqligi (filsiz)	7	1,35	10-12	1,1
O'lchanayotgan γ-kvantining energiya oraligi	40keV-3MeV ±20%	30keV-3MeV ±15%	100keV-3MeV ±(20, 40%)	50keV-2MeV ±15%
Ma'lumotlarni yo'qolishi	6 oyda 1%	1yilda <5%	10 oyda 10%	24 soatda 3%
Detektoring eng kichik o'lchami. mm	8' 8' 4,7	10, keng soha oraligida o'zgartirish mumkin.	2,5' 3,5	150' 20' 20
Saqlash muddati (nurlanturil-gunicha).	Cheklanmagan	Cheklanmagan	1-2 yil	Cheklanmagan
Natijalarga tashqi muhitning ta'siri.	500 <sup>0</sup> S , kuchli yorug'lik nuri. detektoring ifloslanishi, namlik	>80 <sup>0</sup> S, Detektoring ifloslanishi.	40 <sup>0</sup> S gacha bo'lgan issiq-lik, namlik, yorug'lik nuri.	Namlik. mexanik ta'sirlar.
Qurilma qonun ko'ra ishlatilganda ma'lumotni yo'qolishi.	Kuzatilmaydi	O'lchash asboblari nosoz-lik bo'lsa.	Plyonkani tahlil qilinishida yorug'lik nurini berilishidagi hatolik, nam-lik va issiq-lik.	O'lchash asboblari-da nosozlik bo'lsa.
Natijalarni olish vaqti	10 min	1 min	1 s	1 min
Detektordan ma'lumotlarni qayta olish.	Mumkin	Mumkin, faqat maxsus qurilmalar yordamida	Mumkin	Mumkin emas.
Qayta ishlatish	400 <sup>0</sup> S haroratda ish-lov berish orqali	Haroratda ishlov berish orqali.	Mumkin emas	Zaryadlash

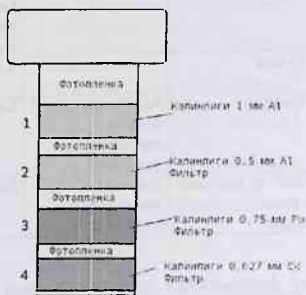
2-jadvalda shaxsiy dozimetrlarga tegishli bir qator ma'lumotlar berilgan. Bularga ko'ra dozimetrlarni qaysi joylarda qo'llash kerakli to'g'risida yo'llanma olinadi. 1-rasmda turli tipdagi shaxsiy dozimetrlar ko'rsatilgan.



1-Rasm. Turli tipdagi shaxsiy dozimetrlar

Ushbu laboratoriya ishi IFKU-1 rusumidagi fotodozimetriyaga bag'ishlangan. Bu dozimetrdagi yorug'lik nuriga sezgirligi yuqori bo'lgan emulsiya ishlatiladi. Emulsiya tarkibiga AgBr yoki AgCl birikmalari kiradi. Bu aralashma selluloidga yoki oynaga yoki qog'ozga surtilishi orqali fotoplyonka, fotoplastinka yoki fotoqog'oz olinadi. Fotoemulsiya mahsus kassetaga joylashtiriladi. Kassetaga nurlarning tushishi natijasida ikkilamchi elektronlar hosil bo'ladi. Bu elektronlar AgBr moddasi bilan ta'sirlashib uni ionga aylantiradi. Kumushning musbat ioni elektronlardan birini o'ziga biriktirib olib neytral atomga aylanadi. Ximiyaviy tahlil qilinganda bu joylarda qora dog'lar paydo bo'ladi. Qorayish darajasini S-bilan, nurlanish dozasini D-bilan belgilasak, bu kattaliklar o'rtasida  $S=f(D)$  bog'lanish bor. Qorayish darajasi fotonlarning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Plyonkalarni qorayish darajasi densitometr asbobi yordamida aniqlanadi.

2-rasmda IFKU-1 dozimetrlining bo'yлама bo'yicha kesimi ko'rsatilgan. Dozimetr korpusi plastmassadan iborat. Bu dozimetr orqali turli nurlarning ekvivalent dozasi aniqlanadi. Dozimetr 4 ta qismdan iborat.



2-rasm. IFKU-1 dozimetrlini bo'yлама bo'yicha kesimi

IFKU-1 dozimetri 4 ta qismga ajratilgan. Bu qismlar quyidagi vazifalarni bajaradi:

- 1-qismi  $\beta$ -zarrachalari bergan ekvivalent dozani o'lchashga mo'ljallangan. Kirish oynasining qalinligi  $300 \text{ mg/sm}^2$ ;
- 2-qismi fon tarkibidagi  $\gamma$ -zarrachalari hosil qilgan ekvivalent dozani o'lchashga asoslangan. Kirish oynasining qalinligi  $900 \text{ mg/sm}^2$ . Bu qismda qalinliklari 0,5 va 1 mm bo'lgan Al filtrlari ishlatilgan;
- 3-qismi  $\gamma$ -zarrachalari hosil qilgan ekvivalent dozani o'lchashga mo'ljallangan. Bu qismda qalini 0,75 mm bo'lgan qo'rg'oshin filtri va qalinligi 0,5 mm bo'lgan Al filtrlari ishlatilgan;
- 4-qismi issiq neytron zarrachalari bergan ekvivalent dozani o'lchashga mo'ljallangan. Bu qismda qalini 0,75 mm bo'lgan qo'rg'oshin filtri, qalinligi 0,027 mm bo'lgan kadmiyfiltri va qalinligi 0,5 mm bo'lgan Al filtrlari ishlatilgan;
  - o Gamma kvantlar bergan ekvivalent doza qiymati fotoplyonka 3-qismining qorayish darajasiga ko'ra aniqlanadi.
  - o  $\beta$ -zarrachalari bergan ekvivalent doza qiymati fotoplyonka 1-qismining qorayish darajasiga ko'ra aniqlanadi. Bunda fon  $\gamma$ -nurlari bergan doza qiymati olib tashlanadi.

$$D_{elcv} = 0,6(D_{\beta+\gamma_f} - D_{\gamma_f}) = 0,6(D_1 - D_2) \quad (1)$$

o Issiq neytronlar hosil qilgan ekvivalent doza qiymati fotoplyonkaning 4-qismining qorayish darajasiga ko'ra aniqlanadi. Bunda  $\gamma$ -nurlari bergan doza qiymati olib tashlanadi.

$$D_{i.n.} = D_{in+\gamma} - D_{\gamma} = D_4 - D_3 \quad (2)$$

3-rasmda IFKU-1 dozimetrining blok-sxemasi ko'rsatilgan. Unda quyidagi bloklar mavjud: 1-o'lchash kaskadi; 2-voltmetr; 5-shkalani o'zgartirish kaliti; 3-anod o'zgarmas tok manbai; 4-o'zgarmas past kuchlanish manbai.

IFKU-1 dozimetrini ishlash prinsipi quyidagicha: Yorug'lik manбайдan (6) chiqqan yorug'lik nurlari fotoplyonkadan o'tib, fotoelementga (8) borib tushadi. Fotoelement qarshiligidan (R) o'tgan tok ruxsat bermaydigan kuchlanish qiymatini o'zgarishiga olib keladi. Bu kuchlanish voltmetrning kirishiga uzatiladi va bu yerda tenglik alomatini buzilishiga sabab bo'ladi. Tenglik alomatining buzilishi plyonkadan o'tayotgan yorug'lik nurining o'zgarishiga proporsionaldir. Plyonkadan o'tayotgan nurning qiymati plyonkani qorayish darajasiga bog'liqdir. Bu o'zgarishlar strelkali asbab yordamida o'lchanadi. Uning shkalasi ekvivalent doza birligida sozlanadi. IFKU-1 dozimetri



nurlantirilgan va ekvivalent doza qiymati aniq bo'lgan kontrol plyonka yordamida sozlanadi.

IFKU-1 dozimetrlining xarakteristikalarini berib o'taniz:

IFKU-1 dozimetri yordamida energiyasi 1,4 MeV dan katta bo'lgan  $\beta$ -zarrachalarning dozasini, 0,1-3 MeV soha oraligidagi  $\gamma$ -kvantlarning dozasini va issiqlik neytronlari hosil qilgan doza qiymatlarini o'lchashga mo'ljallangan.

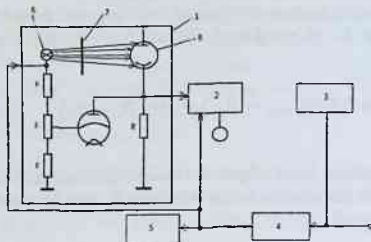
O'lchash chegaralari quyidagicha:

- $\beta$ -nurlanish uchun 0,05 dan 1,2 ber;
- $\gamma$ -nurlanish va issiq neytronlar uchun 0,05 dan 2 ber.

O'lchashdagi hatolik:

- $\gamma$ -nurlanishlarni o'lchashda-  $\pm 10\%$ ;
- $\beta$ -nurlanishlarni o'lchashda- $\pm 20\%$ ;
- Issiq neytronlarni o'lchashda- $\pm 25\%$ ;

IFKU-1 dozimetr komplektida 200 dona kasseta bo'ladi. Har bir kasseta plastikadan tayyorlangan jild ichiga olingan. Kassetalar polietilendan tayyorlangan.



3-rasm. IFKU-1 dozimetrlining blok-sxemasi

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Nurlanish maydoni ichida bo'lgan kasseta fotolaboratoriyaga ximiyaviy ishlov berish uchun yuboriladi.
2. Laboratoriyada kassetaning radioaktiv ifloslanishi nazoratdan o'tkaziladi.
3. So'ngra fotoplyonka ustida ximiyaviy ishlov berish ishlari amalga oshiriladi (ochish va mustaxkamlash).
4. Kontrol plyonkasi ham ximiyaviy ishlovdan o'tkaziladi. Bu plyonka  $\gamma$ -kvantlari yordamida nurlantirilib, olgan doza qiymati 0,05-2 ber oraligida bo'ladi. Bu plenkasi asboblarni sozlashda ishlatiladi.
5. Ximiyaviy ishlovdan o'tgan plyonkalar quritiladi.
6. Quritilgan plyonka o'lchash asbobiga yuboriladi.

7.  $\beta$ -zarrachalari bergan ekvivalent dozaning qiymati (1)-ifoda yordamida aniqlanadi.
8. Issiq neytronlar hosil qilgan ekvivalent dozaning qiymati (2)-ifoda yordamida aniqlanadi.
9. Doza qiymatlari aniq bo'lgan kontrol plyonkalar yordamida sozlash chizig'i olinadi.
10. Sozlash chizig'iga ko'ra plyonkalardagi doza qiymati topiladi va bir-biriga solishtiriladi.

**DIQQAT! O'lchash ishlari olib borilayotganda plyonka sirtlariga qo'l bilan tegish mumkin emas.**

#### **Nazorat savollari:**

1. Shaxsiy dozimetrlarning qanday usullari mavjud?
2. Emulsiya tarkibida qandaybirikmalar bor?
3. IFKU-1 dozimetrlining o'lchash chegaralari va o'lchashdagi hatoliklari qanday?
4. IFKU-1 dozimetri necha qismga ajratilgan. Bu qismlar qanday vazifalarni bajaradi?
5. IFKU-1 dozimetri blok-sxemasining ishlash prinsipini tushuntirib bering?
6. Fotoplyonkaga qanday turdagi ximiyaviy ishlovlar beriladi?
7. Issiq neytronlar hosil qilgan ekvivalent dozaning qiymati fotoplyonkaning qaysi qismidan olinadi?
8.  $\beta$ -zarrachalari hosil qilgan ekvivalent dozaning qiymati fotoplyonkaning qaysi qismidan olinadi?
9. Kontrol fotoplyonkalari nima uchun kerak?
10. IFKU-1 dozimetri yordamida qanday turdagi zarrachalarning doza qiymatlarini aniqlash mumkin?

#### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. B.P. Golubev//Dozimetriya i zashita ot ioniziruyuyux izlucheniy, M., Energoatomizdat, 1986.
2. V.F. Kozlov//Spravochnik po radiatsionnoy bezopasnosti, M., Energoatomizdat, 1993.
3. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-2006), Minzdrava Uzbekistana, 2006.

## № 36. Laboratoriya ishi

### $\alpha$ -radioaktiv ifloslanish darajasini ssintillyatsion detektorlar yordamida o'lchash

**Ishdan asosiy maqsad:** Radioaktiv manbalar bilan ishlayotgan xodimlarning badanlarini, kiyimlarini, xalat sirtlarini va ish joylarining  $\alpha$ -radioaktiv elementlar bilan ifloslanish darajasini o'lchash yo'llarini o'rganish. Bundan tashqari  $\alpha$ -radioaktiv ifloslanish darajasini o'lchashga mo'ljallangan zamonaviy dozimetrlar bilan tanishish.

**Kerakli jihozlar:** UTM2-2, BDZA2-01 rusumidagi dozimetrik asboblardan va ssintillyatsion detektorlar.

**Nazariy qismi:** Radioaktiv nurlanishlar bilan ishlovchi shaxslarni nurlanishlardan himoya qilish eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa,  $\alpha$ -zarrachalardan yaxshi himoyalaniş lozim, chunki  $\alpha$ -zarrachalarini ichki tamondan bergan dozasi juda xavflidir.  $\alpha$ -manbalar insonning ichki organlariga xavo, suv va oziq ovqatlar orqali kirib boradi. Ichki tamonga kirib borayotgan  $\alpha$ -radioaktiv moddalar miqdori asosan ish joylarini radioaktiv ifloslanishiga bog'liqdir. Shu sababli ish joylarini radioaktiv ifloslanishini o'lchash eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Radioaktiv ifloslanishni o'lchash uchun ko'plab shaxsiy dozimetrlar yaratilgan. Texnikaning tez suratlarda bilan o'sib borishi bu turdagi dozimetrlarga ham o'z ta'sirini ko'rsatdi. Hozirgi vaqtga kelib yangi xarakteristikalar yuqori bo'lgan, icham ko'rinishdagi shaxsiy dozimetrlar yuzaga keldi. Doza miqdorini aniq o'lchash uchun yangi turdagi parametrlari yuqori bo'lgan dozimetrlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Bundan tashqari ulardan to'g'ri foydalanish uchun ularning ishlash prinsiplarini ham yaxshi o'zlashtirish lozim.

Radiatsiyadan himoyalaniş sanitar normalarida (SanPin-2006) radioaktiv manbalar bilan ishlayotgan xodimlarning badanlarini, kiyimlarini, xalat sirtlarini va ish joylarini  $\alpha$ -zarrachalari bilan ifloslanishining chegaralangan qiymatlari 1-jadvalda berilgan.

A-kategoriya kiruvchi xodimlar uchun shaxsiy dozimetrlarning bo'lishi majburiydir. Bu dozimetrlar quyidagi vazifalarni bajaradi:

4. Teri va shaxsiy himoyalaniş vositalari sirtidagi radioaktiv ifloslanishlarni nazorat qilish;
5. Radioaktiv elementlarni odam organizmi ichiga kirib borish dinamikasini nazorat qilish;
6.  $\alpha$ -zarrachalari bergan doza qiymatlarini aniqlash.

$\alpha$ - dozimetrlar bilan qisqacha tanishib chiqamiz. 2-jadvalda Inson badani, kiyimi, xalati va ish joylarini  $\alpha$ -radionuklidlardan ifloslanishini o'lchashda ishlatiladigan dozimetrlardan bir nechtasi ko'rsatilgan. Bu dozimetrlar juda

ixcham ko'rinishda bo'lib ularning massalari ham kichik (0,5-5) kg. Dozimetrga turli detektorlarni ulash orqali turli zarrachalarni qayd qilish imkoniyati mavjud. Keyingi vaqtlarda raqamli dozimetrlarning paydo bo'lishi, o'lchash aniqligini ortishiga olib keldi. Bundan tashqari ma'lumotlarni saqlash, EHM ga uzatish va natijalarni tahlil qilishda katta yutuqlarga erishildi.

1-jadval. Xodimlarning badanlarida, kiyimlarida, xalat sirtlarida va ish joylarida bo'lishi mumkin bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalarining chegaralangan qiymatlari

Ifloslangan joylar	$\alpha$ -radionuklid	
	alohida	boshqalar
Odam terisi, sochiq, ichki kiyim, shaxsiy kiyimlarning ichki yuzasida.	2	2
Asosiy maxsus kiyimlarning ichki sirtlarida, oyoq kiyimining tashqi sirtida.	5	20
Xodim doimo bo'ladigan ish joyining sirtlarida va undagi asbob sirtlarida.	5	20
Xodim doimo bo'lmaydigan ish joyining sirtlarida va undagi asbob sirtlarida.	50	200
Qo'shimcha shaxsiy himoya vosita sirtlarida	50	200

Zamonaviy dozimetrlardan foydalanish unchalik qiyinchilikni yuzaga keltirmaydi. Ularni boshqarish juda oson. O'lchangan natijalar ekranda ko'rinib turadi. Natijani turli o'lchov birliklarda olish imkoniyati yaratilgan. Eng asosiy yutug'i o'lchashdagi xatoliklarning kichik bo'lishligidir.

2-jadval. Inson badani, kiyimi, xalati va ish joylarini  $\alpha$ -radionuklidlardan ifloslanishini o'lchashda ishlatiladigan dozimetrlar.

№	Turi	Detektor	Xarakteristikasi
1.	Dozimetr-radiometr MKS-AT1117M	BOI2(sch. Gey.-Myul ), BIDPA-02, ZnS(Ag)	$E_{\alpha}=4-7$ MeV, $J_{\alpha}=0,05-5 \cdot 10^4$ zar./ $(\text{min} \cdot \text{sm}^2)$ ; $E_{\gamma}=0,06-3$ MeV, $R_{\gamma}=1 \text{mkZv/s}-10 \text{mZv/s}$ ; $D_{\gamma}=1 \text{mkZv}-1 \text{Zv}$ .
2.	Dozimetr-radiometr DRBP-03	BIDG-01 (Gamma), BIDBA-02 ( $\alpha, \beta$ )	$E_{\gamma}=0,05-3$ MeV, $R_{\gamma}=0,1 \text{mkZv/s}-3 \cdot 10^8 \text{mkZv/s}$ ; $D_{\gamma}=0,1 \text{mkZv}-1 \cdot 10^7 \text{Zv}$ ; $E_{\alpha}=1-8$ MeV, $J_{\alpha}=0,1-700$ zar./ $(\text{min} \cdot \text{sm}^2)$ ; $E_{\beta}=0,15-3,5$ MeV, $J_{\beta}=0,1-700$ zar./ $(\text{min} \cdot \text{sm}^2)$ .
3.	Dozimetr-radiometr MKS-AT1120	BIDKG-01 ( $\gamma$ ), BIDPS-02 ( $\alpha, \beta$ ), BIDKN-01 (neytron)	$E_{\gamma}=0,02-3$ MeV, $R_{\gamma}=0,1 \text{mkZv/s}-30 \text{mZv/s}$ ; $D_{\gamma}=0,1 \text{mkZv}-10 \text{Zv}$ ; $E_{\alpha}=4-7$ MeV, $J_{\alpha}=3-10^6$ zar./ $(\text{min} \cdot \text{sm}^2)$ ; $E_{\beta}=250 \text{keV}-3,5$ MeV, $J_{\beta}=10-10^6$ zar./ $(\text{min} \cdot \text{sm}^2)$ ; $E_n=0,3-10$ MeV, $J_n=0,1-10^4$ zar./ $(\text{min} \cdot \text{sm}^2)$ .
4.	Sanoq tezligini o'lchovchi UIM2-2, UIM2-2D	DIDG-S11D ( $\gamma$ ) BIDMG-100( $\gamma$ ) BIDZA-100 ( $70 \text{sm}^2$ )( $\alpha$ ) BIDZA-100B ( $300 \text{sm}^2$ )( $\alpha$ )	$R_{\gamma}=0,1 \text{mkZv/eh}-100 \text{Zv/eh}$ $R_{\gamma}=10^{-7}-10 \text{Zv/eh}$ $J_{\alpha}=0,1-10^4 \text{min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $J_{\alpha}=0,1-2 \cdot 10^4 \text{min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$

		BDZB-100 (28 sm <sup>2</sup> ) (β) UDZB-100 (30 sm <sup>2</sup> ) (β) BDZB-11D (84 sm <sup>2</sup> ) (β) BDMN-100 (neytron)	$J_{\beta}=10 \div 10^5 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $J_{\beta}=10 \div 10^4 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $J_{\beta}=5 \div 1,5 \cdot 10^4 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $R_n=10^7 \div 0,1 \text{ Zv/ch}$
5.	Dozimetr-radiometr DKS-96	BDZA-96 (α) BDZA-96s (α) BDZB-96 (β) BDZB-99 (β) BOKG-96 (γ) BDMG-96 (γ) BDMN-96 (n)	$J_{\alpha}=0,1 \div 10^4 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $J_{\alpha}=0,1 \div 5 \cdot 10^4 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $J_{\beta}=10 \div 1 \cdot 10^5 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $J_{\beta}=3 \div 1 \cdot 10^4 \text{ min}^{-1} \cdot \text{sm}^{-2}$ $D_{\gamma}=0,1 \text{ mkZv} - 10 \text{Zv}$ , $R_{\gamma}=0,1 \text{ mkZv/s} \div 1 \text{Zv/s}$ $D_{\gamma}=0,1 \text{ mkZv} - 10 \text{Zv}$ , $R_{\gamma}=0,1 \text{ mkZv/s} \div 1 \text{mkZv/s}$ $D_{\gamma}=0,1 \text{ mkZv} - 1 \text{Zv}$ ; $R_{\gamma}=0,1 \text{ mkZv/s} \div 1 \text{Zv/s}$
6.	DRBP-03	BDBA-02 (α) BDG-01(γ)	$E_{\alpha}=0,05-3 \text{ MeV}$ ; $R_{\alpha}=0,1 - 3 \cdot 10^6 \text{ mkZv/ch}$ $E_{\alpha}=\text{Pu-239 bo'yicha}$ , $J_{\alpha}=0,1 - 700 \text{ sm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; $E_{\beta}=0,15 - 3,5 \text{ MeV}$ , $J_{\beta}=0,1 - 700 \text{ sm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
7.	Radiometr-spektrometr RM-1501	Proporsionalniy schetchik; Ssintillyatsionniy plastmassoviy detektor; Ssintillyatsionniy detektor, NaI(Tl).	$E_{\alpha}=5,15(239\text{Pu})$ , $J_{\alpha}=1-3 \cdot 10^4 \text{ zar./min sm}^{-2}$ ; $E_{\beta}=0,05 - 3,0 \text{ MeV}$ , $J_{\beta}=0,1 - 10^5 \text{ zar./min sm}^{-2}$ ; $E_{\gamma}=0,05 - 1,5 \text{ MeV}$ , $R_{\gamma}=0,1 - 10^5 \text{ mkzv/s}$ ; $E_n=10^{-3}-6,0 \text{ MeV}$

## UIM2-2 Dozimetrining asosiy xarakteristikalari

UIM2-2 dozimetri quyidagi asosiy xarakteristikaga ega. Bu pribor yordamida turli ob'ektlar sirtidagi radioaktiv ifloslanishini aniqlash mumkin (α-, β-, γ va neytron).

1. UIM2-2 dozimetrida ikkita kirish kanali bor. Har bir kanalga detektorlarni ulab sanoq tezliklarini o'lchash imkoniyati mavjud. Ikkinchi kanalidagi sanoq tezligi birinchi kanalidagi sanoq tezligiga nisbatan 0,8 qiymatga kam bo'lishi lozim.
2. Bu asbob yordamida impulsning sanoq tezligini 0,3 1/sek ÷ 3·10<sup>4</sup> 1/sek oraliklarda o'lchash mumkin.
3. Impulslarni sanoq tezligini o'lchash diapazoni quyidagi 10 ta diapazonchalarga bo'lingan:
  - 1-diapazoncha- 0,3 1/sek ÷ 1,0 1/sek;
  - 2-diapazoncha- 1,0 1/sek ÷ 3,0 1/sek;
  - 3-diapazoncha- 3,0 1/sek ÷ 10,0 1/sek;
  - 4-diapazoncha- 10,0 1/sek ÷ 30,0 1/sek;
  - 5-diapazoncha- 30,0 1/sek ÷ 100,0 1/sek;
  - 6-diapazoncha- 100,0 1/sek ÷ 300,0 1/sek;
  - 7-diapazoncha- 300,0 1/sek ÷ 1000,0 1/sek;
  - 8-diapazoncha- 1000,0 1/sek ÷ 3000,0 1/sek;
  - 9-diapazoncha- 3000,0 1/sek ÷ 10000,0 1/sek;
  - 10-diapazoncha- 10000,0 1/sek ÷ 30000,0 1/sek;

Diapazonchalar orasidagi almashinuv avtomatik ravishda bajariladi.

4. UIM2-2 asbobi tok tarmog'iga ulanganidan so'ng 5 minutdan keyin to'liq ish rejimiga keladi.
5. Asbobning ko'rsatish vaqtlari:
  - 1-5 diapazonchalar uchun- 120 sek;
  - 6-10 diapazonchalar uchun- 10 sek.
6. O'lchov asbobining sanoq xarakteristikasi chiziqlidir.
7. Asbobning kirishiga berilayotgan impulslarni manfiy va musbat qutblarda berish mumkin.
8. Asbobning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati 10 mksek dan katta emas.
9. Asbobni 24 soat davomida to'xtovsiz ishlatish mumkin.
10. Asbobning massasi 9 kg.

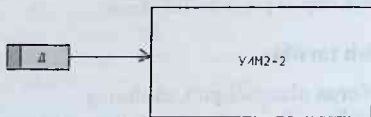
### UIM2-2 dozimetrini ishga tayyorlash.

1. Asbobning korpuslarini Yerga ulang.
2. Asbobni tok tarmog'iga ulang.
3. "SET" knopkasini bosib, bunda qizil lampochka yonishi kerak.
4. "RAZRYAD" knopkasini 1-2 sek davomida bosib turing, bunda o'lchash asbobidagi barcha ko'rsatgichlar o'chadi. **Eslatma:** o'lchash asbobini 0 soniga keltirish R qarshiligi orqali amalga oshiriladi.
5. O'lchash ishlarini boshlashdan oldin, dozimetr ichki generator yordamida tekshiriladi.
6. "GENERATOR-1" va "+" knopkalari bosiladi.
7. "IZMERENIE-1" knopkasi bosiladi va asbobning o'lchash shkalasida impulslarning sanoq tezligi paydo bo'ladi.
8. "CHASTOTA" ruchkasini burash orqali impulslarning chastotasi o'zgartiriladi, bunda o'lchash shkalasidagi impulslarning sanoq tezligi ham o'zgarib, diapazonchalar avtomatik ravishda o'zgarishi kerak.
9. "IZMERENIE-2" kanali "GENERATOR-2" yordamida tekshiriladi.
10. Asbobning ayrish ish rejimi "IZMERENIYA D" bo'limida amalga oshiriladi.
  - 10.1. Birinchi kanalga berilayotgan impulslar chastotasini 9000 1/sek ga ikkinchi kanalga berilayotgan impulslar chastotasini esa 7000 1/sek keltiring.
  - 10.2. "IZMERENIYA D" knopkasini bosib, bunda o'lchash shkalasida 2000 1/sek raqami paydo bo'lishi kerak.

### Ishni bajarish tartibi:

1. Priborni Yerga ulanganligini tekshiring.
2. "SET" knopkasini bosib, bunda qizil lampochka yonishi kerak.

3. UIM2-2 da kerakli ish rejimini tanlang. 1-kanal uchun ruchka "IZMERENIE" 1-holatiga, 2-kanal uchun esa 2-holatga o'tkaziladi.
4. 1- va 2- kanallar uchun signal berish moslamasiga porog qiymatlari beriladi.
5. Asbobning orqa tamoniga o'rnatilgan potensiometr yordamida "ChASTOTA-1" va "ChASTOTA-2" o'ng tamonga oxirigacha buraladi.
6. "1,2-POROG 1"; "1,2-POROG 2" yordamida kerakli diapazoncha uchun signalizatsiya kiritiladi.
7. Asbobning kirishiga "GENERATORni" ulang.
8. Tashqi impulsarga ko'ra signal berish moslamasining porogini o'rnatish.
9. Asbobning orqa tamoniga o'rnatilgan potensiometr yordamida "ChASTOTA-1" va "ChASTOTA-2" ruchkasini asta-sekinlik bilan chap tamongaburash orqali signalizatsiyaning porogini aniqlang. IZOH: bu ishlarni bajarishda qutbni o'zgartirish kaliti bosilmagan holatida bo'lishi lozim.
10. Ovoz signalizatsiyasini ulash uchun "ZVUK" knopkasini bosish kerak. Bu rejimda o'lchash qurilmasi o'chirilgan bo'lishi kerak.
11. Detektorni UIM2-2 ning kirishiga ulang (1-rasm).
12. Detektordan olinayotgan impulsning qutbiga mos keladigan qutbni tanlang.
13. Asbobni ulang va qizdiring.
14. Qayd qilish moslamasining ishlash qobiliyatini tekshiring. Buning uchun "BLENKER 1" knopkasini bosing va sanoq tezligini aniqlang. Bu qiymatlarni texnik hujjatlarda berilgan qiymatlarga solishtiring.
15. "BLENKER 1" knopkasini boshlang'ich holatiga keltiring, ya'ni o'chiring, bunda sanoq tezligi fon sanoqlarigacha kamayib boradi.
16. O'lchash ishlarini berilgan ob'ektlar uchun amalga oshiring.
17. O'lchash natijalarini jadval ko'rinishida bering.
18. O'lchashdagi xatoliklarni baholang.



1-rasm. Dozimetring blok-sxemasi

## Nazorat savollari:

1.  $\alpha$ -radioaktiv ifloslanishni qanday dozimetrlar yordamida aniqlash mumkin?
2.  $\alpha$ -zarrachalarni qayd qilish uchun qanday detektorlarni ishlatish lozim?
3. UIM2-2 dozimetri qanday xarakteristikaga ega?
4. Xodimlarning badanlarida, kiyimlarida, xalat sirtlarida va ish joylarida bo'lishi mumkin bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalarining chegaralangan qiymatlari nimaga teng.
5. Bu asbob yordamida impulslarning sanoq tezligini qanday qiymatlarda o'lchash mumkin?
6. Asbob qanday tartibda ishga tushiriladi?
7. O'lchash ishlari qanday tartibda bajariladi?
8. Nima sababdan  $\alpha$ -radioaktiv ifloslanishni o'lchash kerak?
9. Qanday  $\alpha$ -radioaktiv elementlarni bilasiz?
10. "BLENKER 1" knopkasi qanday vazifani bajaradi?

## Foydalanilgan adabiyotlar:

4. B.P. Golubev//Dozimetriya i zashita ot ioniziruyuyux izlucheniye, M., Energoatomizdat, 1986.
5. V.F. Kozlov//Spravochnik po radiatsionnoy bezopasnosti, M., Energoatomizdat, 1993.
6. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-2006), Minzdrava Uzbekistana, 2006.
7. UIM2-2, Paspport, izmeritel skorosti scheta s avtomaticheskimi pereklyucheniem poddiapazonov, 1988.

## № 37. Laboratoriya ishi

### Havo atmosferasi tarkibidagi radon miqdorini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Havo atmosferasi tarkibidagi radon miqdorini aniqlash usullarini o'rganish. Bevosita tajriba orqali radon miqdorini aniqlash.

**Kerakli jihozlar:** Radon miqdorini o'lchashga mo'ljallangan RRA-01M radiometri, tekshirilayotgan namunani olish qurilmasi, AFA-RSP-10 tipidagi filtr, BPT-01 tipidagi tok manbai.

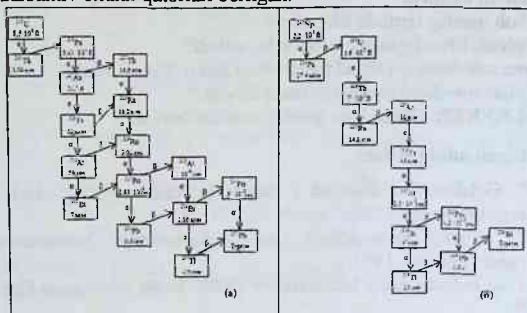
**Nazariy qismi:** Er tarkibida tabiiy radionuklidlar keng tarqalgan bo'lib, ularning hosil bo'lishi Yeming paydo bo'lish davridan boshlanadi. Keyinchalik bu radionuklidlarning parchalanishi natijasida ularning



mahsulotlari paydo bo'lad. Yerning biosferasida 60 taga yaqin tabiiy radionuklidlar mavjud bo'lib, ularni ikki guruhga ajratish mumkin:

1. Uran va toriy oilasiga kiruvchi radionuklidlar.
2. Uzoq yashovchi, yarim yemirilish davri  $10^7$  dan  $10^{15}$  yillargacha bo'lgan radionuklidlar (10 taga yaqin radionuklidlar). 1-jadvalda Yerning paydo bo'lish davridan boshlangan birlamchi asosiy radionuklidlar ko'rsatilgan.

Har bir radionuklidlar oilasi elementlari orasida radioaktiv tenglik alomati sodir bo'lad, ya'ni oralik elementlarida hosil bo'lish tezligi bilan parchalanish tezliklari bir-biriga tenglashadi. Bunday tenglikka asr tengligi deb ataladi. 1-rasmda radioaktiv oilalar qatorlari berilgan.



1-rasm. Radioaktiv oila qatorlari: a-  $^{235}\text{U}$ ; b-  $^{237}\text{Np}$ , v-  $^{238}\text{U}$ , g-  $^{232}\text{Th}$ .

1-jadval. Yerning paydo bo'lishi davridan boshlangan birlamchi radionuklidlar

Izotop	Er tarkibi og'irligi miqdoriga nisbatan	Yarim yemirilish davri, yil	Nurlanishning turi
Uran-238	$4 \cdot 10^{-12}$	$4,5 \cdot 10^9$	$\beta$ - parchalanish
Toriy-232	$12 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$\gamma$ - parchalanish $\alpha$ - parchalanish
Kaliy-40	$3 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^9$	$\gamma$ - parchalanish $\beta$ - parchalanish
Vannadiy-50	$2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14}$	$\gamma$ - parchalanish
Rubidy-87	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{10}$	$\beta$ - parchalanish
Indiy-115			$\beta$ - parchalanish

	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-14}$	
Lantan-138	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$\gamma$ - parchalanish $\beta$ - parchalanish
Samariy-147	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$\beta$ - parchalanish
Lyutesiy-176	$1 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$\gamma$ - parchalanish $\beta$ - parchalanish

1-jadvalda berilgan radionuklidlar organizmga tashqi tamondan nurlanish beradi. Bu radionuklidlardan odamning bir yilda olgan o'rtacha doza miqdori 0,35 mZv tashkil qiladi. Lekin bu ko'rsatkich Yer sharining turli joylarida turlichadir. Agar odam bino ichida turgan bo'lsa, bino devorlari himoya vazifasini bajaradi va tashqi nurlanishning ta'sirini kamaytiradi. Ammo bino devori tarkibida ham radionuklidlar mavjuddir va ular bino ichidagi odamlargi nurlanish dozasini beradi. Qurilish materiallari tarkibida asosan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  va  $^{232}\text{Th}$  radionuklidlari bo'lib, ularning doza quvvati  $4 \cdot 10^{-8}$  dan  $12 \cdot 10^{-8}$  Gr/soat oraliklarida bo'ladi. Bu ko'rsatkich binoni qanday materialdan tayyorlanganligiga bog'liq holda o'zgaradi. Radionuklidlar odamga tashqi nurlanishdan tashqari ichki nurlanish dozasini ham beradi. Bu toifadagi radionuklidlar inson organizmiga ovqat,suv va havo orqali kirib boradi. 2-jadvalda ichki nurlanish dozasini beruvchi asosiy radionuklidlar ko'rsatilgan.

2-jadval. Ichki nurlanish dozasini beruvchi asosiy radionuklidlar

Radionuklid	Yann yemirilish davri, $T_{1/2}$	Bir yillik ekvivalent dozaning miqdori. mkZv
$^3\text{H}(\beta)$	12 yil	0,01
$^7\text{Be}(\beta,\gamma)$	53 kun	3
$^{14}\text{S}(\beta)$	5730 yil	12
$^{40}\text{K}(\beta,\gamma)$	$1,4 \cdot 10^9$ yil	180
$^{87}\text{Rb}(\beta)$	$4,8 \cdot 10^{10}$ yil	6
$^{210}\text{Po}(\alpha)$	160 kun	130
$^{220}\text{Rn}(\alpha)$	54 sek	170-220
$^{222}\text{Rn}(\alpha)$	3,8 kun	800-1000
$^{226}\text{Ra}(\alpha)$	1600 yil	13

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, ichki nurlanish dozasi asosiy qismi (3/4 qismi) radon va uning parchalanish mahsulotlariga to‘g‘ri keladi. Radon og‘ir, hidsiz gaz hisoblanadi. Radon gazining Yer sharidagi tarqalishi turlicha. Insonyat radon orqali nurlanishni asosan bino ichida turgan vaqtda oladi. Bino ichidagi havo tarkibidagi radonning miqdori har doimo tashqaridagi havo tarkibidagi radonning miqдорidan katta bo‘ladi. Shu sababli bino ichidagi havoni doimo shamollatib turish tavsiya etiladi. 3-jadvalda radon gazini hosil qiluvchi manbalar berilgan.

3-jadval. Radon gazini hosil qiluvchi manbalar

Radon gazining manbalari	Nurlanish quvvati, kBk/kun
Tabiiy gaz	3
Suv	4
Atmosfera havosi	10
Qurilish materiallari va bino ostidagi tuproq.	60

3-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, radon gazining asosiy manbai qurilish materiallari hisoblanadi. Radon va uning parchalanishidan hosil bo‘lgan radionuklidlar beradigan nurlanishlar miqdori  $10^3 - 10^4$  Bk/sm<sup>2</sup> oraliklarida o‘zgaradi.

### O‘lchash metodikasi

Radonning hajmiy aktivligini o‘lchash quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Namunani olish qurilmasi orqali havo so‘rib olinadi va havo radiometr kamerasiga (RRA) uzatiladi. Bu yerda radonning parchalanishida hosil bo‘lgan ionlashgan mahsulotlar elektrostatik usul bilan o‘lchash kamerasidagi yarim o‘tkazgichli detektor sirtiga o‘tqiziladi. <sup>218</sup>Po chiqargan  $\alpha$ -zarrachasi qayd qilinadi.

### O‘lchashga va namunani olishga qo‘yilgan talablar:

Tajribani o‘tkazishga qo‘yilgan talablar quyidagilardan iborat:

1. Havo atrofidagi harorat +5°S dan +40°S atofida bo‘lishi kerak.
2. Havoning nisbiy namligi 85% gacha (25°S) atrofida bo‘lishi kerak.
3. Atmosfera bosimi 84 kPa dan 106,7 kPa gacha (630+800 mm. sim. us.) atrofida bo‘lishi kerak.

Namunani olishga qo‘yilgan talablar:

1. Havo atrofidagi harorat  $+0^{\circ}\text{S}$  dan  $+50^{\circ}\text{S}$  atofida bo'lishi kerak.
2. Havoning nisbiy namligi 100% gacha ( $25^{\circ}\text{S}$ ) atrofida bo'lishi kerak.
3. Atmosfera bosimi 84 kPa dan 106,7 kPa gacha (630÷800 mm. sim. us.) atrofida bo'lishi kerak.

### O'lchashga tayyorgarlik ko'rish:

O'lchashni boshlashdan oldin namunani olish qurilmasi (NOQ) ishga tayyor holatiga keltiriladi. NOQ ni ishga tayyorlash quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

- 1.1. NOQ solingan sumka ochiladi. Sumka qopqog'iga ruchka yordamida belgi quyiladi (1-rasm).
- 1.2. NOQ ning ishga tayyorgarligi tekshiriladi. Buning uchun u "SET"ga ulanadi va quyidagilar nazoratdan o'tkaziladi:
  - 1.3. Vaqtni ko'rsatuvchi indikatsiyaning mavjudligi;
  - 1.4. NOQ ning oldi qismida "Osushitel"holatiniko'rsatuvchi svetodiod o'rnatilgan. Agar svetodiod yongan holatida bo'lsa, reaktivni almashtirish lozim bo'ladi.
  - 1.5. Akkumulyator holatini nazorat qilish. Agar "P"simvoli o'chib yonayotgan bo'lsa, akkumulyatorni zaryadlash kerak bo'ladi.
2. NOQ dagi havo berish moslamasini ishga tayyorlash:
  - 2.1. NOQ ning oldi qismidagi "SET"kaliti ulanadi. Bunda suyuq kristalli indikatora ikki sondan iborat raqam paydo bo'ladi.
  - 2.2. Havo berishning rejimi tanlanadi. Buning uchun "1", "2", "3"raqamli knopkalaridan biri bosiladi va havo berish moslamasining vaqti qo'yiladi (min.).
  - 2.3. "PUSK"knopkasi bosiladi.
  - 2.4. Havo berish vaqti tugaganida, moslamada tovush signali paydo bo'ladi va "STOP"svetodiodi o'chib yonadi.
  - 2.5. Tovush signalini o'chirish uchun havo berish moslamasidagi "REJIM PROKACHKI" knopkasi bosiladi.
  - 2.6. Agar akkumulyatordagi zaryad belgilangan qiymatidan kichik bo'lsa, "P"belgisi o'chib yonayotgan bo'lsa, akkumulyatorni zaryadlash kerak bo'ladi. Buning uchun qurilmaning orqa tamonida X1 uyasi mavjud.
  - 2.7. Akkumulyatorni zaryadlash NOQ ning komplektidagi tok manbai yordamida amalga oshiriladi.
  - 2.8. Akkumulyatorni zaryadlashda zaryad qurilmasining X1 uyasiga ulanadi va zaryad qurilmasi 220 V tok tarmog'iga ulanadi. Zaryadlanish protsessi avtomatik ravishda boshlanadi va "ZARYAD"svetodiodi yonadi.
  - 2.9. Zaryadlash toki 60 mA. Zaryadlash vaqti 15-20 soatni tashkil qiladi. To'rt kun davomida 5 soatdan zaryadlash ham mumkin.

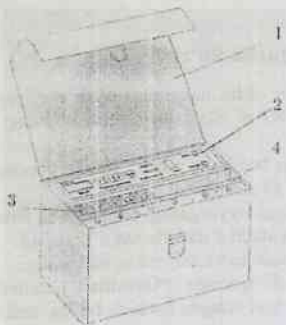
3. NOQ o'chirish tartibi:

3.1. "SET" kaliti o'chiriladi.

3.2. Tashqi tok manbai olib tashlanadi.

3.3. Havo berish moslamasi va ulash trubalari sumka ichiga solinadi.

3.4. Sumka yopiladi.



1-rasm Havo namunasini olish qurilmasi

4. Havo namunasini olish tartibi:

4.1. 2a-rasmda ko'rsatilgan sxemaga ko'ra tajriba qurilmasi yig'iladi. 1-NOQ, 2-namunani olish moslamasi.

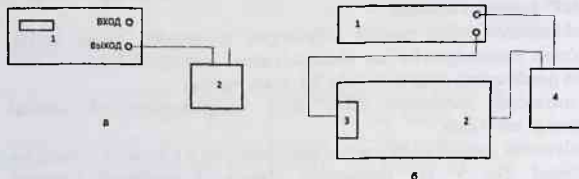
4.2. Shtuser orqali namunani olish moslamasi NOQ ning "ВЫХОД" ga ulanadi.

4.3. Namunani olish moslamasidagi zaglushka olib tashlanadi.

4.4. NOQ ishga tushiriladi. Buning uchun 2-knopka va "ПУСК" bosiladi.

4.5. NOQ qurilmasi 5 minut ishlaydi.

4.6. Zaglushka joyiga quyiladi. Namunani olish vaqti protokolga yozib qo'yiladi ( $t_1$ ).



2a, b-rasm. a- namunalarni olish sxemasi; b- namunani RRA olib o'tish sxemasi

## 5. Tajribani amalga oshirish tartibi:

RRA kamerasidagi radonning hajmiy aktivligi, ya'ni fon qiymati o'lganadi.

5.1. Fon qiymatini aniqlash quyidagi tartibda bajariladi. RRA dagi havo xaydovchi moslama 5 minut davomida ishlaydi va RRA ichidagi havoni almastiradi. Havo tashqaridan olinishi kerak (hona ichidagi emas). Fon o'lgashlari ~5 martagacha bo'lishi lozim. Hajmiy aktivlikning o'rtacha qiymati quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Q_F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{Fi}, \quad (1)$$

bu yerda  $Q_{Fi}$  —har bir o'lgashdagi hajmiy aktivlik,  $Bk/m^3$ ;  $N$ -o'lgashlar soni.  $Q_F$  —ning qiymati RRA ning pasportida ko'rsatilgan qiymatidan katta bo'lishi kerak emas.

5.2. Havo namunasini RRA o'lgash kamerasiga olib o'tish. Buning uchun 2b-rasmda ko'rsatilgan sxemaga ko'ra qurilma yig'iladi. Namunani olish qurilmasining shtuseri NOQ qurilmasining "VXOD" ga ulanadi. NOQ qurilmasining "VbIXOD" dagi shtuseri RRAning "Vxod"ga ulanadi. NOQning chiqish shtuseri namunani olish qurilmasining ishlatilmagan joyiga ulab quyiladi. NOQ qurilmasidagi havoni berish qurilmasi ishga tushiriladi. Buning uchun dastlab 2 raqami bosiladi, so'ngra "PUSK" knopkasi bosiladi. Havoni berish qurilmasi 5 minut davomida ishlaydi. Havoni berish tugallangandan keyin, o'lgash vaqti  $t_2$ -yozib quyiladi. O'lgashlar ~5 martagacha takrorlanishi lozim. Hajmiy aktivlikning o'rtacha qiymati quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i, \quad (2)$$

bu yerda  $Q_i$  —har bir o'lgashdagi hajmiy aktivlik,  $Bk/m^3$ ;  $N$ -o'lgashlar soni.

Olingan natijalar yozib olinadi.

## 6. Olingan natijalarni tahlil qilish:

6.1. Havodagi radonning hajmiy aktivligi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Q_P = (Q \cdot \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) - Q_F \cdot \frac{V_2}{V_1}) \cdot e^{\lambda t} \quad (3)$$

Bu yerda  $Q$  —RXA uchun 2-ifodadan topilgan qiymati,  $Bk/m^3$ ;

$Q_F$  —RXA uchun 2-ifodadan topilgan qiymati,  $Bk/m^3$ ;

$V_2$  —RRA o'lgash kamerasining hajmi,  $V_2 = 2.0$  l;

$V_1$  —namunani olish qurilmasining hajmi,  $V_1 = 1.0$  l;

$t$  – namunani olish vaqtidan o‘lchash vaqtigacha bo‘lgan oraliq vaqt, min.,  
 $t = t_2 - t_1$ ;

$\lambda$  –  $^{222}\text{Rn}$ ning parchalanish doimiysi,  $\lambda = 1.26 \cdot 10^{-4}$  1/min.

### Nazorat savollari

1. Radonning qanday izotoplari mavjud?
2. Qanday radioaktiv oila qatorlari bor?
3. Havo namunasi olish qurilmasini ishlashini tushuntirib bering.
4. Havo namunasi olish uchun qanday talablar qo‘yiladi?
5. Havodagi radonning hajmiy aktivligini topish ifodasini tushuntirib bering.
6. O‘lchashlar soni nima sababdan bir necha bor takrorlanadi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. V.I. Baranov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // *Laboratornye raboty i zadachi po radiometrii*, M: Atomizdat, 1966.
2. A. Vosidov // *Radon va uni aniqlash usullari*, Toshkent, 2014
3. M.A. Kayumov // *Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalash*, Toshkent, Davr, 2013.

### № 38. Laboratoriya ishi

#### Beta radionuklidlarning solishtirma va hajmiy aktivligini RKB4-1eM radiometri yordamida aniqlash

**Ishtdan asosiy maqsad:** Namunalarni o‘lchashga tayyorlash yo‘llarini o‘rganish.  $\beta$ -radioaktiv izotoplarini solishtirma va hajmiy aktivliklarini tajriba orqali aniqlash.

**Kerakli jihozlar:** Sanoq moslamasi, RKB4-1eM radiometri, Detektorlar BDJB-02 yoki BDJB-07, kirish qurilmasi, schetchik, taymer, ma‘lumotlarni chiqarish moslamasi, indikator, tok manbai.

**Nazariy qismi:** Doza kattaligi, nurlanishlarni moddalarga ko‘rsatgan ta‘sirining miqdoriy mezonini hisoblanadi. Nurlanish manbalari quyidagi kattaliklar bilan ta‘riflanadi: radioaktivlik, ekspozitsion, yutilish va ekvivalent dozalar.

Radioaktiv nuklidning aktivligi ( $A$ ) deb, dt qisqa vaqt ichida o'z-o'zidan  $dN$  yadro o'zgarishlarini, shu vaqtga nisbati orqali ifodalanadigan kattalikka aytiladi, ya'ni:

$$A = \frac{dN}{dt}, \quad (1)$$

Aktivlikning SI birliklar sistemasidagi o'lchov birligi qilib Bekkerel (Bk) qabul qilingan.  $1Bk=1$  bitta parchalanish/sek.

Sistemaga kirmaydigan o'lchov birligi sifatida -Kyuri (Ki) ishlatiladi.  $1Ki=3,7 \cdot 10^{10} Bk$ ;  $1Bk=2,7 \cdot 10^{-11} Ki$  ga teng.

Ekspozitsion doza ( $D_{eks}$ ). Bu doza rentgen va gamma nurlari uchun o'rinlidir. Boshqa turdagi nurlanishlar uchun qo'llanilmaydi. Ekspozitsion doza quyidagicha aniqlanadi. Birlik hajmdagi dm massali havo atmosferasidan rentgen yoki  $\gamma$ -nurlarining o'tishi natijasida ikkilamchi elektronlar hosil bo'ladi. Bu elektronlar ham o'z navbatida gaz atomlarini ionlashtirib, qo'shimcha elektronlarni paydo qiladi. Ionlashtirish jarayoni elektronlarni to'xtatguncha davom etadi. Havo atmosferasida dQ zaryad miqdori to'planadi (zaryadning bitta ishorasi olinadi). Agar dQ zaryad miqdorini xavo massasiga nisbati olinsa, bu kattalik ekspozitsion doza deb yuritiladi. Ekspozitsion doza quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$D_{eks} = \frac{dQ}{dm} \quad (2)$$

Uning o'lchov birligi -Kulon/kg.

Kulon/kg -o'lchov birligi foton nurlanishlarining shunday doza qiymatidurki, fotonlar massasi 1kg bo'lgan havo atmosferasidan o'tishi davomida barcha ionlashtirish jarayonlarida 1 Kulon elektr zaryadi hosil bo'ladi (xar bir ishorali ionlar uchun).

O'lchov birligiga kirmaydigan ekspozitsion dozaning birligi qilib, Rentgen qabul qilingan. Kulon/kg va Rentgen kattaliklari orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$1R \approx 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Kl/kg yoki } 1\text{Kl/kg} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ P}$$

Ko'p holatlarda nurlanish darajasi yoki doza quvvati asboblari orqali o'lchanadi. Vaqt(dt) birligi ichida olingan doza (dD), doza quvvatini ifodalaydi (P).

$$P = \frac{dD}{dt} \quad (3)$$



SI birliklar sistemasida doza quvvatining o'lchov birligi qilib  $\text{Kl/kg}\cdot\text{sek}=\text{Amper/kg}$  qabul qilingan. Bundan tashqari sistemaga kirmaydigan  $\text{R/s}$ ,  $\text{R/sek}$ ,  $\text{mkR/s}$  va boshqa o'lchov birliklari ham ishlatiladi.

Turli turdagi nurlanishlar moddalardan o'tganda o'z energiyalarini yo'qotadi. Bu yo'qotilgan energiya yutilish dozasini yuzaga keltiradi ( $D_{yu}$ ). Yutilish dozasi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$D_{yu} = \frac{dE}{dm} \quad (4)$$

Yutilish dozasini quyidagicha izohlashimiz mumkin. Turli nurlanishlar moddalardan o'tishi davomida yuz beradigan jarayonlarga ko'ra moddaning birlik hajmidagi massasiga ( $dm$ ), o'rtacha ( $dE$ ) energiyasini beradi. SI birliklar sistemasida yutilish dozasining o'lchov birligi qilib Grey qabul qilingan. Grey shunday kattalikki, nurlantirilayotgan moddaning massasi  $1\text{kg}$  bo'lib, unga  $1\text{J}$  energiya yutilayotgan bo'lishi lozim.

$$1\text{Gr}=1\text{ J/kg}$$

Sistemaga kirmaydigan rad o'lchov birligi ham ishlatiladi. Rad va Grey kattaliklari orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$1\text{rad}=10^{-2}\text{Gr} \text{ yoki } 1\text{Gr}=100\text{ rad.}$$

Bundan tashqari rad va Rentgen birliklar o'rtasida ham quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$1\text{R}=0,88\text{ rad} \quad \text{yoki} \quad 1\text{rad}=1,14\text{R}$$

Ekvivalent doza ( $D_{ekv}$ ). Bu kattalik quyidagicha tushintiriladi. Biologik to'qimada yutilgan doza ( $D_{yu}$ ) qiymatini, nurlanishning sifat koeffitsientiga ( $K$ ) ko'paytirish kerak bo'ladi.

$$D_{ekv}=D_{yu}\cdot K \quad (5)$$

SI birliklar sistemasida ekvivalent dozaning ( $D_{ekv}$ ) o'lchov birligi qilib Zivert ( $Zv$ ) qabul qilingan.

$$1\text{Zv}=1\text{Gr/K}$$

Sistemaga kirmaydigan ber (biologik ekvivalent rad) o'lchov birligi ham ishlatiladi.

$$1\text{Zv}=100\text{ ber} \quad \text{yoki} \quad 1\text{ber}=0,01\text{Zv}$$

Radionuklidning solishtirma aktivligi ( $A_{sol}$ ) quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$A_{\text{sol.}} = \frac{A}{m} = \frac{A}{Sd}, \quad (6)$$

bu yerda  $A$ -namunaning aktivligi, mkK;  $m$ -namunaning massasi,  $g$ ;  $S$ -namunaning yuzasi,  $\text{sm}^2$ ;  $d$ -namunaning qalinligi,  $g/\text{sm}^2$ .

Agar namun aktivligi va detektorning chiqishidagi sanoq qiymatlari orasidagi chiziqli bog'lanishni e'tiborga olsak:

$$N = \varepsilon \cdot A, \frac{1}{\text{sek}} \quad (7)$$

bu yerda  $\varepsilon$  —detektorning effektivligi. (7)-ifodadan  $A$ -ni topib, (6)-ifodaga olib borib qo'yamiz:

$$A = \frac{N}{\varepsilon Sd} \quad (8)$$

ko'rinishdagi ifoda kelib chiqadi.

### Yengil zaryadli zarrachalarni moddalarga ko'rsatgan ta'siri.

$\beta$ -zarrachalari elektronlar yoki pozitronlardan iboratdir. Uning manbalari radioaktiv elementlar va elektron tezlatgichlari hisoblanadi.  $\beta$ -parchalanishda atom yadrosidan elektron yoki pozitron zarrachasi uzilib chiqadi.  $\beta$ -parchalanishning uchta turi mavjud:  $\beta^-$ -parchalanish;  $\beta^+$ -parchalanish va  $K$ -yutilish.

$K$ -yutilishda yadro o'z atomidagi elektronni yutadi, natijada yadrodagi bitta proton neytron zarrachaga aylanadi va neytrino zarrachasi paydo bo'ladi.



$\beta$ -parchalanishning spektri uzluksizdir. Bunga asosiy sabab parchalanish energiyasi turli ehtimollik bilan elektron va neytrino zarrachalariga taqsimlanadi. Energiyasiga ko'ra  $\beta$ -zarrachalari yumshoq va qattiq  $\beta$ -zarrachalariga bo'linadi. Energiyasi bir necha o'n kiloelektron-volt bo'lgan zarrachalar yumshoq  $\beta$ -zarrachalari hisoblanadi.

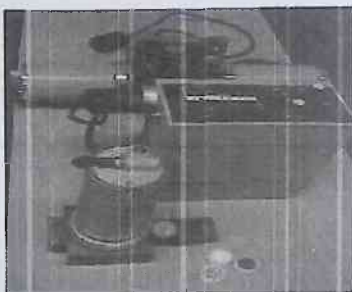
$\beta$ -zarrachalarini moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasi atomlarni ionlashtirishga, tormozlanishdagi nurlanishga va sochilishga sarflanadi.  $\beta$ -zarrachalari modda atomlaridagi elektronlarni urib chiqaradi. Atomlar ionlashadi va ikkilamchi elektronlar paydo bo'ladi. Energiyasi yetarli bo'lsa, ikkilamchi elektronlar ham atomlarni ionlashtirishi mumkin. Juda sekinlashgan  $\beta$ -zarrachalari erkin holatda qolishi yoki ionlashgan atomlardan biriga yutilishi mumkin. Pozitron zarrachasi esa  $\sim 10^{-9}$  sek ichida atomdagi elektron bilan to'qnashib, annigilyatsiya hodisasini sodir etadi va ikkita gamma kvanti paydo bo'ladi.

$\beta$ -zarrachalari modda atomi yadrolari ta'sirida tormozlanadi va harakat yo'nalishini o'zgartiradi. Tormozlanishda yo'qotilgan energiya

tormozlanishdagi nurlanishga sarflanadi. Tormozlanishdagi nurlanish bu uzluksiz spektrga ega bo'lgan foton nurlanishi hisoblanadi. Bu nurlanash zaryadli zarrachalar kinetik energiyasining o'zgarishi natijasida paydo bo'ladi.  $\beta$ -zarrachalarining massasi kichik bo'lganligi uchun (0,000549 m.a.b.) moddalardan o'tishida sochilish jarayoni yuz beradi. Bu sochilish modda atomidagi elektronlar bilan sodir bo'ladi. Elektroniga urilgan  $\beta$ -zarrachasi o'zining yarim energiyasini yo'qotishi mumkin. Bu jarayonda katta energiya olgan elektron modda ichida harakatini davom ettirib namuna tagligidan sochilib, qayd qiluvchi detektorga kelib tushishi mumkin. Bu o'z navbatida olingan natijani bir munchaga ko'tarilishiga olib keladi. Bu hodisani kamaytirishga harakat qilish kerak bo'ladi. Bunda quyidagi bog'lanishlarga e'tibor berish lozim. Sochilish jarayoni  $\beta$ -zarracha energiyasining kamayib borishida va modda atomi nomerining ortib borishida ko'tarilishi kuzatiladi. Bundan tashqari suv  $\beta$ -zarrachalarini juda yaxshi yutadi. Natijada o'lchangan natijalarda xatolik katta bo'lishi kuzatiladi. Buni oldini olish uchun namunadagi suv chiqarib tashlanishi lozim.

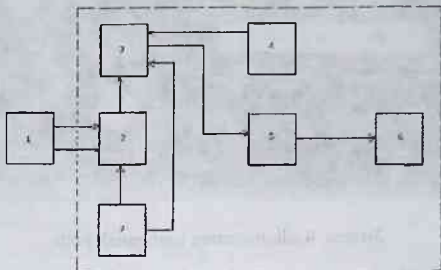
#### RKB4-1eM radiometrining xarakteristikallari

RKB4-1eM radiometri beta radioaktiv izotoplarning solishtirmava hajmiy aktivliklarini  $1,9-3,7 \cdot 10^7$  soha oraligida tezlikda o'lchash imkoniyatini beradi. Suv muhitidagi, sut mahsulotlaridagi, tuproq tarkibidagi, o'simliklardagi va boshqa moddalar tarkibidagi  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}+^{144}\text{Pr}$ ,  $^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$ ,  $^{60}\text{Co}$  elementlarning solishtirma va hajmiy aktivliklarini o'lchash mumkin. Bundan tashqari  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  gazlarning ham solishtirma va hajmiy aktivliklarini o'lchash imkoniyati bor. 1-rasmda RKB4-1eM radiometrining umumiy kurinishi ko'rsatilgan.



Fon sanoqlarini kamaytirish uchun detektorni 10 sm qalinlikdagi qo'rg'oshin devori ichiga olinishi kerak. Bunda fon sanoqlarini keskin

kamayishi kuzatiladi. Bu radiometr yordamida  $\pm 40\%$  nisbiy xatolik bilan solishtirma va hajmiy aktivliklarni o'lchash mumkin. 2-rasmda RKB4-1eM radiometrlarning blok-sxemasi ko'rsatilgan.



2-rasm. RKB4-1eM radiometrlarning blok-sxemasi

- 1-Detektorlar (BDJB-02 yoki BDJB-07);
- 2-Kirish qurilmasi;
- 3-Schetchik;
- 4-Taymer;
- 5-Ma'lumotlarni chiqarish moslamasi;
- 6-Indikator;
- 7-Tok manbai.

### Radiometrning ishlash prinsipi

Detektordan (1) olingan manfiy ishorali impuls kirish qurilmasiga (2) uzatiladi. Bu yerda impulslar amplituda bo'yicha tekislanib, vaqt bo'yicha moslashtirish asosida tanlab olinib, schetchikka (3) beriladi. "Sbros" knopkasining bosilishi orqali taymer (4) ishga tushadi. Knopkani qo'yib yuborilganidan taxminan 3 sek o'tkach, schetchikka (3) ma'lumotlarni to'plash haqida komanda beriladi. Ma'lumotlarni to'plash boshlanadi va ma'lum vaqtdan keyin ma'lumotlarning "To'lishi" sodir bo'ladi. So'ngra, tajribaning davom etish vaqtidan (10 yoki 100 sek) keyin taymer bergan komandaga ko'ra, schetchik ma'lumotlarni berish rejimiga o'tadi. Bunda indikator (6) blokida tajriba davomida detektordan kelgan impulslarga teng bo'lgan to'rt raqamli son paydo bo'ladi. Ma'lumotlarni uzatish 10 sek davom etadi. "Sbros" knopkasini bosish orqali o'lchash ishlari qaytadan boshlanadi.

Boshqarish pultining oldi tamonida quyidagi boshqarish organlari va signalizatsiya moslamalari berilgan (3-rasm):



3-rasm. Radiometning boshqarish pulti

1. Ikki rejimdagi tok manbai: 220 V yoki mustaqil tok manbai;
2. Ish rejimini belgilovchi knopka: impulsnlarni sanash N, N°10 yoki **“Kontrol”**;
3. **“Vremya izmereniya”** knopkasi yordamida o‘lchash vaqti tanlanadi. 10 sek, 100 sek Nyoki **“∞”** ish rejimida;
4. **“PUSK/STOP”** knopkasi **“∞”** ish rejimida radiometr qo‘l bilan boshqarilayotgan vaqtida ishlatiladi;
5. **“SBROS”** knopkasi o‘lchashni boshlanganligini ko‘rsatadi;
6. **“INDIKATSIYA-SPU”** knopkasi yordamida ma‘lumotlarni uzatish amalga oshiriladi;
7. **“KORREKSIYA GRUBO PLAVNO”** qo‘l tugmachasi orqali kirish qurilmasidagi diskriminatoring porogi o‘zgartiriladi;
8. Uchta svetodioldlar quyidagi signallarni ko‘rsatadi: radiometning ulanganligini, o‘lchash davom etayotganligini, schetchikni to‘lganligini. Ularning belgilanishi 4-rasmda berilgan.



4-rasm. Signalizatsiya

## Radiometr bilan ishlash tartibi

**Etibor bering!** Quyidagilar keskin ta'qiqlanadi:

- Radiometrni yerga ulamasdan ishlatish,
- Radiometrni qobig'ini olingan vaqtida tokka ulash,
- Radiometrni detektorni ulamasdan turib, boshqarish pultiga tok manbaini berish.

Radiometning boshqarish pultidagi knopkalarini quyidagi holatga keltiring

1. **"Rejim raboti"** –KONTR.
2. **"Vremya izmereniya"**- 10 sek.
3. **"INDIKATSIYA SPU"**-INDIKATSIYA.
4. Radiometrni 220 V ulang, PITANIE tugmachasini VKLholatiga o'tkazing bunda indikator svetodiodi yonishi lozim.
5. **"SBROS"** knopkasini bosib va qo'yib yuboring. Bunda indikatorlarda 0 sonlari paydo bo'ladi. So'ngra indikatoridagi raqamlar o'chadi va radiometr ma'lumotlarni to'plash rejimiga o'tadi. 10 sekunddan keyin indikatorlarda  $5500 \pm 2000$  oraligida yotuvchi raqam paydo bo'ladi. 100 sek rejimida ishlashda **"REJIM RABOTI"** tugmachasi –N yoki N-10 holatiga o'tkazilishi kerak.
6. Radiometr ishlashga tayyor.

## Ishni bajarish tartibi:

1. Namunali manba yordamida radiometrni sozlash. Buni amalga oshirish uchun detektorning korpusi oldiga  $^{137}\text{Cs}$  manbasi qo'yiladi va sanoq tezligi (N)o'lchanadi. O'lchangan sanoq tezligi formulardagi (1130 imp/sek) qiymat bilan solishtiriladi. Agar raqamlar o'rtasida farq kuzatilsa, **"KORREKSIYA GRUBO PLAVNO"** qo'l tugmachasi yordamida kerakli son raqami olinadi.

Radiometning ishlashini nazorat qilish uchun " fosfor qoplangan shkalani" ham ishlatish mumkin ( $40 \pm 5$  imp./sek).

2. Fon o'lchashlarini amalga oshirish ( $N_f$ ). Bu o'lchashlarni 5 marta takrorlash. Fon sanoqlarining o'rtacha qiymatini aniqlash ( $\bar{N}_f$ ).

- O'lchashlarni namunada olib borish. Bu o'lchashlarni ham 5 marta takrorlash. Sanoqlarining o'rtacha qiymatini aniqlash ( $\bar{N}$ ).
- Har bir namuna uchun sanoq tezligini ( $N_0$ ) quyidagi ifoda orqali aniqlash.

$$N_0 = \bar{N} - \bar{N}_f \quad (9)$$

- Namunaning  $\beta$ -aktivligini quyidagi ifoda yordamida hisoblash:

$$A = \frac{N_0}{P \cdot t'} \quad (10)$$

bu yerda A-namunaning aktivligi (Bk/l, yoki Bk/kg), R-namunaga tegishli radiometring sezgirliги (kg/(sek·Bk)), t-o'lchash vaqti, sek.

Turli izotoplar uchun R-ning qiymati turlichadir. Bir nechta izotoplar uchun uning qiymatini beramiz:

**BDJB-07 bloki uchun:**

- $^{137}\text{Cs}$  izotopi uchun:

Suv uchun  $R=2,11 \cdot 10^{-3}$  litr/(sek·Bk), sochiluvchi namuna uchun

$R=2,11 \cdot 10^{-3}$  litr/(sek·Bk).

- $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  izotopi uchun:

Suv uchun  $R=5,1 \cdot 10^{-5}$  litr/(sek·Bk), sochiluvchi namuna uchun

$R=4,86 \cdot 10^{-3}$  litr/(sek·Bk).

- O'lchangan beta aktivlikni Ki/kg ga o'tkazish.
- O'lchangan namunaning aktivlik darajasi sanitar normalarida berilgan qiymatidan katta emasligini tekshirish.
- Bir xil massali quritilgan va xo'l namunalardagi sanoq tezligini o'lchash.

#### Nazorat savollari:

- RKB4-1eM radiometring blok-sxemasini tushintirib bering.
- Solishtirmava hajmiy aktivliklar nimani anglatadi?
- RKB4-1eM radiometri qanday xarakteristikalarga ega?
- $\beta$ -parchalanishning spektri uzluksiz bo'lishligini tushintirib bering.
- $\beta$ -zarrachalari modda atomlari bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
- Namunaning  $\beta$ -aktivligini topish ifodasini tushintirib bering.
- O'lchash ketma-ketligi qanday amalga oshiriladi?

8. O'Ichashlarda namunani nima sababdan quritish lozim?
9. Qaysi holatlarda radiometrni ishlatib bo'lmaydi?
10. Radiometrni sozlash qanday amalga oshiriladi?

**Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. *Texnicheskaya opisaniye i instruksiya po ekspluatatsiya pribora RKB4-1eM.*
2. M.T. Maksimov, G.O. Odjagov //Radioaktivnye zagryazneniya i ix izmerenie, M., Energoatomizdat, 1986.
3. V.F. Kozlov //Spravochnik po radiatsionnoy bezobasnosti, M.,Energoatomizdat,1987.



## VIII BOB

# YADRO NISHONLARI VA ULARNI TAYYORLASH

## № 39. Laboratoriya ishi

### Yadro nishonlari va ularni tayyorlash usullari

**Ishdan asosiy maqsad:** Yadro nishonlarini tayyorlash usullari bilan tanishish va nishonlarni tayyorlash. Taglik: yuzasiga cho'ktirish orqali yotqizilgan nishonlarni tayyorlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** O'ta toza spirt, shisha idish, nishon materiali ( $^{11}\text{V}$ ), tarozi, taglik materiali (Al), halqa, kley (BF-6), spirtni so'rib oluvchi moslamalar.

**Nazariy qismi:** Yadro reaksiyasining kesim kattaligini aniqlashda va radionuklidlar ishlab chiqarishda yadro nishonlarini tayyorlash asosiy vazifa hisoblanadi. Bu ayniqsa reaksiyalarning kesim kattaligini aniqlashda o'ta muhimdir. Yadro fizikasida turg'un va turg'un bo'lmagan izotoplar nishon sifatida ishlatiladi. Bu nishonlar zaryadli, zaryadsiz va gamma kvantlari orqali nurlantiriladi. Nishonlarni tayyorlashda bir qator texnologik masalalarni yechishga to'g'ri keladi. Tajribani o'tkazilish mohiyatiga va tajribada olinayotgan kattalikka qarab nishonlarni tayyorlash metodikalari tanlanadi. Nishonlar tayyorlanishiga ko'ra ikki xil ko'rinishda bo'ladi: O'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonlar va taglikka yotqizilgan nishonlar. O'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonlarda olingan natijalar o'zining aniqlik darajasi bilan doimo ajralib turadi va shu sababli ular eng yaxshi nishonlar hisoblanadi. Lekin ko'pchilik element izotoplaridan o'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonlarni tayyorlab bo'lmaydi. Bu holda taglikka yotqizilgan nishonlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Yadro reaksiyalari yordamida kesim kattaligi o'lchanayotgan bo'lsa va unda taglikka o'matilgan nishonlar ishlatilgan bo'lsa, kesim kattaligini aniqlashda bir qator qiyinchiliklar tug'iladi. Bu qiyinchiliklarni bartaraf qilish uchun yadro reaksiyasining kinematikasi yordamida hisob ishlarini bajarib, reaksiyaga halaqit bermaydigan taglik materialini tanlash kerak bo'ladi. Taglik materiallarini tanlashda quyidagilarga e'tibor berish lozim:

1. Taglik materiallarida yuz berayotgan reaksiyalarning kesim kattaliklari yetarli darajada kichik bo'lsin va o'rganilayotgan reaksiyaga ta'sir ko'rsatmasin. Bu ishlar yadro reaksiyasining kinematikasini hisoblash orqali amalga oshiriladi.

2. Taglik materiallarining qalinligi iloji boricha kichik bo'lishi kerak. Aks holda yadro reaksiyasi natijasida hosil bo'layotgan keraksiz zarrachalar miqdori keskin ortadi va natijada o'lchanayotgan kattalikning aniqlik darajasi pasayib ketadi.

3. Taglik materiallari arzon va ishlatishga qulay bo'lsin. Bundan tashqari havo atmosferasi bilan ximiyaviy reaksiyalarga kirishmasin.

4. Taglik materiallari tashqi mexanik ta'sirlarga chidamli bo'lishi kerak. Chunki, nishonlarni almashtirishlarda, vakuum olish va kameraga havo kiritish jarayonlarida, nishonga ma'lum kuchlar ta'sir ko'rsatadi. Taglikka yotqizilgan nishon yirtilmasligi kerak.

1-jadvalda taglik sifatida ishlatiladigan materiallarning xarakteristikalari berilgan. Jadvalda taglikning tayyorlanish usullari va olish mumkin bo'lgan eng kichik qalinligi ko'rsatilgan. Jadvalning oxirgi ustunida taglik materiallarining turli eritmalarga bo'lgan ximiyaviy barqarorligi ham berilgan.

1-jadval. Taulik sifatida ishlatiladigan materiallarning xarakteristikalari.

Taglik materiali	Tayyorlash usuli	Ximiyaviy barqa-rorligi
Alyuminiy	Sanoat ishlab chikarishidagi eng kichik qalinligi 180 mkg/sm <sup>2</sup> Metall list shaklida.	Ishqorlarda, HCl va H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> kislotalarda eriydi. Asetonda, HNO <sub>3</sub> va boshqa kislotalarda erimaydi.
Gidroxlorid kauchuk	Sanoat ishlab chiqarishidagi eng kichik qalinligi 0.5 mg/sm <sup>2</sup> .	Kislotalarda erimaydi.
Oltin	Sanoat ishlab chiqarishidagi eng kichik qalinligi 200 mkg/sm <sup>2</sup> . Oltin list shaklida.	KCN va Sar arog'ida eriydi. Asetonda erimaydi.
Milar	Polistrolning birikmasi Sanoat ishlab chikarishidagi eng kichik qalinligi 0.9 mg/sm <sup>2</sup> . Geyger-Myuller schetchiklarining kirish devorlarini tayyorlashda ishlatiladi.	Ishqor va kislotalarda erimaydi.
Neylon	O'tkazuvchanlik xususiyatiga ega emas Olinishi mumkin bo'lgan eng kichik qalinligi 10 mkg/sm <sup>2</sup> .	Kislotalarda erimaydi.
Nikel	Magnit ta'sirlariga beriluvchan Elektrolitik cho'ktirishda ishlatiladi. Sanoat ishlab chikarishidagi eng kichik qalinligi 4 mg/sm <sup>2</sup> .	HNO <sub>3</sub> daeriydi HCl da kuchsiz eriydi. NH <sub>3</sub> da erimaydi.
Oks alyuminiy	Olinishi mumkin bo'lgan eng kichik qalinligi 25 mkg/sm <sup>2</sup> . Geyger-Myuller schetchiklarining kirish devorlarini tayyorlashda ishlatiladi.	Ishqor va kislotalarda yomon eriydi.
Palladiy	Sanoat ishlab chikarishidagi eng kichik qalinligi 4.9 mg/sm <sup>2</sup> . Elektrolitik cho'ktirishda ishlatiladi.	Sar arog'ida va issiq HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> larda eriydi. HCl da kuchsiz eriydi.
Kumush	Sanoat ishlab chikarishidagi eng kichik qalinligi 200 mkg/sm <sup>2</sup> . Elektrolitik cho'ktirishda ishlatiladi.	HNO <sub>3</sub> va issiq KCN. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> larda eriydi. Ishqorlarda erimaydi.
Slyuda	Yupqa qalinlikdagi qatlamlar ko'rinishida	HF-eriydi Kislotalarda

	olish mumkin. Oddiy sharoitda o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega emas.	eri-maydi.
Uglerod	1. Vakuumda bug'lantirish; 2. Termik parchalash; Eng kichik qalinligi ~ 4 mkg/sm <sup>2</sup> .	Kislota va ishqor- larda erimaydi.
Formfar	Geyger-Myuller schetchiklarining kirish devorlarini tayyorlashda ishlatiladi. Eng kichik qalinligi ~ 6 mkg/sm <sup>2</sup> .	Kislota va ishqor- larda erimaydi.
Sapon	Saponlak. Eng kichik qalinligi ~ 10 mkg/sm <sup>2</sup> .	Kislotalarda erimaydi.
Mis	Elektrolitik cho'ktirishda ishlatiladi. Sanoat ishlab chikarishidagi eng kichik qalinligi ~ 3 mg/sm <sup>2</sup> .	HNO <sub>3</sub> va issiq H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> larda eriydi. HCl va NH <sub>4</sub> OH yomon eriydi.
Kolloid birikmasi	Geyger-Myuller schetchiklarining kirish devorlarini tayyorlashda ishlatiladi. Eng kichik qalinligi ~6 mkg/sm <sup>2</sup> .	Kislota va ishqor- larda erimaydi.

1-jadvaldan foydalanib tayyorlanayotgan nishon tagligining materialini tanlash mumkin. Jadvalda amalda eng ko'p ishlatiladigan materiallar berilgan. Bir qator taglikka o'tqizilgan nishonlarda, taglikni ximiyaviy yo'llar bilan olib tashlash imkoniyati mavjud va shu tariqa o'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonga aylantiriladi. Bunga misol qilib <sup>9</sup>Ve nishonini ko'rsatish mumkin. <sup>9</sup>Ve elementi vakuumda bug'lantirish orqali mis taglikka o'tqaziladi. Keyinchalik mis taglik HNO<sub>3</sub> kislotasining kuchsiz eritmasi yordamida eritilib, olib tashlanadi. Olib tashlash jarayonida juda ehtiyot bo'lish lozim, chunki juda yupqa <sup>9</sup>Ve plyonkasi mo'rt bo'lganligi sababli sinish ehtimolligi bor. Misni eritish jarayonida <sup>9</sup>Ve plyonkasini sinishini oldini olish uchun nishonni tayyorlash metodikasi ishlab chiqilgan. Nishonni tayyorlashdan oldin bu metodika bilan tanishib chiqish lozim.

### Nishonlarni tayyorlashda ishlatiladigan vakuum qurilmalari

Nishonlarni tayyorlash usullari ichida o'zining yuqori parametrlari bo'yicha vakuumda bug'lantirish usuli alohida ajralib turadi. Bu usul orqali qalinligi o'ta yupqa, silliqlik darajasi yuqori bo'lgan nishonlarni olish mumkin. Nishonlarni tayyorlashda vakuum qurilmalari kerak bo'ladi. 2-jadvalda hozirgi vaqtda keng miqyosda ishlatilayotgan vakuum qurilmalari va ularga tegishli kattaliklar berilgan.

2-jadval. Vakuum qurilmalari va ularga tegishli kattaliklar.

Qurilmaga tegishli katta-liklar	VUP-2K	VUP-4	VUP-5M
Suv bilan sovutilgan ish hajmidagi qoldiq xavoning bosimi, Pa	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Suyuq azot bilan sovutilgan ish hajmidagi qoldiq xavonung bosimi, Pa	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Xavoni so'rish uchun ketgan vaqt, min.	25	30	60
Eug'lantirish moslamasiningcho'g'lantirish tolasidagi tok kuchi, A.	100	200	200
Eug'lantirish moslamasiga beriladigan kuchlanish, V	0-12	0-12	0-12
Taklik haroratining o'zgarish sohalari, °S	(-150÷100) °S	(-150÷110) °S	(-150-110) °S
Eug'lantiruvchilar soni	3	3	3
Yuqori kuchlanish to'g'ri lagich chiqishidagi kuchlanish, kV	10	10	7
Miltillama razryad toki, mA	50	50	50
Qurilmaning quvvati, kVt	3	3.5	5

VUP-2K va VUP-4 qurilmalarida bug'lantirish elektr toki yordamida qizdirish orqali amalga oshiriladi. VUP-5M qurilmasida esa qizdirish elektron nurlarining dastasi orqali amalga oshiriladi. Bu qurilmalarda forvakuum va moy bug'ida ishlaydigan nasoslar ishlatiladi.

### Yadro nishonlarini tayyorlash texnologiyalari

Yadro nishonlarini tayyorlashda turli usullar qo'llaniladi. Nishonlarni tayyorlashda ularga qo'yilgan barcha ta'lablar e'tiborga olinadi. Nishon izotopining fizikaviy va kimyaviy xossalariiga asosan, tayyorlash texnologiyasi tanlab olinadi. 3-jadvalda turli nishonlarni tayyorlanish texnologiyalari berilgan.

3-jadval. Turli nishonlarni tayyorlash texnologiyalari.

Texnologiya	Ishlatilish sohasi	Nishon tayyorlanadigan izotop	Nishon qalinligi, mg/sm <sup>2</sup> (mkm)	Izoh
1	2	3	4	5
Prokat	Plastik metallar	Sn, Pb, In, Ca, Cd, Li  Cu, Ni, Ni, Ag, Al, Au, Co, Ta, Pt, Mg	(2-8)  (2-1)	
Tekislash	Qalin nishonlar. Plastik bo'lmagan, erish harorati yuqori bo'lgan materiallar.	Si, C	(2-5)	
Vakuumda elektron oqimi yordamida bug'lantirish.	Erish harorati t $\approx$ 2000 °S dan katta bo'lgan cle-	Ei, Si, Ti, Mo	0.1 - 0.5	Tag'lik sifatida Al, Cushtiladi.

	metallar.	Nb, Zr, Os, Ta	0.0 - 1.0	
Vakuumda termik bug'lantirish.	Erish harorati $t \geq 200$ °S dan katta bo'lgan elementlar.	Li, Mg, Al, Si, Ti, Sc, V, Mn, Cu, Zn, Gs, Ge, Se, Y, Ag, Cd, In, Pb, Sn, Au,	0.1 - 1.0	
		Bi	0.1 - 50.0	
		(CH <sub>2</sub> ), (CD <sub>2</sub> )	0.01 - 10.0	
		<sup>12</sup> C, <sup>13</sup> C	0.002 - 1.0	Elektr yoyi orqali bug'lantirish
Vakuumda oksidlar tarkibidagi metallarni termik tiklash.	Oson oksidlanuvchi elementlar	Mg, Ba, Nd, Sm, Dy	0.1 - 1.0	Taglik sifatida Al, Cu ishlatiladi.
Florid izotoplarini vakuumda termik bug'lantirish.	Oson oksidlanuvchi va erish harorati yuqori bo'lgan materiallar.	Li, Na, Ca, Zr, Hf, Sm, Eu, Yb, Dy	0.01 - 0.2	Taglik sifatida Al, Cu ishlatiladi.
Termik to'yintirish va oksidlash.	Gaz holatidagi elementlar	O, N	0.05 - 1.0	To'yingan elementlar
Qoliplarga organik birikmalar ehtimallarini quyish orqali plyonkalar olish.	(SH) <sub>n</sub> , (SH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> , (SD <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	H, D	0.07 - 10.0	
Qo'shimcha organik plyonkalarni quyish.	Poroshokli elementlar va ularning birikmalari	E, Mo, Mg, Eu, Hf, Yb, Os.	0.5 - 10.0	20-25% li bog'lovchi elementlar ishlatiladi. (SH) <sub>n</sub> , (SH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>
Elektrolitik o'zlashtirish.		Ni, Co, Fe	0.09 - 2.0	

Nishon tayyorlash metodikalari tobora takomillashib bormoqda. Ular orqali qalinligi bir necha  $\text{mkg}/\text{sm}^2$  dan  $50 \text{ mg}/\text{sm}^2$  gacha bo'lgan nishonlarni tayyorlash mumkin. Nishonning tekislik darajasi  $\sim 1.5\%$  bo'lgan nishonlarni tayyorlash imkoniyati bor. Olinayotgan nishonlarning diametri 10 - 40 mm oraligidadir.

## Nishonlar tayyorlashning mexanik usuli

Mexanik usuliga prokat, tekislash va nishor elementiga aralashtirilgan bog'lovchi moddalar uyushmasi kiradi. 4-jadvalda bu usulda ishlatiladigan qurilmalar va ularning xarakteristikallari ko'rsatilgan.

4-jadval. Mexanik usulda nishonlarni tayyorlashda ishlatiladigan qurilmalar va ularning xarakteristikallari

Kattaliklar	Velar	Tekislash mashinasi
Nishonning eng kichik qalinligi, mkm	1	5 - 10
Tayyorlanayotgan nishonning o'lchamlari, mm	30x30	40x40
Ish sohasining toza'ik darajasi, klass	9	-
Tekislash mashinasi valining aylanish tezligi, ay./min.	-	600; 2400
Ish yuzasining geometrik o'lchami, mm	50x100	-
Diametr, mm	-	150

### Nishonlarni cho'ktirish usuli yordamida tayyorlash

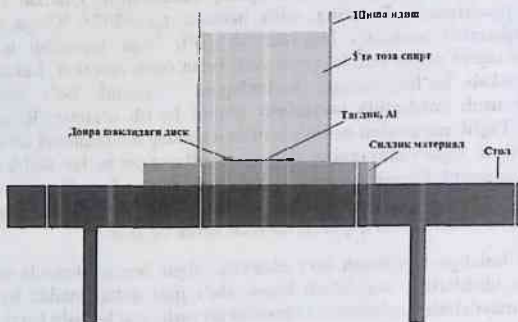
Yupqa nishonlarni tayyorlash juda qiyin bo'lgan elementlar mavjud. Ularning erish harorati yuqori, o'ta qattiq moddalardir. Ulardan biri  $^{10,11}\text{V}$  izotoplari hisoblanadi. Bo'rning erish harorati  $t_{\text{erish}}=2075\text{ }^{\circ}\text{C}$  ga teng. Bu nishonni qizdirish asosidagi bug'lantirish yo'li bilan tayyorlab bo'lmaydi. Elektronlar oqimi orqali bug'lantirish yo'li bilan olish mumkin. Lekin bu usul juda murakkab bo'lib, sanoqli joylardagina mavjud. Bo'r nishonlarini cho'ktirish usuli yordamida tayyorlash usulini ko'rib o'tamiz. Bunda taglik ishlatiladi. Taglik materialini tanlashda nishon qanday maqsadlarda ishlatilishiga e'tibor beriladi. Agar yadro reaksiyalarida ishlatilayotgan bo'lsa, taglik materiali shunday tanlanishi lozimki, uning yadrolari bilan yuz beradigan reaksiyalar, o'rganilayotgan reaksiyalarga hulaqid bermasin. Taglikka yotqizilgan bo'r nishonini tayyorlash uchun quyidagi narsalar kerak bo'ladi:

1. Kukun holatiga keltirilgan bo'r elementi. Agar bunday holatda bo'lmasa, maxsus idishlarida maydalash lozim. Bo'r juda qattiq modda bo'lganligi uchun maydalash moslamalari olmosdan tayyorlangan bo'lishi kerak.
2. Hajmi ~1l bo'lgan shaffof ximiyaviy shisha idish. Shisha ichida sodir bo'layotgan jarayonlarni tashqaridan kuzatish mumkin bo'lsin.
3. Ichida suv molekullari bo'lmagan toza spirt. Bitta nishonni tayyorlash uchun ~0,5l kerak bo'ladi (maxsus spirt).

4. Nishonni o'ratish ramasi va unga kileylangan taglik. Taglikning qalinligi iloji boricha kichik bo'lishi lozim.
5. Spirtni idishdan asta-sekinlik bilan so'rib olish uchun ishlatiladigan ximiyaviy so'rish moslamalari.
6. Spirtida yaxshi eriydigan, tebranishlarga bardoshli BF-6 markali kley (2 tomchi yetarli).
7. Gorizontol holatdagi, tebranmaydigan stol. Stolning gorizontol holatida bo'lishi katta ahamiyatga ega.

**Nishonni tayyorlash quyidagi ketma-ketlik bilan amalga oshiriladi:**

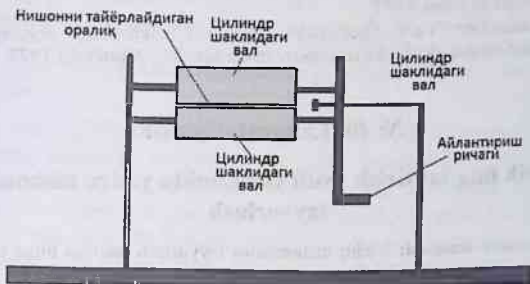
1. Stolning gorizontol holati tekshiriladi. Stol tashqi ta'sirlardan holi bo'lgan (shamol bo'lmasligi kerak), odamlar kirmaydigan joyga o'rnatiladi. U qimirlamaydigan bo'lishi lozim.
2. Stol ustiga tekislik darajasi yuqori bo'lgan modda qo'yiladi (orgsteklo yoki boshqa).
3. Bu modda ustiga shisha idish qo'yiladi. Shisha idishning markaziga taglik yopishtirilgan rama joylashiriladi.



1-rasm. Cho'ktirish usuli yordamida nishonlarni tayyorlash

4. Idish ichiga spirt asta-sekinlik bilan quyiladi.
5. Spirt ichiga ikki tomchi BF-6 kley tomiziladi. Kley spirt ichida eriy boshlaydi va spirtning rangi sarg'ish rangga o'tadi. Bu rang spirtning butun hajmi bo'ylab tarqaladi.

6. Nishon qalinligini bilgan holda, elementning massasi hisoblab topiladi. So'ngra spirt ichiga solinadi. Nishon elementini spirt ichida tekis tarqalishini ta'minlash uchun shisha naycha yordamida eritma yaxshilab aralashtiriladi.
7. Xonaning oyna va eshiklari berkitiladi. Xonada hech kim qolmasligi lozim.
8. Ikki kundan keyin eritmadan xabar olinadi. Cho'kish jarayoni boshlanib, spirtning tepa tomonlarida toza spirt hosil bo'ladi. Cho'kish jarayoni davom etadi. Olti kundan keyin element to'liq cho'kadi. Spirt to'liq o'zining rangiga qaytadi.
9. Shisha ichidagi spirt so'ruvchi moslamalar yordamida sekin-asta olina boshlaydi. Bunda spirtning sirtlarida qo'zg'alish sodir bo'lmasligi lozim. Spirtni so'rish ishlari ramaning usti tomonida ~5 mm qalinlikdagi spirt qolguncha davom ettiriladi. So'rish ishlari to'xtatiladi.
10. Ozigina spirti qolgan nishonli idish yana bir necha kunga qoldiriladi. Idishdan spirt bug'lanib ketadi va idish ostiga qo'yilgan taglik yuzasiga bir tekisda kley bilan cho'kkan nishon elementlari qoplanadi.
11. Rama, idishdan asta-sekinlik bilan olinadi va xona haroratida quritiladi.



2-rasm. Prokatka qurilmasi

### Nishonlarni prokat usuli orqali tayyorlash

Bu usul yordamida yumshoq elementlardan nishonlar tayyorlanadi. Nishonlarning qalinlik bo'yicha tekislik darajasi unchalik yuqori bo'lmaydi. Nishonning qalinligi mikrometrlarda o'lchanadi. Bu usul juda sodda bo'lib, nishonni qisqa vaqt ichida tayyorlash mumkin. Agar nishon tayyorlanayotgan element oksidlanuvchi bo'lsa, element sirtini doimo yog' bilan qoplab turish kerak bo'ladi.  ${}^6\text{Li}$ , Pb,  ${}^{112}\text{Cd}$  va boshqa elementlarni bu usul bilan tayyorlash mumkin. 2-rasmda nishonlarni prokatka usuli orqali tayyorlashda



ishlatiladigan qurilma ko'rsatilgan. Aylantirish richagi yordamida vallar harakatga keltiriladi. Vallar bir biriga nisbatan qarama-qarshi harakatlanadi. Vallar oraligini o'lchash uchun mikrometr o'rnatilgan. Nishon tayyorlashda vallar oraligi yog'lab turiladi. Nishon vallar oraligidan o'tkazilganidan so'ng, vallar oraligidagi tirqish kamaytirib boriladi. Shu tariqa protsess bir necha bor takrorlanadi. Nishonning kerakli qalinligi olinganda protsess to'xtatiladi. Tayyor bo'lgan nishon oksidlanuvchi bo'lsa, yog' ichiga solib qo'yiladi.

#### **Nazorat savollari:**

1. Nishon tayyorlashning qanday usullari bor?
2. Nishon tayyorlashning usuli nimalarga asosan tanlanadi?
3. Nishonning qanday turlari bor?
4. Cho'ktirish usuli nimaga asoslangan?
5. Nishondagi taglik nimalarga ko'ra tanlanadi?
6. Nima sababdan oksidlanuvchi nishonlar yog' ichida saqlanadi?
7. Tayyorlanayotgan nishon qalinligini qanday hisoblash mumkin?

#### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

Pod.redak. L. Maysse, R. Glenga //Texlogiya tonkix plenok, spravochnik, T.1-2, M: sovetkoe radio, 1977.

A.P. Kondrashov, Ye.V. Shestopalov //Osnovy fizicheskogo eksperimenta i matematicheskaya obrabotka rezultatov izmereniy, M.: Atomizdat, 1977.

## **№ 40. Laboratoriya ishi**

### **Termik bug'lantirish usuli yordamida yadro nishonlarini tayyorlash**

**Ishdan asosiy maqsad:** Yadro nishonlarini tayyorlash usullari bilan tanishish. Termik bug'lantirish yordamida magniy nishonlarini tayyorlash.

**Kerakli jihozlar:** Nishonlarni tayyorlashda ishlatiladigan vakuum qurilmalari, tok manbalari, toza magniy elementi, shisha tagliklar, toza NaCl birikmasi, magniy elementini bug'lantirish uchun tantal yoki volframdan tayyorlangan tolalar, vakuum nasosi, shisha qalpoq.

**Nazariy qismi:** Yadro reaksiyalarini o'rganishda yadro nishonlari asosiy o'rindardan birini egallaydi. Olinayotgan natijalarning aniqlik darajasi nishonning sifatiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli nishonlarni tayyorlash usullari tobora takomillashib bormoqda. Termik bug'lantirish yo'li bilan nishonlarni tayyorlash usuli alohida o'rinni egallaydi. Bu usul orqali sillikli darajasi yuqori

bo'lgan yetarli darajada kichik qalinlikdagi nishonlarni tayyorlash imkoniyati mavjud. Yupqa nishonlar yadro reaksiyalarining kesim kattaligini aniqlashda ishlatiladi. Yadro fizikasida turg'un va turg'un bo'lmagan izotoplardan nishonlar tayyorlanadi. Olib borilayotgan tajribaga ko'ra, nishonlar zaryadli, zaryadsiz yoki gamma kvantlari bilan nurlantirilishi mumkin. Nishonlarni tayyorlashda bir qator texnologik masalalarni yechishga to'g'ri keladi. Tajribani o'tkazilish mohiyatiga va tajribada olinayotgan kattalikka qarab nishonlarni tayyorlash metodikalari tanlanadi. Nishonlar tayyorlanishiga ko'ra ikki xil ko'rinishda bo'ladi. O'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonlar va taglikka yotqizilgan nishonlar. O'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonlar eng yaxshi nishonlar hisoblanadi. Lekin, shunday element izotoplari borki, ulardan o'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonlarni tayyorlab bo'lmaydi. Bu holda taglikka yotqizilgan nishonlardan foydalanishga to'g'ri keladi. Yadro reaksiyalari yordamida kesim kattaligi o'lchanayotgan bo'lsa va unda taglikka o'rnatilgan nishonlar ishlatilgan bo'lsa, kesim kattaligini topishda bir qator qiyinchiliklar yuzaga keladi. Bu qiyinchiliklarni bartaraf qilish uchun yadro reaksiyasining kinematikasi yordamida hisob ishlarini bajarib, reaksiyaga halaqit bermaydigan taglik materialini tanlash kerak bo'ladi. Taglik materiallarini tanlashishlar №38 - laboratoriya ishida keng yoritib berilgan. Taglik sifatida ishlatiladigan materiallarning xarakteristikalarini №38.- Laboratoriya ishining 1-jadvalidaberilgan. Bu jadvalda taglikning tayyorlanish usullari va olinishi mumkin bo'lgan eng kichik qalinligi ham ko'rsatib o'tilgan. Jadvalning oxirgi ustunida taglik materiallarini turli eritmalarga bo'lgan ximiyaviy barqarorligi ham berilgan.

Bir qator taglikka o'tqizilgan nishonlarda, taglikni ximiyaviy yo'llar bilan olib tashlash imkoniyati mavjud va shu tariqa o'zini-o'zi ushlab turuvchi nishonga aylantiriladi. Bunga misol qilib  ${}^9\text{Ve}$ ,  $\text{Mg}$  nishonlarini ko'rsatish mumkin.  ${}^9\text{Ve}$  elementi vakuumda bug'lantirish orqali mis taglikka o'tqiziladi. Keyinchalik mis taglik  $\text{HNO}_3$  kislotasining kuchsiz eritmasi yordamida eritilib, olib tashlanadi. Olib tashlash jarayonida juda ehtiyot bo'lish lozim, chunki juda yupqa  ${}^9\text{Ve}$  plyonkasi mo'rt bo'lganligi sababli sinish ehtimolligi bor. Misni eritish jarayonida  ${}^9\text{Ve}$  plyonkasini sinishini oldini olish uchun nishonni tayyorlash metodikasi ishlab chiqilgan. Nishonni tayyorlashdan oldin bu metodika bilan tanishib chiqish lozim.

### **Nishonlarni tayyorlashda ishlatiladigan vakuum qurilmalari**

Nishonlarni tayyorlash usullari ichida o'zining yuqori parametrlari bo'yicha vakuumda bug'lantirish usuli alohida ajralib turadi. Bu usul orqali qalinligi o'ta yupqa, silliqlik darajasi yuqori bo'lgan nishonlarni olish mumkin. Nishonlarni tayyorlashda vakuum qurilmalari kerak bo'ladi. 1-jadvalda hozirgi

vaqtda keng miqyosda ishlatilayotgan vakuum qurilmalari va ularga tegishli kattaliklar berilgan.

1-jadval. Vakuum qurilmalari va ularga tegishli kattaliklar.

Qurilmaga tegishli katta-liklar.	VUP-2K	VUP-4	VUP-5M
Suv bilan sovutilgan ish hajmidagi qoldiq xavoning bosimi, Pa	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Suyuq azot bilan sovutilgan ish hajmidagi qoldiq xavoning bosimi, Pa	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Xavoni so'rish uchun ketgan vaqt, min.	25	30	60
Bug'lantirish moslamasining cho'g'lantirish tolasidagi tok kuchi, A.	100	200	200
Bug'lantirish moslamasiga beriladigan kuchlanish, V.	0-12	0-12	0-12
Taklik haroratining o'zgarish sohalari, °S	(-150+1100) °S	(-150+1100) °S	(-150+1100) °S
Bug'lantiruvchilar soni	3	3	3
Yuqori kuchlanish to'g'ri lagich chiqishidagi kuchlanish, kV.	10	10	7
Miltillama razryad toki, mA	50	50	50
Qurilmaning quvvati, kVt	3	3.5	5

VUP-2K va VUP-4 qurilmalarida bug'lantirish elektr toki yordamida qizdirish orqali amalga oshiriladi. VUP-5M qurilmasida esa qizdirish elektron nurlari orqali amalga oshiriladi. Bu qurilmalarda forvakuum va moy bug' nasoslari ishlatiladi.

### Yadro nishonlarini tayyorlash texnologiyalari

Yadro nishonlarini tayyorlashda turli usullar qo'llaniladi. Nishonlarni tayyorlashda ularga qo'yilgan barcha ta'lablar e'tiborga olinadi. Nishon izotopining fizikaviy va kimyaviy xossalari asosan, tayyorlash texnologiyasi tanlab olinadi. 2-jadvalda turli nishonlarni termik bug'lantirish yordamida tayyorlash texnologiyalari ko'rsatib o'tilgan.

2-jadval. Turli nishonlarni termik bug'lantirish yordamida tayyorlash texnologiyalari

Texnologiya	Ishlatilish sohasi	Nishon tay-yorlanadigan izotop	Nisbon qalinligi, mg/sm <sup>2</sup> (mkm)	Izoh
1	2	3	4	5
Vakuumda elektron oq-imi yordamida bug'lantirish.	Erish haro-rati $t \geq 2000$ °S dan katta bo'lgan elementlar.	B, Si, Ti, Mo  Nb, Zr, Os, Ta	0.1 - 0.5  0.0 - 1.0	Taglik sifati da Al, Cu ishlatiladi.

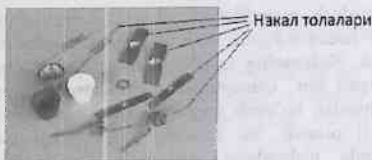
Vakuumda termik bug'-lantirish.	Erish haro-rati $t \geq 200$ °S dan katta bo'lgan elementlar.	Li, Be, Mg, Al, Si, Ti, Sc, V, Mn, Cu, Zn, Gs, Ge, Se, Y, Ag, Cd, In, Pb, Sn, Au.	0.1 - 1.0	
		Bi	0.1 - 50.0	
		(CH <sub>2</sub> ), (CD <sub>2</sub> )	0.01 - 10.0	
		<sup>12</sup> C, <sup>13</sup> C	0.002 - 1.0	Elektr yoyi orqali bug'-lantirish.
Vakuumda oksidlar tar-kibidagi me-tallarni termik tik-lash.	Oson oksidlanuvchi elementlar	Mg, Ba, Nd, Sm, Dy	0.1 - 1.0	Taglik sifatida Al. Cush-tiladi.
Florid izo-toplarini vakuumda ter-mik bug'-lan-tirish.	Oson oksidlanuvchi va erish harorati yuqori bo'lgan materiallar.	Li, Na, Ca, Zr, Hf, Sm, Eu, Yb, Dy	0.01 - 0.2	Taglik sifatida Al. Cush-tiladi.

Nishon tayyorlash metodikalari tobora takomillashib bormoqda. Ular orqali qalinligi bir necha  $\text{mkg}/\text{sm}^2$  dan  $50 \text{ mg}/\text{sm}^2$  gacha bo'lgan nishonlarni tayyorlash mumkin. Nishonning tekislik darajasi  $\sim 1.5\%$  bo'lgan nishonlarni tayyorlash imkoniyati bor. Olinayotgan nishonlarning diametri  $10 \div 40$  mm oraliqidadir. 2-jadvaldan ko'rinib turibdiki, ko'p nishonlar vakuumda termik bug'-lantirish orqali olinadi. Bu ishlarda turli tipdagi vakuum qurilmalari ishlatiladi. 1-rasmda nishonlarni vakuumda termik bug'-lantirish orqali tayyorlash qurilmasi ko'rsatilgan (vakuum nasosi ko'rsatilmagan). Bug'-lantirish jarayonlari oynali shisha idish ichida olib boriladi. Idish ichidagi havo vakuum nasosi yordamida tortib olinadi. Idish ichida ikkita elektrodlar bo'lib, ularga 10-20 V atrofida kuchlanish beriladi. Elektrodlar bir biriga qizdirish tolalari orqali ulanadi. Tolalarning qarshiligi yetarli darajada kattadir. Tolalar turli ko'rinishlarda bo'ladi. 2-rasmda qizdirish tolalarining bir nechtasi ko'rsatilgan. Nishon materiali parashok ko'rinishida bo'lsa, bu holda tola sifatida o'rtasida chuqurchasi bo'lgan tolni ishlatish kerak bo'ladi. Tola ko'pincha erish harorati yuqori bo'lgan tantal yoki volfram materiallardan tayyorlanadi. Nishon tayyorlanayotgan vaqtda tola qizg'ish rangda tovlanadi. Bug'-lantirilayotgan elementni katta tezlikda bug'-lantirish tavsiya etilmaydi. Bunga sabab bug'-langan atomlarning sirtga o'tirishi turli joylarda turlicha bo'ladi va natijada

nishonning tekislik darajasi buziladi. Demak, bug'lantirish asta sekinlik bilan amalga oshirilishi lozim. Bug'langan atomlarning sirtga o'tiradigan joyini taglik deb ataylik. Nishonlarni tayyorlashda tola bilan taglik orasidagi masofa katta ahamiyatga ega. Shu sababli bu masofani aniq topish kerak bo'ladi. Masofaning kichik olinishida nishonning tekislik darajasi unchalik yaxshi bo'lmaydi. Masofaning katta olinishida esa, vaqtdan yutqiziladi (nishon tayyorlash jarayoni uzoq davom etadi). Demak, bulardan shunday xulosani chiqarish mumkinki, masofani tanlash muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Nishonni tayyorlanish jarayoni kuzatib boriladi. Ba'zi tajribalarda taglik materiali sovutilgan. Bunda bug'langan atomlarning taglikka o'tirishi yaxshilanganligi kuzatilgan.



1-rasm. Vakuumda termik bug'lantirish qurilmasi



2-rasm. Qizdirish tofalari

Ushbu laboratoriya ishida Mg nishonini tayyorlash yo'llarini o'rganamiz. Nishon materiali sifatida ximiyaviy toza tabiiy Mg elementidan foydalanamiz. Magniying uchta izotopi mavjud bo'lib, ularning tabiatda tarqalishi quyidagicha:  $^{24}\text{Mg}$  (78,7 %),  $^{25}\text{Mg}$  (10,13 %),  $^{26}\text{Mg}$  (11,17 %). Agar boyitilgan nishonlar kerak bo'lsa, bu holda nishon materiali ham boyitilgan bo'lishi lozim. Laboratoriya ishini quyidagi tartibda amalga oshirish kerak.

### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Nishon moddasining massasi aniq tarozi yordamida topiladi. Nishon qalinligini bilgan holda nishon moddasining massasi hisoblab topiladi.
2. Termik bug'lantirish qurilmasidagi havo kiritish klapanlari berkitiladi.
3. Elektrodlar orasiga qizdirish tolasi joylashtiriladi. O'rtasida chuqurligi bor bo'lgan tola o'rnatiladi. Ichida hech narsa yo'q.
4. Shisha idish o'rnatiladi va vakuum nasosi ishga tushiriladi. Shisha idish ozgina ushlab turiladi. Havo so'rila boshlaganda shisha idish mahkam o'mashib qoladi.
5. 30 minutlardan so'ng, vakuum normal holatiga keladi. Buni vakuummetr orqali ko'rib boriladi.
6. Asta-sekinlik bilan tolaga kuchlanish beriladi. Tok kuchining qiymati kuzatilib boriladi. Tolaning qizishini oq rangda tovlanishigacha olib borish lozim. Shu orqali tola tozalanadi.
7. Kuchlanishning qiymati sekinlik bilan olib tashlanadi. Vakuum olish klapani berkitiladi. Shisha idish ichiga havo kiritiladi.
8. Shisha idish olinadi. Tolaning chuqurchasiga massasi o'lchangan ximiyaviy toza NaCl tuzi solinadi. Toladan ma'lum masofa uzoqlikka shisha taglik o'rnatiladi. U doira shaklida bo'lib, diametri 2 sm ga tengdir.
9. Shisha idish o'rnatiladi va vakuum klapani ochiladi. Shisha idish ozgina ushlab turiladi. Havo so'rila boshlaganda shisha idish mahkam o'mashib qoladi.
10. Asta-sekinlik bilan tolaga kuchlanish beriladi. Tok kuchining qiymati kuzatilib boriladi. Shisha idish ichida oq tusli bug'lar paydo bo'ladi. Osh tuzi to'liq bug'lanib ketadi (ko'rish mumkin). Shisha taglik yuzasiga bug'lar borib o'tiradi.
11. Kuchlanishning qiymati sekinlik bilan olib tashlanadi. Vakuum olish klapani berkitiladi. Shisha idish ichiga havo kiritiladi.
12. Shisha idish olinadi. Ichki qismlari tozalanadi. Shisha taglik olinadi. Uning sirtida oq rangli qatlam paydo bo'lgan bo'lishi lozim.
13. Shisha idish o'rnatiladi va vakuum klapani ochiladi. Shisha idish ozgina ushlab turiladi. Havo so'rila boshlaganda shisha idish mahkam o'mashib qoladi.
14. Asta-sekinlik bilan tolaga kuchlanish beriladi. Tok kuchining qiymati kuzatilib boriladi. Tolaning qizishini oq rangda tovlanishigacha olib borish lozim. Shu orqali tola qayta tozalanadi.
15. Kuchlanishning qiymati sekinlik bilan olib tashlanadi. Vakuum olish klapani berkitiladi. Shisha idish ichiga havo kiritiladi.
16. Shisha idish olinadi. Tolaning chuqurchasiga massasi o'lchangan ximiyaviy toza Mg kukuni solinadi. Sirtida oq rangli qatlami bo'lgan shisha taglik yana o'z joyiga olib borib qo'yiladi.
17. Shisha idish o'rnatiladi va vakuum klapani ochiladi. Shisha idish ozgina ushlab turiladi. Havo so'rila boshlaganda shisha idish mahkam o'mashib qoladi.

18. Asta-sekinlik bilan tolaga kuchlanish beriladi. Tok kuchining qiymati kuzatilib boriladi. Shisha idish ichida bug'lanish jarayoni boshlanadi. Idish devorlari qora rangga o'ta boshlaydi. Tokni katta berish kerak emas. Bu jarayon ~20 minut davom etadi. Mg elementini to'liq bug'lanib ketishigacha davom etadi.
19. Kuchlanishning qiymati sekinlik bilan olib tashlanadi. Vakuum olish klapani berkitiladi. Shisha idish ichiga havo kiritiladi. ~10 minut davomida sovishi kuzatiladi.
20. Shisha idish olinadi. Ichki qismlari tozalanadi. Shisha taglik olinadi. Oq rangli qatlam ustida qora rangli yangi qatlam paydo bo'lgan bo'ladi.
21. Il disterlangan suv kerak bo'ladi. Bu suvning ichiga qiyalatilgan holatidagi shisha taglik kiritiladi. Shisha taglik yuzasidagi NaCl qatlami erib ketadi va qora tusli Mg qatlami ajraladi.
22. Mg qatlami ramaga o'rnatiladi. So'ngra uning qalinligini o'lchash mumkin.

#### Nazorat savollari:

1. Nishon tayyorlashning qanday usullari bor?
2. Nishon tayyorlashning usuli nimalarga asosan tanlanadi?
3. Nishonning qanday turlari bor?
4. Cho'ktirish usuli nimaga asoslangan?
5. Nishondagi taglik nimalarga ko'ra tanlanadi?
6. Nima sababdan oksidlanuvchi nishonlar yog' ichida saqlanadi?
7. Tayyorlanayotgan nishon qalinligini qanday hisoblash mumkin?
8. NaCl qatlami qanday vazifani bajaradi?
9. Nima uchun termik bug'lantirish vakuum ostida amalga oshiriladi?

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Pod.red. L. Mayssela, G.G. Glenga // *Texnologiya tonkix plenok*, M: "Sovetskoe radio", 1977.
2. A.P. Kondrashov, Ye.V. Shestopalov // *Osnovy fizicheskogo eksperimenta i matematicheskaya obrabotka rezultatov izmereniy*, M: Atomizdat, 1977.

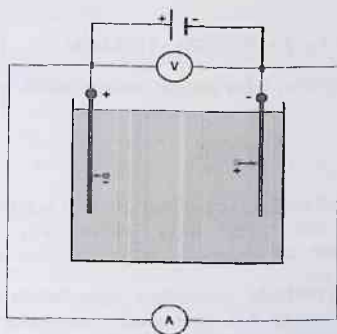
## № 41. Laboratoriya ishi

### Yadro nishonlarini elektroliz usuli yordamida tayyorlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Yadro nishonlarini elektroliz usuli yordamida tayyorlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Nishon tayyorlanadigan moddalar; Shisha idish; izolyator (orgsteklo); misdan tayyorlangan katod; o'zgarmas tokka mo'ljallangan voltmetr; o'zgarmas tokka mo'ljallangan ampermetr; o'zgarmas tok manbai.

**Nazariy qismi:** Yadro nishonlarini tayyorlashning bir qator usullarini 38-, va 39-laboratoriya ishlarida ko'rib chiqqan edik. Ushbu laboratoriya ishida esa yadro nishonlarni elektroliz usuli orqali tayyorlash yo'llarini ko'rib o'tamiz. Yadro nishonlarini tayyorlash og'ir vazifalardan biri hisoblanadi. Tayyorlanadigan nishonlarga bir qator quyidagi talablar qo'yiladi: Sifati yuqori darajada bo'lsin, ximiyaviy toza bo'lsin, nishonning butun sirti bo'ylab tekislik darajasi bir xilda bo'lsin, erkin holatdagi plastinka ko'rinishida olish mumkin bo'lsin. Nishonlar tayyorlanadigan toza materiallarni topish ancha qiyin, shu sababli ular juda qimmatlidir. Yadro fizikasi tajribalarida o'ta yupqa qalinlikdagi (mikron) nishonlar ishlatiladi. Bu usul bilan nishonlarni tayyorlash elektrolitlardan elektr tokini o'tishiga asoslangan. Elektrolit deb shunday eritmaga aytiladiki, undagi molekularlar dissotsiatsiya jarayonida musbat (kationlar) va manfiy (anionlar) ionlarga parjalanadi. Agar bu eritmaga ikkita elektrod tushirib, ularga ma'lum kuchlanish berilsa, elektr toki paydo bo'ladi. Elektrolitlarga asosan kislotalarni, tuzlarni va ishqorlarni suvdagi eritmaları kiradi. 1-rasmda elektroliz jarayonining elektr zanjiri ko'rsatilgan. Elektrodlar orasiga berilgan kuchlanishning qiymati voltmetr yordamida o'lchanadi. Kuchlanish berilganda elektrolitdagi ionlar harakatga keladi. Manfiy ionlar musbat qutbli, musbat ionlar esa manfiy qutbli elektrodlar tomonga qarab harakatlanishadi. Natijada elektrolitdan tok o'ta boshlaydi. Elektroliz jarayoni Faradeyning birinchi va ikkinchi qonunlari orqali tushuntirib beriladi. Katodda (manfiy qutbda) metall yoki vodorod yig'iladi. Molekulalarning qoldig'i esa anodda to'planadi.



1-rasm. Elektroliz jarayonining elektr zanjiri



Elektroliz jarayonida ajralib chiqqan moddaning massasi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$m = Kq, \quad (1)$$

bu yerda  $m$ -ajralib chiqqan moddaning massasi, kg (mg);  $q$ -elektrolitdan o'tayotgan zaryad miqdori, Kl;  $K$ -elektrokimyoviy ekvivalent. Zaryad miqdorini tok orqali ifoda qilamiz:

$$q = I \cdot t, \quad (2)$$

bu yerda  $I$ -elektrolitdan o'tgan tok kuchi, A;  $t$ -tokning o'tish vaqti, sek.

(2)-ifodani (1)-ifodaga olib borib qo'yilsa, quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$m = K \cdot I \cdot t \quad (3)$$

Zaryad miqdorining bir xil qiymatida, turli elektrolitlardan ajralib chiqayotgan modda massasi, molyar massaning valentlikka bo'lgan nisbatiga proporsional holatida bo'ladi: Ya'ni,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{\frac{M_1}{Z_1}}{\frac{M_2}{Z_2}}, \quad (4)$$

bu yerda  $M$ -molyar massa, kg/mol;  $Z$ -valentlik.

Turli elektrolitlardan 1 mol modda miqdorini ajratib olish uchun doimo bir xilda zaryad miqdori kerak bo'ladi. Buni aniqlash uchun Avagadro sonini zaryad miqdoriga ko'paytirish kerak. Bu ko'paytma Faradey soni ( $F$ ) deb yuritiladi.

$$F = N_A \cdot e = 9,648456 \cdot 10^4 \text{ Kl/mol} \quad (5)$$

Elektrokimyoviy ekvivalent bilan Faradey soni o'rtasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$K = \frac{M}{ZF} \quad (6)$$

Elektroliz metodi yordamida quyidagi izotoplar uchun yadro nishonlarini tayyorlash mumkin: reny, osmiy, iridiy, platina, talliy, qo'rg'oshin, oltin, vismut, nikel, qalay, mis, ruh, temir, xrom, kobolt va boshqalar.

**Elektrolitlarni tayyorlash:** Nishonlarni tayyorlashda eritmalar tarkibini aniqlash asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Nishonning sifati va tozaligi eritmalarining tayyorlanishiga bog'liq bo'ladi. Har xil nishonlarni tayyorlashda

tarkibi turlicha bo'lgan eritmalar ishlatiladi. Nikel elementidan nishon tayyorlashda ishlatiladigan eritmani qanday tartibda tayyorlash yo'llarini ko'rib o'tamiz.

### Nikel.

Nikel-metall bo'lib, zichligi  $8,8 \text{ g/sm}^3$  ga, atom massasi 58,69 ga, valentligi 2 ga, erish harorati  $1450 \text{ }^\circ\text{S}$  ga teng. Nikelning izotop tarkibi quyidagicha:  $^{58}\text{Ni}$ -67,76%;  $^{60}\text{Ni}$ -26,16%;  $^{61}\text{Ni}$ -1,25%;  $^{62}\text{Ni}$ -3,66%;  $^{64}\text{Ni}$ -1,16%.

Elektrolitni tayyorlashning bir nechta usuli bo'lib, ular ichida sitrat usuli o'zining soddaligi va effektivligi bilan boshqalardan ajralib turadi.

**Elektrolitning tarkibi:**  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 40 \text{ g/l}$

$2\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 - 35 \text{ g/l}$

Elektroliz olib boriladigan sharoit: eritmaning harorati  $50-70 \text{ }^\circ\text{S}$ ; tok zichligi  $0,7 \text{ A/dm}^2$ ;  $\text{RN}=4$ . Xom ashyo sifatida nikelning oksidi ishlatildi.  $\text{NiSO}_4$  birikmasini olish uchun Ni oksidi, konsentratsiyasi yuqori bo'lgan  $\text{HNO}_3$  yordamida eritiladi. So'ngra bu aralashmaga bir nechta tomchi  $\text{N}_2\text{SO}_4$  birikmasi tomiziladi. Keyinchalik bu eritma qumli pech yordamida bug'lantiriladi. Natijada  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  tuzi olinadi. Elektrolitning tok o'tkazish qobiliyatini oshirish uchun tayyor bo'lgan eritmaga qo'shimcha  $\text{H}_2\text{O}$  va sitrat natriy birikmasi kiritiladi.

Elektroliz orqali olingan nikel qatlami qalinligi 15 mikron bo'lgan mis taglikka yotqiziladi. Misga yotqizilgan nikel plastinkasi alyuminiydan tayyorlangan halqaga BF-4 kleyi yordamida maxkamlanadi. So'ngra mis qatlami tarkibi quyidagicha bo'lgan eritma yordamida olib tashlanadi:  $\text{CrO}_3 - 250 \text{ g/l}$ ;  $\text{N}_2\text{SO}_4 - 25 \text{ g/l}$ .

### Tajribani bajarish tartibi:

1. Yuqorida ko'rsatilgan tartibda eritma tayyorlanadi.
2. 1-rasmga ko'ra tajriba qurilmasi yig'iladi.
3. Katodga mis plastinkasi o'rnatiladi.
4. Elektrodlar orasiga belgilangan kuchlanish beriladi.
5. Tok kuchining zichligi nazorat qilib turiladi. Uning qiymati  $0,7 \text{ A/dm}^2$  atrofida bo'lishi lozim. Tok zichligini katta bo'lib ketishi salbiy oqibatlariga olib keladi (nishon sirtining tekislik darajasi buziladi).
6. Belgilangan vaqtdan so'ng elektroliz jarayoni to'xtatiladi. Tajribani o'tkazilish vaqti elektrolitdan o'tgan tok qiymatiga ko'ra hisoblanadi (bunda albatta nishon qalinligi e'tiborga olinadi).
7. Elektrodlarga berilgan kuchlanish olib tashlanadi va elektrodlar asta - sekinlik bilan chiqarib olinadi.

8. Katod elektrodi quritiladi va undan yuzasiga nikel qoplangan mis plastinkasi ajratib olinadi.
9. Mis plastinkasi alyuminiydan tayyorlangan halqaga BF-4 kleyi yordamida mahkamlanadi. Kleyning qotishi kutiladi.
10. Oldindan tayyorlangan eritma yordamida nishondagi mis qatlami eritib tashlanadi. Eritishda nishon  $45^\circ$  burchak ostida qiyalatiladi va yuqori qismidan tayyorlangan eritma tomiziladi. Erish jarayoni boshlanadi. Tomizilish mis qatlamining to'liq erib ketgunicha davom ettiriladi.
11. Mis to'liq eritilganidan so'ng, nishon sirti distillangan suv yordamida yuviladi.
12. Nishon xona haroratida quritiladi.
13. Nishonning qalinligi o'lchanadi.
14. Nishonning qalinligini  $\alpha$ -zarrachalar yordamida aniqlash mumkin.

### **Nazorat savollari:**

1. Elektroliz usuli yordamida qanday nishonlarni tayyorlash mumkin?
2. Elektroliz usulini tushuntirib bering.
3. Nikelni tayyorlash uchun qanday eritma ishlatiladi?
4. Faradeyning ikkinchi qonunini aytib bering?
5. Nima uchun tok kuchining zichligini nazorat qilib turish kerak?
6. Metall qaysi elektrodda borib o'tiradi?
7. Nishon tagligidagi mis qoplami qanday olib tashlanadi?
8. Nishon qalinligi qanday aniqlanadi?

### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. L.A. Smirina, O.A. Jukova// Izotopnyye misheni dlya yadernyx issledovaniy, Preprint 6-80, Alma-Ata, 1981.
2. A.P. Klyucharyov i dr.// Tonkie plenki izotopov metallov dlya yadernyx issledovaniy, Preprint, Xarkov, 1968.

## IX BOB

### ZARRACHALAR SPEKTROMETRI VA YADRO REAKSIYALARI

#### № 42. Laboratoriya ishi

##### Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometri

**Ishdan asosiy maqsad:** Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometri bilan yaqindan tanishish. Neytron zarrachalarining energiyasini aniqlash usullarini o'rganish. Neytron detektorlari bilan bevosita ishlash va ularni ishga tushirish.

**Kerakli jihozlar:** Neytron detektorlari; yadro nishoni; neytron spektrometri; EHM; boshqarish pulti.

**Nazariy qismi:** Atom yadrosiga tegishli spektrometrik ma'lumotlarni olishda va reaksiyalarning sodir bo'lish mexanizmlarini o'rganishda neytron zarrachalari muhim rol o'ynaydi. Bundan tashqari neytron fizikasi amaliyotda ham keng qo'llanilib kelinmoqda. Atom energetikasida, astrofizikada, dozimetriyada, meditsinada, radionuklidlar ishlab chiqarishda, modda tarkibini tekshirishda va boshqa sohalarda ishlatilmoqda. Neytron zarrachasining energiyasini o'lchash yadro spektrometriyasida eng og'ir vazifalardan biri hisoblanadi. U moddalardan o'tganda ionlashtirish jarayonini sodir qilmaydi. Shu sababli neytronlarni qayd qilish yadro ta'sirlashishi orqali amalga oshadi. Neytronlar energiyasiga qarab yadrolar bilan elastik yoki noelastik ta'sirlashadi. Shu asosda neytron moddaga o'z energiyasini beradi. Energiyasining moddaga berilishi orqali uni qayd qilish mumkin bo'ladi. Neytronlarni yadrodagi nuklonlarga qilgan ta'siri natijasida zaryadli zarrachalar va gamma kvantlari paydo bo'lishi mumkin. Ularni o'rganish orqali neytronlar oqimining quvvatini va energiya bo'yicha taqsimotini aniqlash mumkin. Neytronlar spektrini zaryadli zarrachalar yuzaga keltirgan reaksiyalar orqali o'rganish neytron fizikasida eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Yengil va o'rtacha yadrolarda olib borilgan reaksiyalarda asosan neytronga tansiq radioaktiv yadrolar hosil bo'ladi. Bu yadrolarni o'rganish (p,n), (d,n), (<sup>3</sup>He,n), (<sup>4</sup>He,n) va boshqa yadro reaksiyalari orqali amalga oshiriladi. Reaksiya mahsulini bo'lgan neytronlarni qayd qilish va ularning energiyasini aniqlash masalasi paydo bo'ladi. Neytronning energiyasiga qarab aniqlash usuli tanlanadi. Yuqori energiyali neytronlarning energiyasini aniqlashda asosan uchush vaqtiga asoslangan neytron spektrometri ishlatiladi. Hozirda bu spektrometrlar neytron fizikasi bilan shug'ullanayotgan barcha laboratoriyalarda qo'llanilmoqda.

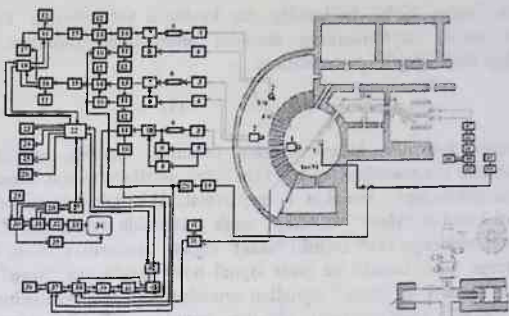
Amaliyotda yuqori energiyali monoxromatik neytronlar juda kerak bo'ladi. Ularni faqat yengil yadrolardagi yadro reaksiyalari yordamida olish mumkin. Bunga sabab reaksiya natijasida hosil bo'lgan yadroning energetik sathlari bir biridan yetarli darajada uzoqda joylashganligidir.

### Tajriba qismi:

Yuqori energiyali neytronlarni o'rganishda uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometrlari qo'llaniladi. Spektrometrlarning blok-sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan. Bu usulni ishlatishda tezlatkichlarga bir qator quyidagi talablar quyiladi:

1. Tezlatkichda tezlashtirilayotgan zarrachalar oqimining vaqt bo'yicha o'tish davomiyligi kichik bo'lishi kerak (1-3 nsek). Bu vazifa hozirda hal qilingan.
2. Neytron spektrometrlarning dinamik diapazonini oshirish uchun zarrachalar oqimi to'plamining bir qismini ushlab qolish (promyogovaniya) sistemasini ishga tushirish.
3. Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometrlarini yaxshi ishlashi tezlatkichda tezlashtirilgan zarracha oqimining bir qator parametrlariga bog'liqdir. Masalan, zarracha oqimining turg'unlik darajasiga, tok kuchining kattaligiga.
4. Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometri uchun katta uchish masofalari kerak bo'ladi. Uchish masofalari 100 m ga teng bo'lgan zallar qurilgan.

1-rasmdan ko'rinib turibdiki, U-150 tipdagi siklotronning qurilishida neytronlarni uchish vaqtiga ko'ra o'lchash vazifalarini bajarish ko'zda tutilgan. Uchish masofalariga ega bo'lgan ikkita zal mavjud bo'lib, birinchisi doiraviy zal (zal. N1), unda uchish masofasi 5 m ga tengdir. Ikkinchi zal yarim doira shaklida bo'lib, unda uchish masofasi 20 m ga tengdir. Ikki zal oraligi qalinligi 4 m bo'lgan maxsus beton g'ishtlar bilan to'silgan. Bu to'siqlarda nishon markazi balandligida  $0^\circ \div 150^\circ$  burchak oraligida  $10^\circ$  qadam oraligida tirqishlar ochilgan. Yarim doira shaklidagi zalda joylashgan neytron detektor, doira shaklidagi zalga o'rnatilgan neytron kamerasi ichiga o'rnatilgan yadro nishonni ko'rad. Bunday qalinlikdagi beton devorning o'rnatilishiga sabab keraksiz nurlanishlardan himoyalinishdir. Doiraviy zalning (zal. N1) markaziga neytron kamerasi o'rnatilgan. Kamera ichiga o'rnanilayotgan yadro nishonlari (10 donagacha) joylashtiriladi. Nishonlarni o'lchash xonasidagi boshqarish pult orqali avtomatik ravishda o'zgartirish mumkin.



1-rasm. Neytron spektrometrining blok-sxemasi

Neytron detektorlari sifatida organik kristalli ssintillyatsion detektorlar ishlatilgan. Kristalning o'lchami 50x50 mm ga teng. Bitta detektor (1) doiraviy zal (zal. N1) ichiga o'rnatilgan. Bu detektor yordamida kichik masofalardagi o'lchash ishlari bajariladi. Fon sanoqlarini kamaytirish maqsatida detektorning nishonga qaragan oldi tamonidan boshqa hamma tamonlari qo'rg'oshin va neytron to'xtatgichlar bilan o'ralgan. Yarim doira shaklidagi zalga esa 2 ta neytron detektorlari o'rnatilgan. Birida stilben kristali ishlatilgan, uning o'lchami 50x50 mm ga teng, ikkinchi detektorda esa plastmass kristali ishlatilgan, uning o'lchami 100x50 mm ga teng. Neytron detektoridan olingan signallar kabellar orqali o'lchash xonasidagi neytron spektrometriga uzatilgan. Detektorlarni turli burchalarga va turli masofalarga olib borish orqali o'lchash ishlari amalga oshiriladi.

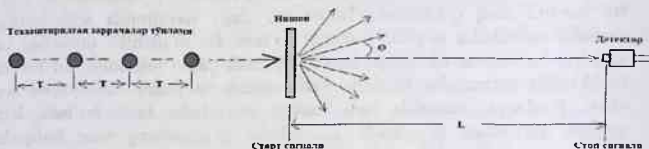
Uchish vaqtiga asosan neytronlarning energiyasini aniqlash usuliga to'xtalib o'tamiz. 2-rasmda tajriba geometriyasining soddalashtirilgan ko'rinishi berilgan. Detektor yadro nishoniga nisbatan L masofaga qo'yilgan. Bu masofa aniq o'lchanadi. Bizga ma'lumki siklotronda tezlashtirilgan zaryadli zarrachalar to'plam holatida bo'ladi. Bu to'plamlar orasidagi vaqt kattaligi har doimo bir biriga tengdir. Demak yadro nishoniga bir hil vaqt oraliklarida zarrachalar to'plami kelib uriladi va yadro reaksiyasini sodir etadi. Reaksiya natijasida turli turdagi zarrachalar hosil bo'ladi. Bizni neytron zarrachasi qiziqtiradi. Zarrachalar to'plamining vaqt birligidagi o'tish davomiyligi 1-3 nsek atrofidadir. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, bu to'plam nishonga kelib uriladi va juda qisqa vaqt davomida yadro reaksiyasini sodir etadi. Reaksiya natijasida turli tezlikka (energiyaga) ega bo'lgan neytronlar hosil bo'ladi. Neytronlar turli burchaklar bo'yicha tarqaladi. Tezligi katta bo'lgan neytronlar detektorga birinchi bo'lib yetib

boradi. Tezligi kichik bo'lganlari esa keyinroq yetib boradi. Bu yerdagi asosiy vazifa neytronlarning tezligini aniqlashdan iboratdir. Tezlikni quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$v=L/\Delta t, \quad (1)$$

bu yerda  $L$ -nishon bilan detektor orasidagi masofa,  $m$ ;  $\Delta t$ -neytron zarrachasini shu masofani bosib o'tishi uchun sariflagan vaqti. Masofani juda katta aniqlikda topish mumkin. Asosiy masala  $\Delta t$  kattaligini topishdan iborat.  $\Delta t$ -vaqt kattaligi "start" va "stop" usuli yordamida aniqlanadi. Zarrachalar to'plamini nishonga kelib urilishi "start" signali vazifasini o'taydi. Neytronni detektorga yetib borishi va unda signal hosil qilishi esa "stop" signalini o'taydi. "start" va "stop" signallari orasidagi vaqtni topish uchun "T-A"-yoki "T-K"-konvertorlarni ishlatish mumkin. "T-A"-moslamada vaqt amplitudaga, "T-K"-moslamasida esa, vaqt to'g'ridan to'g'ri kodga aylantiriladi. "T-A" konvertorda asosiy vazifani kondensator bajaradi. "start" signalining berilishi bilan kondensator zaryadlanishni boshlaydi. "stop" signali kelishi bilan zaryadlanish jarayoni to'xtaydi. Kondensatorda to'plangan zaryad miqdoriga ko'ra uchush vaqti baholanadi. "T-K"-moslamasida esa "start" va "stop" oraliklaridagi soha yuqori chastotali generator signallari bilan to'ldiriladi. Generator signallari orasidagi vaqt kattaligi aniq bo'lganligi uchun  $\Delta t$  kattaligi qiyinchiliksiz aniqlanadi. Bu ishlarda kvarts generatorlari qo'llaniladi.

3-rasmda neytron spektrometrining soddalashtirilgan sxemasi berilgan. Bizga ma'lumki tezlakchilar uzuliksiz yoki impulsli rejimlarda ishlaydi. Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometrlarida impulsli rejim kerak bo'ladi. Siklotron tezlakchining ish protsessi davomida zarrachalar to'plami impulsli ko'rinishda bo'ladi. Bu o'z navbatida siklotronlarda uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometrlardan foydalanish mumkinligiga yo'l ochib berdi. "start" signali vaqming boshlanishini belgilaydi va 0 ga teng deb olinadi. Sintillyatsion



2-rasm. Tajriba geometriyasi

schetchikdan turli amplitudali signallar vaqt analizatorining ikkinchi kirishiga beriladi va "stop" sigali vazifasini o'taydi. Vaqt analizatorida



3-rasm. Neytron spektrometrining soddalashtirilgan sxemasi

“start” va “stop” signallari orasidagi vaqt aniqlanadi va neytron spektrlari energiya bo‘yicha turlarga ajratiladi. Amplituda selektori yordamchi vazifani bajaradi. Bu asbob yordamida keraksiz sohalarni olib tashlash mumkin. Amplituda selektoriga schetchikning dinod signali beriladi. O‘lchashlar nsek sohalarida olib borilayotganligi sababli selektorlarning tezligi juda katta bo‘lishi lozim.

Neytron spektrometriyasida eng qiyin masala bu “start” signalining olinishidir. Bu signalni olishning bir qator yo‘llari ishlab chiqilgan. Quyida bu masalaga qisqacha to‘xtalib o‘tamiz:

1. “start” signalini duantlarga beriladigan yuqori kuchlanishdan olish mumkin. Bu usul dastlabki vaqtlarda keng ishlatildi va ishlatilib kelinmoqda. “start” signali yuqori kuchlanish generatoridan olinadi. Yuqori kuchlanishning grafigi sinusoida shaklida bo‘lib, unga bog‘langan holda “start” signali olinadi. Bu usulning bir qator kamchiliklari bor. Asosiy kamchiligi siklotronning ish rejimi o‘zgarganda, “start” signalining vaqt metkasi  $\pm 10$  nsek oraligida surilishi mumkin. Bu kattalik aniq o‘lchashlar uchun yaroqsizdir. Demak bundan shunday xulosani chiqarish mumkinki, siklotron bitta rejimda ishlab turganda neytron spektrometrini ishlatish mumkin. Agar biror sababga ko‘ra, siklotronning ish rejimida biror tuzatishlar amalga oshirilsa, u holda neytron spektrometrida ham sozlash ishlarini bajarishga to‘g‘ri keladi. Bu aytilgan narsalar tajriba davomida kuzatib boriladi. Agar nosozlik paydo bo‘lsa, o‘lchanayotgan spektrlarda vaqt bo‘yicha ajratish qobiliyatining keskin yomonlashishi kuzatiladi.

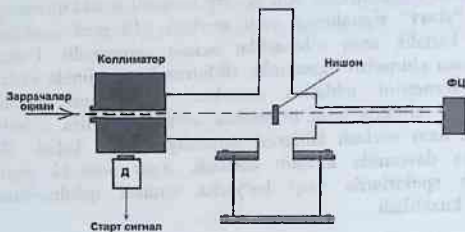
2. “start” signalininishonga kelib tushgan zarrachalar to‘plamidan olish. To‘plam nishonga kelib urilganda bu yerda turli ko‘rinishdagi yadro reaksiyalari yuz beradi va har doimo  $\gamma$ -kvantlari paydo bo‘ladi.  $\gamma$ -kvantlarining tezligi yorug‘lik tezligiga teng bo‘lganligi uchun qisqa vaqt ichida katta masofalarga



yetib boradi. Har bir to'plam nishonga kelib urilganida kuchli  $\gamma$ -kvantlar paydo bo'ladi. Shu  $\gamma$ -kvantlardan foydalanib "start" signalini olish mumkin. Buning uchun nishon oldiga  $\gamma$ -kvantlarini qayd qiluvchi detektor o'rnatiladi. Detektoring tezligi katta bo'lishi uchun unda ishlatilgan ssintillyatsion kristallning o'lchami juda kichik qilib olinadi. Kristallning qalinligini 0,5-1 mm atrofida olish yetarli bo'ladi. Detektor o'miga mikro kanalli plastinkalardan ham foydalanish mumkin. "Start" signali bu yo'l bilan olinganda bir qator yutuqlarga ega bo'linadi:

1. "start" signali zarrachalar oqimining to'plamidan olinadi. Bunda yuqori kuchlanish fazalariga bo'lgan bog'liqlik yo'q bo'ladi. Siklotronda ro'y beradigan o'zgarishlar ham "start" signaliga ta'sir ko'rsatmaydi. Neytron spektrometning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati yaxshilanadi.

2. Fon sanoqlarining qiymati bir munchaga kamayadi. Buni quyidagicha izohlash mumkin, agar "start" signali yuqori kuchlanish generatoridan olingan bo'lsa, nishonga zarrachalar to'plami tushmagan taqdirda ham (bu holat bo'lishi mumkin) neytron spektrometri ish holatida bo'ladi va fon sanoqlarini sanashda davom etadi. Agar "start" signali zarrachalar oqimining to'plamidan olinayotgan bo'lsa, bu holda "start" signali nishonga zarrachalar to'plami kelib tushgandagina paydo bo'ladi. "Start" signalini olish uchun detektorni (D) nishonning oldiga emas, balki kollimator oldiga qo'yish ham mumkin. Kollimator oldiga detektorni o'rnatish ancha qulay. Zarrachalar oqimining bir qismi kollimatorga kelib uriladi va o'ta kuchli quvvatga ega bo'lgan  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'ladi. Zarrachalarning qolgan qismi nishonga borib tushadi. Detektorda hosil bo'lgan signal neytron spektrometriga uzatiladi. 4-rasmda neytron kamerasi va uning yoniga joylashtirilgan detektor ko'rsatilgan. Neytron kamerasida  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  mm.sim.ustuniga teng vakuum olingan. Vakuum nasoslari doimo ishlab turadi.



4-rasm. Neytron kamerasi

## Neytron spektrometrining ishlash prinsipi

Neytron spektrometrining ishlash prinsipi bilan qisqacha tanishib o'tamiz. Bu quzilmaning blok-sxemasini 1-rasmda ko'rsatilgan. Dairaviy zalga (zal. N1) bitta detektor, yarim doira shaklidagi zalga esa 2 ta neytron detektori o'rnatilgan. Demak bir vaqtning o'zida uchta kanal bo'yicha o'lchashlarni amalga oshirish imkoni bor. Har bir detektor neytron spektrometri bilan ta'minlangan (1, 2). Detektorning anodidan olingan signal formirovatelga (3) uzatiladi. Formirovka qilingan signal kuchiktirish moslamasidan (6) so'ng, tez o'tkazish sxemasiga (7) beriladi. Detektordan olingan ikkinchi anod signali, emitter qaytargichga (4) yoki katod qaytargichga (5) uzatiladi. So'ngra signal amplituda selektoring kirishiga (8) va (n- $\gamma$ ) blokiga (9) beriladi. Tez o'tkazish sxemasidan (7) chiqqan signal taqsimlash blokiga (13) uzatiladi. Taqsimlash blokidan (13) olingan birinchi signal "T-K"-moslamasining (37) "start" kirishiga yoki "T-A"-moslamasining (14) "start" kirishiga beriladi. Taqsimlash blokidan (13) olingan ikkinchi signal odnovibrator (11) orqali moslashtirish sxemasiga (10) uzatiladi. Moslashtirish sxemasining (10) ikkinchi kirishiga, duantlarga beriladigan yuqori kuchlanishdan olingan va (43-50) bloklar yordamida sozlangan "start" signali formirovka (20) qilinganidan keyin beriladi. Moslashtirish sxemasidan (10) olingan signal "T-K"-moslamasiga (37) yoki "T-A"-moslamasiga (14) beriladi. "T-A"-moslamasidan (14) olingan signal kuchaytirilgandan (15) so'ng ko'p kanalli analizatorga (16) beriladi. T-K"-variantida (37) esa to'g'ridan to'g'ri EHM (22) uzatiladi. "T-A"-moslamasining (14) ikkinchi chiqish joyidan olingan signal sanash moslamasiga (12) beriladi. EHM (22) olingan signal pechatlash moslamasiga (17) uzatiladi. Tajriba qurilmasi avtomatlashtirilgan bo'lib EHM orqali boshqariladi. Neytron spektrometri bilan EHM orasidagi bog'lanishda quyidagi KAMAJ bloklari ishlatilgan: generator (21), schetchik (23), magistral indikatori (24), grafik displey (25), vaqt taymeri (26), kontroller (27).

Programma ta'minotining yaratilishida quyidagi bloklar ishlatildi: tok integratori (21), displey (34), territorial sistemasi (27-35).

### Neytron spektrometrining asosiy parametrlari

Neytron spektrometrining asosiy parametrlari bilan tanishib o'tamiz. Asosiy parametrlaridan biri vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati hisoblanadi. Bu kattalik uchish masofasiga bog'liq holda o'zgaradi.

### Vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati

Bu kattalik keyinchalik ajratish qobiliyati ( $\delta$ ) deb yuritiladi. Ajratish qobiliyati ( $\delta$ ) bir nechta kattaliklarga bog'liqdir. Quyida bu kattaliklar bilan tanishib o'tamiz.

1. Neytron impulsining o'tish davomiyligi ( $\Delta t_1$ ). Bu kattalik asosan nishonga kelib tushayotgan zaryadli zarrachalar to'plamining o'tish davomiyligiga bog'liq bo'ladi. Turli spektrometrlarda bu kattalik 1-5 nsek oraligida bo'ladi.

2. Neytron detektorining ajratish qobiliyati ( $\Delta t_2$ ). Bu kattalik ssintilyator va FEK larning xarakteristikalariga bog'liq bo'lib, 2-5 nsek oraligida bo'ladi. Yangi xarakteristikalari yaxshi bo'lgan va takomillashtirilgan FEK ni ishlatish orqali  $\Delta t_2$  qiymatini kichiklashtirish mumkin.

3. Vaqt analizatorining ajratish qobiliyati ( $\Delta t_3$ ). Odatda  $\Delta t_3$  kattaligining qiymati  $< 1$  nsek kichik bo'ladi.

4. "start" signalining olinishidagi vaqt noaniqligi ( $\Delta t_4$ ). Agar signal yuqori kuchlanishga ko'ra olinayotgan bo'lsa, u holda siklotronning fazoviy turg'unligiga bog'liq bo'ladi.

*Neytron spektrometrining to'liq ajratish qobiliyati ( $\Delta t$ ) ushbu ifoda orqali topiladi:*

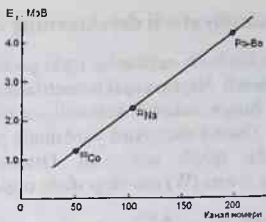
$$\Delta t = \sqrt{(\Delta t_1)^2 + (\Delta t_2)^2 + (\Delta t_3)^2 + (\Delta t_4)^2} \quad (2)$$

Eng yaxshi spektrometrlarning ajratish qobiliyati  $\Delta t \approx 3$  nsek atrofida bo'ladi.  $\Delta t$ -kattaligini tajriba orqali aniqlash mumkin.  $\gamma$ -spektrning yarim b'landligiga ko'ra aniqlanadi.

Amalda, neytron spektrometrning ajratish qobiliyati quyicagi ifoda yordamida aniqlanadi:

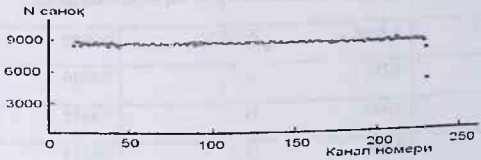
$$\delta(\%) = \frac{2,3\sqrt{E(\text{MeV})}\Delta t(\text{nsek})}{L(\text{m})} \quad (3)$$

(3)-ifodadan ko'rinib turibdiki, spektrometrning ajratish qobiliyati  $\sqrt{E}$  ga bog'liq holda o'zgaradi. Uchish masofasi bu kattalikka yetarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Masofaning ortib borishida spektrometrning ajratish qobiliyati ortib boradi. Lekin sanoq tezligining kamayishi kuzatiladi.



5-rasm. Neytron spektrometrida  $U=f(E_\gamma)$  kattaliklar orasidagi chiziqli bog'lanish

Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, masofaning shunday optimal qiymatini topish lozimki, bunda spektrometrlarning ajratish qobiliyati ham sanoq tezligi ham tajriba ta'lablariga javob bersin. 5-rasmda neytron spektrometrida  $U=f(E_\gamma)$  kattaliklar orasidagi chiziqli bog'lanish ko'rsatilgan. "start" signali vazifasini generatordan olingan impuls bajaradi. "Start" signalini generator orqali berish uchun generatordagi kalit "Ichki generator" holatiga o'tkaziladi. Generatordan olingan signallar chastotasi siklotron generatorining chastotasiga mos qilib olinadi.  $U=f(E_\gamma)$  bog'lanishni aniqlashda  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$  va Pu-Be nurlanish manbalari ishlatilgan. Pu-Be neytron manbasi bo'lib, o'zidan neytronlarni va  $\gamma$ -kvantlarini chiqaradi. Bu yerda  $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$  yadro reaksiyasi yuz beradi. Uyg'ongan holatidagi  $^{12}\text{C}$  yadro qisqa vaqt ichida o'zining asosiy holatiga o'tadi va energiyasi 4,43 MeV bo'lgan  $\gamma$ -kvantlarini chiqaradi.  $U=f(E_\gamma)$  bog'lanishni aniqlashda 4,43 MeV bo'lgan  $\gamma$ -kvantlari ishlatildi. 6-rasmda Neytron spektrometrlarning ishlashi va ajratish qobiliyatini ko'rsatuvchi chizma berilgan. Tajriba o'tkazishdan oldin bu kattaliklar albatta tekshirilishi lozimdir. Rasmdan ko'rinib turibdiki, turli kanallardagi sanoqlar qiymati bir biridan juda kam farq qiladi, ya'ni to'g'ri chiziqdan iborat. Bu ko'rsatgich neytron spektrometrlarning turg'un ishlashini ko'rsatadi. Oxirga kanallarda esa sanoq qiymatini keskin kamayishi kuzatilmoqda. Bu nuqtalar yordamida neytron spektrometrlarning ajratish qobiliyati baholanadi.



6-rasm. Neytron spektrometrlarning ishlashi va vaqt bo'yicha ajratish qobiliyati ko'rsatilgan

## Organik ssintilyatorli detektorning effektivligi

Ssintilyatsion detektorlarda neytronlar tepki protonlarini yuzaga keltiradi va shunga ko'ra qayd qilinadi. Neytron spektrometrlarida turli periodlardan hosil bo'lgan neytronlarni bir-biriga aralashib ketmasligini oldini olish uchun ostona energiyasi (V) kiritiladi. Ostonaga energiyasi yordamida past energiyali neytronlar yuzaga keltirgan impulslar qirqib tashlanadi. Ostonaga energiyasidan kichik energiyali tepki protonlar sonini (W) quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$W(B, E) = \int_B^E \frac{dE_p}{E} = 1 - \frac{B}{E} \quad (4)$$

(4)-ifodani, neytronlarni ssintilyatordagi protonlardagi sochilish ehtimoliligiga ko'paytirilsa, Ye-energiyali neytronlarni detektordagi qayd qilish qobiliyati aniqlanadi, ya'ni:

$$\varepsilon = nh\sigma \left(1 - \frac{B}{E}\right), \quad (5)$$

bu yerda n-ssintilyatorning 1 sm<sup>3</sup> hajmidagi vodorod atomlarining soni; h-ssintilyatorning qalinligi;  $\sigma$ -(n,p) sochilishning to'liq kesim kattaligi. (n,p) -sochilishning to'liq kesim kattaligi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\sigma = \frac{3\pi}{1,206E + (-1,86 + 0,09415E + 0,00013E^2)} + \frac{\pi}{1,206 + (0,4223 + 0,13E)^2} \quad (6)$$

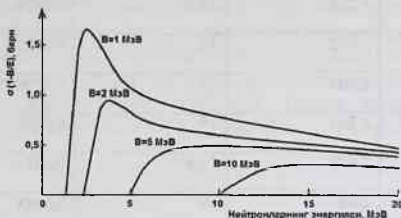
Ko'pincha (n,p) -sochilishning to'liq kesim kattaligi quyidagi soddalashtirilgan empirik ifoda orqali topiladi. Bu ifoda yordamida topilgan  $\sigma$ -ning qiymati neytronning 0,3-30 MeV energiya oraliqlarida tajriba natijalaridan 3% ga farq qiladi. (6)-ifoda yordamida hisoblangan  $\sigma$ -ning qiymati 1-jadvalda berilgan.

1-jadval. (n,p) -sochilishning to'liq kesim kattaligi

E, MeV	$\sigma$ , barn	E, MeV	$\sigma$ , barn
1,0	4,259	10,5	0,9016
1,1	4,045	11	0,8652
1,2	3,858	11,5	0,8314
1,3	3,693	12	0,8000
1,4	3,546	12,5	0,7706

1,5	3,414	13	0,7430
1,6	3,293	13,5	0,7172
1,8	3,082	14	0,6929
2,0	2,903	14,5	0,6700
2,2	2,747	15	0,6485
2,4	2,609	15,5	0,6281
2,6	2,487	16	0,6088
2,8	2,378	16,5	0,5905
3,0	2,279	17	0,5731
3,2	2,188	17,5	0,5566
3,4	2,106	18	0,5409
3,6	2,029	18,5	0,5260
3,8	1,959	19	0,5117
4,0	1,893	19,5	0,4981
4,5	1,747	20	0,4851
5,0	1,623	21	0,4608
5,5	1,515	22	0,4384
6,0	1,421	23	0,4178
6,5	1,337	24	0,3988
7,0	1,262	25	0,3812
7,5	1,195	26	0,3648
8,0	1,135	27	0,3496
8,5	1,080	28	0,3354
9,0	1,029	29	0,3221
10,0	0,9833	30	0,3096

5-rasmda qayd qilish qobiliyatini ostona energiyasiga bog'liq holda o'zgarishi ko'rsatilgan. Ostona energiyasining katta qo'yilishi detektorning



5-rasm. Qayd qilish qobiliyatini ostona (porog) energiyasiga bog'liqligi

qayd qilish qobiliyatini keskin kamayishiga olib keladi. Demak, iloji boricha ostona energiyasini kichik olishga harakat qilish lozimligi kelib chiqadi. Detektorning qayd qilish qobiliyatini energiyaga bog'liq bo'lishligini hisobga olish uchun  $\mu$ -kattaligi kiritilgan. Tajriba natijalarini shu kattalikka ko'paytirish kerak bo'ladi.  $\mu$ -kattaligi ushbu ifoda orqali topiladi:

$$\mu(B, E) = \frac{1}{\sigma(E) \left[ 1 - \frac{B}{E} \right]} = \frac{1}{\sigma(E)} \cdot \frac{E}{E-B} \quad (7)$$

### Spektrometrning qayd qilish qobiliyati

Qayd qilish qobiliyati ( $\eta$ ) spektrometrning asosiy kattaliklaridan biri hisoblanadi. Bu kattalikni topish uchun ssintillyatsion detektorning qayd qilish qobiliyatini ( $\epsilon$ ), detektorni ko'rinish burchagiga ( $\psi$ ) ko'paytirish kerak bo'ladi. Detektorni ko'rinish burchagi ( $\psi$ ) quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\Psi = \frac{S}{L^2} \quad (8)$$

bu yerda S-ssintillyatorming ko'ndalang kesim kattaligi; L-uchish masofasi.

Spektrometrning qayd qilish qobiliyati ( $\eta$ ) quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\eta = \epsilon \cdot \Psi = \epsilon \cdot \frac{S}{L^2} = \frac{n_0 \sigma}{L^2} \left( 1 - \frac{B}{E} \right) \quad (9)$$

bu yerda  $n_0$ -ssintillyatordagi vodorod atomlarining soni; V-spektrometrga quyilgan ostona energiyasi (porogi); Ye-neutronning energiyasi.

## Tajribani o'tkazish tartibi:

Tajribani o'tkazishda quyidagi ketma-ketlikka e'tibor berish lozim.

1. Neytron detektorini ishga tayyorlash. Unga ish kuchlanishini berish va dinod impulsining amplitudasi qiymatini o'lchash (belgilangan qiymatda bo'lishi lozim).
2. Neytron spektrometrimini blok-sxemasi bo'yicha bloklarning ulanish sxemasini tekshirib chiqish.
3. Neytron spektrometridagi barcha bloklarga tok manbaini ulash. EHM ishga tushirish va ish rejimiga keltirish.
4. "Start" signalini generator orqali berish. Buning uchun generatordagi kalitni "Ichki generator" holatiga o'tkazish. Tajriba ishlari o'tkazilayotganda kalit "VCh" holatiga o'tkaziladi. Bu generator o'lchash xonasida neytron spektrometri turgan joyga o'matilgan.
5. Ostona energiyasini  $\sim 1$  MeV qiymatlariga qo'yish. Bu vazifa amplituda selektori orqal, amalga oshiriladi.
6. Neytron spektrometrining ishlashini tekshirish uchun detektor oldiga  $\gamma$ -manbasini qo'yish ( $^{60}\text{So}$ ) va o'lchashni boshlash.
7. Agar ekranda to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan stolik paydo bo'lgan bo'lsa, spektrometr ishga tayyor degan xulosani chiqarish mumkin. Stolikning oxirida keskin pastga tushish kuzatiladi. Agar tushish chizig'i vertikal ko'rinishda bo'lsa, bu spektrometriming ajratish qobiliyatini yuqori bo'lishligini ko'rsatadi. Agar bu chiziq qiyalik bo'yicha tushgan bo'lsa, ajratish qobiliyatining yaxshi emasligini ko'rsatadi. Bu holda neytron spektrometridagi signallarning shaklini bloklar bo'yicha ko'rib chiqish lozim bo'ladi.
8. Neytron spektrometri ishga tayyor bo'lganidan so'ng. O'rganilayotgan reaksiyaga tegishli hisob ishlarini ko'rib chiqish lozim.
9. Nishon kamera ichiga o'matiladi va vakuum olishga ruhsat beriladi.
10. Yadro reaksiyasining kinematikasi hisoblanadi. Bunda reaksiya natijasida hosil bo'lgan yadroning bir nechta uyg'ongan holatlari uchun ham kinematika hisoblari amalga oshiriladi.
11. Bu hisoblarga ko'ra o'lchash masofasi aniqlanadi. Shunday masofani tanlash lozimki, bu masofada turli energetik sathlardan chiqqan neytronlar bir biridan yaxshi ajralgan bo'lsin va sanoq tezligi ham tajribani o'tkazish uchun yetarli bo'lishi lozim.



12. Topilgan masofaga neytron detektorini o'rnatish va nishonga nisbatan qanday masofada turganligini aniq o'lchash va tajriba o'tkazish jumalga yozib qo'yish.

13. Generatordagi kalit "VCh" holatiga o'tkaziladi va neytron spektrometri ishga tushiriladi.

14. Fon sanoqlari tekshiriladi.

15. O'rganilayotgan yadro nishoni tezlashtirilgan zarrachalar oqimi yo'nalishiga keltiriladi va tajriba boshlanadi.

16. Ekranida ikkita  $\gamma$ -kvantlari paydo bo'la boshlaydi. Bu piklar zarrachalar to'plamlari nishonga kelib urilishidan paydo bo'ladi va vaqtning boshlanishini ko'rsatadi. Ikki  $\gamma$ -kvantlari orasidagi vaqt zarrachalar to'plamlari orasidagi periodga tengdir.

17. Aniq burchakka va masofaga qo'yilgan detektor orqali neytronlarning spektri o'lchanadi. O'lchash xatoligini kamaytirish uchun piklardagi statistika yetarli darajada bo'lishi lozim. O'lchash vaqti shunga ko'ra tanlanadi.

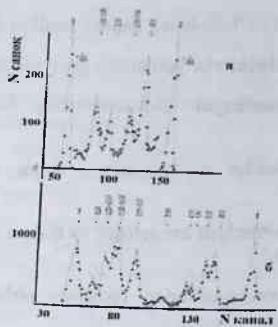
18. O'lchash to'xtatilganidan keyin, olingan tajriba natijalarini EHM xotirasiga yozib qo'yiladi va keyingi o'lchashlarga o'tiladi.

19. Detektor boshqa burchakka olib o'tiladi va kerakli masofaga o'rnatiladi. Detektor nishonni to'liq ko'rib turishi kerak. Bunga doimo e'tibor berish lozim.

20. Tajriba jumalida olib borilayotgan ishga tegishli barcha kattaliklar yozib borilishi kerak (Nishonning boyitilganlik darajasi, qalinligi, nishonga kelib tushayotgan zarrachalarning tok kuchi, energiyasi, burchak, masofa, monitor sanog'i va boshqa kattaliklar).

6-rasmda misol tariqasida uchish vaqtiga asosan o'lchangan neytron spektrlari berilgan: a-  $^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}$ , reaksiyasida hosil bo'lgan neytronlar spektri,  $Y_e=17,8$  MeV,  $\theta=110^\circ$ ,  $L=8,57$  m; b-  $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$  reaksiyasida hosil bo'lgan neytronlar spektri,  $Y_e=17,8$  MeV,  $\theta=10^\circ$ ,  $L=15,36$  m. 6-rasmdan ko'rinib turibdiki, neytron grupalari bir biridan yaxshi ajralgan.  $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$  reaksiyasida esa asosiy va 0,72 MeV energiyali uyg'ongan holatlaridan chiqqan neytronlarni ajratish uchun katta uchish masofasi ishlatilgan (15,36 m).

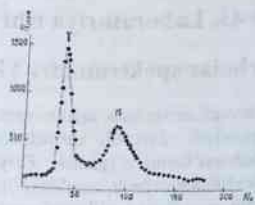
Neytron detektorlari  $\gamma$ -kvantlarini ham juda yaxshi qayd qiladi. Shu sababli ba'zi tajribalarda neytronlarni  $\gamma$ -kvantlardan ajratish kerak bo'ladi. Bunday moslama yaratilgan bo'lib, neytron va  $\gamma$ -kvantlari bergan impulslarning shakliga asosan ularni bir biridan ajratadi. Bu moslamada ikkita chiqish kanali bo'lib, biri neytronlarga, ikkinchisi esa  $\gamma$ -kvantlariga tegishlidir.



6-rasm. a- $^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}$  reaksiyasida hosil bo'lgan neytronlar spektri,  $Y_e=17,8$  MeV,  $\theta=110^\circ$ ,  $L=8,57$  m; b- $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$  reaksiyasida hosil bo'lgan neytronlar spektri,  $Y_e=17,8$  MeV,  $\theta=10^\circ$ ,  $L=15,36$  m.

7-rasmda (n- $\gamma$ )-ajratish moslamasining chiqishidan olingan spektrlar ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, neytron va  $\gamma$ -kvantlari bir biridan juda yaxshi ajralgan. (n- $\gamma$ )-ajratish moslamasini sozlash ishlarida Pu-Be neytron manbasidan foydalanish mumkin. Sozlangandan keyingina tajriba ishlariga qo'yish mumkin.

Yuqorida ko'rsatib o'tilganlardan shunday xulosani chiqarish mumkinki, neytronlarni o'lchash vazifasi o'ta murakkab ishlar sarasiga kiradi. Yuqori energiyali neytronlarni o'lchashda nsek sohasidagi elektron bloklaridan foydalanishga to'g'ri keladi. Bundan tashqari tezlatkichlarga ham bir qator ta'lablar qo'yadi. Neytron spektrometrining yaxshi ishlashi asosan tezlashirilgan zarrachalar to'plamining xarakteristikalariga juda bog'liq bo'ladi. Bulardan tashqari ajratish qobiliyatini yaxshi bo'lishi uchun katta uchish masofalari zarurdir.



7-rasm. (n- $\gamma$ )- moslamasida ajratilgan neytron va  $\gamma$ -spektrlar

## Nazorat savollari:

1. Neytronlar energiyasini o'lchashning qanday usullari bor?
2. Neytronlarni qanday detektorlar yordamida qayd qilish mumkin?
3. Uchish vaqtiga asoslangan spektrometrning ishlash prinsipi nimaga asoslangan.
4. Neytronlar moddalardan o'tayotganda uning atomlari bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
5. Nima sababdan tezlashtirilgan zarrachalar va nishon vakuum olingan maxsus moslamalar ichida bo'ladi?
6. Nima uchun neytron detektorlari nishonga nisbatan uzoq masofalarga o'rnatiladi?
7. Neytronlarni qayd qilishda nima sababdan vakuum sistemasi ishlatilmaydi?
8. "Start" signali qanday vazifani bajaradi?
9. "Start" signalini olish yo'llarini aytib bering?
10. Neytron spektrometrining ajratish qobiliyati qanday kattaliklarga bog'liq?

## Foydalanilgan adabiyotlar:

1. B. V. Рыбаков, V. A. Sidorov //Spektrometriya быстрых нейтронов, 1958
2. Ye. A. Kramer-Ageev, V. N. Lavrenchik, V. T. Samosadnyy, V. P. Protasov // Eksperimentalnye metody neytronnix issledovaniy, M: Energoatomizdat, 1990
3. N. G. Volkov, V. A. Xristoforov, N. P. Ushakov // Metody yadernoy spektrometrii, M: Energoatomizdat, 1990
4. N. A. Vlasov //Neytrony, izdatelstvo «Nauka» M: 1971

## № 43. Laboratoriya ishi

### Zaryadli zarrachalar spektrometri $\Delta E - Ye$ metod

**Ishdan asosiy maqsad:** Zaryadli zarrachalar spektrometri  $\Delta E - Ye$  metod bilan tanishishva uni ishga tayyorlash. Zaryadli zarrachalarni turi va energiyasi bo'yicha guruhlariga ajratish yo'llarini o'rganish. Zaryadlangan zarrachalarni identifikatsiya qilish usullari bilan tanishish, amaldagi blok sxemasini o'rganish, identifikatorning bloklaridagi signallarni ossillograf yordamida ko'rish va analiz qilish.

**Keraldi jihozlar:** KAMAK kreyti, elektron bloklar KAMAK standartida yig'ilgan, yarim-o'tkazgichli detektorlar bilan ishlaydigan  $\Delta E$ -Ye identifikatori.

**Nazariy qismi:** Zaryadli zarrachalarni turi va energiyasi bo'yicha guruhlariga ajratishning bir qator usullari mavjud bo'lib, ulardan biri  $\Delta E$  - Ye metod hisoblanadi. Yadro reaksiyalarining kesim kattaliklarini o'lchashda  $\Delta E$  - Ye metod asosiy o'rinni egallaydi. Yadro strukturasi va yadro reaksiyalari mexanizmini o'rganish uchun yadro reaksiyasialari maxsulining energetik va burchak taqsimoti o'rganiladi. Ushbu jarayonda malum energiyagacha tezlatilgan zaryadlangan zarrachalar ( $\alpha$ ,  $d$ ,  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^3\text{He}$  va boshqalar) o'rganilayotgan nishonga yo'naltiriladi. Reaksiya natijasida nishondan chiqayotgan zaryadli zarrachalar turli burchaklardadetektorlar yordamida qayd qilinadi. Detektorlardanchiqayotgan elektr signallari amplitudasi zarracha energiyasiga proporsional bo'lib, zaryadlangan zarracha turiga bog'liq bo'lmaydi. Agar zaryadlangan zarrachalarni turiga qarab energetik spektrlar o'lchanmasa, ko'pchilik hollarda turli xil zarrachalardan hosil bo'layotganenergetik spektrlarni birini ustiga ikkinchisini tushishi sodir bo'lib, ularni analiz qilish mumkin bo'lmay qoladi. Shu sababli bu turdagi reaksiyalarni o'rganish uchun "identifikator" deb nomlanadiganelektron qurilmalardan foydalaniladi. Identifikatorlar bir turdagi zarrachalarning energetik spektrini alohida o'lchash imkonini beradi. Identifikatorlar ishlash prinsipiga ko'ra quyidagi guruhlariga ajraladi: 1. Zarracha energiyasining solishtirma yo'qotilishiga asoslangan;

2. Uchish vaqtiga asoslangan;
3. Magnit maydonida og'ishiga asoslangan;
4. Detektordan chiqayotgan signalning formasiga ko'ra aniqlash turlariga bo'linadi.

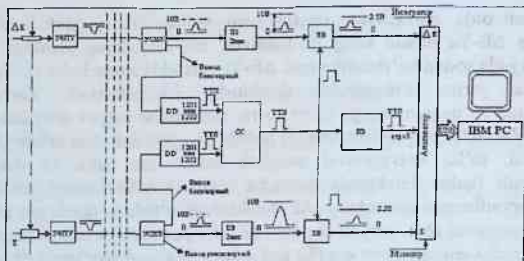
Amaliyotda zarrachalar energiyasini solishtirma yo'qotish prinsipiga asoslangan  $\Delta E$ -Ye metod keng qo'llaniladi. Bu metodning afzalligi shundan iboratki, u juda sodda ko'rinishga ega.  $\Delta E$ -Ye metodda zarrachalar yo'liga ketma ket ikkita yarim o'tkazgichli detektorlar joylashtiriladi. Zarrachalarni detektorlarda yo'qotgan energiyasiga ko'ra, zarrachalar yuqori aniqlikda turlarga ajratiladi. Zarrachaning solishtirma yo'qotish energiyasini olish uchun yupqa  $\Delta E$  detektordan, to'liq energiyasini aniqlash uchun esa qalin Ye detektordan foydalaniladi (qalin detektorda zarracha o'zining to'liq energiyasini berishi lozim). Zaryadlangan zarrachani  $\Delta E$  detektordan o'tishida qoldirgan energiyasi zarracha massasini ( $M$ ), zaryad kvadrati ( $Z^2$ ) ko'paytmasiga to'g'ri proporsional bo'lib, zarracha energiyasiga esa ( $E$ ) teskari proporsional bog'lanishda bo'ladi.

$$dE/dx \sim M \cdot Z^2/E \quad (1)$$

$\Delta E$  va  $Ye$  detektordan olingan signallar vaqt bo'yicha moslashtirish qurilmasidan (sovpadenie) o'tganidan keyin kuchaytiriladi va so'ngra raqamga aylantiriladi. Kompyuter ekranida vertikal o'qga  $\Delta E$  gorizontaal o'qiga  $Ye$  detektor signali qiymatidan tashkil topgan matritsa chiziladi. Signallar koordinatalari kesishgan nuqta adresi bo'yicha kompter xotirasiga 1 qo'shib yoziladi. Kompyuter ekranidahr bir zaryadlangan zarracha turiga taalluqli giperbolalar majmuasi hosil bo'ladi. Bu spektrlar ularga moslab tuzilgan dasturlar orqali analiz qilinadi.

### Tajribaning blok sxemasi:

2-rasmda tajribaning blok sxemasi berilgan.  $\Delta E$  va  $Ye$  yarim o'tkazgichli detektordan chiqayotgan signallar zaryad kuchaytirgichdan (ZChU) so'ng identifikatorning kirishiga ulanadi. Spektrometrik kuchaytirgichda (U) differensiallash va integrallash sxemalari yordamida impulsarga kerakli shakl berilib kuchaytiriladi. Kuchaytirgichning chiqishi differensial diskriminatorga (DD),so'ngra kechiktirish moslamasi (zaderjka) orqali chiziqli kalitning (LV) kirishiga uzatiladi. Chiziqli kalitning ochilishi  $\Delta E$  va  $Ye$  detektorlardan olingan signallarining bir vaqtda kelganligini belgilovchi mos keltirish moslamasi (Sovpadenie) bloki bilan boshqariladi. O'z navbatida mos keltirish moslamasi (Sovpadenie) blokiga differensial diskriminatordan olingan signal uzatiladi. "Sovpadenie " blokidan chiqayotgan logik signal  $\Delta E$  va  $Ye$  detektor signallarining ma'lum bir o'ratilgan vaqt oralig'i ichida kelganligini bildiradi. Ushbu logik signal bilan  $\Delta E$  va  $Ye$  signallarining chiziqli kalit(LV) blokidan o'tishiga ruxsat beriladi. Chiziqli kalitdan chiqqan analogli signallar analizatorga uzatiladi. Analizatordaular raqamga aylantirilib analizator xotirasidasaqlanadi. Xotirada saqlangan ma'lumotlar USB interfeysi orqali komp'yuterga o'tkaziladi. Komp'yuterda saqlangan ma'lumotlar maxsus tayyorlangan programmalar yordamida tahlil qilinib yadroga tegishli spektrometrik ma'lumotlar olinadi.

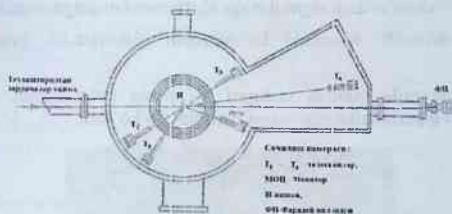


2-rasm.  $\Delta E - Ye$  metodning blok sxemasi

**Sochilish kamerasi:** 3-rasmda sochilish kamerasi tasvirlangan. Kamera silindri shaklida bo'lib, ichki diametri 715 mm, balandligi 370 mm ga teng. Kamera devorining qalinligi 5 mm ga teng bo'lib, zanglanas po'latdan tayyorlangan. Kamera ichiga bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda harakatlanuvchi ikki juftli Si(Li)-detektorli teleskoplar joylashtirilgan. Yupqa  $\Delta E$  va qalin  $Ye$  detektorlar sistemasi teleskop deb yuritiladi. Teleskoplar avtomatik ravishda tashqaridan turib boshqariladi. Teleskoplarni yadro nishoniga nisbatan yaqinlashtirish yoki uzoqlashtirish imkoniyati mavjud. Bundan tashqari turli burchaklarga olib borish mumkin.

Kichik burchaklarda o'lchashni amalga oshirish uchun sochilish kamerasiga bir qator o'zgartirishlar kiritilgan. Kichik burchaklar sohasida ( $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) o'lchash ishlarini olib borish uchun "KARMAN" deb ataluvchi maxsus qurilma o'rnatilgan. Bu sohalarida teleskoplarni nishonga nisbatan 1 m uzoqlikka olib borish mumkin. Natijada detektorlarga tushayotgan zarrachalar oqimi quvvatini 10-15 marta kamaytirishga erishildi.

Sochilish kamerasining yuqori qismida nishonlarni o'rnatish moslamasi mavjud. Unga 8 ta nishonni o'rnatish mumkin. O'rganilayotgan nishon zarrachalar oqimi yo'nalishiga joylashtiriladi. Nishonning markazi zarrachalar oqimining markaziga moslashtirilgan. Nishonni o'zgartirish avtomatik ravishda amalga oshiriladi. "KARMAN" moslamasining oxiriga Faradey silindri o'rnatilgan (Fs). Bu qurilma orqali nishonga kelib tushayotgan zarrachalar miqdori aniqlanadi. Sochilish kamerasining ichida qiymati  $10^{-6}$  mm sim . us. teng bo'lgan yuqori vakuum olinadi. Kollimatorlar, nishon, FS teleskop markazlari lazer nuri yordamida sozlanadi (LG-78).

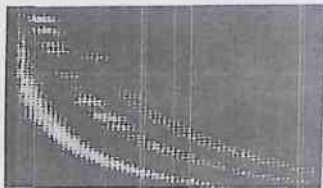


3-rasm. Sochilish kamerasi

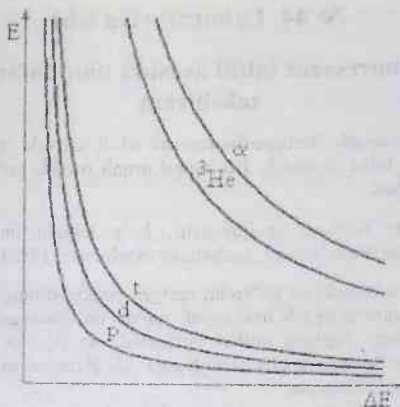
#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Si(Li)-detektorlari  $\alpha$ -manba yordamida teshiriladi.
2. Si(Li)-detektorlari teleskoga o'rnatiladi. Bundan tashqari kollimatorlar ham joylashtiriladi.

3. Sochilish kamerasing ichiga teleskoplar joylashtiriladi. Teleskoplarning harakatlanishi tekshiriladi.
4. Sochilish kamerasing ichiga nishon o'ratiladi. Belgilangan impulslarga ko'ra nishonlarning harakatlanishi tekshiriladi.
5. Sochilish kamerasi berkitiladi. Havo kiradigan klapanlari yopiladi.
6. Past vakuumni olishga mo'ljallangan nasos ishga tushiriladi.
7. Vakuum darajasi  $\sim 10^{-2}$  qiymatiga yetib borganda, yuqori vakuumni olish nasosi ishga tushiriladi.
8. FS tekshiriladi. Yerdan to'liq ajralgan bo'lishi lozim.
9.  $\Delta E$  – Ye metodga tegishli elektron bloklar tok tarmog'iga ulanadi.
10. Teleskoplarni va nishonlarni avtomatik ravishda boshqarish moslamalariga ham kuchlanish beriladi.
11. Teleskopdagi  $\Delta E$  va Ye detektorlarga belgilangan kuchlanishlar beriladi.
12.  $\alpha$ -manba yordamida  $\Delta E$  va Ye detektorlar ko'rikdan o'tkaziladi.
13. Sochilish kamerasidagi vakuum sistemasi tezlatgichning liniyasiga ulanadi.
14. Nishonga tezlashtirilgan zarrachalami berishga ruxsat beriladi.
15. Nishonga kelib tushayotgan zarrachalarning tok kuchi nazorat qilib turiladi.
16.  $\Delta E$  va Ye detektorlardagi spektrlar alohida tekshiriladi.
17.  $\Delta E$  va Ye detektorlardagi signallar qo'shish moslamasiga uzatiladi.
18. Manitor ekranida 4-rasmda ko'rsatilgan giperbolalar majmuasi paydo bo'ladi.
19. Manitor ekranida bundan tashqari 5-rasmda ko'rsatilgan zaryad turiga bog'liq bo'lgan giperbolalar majmuasi ham paydo bo'ladi.



4-rasm. Manitor ekranidagi bir zaryadli ionlar giperbolalari majmuasi: eng pastida-protonlar; o'rtada-deytronlar, yuqorida-tritonlar.



5-rasm. Zarracha turiga taalluqli giperbolalar majmuasi

#### Nazorat savollari:

1. Identifikatorning funksiyasi nimadan iborat?
2. Qaysi turdagi identifikatorlarni bilasiz?
3. Kuchaytirgich qanday funksiya bajaradi?
4. Differensial diskriminator bloki to'g'risida nimani bilasiz?
5. Chiziqli kalit qanday boshqariladi?
6.  $\Delta E$ -detektor qanday vazifani bajaradi?
7. Nima sababdan Ye-detektorda qayd qilinayotgan zarrachaning energiyasi to'liq yutilishi lozim?
8. Nima uchun sochilish kamerasiga "KARMAN" deb ataluvchi maxsus qurilma o'rnatilgan?
9. FS qanday vazifani bajaradi?
10. Teleskoplarni va nishonlarni sozlash qanday amalga oshiriladi?

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. A.A.Kurashov //Identifikatsiya ioniziruyushix izlucheniy srednix i nizkix energiy, M.Izd. Atomizdat, 1979.
2. Artemov S.V. i dr. //Analogovyy identifikator zaryajennyx chastis v standarte KAMAK. PTE, №2 1992g. str131-133.
3. Artemov S.V. i dr. //Izmeritelno-vychislitelnyy kompleks dlya issledovaniya yadernyx reaktiv. PTE, №11996 str44.
4. Artemov S.V. i dr. //Dvumernyy analizator na mikro-kontrollerax dlya identifikatsii i spektrometrii zaryajennyx chastis. PTE, 2009g №1, str.168-170.



## № 44. Laboratoriya ishi

### Rentgenfluouessent tahlil asosida moddalar tarkibini tekshirish

**Ishdan asosiy maqsad:** Rentgenfluouessent tahlil asosida moddalar tarkibini tekshirish metodi bilan tanishish. Bu metod orqali modda tarkibidagi bir qator elementlarni aniqlash.

**Kerakli jihozlar:** Rentgen spektrometri, ko'p kanalli analizator, sovitish moslamasi, programma ta'minoti, pechatlash moslamasi, EHM, namunalar.

**Nazariy qismi:** Mozleqonuni bo'yicha rentgen spektrlarining holatlariga ko'ra yadroning zaryadini aniqlash imkoniyati paydo bo'lganidan keyin, moddalar tarkibini xarakteristik rentgen nurlari yordamida aniqlashga yo'l ochildi. Bu metod hozirgi davrda katta amaliy ahamiyatga ega. Rentgen spektrometri asosan uch yo'nalishda ishlatilmoqda:

1. Modda tarkibidagi elementlarni aniqlash;
2. Elektron strukturasi o'rganish (ximiyaviy bog'lanish);
3. Atomning strukturasi o'rganish (kristallografiya).

Rentgen spektrometri orqali modda tarkibidagi elementlarni aniqlash va atomning strukturasi o'rganish bo'yicha juda katta ilmiy ishlar amalga oshirildi. Modda tarkibini tekshirishda bu usul boshqa usullarga nisbatan bir qator quyidagi yutuqlarga ega:

1. O'lchash jarayonida namunada xech qanday buzilish sodir bo'lmaydi;
2. O'lchash protsessida namuna turli agregat holatida bo'lishi mumkin (qattiq, suyuq, gaz).
3. Namunaning shakli, ko'rinishi va o'lchamlari turlicha bo'lishi mumkin;
4. Bir vaqtning o'zida bir nechta elementlarni aniqlash imkoniyati mavjud;
5. Agar qattiq jisimli detektorlar ishlatilgan bo'lsa, uning effektivligi yuqori va ixcham nurlanish manbaidan foydalanish mumkin bo'ladi;
6. Keng soha oraliklarida elementlar konsentratsiyasini o'lchash imkoniyati bor ( $10^{-4}\%$  -  $100\%$ ).

Bu metodni ishlatishdan oldin quyida berilgan kattaliklar tajriba ta'lablariga javob berish yoki bermasligi aniqlanishi lozim:

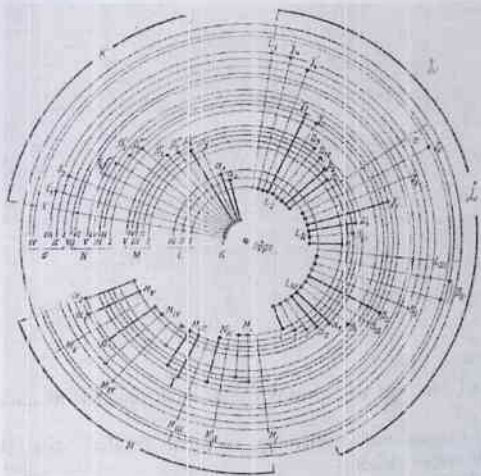
1. Bir hillik darajasi (olingan natijaning ishonchlilikligi, ya'ni energiyasi Ye, bo'lgan rentgen nuri orqali X elementni aniqlash mumkinligi);

2. X-elementni aniqlashdagi sezgirligi;
3. X-elementni aniqlanish porogi (eng kichik qiymati).

Tajribaga quyilgan talablarga ko'ra bu qiymatlar tajriba o'tkazishdan oldin ko'rib chiqiladi.

### **Xarakteristik rentgen nurlarining paydo bo'lishi**

*Xarakteristik rentgen nurlarining paydo bo'lishi jarayoniga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Dastlab, atomdagi elektronlarning joylashishi haqida qisqacha ma'lumot berish o'talib. Bor nazariyasiga ko'ra elektronlar musbat zaryudlangan yadro atrofida aniq orbitalar bo'yicha joylashadi. Elektronlar va yadro o'rtasida elektrostatik ta'sir kuchi mavjud bo'lib, shu kuch ta'sirida elektron o'zining diskret orbitasida turadi. Yadroga eng yaqin joylashgan orbita birinchi orbita hisoblanadi. Klassik nazariyaga ko'ra orbitalar raqami bosh kvant soni deb yuritiladi va n-harfi bilan belgilanadi. Qobiqlarning belgilanishi quyidagicha: K(n=1), L(n=2), M(n=3), N(n=4), O(n=5) va hok. Har bir qobiqda  $2 \cdot n^2$  ta elektron joylashishi mumkin. Asosiy sathlar bir nechta sathchalarga bo'linadi. Masalan L1, L2, ... M1, M2, ... (1-rasm).*

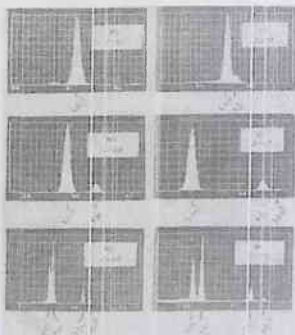


1-rasm. Atomning modeli. Xarakteristik rentgen nurlarini paydo bo'lishi

Elektronni qobig'idan chetlashishida atom uyg'ongan holatiga o'tadi. Bunda uyg'ongan holat energiyasi asosiy holat energiyasidan katta bo'ladi. Atom uyg'ongan holatida uzoq vaqt yashay olmaydi. Atom o'zining asosiy holatiga intiladi. Elektron energiyasi katta bo'lgan holatdan energiyasi kichik bo'lgan holatga o'tadi. Natijada energiyasi holatlar energiyasining farqiga teng bo'lgan  $\gamma$ -kvanti paydo bo'ladi ( $E_\gamma = E_{e_i} - E_{e_f}$ ). Shu tariqa fluoressensiya nurlanishi hosil bo'ladi. Bu nurlanish chiziqlidir. Buzga ma'lumki elektromagnit nurlanishlar ikki yoqlama xususiyatga ega. Fotonning zarracha xususiyati rentgen spektrometriyasining asosi hisoblanadi. Ikkinchi tamondan foton to'liqdir. U to'liq uzunligiga ega ( $\lambda$ ) va yorug'lik tezligi bilan harakatlanadi. Atomda bo'shab qolgan joyning paydo bo'lishida juda ko'p elektronlarning qobiqlar bo'ylab ko'chishi sodir bo'ladi. Natijada xarakteristik nurlanishlar spektrlari paydo bo'ladi. Fotonlarning intensivligi turlicha bo'ladi. Buni tanlash qoidasiga asosan izohlash mumkin.

Yadroga yaqin joylashgan qobiqlarda elektronlar yadroga kuchli bog'langan bo'ladi. Shu sababli elektronlarning ko'chishida atomning ximiyaviy tabiatida o'zgarish kuzatilmaydi. Valent qobiqlardagi o'fishlarda yuzaga kelgan rentgen nurlanishlariga ko'ra atom strukturasi o'riganish mumkin bo'ladi.

Rentgen nurlanishlarining soni unchalik ko'p bo'lmaydi. Elektronlarning ko'chishida atomning ximiyaviy tabiati keskin o'zgaradi. Bu o'z navbatida spektrlarni sodda bo'lishiga olib keladi va ularni tahlil qilish osonlashadi.



2-rasm. Mg, Cl, Mn, Ag, Au, Nd va W chiqayotgan xarakteristik rentgen nurlari

Xarakteristik rentgen nurlanishlarning energiya sohasi ko'p elementlarni aniqlash imkoniyatini beradi.

2-rasmda ajratish qobiliyati yuqori bo'lgan rentgen spektrometrida o'lchangan K-, L- va M-seriyalardan chiqqan spektrlar ko'rsatilgan. Bu

spektrlarga ko'ra elementlarni topish va turlarga ajratish mumkin. Bu spektrlar atomning qanday yo'l bilan uyg'ongan holatiga o'tkazilishiga juda bog'liqdir.

### Namuna atomlarini uyg'ongan holatiga o'tkazish usullari

Namuna atomlarini uyg'ongan holatiga o'tkazishning asosan ikki yo'li bor: Birinchisi, birlamchi elektromagnit nurlanishlar manbai. Bularga quyidagilar kiradi: rentgen trubkalari; radioaktiv elementlardan chiqqan rentgen va  $\gamma$ -nurlanishlar. Ikkinchisi, zaryadli zarrachalar manbai. Bularga quyidagilar kiradi: elektronlar, protonlar,  $\alpha$ -zarrachalar oqimlaridan foydalanish. Bu usullar o'ziga tegishli yutuq va kamchiliklarga ega. Namunalarda fluoressent uyg'ongan holatlarini yuzaga keltirishda elektromagnit nurlanish manbalaridan foydalanish asosiy o'rinni egallaydi. Bunga sabab bu usulning juda yaxshi o'rganilganidir.

### Namuna atomini fotonlar orqali uyg'ongan holatiga keltirish

Birlamchi manbadan chiquvchi elektromagnit nurlanishlar namunaga kelib tushadi va namuna atomlari bilan ta'sirlashadi. Fotonlar asosan atomning elektronlari bilan ta'sirlashadi. Bu ta'sirlashish uch xil qo'rinishda sodir bo'ladi: Fotoeffekt, elastik sochilish va noelastik sochilishdir.

**Fotoeffekt.** Namuna atomlaridan xarakteristik rentgen nurlanishlarni chiqarishda bu ta'sir asosiy hisoblanadi. Bu jarayonning kesim kattaligi fotonning energiyasiga va namunining atom nomeriga bog'liqdir. Fotoeffektida foton to'liq atomga yutiladi. Yutilgan energiya elektronning bog'lanish energiyasini uzishga va qolgan energiya esa elektronning kinetik energiyasiga sarflanadi. Fotonning energiyasi qobiqdagi elektronning bog'lanish energiyasiga teng bo'lgan vaqtida bu jarayonning kesim kattaligi keskin ko'tariladi. Bu jarayon K, L, M, N- qobiqlar uchun ham o'rinalidir.

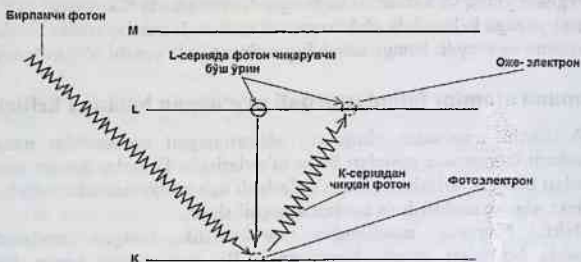
Fotoeffekt hodisasini qisqacha quyidagicha izohlash mumkin:

1. Fotoeffektning kesim qiymati fotonning energiyasiga  $\sigma_F \sim 1/E^3$  munosabatda bog'langan. Daraja qiymati Z-ning o'zgarishi bilan o'zgarib boradi; Z ning kichik qiymatlarida daraja ko'rsatgich 3,5 ga teng bo'ladi.
2. Berilgan energiyalarda Fotoeffektning ehtimolligi Z ga bog'liq (Fotoeffektning elektron bo'yicha kesim qiymati  $Z^3$  darajasiga, atomdagi kesimi esa  $Z^4$  bog'liqdir.).

Bulardan quyidagi xulosa kelib chiqadi. Foton energiyasining kamayishida va atom nomerining ortishida fotoeffektning kesim qiymati ortib boradi.

**Oje effekti.** Atom ichida sodir bo'ladigan jarayon. Bu effektida xarakteristik rentgen nurlanishlari hosil bo'lmaydi. Fluoressent nurlanishlariga raqobat qiluvchi jarayondir. Atom ichida xarakteristik nurlanishlarini takroriy yutilishi deb qarash mumkin. Masalan, quyidagi jarayonni ko'rib o'taylik. Birlamchi foton namuna atomining K-qobig'idagi elektronga yutilsin, elektron bu orbitadan fotoelektron ko'rinishida chiqib ketadi. Bo'shab qolgan joyga L

qobiqdagi elektron o'radi va natijada foton paydo bo'ladi. K-seriyadan chiqqan foton L qobiqda joylashgan elektron bilan ta'sirlashishi va uni urib chiqarishi mumkin. Bu elektron Oje elektron hisoblanadi. Natijada L qobiqda ikkita bo'sh o'rin paydo bo'ladi. Bo'shab qolgan o'rinlarga yuqori qobiqlarda joylashgan elektronlarning o'tishida xarakteristik rentgen nurlanishlari paydo bo'ladi. 3-rasmda Oje effektining sxematik tasviri ko'rsatilgan. Nurlanishlar L va M-seriyalarda kuzatiladi. Bu effekt Fluorescentning chiqish kattaligi hisoblanadi. Fluorescentning chiqish kattaligi, bu xarakteristik rentgen nurlanishlarida hosil bo'lgan fotonlar sonini, birlamchi bo'shab qolgan joylar soniga nisbatidir. Bu kattalikning qiymati juda ko'p elementlar uchun aniqlangan.



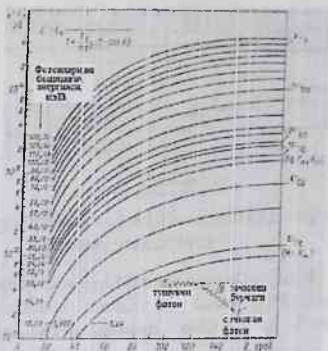
3-rasm. Oje effektining sxematik tasvirlanishi

Rentgenfluorescent tahlilda fotonlarning ikki hil sochilishi kuzatiladi. Albatta, bu sochilishlar modda tarkibini tekshirishda o'z ta'sirini ko'rsatadi. Shu sababli bu sochilishlarga qisqacha to'xtalib o'tishni lozim topdik.

**Elastik sochilish (releev sochilishi).** Bunda birlamchi foton atomning elektroni ta'sirlashadi, elektron atomga kuchli bog'langan bo'lganligi uchun atomni uyg'ongan yoki ionlashgan holatiga o'tkaza olmaydi. Foton yaxlit atom bilan ta'sirlashganday bo'ladi (energiyasi yo'qotilmaydi). Bu effektning kesim kattaligi past energiyali fotonlarda va atom nomeri katta bo'lgan elementlarda katta bo'ladi (elektronlarni atomlarga bog'lanish energiyasi katta).

**Noelastik sochilish (Kompton).** Bu jarayonda birlamchi foton atom elektroni bilan ta'sirlashadi va unga energiyasining bir qismini berib, o'zining yo'nalishini o'zgartiradi. Bu ta'sirlashish ikki zarrachalarning o'zaro ta'siri ko'rinishida energiya va impulslarning saqlanish qonuniga ko'ra juda yaxshi o'rganilgan. Bu ta'sir namunani tekshirishda asosiy o'rinni egallaydi. Uyg'otish sharoitlarini ishlab chiqishda, usulning sezgirligi va elementni aniqlash mumkin bo'lgan qiymatlarini topishda fotonlarning noelastik sochilishi muhim ahamiyatga ega. Sochilishdagi fotonlarning yo'qotgan energiyasi sochilish burchagining ortib borishida ortib borishi kuzatildi. Bundan tashqari bu energiya

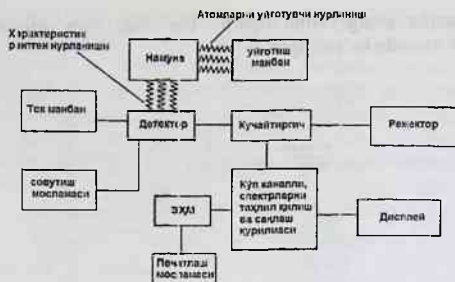
birlamchi fotonlar energiyasining ortib borishida ham ortishi aniqlandi. Bu o'zgarishlar 4-rasmda ko'rsatilgan.



4-rasm. Neelastik sochilgan fotonlar energiyasini sochilish burchagiga va birlamchi fotonlar energiyasiga bog'liqligi

### Rentgen spektrometri.

Rentgen energetik spektrometrida ishlatiladigan asboblardan tanishib o'taylik. 5-rasmda rentgen spektrlarini o'lchashga mo'ljallangan spektrometning strukturaviy sxemasi berilgan. Detektor sifatida yarim o'tkazgichli detektorlar ishlatiladi. Bularga asosan kremniy va germaniy elementlari kiradi. Yuqori toza kremniy r-tipdagi yarim o'tkazgich bo'lib, unda teshikchalar tok tashuvchi hisoblanadi. Shu sababli bu tipdagi detektorlarni katta qalinlikda tayyorlash mumkin emas. Bundan tashqari ularga katta qiymatdagi surish qobiliyatiga ega bo'lgan detektorni tayyorlash mumkin bo'lmaydi. Keyinchalik bu kamchiliklarga barham berildi. Buning uchun toza kremniy yoki germaniy kristallari ichiga litiy elementini kiritish orqali amalga oshirildi. Natijada ichki qarshiligi yuqori bo'lgan Si(Li) va Ge(Li) detektorlari ishlab chiqildi. Bu detektorlar suyultirilgan azot haroratida ishlaydi (-196°S). O'ta toza germaniydan tayyorlangan detektorlar ham ishlab chiqildi. Ularga faqat ishlatilayotgan vaqtlardagina suyultirilgan azot haroratida bo'lishi lozim. Detektorni doimo toza bo'lishini ta'minlash uchun, detektor yuqqa qalinlikdagi ve plyonkasi bilan o'ralgandir. Ve elementi juda mo'rt bo'lganligi uchun tajriba ishlarida juda ehtiyot bo'lish lozim.



5-расм. Рентген спектрларини о'лчашга мо'ljlangan спектрометриning структурaviy sxemasi

6-расмда Рентгенфлуоресцент таҳлилга асосланган рентген спектрометри ko'rsatilgan. Unda ko'p каналли анализатор, kuchlanish manbai, programma ta'minoti, birlamchi nurlanishla manbai, pechatlash moslamasi va EHM mavjud.



6-расм. Рентгенфлуоресцент таҳлилга асосланган рентген спектрометри

Namuna atomlarini uyg'ongan holatiga c'tkazish uchun birlamchi nurlanishlar ishlatiladi. Bu nurlar rentgen yoki  $\gamma$ -nurlari bo'lishi mumkin. Bu nurlanish manbalari sifatida 1-jadvalda berilgan manbalar ishlatilishi mumkin. Ishlatilayotgan manbaning yarim yemirilish davri qancha katta bo'lsa shuncha yaxshi hisoblanadi. Bundan tashqari nurlanish spektri qancha sodda bo'lsa, shuncha yaxshidir.

1-jadval. Рентгенфлуоресцент таҳлилда ishlatiladigan radioaktiv manbalar

Nuklid	Yarim yemirilish davri,	Energiya, keV	Bitta parchalanishga	Parchalanish turi
--------	-------------------------	---------------	----------------------	-------------------

	$T_{1/2}$		mos keluvchi chiqish kattaligi, %	
Chiziqli spektrlar beruvchi manbalar				
<sup>55</sup> Fe	2,7 yil	5,9, Mp K	26	Elektronning yutilishi
<sup>109</sup> Cd	453 kun	22, I: Ag K; 87,7; $\gamma$ -nur.	107 4	Elektronning yutilishi
<sup>241</sup> Am	458 yil	59,57; $\gamma$ -nur. N <sub>p</sub> La <sup>*</sup> 26,4; $\gamma$ -nur.	36 40	$\alpha$ -parchalanish
<sup>57</sup> So	270 kun	136; $\gamma$ -nur. 122; $\gamma$ -nur. 14,4; $\gamma$ -nur. 6,4; Fe K <sup>*</sup>	11,1 85,2 9,7 51,0	Elektronning yutilishi
<sup>153</sup> Gd	242 kun	103; $\gamma$ -nur. 97; $\gamma$ -nur. 70; $\gamma$ -nur. 41; Eu K	20,0 30,0 2,6 110,0	Elektronning yutilishi
<sup>238</sup> Pu	86,4 yil	12-17; UL	10	$\alpha$ -parchalanish
Tormizlanishdagi nurlanish manbalari				
<sup>147</sup> Pm	2,6 yil	225 gacha	-	$\beta$ -parchalanish
<sup>147</sup> Nc	12,26 yil	18,6 gacha	-	$\beta$ -parchalanish

7-rasmda namunani detektor oldiga joylashtirish sxemasi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, birlamchi nurlanishlar namunaga borib tushadi va undagi atomlarni uyg'ongan holatiga o'tkazadi yoki ionlashtiradi. Natijada namunadan xarakteristik rentgen nurlanishlari paydo bo'ladi. Har bir element o'ziga tegishli nurlarni chiqaradi. Bu nurlarning bir qismi detektorga borib tushadi va qayd qilinadi.



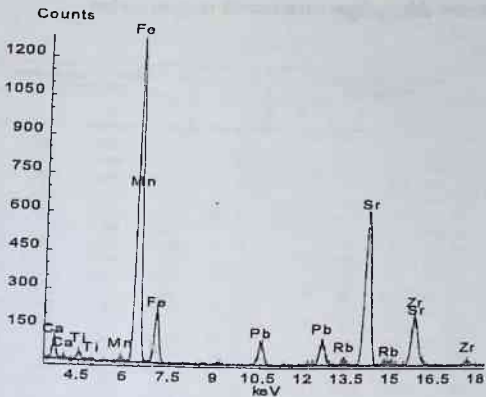


7-rasm. Namunani detektor oldiga joylashtirish sxemasi

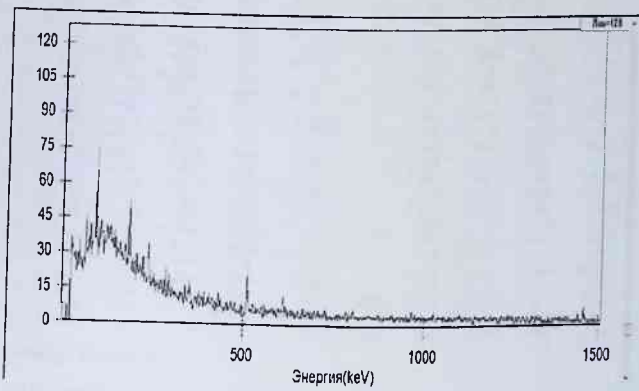
### Tajribani o'tkazish tartibi

Tajribani o'tkazish qurilmasi 8-rasmda berilgan. Xarakteristik rentgen nurlanishlarini o'lchashga mo'ljallangan spektrometr programma ta'minoti bilan taminlangan.

1. Rentgen spektrometrida azot bor yoki yo'qligini aniqlash. Bor bo'lgan holatida yuqori kuchlanishni berish.
2. Kuchlanish berilganidan keyin, spektrometni 10-15 minut davomida qizdirish.
3. Fon spektrini o'lchash va EHM hotirasiga yozib qo'yish.
4. Namunani joyiga joylashtirish va tajribani boshlash.
5. Namuna qo'yiladigan joyga qazilma kondan keltirilgan tuproqni yoki suv qoldig'ini qo'yish.
6. Namunalar chiqqan xarakteristik rentgen nurlarining spektrini belgilangan statistikada olish (8-rasm yoki 9-rasm).
7. Olingan spektrlarni tahlil qilish va modda tarkibidagi elementlarning miqdorini aniqlash. O'lchangan spektrlarni tahlil qilishda elementlar chiqaradigan xarakteristik rentgen nurlanishlari e'tiborga olinadi (2-jadval).
8. Tajriba natijalarini berish (2-jadval).



8-rasm. Qazilma kondan keltirilgan tuproq tarkibidagi elementlar



9-rasm. Suv tarkibidagi elementlar

## 2-jadval. Elementlar chiqaradigan xarakteristik rentgen nurlari

Element	Duzg'un (α <sub>1</sub> ) va noma'lum yuqori energiya oraliqda				Element	Duzg'un (α <sub>2</sub> ) va noma'lum yuqori energiya oraliqda			
	K <sub>α</sub>	K <sub>β</sub>	L <sub>α</sub>	L <sub>β</sub>		K <sub>α</sub>	K <sub>β</sub>	L <sub>α</sub>	L <sub>β</sub>
5 B	0,185				30 Zn	8,614	8,617	9,570	9,666
6 C	0,277					51,0	100	29,8	
7 N	0,392				31 Ga	9,225	9,250	10,264	10,365
8 O	0,525					51,2	100	21,5	
9 F	0,677				32 Ge	9,854	9,845	10,980	11,080
10 Ne	0,918					51,3	100	22,2	
11 Na	1,041		1,067		33 As	10,506	10,512	11,724	11,822
12 Mg	1,253		1,255			51,4	100	23,0	
	150		1,9		34 Se	11,179	11,220	12,394	12,503
13 Al	1,486		1,550			51,5	100	23,8	
	150		2,4		35 Br	11,876	11,922	13,289	13,407
14 Si	1,730	1,710	1,829			51,6	100	24,0	
	150		4,0		36 Kr	12,556	12,618	14,110	14,312
15 P	2,014	2,015	2,136			51,7	100	24,2	1,9
	150		5,9		37 Rb	13,333	13,393	14,959	15,163
16 S	2,305	2,303	2,464			51,8	100	24,3	2,1
	150		8,5		38 Sr	14,095	14,163	15,833	16,042
17 Cl	2,629	2,622	2,815			52,0	100	24,4	2,0
	110		12,0		39 Y	14,860	14,956	16,755	17,013
18 Ar	2,955	2,957	3,190			52,2	100	24,8	2,4
	150		15,6		40 Zr	15,610	15,772	17,665	17,967
19 K	3,310	3,313	3,580			52,4	100	25,2	2,7
	150		17,9		41 Nb	16,358	16,612	18,619	18,989
20 Ca	3,987	3,691	4,012			52,4	100	25,5	2,9
	50,2	160	19,2		42 Mo	17,171	17,475	19,605	19,982
21 Sc	4,385	4,091	4,490			52,5	100	25,9	3,1
	50,2	160	19,7		43 Tc	18,049	18,404	20,675	21,082
22 Ti	4,791	4,510	4,931			52,5	100	26,3	3,3
	50,3	160	20,1		44 Ru	18,987	19,376	21,813	22,250
23 V	4,914	4,651	5,126			52,7	100	26,7	3,5
	50,4	160	20,2		45 Rh	20,073	20,493	23,230	23,690
24 Cr	5,105	5,114	5,915			52,8	100	27,0	3,6
	50,4	160	20,3		46 Pd	21,017	21,474	24,445	24,965
25 Mn	5,887	5,698	6,489			52,9	100	27,3	3,8
	50,5	160	20,3		47 Ag	21,957	22,450	25,690	26,260
26 Fe	6,493	6,103	7,057			53,0	100	27,6	4,0
	50,6	160	20,3		48 Cd	22,980	23,500	26,991	27,620
27 Co	6,914	6,920	7,648			53,2	100	27,9	4,2
	50,7	160	20,3		49 In	23,995	24,550	27,371	27,980
28 Ni	7,160	7,477	8,263	8,728		53,3	100	28,2	4,4
	50,8	160	20,4		50 Sn	25,043	25,637	28,489	29,100
29 Cu	8,026	8,016	8,931	8,970		53,4	100	28,7	4,5
	50,9	160	20,6						

Zarracha	Energiyasi (keV) va o'zgaruvchanlik ko'rsatkichi				Zarracha	Energiyasi (keV) va o'zgaruvchanlik ko'rsatkichi			
	KeV	KeV	KeV	KeV		KeV	KeV	KeV	KeV
51 Sb	26,106	26,355	20,721	30,388	73 Ta	58,267	57,224	62,232	67,461
	53,1	100	28,5	5,6		37,4	100	21,7	9,1
52 Te	27,197	27,468	30,590	31,598	74 W	57,263	59,204	67,233	60,200
	53,7	100	28,8	3,8		57,6	100	23,8	8,6
53 I	28,312	28,507	32,286	33,033	75 Re	56,709	61,730	69,558	71,213
	54,8	100	29,0	6,1		57,8	100	24,1	5,8
54 Xe	29,431	29,774	33,319	34,099	76 Os	61,674	62,939	71,161	73,000
	55,9	100	29,3	6,1		58,0	100	24,4	8,7
55 Cs	30,620	30,983	34,361	35,615	77 Ir	33,274	61,835	72,748	73,201
	56,1	100	29,5	6,7		58,2	100	24,4	8,9
56 Ba	31,812	32,188	35,372	37,251	78 Pt	33,112	63,221	73,735	77,964
	56,3	100	29,6	7,8		58,3	100	24,4	9,1
57 La	33,028	33,416	37,705	38,724	79 Au	36,978	68,722	77,131	80,772
	56,4	100	29,7	7,3		58,6	100	24,6	9,5
58 Ce	34,273	34,714	39,251	40,226	80 Hg	38,883	73,607	85,161	82,830
	56,6	100	29,8	7,6		58,8	100	24,6	9,6
59 Pr	35,544	36,029	40,741	41,767	81 Tl	39,821	72,859	82,762	84,362
	56,8	100	29,9	8,0		59,0	100	24,6	9,9
60 Nd	36,841	37,355	42,204	43,327	82 Pb	32,792	74,956	84,122	87,101
	57,0	100	30,0	8,3		59,3	100	24,8	10,2
61 Pm	38,165	38,718	43,918	44,929	83 Bi	74,802	77,955	87,328	89,446
	57,2	100	30,1	8,4		59,5	100	24,7	10,3
62 Sm	39,519	40,111	45,405	46,566	84 Po	76,851	79,272	89,214	92,482
	57,4	100	30,2	8,6		59,7	100	24,6	10,8
63 Eu	40,903	41,535	47,039	48,218	85 At	78,930	81,199	92,197	94,974
	57,6	100	30,3	8,8		60,0	100	24,7	11,9
64 Gd	42,319	42,949	48,668	49,932	86 Rn	61,051	83,767	94,321	97,622
	57,8	100	30,4	8,9		60,2	100	24,8	12,3
65 Tb	43,757	44,474	50,316	51,715	87 Fr	83,217	86,089	97,107	100,297
	58,0	100	31,0	8,9		60,5	100	24,7	11,5
66 Dy	45,200	45,991	52,110	53,580	88 Ra	65,419	85,451	100,113	103,031
	58,2	100	31,2	8,9		60,8	100	24,7	11,7
67 Ho	46,652	47,539	53,968	55,515	89 Ac	37,660	90,265	102,629	105,949
	58,4	100	31,5	8,8		61,0	100	24,7	11,8
68 Er	48,113	49,115	55,872	57,504	90 Th	49,918	93,334	105,531	109,659
	58,6	100	31,9	8,8		61,3	100	24,7	12,0
69 Tm	49,584	50,723	57,805	59,685	91 Pa	62,287	95,852	108,103	111,603
	58,8	100	32,3	8,9		61,6	100	24,8	12,2
70 Yb	51,065	52,382	59,899	61,974	92 U	91,849	98,422	111,291	114,567
	59,0	100	32,7	8,7		61,9	100	24,8	12,3
71 Lu	52,556	54,061	61,272	62,956	93 Np	66,844	100,281	113,705	118,007
	59,2	100	33,1	8,9		62,2	100	24,7	12,3
72 Hf	54,060	55,791	63,222	64,969	94 Pu	59,168	131,800	116,942	120,500
	59,4	100	33,5	8,9		62,5	100	24,9	12,5

**Nazorat savollari:**

1. Rentgenfluoressent tahlilda qanday radioaktiv manbalardan foydalanish mumkin?
2. Xarakteristik rentgen nurlarining paydo bo'lishini tushuntirib bering?
3. Oje elektronlari qanday paydo bo'ladi?
4. Rentgenfluoressent tahlil qaysi sohalarida ishlatiladi?
5. Rentgenfluoressent tahlil qanday yutuqlarga ega?
6. Modda tarkibini tekshirish nimaга yusoqlanadi?

7. Bu usulning sezgirligi va aniqlashning eng kichik qiymatlari nimalarga bog'liq?
8. Fotonlar modda atomlari bilan qanday ta'sirlashishda bo'ladi?
9. Fotonlar modda atomlari bilan qanday sochilishlarni yuzaga keltiradi?
10. Fotonlarni elektronlardagi elastik sochilishini izohlab bering.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

- 1.R. Voldset // Prikladnaya spektrometriya rentgenovkogo izlucheniya, M: Atomizdat, 1977.
2. N.F. Losev // Kolichestvennyy rentgenospektralnyy fluoressentnyy analiz, M: Nauka, 1969.
3. R.I. Plotnikov, G.A. Pshenichnyy // fluoressentnyy rentgenoradiometricheskiy analiz, M: Atomizdat, 1973.

### **№ 45. Laboratoriya ishi**

#### **NG-150 neytron generatorida olingan yuqori energiyali neytronlar yordamida modda tarkibidagi yengil elementlarni aniqlash**

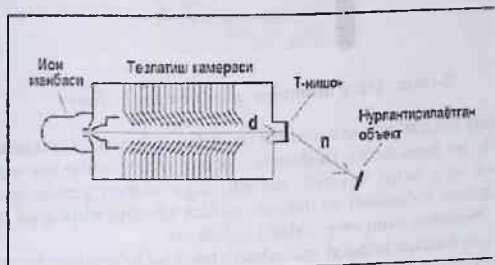
**Ishdan asosiy maqsad:** NG-150 neytron generatorining ishlashi bilan tanishish. Namunalarni nurlantirish yo'llarini o'rganish. Modda tarkibidagi yengil yadrolarni bevosita tajriba orqali aniqlash.

**Kerakli jihozlar:** NG-150 neytron generatori, bir nechta olmos namunalari, toza germaniyli  $\gamma$ -spektrometr, EHM.

**Nazariy qismi:** Amaliyotda va ilmiy tekshirish ishlarida monoxrmatik neytronlar oqimi zarur bo'ladi. Bunday neytronlar oqimini neytronlar generatorlari yordamida olish mumkin. Hozirgi vaqtda neytron generatorlarining turli ko'rinishlari yaratilgan bo'lib, ularga past quvvatga ega bo'lgan neytron trubkalari (PQNT) va yuqori quvvatli neytron generatorlari (YuQNG) kiradi. Neytron generatorlarini ishlatilish prinsiplariga ko'ra uchta guruhga ajratish mumkin:

1. Qo'zg'almas nishonli qo'zg'almas qilib qurilgan generatorlar;
2. Tezlatish kamerasi so'rib turiladigan generatorlar;
3. Trubkasi kavsharlangan ixcham generatorlar.

Neytron generatorlarida tezlatish kamerasida ishlatilgan kuchlanishning qiymati asosan 100-300 kV oraligida bo'ladi. Bunday kuchlanish kaskad generatorlari yordamida olinadi. Kuchlanishning bu usul orqali olinishi neytron generatorini ixcham, turg'un ishlashini va nisbatan arzon bo'lishiga olib keldi. 1-rasmda neytron generatorining soddalashtirilgan sxemasi ko'rsatilgan. Uning asosiy tashkil etuvchilari quyidagilardan iborat: Ion manbasi, bu yerda deuteriy gazi ion holatiga o'tkaziladi; tezlashtirish kamerasi va tok ta'minoti; vakuum sistemasi, plazma yoki gaz qamalgan tezlatish trubkasi fokuslash moslamalari bilan; neytronlar oqimini beruvchi nishon. Ishlash prinsipiga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Neytron generator kameralari vakuum ostida bo'ladi. Vakuum nasoslari yordamida  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  mm sim.us. darajasida vakuum olinadi. Vakuum nasoslari sifatida ionli, molekulyar yoki diffuzion yuqori vakuumli nasoslarni ishlatish mumkin. Generatorning asosiy qismlaridan biri ion manbasi hisoblanadi. U yuqori kuchlanish beriladigan tomonda joylashgan. Bu yerda musbat zaryadli ionlar hosil qilinadi. Hosil qilingan ionlar fokuslanib, ingichka dasta ko'rinishida tezlatish trubkasiga uzatiladi. Trubkaning qarama-qarshi tomoni yerga ulangan bo'ladi. Trubkaning

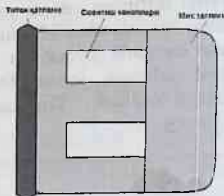


1-rasm. Neytron generatorining soddalashtirilgan sxemasi

boshlang'ich va oxirgi qismlari orasida kuchlanishlar farqi yuzaga keladi. Bu kuchlanishlar ta'siri ostida ionlar energiya oladi (100-300 keV). Tezlashtirilgan deuteriy ionlari T-nishoniga kelib uriladi va yadro reaksiyasini sodir etadi. Natijada yuqori energiyali neytronlar oqimi paydo bo'ladi. Zamonaviy neytron generatorlari yordamida  $\sim 10^{14}$  ney./sek oqimini  $4\pi$  telesniy burchak ostida olish mumkin. "Standart" neytron generatorlari yordamida esa  $\sim 10^{10}$  ney./sek oqimini olish mumkin.

Neytron generatorlarida "nishonlarni" tayyorlash va ulardan unumli foydalanish asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Nishon sifatida deuteriy va tritiy gazlaridan ham foydalanish mumkin. Yuqori neytronlar oqimini olish uchun nishondagi gazning bosimini yetarli darajada katta bo'lishi lozim (bir necha

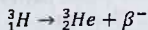
o'n atmosfera). Bu bosimni ushlab turish uchun gaz nishonlari devorlarining qalinligi katta bo'lishi kerak. Bu qalinlikdan energiyalari 100-300 keV bo'lgan deytronlar o'ta olmaydi. Shu sababli "nishonlarni" tayyorlashni boshqa usullari ishlab chiqilgan. Bularndan biri moddalarga vodorod izotoplarini so'rdirishdir. Bular qattiq nishonlar deb yuritiladi. Qattiq nishonlar quyidagi tartibda tayyorlanadi. Mis taglikka qalinligi bir necha o'n mikron bo'lgan titan (skandiy yoki sink) elementlari qoplanadi. Bu elementlar o'ziga vodorod izotoplarini biriktirib olish xususiyatiga ega. Ular metall gidridlari deb yuritiladi. Metall gidridlarda bitta metall atomi ikkita vodorod izotopi atomini biriktirib olishi mumkin. 2-rasmda tritiy nishonining ko'ndalang kesimi tasvirlangan. Rasmdagi titan qatlamiga tritiy gazi kiritilgan.



2-rasm. Tritiy nishonining ko'ndalang kesimi

Titan mis ustiga yotqizilgan, mis o'zidan issiqlikni juda yaxshi o'tkazadi. Misa kanallar bo'lib, bu kanallardan (nishondagi ochiq joylar) oddiy suv oqib turadi. Demak, nishon shu tariqa sovitilib turiladi. Agar nishon yaxshi sovitilmasa, nishonning harorati ko'tariladi va natijada nishon ichidagi tritiy gazi tashqariga chiqib ketadi. Nishonni uzoq vaqt ishlashi uchun uni sovitish lozim va bundan tashqari uni aylanib turishini ta'minlash kerak bo'ladi. Agar deytronlar oqimi nishonning bitta joyiga uzoq vaqt tushsa, bu joy o'zining nishonlik xususiyatini yo'qotadi.

Bularndan tashqari ishlatilmay turgan nishonlarni ham soviq joylarda saqlash lozim bo'ladi. Nishonlardagi tritiy miqdori aktivlik orqali beriladi (Kyuri). Sababi, tritiy yadrosi radioaktiv bo'lib, o'zidan  $\beta$ -nurlarini chiqaradi va  ${}^3_2\text{He}$  turg'un yadro hosil bo'ladi.



${}^3_1\text{H}$  —yarim yemirilish davri 12,35 yilga teng. Tritiy nishonlari disk shaklidagi metall bo'lib, diametri 24 mm, qalinligi 1 mm ga teng. Nishonlarni tayyorlash bo'yicha tadqiqot ishlari davom etmoqda. To'plangan tajriba natijalariga ko'ra tayyorlash usullari tabora takomillashib bormoqda. Haroratga chidamliligi yuqori bo'lgan nishonlarni yaratish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Tritiy-titan

va tritiiy-sirkoniy nishonlarining asosiy kamchiliklaridan biri, bu nishonlarning haroratga bo'lgan chidamsizligidir. Haroratning ko'tarilishida nishon tarkibidagi tritiiy gazining chiqish tezligining ortib ketishidir. Natijada neytronlarning chiqish kattaligi kamayadi. Keyingi vaqtlarda so'ruvchi material sifatida haroratga nisbatan chidamliroq bo'lgan Er, Yr, Sc, Nd va boshq. materiallar ishlatilmoqda. Bu elementlar quyidagi Mo, Cu, Ag tagliklardan biriga yotqiziladi. 1-jadvalda turli nishonlar va ularning xarakteristikalari berilgan.

1-jadval. Turli nishonlar va ularning xarakteristikalari

Nishon firma	tayyorlangan	Nishon	Nishonning yuzasi, sm <sup>2</sup>	Neytronlar oqimi, 1/sek
A-702, Kaman (AQSh)		Ti-T	5	10 <sup>9</sup>
Philips (Gollandiya)		Ti-T, D	9	2·10 <sup>9</sup>
Sodem (Fransiya)		Su, Ti-T	-	4·10 <sup>7</sup>
Elliott (Velikobritaniya)		Er-D, T	2,2	10 <sup>10</sup>
AN-400, HVEC (AQSh)		Er-T	10	2·10 <sup>10</sup>
"Lancelot" (Fransiya)		Ti-T	10	2·10 <sup>10</sup>
Nucl. Commissariat dl Energia Atomigue (Fransiya)		Ti, Cu-T	-	3·10 <sup>12</sup>
NA-2, (Vengeriya)	KFKJ	Zr-T		(1-5)·10 <sup>10</sup>
9405, Texas Nuclear (AQSh)		Ti-T	5	10 <sup>11</sup>
ORNL, RDI (AQSh)		Ti-T	-	6·10 <sup>12</sup>
550, ORTEC (AQSh)		Ti-T		5·10 <sup>12</sup>
Ukraina		Ti-T		10 <sup>10</sup>

Nishon deytron bilan bombardimon qilinganda, neytronlarning chiqish kattaligi 2 soatlardan keyin asta sekinlik bilan kamayishi tajribalarda kuzatilgan. So'ngra o'zining o'zgarmas qiymatiga erishadi. Agar generator bir necha kun to'xtovsiz ishlatilsa, neytronlar oqimini kamayib borishi kuzatiladi va oxirida nishon yaroqsiz holatiga keladi.



Neytron generatorlarida yuz beradigan kamchiliklardan yana biri bu ion manbasida sodir bo'ladi. Ion manbasiga berilayotgan deyteriy gaz tarkibida vodorodning boshqa izotoplari ham mavjuddir. Bundan tashqari deyteriy atom va molekula holatida bo'lishi mumkin. Elektronlar ta'sirida musbat ionlar hosil bo'ladi. Bu ionlar elektr maydonida energiya oladi va aralash ionlar oqimi yuzaga keladi. Ionlar nishonga kelib uriladi va quyidagi reaksiyalarni sodir etadi:

- 1)  $D + T \rightarrow {}^4_2\text{He} + n + 17,6 \text{ MeV}$  ( $E_n \approx 14 \text{ MeV}$ );
- 2)  ${}^3_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2n + 11,3 \text{ MeV}$  ( $E_{n, \text{max}} \approx 9,5 \text{ MeV}$ );
- 3)  $D + D \rightarrow {}^3_2\text{He} + n + 3,3 \text{ MeV}$  ( $E_n \approx 2,5 \text{ MeV}$ )

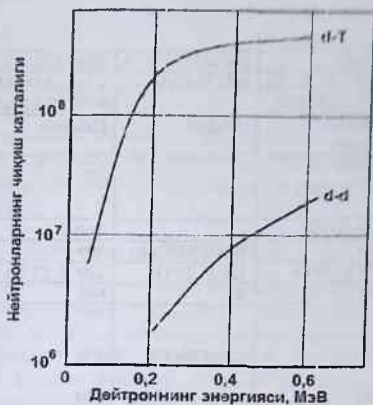
Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki, aralash ionlar oqimi hosil qilgan neytronlar spektrida 2,5; 9,5 va 14 MeV energiyali neytronlar mavjud bo'ladi. Birinchi reaksiyaning kesim kattaligi 2- va 3-reaksiyalarning kesim kattaliklaridan ~50 marta kattadir. Aktivatsion tahlilda bu kamchilik katta ta'sir ko'rsatmaydi. Lekin neytronlar ta'siridagi reaksiyalarni o'rganishda ( (n,p), (n,d), (n,t), (n, $\alpha$ ) va boshq.) ta'siri juda kattadir. 2-jadvalda aralash ionlar oqimi ta'sirida yuz beruvchi reaksiyalar va ularga tegishli kattaliklar berilgan.

2-jadval. Aralash ionlar oqimi ta'sirida yuz beruvchi reaksiyalar

Reaksiya	Reaksiyaning energiyasi Q, MeV	Neytronning energiyasi, MeV	Reaksiyaning maksimal kesim kattaligi, barn
$d(d, n){}^3\text{He}$	3.3	~2.5	~0.1
$T(d, n){}^4\text{He}$	17.6	~14.2	5.0
$T(T, 2n){}^4\text{He}$	11,3	~9,5	5,0

2- va 3-reaksiyalar energiyasi 14 MeV bo'lgan neytronlarning monoxromatik bo'lishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Buni oldini olish uchun bir qator neytron generatorlarida magnit analizatori o'rnatilgan. Bu qurilma ion manbasidan keyin o'rnatilgan. Ion manbasida hosil bo'lgan musbat ionlar magnit analizatoriga kirib boradi va u yerda sortlarga ajratiladi. Kerakli ionlar tezlatish kamerasiga uzatiladi. Shu asosda keraksiz bo'lgan ionlar olib tashlanadi.

Neytronlarning chiqish kattaligini deytron energiyasiga bog'liq bo'lishligi juda yaxshi o'rganilgan. Energiyaning ortib borishida neytronlarning chiqish kattaligini ortib borishi kuzatiladi. D-T reaksiyasida past energiyalarda o'sish keskin ortadi. d-d reaksiyasida esa o'sish bir tekisda yuz beradi. 3-rasmda neytronlarning chiqish kattaligini deytron energiyasiga bog'liqligi ko'rsatilgan.



3-rasm. Neytronlar chiqish kattaligi ng deytron energiyasiga bog'liqligi

Keyingi vaqtlarda ixcham neytron generatorlari yaratildi. Ular yordamida turli neytronlar oqimini olish mumkin. Ular asosan impuls rejimida ishlaydi. Bu generatorlar sodda bo'lib, tok manbaidan, boshqarish pulti va neytron beruvchi qurilmalardan iborat. 3-jadvalda bir nechta ixcham neytron generatorlarining xarakteristikalari berilgan.

3-jadval. Ixcham neytron generatorlarining xarakteristikalari

Generator turi	ING-013	ING-03	ING-031	ING-07
Neytronlar oqimi, n/s	$9 \cdot 10^9$ (14 MeV); $1 \cdot 10^8$ (2,5 MeV)	$3 \cdot 10^9$ (14 MeV); $2 \cdot 10^7$ (2,5 MeV)	$2 \cdot 10^{10}$ (14 MeV); $4 \cdot 10^8$ (2,5 MeV)	$10^8$ (14 MeV); $4 \cdot 10^7$ (2,5 MeV)
Nurlanish rejimi	Impulslı	Impulslı	Impulslı	Uzluksiz va impulslı
Neytron impulsining o'tish davomiyligi, mks	0,8+1,2	1,2	1,2	20+100
Chastota, Gs	1+50	1+30	1+100	400+10000
Ishlash vaqti, soat	1500 ( $10^8$ n/s)	1600 ( $10^8$ n/s)	1600 ( $10^8$ n/s)	500
Tok manbai	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs
Quvvati	500	100	700	200
O'lchamlari mm				
Diametri	130	130	130	180
Uzunligi	1300	950	950	440
Massasi				

## Davomi

Generator turi	ING-17	ING-27	NG-14	NG-11I
Neytronlar oqimi, n/s	$3 \cdot 10^8$ (14 MeV) $5 \cdot 10^6$ (2,5 MeV)	$10^8$ (14 MeV)	$2 \cdot 10^{10}$ (14 MeV) $4 \cdot 10^8$ (2,5 MeV)	$2 \cdot 10^{11}$ (14 MeV)
Nurlanish rujumi	Uzluksiz va impulsli	Uzluksiz	Uzluksiz	Uzluksiz va impulsli
Neytron impulsining o'tish davomiyligi, mks	20-100	-	1.2	20-100
Chastota, Gs	400-10000	-	1-100	400-10000
Ishlash vaqti, soat	300	1000 ( $5 \cdot 10^7$ n/s)	300	500
Tok manbai	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs
Quvvati	120	40	600	200
O'lchamlari: mm Diametri	70	220x130x179	290	190
Uzunligi	480		840	440
Massasi, kg		10	60	

**Tajribaga tayyorgarlik ko'rish:** Tajriba ishlarini boshlashdan oldin yengil yadrolarga tegishli kattaliklarni bilishga to'g'ri keladi. Yengil yadrolarga neytronlarning kelib urilishida reaksiyaning (n,p), (n,d), (n, $\alpha$ ), (n,2n) va boshqa kanallari sodir bo'ladi. Reaksiya natijasida radioaktiv yadrolar hosil bo'ladi. Ko'pincha bu yadrolar o'zidan  $\gamma$ -kvantlarini chiqaradi.  $\gamma$ -kvantlarini qayd qilish orqali modda tarkibidagi elementlarning miqdori aniqlanadi. 4-jadvalda bir qator yadrolarda ro'y beradigan yadro reaksiyalarining xarakteristikalari ko'rsatilgan.

4-jadval. Yadro reaksiyalarining xarakteristikalari

№	Yadro reaksiyasi	Nuklid	Yarim yemiri-lish davri, min.	$\gamma$ -kvantning energiyasi, keV	$\gamma$ -kvantning chiqish kattaligi, %	Reaksiyaning kesim kattaligi, mbarn
1.	$^{14}\text{N}(n,2n)^{13}\text{N}$	$^{13}\text{N}$	~10	511	200	10
2.	$^{19}\text{F}(n,2n)^{18}\text{F}$	$^{18}\text{F}$	112.2	511	190	47
3.	$^{30}\text{Si}(n,\alpha)^{27}\text{Mg}$	$^{27}\text{Mg}$	9,46	845.7	70	75
		$^{27}\text{Mg}$	9,46	1013.3	30	75
4.	$^{29}\text{Si}(n,p)^{29}\text{Al}$	$^{29}\text{Al}$	6,52	1272.7	85	120
5.	$^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$	$^{28}\text{Al}$	2,24	1777,4	100	260
6.	$^{55}\text{Mn}(n,\alpha)^{52}\text{V}$	$^{52}\text{V}$	3,76	1433.6	100	30

Neytron generatorida 14 MeV energiyali monoxromatik neytronlar olinadi. Neytronlar oqimining quvvati  $10^{10}$  n/sek ga teng. Olmos namunalarining massalari 4+600 mgr atrofida bo'ldi. Olmos tarkibidagi yengil elementlarni aniqlashda etalon namunalar ishlatildi. Tajribada olmos va etalon namunalari bir xil vaqtda va teng vaqt davomida nurlantirildi. Nurlantirish geometriyasi ham bir xildir. Namunadagi aniqlanishi lozim bo'lgan elementning massasi quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$m_{\text{namuna}} = (N_{\text{namuna}}/N_{\text{etalon}}) \cdot m_{\text{etalon}} \quad (1)$$

bu yerda  $N_{\text{namuna}}$ -namunadagi to'liq yutilish pikiidagi sanoqlar;  $N_{\text{etalon}}$ -etalondagi to'liq yutilish pikiidagi sanoqlar;  $m_{\text{namuna}}$ -namunadagi aniqlanishi lozim bo'lgan elementning massasi, gr;  $m_{\text{etalon}}$ -etalondagi aniqlanayotgan elementning massasi. Tajribada etalon namunasi sifatida melamin ( $S_3N_6N_6$ ), margansovka ( $KMnO_4$ ) va ximiyaviy toza kremniy ishlatildi. Namunadagi elementlarni aniqlash 4-jadvalda berilgan  $\gamma$ -kvantlarga ko'ra olib borildi.  $^{14}N$  elementini topishda melamin etaloni ishlatildi. Undagi  $^{14}N$  elementining miqdori 66,7 % ga tengdir.  $^{55}Mn$  elementini aniqlashda margansovka etaloni ishlatildi (35 %). Kremniy elementini aniqlashda toza kremniy etaloni ishlatildi (100 %). Gamma spektrlarni o'lchash o'ta toza germaniy  $\gamma$ -spektrometri yordamida amalga oshirildi. Bu spektrometrning energiya bo'yicha ajratish qobiliyati 1,8 keV ( $^{60}Co$  bo'yicha). Effektivligining qiymati esa 25 % ga tengdir. Spektrometr to'liq programma ta'minotiga ega (Genie-2000).

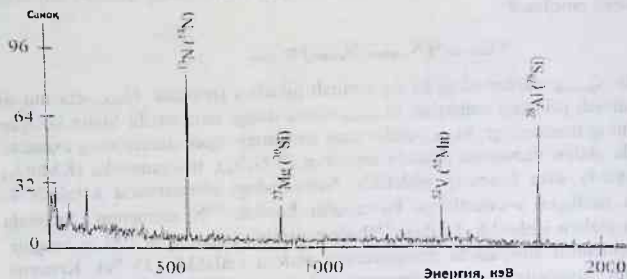
#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Olmos va etalon namunalarini nurlantirishga tayyorlash. Ularning massalarini aniq o'lchash va polietilen pakatlarga solish.
2. Neytron generatorini ishga tayyorlash. Vakuum olish. Qurilmani qizdirish.
3.  $\gamma$ -spektrometri ishga tayyorlash. Asboblarni tok tarmog'iga ulash. Detektorga yuqori kuchlanishni berish va 10-15 minut davomida qizdirish.
4. Fon spektrini o'lchash (6-rasm, 300 sek).
5.  $\gamma$ -spektrometri o'lchashga tayyor holatiga keltirib qo'yish.
6. Olmos va etalon namunalarini birin-ketin joylashtirish. Bu namunalarni neytron manbasidan 5 mm uzoqlikka joylashtirish (1-rasm).
7. Nurlantirishga ruhsat berish. Nurlantirish vaqti 10 minut.
8. Nurlantirish tugaganidan keyin, sekundamemi ishga tushirish. Sovutilish vaqtini aniq bilish kerak bo'ladi. Nurlantirish tugaganidan keyin, zilga kirish uchun 5 minut kutish lozim bo'ladi.
9. Detektorning ustiga olmos namunasi joylashtiriladi va o'lchashga komanda beriladi. Pika yetarli darajada sanoq olinganidan keyin, o'lchash to'xtatiladi va spektr EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi (4-rasm).

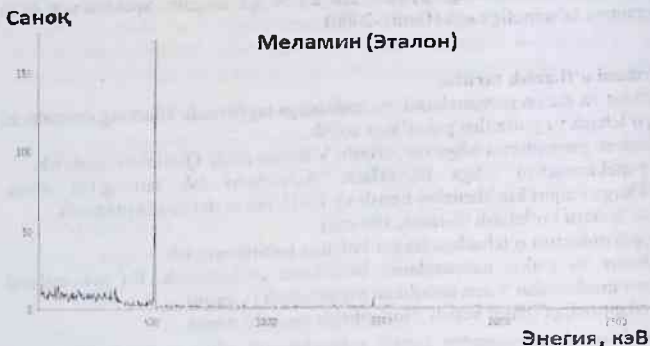
10. Olmos olinib uning o'rniga etalon namunasi qo'yiladi. Pikda yetarli darajada sanoq olingan dan keyin, o'lchash to'xtatiladi va spektr EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi (5-rasm). Misol tariqasida nurlantirilgan melaminidagi spektrlar ko'rsatilgan.

11. Bu ishlar boshqa etalonlar uchun shu tartibda amalga oshiriladi. O'lchangan spektrlar EHM ning hotirasigi yozib qo'yiladi.

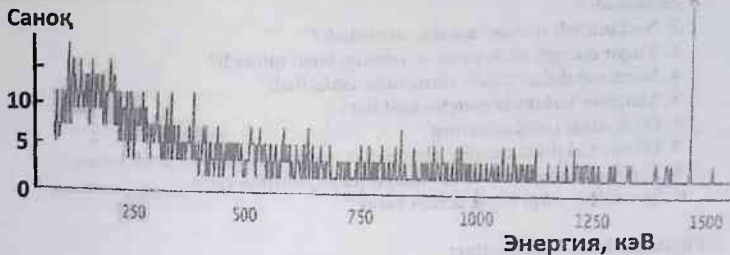
12. Bu o'lchashlar bir nechta olmos partiyalari uchun bajarildi.



4-rasm Nurlantirilgan olmos namunasidan chiqqan  $\gamma$ -spektrlar



5-rasm. Nurlantirilgan melamin etalonidan chiqqan  $\gamma$ -spektr



6-rasm. Fon spektri

**Spektrlarni tahlil qilish:**

1. Xar bir etalon namunasidagi kerakli elementning massasini aniqlash.
2. Spektrlardagi sanoq qiymatlarini topish va undan fon sanoqlarini ayrib tashlash.
3. Olmos namuna massalarini aniqlash.
4. (1)-ifoda yordamida qidirilayotgan elementning massasini topish.
5. Aniqlangan natijalarni jadvalda berish.

Nomer partiya	Massa $10^{-3}$ , gr	Elementlarni olmos namunasidagi miqdori					
		$^{28}\text{Si}+^{29}\text{Si}+^{30}\text{Si}$		$^{55}\text{Mn}$		$^{14}\text{N}$	
		massa, gr	%	massa, gr	%	massa, gr	%
1.	48,3	$3,717 \cdot 10^{-5}$	$7,69 \cdot 10^{-2}$	$1,66 \cdot 10^{-4}$	$0,90 \pm 0,18$	$2,99 \cdot 10^{-4}$	$0,62 \pm 0,11$
2.	4,2	$0,32 \cdot 10^{-5}$	$7,61 \pm 1,9$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	$5,00 \pm 1,5$	$0,18 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \pm 1,3$
3.							
4.							

**Nazorat savollari:**

1. Yengil elementlar nima uchun yuqori energiyali neytronlar yordamida aniqlanadi?
2. Nurlantirish qanday amalga oshiriladi?
3. Yuqori energiyali neytronlar qanday hosil qilinadi?
4. Nima sababdan etalon elementlar ishlatiladi?
5. Melamin tarkibida qancha azot bor?
6. (1)-ifodani izohlab bering?
7. Olmos tarkibida qanday elementlar mavjud ekanligini aytib bering?
8. Tajriba qanday ketma-ketlikda amalga oshiriladi?
9. Sovutilish vaqti nima uchun kerak?

#### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. G.I. Kiryanov // *Generatory bystrykh neytronov*, M: Energoatomizdat, 1990.
2. V.A. Muminov, L.V. Navalixin // *Aktivatsionnyy analiz s ispolzovaniem neytronnogo generatora*, «Fan», Tashkent, 1979.
3. I.N. Ivanov, O.K. Nikolaenko // *Aktivatsionnyy analiz po korotkojivushim nuklidam*, M: Energoatomizdat, 1987.
4. M.A. Kayumov, E.M. Ibragimova, M. Kalanov, E.M. Gasanov, Juraev O. // *Radiatsionno-termicheskie efekty i protsessy v neorganicheskix materialax*, Tomsk, t.51, №11/3, 2008, 11-17.

### **№ 46. Laboratoriya ishi**

#### **Neytron generatorida (n,p), (n,d) reaksiyalarini amalga oshirish**

**Ishdan asosiy maqsad:** Neytronlar ta'sirida yuz beradigan yadro reaksiyalarini o'rganish. Si detektorlaridan tashkil topgan teleskoplarni sozlash va ishga tayyorlash yo'llarini bevosita amalga oshirish.

**Kerakli jihozlar:** Yadronishonlari, tok manbalari, neytron generatori,  $\Delta E$  va Ye detektorlar,  $\Delta E$ , Ye- spektrometr,  $^{226}\text{Ra}$ -alfa nurlanish manbai, programma ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Neytron zarrachasi zaryadga ega bo'lmagani uchun moddalarga ko'rsatgan ta'sir turlari juda ko'p va turli ko'rinishlarga ega. Neytron uchun kulon bareri yo'q, shu sababli u yadro ichiga bimalol kira oladi (shu jumladan og'ir yadrolarga ham) va yadrodagi nuklonlar bilan o'zaro ta'sirlashishda bo'ladi. 1-rasmda neytronlarni yadrolarga ko'rsatadigan ta'sirlari ko'rsatilgan.

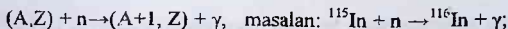


1-rasm. Neytronlarni yadrolarga ko'rsatadigan ta'sirlari

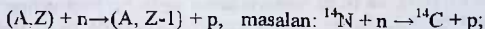
Bu yerda neytronlarni elektronlarga ko'rsatgan ta'siri e'tiborga olinmadi. Bu ta'sir kuchi neytron va elektron zarrachalari magnit momentlarining o'zaro ta'sirlashishi natijasida paydo bo'ladi. Uning qiymati juda kichik bo'lganligi uchun hisobga olmasa ham bo'ladi.

Neytron zarrachalarini atom yadrosiga kelib urilganida quyidagi jarayonlar sodir bo'lishi mumkin

1. Neytronning yutilishi ( $E_n \leq 500$  keV). Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:



2. Protonning hosil bo'lishidagi reaksiya. Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:



3.  $\alpha$ -zarrachaning hosil bo'lishidagi reaksiya. Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:



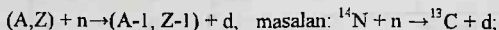
4. Parchalanish reaksiyasi. Jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$(A, Z) + n \rightarrow (A_1, Z_1) + (A_2, Z_2)$ , bunda quyidagi tengliklar bajarilishi shart:

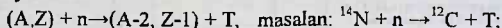
$A + 1 = A_1 + A_2, \quad Z = Z_1 + Z_2, \quad A_1 / A_2 \approx -2/3$  m.mosabatda bo'ladi.



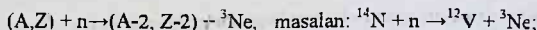
5. Deytronning hosil bo'lishidagi reaksiya. Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:



6. Tritonning hosil bo'lishidagi reaksiya. Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:



7.  ${}^3\text{Ne}$  zarrachasining hosil bo'lishidagi reaksiya. Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:



8. Bir nechta zarrachalarning hosil bo'lishidagi reaksiya. Bu jarayonning tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$(A, Z) + n \rightarrow (A_1, Z_1) + (A_2, Z_2) + (A_3, Z_3) + \dots$ , bunda quyidagi tengliklar bajarilishi shart:

$$A + 1 = A_1 + A_2 + A_3 + \dots, Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots, \text{ masalan: } {}^{14}\text{N} + n \rightarrow {}^{13}\text{N} + 2n$$

Bu jarayonlarning sodir bo'lishi neytronning energiyasiga bog'liqdir. Past energiyalarda asosan neytronlarning yutilish jarayoni sodir bo'ladi. Bir qator yadrolarda bu jarayonning kesim kattaligi yetarli darajada katta bo'lib, bir necha ming barga tengdir.

$(n, p)$ ,  $(n, d)$ ,  $(n, t)$ , va  $(n, \alpha)$  reaksiyalarini sodir bo'lishi uchun neytronning energiyasi katta bo'lishi lozim. Faqat yengil yadrolarda  $(n, \alpha)$  reaksiyasi past energiyalarda sodir bo'ladi. Bunga misol qilib  ${}^{10}\text{B} + n \rightarrow {}^6\text{Li} + \alpha$  reaksiyasini ko'rsatishimiz mumkin.

Neytronlarning yadrolardagi elastik sochilishida quyidagi jarayon sodir bo'ladi:  $(A, Z) + n \rightarrow (A, Z) + n$ . Bu jarayon ikki hil ko'rinishda yuz beradi:

1. Potensial sochilish. Bunda neytron yadroning ichiga kirib bormaydi. Yadro maydoni bilan o'zaro ta'sirlashishda bo'ladi. Har qanday energiyali neytron potensial sochilishni yuzaga keltiradi.

2. Rezonans sochilish. Bunda neytron yadroning ichiga kirib boradi. Rezonans sochilishi yuz berishi uchun neytronning energiyasi yadro holati energiyasiga teng yoki unga yaqin bo'lishi lozim.

(n,p), (n,d), (n,t), va (n, $\alpha$ ) reaksiyalar 14 MeV energiyali neytronlarda juda yaxshi o'rganilgan. Bunga sabab 14 MeV energiyali monoxromatik neytronlarni olish mumkinligi bo'ldi. Bu energiyada turli yadrolar ustida ko'plab tajribalar o'tkazildi va tajriba natijalari statik va eksiton modellari orqali tahlil qilinib, turli reaksiya kanallari uchun kesim kattaligini topishning empirik ifodalari keltirib chiqarildi:

1. (n,2n) reaksiyasi uchun:

$$\sigma_{2n}, mb = (1000 + 7,5A) \left( 7,8 \frac{N-Z}{A} - 0,234 \right), \text{ agar } \frac{N-Z}{A} \leq 0,13; \quad (1)$$

$$\sigma_{2n}, mb = (1000 + 7,5A) \left( 0,65 + \frac{N-Z}{A} \right), \text{ agar } \frac{N-Z}{A} > 0,13$$

Shu ifoda yordamida (n,2n) reaksiyasining kesim kattaliklarini baholash mumkin. Ko'p yadrolar uchun empirik ifodalar orqali topilgan (n,2n)-reaksiyasining kesim kattaligi tajribalar orqali o'lgan qiymatlaridan 10-15 % farq qilishi aniqlandi.

2. (n,t) reaksiyasi uchun:

$$\sigma_{np}, mb = 43,5 \left( A^{\frac{1}{3}} + 1 \right) \cdot \exp(0,083 \sqrt{A} (-50 \frac{N-Z-1}{A} + 0,58 \frac{Z-1}{A^{\frac{1}{3}}}) - 3,26) \quad (2)$$

(2)-ifoda orqali topilgan (n,t) reaksiyasining kesim kattaligi ko'p

yadrolar uchun baholanib, ularni tajriba natijalaridan 20-25 % farq qilishi aniqlandi.

3. (n, $\alpha$ ) reaksiyasi uchun:

$$\sigma_{n\alpha}, mb = 17,84 \cdot \exp \left( -33 \frac{N-Z}{A} \right) \quad (3)$$

(3)-ifoda orqali topilgan (n, $\alpha$ ) reaksiyasining kesim kattaligi ko'p yadrolar uchun baholanib, ularni tajriba natijalaridan ~40 % farq qilishi aniqlandi.

4. (n,t) reaksiyasi uchun:

$$\sigma_{nt, mkb} = 4,52(A^{1/3} + 1) \exp\left(-10 \frac{N-Z}{A}\right) \quad (4)$$

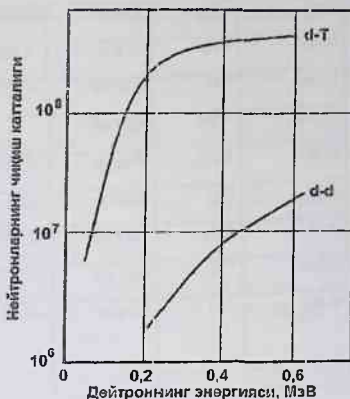
(4)-ifoda orqali topilgan (n,t) reaksiyasining kesim kattaligi ko'p yadrolar uchun baholanib, ularni tajriba natijalaridan ~70 % farq qilishi aniqlandi.

(1-4) ifoda orqali topilgan kesim kattaliklaridan yuqori aniqlik talab qilinmagan ishlarida, tajribaga tayyorgarlik ko'rilyotgan vaqtlarda foydalanish mumkin.

1-jadvalda bir qator yadrolar uchun tajriba natijalaridan olingan kesim kattaliklari va reaksiyalarga tegishli bo'lgan kattaliklar berilgan.

1-jadval. Bi nechta yadrolar uchun neytronlar ta'siridagi reaksiyalar

Element (taqqalishi,%)	Yadro reaksiyasi	Oxirgi yadro	Yarim yemi- rilish davri	Reaksiyaning energiyasi, MeV	Kesim kattaligi, mb(14,5 MeV)
${}^7\text{Li}$ (92,5)	(n,2n)	${}^6\text{Li}$	Turg'un	-7,25	22
	(n,m)	${}^6\text{Ne}$	0,808 sek	-11,0	105
	(n,an)	${}^7\text{N}$	12,54 y	-2,47	340
	(n,d)	${}^6\text{Ne}$	0,808 sek	-7,75	10
	(n,l)			-3,42	55
	(n,3n)			-12,92	0,2
	(n,2an)	${}^7\text{N}$	Turg'un	-8,72	33
${}^9\text{Be}$ (100)	(n,p)	${}^6\text{Li}$	Turg'un	-12,8566	4
	(n, $\alpha$ )	${}^6\text{Ne}$	0,808 sek	-0,6022	10
	(n,2n)			-1,665	524
	(n,l)	${}^7\text{Li}$	Turg'un	-13,459	20
${}^{11}\text{B}$ (80)	(n,p)	${}^{11}\text{Be}$	13,57 eek	-11,726	3,3
	(n, $\alpha$ )	${}^8\text{Li}$	0,84 sek	-6,633	30
	(n,2n)	${}^{10}\text{B}$	Turg'un	-11,456	19
	(n,l)	${}^9\text{Be}$	0,02 eek	-12,588	0,19
${}^{12}\text{C}$ (98,89)	(n,p)	${}^{12}\text{B}$	Turg'un	-12,8366	4
	(n, $\alpha$ )	${}^9\text{Be}$	Turg'un	-5,7016	80
	(n,2n)	${}^{11}\text{C}$	20,58 m	-18,723	1



3-rasm. Neytronlar chiqish kattaligini deytрон energiyasiga bog'liqligi

Keyingi vaqtlarda ixcham neytron generatorlari yaratildi. Ular yordamida turli neytronlar oqimini olish mumkin. Ular asosan impuls rejimida ishlaydi. Bu generatorlar sodda bo'lib, tok manbaidan, boshqarish pulti va neytron beruvchi qurilmalardan iborat. 3-jadvalda bir nechta ixcham neytron generatorlarining xarakteristikalari berilgan.

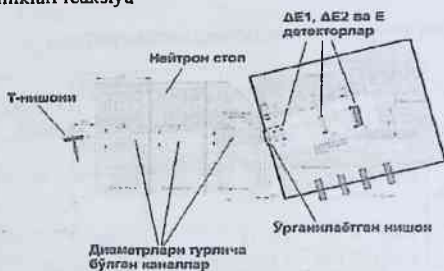
3-jadval. Ixcham neytron generatorlarining xarakteristikalari

Generator turi	ING-013	ING-03	ING-031	ING-07
Neytronlar oqimi, n/s	$9 \cdot 10^9$ (14 MeV); $3 \cdot 10^8$ (2,5 MeV)	$3 \cdot 10^9$ (14 MeV); $2 \cdot 10^7$ (2,5 MeV)	$2 \cdot 10^{10}$ (14 MeV); $4 \cdot 10^8$ (2,5 MeV)	$10^9$ (14 MeV); $4 \cdot 10^7$ (2,5 MeV)
Nurlanish rejimi	Impulslı	Impulslı	Impulslı	Uzluksız va impulslı
Neytron impulsining o'tish davomiyligi, mks	0,8÷1,2	1,2	1,2	20÷100
Chastota, Gs	1÷50	1÷30	1÷100	400÷1000
Ishlash vaqti, soat	1500 ( $10^8$ n/s)	1600 ( $10^8$ n/s)	1600 ( $10^8$ n/s)	500
Tok manbai	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs	220 V, 50 Gs
Quvvati	500	100	700	200
O'lchamlari, mm				
Diametri	130	130	130	190
Uzunligi	1300	950	950	440
Massasi				

$^{27}\text{Al}(100)$	(n,p)	$^{27}\text{Mg}$	9,46 m	-1,828	74
	(n, $\alpha$ )	$^{24}\text{Na}$	15 soat	-3,132	118
	(n,2n)	$^{26}\text{Al}$	$7,38 \cdot 10^4$ y	-13,058	7
	(n,2n)	$^{26m}\text{Al}$	6,35 sek		0
	(n,np)	$^{26}\text{Mg}$	Turg'un	-8,27	50
$^{28}\text{Si}(92,23)$	(n,p)	$^{28}\text{Al}$	2,243 m	-3,86	260
	(n, $\alpha$ )	$^{25}\text{Mg}$	Turg'un	-2,653	13
	(n,2n)	$^{27}\text{Si}$	4,11 sek	-17,177	0
	(n,pn)	$^{27}\text{Al}$	Turg'un	-11,59	27

### Tajribani o'tkazish tartibi:

Energiyasi 14 MeV bo'lgan neytronlar NG-150 neytron generatori yordamida olinadi. Neytronlar oqimi neytron stopdan tayyorlangan kanallardan o'tib nishonga borib tushadi. 2-rasmda neytron stopdan tayyorlangan kanallar ko'rsatilgan. Detektorlar sifatida qalinliklari turlicha bo'lgan Si ishlatilgan. Ularning qalinliklari reaksiya



2-rasm. Tajriba geometriyasi

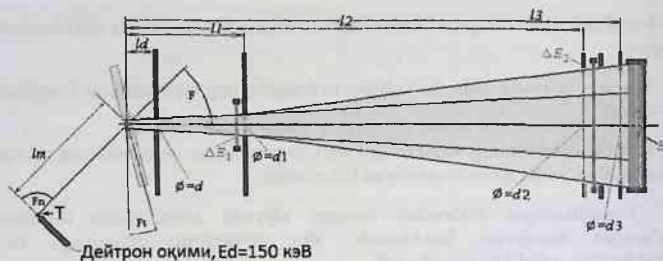
mahsulotlarining energiyasiga bog'liq holda tanlanadi. Neytron stopning ishlatilishiga sabab fon sanoqlarini kamaytirishdan iboratdir. Neytron stop uchta qismdan iborat. Detektorlar o'rnatilgan kamera ichida yuqori vakuum olinadi. Ketma-ket o'rnatilgan detektorlar sistemasi "Teleskop" deb yuritiladi. Tajriba

o'tkazishdan oldin bir qator hisob ishlari amalga oshiriladi. Bular quyidagilardan iborat:

1. Neytron ta'sirida sodir bo'ladigan reaksiyalarning kinematikasi hisoblanadi (3-rasm).
2. Har bir detektorning xarakteristikalari  $\alpha$ -zarrachalar yordamida tekshiriladi. Energiya bo'yicha ajratish qobiliyati baholanadi.
3. O'rganilayotgan nishondan chiqqan zaryadli zarrachalarni detektorda yo'qotgan energiyasi hisoblanadi. Shu yo'qotilgan energiyaga ko'ra detektorning qalinliklari aniqlanadi.
4. Detektorlar orasidagi masofalar, detektorlar oldiga qo'yiladigan kollimatorlarning diametrlari aniqlanadi. Aniqlangan natijalarga ko'ra detektorlar joylashtiriladi (4-rasm).
5. O'rganilayotgan nishonning oldi tamoniga qalinligi 1mm atrofida bo'lgan "tantal" materiali joylashtiriladi. Uning vazifasi keraksiz bo'lgan zarrachalarni detektorga tushmasligini ta'minlashdir. Albatta bu material o'rganilayotgan reaksiyaga salbiy ta'sir ko'rsatmasligi lozim.
6. Har bir detektorning ishlashi neytronlar oqimi nishonga kelib tushgan holatida tekshiriladi (5-rasm). Har bir detektorning ishlashi kalitlar holatining vaziyatiga qarab tanlanadi.
7. Detektorlarning ishlashi qoniqarli deb topilganidan so'ng, moslashtirish sxemasi ishga tushiriladi.
8. Ekranda zarrachalarning turlari bo'yicha taqsimoti paydo bo'ladi. Yetarli statistika olinganidan keyin tajriba to'xtatiladi va kompyuterning hotirasiga yozib qo'yiladi.



3-rasm. Yadro reaksiyalarining kinematikasi



4-rasm. Tajriba geometriyasi

“NERD” usulida spektrlarni o‘lchash rejimini boshqarish. Spektrlarni o‘lchash maxsus o‘rnatilgan kalitlar yordamida amalga oshiriladi. 5b-rasmda T1, T2 va T3 kalitlar ko‘rsatilgan. Quyida kalit holatlari qanday bo‘lganda, qanday spektrni o‘lchash mumkinligi ko‘rsatilgan. Shu asosda har bir detektorning ish holatini tekshirish mumkin.

Detektorga kuchlanish berish qurilmasi (a)	Spektrlarni o‘lchash rejimini boshqarish moslamasi , T1, T2, T3 kalitlar (b)

5a,b-rasm. Detektorlarga kuchlanishni berish va spektrlarni o'lchash rejimini tanlash qurilmalari

Har bir detektorni tekshirish uchun 5-rasmda berilgan kalitlarning holatlari quyidagi ko'rinishda bo'lishlari kerak:

Kalitlar holati:

1.  $\Delta E1$ -detektordagi spektrni ko'rish T1↑ T2↓ T3↓
2.  $\Delta E2$ - detektordagi spektrni ko'rish T1↓ T2↑ T3↓
3. Ye-detektordagi spektrni ko'rish T1↓ T2↓ T3↑
4.  $\Delta E1+E$  detektorlar moslashtirilgandagi spektr T1↑ T2↓ T3↑
5.  $\Delta E2+E$  -detektorlar moslashtirilgandagi spektr T1↓ T2↑ T3↑
6.  $\Delta E1+ \Delta E2+E$  -detektorlar moslashtirilgandagi spektr T1↑ T2 T3↑

**Nazorat savollari:**

1. Neytron zarrachalari yadrolar bilan qanday turdagi ta'sirlarni yuzaga keltiradi?
2. Neytronlarning potensial sochilishni izohlab bering?
3. Neytronlarning rezonans sochilish qanday sodir bo'ladi?
4. Tajribada nima sababdan neytron stopdan tayyorlangan kanallar ishlatiladi?
5. Nima uchun tajribada uchta detektordan tashkil topgan teleskop ishlatiladi?
6. Kollimatorlarning vazifasi nimadan iborat?

**Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. P.K. Xabibullaev, B.G. Skorodumov// Yaderni-fizicheskie metody opredeleniya vodoroda v metallax, izd: "Fan", 1985.
2. V.I. Strijak, M.E. Gurtovoy, B.E. Lezenko, G.A. Prokopes, S.P. Sitko // Fizika bystrykh neytronov, M: Atomizdat, 1977.



## № 47. Laboratoriya ishi

### Yadro reaksiyasining kinematikasini hisoblash

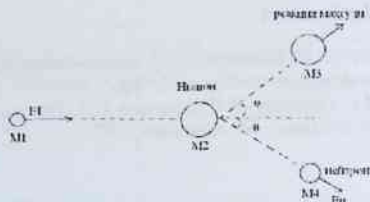
**Ishtan asosiy maqsad:** Yadro reaksiyalarini o'lchashdan oldin unga tayyorgarlik ko'riladi. Bir qator hisob ishlarini bajarishga to'g'ri keladi. Shulardan biri yadro reaksiyasining kinematikasi hisoblanadi. Ushbu laboratoriyada shu masalaga to'xtalib o'tilgan.

**Nazariy qismi:** Har bir yadro reaksiyasining kanali o'zining minimal yuz berish energiyasiga ega bo'ladi. Bu energiyaga yadro reaksiyasining ostonasi (porogi) deb ataladi. Reaksiya porogi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$E_{\text{por}} = -\frac{M+m}{M}Q = -(1 + \frac{m}{M})Q \quad (1)$$

bu yerda  $M$ -nishonning massasi,  $M_1$ - nishonga kelib tushayotgan zarrachaning massasi,  $Q$  — reaksiyaning energiyasi. Reaksiya kanali ochiq bo'ladi, qachonki  $Ye_{zarr.} > Ye_{\text{por}}$  katta bo'lsa.

Neytron zarrachalarining energiyasi yadro reaksiyasining kinematikasi yordamida hisoblanadi. Bu hisob ishlari laboratoriya koordinata sistemasida olib boriladi. Nishondagi yadrolar harakatsiz deb olinadi. 1-rasmda yadro reaksiyasining diagrammasi ko'rsatilgan: harakatsiz bo'lgan nishonga ( $M_2$ ) tezlashtirilgan zarracha kelib uriladi ( $M_1$ ) va yadro reaksiyasini sodir etadi. Natijada reaksiya mahsuli ( $M_3$ ) va zarracha ( $M_4$ ) hosil bo'ladi. Reaksiya natijasida hosil bo'lgan zarracha ( $M_4$ ) neytral yoki zaryadli zarracha bo'lishi mumkin. Yadro reaksiyalarini o'rganishda ko'pincha shu zarrachaning energiyasini topish kerak bo'ladi. Zarrachaning energiyasi yadro reaksiyasining kinematikasi yordamida topiladi. Zarrachaning energiyasini topish uchun programma yaratilgan bo'lib, unga "Nucl" nomi berilgan. Bu programma yordamida qisqa vaqt ichida zarrachaning energiyasini keng burchaklar oraligida hisoblash mumkin.



1-rasm. Yadro reaksiyasining diagrammasi

Neytronning energiyasi quyidagi tenglama orqali topiladi:

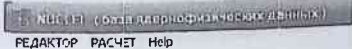
$$E_n = E_1 \cdot \frac{M_1 \cdot M_4}{(M_4 + M_1)^2} \left\{ 2 \cdot \cos^2 \theta + \frac{M_3(M_3 + M_4)}{M_1 \cdot M_4} \right\} \cdot \left[ \frac{Q}{E_1} + \left( 1 - \frac{M_1}{M_3} \right) \right] \pm 2 \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{M_3(M_3 + M_4)}{M_1 \cdot M_4} \left[ \frac{Q}{E_1} + \left( 1 - \frac{M_1}{M_3} \right) \right]} \quad (2)$$

bu yerda  $Ye_1$  va  $M_1$  – nishonga kelib tushayotgan zarrachaning energiyasi va massasi;  $M_2$  – nishonning massasi;  $M_3$  – reaksiya mahsulining massasi;  $M_4$  – neytronning massasi;  $\theta$  – neytronning sochilish burchagi;  $Q$  – reaksiyaning energiyasi.

Neytronning maksimal energiyasi  $\theta = 0^\circ$  burchakka to'g'ri keladi. Sochilish burchagining ortib borishida neytronning energiyasi kamayib boradi. Agar bombardimon qiluvchi zarrachaning energiyasi  $Ye_1 > 10$  MeV dan katta bo'lgan hollarda, neytronlarning chiqish kattaligini hisoblashda anizotropiya hodisasini e'tiborga olish kerak bo'ladi. Anizotropiya kattaligi tajriba orqali aniqlanadi.

**Hisobni bajarish tartibi:**

1. Birinchi bosqichda hisoblash programmasi yozilgan fayl topiladi. Programma yozilgan "NUCLE.exe" fayl belgilanadi va "Enter" tugmacha bosiladi. Ekranda 1-rasmdagi ma'lumotlar paydo bo'ladi. So'ngra "RASCHET" komandasiga sichqoncha yordamida boriladi va unga kiriladi.



1-rasm. Birinchi bosqichda hosil bo'lgan ma'lumotlar

2. Ikkinchi bosqichda reaksiyaga tegishli ma'lumotlar beriladi. "Variant rascheta" ga 1 yoki boshqa sonlarni berish mumkin. "Simvolya reakcii" qismida uchta belgini berish yetarlidir. Masalan: A127, H2, H1 teriladi va "VVOD" tugmacha bosiladi. 2-rasmda kiritilgan ma'lumotlar berilgan.

target	projectile	outgoing	residual
0127	012	011	0120
27	2	1	20
-17.196	13.136	7.289	-16.855
13	1	1	13

НАЖМИТЕ "РАСЧЕТ" ДЛЯ ПРАВОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММЫ или "ВЫХОД"

2-рasm. Reaksiyaga tegishli ma'lumotlarning berilishi

2. Uchinchi bosqichda ham reaksiyaga tegishli ma'lumotlar beriladi. Nishonga kelib tushayotgan zarrachaning energetik holati beriladi. Odatda, zarracha holati uyg'onmagan deb olinadi va 0 soni beriladi. Keyingi bosqichda oxirgi yadroning holatiga tegishli kattalik beriladi. Agar yadroning asosiy holati ko'rilayotgan bo'lsa, 0 soni beriladi. Agar uyg'ongan holati ko'rilayotgan bo'lsa, shu uyg'ongan holatning energiyasi beriladi. Keyingi etapda nishonga kelib tushayotgan zarrachaning energiyasi beriladi (MeV). So'ngra boshlang'ich burchak, odatda  $0^\circ$  dan boshlanadi va burchakning o'zgarish qadami  $10^\circ$ . Burchakning o'zgarish qadamini turlicha berish mumkin. 3-rasmda bu kiritilgan ma'lumotlar ko'rsatilgan.

3.

E1 энергия входящей вылетающей частицы outgoing	0
E2 энергия входящей вылетающей частицы residual	0
E0 энергия падающей 3 частицы projectile	15
TETA_0 начальная угол вылета вылетающей частицы outgoing	0
D TETA шаг по углу вылетающей частицы outgoing	10

ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ

3-рasm. Keyingi ma'lumotlarni kiritilish tartibi



## Foydalanilgan adabiyotlar:

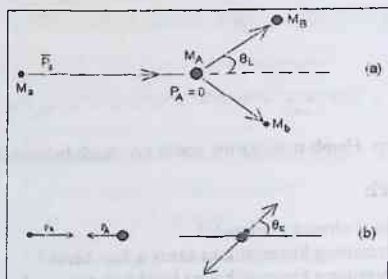
1. A.M. Beldin, V.I. Goldanskiy, V.M. Maksimenko, I.L. Rozentel // Kinematika yadernyx reaksiy, M: Atomizdat, 1968.
2. O.F. Nemes // Spravochnik po yadernoy fizike, Atomizdat, 1

## № 48. Laboratoriya ishi

### Laboratoriya koordinata sistemasidan Sentr mass sistemasiga o'tish va aksincha

**Ishdan asosiy maqsad:** Laboratoriya koordinata sistemasidan Sentr mass sistemasiga o'tishkazish yo'llarini o'rganish. Yadro fizikasidagi tajriba ishlari laboratoriya koordinata sistemasida olib boriladi. Tahlil qilish ishlari sentr mass sistemasida olib boriladi.

**Nazariy qismi:** Tajriba ishlari laboratoriya koordinata sistemi olib boriladi. Bu sistema tajriba o'tkazishda bir qator qulayliklarni yuzaga keltiradi. Nishon harakatsiz deb olinadi. Demak tezlik  $v=0$  bo'lgari uchun nishonning impulsi ham  $R_A=0$  ga teng bo'ladi. 1a-rasmda laboratoriya koordinata sistemasida aks ettirilgan. 1b-rasmda esa sentr mass sistemasida ko'rsatilgan. Sentr mass sistemasida nishon ham harakatlanmoqda deb faraz qilinadi. Nishon va zarracha bir biriga qarab harakatlanmoqda. Bunday qarashda hisob ishlari bajarish soddalanadi. Qarama-qarshi yo'nalgan zarracha va nishon impulslarning modellari bir biriga teng bo'ladi ( $|r_s| = |P_A|$ ).



1a,b-rasm. a- laboratoriya koordinata sistemasida, b- sentr mass sistemasida

Binar reaksiyalarida energiyani, burchakni va differensial kesim kattaliklarini LKS ↔ SMS olib o'tish va aksincha bosqichlarda qilinadigan ishlarda quyidagi matematik ifodalar ishlatiladi:

$$\operatorname{tg} \theta_L = \frac{\sin \theta_c}{\gamma + \cos \theta_c}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{M_a}{M_b} \quad \text{elastik sochilish uchun (1)}$$

$$\left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_L = \frac{(1 + \gamma^2 + 2\gamma \cos \theta_c)^{3/2}}{|1 + \gamma \cos \theta_c|} \cdot \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_c \quad (2)$$

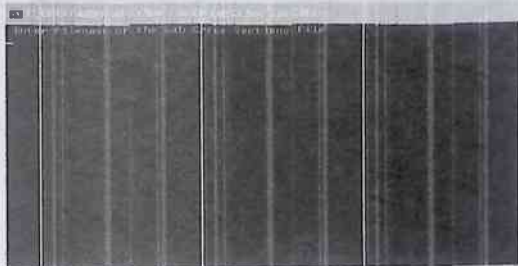
bu yerda umumiy holda  $\gamma = \left( \frac{M_a M_b}{M_a M_b} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon + Q} \right)^{1/2}$ ,  $\varepsilon = \frac{M_b M_a}{2(M_a M_a)} \cdot \Gamma a^2$  ( $V_a$  – zarracha tezligi)

$$(E_b)_L = E_a \frac{M_a^2 + M_b^2 + 2M_a M_b \cdot \cos(\theta_c)}{(M_a + M_b)^2} \quad (3)$$

$$E_{\text{os'ona}}^L = |Q| \left( 1 + \frac{M_a}{M_b} \right) \cdot \text{endotermik reaksiyalar uchun. (4)}$$

### Hisoblashni bajarish tartibi:

1. "Sr. Sec Lab-CM-Lab" papkani ichiga kiriladi.
2. «Cr. Sec\_CM-lab.exe» bu programma yordamida SMS dan LKS o'ti adi.
3. "Cr. Sec\_Lab-CM.exe" bu programma yordamida LKS dan SMS o'tiladi.
4. Hisob ishlarida LKS dan SMS o'tish ishlari amalga oshirildi. Ekranida quyidagi komanda paydo bo'ldi. Laboratoriya sistemasida berilgan burchak va reaksiyaning kesim kattaligi yozilgan fayl nomi beriladi. 1-rasmda hisob ishlarining boshlang'ich etapi ko'rsatilgan. Masalan; d-000.txt



1-rasm. Hisob ishlarining boshlang'ich etapi

**d-000.txt** fayl nomi yoziladi va «Enter» komandasi beriladi. Bu fayl ichida burchak va burchaklarga tegishli kesim kattaliklari laboratoriya sistemasida berilgan bo'ladi. Berilgan fayl 2-rasmda ko'rinib turibdi.



2-rasm. Burchak va kesim kattaliklari yozilgan faylning berilishi

Keyingi bosqichda reaksiyaning nomi beriladi. Reaksiyani to'liq yozish shart emas, qisqa ko'rinishida berish mumkin. Masalan: **dd** , yoziladi va «Enter» komandasi beriladi. Bu bajarilgan ishlar 3-rasmda ko'rsatilgan.



3-rasm. Reaksiya nomining berilishi

Keyingi bosqichda hisob natijalari berilishi kerak bo'lgan faylning nomi yoziladi. Masalan: **xu** yoziladi va «Enter» komandasi beriladi. Bu qilingan ishlar 4-rasmda ko'rinib turibdi.



4-rasm. Hisob natijalari berilishi kerak bo'lgan fayl

Keyingi bosqichda nishonga kelib tushuvchi zarrachaning massasi, bo'linib bo'luvchi zarrachaning massasi va yadro nishonining massalari beriladi. Har bir son oraligida ochiq joy (probel) qoldiriladi. Masalan: 3210 . yoziladi va «Enter» komandasi beriladi. Bu qilingan ishlar 5-rasmda ko'rinib turibdi.

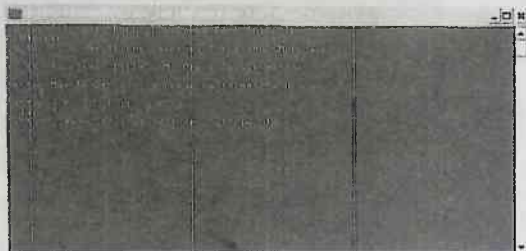


5-rasm. Nishonga tushuvchi, nishondan chiquvchi zarrachalarning va nishon massalari

Keyingi bosqichda reaksiyaning Q-kattaligi va nishonga kelib tushayotgan zarrachaning energiyasi (MeV) beriladi. Har bir son oraligida probel qoldiriladi. Masalan: 3.196 \_ 34sonlar terilgach «Enter» komandasi beriladi. Bu qilingan ishlar 6-rasmda ko'rinib turibdi. So'ngra Burchaklar yoki kesim kattaliklarning soni beriladi. Masalan: 22 soni berilib, «Enter» komandasi beriladi. Bu natija ham 6-rasmda ko'rinib turibdi.

Oxirgi bosqichda programma yozilgan joyda hisob natijalari yozilgan fayl topiladi va uning ichiga kiriladi. Masalan: xu topiladi va F4 knopkasi bosiladi. Ekranda hisob natijalari paydo bo'ladi. Birinchi





6-rasm. Reaksiyaning Q-kattaligi va nishonga kelib tushayotgan zarrachaning energiyasini (MeV) berilishi

ustunda SMS berilgan burchaklar. Ikkinchi ustunda esa SMS berilgan kesim kattaliklaridir.

0.000000E+00	49.63982
5.467932	46.99762
10.93228	46.92592
16.38960	45.57151
21.83641	40.63339
27.26933	36.28870
32.68506	27.99751
38.08045	22.61884
43.45247	14.81813
48.79827	10.04379
54.11519	6.596512
59.40081	5.371510
64.65289	4.749115
75.04892	4.842616
80.18978	4.315276
85.29097	3.616413
90.35170	3.151852
95.37146	3.063565
100.3501	2.603709
105.2878	3.269568
115.0426	4.158791
124.6434	5.394199

### Nazorat savollari:

1. Nima uchun tajriba ishlari laboratoriya koordinata sistemasida olib boriladi?
2. Sentr mass sistemasida nishon va nishonga kelib tushuvchi zarrachalar harakati qanday ko'rinishda bo'ladi?
3. (1) va (2)- ifodalarni tushuntirib bering?
4. (3) va (4)- ifodalarni tushuntirib bering?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. A.M. Baldin, V.I. Goldanskiy, V.M. Maksimenko, I.L. Rozental // Kinematika yadernyx reaksiy, M: Atomizdat, 1968.
2. O.F. Nemes // Spravochnik po yadernoy fizike, Atomizdat, 1975.

## № 49. Laboratoriya ishi

### Tuproq tarkibidagi radioaktiv elementlarning solishtirma aktivligini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Solishtirma aktivlikni aniqlash yo'llarini o'rganish. Tuproq tarkibida qanday radionuklidlar mavjud bo'lishligini tajriba orqali o'lish.

**Kerakli jihozlar:** O'lishga tayyorlangan tuproq. Marinelli idishi, o'ta toza Ge-detektorli  $\gamma$ -spektrometr, programma ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Yer tarkibida tabiiy radionuklidlar keng tarqalgan. Ularning hosil bo'lishi Yerning paydo bo'lishi davridan boshlanadi. Keyinchalik bu radionuklidlarning parchalanishi natijasida ularning mahsulotlari paydo bo'ladi. Yerning biosferasida 60 taga yaqin tabiiy radionuklidlar mavjud bo'lib, ularni ikki guruhga bo'lish mumkin:

1. Uran va toriy oilasiga kiruvchi radionuklidlar.
2. Uzoq yashovchi, yarim yemirilish davri  $10^7$  dan  $10^{15}$  yillargacha bo'lgan radionuklidlar (10 taga yaqin radionuklidlar). 1-jadvalda Yerning paydo bo'lish davridan boshlangan birlanchi, asosiy radionuklidlar keltirilgan.

1-jadvalda berilgan radionuklidlar organizmga tashqi tamondan nurlanish beradi. Bu radionuklidlardan odarni bir yilda olgan o'rtacha doza miqdori 0,35 mZv tashkil qiladi. Lekin bu ko'rsatkich Yer sharining turli joylarida turlichadir. Agar odam bino ichida turgan bo'lsa, bino devorlari himoya vazifasini bajaradi va tashqi nurlanishning ta'sirini kamaytiradi. Ammo bino devori tarkibida ham radionuklidlar mavjuddir va ular bino ichidagi odamlarga nurlanish dozasini beradi. Qurilish materiallari tarkibida asosan  $^{40}\text{K}$ ,  $^{220}\text{Ra}$  va  $^{232}\text{Th}$  radionuklidlari bo'lib, ularning doza quvvati  $4 \cdot 10^{-8}$  dan  $12 \cdot 10^{-8}$  Gr/soat oraliklarida bo'ladi.

1-jadval. Yerning paydo bo'lishi davridan boshlangan birlanchi radionuklidlar

Izotop	Er tarkibi og'irligi nuqtasiga nisbatan	Yarim yemirilish davri, yil	Nurlanishning turi
Uran-238	$4 \cdot 10^{-12}$	$4,5 \cdot 10^9$	$\alpha$ -parchalanish
Toriy-232	$12 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$\gamma$ -parchalanish $\alpha$ -parchalanish
Kaliy-40	$3 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^9$	$\gamma$ -parchalanish $\beta$ -parchalanish
Vannadiy-50	$2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{11}$	$\gamma$ -parchalanish

Rubidiy-87	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{10}$	$\beta$ -parchalanish
Indiy-115	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}$	$\beta$ -parchalanish
Lantan-138	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$\gamma$ -parchalanish $\beta$ -parchalanish
Samariy-147	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$\alpha$ -parchalanish
Lyutesiy-176	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{10}$	$\gamma$ -parchalanish $\beta$ -parchalanish

## Radioaktiv oilalar yoki qatorlar

Tabiatda tarqalgan radioaktiv elementlarni to'rtta katta oilaga yoki to'rtta qatorlarga ajratish mumkin. Tabiiy radioaktivlikka ega bo'lgan elementlarning yarim yemirilish davri Yerning yoshiga taxminan tengdir. Tabiiy sharoitda faqatgina neptuniy oilasi mavjud emas. Bu oila dastlabki davrlarda mavjud bo'lgan. Neptuniy oilasidan tashqari barcha oilalar magik yadrodan iborat bo'lgan ( $Z=82$ ) qo'rg'oshin bilan tugallanadi.  $^{235}\text{U}$  ning yarim yemirilish davri katta bo'lganligi uchun hozirgi davrda ham mavjuddir. Bu o'z navbatida yadro energetikasini mavjud bo'lishiga zamin tayyorlab berdi. Bu oilaga kiruvchi elementlar ketma-ket parchalanishlarni sodir etib, keyingi elementlarga aylanadi. Parchalanish turli ko'rinishlarda yuz beradi. Parchalanishlarni Z va A larning siljish qoidasi bo'yicha izohlash mumkin. 2 -jadvalda Z va A lar bo'yicha siljish qoidasi berilgan.

2 -jadval. Parchalanishlarda Z va A kattaliklarning siljish qoidasi

Parchalanish turi	Siljish	
	$\Delta Z$	$\Delta A$
Alfa parchalanish	-2	-4
$\beta^-$ -parchalanish	1	0
$\beta^+$ -parchalanish	-1	0
K-yutilish	-1	0
$\gamma$ -nurlanish	0	0
Spontal bo'linish	$\sim Z/2$	$\sim A/2$
Proton radioaktivlik	-1	-1
Ikki protonli radioaktivlik	-2	-2

Har bir oila elementlari orasida radioaktiv tenglik alomati sodir bo'ladi, ya'ni oralik elementlarida hosil bo'lish tezligi bilan parchalanish tezliklari bir-biriga tenglashadi. Bunday tenglik asr tengligi deb nomlangan.

**Tajriba qismi:** Tuproq tarkibidagi radioaktiv elementlarning solishtirma aktivligini yarim o'tkazgichli detektor asosidagi gamma spektrometrlar yordamida o'lchash mumkin.

Hozir davrga kelib xarakteristikalari yaxshi bo'lgan detektorlarning yaratilishi va elektron bloklarining takomillashib borishi, hamda programma ta'minotining yaratilishi ishlatishga qulay, ixcham va parametrlari yuqori bo'lgan spektrometrlarni yaratilishiga turtki bo'ldi. Buni gamma spektrometrlar misolida ko'rish mumkin. Bunday spektrometrlarni sanoqli davlatlarga chiqara oladi. Bu sohada CANBERRA firmasini aytib o'tish lozim. CANBERRA firmasi yadro nurlanishlarini qayd qilish va ularni tahlil qilishga tegishli bo'lgan asbob-uskunalami ishlab chiqish bo'yicha asosiy o'rinni egallab kelmoqda. Hozirgi vaqtda uning 14 filiallari turli mamlakatlarda o'z ish faoliyatini davom ettirib kelmoqda. Shu jumladan Rossiyada ham. CANBERRA firmasi Eurisy Mesures (Fransiya) va Artec-NRC (AQSh-Kanada) hamkorligida ishlab chiqarilayotgan mahsulot turlarini yanada kengaytirdi. 3-jadvalda amalda eng ko'p ishlatilayotgan ssintillyatsion  $\gamma$ -spektrometrlar va ularning xarakteristikalari berilgan.

3-jadval. Ssintillyatsion  $\gamma$ -spektrometrlarning texnik xarakteristikalari

Spektrometr-ning nomla-nishi (firma).	Qayd qilishda ishlatilgan de-tek-tor.	Analizator	Energiya bo'yicha ajratish qobiliyati $^{137}\text{Cs}$ bo'yicha, %	Programma ta'minoti
Ssintillyatsion $\gamma$ -spektrometr "Kanberra"	802 seriyadagi de-tek-torlar 51x51 mm va 76x76 mm o'lchamli.	ASA-100	<8,0	Programma Genie 2000
Ixcham ssintillyatsion $\gamma$ -spektrometr "Kanberra"	802 seriyadagi NaI detektorlar o'lcha-mi 51x51 mm va 76x76 mm.	Ko'p kanalli InSpector 2000	<8,0	Programma Genie 2000
Ssintillyatsion $\gamma$ -spektrometr	Ssintillyatsion BD turdagi o'l-chami		<8,5	"Progress-

"Progress-gamma" (NPP "Doza")	63x63 NaI(Tl) bo'l-gan kristalli			gamma"
Spektrometrik kompleks "MULTIRAD" (NTS "Amplifika-tuda")	O'lchami 63x63 mm bo'l-gan NaI(Tl) va boshqa turli o'lchamdagi CsI(Tl), CsF <sub>2</sub> (Eu) kr-istallari.		<8,5	"Progress-gamma"
Ssintillyatsion gamma-spektrometr GAMMA-1S (ZAO NTS "Aspekt")	Ssintillyatsion BDS-G turdagi o'lchami 63x63 mm bo'l-gan NaI(Tl) kr-istalli.	Spektrometrik amplituda-raqamli shakl almashtirgich ASP-1K-V1	<8,0	Amaliy programma ta'minoti "LSRM"
Ssintillyatsion gamma-spektrometr (ZAO "Texnoekskan")	BDEG	Ko'p kanall. analizator MSA-2048		
Spektrometr-radiometr MKGB-01 (NTS) "Radek"	BDEG-80, BDEG-50, BDEG-K	Analog-raqamli shakl almashtirgich MD-198, BS-1 Riga sh.	<8,5	Programma ta'minoti ASinti-W
Dala gamma spektrometri (SII robotex-nika i texnik kibernetika)	SBDG	BOI	<8,5	
Spektrometriya kompleksi SKS-07P (GP "Grin Star")	BDEG NaI(Tl), CsI(Tl), CsI(Na), CsI, CdWO <sub>4</sub> , YAlO <sub>3</sub> (Ce), BGO, LYSO, BaF <sub>2</sub> va boshq. turli o'lchamli.	Protessor-lar, SBS-77, SBS-78, SBS-79 yok "Kolibri"	6÷10,5	SPO "ScintBasic"

4-jadvalda yarim o'tkazgichli gamma spektrometrlar va ularning texnik xarakteristikalari berilgan. Bu  $\gamma$ -spektrometrlar energiya bo'yicha ajratish qobiliyati yuqori bo'lishi lozim bo'lgan tajribalarda qo'llaniladi.

4-jadval. Yarim o'tkazgichli gamma spektrometrlar va ularning texnik xarakteristikalari

Spektrometr-ning nomla-nishi (firma).	Qayd ishlatiladigan detektorlar.	qilishda	Analiza-tor	Energiya bo'yicha ajratish qobiliyati $^{60}\text{Co}$ (1332 keV) bo'yicha, keV	Programma ta'minoti Genie 2000
Yarim o'tkazgichli gamma spektrometr ("Kanberra")	O'ta toza Ge-detektor		Raqamli analiza-tor DSA-2000	1,7÷2	Programma ta'minoti Genie 2000
Yarim o'tkazgichli gamma spektrometr ("Kanberra")	O'ta toza Ge-detektor		Raqamli analiza-tor DSA-1000	1,7÷2	Programma ta'minoti Genie 2000
Yarim o'tkazgichli gamma spektrometr "Progress-PPD" NPP "Doza"	O'ta toza Ge-detektor, effektivligi 10-60 % "ORTEC" yoki "Canberra" firma mahsulotlari		ASP (8K yoki 16K)	1,8÷2	"Progress-PPD"
Spektrometrik kompleks "MULTIRAD" (NTS "Amplituda")	O'ta toza Ge-detektor, effektivligi 10-50 % "ORTEC" yoki "Canberra" firma mahsulotlari		ASP (8K yoki 16K)	<2	"Progress-PPD"
Yarim o'tkazgichli gamma spektrometr GAMMA-1S (ZAO NTS "Aspekt")	O'ta toza Ge-detektor, "ORTEC" yoki "Canberra" firma mahsulotlari.		ASP 8K	1,8÷3,5	Amaliy programma ta'minoti "LSRM"
Spektrometrik qurilmalar RKG-	Ya'O'D "ORTEC" yoki "Canberra" firma		Spektrometrik us-boblar, BSI	1,9	Spektrlarni tahlil qilish



7-rasm. Namunani detektor oldiga joylashtirish sxemasi

### Tajribani o'tkazish tartibi

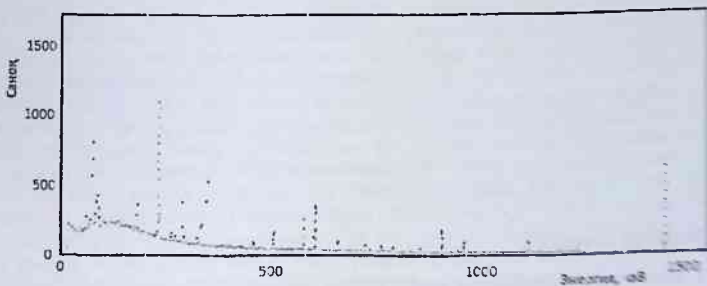
Tajribani o'tkazish qurilmasi 8-rasmda berilgan. Xarakteristik rentgen nurlanishlarini o'lchashga mo'ljallangan spektrometr programma ta'minoti bilan taminlangan.

1. Rentgen spektrometrida azot bor yoki yo'qligini aniqlash. Bor bo'lgan holatida yuqori kuchlanishni berish.
2. Kuchlanish berilganidan keyin, spektrometрни 10-15 minut davomida qizdirish.
3. Fon spektrini o'lchash va EHM hotirasiga yozib qo'yish.
4. Namunani joyiga joylashtirish va tajribani boshlash.
5. Namuna qo'yiladigan joyga qazilma kondan keltirilgan tuproqni yoki suv qoldig'ini qo'yish.
5. Namunadar chiqqan xarakteristik rentgen nurlarining spektrini belgilangan statistikada olish (8-rasm yoki 9-rasm).
6. O'lchangan rentgen spektrlarini EHM hotirasiga yozib qo'yish.
7. Olingan spektrlarni tahlil qilish va modda tarkibidagi elementlarning miqdorini aniqlash. O'lchangan spektrlarni tahlil qilishda elementlar chiqaradigan xarakteristik rentgen nurlanishlari e'tiborga olinadi (2-jadval).
8. Tajriba natijalarini berish (2-jadval).

- Kuchlanish berilganidan keyin,  $\gamma$ -spektrometr 10 min. davomida qizdiriladi. Bunda  $\gamma$ -spektrometr turg'un ish rejimiga keladi.
- Fon spektri o'lchanadi. Fon spektrini 300 sek atrofida o'lchash yetarli bo'ladi.
- Detektorga, tuproq solingan mar nelli idishi o'rnatiladi va himoya devorining ustki tamoni ham berkitiladi.
- O'lchashga ruxsat beriladi. O'lchash davomiyligi gamma pikllarning statistikasiga qarab, 4-7 soatlar oralig'ida bo'lishi mumkin.
- O'lchash davomida  $\gamma$ -spektrometning to'g'ri ishlashi  $^{40}\text{K}$  izotop chiqarayotgan 1461 keV energiyali  $\gamma$ -spektri orqali nazorat qilib turiladi. Bu pik hamma o'lchashlarda mavjud bo'ladi va yaxshi ko'rinib turadi.
- O'lchangan piklardagi sanoq qiymati yetarli statistikaga ega bo'lganda o'lchash to'xtatiladi va spektr EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.

### Spektrlarni tahlil qilish:

- Hotiraga yozilgan  $\gamma$ -spektrlar ekranga chaqiriladi. Genie 2000 programma ta'minoti yordamida tahlil qilinadi.
- Tuproqdagi radionuklidlar va ularning solishtirma aktivliklari aniqlanadi.



### Tajriba natijalari:

Radionuklidlar va ularning solishtirma aktivliklari quyidagi jadval ko'rinishida beriladi.

N	Radionuklid	$E_{\gamma}$ , MeV	$N_{\text{mavj}}$	$N_{\text{fon}}$	Aktivlik
1.					



2.					
3.					
4.					
5.					

### ОТЧЕТ О ИДЕНТИФИКАЦИИ НУКЛИДОВ

Имя оператора: \_\_\_\_\_

Циклотрон

Использованная сonda: \_\_\_\_\_

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ: ILEB, Koba Lab. ILEB

ИДЕНТИФИЦИРОВАННЫЕ НУКЛИДЫ

Имя нуклида	Достоверность идентификации	Энергия, KeV	Вывод	Активность, Bq/kg	Измеренность
K-40	0,987	1460,81*	10,47	6,43051E+002	1,10788E+001
CS-137	1,000	661,05*	89,17	1,68643E+000	1,75373E+001
TL-208	0,999	2614,10*	65,80	1,21119E+001	1,86038E+001
Bi-212	0,999	720,27*	11,80	1,10603E+001	7,76948E+001
Pb-212	0,999	238,83*	44,60	4,68851E+001	5,87948E+001
Bi-214	0,999	609,31*	46,33	3,86803E+001	4,91470E+001
Pb-214	0,998	1120,25*	15,10	4,91407E+001	1,31793E+001
Pb-214	0,998	511,02*	37,22	4,34843E+001	5,39950E+001
Pa-226	0,999	184,23*	3,00	1,36639E+001	1,71843E+001
Ac-228	0,999	338,32*	21,40	1,60233E+001	6,94023E+000
Pb-214	0,995	931,60*	27,00	4,34023E+001	7,13814E+000
Pb-214	0,995	151,34*	5,70	2,39412E+001	1,83701E+001
Pb-214	0,993	63,80*	3,30	4,93897E+001	1,47200E+001
		833,07*	4,00	3,54016E+001	1,81388E+001

\* - линия присутствует в спектре

Δ - Даны не использованы для расчета среднезначительной активности

Допуск энергии при идентификации: 1,000 KeV

Порог достоверности идентификации: > 0,30

Измеренность равна 1,000 Bq

### Nazorat savollari:

1. Radioaktiv elementlarning qanday oilalari mavjud?
2. Nima sababdan radionuklidlarning solishtirma aktivligi yarim o'tkazgichli gamma spektrometrlar yordamida o'lchanadi?
3. O'lchashda nima uchun Marinelli idishi ishlatiladi?
4. O'lchashdan oldin tuproq nima sababdan quritiladi, maydalanadi va elakdan o'tkaziladi?
5. Tajribani boshlashdan oldin nimalarga e'tibor berish kerak?
6. Nima uchun o'lchash 5-6 soat davom etadi?

## Foydalanilgan adabiyotlar:

1. M.I. Prutkina, V.L. Shashkin // Spravochnik po radiometricheskoy razvedke i radiometricheskomu analizu, Ergoatomizdat, 1984.
2. Ye.I. Jeleznova, I.P. Shumilin, B.Ya. Yufa // Radiometricheskie metody analiza yestestvennykh radioaktivnykh elementov, M: Nedra, 1968.

## № 50. Laboratoriya ishi

### Suv tarkibidagi radioaktiv elementlarning solishtirma aktivligini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Solishtirma aktivlikni aniqlash yo'llarini o'rganish. Suv tarkibida qanday radionuklidlar mavjud bo'lishligini tajriba orqali o'lchash.

**Kerakli jihozlar:** 5 lsvu, suvni bug'lantirish uchun mahsus tayyorlangan qurilma, Petro idishi, o'ta toza germaniy detektorli  $\gamma$ -spektrometr, aniqlik darajasi yuqori bo'lgan tarozi, EHM.

**Nazariy qismi:** Tuproq, suv va havo atmosferasi tarkibida doimo radioaktiv elementlar mavjuddir. Bu elementlarning ma'lum bir qismi tabiiy radiaktiv elementlar bo'lib, ularning paydo bo'lishi Yerning paydo bo'lish davriga tengdir. Bundan tashqari radiaktiv elementlar nurlanishlar ta'siri ostida ham hosil bo'ladi. Masalan: quyoshdan kelayotgan kuchli quvvatga ega bo'lgan birlamchi nurlanishlar havo atmosferasi tarkibidagi atom yadrolari bilan ta'sirlashishlari hisobiga radioaktiv elementlar paydo bo'ladi. Bu elementlar tabiatda sodir bo'ladigan turli jarayonlar natijasida tuproqqa, suvga tushadi. Shu tariqa tuprov, suv va havo atmosferalari orasida doimo almashinish hodisasi sodir bo'lib turadi. Tabiiy radiaktivlikka ega bo'lgan elementlarning yarim yemirilish davri Yerning yoshiga tahminan tengdir. Tabiiy sharoitda faqatgina neptuniy oilasi mavjud emas. Bu oila dastlabki davrlarda mavjud bo'lgan. Neptuniy oilasidan tashqari barcha oilalar magik yadrodan iborat bo'lgan ( $Z=82$ ) qo'rg'oshin bilan tugallanadi.  $^{235}\text{U}$  ning yarim yemirilish davri katta bo'lganligi uchun hozirgi davrda ham mavjuddir. Bu o'z navbatida yadro energetikasini hozirgi davrlarda bo'lishiga zamin tayyorlab berdi. Bu oilaga kiruvchi elementlar ketma-ket parchalanishlarni sodir etib, keyingi elementlarga aylanadi. Parchalanish turli ko'rinishlarda yuz beradi.

Har bir oila elementlari orasida radioaktiv tenglik alohidi sodir bo'ladi, ya'ni oralik elementlarida hosil bo'lish tezligi bilan parchalanish tezliklari bir-biriga tenglashadi. Bunday tenglikka asr tengligi deb ataladi. Radionuklidlar havoda, suvda va tuproqda mavjud bo'ladi. Ichimlik suvidagi radionuklidlar miqdorini bilish muhim ishlardan biri hisoblanadi. Turli joylardagi suvning



## Tajriba qismi:

Suv tarkibidagi radioaktiv elementlarning solishtirma aktivligini yarim o'tkazgichli detektor asosidagi gamma spektrometr yordamida o'lchash mumkin.

Hozir davrga kelib xarakteristikalarini yaxshi bo'lgan detektorlarning yaratilishi va elektron bloklarining takomillashib borishi, hamda programma ta'minotining yaratilishi ishlatishga qulay, ixcham va parametrlari yuqori bo'lgan spektrometrlarni yaratilishiga turtki bo'ldi. №49-laboratoriya ishining 3-jadvalida yarim o'tkazgichli gamma spektrometrlar va ularning texnik xarakteristikalarini berilgan.

2-rasmda tajribaning blok sxemasi aks ettirilgan. Tajribada o'ta toza germaniy detektori ishlatilgan. Bu detektor suyultirilgan azot haroratida ishlaydi. Idishda suyultirilgan azotning bor yoki yo'qligi indikator lampochkasi orqali aniqlanadi.  $\gamma$ -spektrometr to'liq programma ta'minotiga ega. Fon sanoqlarini kamaytirish uchun detektor qo'rg'oshindan tayyorlangan qalinligi 10 sm bo'lgan himoya devori ichiga o'rnatilgan.



2-rasm. Tajribaning blok sxemasi

## Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Suvni o'lchashga tayyorlash. Boshqa laboratoriya ishlarida berilgan. Suvning qoldig'i petro idishiga solinadi va uning massasi o'lchanadi (~5 l bo'lgan suv bug'lantiriladi va qoldiqdagi aktivlik o'lchanadi)
2.  $\gamma$ -spektrometr va EHM tok tarmog'iga ulanadi. Detektorning pastki qismiga o'rnatilgan indikator lampochkasiga nazar tashlanadi. Agar u ko'kish rangda yanayotgan bo'lsa, detektorga yuqori kuchlanishni berish mumkin.

3. Yuqori kuchlanishni berish avtomatik ravishda amalga oshiriladi. Kompyuter orqali berilgan komandaga ko'ra kuchlanishni berish boshlanadi. Kuchlanishning qiymati asta sekinlik bilan o'tib boradi va belgilangan qiymatida to'xtaydi.

4. Kuchlanish berilganidan keyin,  $\gamma$ -spektrometr  $\sim 10$  min. davomida qizdiriladi. Bunda  $\gamma$ -spektrometr turg'un ish rejimiga keladi.

5. Fon spektri o'lchanadi. Fon spektrini 300 sek atrofida o'lchash yetarli bo'ladi.

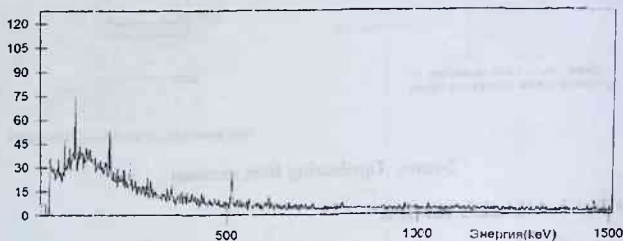
6. Detektorning ustiga suvni bug'lantirishdan qolgan qoldiq solingan "Petro" idishi o'rnatiladi va himoya devorining ustki tamoni ham berkitiladi.

6. O'lchashga ruxsat beriladi. O'lchash davomiyligi gamma piklarning statistikasiga qarab, 9-12 soatlar oraligida bo'lishi mumkin. Suvning tarkibida radioaktiv elementlarning miqdori ancha kamdir.

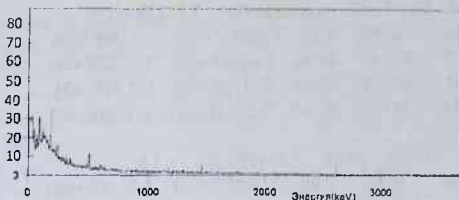
7. O'lchash davomida  $\gamma$ -spektrometning to'g'ri ishlashini 1461 keV energiyali  $\gamma$ -spektr orqali nazorat qilib turish imkoniyati bor. Bu pik hamma o'lchashlarda ko'rinib turadi

8. O'lchangan piklardagi sanoq qiymati yetarli statistikaga ega bo'lganda o'lchash to'xtatiladi va spektr EFIM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.

O'lchangan suv qoldig'idagi radionuklidlarning spektri 3-rasmda ko'rsatilgan. O'lchash vaqti 14,3 soatga teng. Rasmdan ko'rinib turibdiki, suvda radioaktiv elementlarning miqdori ancha kam.



3-rasm. Suv qoldig'idagi radionuklidlarning spektri



4-rasm. Fon spektri

### Spektrlarni tahlil qilish:

1. Hotiraga yozilgan  $\gamma$ -spektrlar ekranga chaqiriladi. Genie 2000 programma ta'minoti yordamida tahlil qilinadi.
2. Suvdagi radionuklidlar va ularning solishtirma aktivliklari aniqlanadi.

Suv tarkibidagi radioaktiv elementlarning spektri 3-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, quyidagi radioaktiv izotoplardan chiqqan  $\gamma$ -spektrlar yaxshi ko'rinib turibdi. O'lchash vaqti 14 soatga tengdir.  $^{40}\text{K}$  izotopi chiqqan energiyasi 1461 keV bo'lgan  $\gamma$ -kvantlarining spektri ham mavjud. Bu spektrga qarab  $\gamma$ -spektrometring to'g'ri ishlashi kuzatib boriladi.

### Tajriba natijalari:

Radionuklidlar va ularning solishtirma aktivliklari quyidagi jadvalda berilgan.

N	Radionuklid	$E_{\gamma}$ , MeV	$N_{\text{sanog}}$	$N_{\text{fon}}$	$A_{\text{solish. akt}}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					

### Suv tahlili

Imya obrazsa : 1163 ( 10.06.13. voda DUSTON №6 )

Ispolzovannaya biblioteka :

C:\GENIE2K\CAMFILES\Polnaya\_biblioteka.N

Imya Energiya, Vьxod, MDA po linii, Aktivnost,  
nuklida keV % Bq/k/kg Bq/k/kg

K-40	1461.00	10.67	6.5808E+000	7.3221E+000	
PB-210	46.80	4.25	4.0006E+001	≤ 4.00E+001	
Pb-212	238.63	43.30	6.6726E-001	7.3729E-001	
BI-214	609.31	45.49	7.7172E-001	≤ 7.72E-001	
PB-214	351.92	35.60	7.2423E-001	≤ 7.24E-001	
Ac-228					
	911.20	25.80	1.7693E+000	≤ 1.8	
TH-234	63.40	4.80	1.0637E+001	1.2551E+001	
	92.70	5.60	5.6983E+000	1.0998E+001	

### Nazorat savollari:

1. Nima sababdan o'lchash ishlari suvning qoldiqlarida amalga oshiriladi?
2. Suvning qoldig'i qanday tartibda olinadi?
3. Suv bug'lantirilayotgan vaqtda nima uchun suvni juda qattiq qaynatish kerak emas?
4. Solishtirma aktivlik nimani anglatadi?
5. Fon spektri qanday o'lchanadi va u nima uchun kerak?
6. Radioaktiv elementlarning qanday oilalari mavjud?
7. Radioaktiv elementlarning parchalanish ketma ketligidagi radioaktiv tenglik alomati nimaga asoslanadi?
8. "Petro" idishi qanday ko'rinishga ega va u qanday materialdan tayyorlanadi?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. M.I. Prutkina, V.L. Shashkin // Spravochnik po radiometricheskoy razvedke i radiometricheskomu analizu, Energoatomizdat, 1984.
2. Ye.I. Jelezova, I.P. Shumilin, B.Ya. Yufa // Radiometricheskie metody analiza yestestvennykh radioaktivnykh elementov, M: Nedra, 1968.

## № 51. Laboratoriya ishi

### Radionuklid aktivligini vaqt davomida kamayib borishini hisoblash

**Tajribadan asosiy maqsad:** Radionuklid aktivligini vaqt davomida kamayib borishini hisoblash. Hisoblash programmasi bilan tanishish.

### Nazariy qismi: Radionuklid aktivliginivaqt davomida kamayishi

Nurlanish manbaining aktivligi dozani hisoblashda asosiy kattaliklardan biri hisoblanadi. Aktivlik radionuklidning miqdoriy xarakteristikasidir. Radioaktiv izotop o'z-o'zidan parchalanada va tashqariga zarrachalar oqimini chiqaradi. Har doimo radionuklidning aktivligi vaqt o'tishi davomida kamayib boradi. Bu kamayish ma'lum qonunyatga bo'ysunadi. Radionuklid aktivligining kamayishini tashqi ta'sirlar orqali o'zgartirish mumkin emas. Aktivlikni kamayishini radioaktiv elementlarning yemirilish qonuni bo'yicha tushuntirish mumkin. Bu qonunning ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N, \quad (1)$$

bu yerda (-) ishora radionuklididagi radioaktiv yadrolar sonini kamayib borishini ko'rsatadi;  $\lambda$  — radionuklidning parchalanish doimiysidir.  $-\frac{dN}{dt}$  kattaligi parchalanish tezligi hisoblanib, nuklidning aktivligi deyiladi. (1)-tenglarni integrallash orqali, parchalanish qonunining asosiy ifodasi keltirilib chiqariladi:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

bu yerda  $N_0$  — radionuklididagi boshlang'ich yadrolar soni ( $t=0$ );  $N - t$  vaqt o'tgandan keyingi parchalanmay qolgan yadrolar soni;  $t$  — o'tgan vaqt. Agar boshlang'ich yadrolarning teng yarmini yemirilish uchun ketgan vaqtni yarim yemirilish vaqti deb atasak ( $T_{1/2}$ ), u holda (2)-ifodani quyidagiko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}, \quad (3)$$

yoki uni boshqacha ko'rinishda yozamiz:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (4)$$

(3)-ifodani, (2)-ifodaga olib borib qo'ysak, quyidagi tenglama hosil bo'ladi.

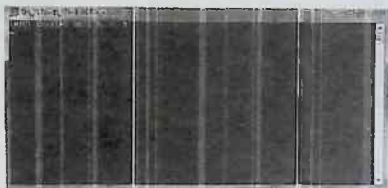
$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{0.693t}{T}} \quad (5)$$

(5)-ifoda yemirilish qonunining asosiy tenglamasi hisoblanadi.



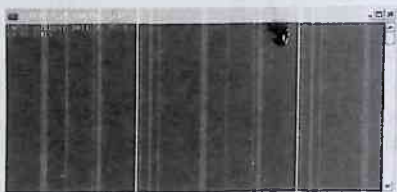
## Hisoblashni amalga oshirish tartibi:

1. Hisoblash programmasiga kiriladi: D/ACTIV\_T\_SALC . EXE (bunda ekranda 1-rasmda ko'rsatilgan komandalar paydo bo'ladi).



1-rasm. Birinchi bosqichda quyidagi ma'lumotlar paydo bo'ladi

2. Ikkinchi bosqichda radionuklidning aktivligi aniqlanishi kerak bo'lgan kun, oy va yil beriladi va "Enter" tugmacha bosiladi. Sonlar oraliklari bir biridan probellar orqali ajratiladi. Masalan: 27012015 va "Enter" tugmacha bosiladi. Ekranda berilgan son qiymatlar paydo bo'ladi. 2-rasmda bu natijalar ko'rsatilgan



2-rasm. Aktivlik o'lchanishi kerak bo'lgan kun, oy va yil

3. Uchunchi bosqichda nurlanish manbaini attestatsiyadan o'tkazilgan kun, oy va yili beriladi. Bu ma'lumotlar marbaning pasportida berilgan bo'ladi. Masalan: 10 05 2006 va "Enter" tugmacha bosiladi. Ekranda kiritilgan sonlar paydo bo' adi. 3-rasmda kiritilgan sonlar ko'rsatilgan.



3-rasm. Nurlanish manbaini attestatsiyadan o'tkazilgan kun, oy va yil

4. To'rtinchi bosqichda nurlanish manbaining massa soni kiritiladi. Masalan:  $^{60}\text{So}$  izotopi uchun 60 soni beriladi va "Enter" tugmacha bosiladi. Ekranda kiritilgan 60 soni paydo bo'ladi. 4-rasmda bu kiritilgan son ko'rsatilgan.



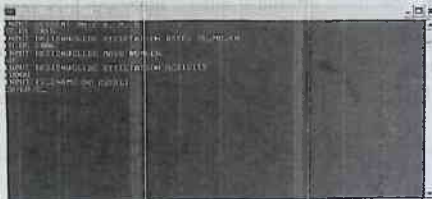
4-rasm. Kiritilgan radionuklidning massa soni

5. Beshinchi bosqichda nurlanish manbaini attestatsiyadan o'tkazilgan vaqtidagi aktivligi beriladi. Bu ma'lumotlar manbaning pasportida berilgan bo'ladi. Masalan: 10000 va "Enter" tugmacha bosiladi. Ekranda kiritilgan 10000 soni paydo bo'ladi. 5-rasmda bu kiritilgan son ko'rsatilgan. Bu kattalikni Bk da, mKi da, mkKi da yoki Kyurida berish mumkin.



5-rasm. Nurlanish manbaini attestatsiyadan o'tkazilgan vaqtidagi aktivligi

6. Oltinchi bosqichda hisob natijalari beriladigan faylning nomi beriladi (6-rasm). Masalan: So-60-5 va "Enter" tugmacha bosiladi. Tugmacha bosilishi bilan ekrandagi ma'lumotlar yo'q bo'ladi va avtomatik ravishda hisob ishlari bajariladi. Programmadan chiqiladi. Programma yozilgan fayl paydo bo'ladi. Bu yerdan hisob natijalari berilishi kerak bo'lgan fayl qidiriladi va topilib F4 tugmacha bosiladi. Ekranda hisob natijalari paydo bo'ladi. Radionuklidning aktivligi qanday o'lchov birligida kiritilgan bo'lsa, vaqt o'tkandan keyingi izotop aktivligi ham shu o'lchov birligida kelib chiqadi.



6-rasm. Hisob natijalari beriladigan faylning nomi

ATOMIC NUMBER= 60  
 CONSTANT OF DECAY, LAMBDA= 3.600000E-04  
 TIME SHIFT= 3154  
 ACTIVITY= 16064.040000

**Nazorat savollari:**

1. Radionuklidlarning yemirilishi qanday qonuniyatga bo'ysinadi?
2. Yarim yemirilish davri nimani anglatadi?
3. Radionuklidlarning parchalanish tezligi qanday aniqlanadi?
4. (5)-ifodada qanday kattaliklar qatnashgan?
5. Hisoblash ketma-ketligini aytib bering.

**Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. Yu.M. Shirokov, N.P. Yudin //Yademaya fizika, M.: Nauka, 1980.
2. IV. Rakobolskaya //Yademaya fizika, M.: MGU, 1987.

## № 52. Laboratoriya ishi

### Aktivatsion yoki porogli detektorlar va ular yordamida neytronlar oqimining qiymatini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Porogli detektorlar bilan tanishish va ulardan foydalanish yo'llarini o'rganish. Porogli detektorlarni tajribaga tayyorlash.

**Kerakli jihozlar:** Porogli detektorlar sifatida tanlab olingan moddalar, NG-150 neytron generatori, toza germaniyli  $\gamma$ -spektrometr, Na-22 radioaktiv manba, programma ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Neytronlar bilan sodir bo'ladigan yadro reaksiyalarining ko'pchiligi ostona energiyasiga ega bo'ladi va undan kichik energiyalarda bu reaksiyalar yuz bermaydi. Turli reaksiyalar uchun ostona energiyasining qiymati ~bir necha yuz keVdan ~20 MeV oraliklarida bo'ladi. Neytronning yuqori energiyalarida  $(n,2n)$  va  $(n,x)$  reaksiyalarining sodir bo'lish ehtimolligi katta bo'ladi ( $x$ -zaryadli zarrachalar). Agar reaksiya natijasida hosil bo'lgan yadro radioaktiv bo'lsa, u chiqargan nurlar yordamida radionuklidning aktivligini aniqlash mumkin. Porogli detektorlar yordamida manbadan chiqayotgan neytronlarning energiya bo'yicha taqsimotini o'rganish mumkin. Agar manba monoenergetik neytronlar oqimini chiqarayotgan bo'lsa, porogli detektorlar yordamida neytronlar oqimining qiymatini aniqlash mumkin. Albatta, o'lichashlarda neytronlar oqimining o'rtacha qiymati aniqlanadi. Bunga sabab porogli detektor nurlantirilayotganda unga kelib tushayotgan neytronlar oqimi o'zgarishi mumkin.

Porogli detektorlar yordamida reaktorlarda olinayotgan neytronlarning energetik taqsimotini ham o'rganish mumkin. Lekin bu ish ancha qiyin vazifa hisoblanadi, chunki, reaktorda hosil bo'layotgan neytronlarning energiyasi keng soha oraligida yotadi (0~20 MeV). Bu vazifani amalga oshirish uchun porogli detektor vazifasini bajaruvchi moddalarni katta aniqlikda tanlab olish lozim bo'ladi. Moddalar sifatida toza elementlardan yoki toza birikmalardan foydalanish mumkin. Agar porogli detektor sifatida boyitilgan elementlar ishlatilsa, olingan natijalarning aniqlik darajasi juda yuqori bo'ladi. 1-jadvalda porogli detektorlar sifatida ishlatish mumkin bo'lgan elementlar va birikmalar berilgan. Bu radionuklidlar yarim yemirilish davrlariga ko'ra gruppalariga ajratilgan. Yarim yemirilish davri 1 minutdan kichik bo'lgan izotoplar alohida ko'rsatilgan. Yarim yemirilish davri 1 minutdan-1 soatgacha bo'lgan izotoplar. Yarim yemirilish davri 1 soatdan-5 kungacha bo'lgan izotoplar (1-jadval). Yarim yemirilish davri 5 kundan katta bo'lgan izotoplardir. Bu jadvalda ishlatilishi mumkin bo'lgan energiya sohalari ham ko'rsatilgan.

1-jadval. Yarim yemirilish davri 1 min. kichik, 1 min. ~1 soat oraligida bo'lgan, 1 soat~5 kun oraligida bo'lgan va 5 kundan katta bo'lgan radioaktiv izotoplar

Ярим өмірлігінің дәуірі 1 мин. кішік бұлғақ радиоактивті изотоптар

Реакция	Ярым өмірлігінің дәуірі, сек.	Ионизацияны мүмкін еткізетін энергия, МэВ	Сұрақтардағы ионизациялық метод	Модда
$A^{228}(n, p)Co^{228}$	49,0	0,4 - 1,0	—	$As_2O_3$
$Cu^{64}(n, p)Ni^{64}$	12,4	1,4	—	$CCl_4$
$Nb^{94}(n, p)Mo^{94}$	10,0	3,6 - 1,0	—	$NaCl$
$Pt^{198}(n, p)Au^{198}$	50,0	3,6	—	Pt
$B^{10}(n, \alpha)Li^7$	0,81	6,63	—	B
$La^{138}(n, 2n)Ba^{137}$	2,5	9,07	—	La
$La^{138}(n, p)Ce^{138}$	7,4	9,62	—	$H_2O$
$C^{13}(n, p)B^{13}$	0,225	12,6	—	C
$Al^{27}(n, 2n)Si^{26}$	6,5	13,05	—	Al
$Sr^{84}(n, 2n)Sr^{83}$	2,6	13,07	β - санақ	S
$Ca^{40}(n, 2n)Ca^{39}$	1,0	15,0	—	CaO
$Mg^{24}(n, 2n)Mg^{23}$	12,0	16,5	—	Mg
$Be^9(n, n)Be^9$	0,82	—	—	Be

Ярым өмірлігінің дәуірі 1 мин.-1сағат аралығында бұлған радиоактивті изотоптар

Реакция	Ярым өмірлігінің дәуірі, мин.	Ионизацияны мүмкін еткізетін энергия, МэВ	Модда
$K^{41}(n, n)K^{41}$	37,5	0,125	$K_2O$
$A^{228}(n, p)Co^{228}$	49,0	0,4	$As_2O_3$
$Sr^{84}(n, p)Y^{84}$	40,0	0,7	$Sr$
$Ru^{101}(n, p)Rh^{101}$	1,7	1	Fe
$A^{227}(n, p)Fr^{227}$	9,5	1,8	Al
$P^{31}(n, n)P^{31}$	2,3	1,95 - 12	P
$Ca^{48}(n, p)Sc^{48}$	60,0	2,6	$Ca_2O_2$
$Ti^{48}(n, p)V^{48}$	1,7	3,35	Ti
$Cl^{35}(n, p)S^{35}$	5,0	3 - 12	$CCl_4$
$P^{31}(n, 2n)P^{30}$	3,4	9,5	$P_2O_5$
$Sn^{114}(n, 2n)Sn^{113}$	8,0	9,6	$SnO_2$
$Ni^{58}(n, 2n)Ni^{57}$	1,0	10,5	$NiH_2$
$Cu^{63}(n, 2n)Cu^{62}$	9,9	10,65	Cu
$Zn^{64}(n, 2n)Zn^{63}$	38,0	11,8	Zn
$Cu^{63}(n, 2n)Cu^{62}$	32,4	12,4 - 18,7	$CCl_4$
$K^{39}(n, 2n)K^{38}$	7,7	13,1	$K_2O$
$Co^{59}(n, 2n)Co^{58}$	42,0	13,4	Cr
$Cl^{35}(n, 2n)Cl^{34}$	2,1	15,6	$H_2O$
$Cl^{37}(n, 2n)Cl^{36}$	20,5	18,7	C

Ярым өмірлігінің дәуірі 1сағаттан-5 күнге дейін бұлған радиоактивті изотоптар

Реакция	Ярым өмірлігінің дәуірі	Ионизацияны мүмкін еткізетін энергия, МэВ	Сұрақтардағы ионизациялық метод	Модда	Ионизацияның эффектінің порогы, МэВ
$Au^{197}(n, p)Pt^{197}$	19 с	0	Химиялық айырма	Au	—
$Sr^{84}(n, n)Sr^{84}$	с	0	—	Sr	—
$Pb^{208}(n, n)Pb^{208}$	1 с	0,2	—	$Ti_2O_3$	—
$Lu^{175}(n, p)Yb^{175}$	4,1 к	0,3	—	$Lu_2O_3$	—
$Au^{197}(n, p)Pt^{197}$	13 с	0,4	—	—	—
$Lu^{175}(n, n)Lu^{175}$	31 с	0,5	—	Lu	—
$Re^{187}(n, n)Re^{187}$	21 с	0,5	—	$Re_2O_7$	—
$W^{183}(n, n)W^{183}$	11 с	0,55	—	W	—
$Zn^{64}(n, n)Zn^{64}$	12 с	0,96	—	Zn	—

# I-jadvalning davomi

Жадвалнинг давоми					
Реакция	Ярми эмири- лиш даври	Пастки чегара ёки энергия оралиги, МэВ	Ўлчада ши- лтиладиган метод	Модда	Парчалани- нинг эффекти пороги, МэВ
$^{120}\text{I} (n, p) ^{120}\text{Sb}$	2,62 с	1,0	Химиявий йўл Билан ажратилиш	9	—
$\text{Er}^{140} (n, p) \text{Er}^{140}$	25,2 с	1,0	»	$\text{Er}_2\text{O}_3$	—
$\text{Er}^{145} (n, p) \text{Er}^{145}$	3,40 с	1,0	»	$\text{Er}_2\text{O}_3$	—
$\text{Te}^{130} (n, p) \text{Sb}^{130}$	9,0 с	1,0	»	Te	—
$\text{Ba}^{131} (n, p) \text{La}^{131}$	3,1 с	1,2	»	Ba	—
$\text{N}^{14} (n, \alpha) \text{S}^{10}$	2,62 с	1,5	»	S	—
$\text{Zr}^{90} (n, p) \text{Y}^{90}$	63 с	1,4	»	Zr	—
$\text{Pr}^{141} (n, p) \text{Pr}^{141}$	19 с	1,4	»	Pr	—
$\text{La}^{139} (n, p) \text{Ce}^{139}$	85 мин	1,47	»	$\text{La}_2\text{O}_3$	—
$\text{Ru}^{96} (n, n) \text{Te}^{96}$	4,3 к.	2,4	»	$\text{Ru}_2\text{O}_7$	—
$\text{Gd}^{159} (n, n) \text{Eu}^{159}$	60 мин	2,6	»	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	—
$\text{Ce}^{144} (n, p) \text{La}^{144}$	77 мин	2,5	»	$\text{Ce}_2\text{O}_3$	—
<b><math>\text{Pd}^{106} (n, n) \text{Rh}^{106}</math></b>	2 с	2,7	»	Rd	—
$\text{Ag}^{107} (n, n) \text{Ni}^{107}$	15 с	3,4	»	Al	—
$\text{Se}^{78} (n, p) \text{As}^{77}$	983 мин	3,3	»	$\text{SeO}_2$	—
$\text{Ce}^{140} (n, p) \text{La}^{140}$	10,2 с	3,9	»	$\text{Ce}_2\text{O}_3$	—
$\text{Sn}^{120} (n, p) \text{In}^{120}$	2,7 с	4	»	$\text{Sn}_2\text{O}_3$	—
$\text{Mg}^{24} (n, n) \text{Mg}^{24}$	15 с	4,73	»	Mg	—
$\text{Au}^{197} (n, 2n) \text{Au}^{196}$	14 с	8,0	»	Au	—
$\text{Ni}^{64} (n, 2n) \text{Ni}^{62}$	13 с	8,7	»	Ni	—
$\text{Mn}^{55} (n, n) \text{Zr}^{67}$	17 с	9,0	»	Mo	—
$\text{Ca}^{42} (n, 2n) \text{Ca}^{40}$	9 с	10,25	»	Co	—
$\text{Fe}^{56} (n, 2n) \text{Fe}^{54}$	1,87 с	10,4	»	CaF	—
$\text{Pb}^{204} (n, 2n) \text{Pb}^{202}$	92 с	10,75	»	Pb	—
$\text{Se}^{82} (n, 2n) \text{Se}^{80}$	2,4 дн, 3,0 с	11,0	»	Se	—
$\text{Ni}^{58} (n, 2n) \text{Ni}^{57}$	20 с	12,0	»	Ni	—
$\text{Zn}^{64} (n, 2n) \text{Zn}^{62}$	79 с	12,0	»	Zr	—
$\text{Ti}^{48} (n, 2n) \text{Ti}^{46}$	3,68 с	13,3	»	Ti	—
$\text{Zr}^{90} (n, p) \text{Pr}^{90}$	3,3 с	0,2	Химиявий йўл Билан ажратилиш	Ba	11,8
$\text{Zr}^{92} (n, p) \text{Pr}^{92}$	31 с	0,2	»	Zn	5,4
$\text{Ru}^{90} (n, p) \text{Te}^{90}$	6,9 с	0,5	»	Ru	3,6
$\text{Sb}^{121} (n, p) \text{Sn}^{121}$	27 с	0,4	»	Sb	2,8
$\text{Cs}^{135} (n, p) \text{Ba}^{135}$	2,3—3,27 к.	1,35	»	$\text{Cs}_2\text{O}_2$	8,0
$\text{Ru}^{98} (n, \alpha) \text{W}^{92}$	25,9 с	1,2	»	$\text{Ru}_2\text{O}$	12,8
$\text{Ru}^{101} (n, n) \text{Mo}^{101}$	67 с	1,5	»	Ku	14,5
$\text{Pd}^{106} (n, n) \text{Er}^{106}$	4,5 с	2,6	»	Pd	14,6
$\text{Ir}^{113} (n, n) \text{Ag}^{113}$	4,12 с	2,8	»	Ir	14,8
$\text{Au}^{198} (n, n) \text{I}^{198}$	19 с	3,5	»	Au	22,6
$\text{Ni}^{63} (n, n) \text{Y}^{63}$	64 с	4,5	»	Nb	16,7
$\text{Ag}^{109} (n, n) \text{K}^{109}$	2 с	4,1	Химиявий йўл Билан ажратилиш	Ag	12,9
$\text{T}^{130} (n, n) \text{Sb}^{130}$	27 с	3,58	»	Te	14,9
$\text{Ce}^{144} (n, n) \text{Pr}^{144}$	12,6 с	4,5	»	$\text{Ce}_2\text{O}_3$	14,5
$\text{Ce}^{148} (n, n) \text{Pr}^{148}$	1,12 с	6,5	»	$\text{Er}_2\text{O}_3$	15,3
$\text{U}^{238} (n, n) \text{X}^{238}$	2,3—3,3 к.	6,1	»	Ba	16,7

Ярми эмириллиш даври 5 қўпдан катта бўлган радиоактив изотоплар

Реакция	Ярми эмири- лиш даври кун	Пастки чегара ёки энергия оралиги, МэВ	Ўлчада ши- лтиладиган метод	Модда	Парчалани- нинг эффекти пороги, МэВ
$^{144}\text{Pr} (n, p) \text{Pr}^{144}$	12,6 с	0,11	Химиявий йўл Билан ажратилиш	$\text{Nd}_2\text{O}_3$	—
$^{125}\text{Te} (n, n) \text{Sn}^{125}$	11 с	0,2	»	Te	—

# 1 - jadvalning davomi

Реакция	Ярим эмитрлов даври: кун	Пасттаи чегара фои энергия ералиги. МэВ	Ушмакда нишлатилган гам метод	Модда	Паричана- нинг эффектив пости МэВ
Ta <sup>181</sup> (n, p) Hf <sup>181</sup>	46	0,2	—	Ta	—
W <sup>187</sup> (n, p) Ta <sup>187</sup>	5,2	0,2	Химиявий апаратли	W	—
Ta <sup>182</sup> (n, p) Hf <sup>182</sup>	9,4	0,45	Шўхлай	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
Sc <sup>44</sup> (n, p) As <sup>44</sup>	17	0,56	—	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
In <sup>115</sup> (n, p) Cd <sup>115</sup>	43	0,5	Химиявий апаратли	In	—
Co <sup>59</sup> (n, α) Fe <sup>60</sup>	45	0,78	—	Co	—
Zr <sup>91</sup> (n, p) Y <sup>91</sup>	58	0,7	Химиявий апаратли	Zr	—
Ni <sup>58</sup> (n, α) Fe <sup>60</sup>	45	0,81	Шўхлай	Ni	—
Sr <sup>88</sup> (n, p) Rb <sup>88</sup>	14,5	0,921	—	Sr	—
Dy <sup>163</sup> (n, p) Er <sup>163</sup>	72	1,0	—	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
Gd <sup>157</sup> (n, p) Er <sup>157</sup>	15	1,0	—	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
Sr <sup>88</sup> (n, p) Rb <sup>88</sup>	42	2,5	Химиявий апаратли	Sr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
Ir <sup>191</sup> (n, 2n) Ir <sup>190</sup>	11	7,5	Шўхлай	Ir	—
Ni <sup>58</sup> (n, 2n) Ni <sup>57</sup>	10	8,7	Ү-санок	Ni	—
Tl <sup>209</sup> (n, 2n) Tl <sup>208</sup>	12	8,8	—	Tl <sub>2</sub> O	—
Cs <sup>137</sup> (n, 2n) Cs <sup>136</sup>	8,2	9,95	Химиявий апаратли	Cs <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	—
Rh <sup>103</sup> (n, 2n) Rh <sup>102</sup>	220	9,35	—	Rh	—
Ir <sup>193</sup> (n, 2n) Ir <sup>192</sup>	16,3	9,4	—	Ir	—
Ag <sup>107</sup> (n, 2n) Ag <sup>106</sup>	6,44	9,5	—	Ag	—
Cu <sup>65</sup> (n, 2n) Cu <sup>64</sup>	71	10,25	—	Cu	—
As <sup>75</sup> (n, 2n) As <sup>74</sup>	17	10,3	—	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
Y <sup>89</sup> (n, 2n) Y <sup>88</sup>	103	11,77	—	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
Rb <sup>85</sup> (n, p) Kr <sup>85</sup>	40	0,05	—	Rb	7,3
Rb <sup>85</sup> (n, p) Kr <sup>85</sup>	30	0,21	—	Rb <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	9,9
Hf <sup>177</sup> (n, p) Lu <sup>177</sup>	6,8	0,28	Химиявий апаратли	Hf	10,6
Hf <sup>177</sup> (n, p) Lu <sup>176</sup>	48	0,3	Шўхлай	Tl <sub>2</sub> O	11,3
Ir <sup>193</sup> (n, p) Os <sup>193</sup>	16	0,37	—	Ir	10,8
Ir <sup>193</sup> (n, α) Cr <sup>54</sup>	27	0,84	—	Cr	9,7
Mo <sup>98</sup> (n, α) Zr <sup>95</sup>	63	1,1	—	Mo	13,5
Se <sup>78</sup> (n, α) Cu <sup>65</sup>	41	2,1	—	Se	15,9
P <sup>309</sup> (n, α) Rb <sup>104</sup>	30	2,5	—	Dd	14,0
Li <sup>6</sup> (n, α) He <sup>4</sup>	1	3	—	Li <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	6,2
Sr <sup>88</sup> (n, α) Ca <sup>44</sup>	12	3,1	—	SeO <sub>2</sub>	0,3
W <sup>187</sup> (n, α) Re <sup>183</sup>	46	4,0	Химиявий апаратли	W	8,5
N <sup>14</sup> (n, α) C <sup>12</sup>	61	1,5	Ү-санок	N <sub>2</sub>	0,7
C <sup>13</sup> (n, α) Be <sup>9</sup>	17	3,7	Химиявий апаратли	Cd	1,9
P <sup>31</sup> (n, α) O <sup>16</sup>	16	6,3	Шўхлай	Pt	17,3
B <sup>10</sup> (n, α) He <sup>4</sup>	3,4	7	—	Bo	12,2
P <sup>31</sup> (n, α) He <sup>4</sup>	45	7	Химиявий апаратли	Pb	17,2
N <sup>14</sup> (n, α) C <sup>12</sup>	22	8	—	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,0
S <sup>32</sup> (n, α) Nd <sup>147</sup>	11,6	8	Шўхлай	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,4

1-jadvalda berilgan aktivatsion detektorlar qo'llanilishiga qarab uchta guruhga bo'linadi:

1. Issiq neytronlarga tegishli detektorlar. Bu detektorlar yordamida issiq neytronlarning parametrlari aniqlanadi. Ko'p elementlar uchun aktivlanish kesimi, bu soha energiyalarida neytronlar tezligiga teskari munosabatda o'zgaradi (1/b).

2. Rezonans detektorlari. Bu detektorlarni 0,5 eV dan bir necha keV soha oraliklariga qo'lash mumkin. Neytronlarning kuchli yutilishi sodir bo'ladi. Rezonans detektorlari yordamida neytronlarning spektrini va oqim quvvatini aniqlash mumkin.
3. Porogli detektorlar. Bu detektorlar yordamida neytronlarning spektrini va oqim quvvatini aniqlash mumkin. Bunda (n,f), (n,p), (n, $\alpha$ ) va (n,2n) yadro reaksiyalari ishlatiladi. Porogli detektorlarcafatida ximiyaviy toza elementlar va birikmalar ishlatiladi.

Neytron generatoridagi neytronlar oqimining o'rtacha qiymatini topish masalasini ko'rib o'taylik. NG-150 neytron generatrida energiyasi 14 MeV bo'lgan neytronlar hosil qilinadi. Porogli detektor neytron manbasidan ~10 sm uzoqlikka o'rnatiladi. Davlatlar hamkorligida qabul qilingan o'lchash standartiga ko'ra detektorning diametri 30 mm dan katta bo'lishi kerak emas. Qalinligi esa 1 mm dan katta bo'lmasligi lozim. Bu standartga ko'ra generatorlardagi neytronlar oqimining qiymatini aniqlashda Al yoki Su elementlaridan foydalanish kerak. Porogli detektorlar neytronlar oqimi bilan nurlantirilgandi yadro reaksiyalari yuz beradi. Al detektori ishlatilganda asosan  $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$  yadro reaksiyasi yuz beradi.  $^{63}\text{Su}$  detektori ishlatilganda esa  $^{63}\text{Su}(n,2n)^{62}\text{Cu}$  yadro reaksiyasi sodir bo'ladi. Hosil bo'lgan radionuklidlarning aktivligi  $\beta$ -parchalanish bo'yicha aniqlanadi. Porogli detektorga kelib tushgan neytronlar oqimining o'rtacha qiymati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$f = \frac{A \cdot \lambda [(N_{f_{oy}} + N_{fon}) - N_{fon}]}{\delta \cdot m \cdot N_0 \cdot \gamma \cdot \nu \cdot \sigma \cdot K \cdot \epsilon \cdot \Omega [1 - e^{-\lambda t_{nur}}] e^{-\lambda t_{sov}} [1 - e^{-\lambda t_{o'lchash}}]} \quad (1)$$

bu yerda A-detektor materialining massa soni, m.a.b.; m-porogli detektorning massasi, g; K-detektor materialida  $\beta$ -zarrachalarining yutilishini hisobga oluvchi koeffitsient;  $N_0$ -Avogadro soni, mol<sup>-1</sup>;  $\delta$ -detektordagi nurlantirilyotgan elementning miqdori;  $\nu$  - yadro reaksiyasi natijasida hosil bo'lgan radionuklidning  $\beta$ -zarrachalarini chiqarish intensivligi;  $\sigma$  -reaksiyaning kesim kattaligi, sm<sup>2</sup>;  $\lambda$  -radionuklidning parchalanish doimiysi, 1/sek;  $\Omega$  -ko'rish burchagi;  $t_{nur}$  -nurlantirish vaqti, sek;  $t_{sov}$  -sovutilish vaqti, sek;  $t_{o'lchash}$  -o'lchash vaqti, sek;  $N_{f_{oy}}$  +  $N_{fon}$  -o'lchash davomida to'plangan to'liq sanoq ( $t_{o'lchash}$ );  $N_{fon}$  -  $t_{o'lchash}$  vaqtidagi fon sanoqlari.

Neytron generatoridagi neytronlar oqimining qiymatini aniqlash bo'yicha xalqaro standart ishlab chiqilgan. Unga ko'ra aktivatsion detektor sifatida ximiyaviy toza Al yoki Cu dan foydalanish mumkin. Tajribalarning ko'rsatishicha agar Al elementi ishlatilsa, nurlantirish vaqti 3 soatdan katta bo'lishi kerak emas. Sovutilish vaqti esa 3 soatdan kam bo'lmasligi lozim.



Demak, nurlantirish to'xtatilganidan so'ng 3 soat o'tgach aktivlikni o'lchash ishlarini amalga oshirish mumkin.

Agar aktivatsion detektor sifatida ximiyaviy toza Cu ishlatilayotgan bo'lsa, nurlantirish vaqti 10 minutdan katta bo'lishi kerak emas. Sovutilish vaqti esa 5 minutdan kam bo'lmasligi lozim. Demak, Demak, nurlantirish to'xtatilganidan so'ng 5 minut o'tgach aktivlikni o'lchash ishlarini boshlash mumkin. Neytronlar ta'sirida  $^{63}\text{Cu}$  izotopida yuz beradigan reaksiyalar 2-jadvalda ko'rsatilgan. Jadvalda berilgan ma'lumotlarga ko'ra (n,2n) reaksiyasi  $^{63}\text{Cu}$  izotopida katta ehtimollik bilan sodir bo'ladi (450 mb.).

2-jadval.  $^{63}\text{Cu}$  izotopida sodir bo'ladigan reaksiyalar

O'zgarmas kattaliklar	Belgilani-shi	Asosiy reaksiya	Qo'shimcha reaksiyalar			
			(n,t)	(n,n α)	(n,p)	(n,r)
Reaksiyaning turi	-	(n,2n)	(n,t)	(n,n α)	(n,p)	(n,r)
Reaksiyaning kesim kattaligi, $\text{sm}^{-2}$	$\Sigma$	$0,45 \cdot 10^{-24}$	$0,002738 \cdot 10^{-24}$	-	-	-
Reaksiyaning mahsuli	-	$^{62}\text{Cu}$	$^{61}\text{Co}$	$^{61}\text{Co}$	$^{63}\text{Ni}$	$^{64}\text{Cu}$
Yarim yemirilish davri	$T_{1/2}$	9,74 min.	5,2704 y.	1,65 s.	101,1 y.	12,701 y.
$\beta$ -nurlarni chiziqli kuchsizlanish koeffitsienti, $\text{sm}^{-1}$	$\mu$	48,950	-	-	-	-
Spektrdagi maksimal energiya, keV; 100 ta parchalanishga to'g'ri keluvchi zarrachalar yoki kvantlar soni	$Y_{\alpha\beta}$	292,7(5)	1491,11(11)	12552(9)	65,87(15)	6529(25)
		97,20(2)	0,057(20)	9566(4)	100	17,90(18)
		1754(5)	317,86(12)	413,4(10)		578,0(14)
		0,135(9)	99,925(20)	4,4(4)		37,1(4)
		878(5)	664,86(14)			
		0,077(5)	0,0022			
		625(5)				
		0,018(1)				
Spektrdagi maksimal energiya, keV; 100 ta parchalanishga to'g'ri keluvchi zarrachalar yoki kvantlar soni	$E_{\gamma}$	479,6	346,93(7)	67,415(10)		1345,77(6)
		855,6	0,0076(5)	85		0,48(4)
		875,71(7)	826,28(9)	841,7(5)		
		0,147(7)	0,0076(8)	0,8(6)		
		1067,0(10)	1173,237(4)	90962(5)		
		0,0006(3)	99,90(2)	3,6(12)		
		1128,98(10)	2158,77(9)			
		0,0318(17)	0,0011(18)			

	1173.02(10)	2505		
	0.335	0,00002(4)		
	1717.6(4)			
	0.0026(4)			
	1985.0(10)			
	0.0010(3)			
	2084.6(4)			
	0.0050(10)			
	2097.6(3)			
	0.0029(4)			
	2301.96(8)			
	0.0406(20)			
	3158.2(10)			
	0,00061(13)			
	3257.3(10)			
	0.0007(10)			
	3369.9(3)			
	0.0078(5)			
	3861.7(11)			
	0.00027(7)			

Bulardan tashqari aktivatsion detektorlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

1. Aktivatsion detektorlarning diametrlari 30 mm dan katta bo'lmashligi kerak.
2. Aktivatsion detektorlarning qalinliklari 1 mm dan katta bo'lmashligi lozim.

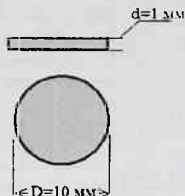
### Aktivatsion detektorlarni tayyorlash:

Aktivatsion detektorning materiali sifatida ximiyaviy toza mis tanlab olindi. Misning izotop tarkibi va yadroviy-fizik konstantalari 3-jadvalda berilgan. Hisob ishlarida bu kattaliklardan foydalanish mumkin.

3-jadval. Misning izotop tarkibi va yadroviy-fizik konstantalar

Konstantalarning nomi	Konstantalarning belgilanishi	Konstantalarning qiymati	
		<sup>63</sup> Cu	<sup>65</sup> Cu
Izotoplarning miqdori, %	$\gamma$	69,09	30,91
Avogadro soni, mol <sup>-1</sup>	$N_A$	$6,022 \cdot 10^{23}$	
Massa soni, m.a.b.	A	62,9296	64,9278

1-rasmda toza misdan tayyorlangan aktivatsion detektor ko'rsatilgan. Uning o'lchamlari standartda ko'rsatilgan qiymatlarga mos keladi. Shakli disk ko'rinishida bo'lib, diametri 10 mm, qalinligi esa 1 mm ga teng.



1-rasm. Mis elementidan tayyorlangan aktivatsion detektor

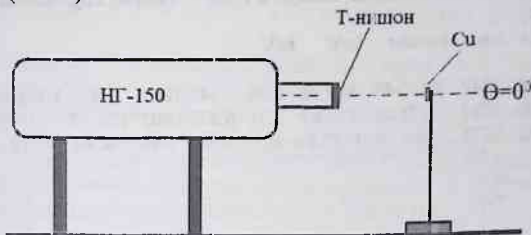
Mis plastinkasi 1-rasmda ko'rsatilganidek tayyorlandi va keyin uning sirti spirt yordamida yaxshilab tozalanadi. Tozalanagan mis plastinkasiga issiq neytronlarni tushmasligini ta'aminlash uchun misni qalinligi ~1 mm bo'lgan kadmiy plastinkasi ichiga joylashtiriladi. So'ngra, aktivatsion detektorni nurlantirish mumkin.

### Aktivatsion detektorni nurlantirish tartibi:

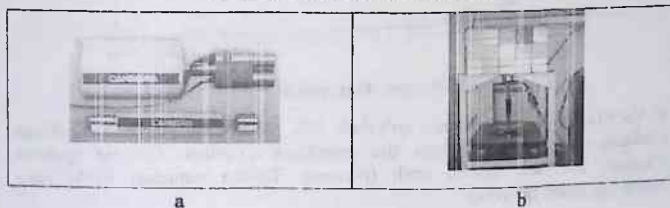
Aktivatsion detektorni nurlantirish  $\theta=0^\circ$  burchak ostida amalga oshiriladi. "T"-nishon va Cuplastinka markazlari bir biriga mos keltiriladi. Nurlantirish quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. Toza misdan tayyorlangan aktivatsion detektor, qalinligi 1mm bo'lgan kadmiy listi bilan o'raladi.
2. Aktivatsion detektor "T"-nishonga nisbatan 10 sm uzoqlikka o'rnatiladi.
3. Manitor detektori va sanoq moslamalari ishga tushiriladi.
4. Aktivatsion detektorning aktivligini o'lchash uchun  $\gamma$ -spektrometr ishga tayyor holga keltiriladi.
5. Mis 14 MeV energiyali neytronlar oqini bilan nurlantirish jarayoni boshlanadi (2-rasm). Nurlantirish 10 minut davom ettiriladi. Nurlantirish to'xtatilganidan keyin sekundometr ishga tushiriladi.
6. Sovutilish vaqti 5 minutga teng bo'lganda, o'lchash boshlanadi. Spektrlarni o'lchash ixcham ko'rinishda tayyorlangan toza germaniy detektorli  $\gamma$ -spektrometr orqali amalga oshiriladi (3-rasm). YaO'D ustiga ma'lum bir balandlikka, mis detektori kadmiy plastinkasi ichidan olinadi va qalinliklari 0,5 mm bo'lgan ikkita metall plastinkalar oraligiga joylashtirilib, YaO'D detektorning markaziga o'rnatiladi.
7. Spektrni o'lchash vaqti 10 minutdan ortmasligi lozim. O'lchangan spektrlar EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi. Misol tariqasida mis elementidan chiqqan  $\gamma$ -spektr ko'rsatilgan (4-rasm).

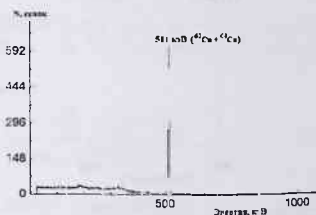
8. Fon spektrini o'lchash uchun detektor ustidan mis elementi olinadi va o'lchash boshlanadi. O'lchash vaqti asosiy spektning o'lchash vaqtiga teng qilib olinadi (~300 sek). O'lchangan fon spektri EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi (5-rasm).



2-rasm. Nurlantirish geometriyasi



3a,b-rasm. a-ixcham ko'rinishdagi toza germaniy detektori, b-himoya devori ichiga o'rnatilgan detektor



4-rasm. Nurlantirilgan mis elementidan chiqqan  $\gamma$ -spektr

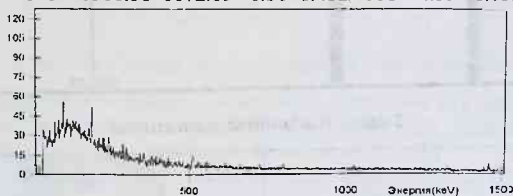
4-rasmga nazar tashlasak, 511 keV energiyali annigilyatsion  $\gamma$ -kvanti juda yaxshi ko'rinib turibdi. Quyida  $\gamma$ -spektrlarni tahlil qilishda aniqlangan natijalar berilgan.

MIS

№ Nachalo Kones Sentroida, Energiya, PShPV, Ploщad Pogreshnost  
Podlojka

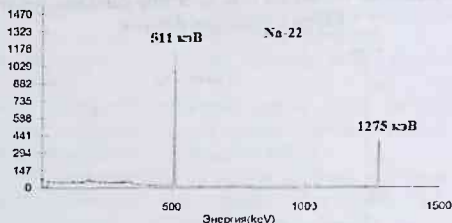
rika zony zony kanaly keV keV

1	2438	2447	2442.43	449.91	0.36	1.44E+001	9.51	3.36E+001
2	2760	2784	2772.42	510.67	2.36	6.87E+003	126.17	2.19E+003
3	6362	6375	6368.51	1172.89	0.30	1.43E+001	4.39	1.73E+000



5-rasm. Fon spektri

9. YaO'D ustiga  $^{22}\text{Na}$  Namanbasi qo'yiladi. Mis plastinkasi qanday balandlikda o'lchangan bo'lsa,  $^{22}\text{Na}$  ham shu masofaga qo'yiladi. Gamrna spektrni o'lchash 300 sek davom etadi (6-rasm). Tajriba natijalari EHM ning hotirasiga yozib qo'yiladi.



6-rasm. Na-22 radionuklidi chiqargan gamma-spektr

NA22

№ Nachalo Kones Sentroida, Energiya, PShPV, Ploщad Pogreshnost  
Podlojka

rika zony zony kanaly keV keV

1	1613	1620	1616.59	297.83	0.37	4.02E+001	22.29	2.25E+002
2	2760	2784	2772.63	510.71	2.34	1.41E+004	148.81	1.94E+003
3	6431	6444	6437.63	1185.62	0.49	7.98E+000	4.68	5.02E+000
4	6903	6935	6919.37	1274.33	1.63	3.77E+003	63.11	4.13E+001

O'lchangan  $\gamma$ -spektrlardan foydalanib, nisbiy usul orqali mis plastinkasidagi aktivlik aniqlanadi. Aktivlikni aniqlash 511 keV energiyali  $\gamma$ -kvanti yordamida amalga oshiriladi. 4-rasmida misdan chiqayotgan energiyasi 511 keV bo'lgan  $\gamma$ -kvanti ko'rsatilgan. Bu  $\gamma$ -spektrni  $^{62}\text{Cu}$  va  $^{64}\text{Cu}$  izotoplaridan chiqqan  $\gamma$ -kvantlar hosil qiladi. Nurlantirish vaqti 10 minut bo'lganligi uchun  $^{64}\text{Cu}$  izotopining hosil bo'lish kattaligi juda kichikdir (~1%). Shu sababli  $^{64}\text{Cu}$  izotopining qo'shgan hissasini e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

### Tajriba natijalarini tahlil qilish:

Yuqorida aytilganidek tajriba natijalari nisbiy usul orqali amalga oshiriladi. Etalon manba sifatida  $^{22}\text{Na}$  izotopidan foydalanish mumkin. Hisob ishlarida ishlatilgan kattaliklar 3-jadvalda berildi.

3-jadval. Hisoblarda ishlatilgan kattaliklar

Radi- onikli d	Kattaliklar									
	$T_{1/2}$	$I_{\gamma}$ , %	$t_{me}$	$t_{sov}$	$t_{o'lchash}$	$N_{Cu}$	$N_{Na}$	$N_{fon}$	$A_{Na}$ , Bk	$A_{Cu}$ , Bk
$^{62}\text{Cu}$	9.74 m.	196	10 m.	5 m.	300 sek	6870				
$^{22}\text{Na}$	2.602 y.	180			300 sek		14100			

O'lchangan kattaliklarning son qiymatini (2)-ifodaga qo'yish orqali, nurlantirilganda hosil bo'lgan  $^{62}\text{Su}$  izotopining aktivligi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$A_{Cu} = \frac{\left[\left(\frac{N}{T}\right)_{Cu} - \left(\frac{N}{T}\right)_{fon}\right] \cdot I_{\gamma}^{Na} \cdot A_{Na}}{\left[\left(\frac{N}{T}\right)_{Na} - \left(\frac{N}{T}\right)_{fon}\right] \cdot I_{\gamma}^{Cu}} \quad (2)$$

$^{62}\text{Su}$  izotopining aktivligi topilganidan so'ng, mis plastinkasiga kelib tushayotgan neytronlar oqimining o'rtacha qiymati aniqlash mumkin ( $I_R$ ). Bu kattalik quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$I_R = \frac{A \cdot M \cdot e \cdot \lambda_{sov}}{6,02 \cdot 10^{-4} \cdot m \cdot \sigma \cdot \rho (1 - e^{-\lambda_{mur}})} \quad (3)$$

$I_R$ -kattalik aniqlanganidan keyin neytronlar oqimining to'liq qiymati topiladi ( $F(4\pi)$ ). Bu kattalikni aniqlash uchun  $I_R$  kattaligini  $K$ -koeffitsientga ko'paytirish kerak:

$$F = I_R \cdot K \quad (4)$$

(4)-ifodadagi  $K$ -kattaligi quyidagicha topiladi:  $K = \frac{S_0}{S_{Cu}} = \frac{4\pi R^2}{\pi r^2}$ , bu yerda  $R$ -neytron manbasidan mis plastinkasigacha bo'lgan masofa,  $r$ -mis plastinkasining radiusi.

### Nazorat savollari:

1. Nima sababdan aktivatsion detektor kadmiy plastinkasiga o'raladi?
2. Nima uchun porogli detektorlar deb yuritiladi?
3. Porogli detektorlarni qanday maqsadlarda ishlatish mumkin?
4. Qanday porogli detektorlarni bilasiz?
5. Neytron generatoridagi neytronlar oqimini aniqlashda nima uchun toza mis tanlab olindi?
6. Nima uchun porogli detektor neytron manbasidan 10 sm uzoqlikka qo'yildi?
7. Neytronlar oqimi  $^{63}\text{Cu}$  izotopi orqali aniqlanayotgan bo'lsa, nurlantirish vaqtini nima uchun 10 minutdan oshirish kerak emas?
8. (2)-ifodani izohlab bering?
9. (3)-ifodani izohlab bering?
10.  $^{63}\text{Cu}$  izotopida qanday yadro reaksiyalari sodir bo'ladi?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Pod redaksiyey Dj. Mariona i Dj. Faulera // Fizika bystrykh neytronov, Tom 1, M: 1963.
2. S.S. Lomakin, V.I. Petrov, P.S. Samoylov // Radiometriya neytronov aktivatsionnyim metodom, M: Atomizdat, 1975.

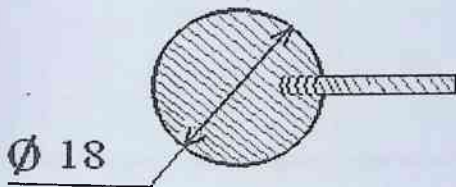
### № 53. Laboratoriya ishi

#### “Elektronika U-003” elektron tezlatkichida tezlashtirilgan elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o'rganish

**Ishdan asosiy maqsad:** tezlashtirilgan elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o'rganish. Tajribani amalga oshirish yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** "Elektronika U-003" elektron tezlatgichi, diametri 18 mm bo'lgan kollektorlar to'plami (15 dona), kommutator bloki, chizg'ich, VK-2-16 millivoltmetr, shtangensirkul.

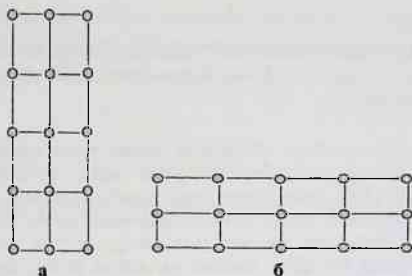
**Nazariy qismi:** Namunalarni elektronlar oqimi bilan nurlantirishda yoki ularga radiatsion ishlov berishda elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini hisobga olish katta ahamiyatga egadir. Chunki, namuna hajm bo'yicha bir tekis elektronlar oqimi bilan nurlantirilishi kerak. Bu o'z navbatida elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotiga bog'liq bo'ladi. Fazoviy taqsimotni o'lchashning bir qator usullari yaratilgan bo'lib, shulardan biriga to'xtalib o'tamiz. Bu usulda diametri 18 mm bo'lgan kollektorlar tizmasi ishlatilgan. Kollektorlarni bir biriga nisbatan turli masofalarga o'rnatish mumkin. Bu kollektorlar bir biridan va Yerga nisbatan izolyatsiya qilingan. Ularning ishlash prinsipi Faradey silindrining ishlashiga o'xshashdir. Zaryadli zarrachalarni kollektorga kelib urilishida, unda ma'lum miqdorda zaryad to'planadi. Natijada kollektor va Yer o'rtasida potentsiallar farqi paydo bo'ladi. Agar kollektor va Yer oraligida qarshilik orqali yupiq elektr zanjiri hosil qilinsa, bu yerda tok oqimi paydo bo'ladi. Har bir kollektorda tok paydo bo'ladi. Hosil bo'lgan toklar VK-2-16 asbobi yordamida o'lchanadi. Shu asosda elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimoti aniqlanadi. 1-rasmda bitta kollektorning ko'rinishi tasvirlangan.



1 – rasm. Kollektorning ko'rinishi.

2a,b-rasmda kollektorlarning joylashish chizmasi ko'rsatilgan. Kollektorlarni vertikal(2a-rasm) yoki gorizontal(2b-rasm) yo'nalishlarda joylashtirish mumkin. Kollektorlar dielektrik materialdan tayyorlangan karkasga joylashtiriladi.





2 – rasm. Kollektorlarning joylashish chizmasi.

3-rasmda elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o'lchash sxemasi berilgan. Kollektorlarda hosil bo'lgan toklar kommutator orqali ajratiladi va VK-2-16 asbobiga uzatiladi. Har bir kollektordagi toklarning qiymati yozib olinadi. Olingan natijalar jadval ko'rinishida beriladi.



3 – rasm. Elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o'lchash sxemasi.

#### Tajriba qismi:

1. 2-rasmda ko'rsatilganidek kollektorlar ma'lum masofa oralig'i (gorizontal 5 sm, vertikal 10 sm) bilan qat'iy tartibda dielektrik materialdan tayyorlangan karkasga joylashtiriladi.
2. "Elektronika U-003" elektron tezlatgichi ishga tayyorlanadi.

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Kollektorlar joylashtirilgan karkas elektronlar oqimi yo'nalishiga perpendikulyar ravishda o'rnatiladi.

- 3-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra elektr zanjiri yig'iladi.
- "Elektronika U-003" elektron tezlakichi ishga tushiriladi.
- Kommutator bloki yordamida har bir kollektordagi tok  $VK/2-16$  shohi yordamida o'lchanadi.
- O'lchangan natijalar jadval ko'rinishida beriladi.
- Kollektorlar orasidagi masofa o'zgartirilib tajriba takrorlanadi.
- Olingan natijalar asosida nurlanish zonasidagi elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotining notekisligi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\eta = \left( \frac{N_{\max}}{N_{\min}} - 1 \right) \cdot 100\%$$

bu yerda  $N_{\max}$  va  $N_{\min}$  – kollektorlar tokining maksimal va minimal qiymatlari.

### Tajriba natijalari:

1-jadval. Tajriba natijalari

Kollektorlar koordinatasi, sm	Kollektorlardagi tok I, nA								
	20	15	10	5	0	5	10	15	20
Fok									
Gorizontal									
Vertikal									
40									
30									
20									
10									
0									
10									
20									
30									
40									

### Nazorat savollari:

- Elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o'lchash nima uchun kerak?
- Elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o'lchash nimaga asoslangan?
- Kommutator qanday vazifani bajaradi?

4. Nima uchun kollektorlar bir biriga va Yerga nisbatan izolyatsiya qilingan?
5. Nima uchun kollektorlar dielektrik materialdan tayyorlangan karkasga joylashtiriladi?
6. Faradey silindrini ishlashini tushuntirib bering.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kozlov Yu.D., Nikulin K.I., Titkov Yu.S. Raschet parametrov i konstruirovaniye radiatsionno-ximicheskix ustanovok s uskoritelyami elektronov. Atomizdat. 1976 g.
2. Moskalev V.A., Shestakov V.G. Kontrol i izmerenie parametrov i puchka zaryajennykh chastis. Atomizdat. 1986 g.

## № 54. Laboratoriya ishi

### Ilmiy tekshirish reaktorlari va ular yordamida modda tarkibini tekshirish

**Ishdan asosiy maqsad:** Ilmiy tekshirish reaktorlari bilan tanishish. Yangi avlod reaktorlari haqida ma'lumotlar olish. Namunani nurlantirish va uning tarkibini aniqlash yo'llarini o'rganish.

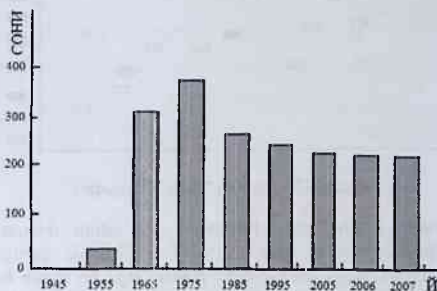
**Kerakli jihozlar:** VVS-M reaktori, namuna, sezgirliги yuqori bo'lgan tarozi, toza germaniyli  $\gamma$ -spektrometr, JHM.

**Nazariy qismi:** Bir qator mamlakatlarda, shu jumladan O'zbekiston respublikasida ilmiy yo'nalish sohalarida atom reaktorlari ishlatilib kelinmoqda. Chernobildagi AES 4-blokida sodir bo'lgan falokat reaktorlardan foydalanishda juda ehtiyot bo'lish kerakligini ko'rsatdi. Reaktorlarni takomillashtirib borish, xavfsizlik darajasini oshirish kabi masalalarni olimlar oldiga ko'ndalang qilib qo'ydi. Bu masalalarni xal qilishda bir qator ishlar amalga oshirildi. Reaktorning yonilg'isi bo'lgan  $^{235}\text{U}$  ning boyitilganlik darajasi yetarli darajada kamaytirildi. Bu o'z navbatida neytronlar oqimi quvvatining kamayishiga olib keldi. Ilmiy tekshirish ishlariga esa yuqori quvvatli neytronlar oqimi kerak bo'ladi. Demak, reaktorlarni yanada takomillashtirish zaruriyati paydo bo'ladi. Bu yo'nalishlarda ish olib borilmoqda va yuqori energiyali neytronlar yordamidagi reaktorlarga umid qilinmoqda. Reaktorlar tarixiga qisqacha to'xtalib o'taylik. Ilmiy tekshirish reaktorlarining paydo bo'lishi 1942 yilga to'g'ri keladi. Keyingi 70 yil ichida 70 ta davlatlarda 600 dan ortiq reaktorlar qurildi va ishga tushirildi. Bu reaktorlarning ko'pchiligi 30 yildan ortiq ishlatib kelindi. Ularda yuqori boyitilgan uran va plutoniy elementlari ishlatilgan. Reaktorlarning bir nechiasi

o'z ish faoliyatini tugalladi. Rossiyada 2008 yildan boshlab yangi avlod reaktorlarini qurish ishlari boshlab yuborildi. Bu reaktorlar yuqori energiyali neytronlar yordamida ishlaydi. Bularda yonilg'i sifatida uran-plutoniya ishlatiladi. Sovutish sistemasi suyultirilgan natriy metalli yordamida amalga oshiriladi. 1-rasmda dunyo bo'yicha ishlatilib kelinayotgan reaktorlar va ularning o'sish darajasi aks ettirilgan. 1-jadvalda hozirgi davrda ishlatilayotgan, to'xtatilgan, qurilayotgan va loyihalashtirilayotgan ilmiy tekshirish reaktorlari (ITR) haqida ma'lumotlar berilgan.

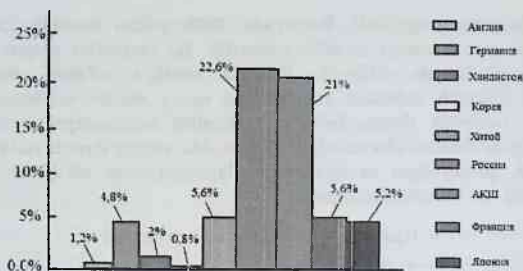
1-jadval. Ilmiy tekshirish reaktorlari

Reaktorlar haqida ma'lumot	Soni
Ishlayotgan	237
To'xtatilgan	246
Qurilayotgan	5
Loyihalashtirilayotgan	3
Jami	665



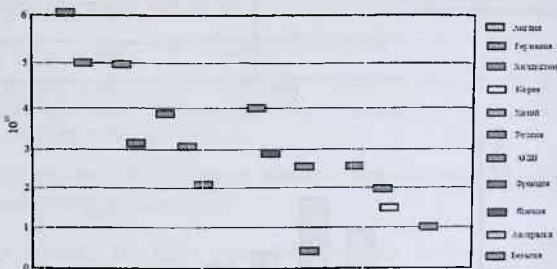
1-rasm. Dunyo bo'yicha ITR ning o'sish darajasi

2-rasmda ITR larni davlatlar bo'yicha taqsimoti ko'rsatilgan (%). 2-rasmdan ko'rinib turibdiki, eng katta ulush Rossiya (22,6%) va AQSh (21%) ga to'g'ri keladi



2-rasm. ITR larni davlatlar bo'yicha taqsimoti (%)

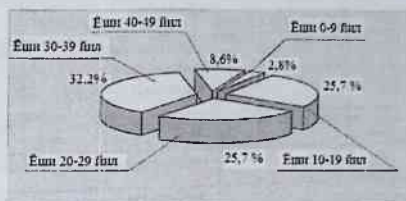
3-rasmda dunyoda ishlatilayotgan ITR laming "sifat" darajalari berilgan. Bu ko'rsatkich tajriba kanallarining parametrlariga ko'ra aniqlangan. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, Rossiyadagi ITR laming "sifat" darajalari ancha yuqoridir.



3-rasm. ITR larning "sifat" darajalari

ITR laming asosiy qismi Rossiyada o'z ishini davom ettirmoqda. Bularning ko'pchiligi 1960 yildan 1975 yil oraliklarida qurilgan. Eskirgan reaktorlar o'z o'rnini yangi qurilayotgan reaktorlarga bo'shatib bermoqda. Bu o'zgarishlar 2-jadvalda berilgan. Jadvaldagi ma'lumotlar 2009 yilgacha bo'lgan davrlarga to'g'ri keladi. Hozirgi davrga kelib jadvalda ko'rsatilgan 1951 va 1961yillarda ishga tushirilgan bir qator reaktorlar o'zining ish faoliyatini tamomlagan. Qolganlari esa takomillashtirilgan va takomillashtirilmogda. Reaktor qurilmasi juda qimmatli bo'lganligi uchun 1960-1970 yillar ichida qurilganlari qayta ta'mirlanib, boyitilganligi past bo'lgan yonilg'iga o'tkazilmogda. Boyitilganligi kichik bo'lgan yonilg'iga o'tkazib bo'lmaydigan reaktorlar berkitilmogda. 4-rasmda ITR lami yoshi aks ettirilgan. 4-rasmdan ko'rinib turibdiki, yoshi 30-39 yilga teng bo'lgan reaktorlar hozirgi davrda

ishlab turgan reaktorlarning 32,2% tashkil qiladi. Ish jarayonini tamomlagan reaktorlar o'lmiga yangi zamonaviy reaktorlar qurilishi lozim. Bu yo'nalishda olimlar tomonidan ishlar olib borilib yangi turdagi reaktorlar yaratilmoqda.



4-rasm. Rossiyadagi ITR lami yoshi bo'yicha taqsimoti

2-jadval. Rossiyadagi ITR larni hozirgi holatlari (2009 yilgacha)

ITR, turi	Quvvati, MVt	Ishga tushirilgan vaqti	Hozirgi holati	To'xtatiladigan yili
SM-1-3	100	1961	Ishlatilmoqda, 1991 yilda qayta ta'mirlandi.	2017
VK-50	200	1965	Ishlatilmoqda, qayta ta'mirlangan.	2015
MIR-M1	100	1966	Ishlatilmoqda, 1975 yilda qayta ta'mirlandi.	2017
BOR-60	60	1969	Ishlatilmoqda, qayta ta'mirlash ishlari amalga oshirilmoqda.	2015
RBT-6	6	1975	Ishlatilmoqda	2020
RBT-10/2	7	1984	Ishlatilmoqda	2020
IVV-2M	15	1982	Ishlatilmoqda, 1981 yilda qayta ta'mirlandi.	2025
IR-8	8	1981	Ishlatilmoqda, 2001 yilda qayta ta'mirlandi.	2020
SM-3	100	1961	Ishlatilmoqda, 1993 yilda qayta ta'mirlandi.	2017

IRT-T	6	1967, 1984 yilda qayta ta'mirlandi.	Ishlatilmoqda	2015
IBR-2M	2	1984	modernizatsiya qilinmoqda	2035
VVR-S	15	1964	Ishlatilmoqda, modernizatsiya qilinmoqda	2014
VVR-M	15	1959	Ishlatilmoqda	2012
IRV-M2	4	2008	Takomillash-tirilmoqda	2040
PIK	100		Qurilmoqda	2062

O'zbekiston respublikasida ilmiy tekshirish reaktori VVS-M 1959 yilda ishga tushirilgan. Uning dastlabki quvvati 2 MVtga teng edi. Radioizotoplar ishlab chiqarish va ilmiy tekshirish ishlariga yuqori intensivlikka ega bo'lgan neytronlar oqimini zarurligi reaktor quvvatini 10 MVt ga oshirilishiga olib keldi. Dastlabki vaqtlarda yadro yonilg'isi sifatida yuqori boyitilganlikka ega bo'lgan  $^{235}\text{U}$  ishlatilgan edi. Keyingi davrda ITRlarida boyitilganligi past bo'lgan yonilg'iga o'tilganligi munosabati bilan O'zbekistondagi reaktor ham boyitilganligi past bo'lgan yonilg'iga o'tkazildi. IRT-4M turdagi boyitilganligi  $^{235}\text{U}$  bo'yicha 19,7% bo'lgan  $\text{UO}_2+\text{Al}$  birikmali yonilg'iga o'tildi. Hozirgi vaqtda bu reaktor radioizotoplar ishlab chiqarish, moddalar tarkibini tekshirish va boshqa yo'nalishlarla muvoffaqiyatli ishlatib kelinmoqda. 3-jadvalda O'zbekiston respublikasidagi ITR reaktorining asosiy xarakteristikallari berilgan.

3-jadval. O'zbekiston respublikasidagi reaktorning xarakteristikallari

Kattaliklar	Qiyamati
Quvvati, MVt	10
Yonilg'i, 19,7%	$\text{UO}_2$
Qaytargich	Ve
Sovutkich	$\text{N}_2\text{O}$
TVS lar soni	24
Issiq neytronlar oqimi, $n/\text{sm}^2\cdot\text{sek}$	$2\cdot 10^{14}n/\text{sm}^2\cdot\text{sek}$
Yuqori energiyali neytronlar oqimi, $n/\text{sm}^2\cdot\text{sek}$	$1\cdot 10^{13}n/\text{sm}^2\cdot\text{sek}$
Gorizontal kanallar soni	10
Vertikal kanallar soni	34-44

## Ilmiy tekshirish reaktorlarining yangi avlodlari

Reaktorlar yonilg'isining boyitilgan darajasining kamaytirilganligi neytronlar intensivligini kamayishiga olib keldi. Neytronlar intensivligini oshirish va reaktorlarning barqaror ishlashini ta'minlash maqsadida ulami yanada takomillashtirish zaruriyati paydo bo'ldi. Bu masala ishlab turgan yuqori intensivlikka ega bo'lgan reaktorlarni modernizatsiya qilishga asoslangandir. Rossiyaning Dubna shahridagi (OIYA) IBN-2 reaktorini takomillashtirish bu yo'nalishdagi ishlarga yo'l ochib berdi. IBN-2 ning modernizatsiya qilingan variantiga IBN-2M nomi berildi. 4-jadvalda IBN-2 va IBN-2M reaktorlarining solishtirma xarakteristikallari berilgan.

4-jadval. IBN-2 va IBN-2M reaktorlarining xarakteristikallari

Kattaliklar	IBN-2	IBN-2M
O'rtacha quvvati, MVt	2	2
Yonilg'i turi	PuO <sub>2</sub>	PuO <sub>2</sub>
TVS lar soni	78	69
Yonish darajasi, %	6,5	9
Impulslar chastotasi, Gs	5; 25	5; 10
Ishlatish vaqti PO, soat	20000	55000

Qilingan o'zgarishlarni 4-jadvaldan ko'rish mumkin. 78 ta TVS o'rniga 69 ta TVS o'zgartirilishi orqali yonilg'i massasini (PuO<sub>2</sub>) kamaytirishga erishildi. Eng asosiysi yonilg'ining yonish darajasini 6,5% dan 9% ga o'rtirilishi katta yutuq hisoblanadi. Bundan tashqari bir qator konstruksion o'zgarishlar amalga oshirildi. IBN-2M reaktori 2010 yilda ishga tushirildi. Xizmat qilish muddati 30 yildir. Bu reaktorda impulsdagi neytronlar oqimi  $2 \cdot 10^{16}$  n/sm<sup>2</sup> ga tengdir.

Sank-Peterburg yaqinidagi PIYAF RAN da yuqori intensivlikka ega bo'lgan issiq neytronlar oqimini beruvchi yangi reaktor (PIK) qurilmoqda. Uning xarakteristikallari 5-jadvalda berilgan.

5-jadval. PIK reaktorining asosiy xarakteristikallari

Kattaliklar	Qiymati
Quvvati, MVt	100
Eng katta solishtirma quvvati, MVT/l	6
Aktiv zonaning hajmi, l	51



Aktiv zonaning diametri, mm	390
Aktiv zonaning balandligi, mm	500
Yonilg'i	UO <sub>2</sub>
Qaytargich	D <sub>2</sub> O
Sovutkich	N <sub>2</sub> O
Issiq neytronlar oqimi, n/sm <sup>2</sup> -sek	5·10 <sup>15</sup>
Yuqori energiyali neytronlar oqimi, n/sm <sup>2</sup> -sek	5·10 <sup>15</sup>

Keyingi vaqtlarda ko'p maqsadlarga mo'ljallangan reaktorlarni qurishga kirishildi. Bu reaktorlarda asosan xavfsizlik darajalariga katta e'tibor berilgan. Ular meditsinada, radioizotoplar ishlab chiqarishda, ilmiy tekshirish ishlarida va texnikaning bir qator sohalarida ishlatishga mo'ljallangan. Bu turdagi reaktor kopleksiga RUTA-IT nomi berildi. 6-jadvalda RUTA-IT xarakteristikalari berilgan.

6-jadval. RUTA-IT reaktorining xarakteristikalari

Kattaliklar	Qiymati
Reaktorning issiqlik quvvati, MVt	35
Aktiv zonasining o'lchami, m	1,14
TVS soni	55
Yonilg'i	UO <sub>2</sub>
<sup>235</sup> U bo'yichaboyitilganligi, %	3,6
Yonilg'ining o'rtacha yonish tezligi, MVt/kun	31,5
Qaytargich materiali	Ve
Yuqori energiyali neytronlar oqimi, n/sm <sup>2</sup> -sek	5·10 <sup>14</sup>

Atom reaktorida olingan issiq neytronlar yordamida modda tarkibidagi juda ko'p elementlarni aniqlash imkoniyati bor (engil yadrolardan tashqari). Namunalar issiq neytronlar bilan nurlantirilganda yadrolar uyg'ongan holatiga o'tadi va namuna aktivlashadi. Uyg'ongan holatidan asosiy holatiga o'tishida o'ziga tegishli gamma kvantlarini chiqaradi. Tajribada shu  $\gamma$ -spektrlarni o'lchash orqali modda tarkibidagi elementlarning miqdori aniqlanadi.  $\gamma$ -spektrlarni o'lchash va tahlil qilish yarim o'tkazgichli detektordan iborat bo'lgan  $\gamma$ -spektrometr orqali bajarilishi mumkin.

Nurlantirish to'xtatilgandan keyin, namunada hosil bo'lgan radionuklidlarning aktivligini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$A = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot m \cdot j \cdot \sigma \cdot \theta}{M} (1 - e^{-\lambda t}), \quad (1)$$

bu yerda  $m$ -namunaning massasi, gr;  $t_{\text{nur}}$ -nurlantirish vaqti;  $M$ -elementning atom massasi;  $j$ -neytronlar oqimi,  $n/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$ ;  $\sigma$ -reaksiyaning kesim kattaligi,  $\text{sm}^2$ ;  $\theta$  - aktivlashtirilayotgan izotopning tabiatdagi tarqalishi.

### 1. Nurlantirish tartibi:

1. Namunani nurlantirishga tayyorlash:

- 1.1. Namuna massasini hisoblash orqali aniqlash.
- 1.2. Namuna massasini torizi yordamida o'lchash.
- 1.3. Namunani polietilen paketiga solish va kavsharlash.
- 1.4. Polietilen paketini polietilen idishga joylashtirish.

### 2. Nurlantirish vaqtini aniqlash

- 2.1. Nurlantirish kanalidagi issiq neytronlar oqimining qiymatini aniqlash.
- 2.2. Aktivlashtirish ifodasi yordamida nurlantirish vaqtini aniqlash.

### 3. Namunani nurlantirish:

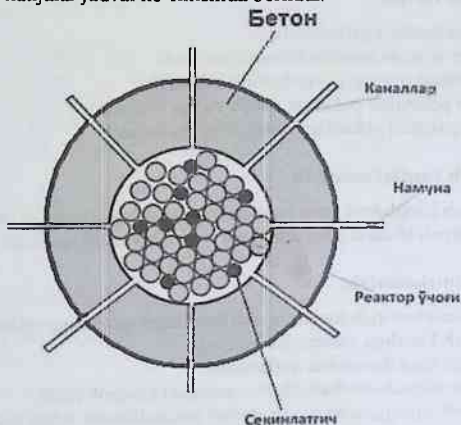
- 3.1. Namunani nurlantirish kanaliga olib boradigan qurilmaga joylashtirish.
- 3.2. Nurlantirish kanaliga yuborish (5-rasm).
- 3.3. Belgilangan vaqt davomida nurlantirish.
- 3.4. Qurilma yordamida nurlantirilgan namunani chiqarib olish.
- 3.5. Nurlantirish tugaganidan keyin darhol sekundamerni ishga tushirish lozim. Sovutish vaqti aniq o'lchanishi kerak.

### 4. Aktivlikni o'lchash tartibi:

- 4.1. Nurlantirilgan namunani  $\gamma$ -spektrometr detektorining ustiga joylashtirish. O'latish masofasi aniqlanishi lozim.
- 4.2.  $\gamma$ -spektrlarni o'lchash vaqti piklardagi sanoq qiymatlariga ko'ra olib boriladi.
- 4.3. Agar yarim yemirilish davrlari kichik bo'lgan elementlar o'lchashga halaqit bersa, o'lchashni ma'lum vaqt o'tganidan keyin yana takrorlash kerak bo'ladi. Sovutilish vaqti doimo yozib borilishi kerak. O'lchangan spektrlarni EHM hotirasiga yozib borish kerak.
- 4.4. Namunadagi o'lchashlar tamom bo'lganidan keyin fon spektrini o'lchash kerak. Buning uchun namunani detektordan olib qo'yish lozim bo'ladi.

### 5. $\gamma$ -spektrlarni tahlil qilish:

- 5.1. EHM hotirasiga yozilgan  $\gamma$ -spektrni ekranga chaqirish.
- 5.2. Programma ta'minoti yordamida piklarni tahlil qilish Radionuklidlarni ajratish.
- 5.3. Piklardagi sanoq qiymatlarni aniqlash. Undan fon sanoqlarini ayrib tashlash.
- 5.4. Elementlarning solishtirma aktivligini aniqlash. Bu hisoblar avtomatik ravishda programma ta'minotiga ko'ra amalga oshiriladi.
- 5.5. Etalon radionuklidining solishtirma aktivligi aniqlanadi.
- 5.6. Nisbiy usul orqali namunadagi elementlarning solishtirma aktivligi aniqlanadi.
- 5.7. Topilgan natijalar jadval ko'rinishida beriladi.



5-rasm. Nurlantirish geometriyasi

#### Nazorat savollari:

1. Atom reaktorida neytronlar qanday paydo bo'ladi?
2. Nurlantirishi lozim bo'lgan namuna qanday tayyorlanadi?
3. Nurlantirishi lozim bo'lgan namunaning massasi qanday aniqlanadi?
4. Nurlantirish vaqti qanday aniqlanadi?
5. Namunadagi elementlar qaysi yo'l bilan aniqlanadi?
6. Namunadagi elementlarning aktivligini qanday qilib aniqlash mumkin?
7. Nurlantirilgan etalon elementlari nima uchun kerak?
8. (1)-ifodani tushuntirib bering.

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. R. A. Kuznesov // Aktivatsionnuyu analiz, M: Atomizdat, 1967.

2. I.V. Mednis // Spravochnyye tablitsy dlya neytronno-aktivatsionnogo analiza, Riga, ZINATNE, 1974.

3. V.E. Levin // Yadernaya fizika i yadernye reaktory, M: Atomizdat, 1979.

## № 55. Laboratoriya ishi

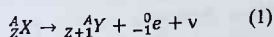
### $\beta$ -radionuklidining aktivligini va $\beta$ -zarrachaning maksimal energiyasini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:**  $\beta$ -radionuklidlar chiqarayotgan  $\beta$ -zarrachalarning maksimal energiyasini aniqlash usullari bilan tanishish.  $\beta$ -zarrachaning maksimal energiyasini to'liq yutilish usuliga ko'ra aniqlashyo'lini o'rganish.

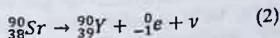
**Kerakli jihozlar:** UIM2-2, BDB 2 rusumidagi Geyger-Myuller schetchigi, turli qalinlikdagi Al yoki mis plastinkalari.

**Nazariy qismi:** Tabiatda  $\beta$ -radioaktiv izotoplar ko'plab uchraydi. Hozirgi davrda yadrolarning  $\beta$ -parchalanishini quyidagi uchta turi mavjud:  $\beta^-$  parchalanish,  $\beta^+$  parchalanish va elektronning yutilishi.  $\beta^-$  va  $\beta^+$ -zarrachalari modda atomlaridan ajralibchiqmaydi. Agar ularni atomlardan uzilib chiqadi deb faraz qilinsa, bu holda uzilib chiqqan elektron bilan bir qatorda xarakteristik nurlanishlar ham paydo bo'lishi kerak edi. Tajribalarda yadrolarning  $\beta$ -parchalanishida xarakteristik nurlanishlar kuzatilmadi. Bundan shunday xulosa kelib chiqadiki,  $\beta^-$  va  $\beta^+$ -zarrachalari modda atomlari yadrolarining o'zgarishlari natijasida paydo bo'ladi. Bizga ma'lumki, yadro tarkibida elektron va pozitron zarrachalari yo'qdir.

$\beta^-$ -parchalanishida yadro tarkibidagi neytron zarrachasi proton zarrachasiga aylanadi. Bundan tashqaribu jarayonda elektron va neytrino zarrachalari hosil bo'ladi. Parchalanish tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:



Bunga misol qilib  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  izotopining parchalanishini ko'rsatishimiz mumkin:

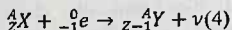


$\beta^-$  parchalanishda yadro tarkibidagi nuklonlar soni o'zgarmaydi. Bitta neytron bitta protonga aylanadi. Parchalanishda hosil bo'lgan yadroning zaryadi bittaga ortadi.

$\beta^-$ -parchalanishda yadro tarkibidagi protonning neytronga aylanishi sodir bo'ladi. Bu jarayonda pozitron va neytrino zarrachalari hosil bo'ladi. Parchalanish tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:



Elektron yutilishi jarayonida yadro o'z atomidagi elektronni o'ziga qabul qilib oladi va yadrodagi proton neytronga aylanadi. Yadro tarkibidagi nuklonlar soni o'zgar olmaydi. Bu parchalanish quyidagicha sodir bo'ladi:

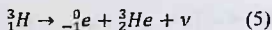


Bunda yadro o'ziga eng yaqin joylashgan qobiqdagi elektronni tortib oladi. Bu hodisa asosan K-qobig'ida joylashgan elektronlarda yuz beradi.

$\beta^-$ -parchalanish kuchsiz ta'sirlashishga kiradi. Bu parchalanish yadro strukturasi juda bog'liqdir. Shu sababli  $\beta^-$ -parchalanishni o'rganish orqali yadroga tegishli bir qator hodisalar kashf qilindi. Neytrino zarrachasining mavjudligi aytib berildi. Bundan tashqari kuchsiz ta'sirlashishda juftlikning saqlanmaslik qonuni ham kashf qilindi.

$\beta^-$ -parchalanishlarda doimo ikkita zarracha hosil bo'ladi. Elektron (yoki pozitron) va neytrino zarrachalari. Parchalanish energiyasi shu zarrachalar o'rtasida taqsimlanadi. Tepki yadroning olgan energiyasini hisobga olmasa ham bo'ladi. Energiyaning taqsimlanishi aniqbir qonuniyatga bo'ysinmaydi. Shu sababli elektron (yoki pozitron) olgan energiyaning qiymati  $0 \div E_{\text{chegarasi}}$  oraligida o'zgarishi mumkin. Bundan elektron (yoki pozitron) zarrachalarining spektrini uzluksiz bo'lishligi kelib chiqadi.

Elektron yutilishi jarayonida esa energiya neytrino va tepki yadrosi o'rtasida taqsimlanadi. Asosiy energiyaning neytrino zarrachasi olib chiqib ketadi.  $\beta^-$ -spektrning chegaraviy qiymati turli  $\beta^-$ -radionuklidlar uchun turlichadir. Masalan:



Bu jarayonda hosil bo'lgan elektronning eng katta chegaraviy energiyasi 18,6 keV ga teng.  ${}^{12}\text{N}$ yadrosini parchalanishida hosil bo'lgan elektronning chegaraviy energiyasi 16,6 MeV ga teng. Ko'p yadrolar uchun elektronlarning chegaraviy energiyasi  $10 \div 5000$  keV oraligida bo'lishligi tajribalardan aniqlangan. Elektronlarning chegaraviy energiyasini aniqlash orqali yadro fizikasidagi muhim kattalik hisoblangan parchalanish energiyasining qiymatini topish mumkin.

$\beta^-$ -spektrning chegaraviy qiymatini aniqlashning bir nechta usullari mavjud:

- $\beta$ -zarrachalar oqimi quvvatining turli qalinlikdagi plastinkalardan o'tishida kuchsizlanishiga ko'ra;

- $\beta$ -zarrachalar oqimi quvvatining karrali kuchsizlanishiga asosan,  $J0/J2 (d/2) = 2$  marta;  $J0/J4 (d/4) = 4$  marta;  $J0/J8 (d/8) = 8$  marta.

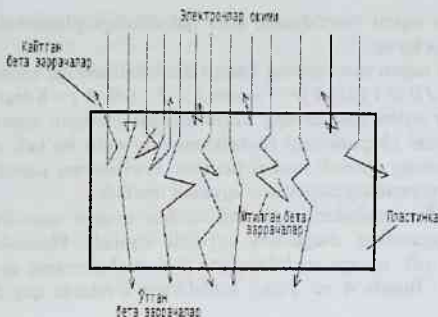
- $\beta$ -zarrachalar oqimi quvvatining kuchsizlanish grafigini approksimatsiyalash va kuchsizlanishni eksponensial funksiyaasosida sodir bo'ladi deb faraz qilish orqali, plastinkaning chiziqli kuchsizlantirish koeffitsienti aniqlanadi. So'ngra  $\beta$ -zarracha energiyasining chegaraviy qiymati topiladi.

- Bu usulda  $\beta$ -zarrachalarini plastinkalardan orqaga sochilishiga ko'ra  $\beta$ -zarracha energiyasining chegaraviy qiymati topiladi. Plastinka qalinligining ortib borishida ( $d$ ), orqaga sochilayotgan  $\beta$ -zarrachalarining qiymati to'yinish holatiga keladi. Bunda  $d$  va  $Ye_{cheg.}$  kattaliklari o'rtasida quyidagi bog'lanish mavjuddir:

$$d_{to'y.} = \sim E_{c0eg}^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

- Ionlashgan va ssintillyatsion spektrometrlar orqali ham  $\beta$ -zarracha energiyasining chegaraviy qiymatini aniqlash mumkin. Bundan tashqari  $\beta$ -spektrning formasini ham kuzatish imkoniyati mavjuddir. Bu usullarning barchasi  $\beta$ -zarrachalarini moddalardan o'tishida yo'qotgan energiyasiga asoslanadi.

Bu usullar ichida  $\beta$ -zarrachalar oqimi quvvatining turli qalinlikdagi plastinkalardan o'tishida kuchsizlanishiga ko'ra  $\beta$ -zarracha energiyasining chegaraviy qiymatini aniqlash o'zining soddaligi bilan ajralib turadi. Shu sababli laboratoriya ishini ushbu metod orqali bajarishni lozim topdik. Bu tajribada plastinkalarning qalinligini ortib borishida  $\beta$ -zarrachalar oqimi quvvatining kamayib borishi o'lchanadi. Plastinkalar qalinligi ( $R_{mak.}$ ) ma'lum qiymatiga yetib borganda ( $R_{mak.}$ )  $\beta$ -zarrachalar plastinkada to'liq yutiladi. Elektron yengil zarracha bo'lganligi uchun moddadan o'tishida ko'p karrali sochilishga uchraydi. Boshlang'ich etaplarda elektron modda ichida to'g'ri chiziqli harakatda bo'ladi. Lekin energiyasining kamayishi hisobiga ta'sirlashish ehtimolligi ortadi va bu sochilishlar sonining ortishiga olib keladi. Harakat traektoriyasi egri chiziqqa aylanadi. 1-rasmda plastinkaga tushayotgan  $\beta$ -zarrachalar oqimi ko'rsatilgan. 1-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $\beta$ -zarrachalari modda ichida ko'p karrali sochilishga uchraydi. Zarrachalarning bir qismi modda ichida yutiladi, bir qismi sochilib orqaga qaytadi, yana bir qismi esa moddadan o'tib ketadi. Moddadan o'tayotgan  $\beta$ -zarrachalarining quvvati plastinka qalinligini ortib borishida bir tekisda kamayib borishi kuzatiladi. Bu tajribada bitta qiyinchilikka duch kelinadi. Plastinkaga bir vaqtning o'zida turli energiyali elektronlar kelib tushadi. Ularni plastinka ichiga kirib borish chuqurliklari ham turlichadir. 2-rasmda turli energiyali elektronlarni plastinka ichiga kirib



1-rasm.  $\beta$ -zarrachalarini moddadan o'tishi, sochilishi va moddada yutilishi

borish chuqurligi aks ettirilgan. Plastikaning materiali Al. Grafikda alyuminiyning qalinligi  $g/sm^2$  da berilgan. Shtrixlangan chiziq'larni d-chizig'i bilan kesishish nuqtasi berilgan energiya uchun ekstrapolyatsiya usuli orqali topilgan kirib borish chuqurligini ( $R_{ele}$ ) beradi. Shu yo'l bilan turli energiyali elektronlar uchun  $R_{ele}$  qiymatini aniqlash mumkin. Tajriba orqali  $R_{ele}$  kataligi aniqlanadi. So'ngra quyidagi ifoda yordamida elektronlarning maksimal energiyasi topiladi:

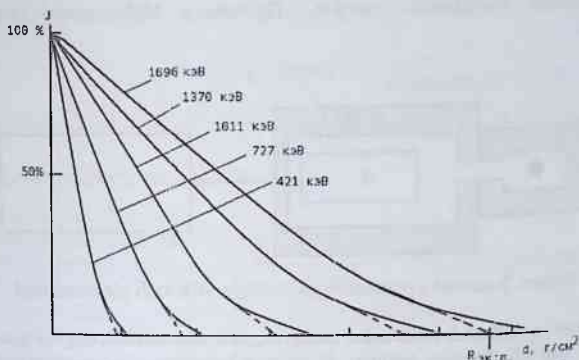
$$R_{mak} \approx 0,11 \left[ \sqrt{1 + 22,4 \cdot E_{mak}^2} - 1 \right] \quad (7)$$

Bu ifodani Alementi uchun va elektronning  $0,3 < E_{mak} < 3$  MeV energiya oralig'ida ishlatish mumkin. (7)-ifodadan foydalanib  $E_{mak}$  qiymatini topish mumkin:

$$E_{mak} \approx 1,92 \cdot \sqrt{R_{mak}^2 + 0,22R_{mak}} \quad (8)$$

(8)-ifoda yordamida elektronlarning maksimal energiyasini 7% xatolik bilan topish mumkin. Agar plastinka sifatida boshqa elementlar ishlatilgan bo'lsa, bu elema uchun  $R_{mak}$  qiymatini ushbu ifoda orqali topish mumkin:

$$R_{mak}(Z) = \left(\frac{A}{Z}\right)_{ele} \cdot \left(\frac{Z}{A}\right)_{Al} \cdot R_{mak}(Al) \quad (9)$$

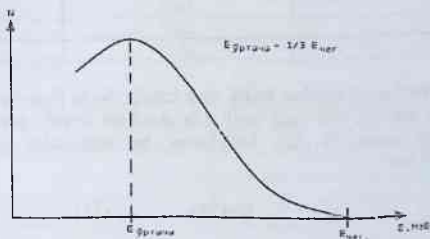


2-rasm. Turli energiyali elektronlarni plastinkaga kirib borish chuqurligi.

Tajriba ishlaridan ma'lum bo'ldiki,  $\beta$ -zarrachalarning o'rtacha va maksimal energiyalari o'rtasida quyidagicha bog'lanish mavjud ekan:

$$E_{o'rt} = \frac{1}{3} E_{mak} \quad (10)$$

3-rasmda  $\beta$ -zarrachalarning o'rtacha va maksimal energiyalari tasvirlangan. Bu rasmda o'rtacha va maksimal energiyalari grafikdan qanday topilishi ko'rsatilgan.



3-rasm.  $\beta$ -zarrachalarning o'rtacha va maksimal energiyalari

### Beta manbaining aktivligini aniqlash

$\beta$ -zarracha manbaining aktivligini aniqlashda quyidagilarga katta e'tibor berish lozim. Bu tajribada qayd qilish moslamasi sifatida Geyger-Myueller



schetchigidan foydalanish mumkin. Tajribaning blok-sxemasi 4-rasmda berilgan.



4-rasm.  $\beta$ -zarracha manbaining aktivligini o'lchash blok-sxemasi

Detektorga nurlanish manбайдan chiqayotgan  $\beta$ -zarrachalarining bir qismigina borib tushadi. Bundan tashqari detektorga borayotgan  $\beta$ -zarrachalardan bir nechtasi havo atmosferasida va detektorning qobig'ida yutilib qoladi. Demak aktivlikni aniq o'lchash uchun bu kattaliklarni e'tiborga olish kerak bo'ladi. Bu tuzatma tajriba geometriyasiga kiritilgan koeffitsient (S) orqali amalga oshiriladi. Turli masofalar uchun S kattaligining qiymati 1-jadvalda berildi.

1-jadval. Turli masofalar uchun S kattaligining qiymati

h, sm	$S \cdot 10^{-3}$	1/S
6	9,28	107,7
7	10,7	93,7
8	12,4	84,9
9	14,4	69,4
10	16,9	59,1
11	20,0	49,9
12	24,0	41,7

Agar nurlanish manbai birlik vaqt ichida  $N_0$  ta  $\beta$ -zarrachalarini chiqaradi deb faraz qilinsa, shu vaqt oraligida detektor orqali qayd qilinayotgan  $\beta$ -zarrachalar sonini N deb belgilansa, bu kattaliklar o'rtasida quyidagi bog'lanish bor:

$$N = C \cdot N_0 \quad (11)$$

Bundan tashqari o'lchashda fon sanoqlari ham ishtirok etadi. Fon sanoqlarini hisobga olish uchun alohida fon spektri o'lchanadi. So'ngra asosiy spektrdan (N) fon spektri ( $N_{fon}$ ) ayrib tashlanadi vashu asosda foydali spektr olinadi ( $N_{foy}$ ).

$$N_{foy} = N - N_{fon} \quad (12)$$

Radionuklidning aktivligi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$A = \frac{1}{c}(N - N_{fon.}) , \quad (13)$$

bu yerda  $N$ -asboddagi sanoq tezligi, 1/sek.  $N_{fon.}$ -fondagi sanoq tezlik, 1/sek.

### Tajribani bajarish tartibi:

#### 1. Fon spektrini o'lchash.

- 1.1. Asboblarning korpuslarini Yerga ulash;
- 1.1. Tajribada ishtirok qiladigan barcha asboblarni tok tarmog'iga ulash;
- 1.3. Asboblarni 5-10 minut davomida qizdirish;
- 1.4. Detektor oldida xech qanday nurlanish manbai qoldirilmasin;
- 1.5. UTM2-2 ni ishga tushiring va "RAZRYaD" knopkasini bosing. 30 sekundlardan keyin sanoq tezligini "V" yoki "N" shkalada bo'lishligini aniqlab, unga mos keluvchi songa ko'paytiring;
- 1.6. O'lchashni ikki marta takrorlang va natijalarni 2-jadvalga yozib qo'ying.

2-jadval. Fon sanoqlari

$N_{fon1}$	$N_{fon2}$	$N_{fon3}$	$N_{fon}(o'rtacha)$

#### 2. Radionuklidning aktivligini o'lchash.

- 2.1. Radionuklidni detektordan ~6 sm uzoqlikka joylashtiring;
- 2.2. RAZRYaD knopkasini bosing, 30 sekundlardan keyin sanoq tezligini "V" yoki "N" shkalada bo'lishligini aniqlab, unga mos keluvchi songa ko'paytiring va natijalarni 3-jadvalga yozib qo'ying;
- 2.3. O'lchashlarni boshqa 7sm va 8 sm masofalarda ham bajaring va natijalarni 3-jadvalga yozib qo'ying;

3-jadval. Radionuklidning aktivligini o'lchash

No	h, sm	$N_i$ , 1/sek	1/S <sub>i</sub>	A, l.cek
1	6			
2	7			
3	8			

#### 3. β-zarrachalarning maksimal energiyasini aniqlash

- 3.1. Tajriba 5-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra amalga oshiriladi;
- 3.2. Nurlanish manbai va detektor orasidagi optimal masofa tanlab olinadi;
- 3.3. Tanlangan masofaga nurlanish manbai qo'yiladi;
- 3.4. Plastinka qo'yilmagan (0) holatdagi sanoq tezligi  $N_0$  aniqlanadi va 4-jadvalga yozib qo'yiladi;

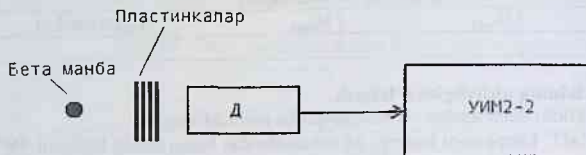
3.5. 1-plastinka qo'yiladi (1) va sanoq tezligi  $N_1$  aniqlanadi va 4-jadvalga yozib qo'yiladi;

3.6. 1-plastinka yoniga 2-plastinka qo'yiladi (1+2) va sanoq tezligi  $N_{1+2}$  aniqlanadi va 4-jadvalga yozib qo'yiladi;

3.7. 1-, 2-plastinkalar yoniga 3-plastinka qo'yiladi (1+2+3) va sanoq tezligi  $N_{1+2+3}$  aniqlanadi va 4-jadvalga yozib qo'yiladi.

4-jadval.  $\beta$ -zarrachalarning maksimal energiyasini aniqlash

№	Plastinkalar soni	Plastinkalar-ning yig'indi qalinligi, mm	Sanoq tezligi, 1/sek	$N^*=N_i-N_{fon}$
1	0			
2	1			
3	1+2			
4	1+2+3			



5-rasm.  $\beta$ -zarrachalarning maksimal energiyasini aniqlash tajribasining blok-sxemasi

### Nazorat savollari:

1.  $\beta$ -zarrachalar spektrining uzluksiz bo'lishligini izohlab bering.
2.  $\beta$ -zarrachalarning o'rtacha va maksimal energiyalari orasida qanday bog'lanish bor.
3. Tajriba geometriyasiga kiritilgan koeffitsient ( $S$ ) kattaligi nimani anglatadi?
4.  $\beta$ -zarrachalarni maddichidagi harakat traektoriyasi qanday bo'ladi?
5.  $\beta$ -zarracha manbaining aktivligini o'lchash geometriyasini tushuntirib bering.
6. Ekstrapolyatsiya usuli qanday amalga oshiriladi?
7.  $\beta$ -zarrachalarning maksimal energiyasini aniqlash qanday amalga oshiriladi?
8. (13)-ifodani tushuntirib bering?
9.  $\beta$ -zarrachaning probegi alyuminiy elementi uchun ma'lum bo'lsa, boshqa elementlar uchun probeg qiymati qanday aniqlanadi?
10. Tajribani bajarish ketma-ketligini aytib bering?

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. B.P. Golubev//Dozimetriya i zashita ot ioniziruyuyux izlucheniya, M., Energoatomizdat, 1986.
2. V.F. Kozlov//Spravochnik po radiatsionnoy bezopasnosti, M., Energoatomizdat, 1993.
3. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-2006), Minzdrava Uzbekistana, 2006.
4. UIM2-2, Pasport, izmeritel skorosti scheta s avtomaticheskim pereklyucheniem poddiapazonov, 1988.

### № 56. Laboratoriya ishi

#### Si yuza barer detektoriga beriladigan chetlantirish kuchlanishini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** Si yuza barer detektoriga beriladigan chetlantirish kuchlanishini aniqlash yo'llarini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:**  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi, qalinligi 45 mkm bo'lgan Si yuza barer detektori, yordamchi kuchaytirgich, keng qamrovli kuchaytirgich, programma ta'minoti, vakuum sistemasi, EHM

**Nazariy qismi:** Si yuza barer detektoriga tegishli nazariy ma'lumotlar boshqa laboratoriya ishlarida keng yoritib berilgan. Shu sababli ushbu laboratoriya ishida detektorga tegishli texnik masalalarga to'xtalib o'tishni lozim topdik. Si detektorini ishga tushirishdan oldin quyidagi narsalarga katta e'tibor berish kerak:

1. Detektorga ulangan simlarning ulanish joylarini mustahkamligini nazoratdan o'tkazish lozim. Bu ishlarni juda ehtiyotkorlik bilan bajarish lozim.
2. Si yuza barer detektorining orqa va oldi tomonlarining yuzalari nihoyat darajada toza bo'lishi lozim. Yuzaqismida chang zarrachalari bo'lmasligi lozim.

Si yuza barer detektorining xususiyatlarini metall – yarimo'tkazgich moddalarining ulangan joylarida hosil bo'luvchi potensial barerining balandligi belgilaydi. Shotti nazariyasiga ko'ra metall – yarimo'tkazgich materiallari ulangan kontakda elektr yurituvchi kuch paydo bo'ladi.

Tajriba natijalariga ko'ra, potensial bareri bilan elektronlarni metallardan chiqish ishi orasida quyidagi bog'lanish aniqlandi:

(1)

bu yerda  $Y_{e_{pb}}$ - potensial barerining balandligi;  $A_{chi}$ - elektronlarni metallardan chiqish ishi.

Keyingi olib borilgan ishlar bu kattaliklar orasidagi bog'lanishni Shottki nazariyasida topilgan qiymatiga nisbatan kuchsizroq bo'lishligi aniqlandi. Bu bog'lanish quyidagi ifoda orqali berildi:

(2)

Si yuza barer detektorining butun ish yuzasi bo'ylab qalinligining bir xil bo'lishligi juda katta ahamiyatga ega. Bu ayniqsa qalinligi katta bo'lmagan  $\Delta E$  detektorlarda o'ta sezilarlidir. Detektorlarning qalinlik bo'yicha tekislik darajasini  $\alpha$ -zarrachalar yordamida aniqlash mumkin.

### Tajriba qurilmasi:

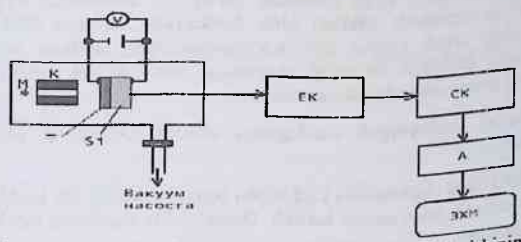
Tajribani boshlashdan oldin yuqorida aytib o'tkanimizdek, detektorni tashqiy ko'rikdan o'tkazish kerak. Ulanish joylariga va tozaligiga e'tibor berish lozim. Tajribada  $\alpha$ -zarrachalar manbai sifatida  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi ishlatiladi.  $\alpha$ -zarrachalarning energiyasini bilgan holda bu usul yordamida qanday qalinlikdagi detektorlarning xarakteristikalarini o'lchash mumkin ekanligini aniqlaymiz. Buning uchun toza kremniy uchun hisob ishlarini bajaramiz. Turli energiyali  $\alpha$ -zarrachalarni Si elementdagi kirib borish chuqurligini (probegini) hisoblaymiz. Hisoblash "LOSS" programmasi orqali amalga oshirildi. Hisoblashda quyidagi kattaliklar ishlatildi: Si elementi uchun,  $Z=14$ ,  $A=28$ ,  $\rho=2,33 \text{ g/sm}^3$ . Hisob natijalari 1-jadvalda berildi.

1-jadval. Turli energiyali  $\alpha$ -zarrachalarni Si elementidagi probegi

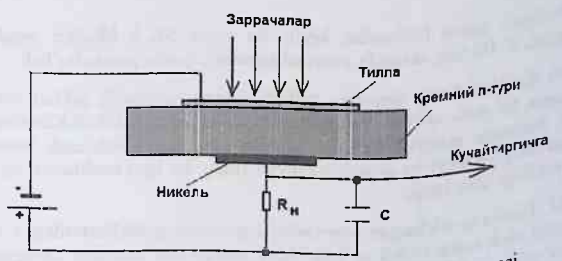
$N_0$	$E_{\alpha, \text{MeV}}$	Si ning zichligi, $\text{g/sm}^3$	d, mikron
1.	4.602	2.33	20,6
2.	4.784		21,82
3.	5.490		27,0
4.	6.002		31,0
5.	7.687		46,0

1-jadvaldan shu narsa ma'lum bo'ldiki, tabiiy radionuklidlar chiqaradigan  $\alpha$ -zarrachalar yordamida qalinligi 46 mkmdan katta bo'lgan Si detektorlarining xarakteristikalarini o'rganish mumkin. Qalinligi 46 mkmdan kichik bo'lgan Si

detektor dayuqori energiyali  $\alpha$ -zarrachalar (7,687 MeV) to'liq energiyasini bermasdan o'tib ketadi. Natijada  $\alpha$ -zarrachalar spektridagi buzilishlar sodir bo'ladi. Tajribani o'tkazishda 1-rasmda ko'rsatilgan tajribaning geometriyasivab blok-sxemasidan foydalanildi. Burasmdagi belgilar quyidagilarni anglatadi: M- $\alpha$ -zarrachalar manbai, K-kollimator, T- tilla, Si elementi, SK- spektrometrik kuchaytirgich, A-aspekt bloki, EHM- elektron hisoblash mashinasi, V-voltmetr, chetlashtirish kuchlanishini beruvchi tok manbai, O-ossilloqraf. O'lchash natijalarining aniqlik darajasini oshirish maqsadida o'lchash shartlarini vakuum sistemasi ichida olib boriladi. Buishlarda  $10^{-3}$  mm.sim.us.dagivakuum qiymati etarlibo'ladi. Vakuum sistemasi ichiga  $\alpha$ -zarrachalar manbai, K-kollimator va detektor joylashtiriladi. Detektorni tok bilan ta'minlash va signalni olish simlari vakuumni buzmaydigan moslamalar orqali o'rnatilgan. 2-rasmda detektorga chetlashtirish kuchlanishini berish chizmasi ko'rsatilgan.



1-rasm. Si yuza barer detektoriga beriladigan chetlashtirish kuchlanishining blok-sxemasi



2-rasm. Detektorga chetlantirish kuchlanishini berish chizmasi

## Tajribani o'tkazish tartibi:

1. Tajriba qurilmasini 1-rasmda ko'rsatilgan chizmaga ko'ra yig'ish. Yuqorida aytilgandek, detektorning qalinligi 46 mkm dan kichik bo'lmaligi lozim.

2. Detektorga 2-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha kuchlanishni berish simlarini ulash kerak.

Detektorning tilla joylashgan tomonini  $\alpha$ -zarrachalar manbai tomoniga qarab joylashtiriladi (1-rasm)

3. 4-rasmda ko'rsatilgan elektron bloklarining barchasini tok tarmog'iga ulash. Bloklarning korpuslarini Yerga ulashni unutmash kerak.

4. Vakuum kamerasi ichiga  $\alpha$ -manbai, kollimator va detektorlar o'rnatilib, kamera berkitiladi.

5. Vakuum nasosi ishga tushiriladi. So'ngra 5 minutlardan keyin vintel ochiladi va kamerada vakuum olish boshlanadi. Vakuum olish darajasi vakuummetr orqali kuzatib boriladi. Vakuummetrning strelkasi asta-sekinlik bilan tusha boshlaydi va oxirgi chegarasiga borib to'xtab qoladi. Demak, kamerada yetarli darajada vakuum olindi.

6. Zaryad kuchaytirgich ossillografga ulanadi. Ossillograf ish holatiga keltiriladi.

7. Detektorga chetlashtirish kuchlanishi berila boshlaydi. Bu kuchlanishning qiymati sekinlik bilan oshirib boriladi. Ossillografda signalning paydo bo'lishi kuzatib boriladi.

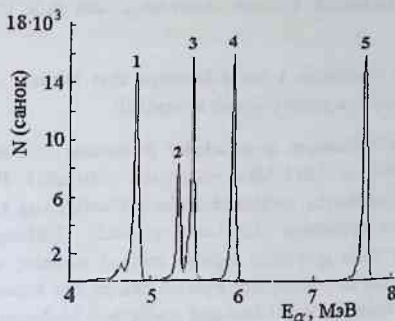
8. Kuchlanishning ma'lum qiymatiga yetib borganda ossillografda signal paydo bo'ladi.

9. Signal paydo bo'lgandan keyin, bu signal SK,A bloklari orqali EHM uzatiladi. EHM ning ekranida  $\alpha$ -zarrachalarining spektri paydo bo'ladi.

10. Kuchlanishning qiymatini tanlash  $\alpha$ -zarrachalarining piklari yordamida energiya bo'yicha ajratish qobiliyatiga ko'ra amalga oshiriladi. Kuchlanishning ortib borishida energiya bo'yicha ajratish qobiliyati yaxshilanib boradi. Shu tariqa energiya bo'yicha ajratish qobiliyati yuqori bo'lgan kuchlanish topiladi va uni yozib qo'yish kerak.

11. Tajribada o'tchangan  $\alpha$ -zarrachalar piklarining analizatoridagi o'rinlarini belgilab olish lozim (6,002 va 7,687 MeV energiyalar yetarlidir.). Programmada piklar o'rini belgilovchi vertikal chiziqlar mavjud bo'lib, ular yordamida

piklardagi eng katta qiymatlari aniqlanadi va shu nuqtalarga chiziqlar olib kelib qo'yiladi. O'lchangan  $\alpha$ -spektrlar 3- rasmda ko'rsatilgan.

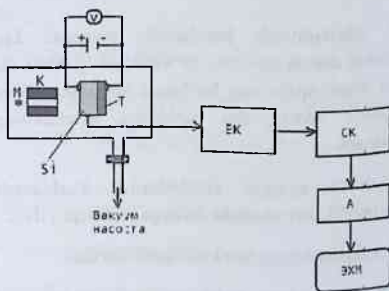


3-rasm.  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi chiqarayotgan  $\alpha$ -zarrachalar spektri

12. Aniqlangan chetlashtirish kuchlanishining qiymati yana boshqa usul orqali tekshirishdan o'tkaziladi.

13. Tajriba geometriyasiga bir qator o'zgartirishlar kiritiladi. Vakuum nasosi tomonidagi vintel berkitiladi, nasos o'chiriladi. Kamera ichiga havo kiritiladi. Havoni kiritish sekinlik bilan amalga oshiriladi.

Kamera ochiladi. Bu o'zgartirishlarda faqat detektor ag'darib qo'yiladi (4-rasm).



4-rasm. Sidetektorini ag'darib qo'yilgan holati



14. Detektorning Si joylashgan tomonidagi zarrachalar manbai tomoniga qarab joylashtiriladi (4- rasm).

15. Kamera berkitiladi. Vakuum nasosi ishga tushiriladi. Vintel asta-sekinlik bilan ochiladi.

16. Vakuum olingandan keyin o'lchashga start beriladi. Piklardagi sanoq qiymati ~5000 taga yetganda o'lchash to'xtatiladi.

17. Tajribada o'lchangan  $\alpha$ -zarrachalar piklarining analizatoridagi o'rinlari aniqlanadi (6,002 va 7,687 MeV energiyalar yetarlidir.). Programma orqali piklar o'zini belgilovchi vertikal chiziqlar piklardagi eng katta qiymatlariga tegishli bo'lgan nuqtalarga olib kelib qo'yiladi. O'lchangan  $\alpha$ -spektrdagi piklarning eng katta qiymatiga tegishli bo'lgan nuqtalar, oldin o'lchangan spektrdagi nuqtalarga solishtiriladi agar nuqtalarga mos keluvchi kanallar soni bir-biriga mos kelsa, ya'ni o'lchashdagi spektrlarda bir-biriga nisbatan surilish kuzatilmasa. Bu holda chetlashtirish kuchlanishining qiymati to'g'ri tanlangan bo'ladi.

18. Aniqlangan chetlashtirish kuchlanishining qiymati detektorning xarakteristikalarini yozilgan daftarga yozib qo'yiladi.

19. Tajriba ishlarida detektorga shu kuchlanish beriladi.

20. Agar nuqtalarga mos keluvchi kanallar soni bir-biriga mos kelmasa, ya'ni o'lchangan spektrlarda bir-biriga nisbatan surilish kuzatilsa. Bu holda chetlashtirish kuchlanishining qiymatini aniqlash uchun tajribani davom ettirish kerak bo'ladi.

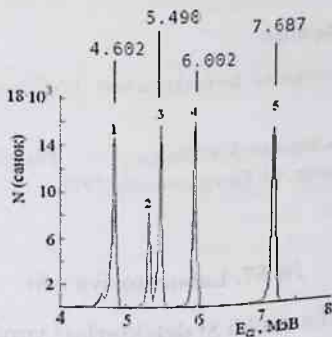
21. Aniqlangan chetlashtirish kuchlanish qiymatini kichik qiymatiga o'zgartirib, o'lchashni davom ettiramiz. O'lchangan spektrni dastlabki spektrga solishtiramiz. Shu orqali spektrlarni bir-biriga nisbatan surilmagan holatidagi kuchlanishni topamiz. Aynan, shu kuchlanish detektorning chetlashtirish kuchlanishi hisoblanadi.

22. Shu yo'l bilan topilgan chetlashtirish kuchlanishining qiymati detektorning xarakteristikalarini yozilgan daftarga yozib qo'yiladi.

23. Tajriba ishlarida detektorga shu kuchlanish beriladi.

Agar detektorda  $\alpha$ -zarrachalar to'liq yutilmasa, bu ko'pincha 7,687 MeV energiyali zarrachada yuz beradi. Yuqorida aytilgandek detektorning qalinligi

46 mkm dan kichik bo'lgan hollarda uchraydi. Bunda 7,687 MeV energiyali  $\alpha$ -zarrachalar detektorda to'liq energiyasini yo'qotmaydi. Bu holatda o'lchangan  $\alpha$ -spektrdagi piklarning ko'rinishi 5-rasmda ko'rsatilgandek ko'rinishda bo'ladi.  $\alpha$  piklar chap tomonga qarab suriladi.



5-rasm. 7,687 MeV energiyali  $\alpha$ -zarrachalarni detektorda to'liq yutilmagan holati

Demak, detektorlarning chetlashtirish kuchlanishining qiymati tabiiy Ra226 radionuklididan chiqayotgan  $\alpha$ -zarrachalar yordamida aniqlanayotgan bo'lsa, bu usulni 46 mkm dan katta qalinlikdagi detektorlarga qo'llash mumkin!

Nazorat savollari:

1. Nima sababdan detektorlarga chetlashtirish kuchlanishi beriladi?
2.  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi qanday energiyali  $\alpha$ -zarrachalarni chiqaradi?
3. Nima uchun chetlashtirish kuchlanish qiymatini aniqlashda vakuum olish kerak bo'ladi?
4. Tajribalarda kollimatorlar qanday vazifani bajaradi?
5. 1-rasmdako'rsatilgan tajriba qurilmasini tushuntirib bering.
6. Tajriba qanday ketma-ketlikda olib boriladi.

7. Agar  $\alpha$ -zarrachalar detektorda to'liq yutilmasa spektr qanday ko'rinishda bo'ladi.
8. Detektorga chetlashtirish kuchlanishini berish chizmasini izohlang.

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. K.Klaynknext //Detektorы korpuskulyarnыx izlucheniы, izdatelstvo MIR, 1990.
2. Yu.I.Bregadze, E.K.Stepanov, V.P.Yagyna // Prikladnaya metrologiya ioniziruyushix izlucheniы, M: Energoatomizdat, 1990.

### № 57. Laboratoriya ishi

#### Yarim o'tkazgichli Si detektorlari yordamida $\alpha$ -zarrachalarning spektrini o'lchash

**Ishdan asosiy maqsad:** Si detektori bilan tanishish va uning xarakteristikalarini  $\alpha$ -nurlar yordamida aniqlash.  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi chiqarayotgan  $\alpha$ -spektrlarni o'lchash.

**Kerakli jihozlar:**  $^{226}\text{Ra}$  radionuklidi,  $\alpha$ -spektrometr, kollimator, tok manbalari, "ASPEKT" programma ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Yarim o'tkazgichli detektorlar (YaO'D) hozirgi davr tajribalarida keng qo'llanilayotgan moslama hisoblanadi. Buning asosiy sabablari quyidagicha: birinchidan YaO'D larni katta hajmlarda tayyorlash imkoniyati bor ( $\sim 100 \text{ sm}^3$ ), ikkinchidan energiya bo'yicha ajratish qobiliyati juda yuqori (0.1%). YaO'D yordamida zaryadli zarrachalarni, gamma kvantini va neytron oqimini qayd qilish mumkin. YaO'D larni ishlash prinsipiga qisqacha to'xtalib o'tamiz. YaO'D ni quyidagicha tasavvur qilish mumkin, ionlashgan kamera va uning elektrodleri orasiga qattiq dielektriklar kiritilgan. Qattiq dielektriklar sifatida yarim o'tkazgichli materiallar germaniy, kremniy va CdSmoddalarni ishlatish mumkin.

YaO'D lar gazli kameralarga nisbatan bir qator yutuqlarga ega:

1. YaO'D larning zichligi ionlashtirish kamerasida qamalgan gazning zichligiga nisbatan juda katta bo'ladi. Shu sababli YaO'D da zarrachaning yo'qotgan energiyasi katta bo'ladi va kichik masofalarda to'liq energiyani berib, kristall ichida to'xtaydi.

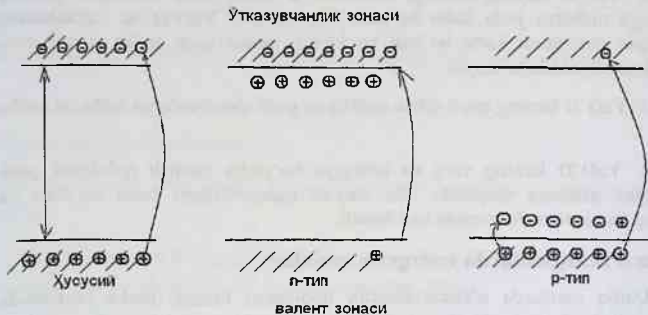
2. YaO'D laming qayd qilish qobiliyati gazli detektorlarga nisbatan ancha katta.

3. YaO'D laming vaqt va energiya bo'yicha ajratish qobiliyati gazli detektorga nisbatan yuqoridir. Bu zaryad tashuvchilarni hosil bo'lishi va ularning harakatlanishi asosida izohlanadi.

### **Yarim o'tkazgichlarda energetik zonalar**

Qattiq jismlarda o'tkazuvchanlik hodisasini klassik fizika yordamida tushuntirib bo'lmaydi. Unikvant fizikasi yordamida asoslabberish mumkin. Atomdagi elektronlar ixtiyoriy energiyani qabul qila olmaydi. Izolyatsiyalangan atomdagi elektronlar diskretlangan energiyalarga ega bo'lishi mumkin. Real sharoitda bunday atomlarni uchratib bo'lmaydi, moddadagi atomlar bir-biriga yaqin joylashadi va ular o'rtasida ta'sir kuchlari paydo bo'ladi. Natijada energetik sathlarning ajralishi yuz beradi. Bu ajralgan sathlar to'plami energetik zonalarni hosil qiladi. Atom yadrosiga yaqin joylashgan elektronlar, qo'shni atomlar bilan ta'sirlashmaydi. Bunga sabab yadrodan uzoqroqda joylashgan elektronlar bunga to'sqinlik qiladi. Yadroga yaqin joylashgan elektronlar chuqur sathlarda joylashadi va ularning energetik zonalari tor bo'ladi. Tashqi qobiqlarda ta'sirlashish katta va bir necha elektronvolti tashkil etadi. Bu energetik zonada joylashgan elektronlar bitta atomga tegishli bo'lmasdan, butun kristallga tegishli bo'lib qoladi. Agar atomdagi energetik sathlar elektronlar bilan to'lgan bo'lsa, bu valent zonasi deb yuritiladi. Agar sathda bo'sh joy bo'lib, u to'liq to'lmagan bo'lsa, bu zona o'tkazuvchanlik sohasi deyiladi.

Yarim o'tkazgichlarda valent zonasidagi ayrim elektronlar issiqlik energiyasi hisobiga valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi mumkin. Bu zonada elektronlar erkin harakatlanishi mumkin. Valent zonasida bo'shab qolgan joy "teshikcha" deb ataladi. Elektr maydoni ta'sirida o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar, valent zonasida esa "teshikcha"lar harakatga keladi. I-rasmda xususiy, n-tip va r-tiplarning energetik sxemalari berilgan.



1-rasm. Xususiy, n-tip va r-tiplarning energetik sxemalari

Agar teshiklarni valent zonasida va elektronlarni o'tkazuvchanlik zonasida hosil bo'lishi issiqlik ta'sirida yuz bergan bo'lsa, bu xususiy o'tkazuvchanlik deyiladi. Bunda teshiklar soni elektronlar soniga teng bo'ladi. Issiqlik o'tishlari haroratga bog'liq ravishda o'zgaradi. Past haroratlarda issiqlik o'tishlari kamayadi va absolyut nol haroratda butunlay yo'qoladi. Real kristallarda har doimo nuqsonlar va yod atomlar aralashmasi mavjud bo'ladi. Yot atomlar aralashmasi nuqsonlarga nisbatan ko'proq bo'ladi. Yot atomlar bor joyda panjara doimiyligi buziladi va natijada elektr maydoni ham buzilishga uchraydi. Yot atomlar elektronlarni o'z sathlarida ushlab qoladi. Bu sathlar taqiqlangan zonada bo'ladi. Uy haroratlarida taqiqlangan zonada bo'lgan elektronlar o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishlari va erkin harakatlanishlari mumkin. Demak elektronlarni taqiqlangan zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishlari sodir bo'ladigan qattiq jismga elektronli yarimo'tkazgichlar deyiladi (n-tip). Bu tipga donor aralashma deyiladi.

Agar elektronlar valent zonasida joylashgan bo'lsa va uy haroratida o'tkazuvchanlik zonasiga o'tsa, bunday kristallarga teshikli yarimo'tkazgichlar deyiladi (r-tip). Valent zonasida teshiklar qoladi. Bu tipga akseptor aralashma deyiladi. Kristall panjarada yot atomlar soni odatda  $10^7$ - $10^{10}$  atrofida bo'ladi va ular yarimo'tkazgichlarning elektr xususiyatlarini namoyon qiladi. Yot atomning sathlari elektronlar va teshiklarning harakat tezligini oshiradi.

Agar taqiqlangan zona kengligi 2 eV atrofida bo'lsa, uy haroratida yarimo'tkazgichli materiallarning o'tkazuvchanlik zonasida elektronlar umuman bo'lmaydi va material izolyator hisoblanadi. Agar taqiqlangan zona kengligi 0,1 eV yoki nolga teng bo'lsa, 20° haroratda barcha atomlar ionlashgan holatda bo'lib, o'tkazuvchanlikda ishtirok etadi va bu metal hisoblanadi. Yarim o'tkazgichlarda (kremniy va germaniy) taqiqlangan zona kengligi 0.5-2.0 eV atrofida bo'ladi (bu son qiymati shartli olingan).

Yarim o'tkazgichli materiallarda nuqsonlar va buzilishlar bo'lmasa, taqiqlangan zona ichida energetik sathlar bo'lmaydi. Shu sababli o'tkazuvchanlik zonasida elektronlarning mavjud bo'lishi, taqiqlangan zona kengligi va kristall haroratiga bog'liq bo'ladi. Agar o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning sonini n-deb belgilasak, uni quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

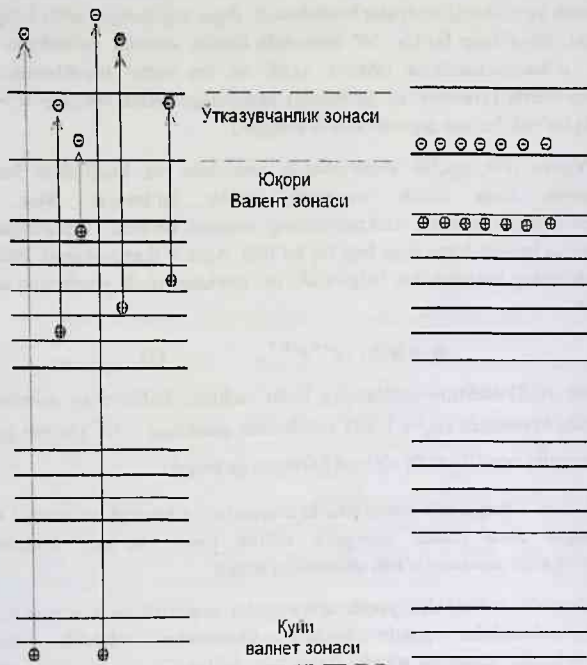
$$n = N(E) \cdot e^{-E_g/KT}, \quad (1)$$

bu yerda  $N(E)$ -elektron sathlarning holat zichligi,  $K$ -Bolsman doimiysi. Uy haroratida kremniyni ( $E_g=1.1$  eV) solishtirma qarshiligi  $2 \cdot 10^5$  Om·sm ga teng. Germaniyniki esa, ( $E_g=0.78$  eV) – 47 Om·sm ga tengdir.

Yarim o'tkazgichli materiallarda nuqsonlar va buzilishlar mavjud bo'lsa, taqiqlangan zona ichida energetik sathlar paydo bo'ladi. Elektronlarni o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish ehtimolligi ortadi.

Zaryadli zarrachalar yarim o'tkazgichli materiallardan o'tganda erkin zaryad tashuvchilar paydo bo'ladi. Elektronlar valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Ba'zi bir elektronlar esa valent zonasining chuqur sathlaridan yuqorida joylashgan sathlariga o'tadi. Valent zonasida teshikchalar hosil bo'ladi. Bu o'tishlar taxminan  $10^{-12}$  sek davom etadi. Elektronlar o'tkazuvchanlik zonasining eng past sathini to'ldiradi (2-rasm). Teshikchalar esa valent zonasining eng yuqori sathlarini egallaydi. Uyg'ongan holat energiyasining yo'qolishida juda ko'p miqdordagi elektronlar va teshikchalar hosil bo'ladi. Ko'p ostonali jarayon sodir bo'ladi. Yarim o'tkazgichli materiallarda bitta elektron –teshik juftini hosil bo'lish energiyasini bilgan holda, yutilgan energiyaga asoslangan holda, to'liq elektronlar va teshiklar sonini aniqlash mumkin. 2-rasmda zaryadli zarrachalar ta'sirida elektron-teshikchalar juftining hosil bo'lishi ko'rsatilgan.

1-jadvalda toza kremniy va germaniy elementlarining asosiy xarakteristikalarini berilgan.



2-rasm. Zaryadli zarrachalar ta'sirida elektron-teshikchalar juftining hosil bo'lishi

1-jadval. Toza kremniy va germaniyaning xarakteristikalarini

Xarakteristikasi	Kremniy	Germaniy
Atom nomeri	14	32
Atom massasi	28,09	72,59
Zichligi (300K), g/sm <sup>3</sup>	2,33	5,33
Dielektrik kattaligi	12	16
Taqiqlangan zonaning kengligi(300K), eV	1,12	0,67

Xususiy zaryad tashuvchilarning zichligi, $1/\text{sm}^3$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^{13}$
Elektronlarning ko'chishi, $\mu^-$ (300K), $\text{sm}^2/(\text{V} \cdot \text{CEK})$	1350	3900
Teshiklarning ko'chishi, $\mu^+$ (300K), $\text{sm}^2/(\text{V} \cdot \text{CEK})$	480	1900
Elektron-teshikchani hosil bo'lish energiyasi, eV	3,75	2,95

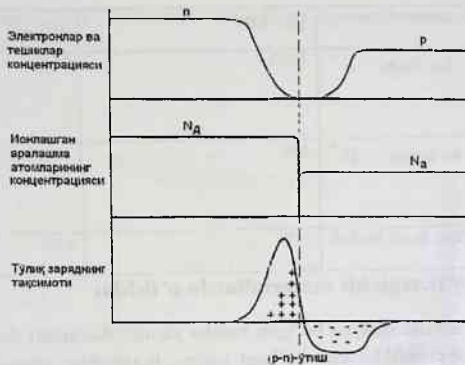
### Yarimo'tkazgichli materiallarda o'tishlar

Hozirgi davrda mavjud bo'lgan barcha yarimo'tkazgichli detektorlar turli tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichlar asosida yaratilgan. Turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichli materiallarni bir biriga yaxshi kontakt qilish orqali yarimo'tkazgichli schetchiklarni tayyorlash mumkin. Ularni tayyorlashda r- va n- tipdagi yarimo'tkazgichlar ishlatiladi.

### Schetchiklarda (r - n) - o'tish.

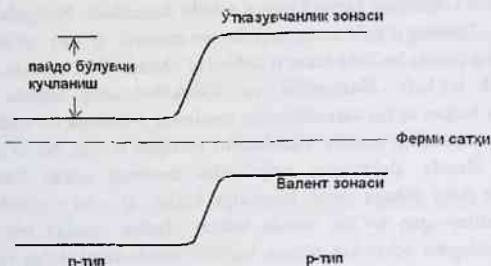
(r - n) -ko'rinishdagi schetchiklar hozirgi davrda keng ishlatiladi. Ularda yuz beruvchi o'tish jarayonlariga qisqacha to'htalib o'tamiz n-tipda zaryad tashuvchilar elektronlar hisoblanadi. r-tipda esa teshikchalardir. Agar ularni bir-biriga yaxshi kontakt qilib joylashtirilsa, tashqi kuchlanish bo'lmagan taqdirda ham, biridan ikkinchisiga zaryadlarning o'tishi kuzatiladi. Natijada elektr toki hosil bo'ladi. Tokning o'tishi uzoq vaqt davom etmaydi. (r - n) - o'tish sohasida kuchlanishning paydo bo'lishi tokni o'tishini to'xtatadi. Ular orasida ikki qavatli qatlam hosil bo'ladi. Elektronlar va teshikchalarning hamda sistemada muvozanatda turgan to'liq zaryadlarning taqsimoti 3-rasmda ko'rsatilgan. Agar n-tipga tok manbaining manfiy kuchlanishi berilgan bo'lsa, bu to'g'ri ulanish hisoblanadi. Bunda elektronlar r-tip soha tamonga qarab harakatlanadi. Teshiklar esa n-tip sohaga qarab harakatga keladi. (r - n) - o'tish schetchik sifatida ishlatilayotgan bo'lsa, bunda teskari ulashni amalga oshirish lozim bo'ladi. Shundaygina schetchik o'ziga tegishli xarakteristikalariga ega bo'ladi. Demak n-tip sohaga musbat kuchlanish ulanadi. Natijada berilgan kuchlanish (r - n) - o'tish chegarasida paydo bo'lgan kuchlanishni kuchaytiradi va bu soha yaqinidagi erkin zaryad tashuvchilarni chetga suradi. Schetchikda paydo bo'ladigan keraksiz toklarning qiymati kamayadi.





3-rasm. Elektronlar va teshikchalarni, hamda sistemada muvozanatda turgan to'liq zaryadlar taqsimoti.

Valent va o'tkazuvchanlik zonalarasi orasidagi taqiqlangan zonalarning kengligi ortadi. Schetchikda impulsning paydo bo'lishi uchun elektron valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi kerak, buning uchun elektronga yetarli darajada energiya kerak bo'ladi. Elektron bu energiyani schetchikka kelib tushgan, qayd qilinayotgan zarrachadan oladi. 4-rasmda  $(r - n)$  - o'tishdagi zonalarning energetik sxemasi ko'rsatilgan.



4-rasm.  $(r - n)$  - o'tishdagi zonalarning energetik sxemasi

$(r - n)$  - o'tishga asoslangan schetchikning xarakteristikasi birlashgan qatlarning qalinligi orqali baholanadi. Schetchikning ish hajmi, sig'imi va

issiqlikka tegishli impulsning paydo bo'lishi qatlamning qalinligiga bog'liqdir. r-tipdagi kremniy uchun birlashgan qatlamning qalinligini quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$X = 3.2 \cdot 10^{-5} (\rho \cdot V)^{1/2} \text{ sm}, \quad (2)$$

bu yerda  $\rho$  —yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi, Om·CM; V- kuchlanish, V.

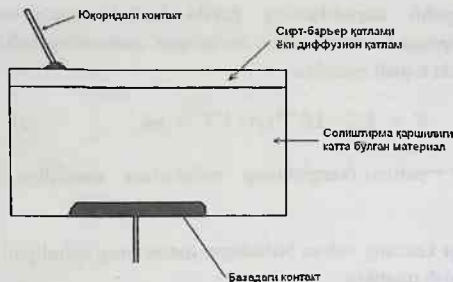
n-tipdagi kremniy uchun birlashgan qatlamning qalinligini quyidagi ifoda yordamida topish mumkin:

$$X = 5.3 \cdot 10^{-5} (\rho \cdot V)^{1/2} \text{ sm}, \quad (3)$$

### Sirt-barer schetchiklar

Yuqorida aytilgan barcha nazariy fikrlar sirt-barer schetchiklariga ham tegishlidir. Bu schetchiklarning asosi n-tip yarimo'tkazgichlar hisoblanadi. Sirt-barer schetchiklari xana haroratida tayyorlanadi. Bunday schetchiklarni tayyorlash qiyinchiliklarni yuzaga keltirmaydi. Lekin solishtirma qarshiligi katta bo'lgan yarimo'tkazgichli kristallarga ulanadigan kontaktlar bir qator muammolarni keltirib chiqaradi. Bu ayniqsa kremniyga tegishlidir. 5-rasmda yarimo'tkazgichli kristallarda ulanish kontaktlari ko'rsatilgan. Schetchikning orqa tomonidagi kontakt asosiy muammoni yuzaga keltiradi. Buni amalga oshirish uchun yarimo'tkazgichli kristallni qizdirishga to'g'ri keladi. Sirt-barer schetchiklar quyidagicha tayyorlanadi: n-tipdagi kremniy yoki germaniy kristali sirtiga oksidlash orqali r-tipdagi inversion qatlam qoplanadi. Oksidlash jarayoni uy haroratida amalga oshiriladi.

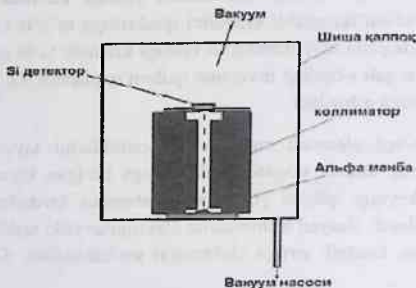
Kremniy(n-tip) elementi sirt-barer schetchiklarini tayyorlashda asosiy modda hisoblanadi. Bunda yuqori tozalikka ega bo'lgan kremniy ishlatiladi. Tozalangandan keyingi qolgan yot element atomlari kristallning solishtirma qarshiligini belgilaydi. Zaryad tashuvchilar elektronlar yoki teshikchalar bo'lishi mumkin. Kremniy kristalli sirtiga elektrodlar joylashtiriladi. Oldi tomonidagi elektrod tilladan



5-rasm. Yarimo'tkazgichli kristallarda ulanish kontaktlari.

tayyorlanadi va u teshikchalar manbai hisoblanadi. Oltin elektrodi va kremniy kristali orasida (r-n)-o'tish paydo bo'ladi. Uning qalinligini (2)- va (3)- ifodalar orqali aniqlash mumkin. Zamonaviy texnologiyalar yordamida qalinligi 5 mm gacha bo'lgan detektorlarni tayyorlash mumkin. Lekin ular juda qimmat turadi. r-tipdagi kremniydan tayyorlangan qalin detektorlar 4-5 marta arzon turadi. Bunda kristallga litiy elementi dreyf yo'li bilan kiritiladi va u elektronlar manbai hisoblanadi.

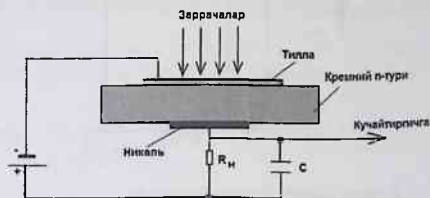
6-rasmda tajriba geometriyasi ko'rsatilgan. Tajriba vakuum ichida olib boriladi ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$  mm sim us.).



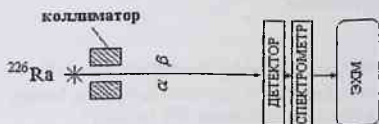
6-rasm. Tajriba geometriyasi

7-rasmda Si detektorining ulanish zanjiri ko'rsatilgan. Detektorning tilla qoplangan tamoni zarrachalar kelib tushadigan tamonida bo'lishi lozim. Har bir

detektor uchun o'zining belgilangan kuchlanishi bo'ladi. Kuchlanishni berish quyidagi amallardan keyin bajariladi. 8-rasmda ko'rsatilgan blok-sxemaga ko'ra tajriba qurilmasi yig'iladi. So'ngra shisha qalpoq qo'yiladi. Shisha qalpoq ustidan alyuminiydan tayyorlangan himoya idishi o'rnatiladi. Sababi Si-detektoriga tashqaridan yorug'lik nuri tushmasligi kerak. Shundan keyingina kuchlanishni ulashga ruxsat beriladi. Berilgan kuchlanishning qiymatini o'zgina o'zgartirib, energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini qanday o'zgarishi kuzatiladi. Energiya bo'yicha ajratish qobiliyati eng yaxshi bo'lgan kuchlanish qiymatida qoldiriladi.



7-rasm. Si detektorining ulanish sxemasi



8-rasm. Tajribaning blok-sxemasi

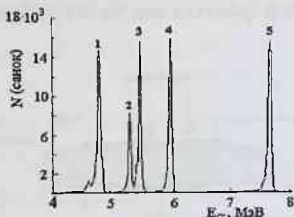
### Tajribani bajarish tartibi:

1. 1-rasmda ko'rsatilganidek elektr zanjiriga ko'ra tajriba qurilmasi yig'iladi. Si detektor o'rnatiladi va unga kuchlanish beriladigan simlar ulanadi. Detektordan olinadigan signal uchun sim ulanadi.

2.  $\alpha$ -manba va kollimator qo'yiladigan moslama o'rnatiladi. Detektor bilan  $\alpha$ -manba orasidagi masofa ~3-5 sm oraligida bo'ladi.

3. Detektor va  $\alpha$ -manbalar shisha qalpoq bilan berkitiladi. Vakuum nasosi ishga tushiriladi. Bu vaqtda shisha qalpoqni ushlab pastga ezib turish kerak. O'zgina vakuum olinganidan keyin, qalpoq maxkam o'mashib qoladi. So'ngra qo'ini olish mumkin.

4. Kompyuter ishga tushiriladi. Kerakli fayl ochiladi. Ekran tozalanadi va o'lchashga tayyor holatiga keltiriladi.
5. Detektordan olingan signal kuchaytirilib, kompterning kirish qismiga beriladi.
6. O'lchashga ruxsat beriladi. Ekranda spektr yozila boshlaydi (9-rasm). Sanoq ma'lum qiymatiga yetib borganda o'lchash to'xtatiladi va EHM xotiraga yozib qo'yiladi.



9-rasm.  $\alpha$ -spektrlarning ko'rinishi

O'lchangan  $\alpha$ -spektrga ko'ra  $\alpha$ -spektrometring energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini baholash mumkin.

#### Nazorat savollari:

1.  $\alpha$ -zarrachalarini chiqaruvchi qanday manbalarni bilasiz?
2. Sirt-barer schetchiklarini ishlash prinsipini tushuntirib bering.
3. O'lchashlar nima sababdan vakuumda olib boriladi?
4. Energetik zonalarni hosil bo'lishini izohlab bering?
5. n-tip sohaga musbat kuchlanish ulanishini va u qanday vazifani bajarishini tushuntirib bering?
6. Si detektorini ulanish sxemasini tushuntirib bering?
7. n-tipdagi kremniy uchun birlashgan qatlamning qalinligi qanday topiladi?

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.G. Volkov, V.A. Xristoforov, N.P. Ushakova // Metody: yadernoy spektrometrii, M: EnergoAtomizdat, 1990.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusevich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1985.

4 Pod redaksiyey K.G. Finogenova // Laboratorniy praktikum po eksperimental'nyy yadernoy fiziki, M: Energoatomizdat, 1986.

5. V.I. Varanov, A.S. Serdyukova, L.V. Gorbushina, I.M. Nazarov, Z.N. Yefimkina // Laboratorniye raboty i zadachi po radiometrii, M: Atomizdat, 1966.

6. M.A. Kayumov // Dozimetriya asoslari va ionlashtiruvchi nurlanishlardan himoyalanih, Toshkent, Davr, 2013.

## № 58. Laboratoriya ishi

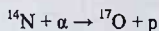
### Yadro reaksiyalarining kesim kattaligini aniqlash

**Ishtan asosiy maqsad:** Yadro reaksiyalarini sodir bo'lish mexanizmlarini o'rganish. Yadro reaksiyalarining kesim kattaliklarini aniqlash yo'llari bilan tanishish.

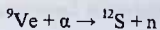
**Kerakli jihozlar:** Tezlatgich, neytron spektrometri, nishon, boshqarish pulti, programma ta'minoti, EHM.

**Nazariy qismi:** Yadro fizikasidayadro reaksiyalari asosiy o'rinlardan birini egallaydi. Tabiatda doimo reaksiyalar yuz berib turadi. Yerni energiya bilan ta'minlab turuvchi quyoshda ham uzluksiz ravishda termoyadro reaksiyasi sodir bo'ladi. Koinotdan Yer sirtiga kelib tushayotgan kosmik nurlardan himoyalanihda ham yadro reaksiyalari yordamga keladi. Bu nurlarni havoy atmosferasidagi gaz atomlari ushlab qoladi. Kosmik nurlar gaz atomlari bilan reaksiyaga kirishadi va energiyasini yo'qotadi. Shu reaksiyalar bo'lganligi uchun Yer sirti kuchli zarrachalar oqimidan himoyalaniadi. Hozirgi vaqtda yadro reaksiyalari turli tipdagi tezlatgichlarda tezlashtirilgan zarrachalar yordamida hosil qilinmoqda. Bu reaksiyalar orqali atom yadrolarining tuzilishlarini, reaksiyalarning mexanizmlarini, elementar zarrachalarni qidirish bo'yicha, yadrolarning xususiyatlarini o'rganish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Bundan tashqari turli sohalar uchun o'ta zarur bo'lgan turli radionuklidlarni olishda ham yadro reaksiyalarining o'rni beqiyosdir. Yadro energetikasi ham shu soha ichiga kiradi.

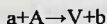
Birinchi yadro reaksiyasi 1919 yilda Rezerfort tamonidan amalga oshirildi. Quyidagi reaksiya orqali proton zarrachasi kashf qilindi.



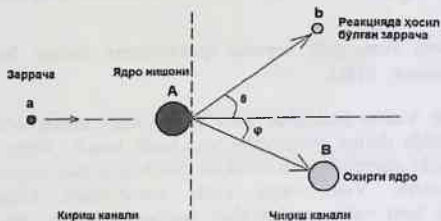
Neytron zarrachasi ham yadro reaksiyasi yordamida 1932 yilda Chedvik tamonidan tajriba kashf qilindi. Bu tajribada quyidagi yadro reaksiyasi amalga oshirildi:



Ikki va undan ortiq zarrachalarning ta'sirlashishlari natijasida yadro reaksiyasi sodir bo'ladi. Bu jarayonda zarracha ichki holatining o'zgarishi yoki zarrachalar almashinuvi yuz beradi. Tajribada yadro reaksiyasini amalga oshirish uchun qo'zg'almas yadro nishoniga tezlashtirilgan zarrachalar oqimi kelib urilishi kerak. Tezlashtirilgan zarrachalar oqimi bo'lib, proton, deytron,  $^3\text{He}$ -,  $^4\text{He}$ - ionlari, og'ir ionlar, elektronlar,  $\gamma$ -kvantlari va boshqa turdagi zarrachalar bo'lishi mumkin. Eng ko'p tarqalgan turi binar reaksiyalari hisoblanadi. Bu reaksiyada ikkita zarracha bir biri bilan to'qnashadi va yana qaytadan ikkita zarracha hosil bo'ladi:

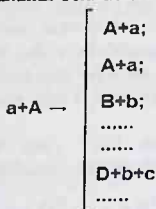


Yadro reaksiyasini qisqacha qilib quyidagicha yozish mumkin:  $A(a,b)B$ .



1-rasmda binar yadro reaksiyasining sxemasi

Ikki zarrachaning to'qnashishidan ikkitadan ortiq zarrachalar hosil bo'lishi ham mumkin. Bu reaksiyada turli kanallar ochiladi:



Bu kanallar ichida eng soddasi  $A(a,a)A$  elastik sochilish jarayoni hisoblanadi. Bunda to'qnashayotgan zarrachalarning ichki holatlarida hech qanday o'zgarish sodir bo'lmaydi. Reaksiyaning qolgan kanallari noelastik sochilishni harakterlaydi.  $A(a,a')A^*$  kanalda esa  $A$ -yadro uyg'ongan holatiga o'tadi a-zarracha kinetik energiyasini kamaytiradi. Yadro reaksiyasining qolgan

kanallarida zarrachalarning qayta taqsimlanishi yuz beradi. I-rasmda ko'rsatilganidek yadro reaksiyasi kirish kanali ( $a+A$ ) va chiqish kanali ( $V+b$ ) dan iborat.

**Yadro reaksiyasining klassifikatsiyasi:** yadro reaksiyalarini quyidagi kattaliklariga ko'ra turlarga ajratish mumkin:

**1. Sodir bo'layotgan jarayonning turiga ko'ra:**

1.1. Radiatsion yutilish:  $(n,\gamma)$ ,  $(p,\gamma)$ ;

1.2. Yadro fotoeffekti:  $(\gamma,n)$ ,  $(\gamma,p)$ ;

1.3. Nuklon-nuklon reaksiyalari:

a). Nuklon yoki nuklonlar gruppasini urib chiqarish  $(n,p)$ ,  $(p,\alpha)$  va boshqalar.

b). Nuklonlarning bug'lanishi  $(p,2n)$ ,  $(p,2p)$  va boshqalar.

v). Ajralib chiqish  $(d,p)$ ,  $(d,n)$  va tortib olish  $(p,2n)$ ,  $(n,d)$  reaksiyalari.

1.4. Parchalanish reaksiyalari:  $(n,f)$ ,  $(p,f)$ ,  $(\gamma,f)$ .

1.5. Birikish reaksiyalari.

1.6. Elastik sochilish:  $(n,n)$  va boshqalar.

1.7. Noelastik sochilish:  $(n,n^1)$  va boshqalar.

**2. Energiyani ajrab chiqishi yoki yutilishiga ko'ra:**

2.1. Ekzotermik reaksiyalar.

2.2. Endotermik reaksiyalar.

**3. Nishonga kelib uriluvchi zarrachalarning energiyasiga ko'ra:**

3.1. Kichik energiyali ( $< 1$  keV).

3.2. O'rta energiyalarda (1 keV-10 MeV).

3.3. Yuqori energiyalarda ( $>10$  MeV).

**4. Nishonning massasiga ko'ra:**

4.1. Yengil yadrolarda ( $A < 50$ ).

4.2. O'rta massali yadrolarda ( $50 < A < 100$ ).

4.3. Og'ir yadrolarda ( $>100$ ).

**5. Nishonga kelib uriluvchi zarrachalarning turiga ko'ra:**

5.1. Zaryadli zarrachalar asosidagi ( $r$ ,  $d$ ,  $\alpha$  va og'ir ionlar).

5.2. Neytronlar oqimidagi.

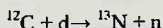
5.3. Fotonlar oqimidagi (fotoyadro reaksiyalari).

**Yadro reaksiyalarida saqlanish qonuni:**

Yadro reaksiyalarida bir qator kattaliklarni o'zgarmasdan qolishligi saqlanish qonuni orqali beriladi. Shu qonunga ko'ra reaksiya kanallarning ro'y berish yoki ro'y bermasligi aniqlanadi. Tajribada reaksiyani amalga oshirishdan oldin reaksiyaning saqlanish qonuni ko'rib chiqilishi lozim. Quyida reaksiyada saqlanishi lozim bo'lgan kattaliklar bilan tanishib o'tamiz:



**1. Nuklonlarning saqlanish qonuni.** Reaksiyaning kirish kanalidagi nuklonlar soni reaksiyaning chiqish kanalidagi nuklonlar soniga har doimo teng bo'ladi. Masalan:



Kirish kanalidagi nuklonlar soni  $12+2=14$  ga teng. Chiqish kanalidagi nuklonlar soni  $13+1=14$  ga teng.

**2. Elektr zaryadlarining saqlanish qonuni.** Reaksiyaning kirish kanalidagi elektr zaryadi reaksiyaning chiqish kanalidagi elektr zaryadiga har doimo teng bo'ladi. Masalan, yuqoridagi reaksiya uchun ko'rib o'tamiz. Kirish kanalidagi elektr zaryadi  $6+1=7$  teng. Chiqish kanalidagi elektr zaryadi  $7+0=7$  ga teng.

**3. Energiyaning saqlanish qonuni.** Bu mavzuni alohida ko'rib o'tamiz.

**4. Impulsning saqlanish qonuni.** Bu mavzuni ham alohida ko'rib o'tamiz.

**5. Harakat miqdori momentining saqlanish qonuni.** Agar  $a+A \rightarrow V+b$  reaksiyasi ko'rilayotgan bo'lsa, kirish va chiqish kanallaridagi harakat miqdori momentlari bir biriga teng bo'lishi lozim.

$$\vec{J}_a + \vec{J}_A + \vec{L}_{aA} = \vec{J}_b + \vec{J}_B + \vec{L}_{bB} \quad (1)$$

bu yerda  $\vec{J}$  — reaksiyada qatnashayotgan zarrachalar va yadrolarning spinlari;  $L$  — zarracha va yadroni bir biriga nisbatan orbital harakat miqdorining momenti.

**6. Juftlikning saqlanish qonuni.** Yadro reaksiyalarda juftlikning ahamiyati juda kattadir. Bu qonun katta aniqlikda bajariladi. Reaksiyaning kirish va chiqish kanallaridagi juftliklar bir biriga doimo teng bo'ladi.

$$P_a P_A (-1)^{l_{aA}} = P_b P_B (-1)^{l_{bB}} \quad (2)$$

Juftlikning saqlanish qonuniga asosan orbital momentning son qiymatini topish mumkin. Yadro ta'sirlashishidagi barcha reaksiyalarda bu kattalik saqlanadi.

Kuchsiz ta'sirlashishlarda sodir bo'ladigan reaksiyalarda juftlik saqlanmaydi. Bunga misol qilib  $\beta$ -parchalanishlarni ko'rsatish mumkin.

**7. Izospinning saqlanish qonuni.** Izotopik spin kvant soni hisoblanadi. Kuchli ta'sirlashishda izotopik invariantlikni xarakterlovchi kattalikdir. Ya'ni zarrachalar orasidagi elektromagnit ta'sirlar hisobga olinmagan taqdirida ( $p$ - $p$ ), ( $p$ - $n$ ), ( $n$ - $n$ ) zarrachalar juftliklari orasidagi yadro ta'sirlashishlari bir xil bo'ladi. Demak kuchli ta'sirlashish doirasida protonni neytrondan ajratib bo'lmaydi. Ularni farqlash uchun proton uchun  $I_p = +1/2$ ; neytron uchun unga qarshi yo'nalish  $I_n = -1/2$  qabul qilingan.

Yadro reaksiyalari uchun izospin va uning proeksiyasining saqlanish qonunlarini yozamiz:

$$\vec{I}_a + \vec{I}_A = \vec{I}_b + \vec{I}_B \quad (3)$$

$$(I_{pr})_a + (I_{pr})_A = (I_{pr})_b + (I_{pr})_B$$

Kuchli ta'sirlashishlarda izospinning saqlanish qonuniga asosan reaksiyalarning kesimini hisoblash va yadro holatlarining tuzilishini o'rganish mumkin.

**Energiya va impulsning saqlanish qonunlari:** Energiya va impulsning saqlanish qonunlari yadro reaksiyalarini tajriba orqali amalga oshirishda asosiy kattaliklar hisoblanadi. Shu sababli ularni alohida ko'rib o'tishni lozim topdik. Bizga ma'lumki, barcha tajriba ishlari laboratoriya koordinata sistemasida (l.k.s.) olib boriladi. Bu sistemada bitta zarracha tinch turgan dieb qabul qilinadi (odatda, yadro nishoni), ikkinchi zarracha esa harakatlanadi va nishonga kelib uriladi deb faraz qilinadi. Relyativistik bo'lmagan holat uchun energiyaning saqlanish qonunini ko'rib o'taylik.  $A(a,b)B$  oddiy reaksiya uchun ko'rib o'tamiz. Nishonga kelib tushayotgan zarrachaning massasini  $m_a$  bilan, tezligini l.s.k.  $V_a^L = V$  deb olaylik. Nishondagi yadroning massasini  $m_A$ , tezligini esa  $V_A^L = 0$  deb olamiz. Zarrachaning yadroga nisbatan tezligi  $V_g$  teng bo'ladi. Sentri inersiya sistemasida esa tezliklar quyidagicha munosabatda bo'ladi.

$$U = \frac{m_a}{m_a + m_A} V \quad (4)$$

Bu sistemada a-zarracha va A-yadro quyida ko'rsatilgan tezliklar bilan harakatlanadilar:

$$V_a = V_a^L - U = \frac{m_A}{m_a + m_A} V; \quad V_A = -U = -\frac{m_a}{m_a + m_A} V \quad (5)$$

Tezlikka ega bo'lgan zarrachalar quyidagi ifodalarda ko'rsatilgan impulsarga ega bo'ladi:

$$P_a = m_a V_a \quad \text{va} \quad P_A = m_A V_A \quad (6)$$

Bu impulslarning absolyut qiymatlarini bir-biriga teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi yo'nalgandir:

$$P_a = -P_A = P \equiv \mu_a V \quad (7)$$

bu yerda  $\mu_a$  - kiris kanali uchun keltirilgan massa bo'lib, quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\mu_a = \frac{m_a m_A}{(m_a + m_A)} \quad (8)$$

Agar sistemada ikkita zarracha ishtirok etayotgan bo'lsa, sentri inersiya sistemasida bu zarrachalar bir-biriga qarab harakatlanishadi. Shu sababli ularning burchak taqsimoti birinchi zarrachaning sochilish burchagini, ikkinchi

zarrachaning sochilish burchagiga o'zgartirilishida o'zgarmasdan qoladi. L.k.s. a-zarracha va A-yadroning kinetik energiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$E_{\alpha}^L = \frac{(p_a^L)^2}{2m_a} + \frac{(p_A^L)^2}{2m_A} = \frac{m_a v^2}{2} = \frac{m_a + m_A}{m_a} \cdot \frac{p^2}{2\mu_{\alpha}} \quad (9)$$

Sentr inersiya sistemasida esa bu zarrachalarning kinetik energiyalari quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$E_{\alpha} = \frac{p_a^2}{2m_a} + \frac{p_A^2}{2m_A} = \frac{p^2}{2\mu_{\alpha}} \quad (10)$$

L.k.s va sentr inersiya sistemalari orasida quyidagi bog'lanish bor:

$$E_{\alpha} = \frac{m_A E_{\alpha}^L}{m_a + m_A} \quad (11)$$

Odatda,  $E_{\alpha}$  – sentrinerisyasistemasidakirish kanalining energiyasi deb yuritiladi.

Chiqish kanalida ikkita zarracha hosil bo'ladigan yadro reaksiyasi uchun energiyaning saqlanish qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$E_{\alpha} + E_a + E_A = E_{\beta} + E_b + E_B, \quad (12)$$

bu yerda  $E_{\alpha}$  va  $E_{\beta}$  – kirish va chiqish kanallarining kinetik energiyasi;  $E_a$  va  $E_A$  – kirish kanalidagi zarrachalarning ichki energiyasi;  $E_b$  va  $E_B$  – chiqish kanalidagi zarrachalarning ichki energiyasi. Agar a- va b-zarrachalar elementar zarrachalardan iborat bo'lsa, ularning ichki energiyalarini ( $E_a$  va  $E_b$ ) massa orqali ifodalash mumkin:

$$E_a = m_a c^2 \text{ va } E_b = m_b c^2, \quad (13)$$

bu yerda s-yorug'lik tezligi. A va V yadrolarning ichki energiyasi, ularning massalari va uyg'ongan holatlarining energiyalari bilan quyidagicha ifodalanadi:

$$E_a = m_a c^2 + E_a^*; \quad E_b = m_b c^2 + E_b^* \quad (14)$$

Kirish va chiqish kanallaridagi zarrachalarning nisbiy kinetik energiyalarining ayirmasi reaksiyaning issiqlik effektini beradi va quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Q_{\alpha\beta} \equiv E_{\beta} - E_{\alpha} \quad (15)$$

(12)-ifodaga ko'ra (15)-ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$Q_{\alpha\beta} = E_a + E_A - E_b - E_B = (m_a + m_A - m_b - m_B)c^2 + E_A^* - E_B^* \quad (16)$$

$Q_{\alpha\beta}$  –kataligi yadro reaksiyasining asosiy kattaliklardan biri hisoblanadi. Bu kattalik kirish va chiqish kanallaridagi zarrachalarning kinetik energiyalariga umuman bog‘liq bo‘lmaydi. (Amalda  $Q_{\alpha\beta} = Q$  ko‘rinishida yoziladi).

Agar  $Q > 0$  bo‘lsa, bunday reaksiyalar ekzotermik hisoblanadi va reaksiya natijasida energiya ajralib chiqadi.

Agar  $Q < 0$  bo‘lsa, bunday reaksiyalar endotermik hisoblanadi va reaksiya energiya yutilishi hisobiga yuzaga keladi. Bunda kirish kanalidagi energiya ( $E_\alpha$ ),  $Q$  –kattaligidan katta yoki teng bo‘lishi lozim. Shu energiyada reaksiyaning boshlanishi kuzatiladi. Bu energiyaga reaksiyaning porogi deb yuritiladi.

$$E_\alpha = E_{porog} \geq Q(17)$$

L.k.s. reaksiyaning porogini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$E_{porog}^L = \frac{m_a + m_A}{m_A} |Q| \quad (18)$$

Sistema to‘liq impulsining saqlanish qonuniga ko‘ra to‘qnashuvchi va hosil bo‘luvchi zarrachalar impulslari orasidagi bog‘lanishni topish mumkin. L.k.s. hosil bo‘lgan zarracha impulsi nishonga kelib tushuvchi zarracha impulsiga quyidagi munosabatda bog‘langan:

$$P_b^L + P_B^L = P_a^L + P_A^L \quad (19)$$

Sentr inersiya sistemasida hosil bo‘lgan zarrachalar impulslari quyidagi shartni bajaradi:

$$P_b + P_B = 0 \quad (20)$$

(19)-ifodaga ko‘ra chiqish kanalidagi b va V-zarrachalarning sentr inersiya sistemasidagi tezliklari quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$U^t = \frac{m_a + m_A}{m_b + m_B} U = \frac{m_a}{m_b + m_B} V \quad (21)$$

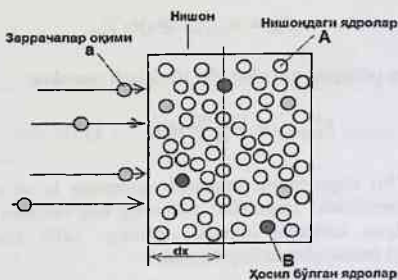
b va V-zarrachalarni l.k.s. dagi impulslari sentr inersiya sistemasidagi impulslari orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$P_b^L = P_b + m_b U^t = P_b + \frac{m_a m_b}{m_b + m_B} V \quad (22)$$

$$P_B^L = P_B + m_B U^t = -P_b + \frac{m_a m_B}{m_b + m_B} V$$

## Reaksiyaning kesim va chiqish kattaliklari.

Yadro reaksiyalarini kvant mexanikasi bo'yicha miqdoriy izohlanishi statik xarakterga ega. Reaksiyalar ehtimollik nuqtai nazardan tushuntirib beriladi. Reaksiyalarning asosiy ehtimollik xarakteristikalariga kesim va chiqish kattaliklari kiradi. Buni quyidagi misolda tushuntirishga xarakat qilamiz. Yadro nishoni berilgan bo'lsin, undagi yadrolarni A harfi bilan belgilaylik. Nishonga a-zarrachalar oqimi kelib urilayapti deb faraz qilaylik. Nishonda yadro reaksiyasi sodir bo'ladi va V-yadrolari hosil bo'ladi,  $dN_B$  (2-rasm). Hosil bo'layotgan V-yadrolarning miqdori, nishonga kelib tushayotgan a-zarrachalar oqimiga, nishondagi yadrolar zichligiga ( $1/m^3$ ) va nishon qalinligiga ( $m$ ) to'g'ri proporsionaldir.



2-rasm. Yadro reaksiyasining kesimini aniqlash

$a+A \rightarrow V+b$  reaksiyaning kesim kattaligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\sigma = \frac{dN_B}{N_A \cdot n_A \cdot dx} \quad (23)$$

Yadro reaksiyalarining aniq kanallari uchun topilgan kesim kattaliklari parsial kesimlar deb yuritiladi ( $(p,n)$ ,  $(d,n)$ ,  $(d,p)$  boshqalar). Parsial kesimlar yig'indisi to'liq kesim kattaligini beradi:

$$\sigma_T = \sum \sigma_{par} \quad (24)$$

(23)-ifodadagi  $n_A$ -kattaligi quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$n_A = \frac{\rho \cdot X \cdot N_{Av}}{A} \quad (25)$$

bu yerda  $\rho$ - yadro nishonining zichligi,  $X$ -nishon qalinligi,  $N_A$ -Avagadro soni,  $A$ - massa soni.

Kesim kattaligining o'lchov birligi qilib 1 barn qabul qilingan ( $1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ sm}^2$ ).

Yadro reaksiyalari kesim kattaliklarining bir nechta turlari bor. Ularga: differensial, integral va karrali differensial kesim kattaliklari kiradi. Qo'yilgan maqsad va vazifaga ko'ra tajribada ulardan biri o'lchanadi. Karrali differensial kesim kattaligi quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$\frac{d^2\sigma_{av}(\theta, \varphi)}{d\Omega \cdot dE_b} = \frac{1}{a \cdot n_A} \cdot \frac{dN_b}{d\Omega \cdot dE_b} \quad (26)$$

Bu yerda  $\frac{dN_b}{d\Omega \cdot dE_b}$  kattaligi  $d\Omega$  -telesniy burchak ostida chiqayotgan reaksiya mahsuli bo'lgan b-zarrachalarning miqdorini ifodalaydi.

Nishonga tezlashirilgan aniq energiyali zarrachalar oqimi tushayotgan bo'lsa va reaksiya mahsuli nishonga nisbatan R-masofoda joylashgan,  $\theta$ -burchak ostidagi detektor bilan qayd qilinayotgan bo'lsin. Bu holda karrali differensial kesim kattaligi faqat  $\theta$ -burchakka bog'liq bo'ladi va quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\frac{d\sigma_{av}(\theta)}{d\Omega \cdot dE_b} = \frac{1}{a \cdot n_A} \cdot \frac{N_t R^2}{S} \quad (27)$$

Neytronlarning differensial kesim kattaliklarini topishda quyidagi ifoda ishlatildi:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \left( \frac{\text{mb}}{\text{ster}} \right) = \frac{2 \cdot 10^{55} \cdot L^2}{N_a \cdot N_A \cdot N_k} \sum N_p \cdot \mu \quad (28)$$

bu yerda  $N_a$  -nishonga kelib tushayotgan zarrachalar soni,  $N_A$  -yadro nishonining  $1 \text{ sm}^3$  hajmidagi yadrolar soni,  $N_k$  -ssintilyatordagi vodorod atomlarining soni,  $N_p$  -pikdagi yig'indi sanoqlarning qiymati (fon sanoqlari ayrib tashalgan), neytron detektorining effektivligiga berilgan tuzatma (nomagrammadan topiladi).

$^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}$  yadro reaksiyasining kesim kattaligi berilgan. Bu reaksiya protonning 16 MeV energiyasida amalga oshirilgan. O'lchash ishlari sochilish burchagining  $10^0$ - $140^0$  oraliklarida olib borildi.  $^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}$  yadro reaksiyasining kesim kattaligi 6-rasmda berilgan.

**Yadro reaksiyasining chiqish kattaligi.**

Yadro reaksiyalarida har doimo kesim kattaligini o'lchash imkoniyati bo'lmaydi. Reaksiyada bevosita o'lchanadigan kattalik bu chiqish kattaligi

hisoblanadi. U nishonga kelib tushayotgan zarrachalarning qancha qismi yadro reaksiyasini sodir etganligini ko'rsatadi. Chiqish kattaligini kesim orqali ifodalash mumkin, qachonki, nishondan o'tayotgan zarrachalarni yadrolarga ko'rsatayotgan ta'sir kesim qiymatini o'zgarimas deb olinsa. a-zarrachalar oqimini nishondagi A-yadrolarga ko'rsatgan ta'siri hisobiga hosil bo'layotgan V-yadrolar sonini quyidagi ifoda orqali topish mumkin:

$$N_B = N_0^a - N_{r,s,e}^a \quad (29)$$

bu yerda  $N_0^a$  —nishonga kelib tushayotgan zarrachalarning to'liq soni;  $N_{r,s,e}^a$  —reaksiya sodir qilmasdan o'tayotgan zarrachalar soni. Bundan  $dN_B = -dN_{r,s,e}^a$  kelib chiqadi. (23)-ifodaga ko'ra:

$$\frac{dN_{r,s,e}^a}{N_{r,s,e}^a} = -n_0 \cdot \sigma \cdot dx \quad (30)$$

bu yerda  $n_0$  —yadro nishonning  $1\text{sm}^3$  hajmidagi yadrolar soni. Nishonning to'liq qalinligidan ( $h$ ) o'tgan zarrachalar miqdorini topamiz:

$$\int_{N_0^a}^{N_{r,s,e}^a} \frac{dN_{r,s,e}^a}{N_{r,s,e}^a} = -n_0 \cdot \sigma \int_0^h dx \quad (31)$$

Yoki  $N_{r,s,e}^a = N_0 \exp(-n_0 \cdot \sigma \cdot h)$  ko'rinishni oladi.

Reaksiyaning chiqish kattaligini quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$Y = \frac{N_0^a - N_{r,s,e}^a}{N_0^a} = 1 - \frac{N_{r,s,e}^a}{N_0^a} = 1 - \exp(-n_0 \cdot \sigma \cdot h) \quad (32)$$

Agar reaksiyada juda yupqa nishon ishlatilayotgan bo'lsa, chiqish kattaligi ushbu ifoda orqali topiladi:

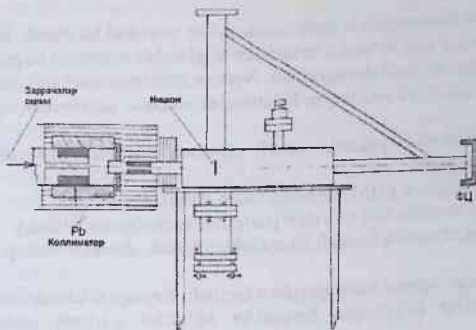
$$Y \approx n_0 \cdot \sigma \cdot h \quad (33)$$

Neytron zarrachalarining chiqishi bilan sodir bo'ladigan ( $r,n$ ), ( $d,n$ ), ( $^3\text{He},n$ ), ( $^4\text{He},n$ ) va boshqa reaksiyalarda differensial kesim kattaliklari quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

#### Tajribani o'tkazish tartibi:

- $^9\text{Ve}$  yadro nishonini tayyorlash va reaksiya kameraning ichiga o'rnatish. 3-rasmda reaksiya kamrasi berilgan. Nishon avtomatik ravishda boshqariladi.
- Qo'rg'oshindan tayyorlangan kollimatorlar rasmda ko'rsatilganidek joylashtiriladi.

3. 4-rasmda ko'rsatilgan neytron spektrometrining blok-sxemasiga asosan tajriba qurilmasi yig'iladi.
4. Organik kristalli ssintilyatsion detektor ishga tayyorlanadi va unga ish kuchlanishi berilib, impulslari tekshiriladi.
5. Start signali siklotronning yuqori kuchlanish generatoridan olinadi va neytron spektrometriga beriladi.
6. Reaksiya kamerasida past vakuum olinadi va so'ngra yuqori vakuum olishga o'tiladi.



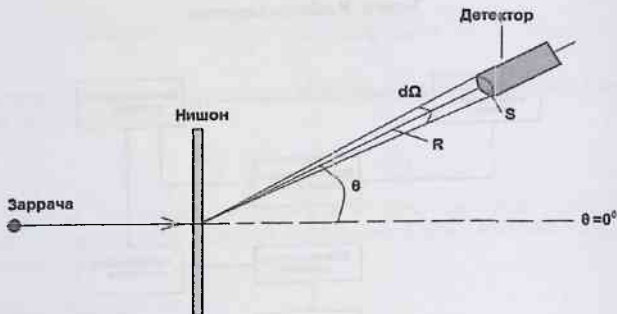
3-rasm. Reaksiya kamerasi



4-rasm. Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometrining blok-sxemasini



7. Ko'p kanalli analizator ishga tushiriladi. Detektor aniqlangan uchish masofasiga olib boriladi va masofa aniq o'lchanadi.
8. Detektor 5-rasmda ko'rsatilgan tajriba geometriyasiga ko'ra o'rnatiladi.
9. Neytron spektrometridagi barcha asboblarga tok beriladi va 10 minut davomida qizdiriladi.
10. Detektor oldiga Pu-Bemanbasi qo'yiladi va spektrometning ishlashi tekshiriladi.
11. Yuqori vakuum olinganidan keyin, spektrometning ishlashi tajriba ta'lablariga mos kelganidan so'ng nishonga zarrachalar oqimini berishga ruhsat beriladi.
12. O'lchash boshlanganida analizatorida ikkita  $\gamma$ -spektri ko'rinishi lozim. Bu  $\gamma$ -spektrlar oraligi vaqt bo'yicha zarrachalar to'plamlari orasidagi vaqtga tengdir.
13. Spektrlarni to'plash davom ettadi. Neytron spektrlari ham ko'rinish boshlaydi. Yadroning asosiy va uyg'ongan holatlaridan chiqqan neytronlarning spektrlari aniqlanadi.
14. Neytronlarning spektrida yetarli darajada sanoqlar olinganidan keyin o'lchash to'xtatiladi.
15. Olingan spektrlar EHM hotirasiga yozib qo'yiladi.
16. Zarrachalar oqimi olib qo'yiladi (siklotron xodimlariga aytiladi).
17. 10-minut davomida kutiladi va zal ichiga kirilib, detektor boshqa burchakka o'rnatiladi.
18. Zarrachalar oqimini berishga ruhsat beriladi. Keyingi o'lchash boshlanadi.
19. Shu tariqa belgilangan burchaklar bo'yicha o'lchash ishlari amalga oshiriladi.

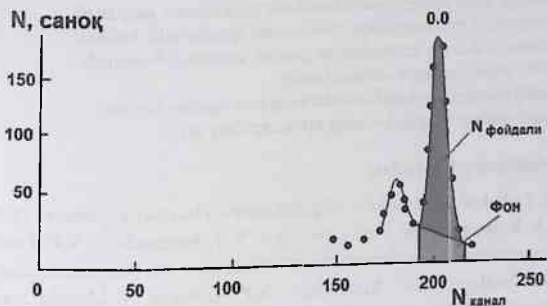


5-rasm. Tajriba geometriyasi

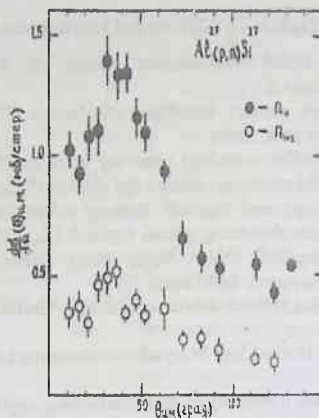
20. Rejada ko'rsatilgan o'lchashlar bajarilganidan keyin o'lchashlar to'xtatiladi va asboblari birin ketin o'chiriladi.

### Spektrlarni tahlil qilish va differensial kesim kattaliklarini aniqlash.

1. O'lchangan spektr EHM ninghotiradan chaqiriladi. Asosiy holatiga tegishli neytron gruppasi aniqlanadi.
2. Spektrdagi quyi va yuqori kanallari aniqlanadi. Quyi kanalini topishda hatolikka yo'l qo'yish kerak emas.
3. Quyi va yuqori kanallar orasidagi umumiy yuza hisoblanadi. Buning uchun nuqtalarga mos keluvchi sanoq qiymatlari qo'shiladi ( $S_{to'liq}$ ,  $N_{to'liq}$ ).
4. Spektrdagi fonning qiymati topiladi. Buning uchun rasmda ko'rsatilgan fon yozuvi bilan ko'rsatilgan shaklning yuzasi topiladi ( $S_{fon}$ ,  $N_{fon}$ ).
5. Foydali sanoqlar topiladi ( $N_{foy} = N_{to'liq} - N_{fon}$ ). Buning uchun to'liq sanoq qiymatidan fon sanoqlari ayrib tashlanadi.
6. Neytron detektorining effektivnosti aniqlanadi. Grafikdan foydalanib topish mumkin.
7. Secheniyani topish ifodasidagi  $N_A$ -yadro nishonning  $1\text{sm}^3$  hajmidagi atomlar soni aniqlanadi.
8. Yadro nishoniga kelib tushayotgan zarrachalar soni topiladi ( $N_s$ ).
9. Aniqlangan kattaliklarning son qiymatlari kesim kattaligini topish ifodasiga qo'yiladi va uning qiymati aniqlanadi.
10. Boshqa sochilish burchagiga o'tiladi va asosiy holatiga tegishli bo'lgan spektr aniqlanadi.
11. Yuqorida qilingan ishlar yana takrorlanadi va shu tariqa hisob ishlari davom ettiriladi.
12. Hisoblash ishlari barcha burchaklar bo'yicha bajarilganidan keyin, kesim va burchak kattaliklari o'rtasidagi grafik chiziladi.



6-rasm. Spektrlarni tahlil qilish



6-rasm.  $^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}$  yadro reaksiyasining kesim kattaligi

#### Nazorat savollari:

1. Kesim kattaliklarning qanday turlari bor.
2. Reaksiyaning kesim kattaligi nimani anglatadi.
3. Kesimning o'lchov birligini ayting.
4. Neytron spektrometrlarning blok-sxemasini tushuntirib bering
5. Nishonga kelib tushayotgan zarrachalar soni qanday aniqlanadi.
6. Nishonning  $1 \text{ sm}^3$  hajnidagi atomlar soni qanday qilib topiladi.
7. Tajribani o'tkazish ketma-ketligi qanday tartibda olib boriladi.
8. Tajriba geometriyasini izohlab bering.
9. Ssintillyatordagi vodorod atomlarining soni qanday topiladi.
10. Reaksiyaning chiqish kattaligi nimalarga bog'liq.

#### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. B.V. Рыбаков, V.A. Sidorov //Spektrometriya быстрых нейтронов, 1958
2. Ye.A. Kramer-Ageev, V.N. Lavrenchik, V.T. Samosadnyy, V.P. Protasov // Eksperimentalnye metody neytronnykh issledovaniy, M: Energoatomizdat, 1990
3. N.G. Volkov, V.A. Xristoforov, N.P. Ushakov // Metody yademyo spektrometrii, M: Energoatomizdat, 1990
4. N.A. Vlasov //Neytrony, izdatelstvo «Nauka» M: 1971

## № 59. Laboratoriya ishi

### Tezlashtirilgan zarrachalarning miqdorini aniqlash

**Ishdan asosiy maqsad:** nishonga kelib tushayotgan zarrachalarning miqdorini aniqlash usullari bilan tanishish. Siklotronda tezlashtirilgan proton zarrachalarining miqdorini aniqlash.

**Kerakli jihozlar:** U-150 siklotroni, Faradey silindri, tok integratori, mikroampermetr, sanash moslamasi.

**Nazariy qismi:** Tezlashtirilgan zarrachalar bilan tajriba ishlari olib borilayotganda, har doimo zarrachalar oqimining qiymatini bilish kerak bo'ladi. Bu kattalik asosan tezlashtirilgan zarrachalar oqimining tok kuchi orqali beriladi. Zaryadli zarrachalarning bir tomonga qilgan tartibli harakati elektr tokini hosil qiladi. Tezlatkichlarda ko'pincha bu tok kuchining qiymati mikroamperlarda (mkA) bo'ladi. Zaryadi  $Z=1$  ga teng bo'lgan zarrachalar oqimining tok kuchi 1mA bo'lganda, tezlashtirilgan zarrachalarning soni  $6,25 \cdot 10^{12}$  l/sek ga teng bo'ladi. Zarrachalar oqimining absolyut qiymatini aniqlash uchun maxsus tayyorlangan birlamchi monitorlar ishlatiladi. O'lchash aniqligini oshirish maqsadida bir qator qo'shimcha ishlarni amalga oshirish lozim bo'ladi. Bu ishlar quyidagilardan iborat: birlamchi monitorga kelib tushayotgan zarrachalar oqimini kollimatsiya qilish kerak. Bu vazifa kollimatorlar yordamida bajariladi. Kollimatorlar yordamida zarrachalar dastasi parallel holatiga yaqinlashtiriladi va sochilgan zarrachalarga barham beriladi.

#### Birlamchi monitorlar

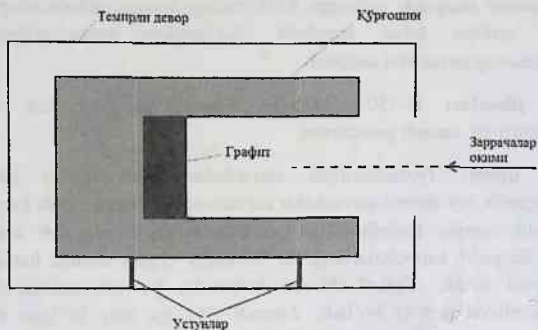
Birlamchi monitor sifatida Faradey silindri ishlatiladi. Zaryadli zarrachalar silindrning massasi yetarli darajada katta bo'lgan elektrodiga kelib tushadi va unda to'liq yutiladi. Yutilish jarayonida turli zarrachalar hosil bo'ladi. Bu zarrachalar ichidan zaryadli zarrachalar to'liq tutib qolinishi kerak. Demak o'lchash elektrodda to'plangan zaryad miqdori orqali amalga oshiriladi. Faradey silindri atrof – muhitdan to'liq ajratilishi (izolyatsiya) lozim. Silindrda to'plangan elektr zaryadi ( $Q$ ) quyidagi ifoda orqali topiladi:

$$Q = Ze \cdot N, \quad (1)$$

bu yerda  $Z$ -zarrachaning zaryadi,  $e$ -elektronning zaryadi ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Kl),  $N$ -zarrachalar soni.

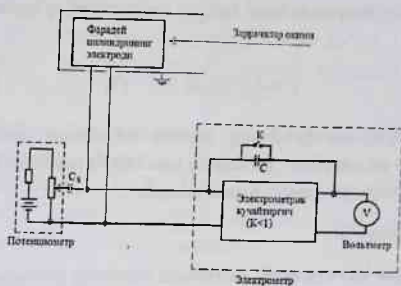
Proton va deutron zarrachalari uchun  $Z=1$ ,  ${}^3\text{Ne}$  va  ${}^4\text{Ne}$  ionlari uchun esa  $Z=2$  ga teng.

1-rasmda Faradey silindri umumiy ko'rinishi ko'rsatilgan.



1-rasm. Faradey silindri

Faradey silindri ichida vakuum olinadi. Silindr tubi grafit moddasi bilan qoplangan. Zarrachalar oqimi grafitga kelib tushadi va unda to'liq yutiladi. Vaqt birligi ichida yutilgan energiyaning qiymati yetarli darajada katta bo'ladi. Shu sababli haroratning ko'tarilishi kuzatiladi. Agar erish harorati kichik bo'lgan moddalar ishlatilsa, ular erib ketadi va Faradey silindri o'zining ish faoliyatini yo'qotadi. Grafit moddasining zarrachalar oqimiga bo'lgan chidamliligi yuqori bo'lganligi uchun asosan grafit ishlatiladi. Faradey silindri o'lchamlari o'lchanayotgan zarrachaning energiyasiga, turiga va o'lchash aniqligiga qarab turlicha bo'ladi. Agar o'lchash absolyut usul orqali amalga oshirilayotgan bo'lsa, tok kuchi qiymatini katta aniqlikda topish talab etiladi. Bu usul yordamida zarrachalar oqimining qiymatini  $\leq 1\%$  atrofida aniqlash mumkin. Silindr elektrodida to'plangan zaryadlar miqdorini aniqlash uchun tok integratori ishlatiladi. Elektrodagi signallar tok integratoriga uzatiladi. Tok integratorlarining ishlash prinsiplari bir xil bo'lib, qoplash (kompensatsiyalash) sxemasiga ko'ra ishlaydi. 2-rasmda tok integratorining sxemasi ko'rsatilgan.



2-рasm. Tok integratori

Tok integratorining ishlashi quyidagiga asoslangan. Faradey silindrining elektrodida to'plangan zaryad miqdori tok integratoriga uzatiladi. Bu yerda zaryad miqdoriga teng lekin teskari zaryad berish orqali voltmetring ko'rsatishi nolga keltiriladi. Bunda sozlash potentsiometri va kondensatorlar asosiy vazifalarni bajaradi. Nolga keltirishdagi teskari zaryad miqdori elektrodda to'plangan zaryad miqdoriga teng bo'ladi. Demak  $S_1$ -kondensatorda teskari zaryadli zaryad miqdori to'planadi. Bu zaryadning miqdori quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$Q = -C_s \cdot \Delta V, \quad (2)$$

bu yerda  $S_1$ -kondensatorming sig'imi,  $\Delta V$ -potensiallar farqi.

Agar kichik toklar o'lchanayotgan bo'lsa, bu holda vibratsion tok integratorini ishlatish mumkin. Zarrachalar oqimining qiymatini aniqlashning boshqa absolyut usullari ham mavjud bo'lib ular: zarrachalar sonini o'lchash; induksion elektrolarni qo'llash; kalorimetrik usul va boshqalardir. Biz ko'rib o'tgan usul o'zining yuqori aniqlik darajasi bilan boshqalardan ajralib turadi.

Hozirgi davrga kelib zarrachalar oqimining qiymatini aniqlashda zamonaviy asbob-uskunalar ishlatilmoqda. Ayniqsa raqamli tok integratorlarining yaratilishi tajriba o'tkazilishida bir qator qulayliklarni keltirib chiqardi. Bu bloklarning KAMAK sistemasida yaratilishi tajribani o'tkazishni juda osonlashtirdi. Bu tok integratori ko'p funksiyalarni bajarish imkoniyatiga ega va uni qo'l yoki avtomatik ravishda boshqarish mumkin. Priborning sezgirlik darajasi  $10^{-8}$  Kulonni tashkil etadi. O'lchanayotgan tok teskari sig'im bog'lanishli operatsion kuchaytirgich yordamida integrallanadi. Operatsion

kuchaytirgichning chiqishida hosil bo'lgan kuchlanishning qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$V = \frac{1}{C} \int i(t) dt, \quad (3)$$

Bu hosil bo'lgan kuchlanishning qiymati belgilangan ostona qiymatiga yetganda, o'tish davomiyligi  $\tau$  ga teng bo'lgan impuls paydo bo'ladi. Bu impuls sanash moslamasiga yuboriladi va qayd qilinadi.

### **Ikkilamchi monitorlar**

**Ionlashgan kamera usuli.** Zarrachalar oqimining qiymatini nisbiy usullar orqali ham aniqlash mumkin. Bu usullardan biri ionlashgan kamera yordamida amalga oshiriladi. Juda ko'p tajribalarda ionlashgan kamera ishlatiladi. Ionlashgan kamerada ikkita parallel elektrodlar joylashgan. Kamera ichiga asosan argon gazi kiritiladi. Uning bosimi  $\geq 1$  atm. atrofida bo'ladi. Elektrodlar orasiga 300-1000 V kuchlanish beriladi. Zaryadli zarracha kameraga kelib tushganda gaz atomlarini ionlashtiradi va natijada musbat va manfiy ionlar hosil bo'ladi. Ionlar elektrodlar tamonga qarab harakatga keladi va elektr toki paydo bo'ladi. Bu usuldagi asosiy kamchilik ionlarning rekombinatsiyasidir. Kamera ichidagi gazning tarkibida kislorodning ozgina miqdorida bo'lishligi ham rekombinatsiya jarayonini ortishiga olib kelishi tajribalarda aniqlangan. Ionlashgan kameradan olingan elektr signali elektrometrga uzatiladi. Bu usulni zarrachalar oqimining quvvati  $10^3 \div 10^9$  zarracha/sm<sup>2</sup>·sek bo'lgan soha oraliklarida ishlatish mumkin.

**Radioaktiv usuli.** Zarrachalar oqimining qiymati yadro reaksiyasi natijasida hosil bo'luvchi izotopning aktivligiga ko'ra aniqlanadi. Yadro reaksiyasi zarrachaning turiga va energiyasiga qarab tanlanadi. <sup>12</sup>S(r,m)<sup>11</sup>C reaksiyani ishlatish mumkin.

**Ssintillyatsion monitorlar.** Bu usulda zarrachalar yo'lga yorug'lik nurini chiqaruvchi moddalar o'atiladi. Hosil bo'lgan yorug'lik nurlari fotoelektron kuchaytirgichning fotokatodiga tushadi va undan fotoelektronlarni urib chiqaradi. FEK da elektronlar soni ortib boradi. FEK ning chiqishida qiymati  $10^{10} \div 10^7$  A bo'lgan tok hosil bo'ladi.

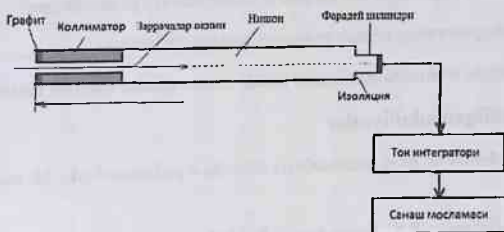
**Ikkilamchi emissiyaga asoslangan monitorlar.** Bu usul ikkilamchi emissiya jarayoniga asoslangan. Zarrachalar yo'lga yupqa qalinlikdagi Al plastinkalar

o'atiladi. Bu plastinkalar soni 20 taga yetib boradi. Ikkilamchi emissiya jarayonida hosil bo'lgan tokning qiymati kichik bo'ladi. Shu sababli Al plastinkalar yuqori vakuum ichiga ( $10^{-5}$  mm.sim. ust. kichik bo'lishi kerak) joylashtiriladi.

**Cherenkov schetchiklari zarrachalar oqimining monitori sifatida.** Agar relyativistik zarrachalar oqimining qiymati aniqlanishi lozim bo'lsa, bu holda cherenkov schetchiklaridan foydalanish kerak. Zarracha radiatorga kelib uriladi va ssintillyatsiya jarayonida yorug'lik nuri paydo bo'ladi. Radiator sifatida qattiq, suyuq yoki gazlami ishlatish mumkin.

**Tajribani amalga oshirish tartibi:**

1. Faradey Silindrning izolyatsiyasi tekshiriladi. Bu ishlar tester yordamida amalga oshiriladi. FS to'liq izolyatsiya holatida bo'lishi lozim.
2. Tok integratori tok tarmog'iga ulanadi va ish holatiga keltiriladi.
3. Tok integratori 1,5 V kuchlanishga ega bo'lgan tok batareyasi orqali sozlanadi.
4. Yadro nishoni o'rnatiladigan joy bo'sh qoldiriladi. Nishon o'rniida hech narsa yo'q.



3-rasm. Tajriba geometriyasi

5. Tok integratoridan olingan impuls sanoq moslanasiga uzatiladi. Mikroampermetrlarni ham ishlatish mumkin (3-rasm).
6. Tezlatkich ishga tushiriladi va tezlashtirilgan zarrachalar FS yo'naltiriladi.
7. O'lchash natijalari yozib boriladi. Natijalar asosida FS kelib tushayotgan zarrachalar soni topiladi



8. O'lchashdagi hatolik baholanadi.

### Nazorat savollari

1. Tezlashtirilgan zarrachalar oqimi qanday parametrlarga ega?
2. Tezlashtirilgan zarrachalarning energiyasini aniqlash usullari.
3. Zarracha energiyasi  $E=f(v)$  bog'lanishga ko'ra qanday aniqlanadi?
4. Zarracha energiyasini yadro reaksiyasi yordamida aniqlash usulini tushuntirib bering.
5. Zarracha energiyasi kinematik usulda qanday aniqlanadi?
6. Zarracha energiyasini uchish vaqtiga asosan topish usulini tushuntirib bering.
7. Zarrachani, modda ichiga kirib borish chuqurligiga(probegi) asosan energiyasini qanday aniqlash mumkin?
8. Zarracha energiyasini, yutilgan energiya bo'yicha aniqlash usulini tushuntirib bering.
9. Faradey silindri qanday ko'rinishda va uning o'lchamlari nimalarga bog'liq?
10. Zarrachalar oqimining tok kuchini o'lchash nimalarga asoslangan?
11. Tok integratorining ishlash prinsipini tushuntirib bering.
12. Ikkilamchi monitorlarga nimalar kiradi va ular qanday vazifani bajaradi?

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Yu.V. Melikov // Eksperimentalnye metody v yadernoy fizike, M: Izd. MGU, 1996.
2. N.A. Vartanov, P.S. Samoylov // Prikladnaya ssintillyatsionnaya gamma-spektrometriya, Atomizdat, 1975.
3. A.I. Abramov, Yu.A. Kazanskiy, Ye.S. Matusovich // Osnovy eksperimentalnykh metodov yadernoy fiziki. M: Energoatomizdat, 1985.
4. K.L. Lyuk Yuan, Vu Szyan-Syun // Izmerenie karakteristik yadernyx reaksii i puchkov chastis, Izdatelstvo «Mir», M., 1965.

## Ilovalar

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \text{ funksiya qiymatlarining jadvali.}$$

Bu jadvaldan quyidagicha foydalaniladi: masalan:  $\varphi(0,23)$  funksiyaning qiymati aniqlansin. Chap tamondagi ustundan 0,2 soni, yuqorida joylashgan sonlardan 3 soni topiladi. Bu sonlar bo'yicha o'tkazilgan chiziqning kesishish nuqtasi aniqlanadi. Bu nuqtadagi son qiymati  $\varphi(0,23) = 0,3885$  ga teng (jadvalda berilgan hamma son qiymatlar verguldan keyingidir, ya'ni 3503 – bu 0,3503 va h.k.).

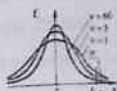
x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0.1	0.3970	3968	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0.2	0.3910	3902	3894	3889	3876	3867	3857	3847	3836	3823
0.3	0.3814	3802	3789	3779	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0.4	0.3683	3666	3652	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0.5	0.3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0.6	0.3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3165	3144
0.7	0.3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2965	2942	2919
0.8	0.2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0.9	0.2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1.0	0.2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1.1	0.2172	2155	2131	2107	2083	2059	2035	2012	1989	1965
1.2	0.1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1782	1759	1736
1.3	0.1734	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1.4	0.1547	1497	1456	1425	1394	1364	1334	1304	1274	1244
1.5	0.1289	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1.6	0.1103	1092	1074	1057	1040	1022	1006	989	973	957
1.7	0.0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1.8	0.0792	0776	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1.9	0.0658	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2.0	0.0540	0529	0519	0509	0498	0488	0478	0468	0459	0450
2.1	0.0442	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2.2	0.0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2.3	0.0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2.4	0.0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2.5	0.0175	0171	0167	0163	0159	0154	0151	0147	0143	0139
2.6	0.0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2.7	0.0104	0101	0099	0096	0093	0091	0089	0086	0084	0081
2.8	0.0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2.9	0.0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0045
3.0	0.0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3.1	0.0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0024
3.2	0.0024	0023	0022	0022	0021	0020	0019	0018	0018	0017
3.3	0.0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3.4	0.0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0009	0009	0009
3.5	0.0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0006	0006	0006
3.6	0.0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0004	0004	0004
3.7	0.0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003
3.8	0.0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002
3.9	0.0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

$$\text{Laplas funksiyasi } y = \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0	0						
0.01	0.004	0.13	0.0517	0.25	0.0987	0.37	0.1443
0.02	0.008	0.14	0.0557	0.26	0.1026	0.38	0.1488
0.03	0.012	0.15	0.0596	0.27	0.1064	0.39	0.1517
0.04	0.016	0.16	0.0636	0.28	0.1103	0.4	0.1554
0.05	0.0199	0.17	0.0675	0.29	0.1141	0.41	0.1592
0.06	0.0239	0.18	0.0714	0.3	0.1179	0.42	0.1628
0.07	0.0279	0.19	0.0753	0.31	0.1217	0.43	0.1664
0.08	0.0319	0.2	0.0793	0.32	0.1255	0.44	0.17
0.09	0.0359	0.21	0.0832	0.33	0.1293	0.45	0.1736
0.1	0.0398	0.22	0.0871	0.34	0.1331	0.46	0.1772
0.11	0.0438	0.23	0.091	0.35	0.1369	0.47	0.1808
0.12	0.0478	0.24	0.0948	0.36	0.1406	0.48	0.1844
0.49	0.1875	1.02	0.3461	1.55	0.4394	2.16	0.4846
0.6	0.1915	1.03	0.3485	1.56	0.4406	2.18	0.4854
0.51	0.1956	1.04	0.3508	1.57	0.4418	2.2	0.4861
0.52	0.1985	1.05	0.3531	1.58	0.4429	2.22	0.4868
0.53	0.2019	1.06	0.3554	1.59	0.4441	2.24	0.4875
0.54	0.2054	1.07	0.3577	1.6	0.4452	2.26	0.4881
0.55	0.2088	1.08	0.3599	1.61	0.4463	2.28	0.4887
0.56	0.2123	1.09	0.3621	1.62	0.4474	2.3	0.4893
0.57	0.2157	1.1	0.3643	1.63	0.4484	2.32	0.4898
0.58	0.219	1.11	0.3665	1.64	0.4495	2.34	0.4904
0.59	0.2224	1.12	0.3686	1.65	0.4505	2.36	0.4908
0.6	0.2257	1.13	0.3708	1.66	0.4515	2.38	0.4913
0.61	0.2291	1.14	0.3729	1.67	0.4525	2.4	0.4918
0.62	0.2324	1.15	0.3749	1.68	0.4535	2.42	0.4922
0.63	0.2357	1.16	0.377	1.69	0.4545	2.44	0.4927
0.64	0.2389	1.17	0.379	1.7	0.4554	2.46	0.4931
0.65	0.2422	1.18	0.381	1.71	0.4564	2.48	0.4934
0.66	0.2454	1.19	0.383	1.72	0.4573	2.5	0.4938
0.67	0.2486	1.2	0.3849	1.73	0.4582	2.52	0.4941
0.68	0.2517	1.21	0.3869	1.74	0.4591	2.54	0.4945
0.69	0.2549	1.22	0.3888	1.75	0.4599	2.56	0.4948
0.7	0.258	1.23	0.3907	1.76	0.4608	2.58	0.4951
0.71	0.2611	1.24	0.3925	1.77	0.4616	2.6	0.4953
0.72	0.2642	1.25	0.3944	1.78	0.4625	2.62	0.4956
0.73	0.2673	1.26	0.3962	1.79	0.4633	2.64	0.4959
0.74	0.2703	1.27	0.398	1.8	0.4641	2.66	0.4961
0.75	0.2734	1.28	0.3997	1.81	0.4649	2.68	0.4963
0.76	0.2764	1.29	0.4015	1.82	0.4656	2.7	0.4965
0.77	0.2794	1.3	0.4032	1.83	0.4664	2.72	0.4967
0.78	0.2823	1.31	0.4049	1.84	0.4671	2.74	0.4969

0.70	0.2852	1.32	0.4069	1.85	0.4678	2.78	0.4971
0.8	0.2881	1.33	0.4082	1.86	0.4686	2.76	0.4973
0.81	0.291	1.34	0.4098	1.87	0.4693	2.8	0.4974
0.82	0.2939	1.35	0.4115	1.88	0.4700	2.82	0.4975
0.83	0.2967	1.36	0.4131	1.89	0.4706	2.84	0.4977
0.84	0.2995	1.37	0.4147	1.9	0.4713	2.86	0.4979
0.85	0.3023	1.38	0.4162	1.91	0.4719	2.88	0.498
0.86	0.3051	1.39	0.4177	1.92	0.4726	2.9	0.4981
0.87	0.3078	1.4	0.4192	1.93	0.4732	2.92	0.4982
0.88	0.3108	1.41	0.4207	1.94	0.4738	2.94	0.4984
0.89	0.3133	1.42	0.4222	1.95	0.4744	2.96	0.4985
0.9	0.3153	1.43	0.4235	1.96	0.475	2.98	0.4986
0.91	0.3180	1.44	0.4251	1.97	0.4756	3	0.4987
0.92	0.3112	1.45	0.4265	1.98	0.4761	3.2	0.4988
0.93	0.3238	1.46	0.4279	1.99	0.4767	3.4	0.4988
0.94	0.3264	1.47	0.4292	2	0.4772	3.6	0.4988
0.95	0.3289	1.48	0.4305	2.02	0.4778	3.8	0.4990
0.96	0.3315	1.49	0.4319	2.04	0.4783	4	0.4990
0.97	0.334	1.5	0.4332	2.05	0.4801	4.5	0.4990
0.98	0.3365	1.51	0.4345	2.08	0.4812	5	0.5
0.99	0.338	1.52	0.4357	2.1	0.4821		
1	0.3413	1.53	0.437	2.12	0.483		
1.01	0.3438	1.54	0.4382	2.14	0.4838		

$t_{k,\alpha}$  Student taqsimotining kritik nuqtalari  
 $P(T > t_{k,\alpha}) = \alpha$ , bu yerda  $\alpha$  - qiymatdorlik darajasi,  $k$  - erkinlik darajasi (bir tamonlama kritik soha).



эриткич даражалар сон, k	Эриткичлик $\alpha$									
	0.20	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005		
1	1.30	2.00	2.51	3.08	4.01	5.02	6.38	8.16	10.24	12.71
2	1.10	1.80	2.32	2.88	3.75	4.60	5.83	7.38	9.21	11.33
3	1.00	1.64	2.15	2.70	3.50	4.30	5.40	6.88	8.53	10.24
4	0.94	1.53	2.13	2.67	3.37	4.13	5.21	6.59	8.17	9.85
5	0.92	1.48	2.02	2.67	3.34	4.08	5.15	6.51	8.08	9.71
6	0.91	1.44	1.94	2.65	3.31	4.04	5.10	6.45	7.94	9.58
7	0.90	1.42	1.90	2.63	3.28	4.00	5.05	6.40	7.88	9.51
8	0.89	1.40	1.88	2.62	3.26	3.98	5.03	6.38	7.85	9.48
9	0.88	1.38	1.87	2.61	3.25	3.97	5.02	6.37	7.84	9.47
10	0.88	1.37	1.86	2.60	3.24	3.96	5.01	6.36	7.83	9.46
11	0.88	1.36	1.86	2.59	3.23	3.95	5.00	6.35	7.82	9.45
12	0.87	1.36	1.78	2.58	3.22	3.94	5.00	6.34	7.81	9.44
13	0.87	1.35	1.77	2.57	3.21	3.93	5.00	6.33	7.80	9.43
14	0.87	1.34	1.76	2.56	3.20	3.92	5.00	6.32	7.79	9.42
15	0.87	1.34	1.75	2.55	3.19	3.91	5.00	6.31	7.78	9.41
16	0.86	1.34	1.75	2.54	3.18	3.90	5.00	6.30	7.77	9.40
17	0.86	1.33	1.74	2.53	3.17	3.89	5.00	6.29	7.76	9.39
18	0.86	1.33	1.72	2.52	3.16	3.88	5.00	6.28	7.75	9.38
19	0.86	1.33	1.72	2.51	3.15	3.87	5.00	6.27	7.74	9.37
20	0.85	1.33	1.72	2.50	3.14	3.86	5.00	6.26	7.73	9.36
21	0.85	1.32	1.72	2.49	3.13	3.85	5.00	6.25	7.72	9.35
22	0.85	1.32	1.71	2.48	3.12	3.84	5.00	6.24	7.71	9.34
23	0.85	1.32	1.71	2.47	3.11	3.83	5.00	6.23	7.70	9.33
24	0.85	1.32	1.71	2.46	3.10	3.82	5.00	6.22	7.69	9.32
25	0.85	1.31	1.70	2.45	3.09	3.81	5.00	6.21	7.68	9.31
30	0.85	1.31	1.68	2.42	3.06	3.78	5.00	6.18	7.65	9.28
40	0.85	1.30	1.67	2.40	3.04	3.76	5.00	6.16	7.63	9.26
60	0.85	1.30	1.66	2.38	3.02	3.74	5.00	6.14	7.61	9.24
120	0.84	1.29	1.65	2.36	3.00	3.72	5.00	6.12	7.59	9.22
$\infty$	0.84	1.28	1.64	2.34	2.98	3.70	5.00	6.10	7.57	9.20

## MUNDARIJA

<b>SO'Z BOSHI</b> .....	3
Qisqartirilgan iboralar ro'yhati.....	5
Kirish.....	6
Yadro fizika tajribalarining o'ziga xos tomonlari va talabalar uchun bir qator ko'rsatmala.....	7
<b>I. BOB</b>	
<b>YADRO FIZIKASIDA TASODIFIY HODISALAR</b>	
1. Statistika taqsimot qonunlari va ularning vazifalari.....	9
1.1. Gauss taqsimoti.....	9
1.2. Puasson taqsimoti.....	14
1.3. Puasson taqsimoti uchun taqribiy ifoda.....	17
1.4. O'lchashdagi xatoliklar va ularning turlari.....	17
1.5. O'lchashdagi kattaliklar funksiyasining xatosi.....	20
1.6. Statistika gipotezalar va muvofiqlik kriteriyasi.....	27
1.6.1. Pirsonning muvofiqlik kriteriyasi.....	27
<b>II. BOB</b>	
<b>TAJRIBAGA KERAKLI QURILMALAR</b>	
№1-laboratoriya ishi. "Yadro fizika tajribalarida ishlatiladigan standartlar".....	31
№2-laboratoriya ishi. "Diskriminatorlar va ulardan foydalanish".....	37
№3-laboratoriya ishi. "Raqamli ossilloqraflar va ular bilan ishlash".....	42
№4-laboratoriya ishi. "Impuls generatori va ular bilan ishlash".....	48
№5-laboratoriya ishi. "Mos keltirish sxemasi va ular bilan ishlash".....	52
<b>III. BOB</b>	
<b>DETEKTORLAR VA ULARNING XARAKTERISTIKALARI</b>	
№6-laboratoriya ishi. "Fotoelektron kuchaytirgichlarni tanlash va ularni ishga tayyorlash".....	61
№7-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion kristallarni yig'ish va ishga tayyorlash".....	70
№8-laboratoriya ishi. "FEK va ssintillyatsion kristallarni birgalikda yig'ish va ishga tayyorlash".....	80

№9-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion detektorga yuqori kuchlanishni berish tartibi" .....	85
№10-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion detektorning ish kuchlanishini aniqlash" .....	90
№11-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion detektorning vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash" .....	95
№12-laboratoriya ishi. "Geyger-Myuller schetchigi" .....	98
№13-laboratoriya ishi. "Detektorlarning samarasiz vaqtini aniqlash" .....	111
№14-laboratoriya ishi. "Past energiyali neytronlarni qayd qiluvchi detektorlar va ularni ishga tayyorlash" .....	116

#### **IV. BOB GAMMA SPEKTROMETRLAR VA ULARNING XARAKTERISTIKALARI**

№15-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion detektorli $\gamma$ -spektrometrimiz energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash" .....	128
№16-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion detektorli $\gamma$ -spektrometrimiz kanalini energiya bo'yicha sozlash" .....	135
№17-laboratoriya ishi. "Ssintillyatsion detektorli $\gamma$ -spektrometrimiz effektivligini turli energiyali $\gamma$ -kvantlari uchun aniqlash" .....	141
№18-laboratoriya ishi. "Yarim o'tkazgichli detektorlar va ularning xarakteristikalarini" .....	149
№19-laboratoriya ishi. "Toza germaniy detektorli gamma spektrometrimiz energiya bo'yicha ajratish qobiliyatini aniqlash" .....	157
№20-laboratoriya ishi. "Toza germaniy detektorli gamma spektrometrimiz effektivligini turli energiyali $\gamma$ -kvantlari uchun aniqlash" .....	163

#### **V. BOB TURLI ZARRACHALARNI MODDA ATOMLARI VA YADROLARGA KO'RSATGAN TA'SIRI**

№21-laboratoriya ishi. " $\alpha$ -zarrachalarini havodagi bosib o'tgan yo'lini aniqlash" .....	169
---	-----

№22-laboratoriya ishi. "Gamma nurlarini qo'rg'oshin elementida kuchsizlanishini o'rganish".....	177
№23-laboratoriya ishi. "Zarrachalarni turli moddalardan o'tishi davomida yo'qotgan energiyasini aniqlash".....	185
№24-laboratoriya ishi. "Modda mustahkamligiga ionlashtiruvchi nurlarning ta'siri".....	192
№25-laboratoriya ishi. "Tezlatkichlarda tezlashtirilgan zarrachalarning energiyasini aniqlash".....	197
№26-laboratoriya ishi. "Elektronika U-003 rusumli elektron tezlatkichida tezlashtirilgan elektronlarning energiyasini aniqlash".....	204
№27-laboratoriya ishi. "Elektronlar oqimini moddalardan o'tishi davomida yo'qotgan energiyasiga ko'ra dozaning qiymatini aniqlash".....	212
№28-laboratoriya ishi. "O'ta yupqa nishonlarning qalinligini $\alpha$ -zarrachalar yordamida aniqlash".....	218

## **VI.BOB**

### **IONLASHTIRUVCHI ZARRACHALARDAN HIMOYALANISH**

№29-laboratoriya ishi. " $\alpha$ -zarrachalardan himoyalaniшни tashkil qilish".....	225
№30-laboratoriya ishi. " $\gamma$ -zarrachalardan himoyalaniшни tashkil qilish".....	234
№31-laboratoriya ishi. " $\beta$ -zarrachalardan himoyalaniшни tashkil qilish".....	252
№32-laboratoriya ishi. "Neytron zarrachalardan himoyalaniшни tashkil qilish".....	267
№33-laboratoriya ishi. " $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - va neytron zarrachalardan himoyalanişda ishlatiladigan materiallar va ularni tanlash".....	280

## **VII.BOB**

### **NURLANISH DOZASI VA DOZIMETRIYA ASBOBLARI**

№34-laboratoriya ishi. "Dozimetr asboblarni sozlash".....	287
№35-laboratoriya ishi. "Shaxsiy dozimetriya nazoratini tashkil qilish".....	290
№36-laboratoriya ishi. "Joyalarni $\alpha$ -radionukliddan ifloslanish darajasini ssintillyatsion detektor yordamida o'lchash".....	298

№37-laboratoriya ishi. "Havo tarkibidagi radon miqdorini aniqlash".....	303
№38-laboratoriya ishi. "Beta radionuklidlarning solishtirma va hajmiy aktivligini RKB4-1eM radiometri yordamida aniqlash".....	310

## VIII. BOB

### YADRO NISHONLARI VA ULARNI TAYYORLASH

№39-laboratoriya ishi. "Yadro nishonlari va ularni tayyorlash usullari".....	320
№40-laboratoriya ishi. "Termik bug'lantirish usuli yordamida yadro nishonlarini tayyorlash".....	328
№41-laboratoriya ishi. "Elektroliz usuli yordamida yadro nishonlarini tayyorlash".....	334

## IX. BOB

### ZARRACHALAR SPEKTROMETRI VA YADRO REAKSIYALARI

№42-laboratoriya ishi. "Uchish vaqtiga asoslangan neytron spektrometri".....	339
№43-laboratoriya ishi. "Zaryadli zarrachalar spektrometri $\Delta E$ -Ye metod".....	354
№44-laboratoriya ishi. "Rentgenfluorescent tahlil asosida moddalar tarkibini tekshirish".....	360
№45-laboratoriya ishi. "NG-150 neytron generatorida olingan neytronlar yordamida modda tarkibidagi yengil yadrolarni aniqlash".....	372
№46-laboratoriya ishi. "Neytron generatorida (n,p) va (n,d) reaksiyalarini amalga oshirish".....	382
№47-laboratoriya ishi. "Yadro reaksiyasining kinematikasini hisoblash".....	392
№48-laboratoriya ishi. "Laboratoriya koordinata sistemasidan sentra mass sistemasiga o'tish va aksincha".....	396
№49-laboratoriya ishi. "Tuproq tarkibidagi radioaktiv elementlarning solishtirma aktivligini aniqlash".....	401
№50-laboratoriya ishi. "Suv tarkibidagi radioaktiv elementlarning solishtirma aktivligini aniqlash".....	409
№51-laboratoriya ishi. "Radionuklid aktivligini vaqt davomida kamayib borishini hisoblash".....	414



№52-laboratoriya ishi. “Aktivatsion yoki porogli detektorlar va ular yordamida neytronlar oqimining qiymatini aniqlash”.....	419
№53-laboratoriya ishi. “Elektronika U-003 elektron tezlatkichida tezlash-tirilgan elektronlar oqimi zichligining fazoviy taqsimotini o‘rganish”.....	430
№54-laboratoriya ishi. “Ilmiy tekshirish reaktorlari va ular yordamida modda tarkibini tekshirish”.....	434
№55-laboratoriya ishi. “ $\beta$ -radionuklidlarning aktivligini va $\beta$ -zarrachaning maksimal energiyasini aniqlash”.....	443
№56-laboratoriya ishi. “Siyuza barer detektoriga beriladigan chetlantirish kuchlanishini aniqlash”.....	451
№57-laboratoriya ishi. “Yarim o‘tkazgichli Sidetectori yordamida $\alpha$ -zarrachalarining spektrini o‘lchash”.....	458
№58-laboratoriya ishi. “Yadro reaksiyasining kesim kattaligini aniqlash”.....	469
№59-laboratoriya ishi. “Tezlashtirilgan zarrachalarning miqdorini aniqlash”.....	483
<b>ILOVALAR</b> .....	489

M.A. Qayumov, M.Y. Toshmetov, U.S. Salihbayev, A.A. Qoraxo'jayev, S.R.  
Polvonov, S.V. Artemov, V.P. Yakushev, B.M. Qayumov

# SUBATOM FIZIKASI

Bo'yicha laboratoriya ishlarining to'plami

O'quv qo'llanma

*Toshkent - "NIF MSH" - 2020*

*Muharrir Bakirov N. F.*

*Texnik muharrilar  
Yoqubov A.F.  
Hoshimbekova U.Sh.*

*Bosishga 30.11.2020. da ruxsat etildi. Bichimi 60x84.  
"Times New Roman" garniturasida.  
Ofset bosma usulida bosildi.*

*Shartli bosma tabog'i 32. Nashr bosma tabog'i 31.25.  
Adadi 100 nusxa.*

*"NIF MSH" MCHJ matbaa bo'limida chop etildi.  
Manzil: Toshkent shahri, Farhod ko'chasi, 6-uy.*