

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА-МАХСУС  
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ  
САМАРКАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**Кулёзма ҳукукида**

**УДК 5390105**

**ХУДОЙҚУЛОВ ЖАСУРБЕК БОТИРОВИЧ  
«САМАРКАНД ВИЛОЯТИДА ИШЛАБ ЧИҚАРИЛАЁТГАН  
ҚУРИЛИШ МАТЕРИАЛЛАРИНИНГ РАДИАЦИОН  
ХАВФСИЗЛИГИНИ БАҲОЛАШ»**

**5A140202-Физика (Физик экология) йуналиши магистрант**

**МАГИСТР АКАДЕМИК ДАРАЖАСИНИ ОЛИШ УЧУН ЁЗИЛГАН  
ДИССЕРТАЦИЯСИ**

**Иш куриб чиқилди ва химояга**

**Рухсат берилди:**

**Кафедра мудири:**

**Илмий раҳбар:**

**доц.Ш.Х.Хушмуродов**

**доц.Ш.Х.Хушмуродов\_**

**Самарканд - 2016 й**

## МУНДАРИЖА

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Кириш.....                                                                                  | 6  |
| I БОБ. Асосий назарий тушунчалар.....                                                       | 8  |
| §1.1. Радиоактивлик.....                                                                    | 8  |
| §1.1.1. Альфа–нурлар.....                                                                   | 10 |
| §1.1.2. Бета–нурлар.....                                                                    | 10 |
| §1.1.3. Гамма–нурлар.....                                                                   | 11 |
| §1.2. Сунъий радиоактивлик.....                                                             | 11 |
| §1.3. Радиоактив емирилиш конуни.....                                                       | 13 |
| §1.4. Радиоактив оила.....                                                                  | 15 |
| §1.5. Ядровий нурланишнинг кимёвий ва биологик таъсири.....                                 | 21 |
| §1.5.1. Нурланишнинг кимёвий таъсири.....                                                   | 21 |
| §1.5.2. Нурланишнинг биологик таъсири.....                                                  | 22 |
| II БОБ. Радиацион фон тушунчаси ва хоссалари.....                                           | 25 |
| §2.1. Умумий радиацион фон.....                                                             | 25 |
| §2.2. Табiiй радиацион фон.....                                                             | 26 |
| §2.3. Курилиш материаллари радиоактивлиги.....                                              | 29 |
| III БОБ. Табiiй радионуклидлар активлигини улчашнинг амалий услублари.....                  | 35 |
| §3.1. Ионизацион нурланишни аниклаш ва уни улчаш асбоблари тугрисида умумий тушунчалар..... | 35 |
| §3.2. Ионизацион нурланиш спектрометрлари.....                                              | 37 |
| §3.2.1. Тарихга назар.....                                                                  | 37 |
| §3.2.2. Зарра энергиясининг еругликка айланиши.....                                         | 39 |
| §3.2.3. Сцинтилляторлар турлари ва уларнинг хоссалари.....                                  | 42 |
| §3.2.4. Замонавий сцинтилляцион санагич.....                                                | 45 |
| IV БОБ. Экспериментал курилма ва хисоблаш услуби.....                                       | 50 |
| §4.1. «РАДЭК» аналитик комплекс буйича киска маълумотлар.....                               | 50 |
| §4.3. Курилиш материалларидан улчаш намуналарини тайёрлаш услуби.....                       | 53 |
| §4.4. Сцинтилляцион гамма–спектрометрни ишга тайерлаш.....                                  | 55 |
| §4.5. Улчаш натижаларини хисоблаш учун айрим ифодалар.....                                  | 59 |
| V БОБ. Тадкикот натижалари.....                                                             | 59 |
| §5.1. Тайёрланган улчаш намуналари.....                                                     | 59 |
| §5.2. Радиоактив эталон манбалар спектрлари.....                                            | 61 |
| §5.3. Курилиш материаллари спектрлари ва уларнинг муҳокамаси...                             | 64 |
| ХУЛОСАЛАР.....                                                                              | 69 |
| АДАБИЁТЛАР.....                                                                             | 70 |

## Кириш

**Мавзунинг долзарблиги:** Азал–азалдан тирик мавжудодлар, шу жумладан инсон ҳам, узи билмаган холда, хавода, сувда, тупрокда, озик–овкатларда, қурилиш материалларида мавжуд бўлган ёки космик табиатга эга бўлган турли хил табиий нурланиш манбалари таъсири остида яшаб келган. Мазкур нурланиш манбаларини билиш, уларнинг активлиги нақадар паст ёхуд юқори даражадалигини аниқлаш масаласи инсон соғлигини таъминлашда муҳим аҳамият касб этади. Биринчи ёндашишда инсонга ташқи радиацион нурланиш кучлироқ таъсир курсатади деб уйлаш мумкин, бироқ баъзи ҳолларда, яъни бино ҳоналари ичида радиацион нурланиш даражаси ташқи нурланишга нисбатан чамаси 30%лар юқори бўлиши мумкинлиги ҳақида илмий маълумотлар бор. Бунинг сабаби ҳона деворларидаги қурилиш материалларидан чиқадиган нурланиш деб тахмин қилинмоқда, чунки ҳоналар асосан туртбурчакли, ёпик шаклда, шу сабаб нурланиш геометрияси активлик даражасининг кескин ошиб кетишига олиб келади. Демак, қурилиш майдончаларида ишлатиладиган қурилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг активлигини билиш муҳим ва долзарб масала ҳисобланади. Колаверса, радиацион нурланишни билиш, уни тугри улчай олиш радиоактивлик ҳақидаги маълумотларнинг объективлигини таъминлайди ва радиацион хавфсизлик чораларини кучайтиради.

**Магистрлик диссертатсиясининг максади:** Қурилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг активлигини, солиштирма активлигини, эффектив солиштирма активлигини улчаш услубини урганиш. Таҷрибалар утказиш ҳамда олинган натижаларга қура текширилган қурилиш материалларини қурилишнинг қандай соҳаларида ишлатиш бўйича тавсия беришни урганиш.

**Магистрлик диссертатсиясининг вазифалари:** Радиоактивлик, унинг турлари ва қонунлари, радиацион фоннинг ташкил этувчилари, хусусан қурилиш материаллари радиацияси тугрисидаги назарий

маълумотларни атрофлича таҳлил қилиш, ионизацион нурланишни қайд қилиш услублари, айниқса сцинтилляцион услубни, кенгрок тарзда ёритиб бериш, экспериментал қурилманинг таркибини, ишлаш принципини, қурилиш материалларидан улчаш намуналарини тайёрлаш тартибини ҳамда улчаш услубини урганиш масалалари белгиланган вазифаларни ташкил этди.

**Диссертатсиянинг объекти ва предмети:** Танланган қурилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг солиштирма эффектив активлигини сцинтилляцион гамма-спектрометр ёрдамида аниқлаш ва хулосалар чиқариш.

**Илмий янгилиги:** Қурилиш материалларидаги радионуклидлар активлигини улчашнинг сцинтилляцион услуби масалани ҳал этиш учун комплекс ёндашиш асосида яратилган қурилмадан фойдаланишни назарда тутди. Шу боис мазкур услубни яхши урганиш келажакда унинг асосида энергия буйича юқориқ ажрата олиш қобилиятига эга бўлган ярим утқазгичли детекторлар базасидаги шу қабил комплекс қурилмаларни яратиш ҳамда улчаш услубини такомиллаштириш йўналишида янги илмий–услубий натижаларни бериши мумкин. Чунки инсон саломатлигини таъминлаш учун эндиликда объектларнинг нафакат йиғинди радиоактивлигини билиш, балки улардаги радионуклидлар таркибини ҳамда радиацион нурланишдаги улушларини билиш тақозо этилади.

**Амалий аҳамияти:** Ҳозирги кунда қурилиш ишлари бутун Республикамизда жуда кизгин паллада. Шаҳарларимиз уз қурқини бутунлай янгиламокда, қишлоқларда ҳам янги қотеджлар қурилмокда. Қурилиш майдончаларида ишлатилаётган маҳаллий ёқил қуёқ элдан қелтирилган қурилиш материалларининг радиацион нурланиши қаражасини тезқор усулда аниқлаб бериш, натижаларга қура улар нақадар қуёқли ёқуд инсон қоғлиқига қиёқ етқазини мумқинлиқини ҳақида аниқ маълумотларни бериш қабил амалий масалалар аҳамиятқидир.

**Диссертатсиянинг тузилиши:** магистрлик диссертатсияси қириш, бешта боб, қуёқ, фойдаланилган адабиётлар қуёқатидан иборат.

# I-БОБ АСОСИЙ НАЗАРИЙ ТУШУНЧАЛАР

## §1.1. Радиоактивлик

Бекарор кимёвий элемент изотопларининг элементар зарралар чиқариб уз–уздан бошқа элемент изотопига айланишига радиоактивлик дейилади. Бундай айланишларнинг асосий сабаблари: 1) альфа–емирилиш, 2) бета–емирилиш ва 3) огир ядроларнинг спонтан равишда (уз–уздан) булинишидир.

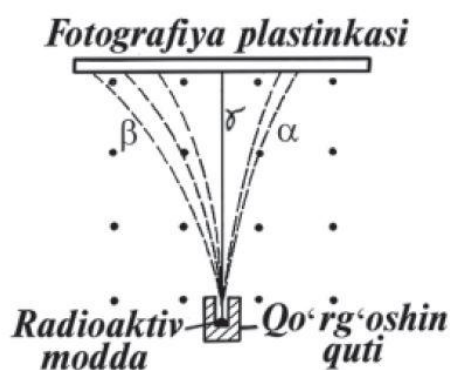
Табиий шароитларда мавжуд булган изотопларда кузатиладиган радиоактивлик табиий радиоактивлик дейилади. Атом ядроларининг катта тезлик билан ҳаракатланаётган элементар зарралар ёки бошқа атомларнинг ядролари таъсирида буладиган айланиш жараёни ядро реакцияси деб аталади. Ядро реакциялари воситасида олинадиган изотопларнинг радиоактивлиги сунъий радиоактивлик дейилади. Сунъий ва табиий радиоактивлик орасида принципиал фарк йук. Иккала ҳолда ҳам юз берадиган радиоактив емирилиш жараёни бир хил қонунларга буйсунади.

Табиий радиоактивликни биринчи марта 1896–йилда француз физиги Беккерель кашф қилган. У уран тузи люминесценцияланишни вужудга келтирадиган, ношаффоф моддалар қатламидан ута оладиган, газларни ионлаштира оладиган, фотография пластинкасини қорайтирадиган қуринмас нурлар чиқаришини пайкаган. Ураннинг турли кимёвий бирикмаларини текшириб қуриб, Беккерель муҳим ҳақиқатни аниқлади: нурланиш интенсивлиги препаратдаги ураннинг факат миқдorigа боғлиқ булиб, унинг қандай бирикмалар таркибида қатнашишига боғлиқ булмас экан. Бинобарин, бу хосса бирикмаларга эмас, балки уран элементиға, унинг атомларига хос экан.

Бу кашфиёт билан қизиқиб қолиб, Мария Складовская–Кюри ва Пьер Кюри бу ходисани чуқур ургандилар ва урандан ташқари торий (*Th*), актиний (*Ac*) ва ураннинг торий билан кимёвий бирикмалари ҳам шундай хоссаға эға эканлигини аниқладилар. Тадқиқотларни давом эттириб, Мария

Складовская–Кюри ва Пьер Кюри 1898–йилда илгари маълум бўлмаган янги кимёвий элемент – полоний (**Po**) ва радий (**Ra**) ни топдилар. Радий элементи жуда кувватли нурланишга (унинг активлиги уранга нисбатан бир неча миллион марта катта) эга. Бу элементларнинг хаммасини радиоактив элементлар, улар чиқарадиган нурларни радиоактив нурлар, ходиса эса радиоактивлик деб аталади. Хозирги вақтда 40 дан ортиқ табиий радиоактив элементлар ва 270 дан ортиқ радиоактив бирикмалар маълум.

Радиоактив нурланиш уз таркибига кура мураккабдир. Бу нурланишнинг физик табиатини урганишда Беккерель ва эр–хотин Кюрилардан ташқари Резерфорд ҳам уз хиссасини кушган. Куйидаги классик тажриба радиоактив нурланишнинг таркиби мураккаб эканлигини аниқлашга имкон берди (1–расмга қаранг).



**1–расм. Радиоактив нурланишнинг таркиби**

Радиоактив модда қурғошин қутининг тубига жойлаштирилган. Тор тиркишдан чиқаётган радиоактив нурланишга кучли магнит майдон таъсир қилади (расмда магнит майдоннинг куч чизиклари расм текислигига тик ҳолда йуналган ва нуқталар билан курсатилган). Бутун қурилма вакуумга жойлаштирилган.

Магнит майдон таъсирида радиоактив нурланиш уч таркибий қисмга ажралади, улар  $\alpha$ –нурлар,  $\beta$ –нурлар ва  $\gamma$ –нурлар деб аталади. Бу нурларнинг табиати ва асосий хоссалари билан танишиш мақсадга мувофиқ.

### §1.1.1. Альфа–нурлар

Альфа–нурлар электр ва магнит майдонда огади; бу нурлар альфа–зарралар деб аталадиган гелий ( ${}^4_2\text{He}$ ) атоми ядролари окимидан иборат булиб, хар бир  $\alpha$ –зарра иккита элементар мусбат заряд (+2e) га эга ва масса сони 4 га тенг.  $\alpha$ –зарралар радиоактив элементлар ядроларидан 14000 дан 20000 км/с гача тезликда учиб чикади, бу 4 дан 9 МеВ гача кинетик энергияга тугри келади.  $\alpha$ –зарраларнинг тезликлари турли элементлар учун турлича, лекин айти бир элемент учун деярли бир хилдир.

$\alpha$ –зарра модда оркали утишида уз электр майдони билан унинг атомларига таъсир килиб, уларни кучли ионлаштиради ва уз энергиясини атомларни ионлашга сарфлаб тухтайди; бунда у моддада мавжуд булган эркин электронлардан иккитасини узига кушиб олади ва гелий атомига айланади.

$\alpha$ –зарранинг моддадан утган йулини (тухташгача) унинг чопиши (югуриши), яъни утувчанлик кобилияти дейилади,  $\alpha$ –зарранинг чопишида хосил килган жуфт ионлар сонини эса унинг ионлаштириш кобилияти дейилади.

Масалан,  $\alpha$ –зарранинг хавода утган йули 3–9 см ни ташкил килади, уларнинг ионлаштириш кобилияти эса 100000–250000 жуфт ионга тенг,  $\alpha$ –зарранинг ионлаштириш кобилияти юкори, лекин утувчанлик кобилияти заиф. Уларни юпка алюминий вараги ёки когоз вараги билан хам тутиб колиш мумкин.

### §1.1.2. Бета–нурлар

Бета–нурлар электр ва магнит майдонларда огади. Улар тез харакатланувчи электронлар окимидан иборат булиб,  $\beta$ –зарралар деб аталади.  $\beta$ –зарранинг массаси альфа–зарра массасидан 7350 марта кичик, унинг уртача тезлиги 160000 км/с га якин. 1–расмда магнит майдонда зарраларнинг огиши курсатилган.  $\beta$ –зарранинг энергияси МеВ нинг юздан

бир улушидан бир неча MeV гача булади ёки бошқача айтганда,  $\beta$ -зарралар тезликнинг мумкин булган барча кийматларини олиши мумкин: радиоактив элементнинг ядроси тезлиги нолга ёки ёруглик тезлигига якин булган  $\beta$ -зарраларни чиқариши мумкин.

$\beta$ -зарранинг массаси нихоятда кичик, уртача тезлиги катта ва факат битта элементар зарядга эга булганидан унинг ионлаштириш қобилияти  $\alpha$ -зарраникидан уртача 100 марта кам, утувчанлик қобилияти эса худди шунча марта катта булади. Масалан, юкори энергияли  $\beta$ -зарра ҳавода 40 м гача, алюминийда 2 см гача, биологик тукимада 6 см гача йул утади.

### §1.1.3. Гамма-нурлар

Гамма-нурлар – частотаси жуда катта ( $10^{20}$  Гц), тулкин узунлиги эса жуда киска ( $10^{-12}$  м) булган электромагнит тулкинлар, яъни,  $\gamma$ -фотонлар окимидан иборат.  $\gamma$ -фотонларнинг энергияси 1 MeV чамасида булади.

$\gamma$ -нурлар энг каттик электромагнит нурлар булиб, куп жихатдан рентген нурларига ухшашдир. Уларга электр ва магнит майдонлар таъсир қилмайди (1-расмга қаранг), ёруглик тезлигига тенг тезлик билан тарқалади, кристаллдан утишида дифраксияланади, ҳаво катламидан утади. Киши танасидан бемалол утиб кетади.

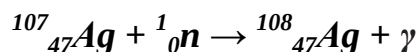
$\gamma$ -нурларнинг ионлаштириш қобилияти сустр, лекин утувчанлиги жуда катта. Енг каттик  $\gamma$ -нурлар қалинлиги 5 см булган кургошин катламидан ёки қалинлиги бир неча юз метр булган ҳаво катламидан утади. Киши танасидан бемалол утиб кетади.  $\gamma$ -нурлар атом ядросидан ҳеч вақт мустақил чиқмайди, улар ёки  $\alpha$ -зарралар билан, уoki  $\beta$ -зарралар билан, ёхуд иккала хил зарралар билан бирга чиқади.

### §1.2. Сунъий радиоактивлик

Сунъий радиоактивлик ҳодисасини 1934-йилда француз физиклари Ирен ва Фредерик Жолио-Кюрилар кашф қилишган. Улар ядроларнинг парчаланишини урганиш жараёнида куп ҳолларда парчаланиш маҳсулотлари

радиоактив хоссага эга эканлигини аниклаганлар. Ядро реакциялари натижасида хосил буладиган радиоактив моддалар сунъий радиоактив моддалар деб, ходиса эса сунъий радиоактивлик деб аталади.

Сунъий радиоактив моддалар турли ядро реакцияларида хосил булиши мумкин. Масалан, кумушнинг  $^{107}_{47}\text{Ag}$  баркарор изотопини нейтронлар билан бомбардимон килинганда унинг ярим емирилиш даври  $T=2,3$  минут булган  $^{108}_{47}\text{Ag}$  радиоактив изотопи хосил булади ва  $\gamma$ -нурлар чикади:



Кумушнинг  $^{108}_{47}\text{Ag}$  изотопи  $\beta^-$ -радиоактив хоссага эга булиб, у узидан электронни ва нейтринони чикаради хамда кадмийнинг  $^{108}_{48}\text{Cd}$  баркарор изотопига айланади:

$$^{108}_{47}\text{Ag} \rightarrow ^{108}_{48}\text{Cd} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\nu$$

Худди шунингдек, фосфор  $^{31}_{15}\text{P}$  нинг нейтронларни кушиб олиш реакцияси радиоактив изотопларни олишга мисол була олади. Бундай реакцияда  $\gamma$ -фотон чикади ва фосфорнинг радиоактив  $^{32}_{15}\text{P}$  изотопи хосил булади:

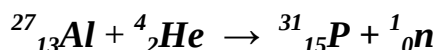
$$^{31}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ^{32}_{15}\text{P} + \gamma$$

Хосил булган  $^{32}_{15}\text{P}$  изотопнинг ярим емирилиш даври 14,3 кунга тенг. Бу изотоп  $\beta^-$ -емирилиш натижасида олтингугуртнинг баркарор  $^{32}_{16}\text{S}$  изотопига айланади:

$$^{32}_{15}\text{P} \rightarrow ^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\text{e}$$

$\alpha$ -,  $\beta$ - ва  $\gamma$ -емирилишлар табиий радиоактив моддалар каби сунъий радиоактив изотопларга хам хосдир. Лекин сунъий радиоактив моддалар ичида табиий радиоактив элементларга хос булмаган бошка тур емирилиш учрайди. Бу позитронлар чикариш билан буладиган емирилишдир.

Позитрон актив модданинг хосил булишига мисол тарикасида Жолио–Кюрилар кашф этган куйидаги реаксияни курсатиш мумкин:



Реакция натижасида хосил булган фосфорнинг  $^{30}_{15}\text{P}$  радиоактив изотопи (ярим емирилиш даври 2,5 минутга тенг) узидан позитрон ва нейтринони чикариб, кремнийнинг баркарор  $^{30}_{14}\text{Si}$  изотопига айланади:



Ядро реакцияларида барча сакланиш конунлари, жумладан, электр заряди ва масса сонининг сакланиш конунлари бажарилади.

### §1.3. Радиоактив емирилиш конуни

Радиоактив емирилиш элемент атомларининг аста–секин камайишига олиб келади. Качон ва айнан қайси атомнинг емирилишини олдиндан айтиш мумкин эмас, бинобарин, радиоактив емирилиш тасодикий характерга эга. Хар бир атомнинг маълум вақт оралигида емирилиш эҳтимоли тугрисидагина гапириш мумкин.

Радиоактив элемент емирилиш тезлигини характерлаш учун ярим емирилиш даври тушунчаси киритилади. Ярим емирилиш даври деб, бошлангич элемент атомлари микдорининг икки марта камайиши учун кетган вақтга айтилади.

Радиоактив емирилиш конуни жуда содда. Бу конуннинг математик ифодасини топайлик.  $t = 0$  булган бошлангич пайтда радиоактив атомлар сони  $N_0$  га тенг булсин. У холда ярим емирилиш даври  $T$  утгандан кейин бу сон  $N_0 / 2$  га тенг булиб қолади. Яна битта шундай давр утгандан кейин бу сон:  $1/2 * (N_0 / 2) = N_0 / 2^2$  га тенг булиб қолади.  $t = nT$  вақт утганда, яъни  $n$  та ярим емирилиш даври утгандан кейин қоладиган радиоактив атомлар сони қуйидагига тенг булади:  $N = N_0 / 2^n$

$$\text{Лекин } n = t / T \text{ булганлиги учун: } N = N_0 / 2^{t/T} \quad (1)$$

Бу (1)–ифода радиоактив емирилишнинг асосий конунидир. Бу конунни қуйидагича узгартирамиз:  $N / N_0 = 2^{-t/T}$

Сунгра муносабатнинг икки томонини логарифмлаймиз:

$$\ln (N / N_0) = (-1/T) \ln 2 \quad (2)$$

бу ифодага кирувчи

$$\lambda = \ln 2 / T = 0.693 / T \quad (3)$$

катталиқ радиоактив емирилиш доимийси деб аталади.

У ярим емирилиш даврига тескари пропорционал булган катталиқ булиб, радиоактив ядронинг бирлик вақт ичида емирилиш эҳтимолини

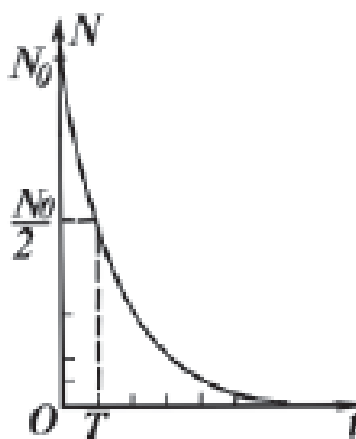
билдиради. (3)–ифодани эътиборга олиб, (2)–муносабатни қуйидагича ёзамиз:

$$\ln (N / N_0) = -\lambda / t$$

Бу ифодадан радиоактив емирилиш конуни учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$N = N_0 * e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Радиоактив емирилиш конуни график равишда 2–расмда кўрсатилган.



2– расм. Радиоактив емирилиш конуни графиги

Ярим емирилиш даври турли радиоактив элементлар учун турличадир. Масалан, уран учун 4,5 млрд йил, радий учун 1600 йил. Ярим емирилиш даври радиоактив емирилиш тезлигини характерловчи асосий катталиқдир. Бу давр канча кичик бўлса, емирилиш шунча интенсив бўлади. Бинобарин, радийнинг активлиги (1 секундда емириладиган атомлар сони) ураннинг активлигидан анча катта экан.

Ярим емирилиш даври модданинг массасига боғлиқ эмас. Бир грамм моддадаги атомларнинг ярми канча вақт ичида емирилса, 1 килограмм, 1 тонна ва ихтиёрий бошқа массали модда атомларининг ярми ҳам шунча вақт ичида емирилади. Бундан ташқари муайян радиоактив элементнинг ярим ёмирилиш даври бу элементнинг кимёвий жихатдан соф ёки бошқа элементлар билан бирикма сифатида олинганига боғлиқ бўлмаслиги тажрибада аниқланган.

Айни радиоактив модданинг ярим емирилиш даври узгармас катталиқ эканлигини ва унинг кийматини ҳеч қандай таъсир (паст ва юқори температура, босим, магнит майдони ва ҳоказо) узрағтира олмаслигини қўғина тажрибалар қўсатади. Ярим емирилиш даврининг таъқи шароитга бōғлиқ эмаслиғи радиоактив емирилиш атом ядроларининг хоссалари эканлигини билдиради, одатдағи Ер шароитидағи таъсирларнинг энергияси эса атом ядроларини узғартириш учун етарли эмас.

Радиоактив емирилиш доимийсига тесқари бўлган

$$\tau = 1 / \lambda \quad (5)$$

катталиқни радиоактив изотопнинг уртача яшаш вақти деб аталади. Радиоактив емирилиш қонунига қўра  $t = \tau$  вақт утғандан сўнг қўйидағича бўлади:

$$N = N_0 * e^{-\lambda t} = N_0 * e^{-\lambda \tau} = N_0 / e$$

Демак, радиоактив емирилиш туғайли бōшланғич радиоактив ядролар сони  $N_0$  нинг  $e$  марта қамайиши учун кетган вақт радиоактив изотопнинг уртача яшаш вақтига тенг экан. (3) ва (5) формулалардан

$$\tau = 1 / \lambda = T / 0,693 = 1,44 T \quad (6)$$

еканлиғи қелиб қикади, яъни уртача яшаш вақти  $\tau$  ярим йемирилиш даври  $T$  дан тахминан 1,5 марта қатта экан.

#### §1.4. Радиоактив оила

Радиоактив емирилишда пайдо бўладиган янғи ядролар, уз навбатида, радиоактив бўлиши мумкин. Шунинг учун радиоактив емирилиш жараёни радиоактив айланешлар занжирини ҳосил қилади, бу занжир билан бōғланган ядролар радиоактив қатор ёки радиоактив оила деб аталади.

Альфа– ва бета–емириладиган барча элементларни туртга радиоактив қаторга ёки радиоактив оилага ажратиш мумкин. Радиоактив оила – бу радионуклидлар қетма–қетлиғи бўлиб, унда радионуклидларнинг ҳар бири аввалғисининг радиоактив емирилиши натижасида ҳосил бўлади. Емирилиш барқарор изотоп ҳосил бўлмағунча давом этади. Уқта радиоактив оиланинг

бошлангич элементи булиб  $^{238}_{92}\text{U}$  (уран–радий катори),  $^{232}_{90}\text{Th}$  (торий катори) ва  $^{235}_{92}\text{U}$  (актино–уран катори) хизмат килади. Табиатда яна битта радиоактив оила мавжуд булиб, у  $^{237}_{93}\text{Np}$  (нептуний катори) нептуний оиласи деб номланади, бироқ у Ер сайёрасининг эволюция вақти мобайнида емирилиб булган хисобланади.

$^{238}_{92}\text{U}$ ,  $^{232}_{90}\text{Th}$  ва  $^{235}_{92}\text{U}$  оилаларнинг емирилиш схемалари 3–5–расмларда келтирилган. Ушбу емирилиш каторларига хос булган хусусият шундан иборатки, емирилиш занжирининг урта қисмида радиоактив газлар радон  $^{222}_{86}\text{Rn}$ , торон  $^{220}_{86}\text{Rn}$  ва актинон  $^{219}_{86}\text{Rn}(\text{An})$  радионуклидлари мавжуд булиб, уларнинг ҳар бири кургошин элементининг барқарор изотопи билан якунланади. Инсон организмнинг нурлантирилишида ҳал қилувчи рольни хусусиятлари уйнайди. Буни шу билан тушунтириш мумкинки, табиий уранда  $^{238}_{92}\text{U}$  изотопи 99,3% микдорида мавжуд булади,  $^{235}_{92}\text{U}$  микдори эса кичик булиб, бор–йуги 0,7% ни ташкил этади.

Радиоактив ядронинг емирилиш жараёнида янги радиоактив ядролар ҳосил булиши мумкин. Буни радиоактив оилалар емирилиши схемаларида кузатиш мумкин. Бундай ҳолатларнинг энг кизикарлисини факат она ва унга мос келувчи ҳосилавий ядроларнинг емирилиши ташкил этади. Она ядролар сони вақтга боғлиқ ҳолда мураккаб узгариб боради ва (1) қонуниятга бўйсунди

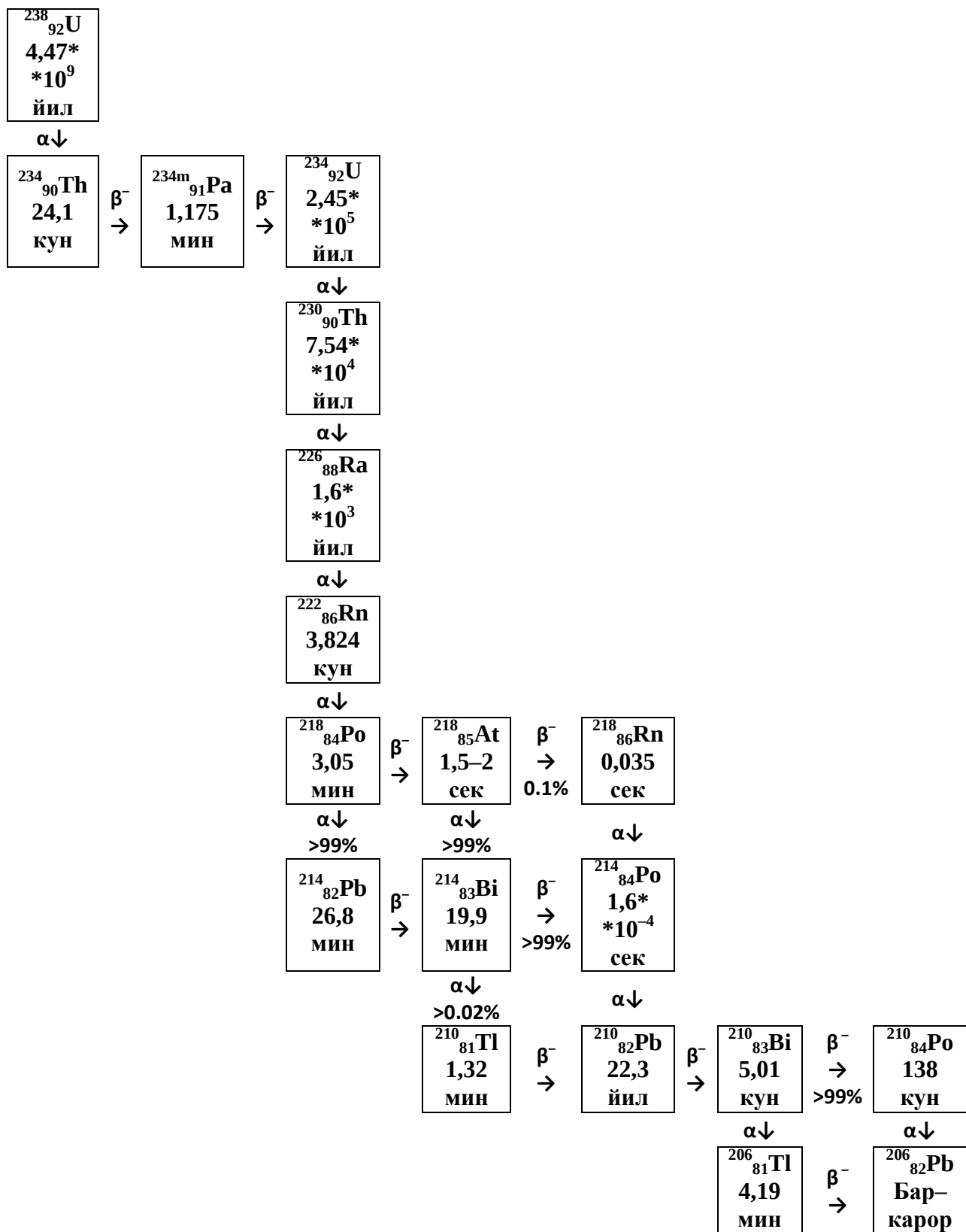
$$N = N_0 * e^{-\lambda t}$$

Хусусий ҳолда, яъни бошлангич пайтда она ядролар сони  $N_m$  булса, ҳосилавий ядролар эса булмаса, яъни  $N_x=0$ , унда

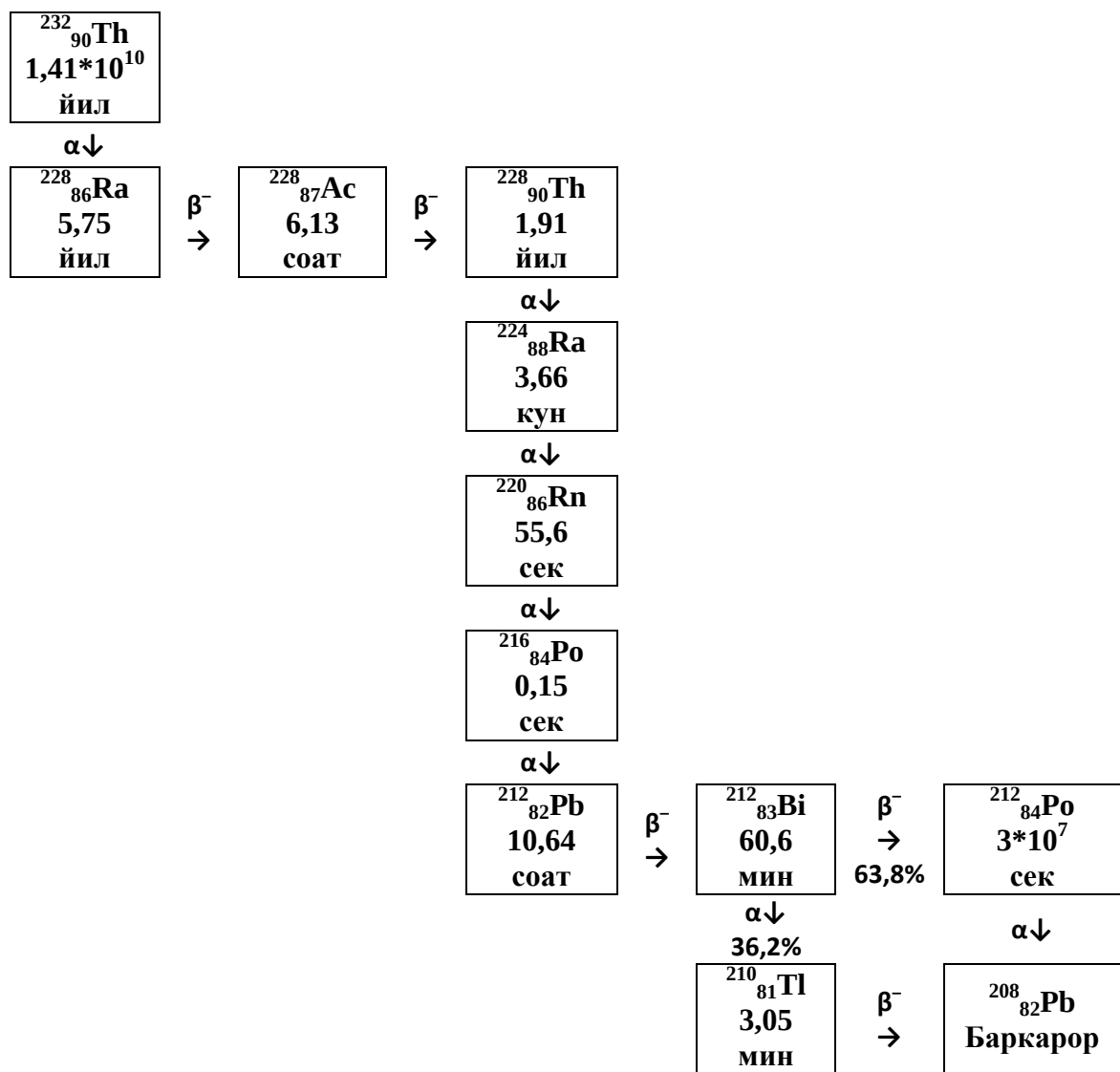
$$N_1 = N_m * e^{-\lambda_1 t} \quad (7)$$

$$N_2 = (N_m * e^{-\lambda_1 t}) * (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) / (\lambda_1 - \lambda_2) \quad , \quad (8)$$

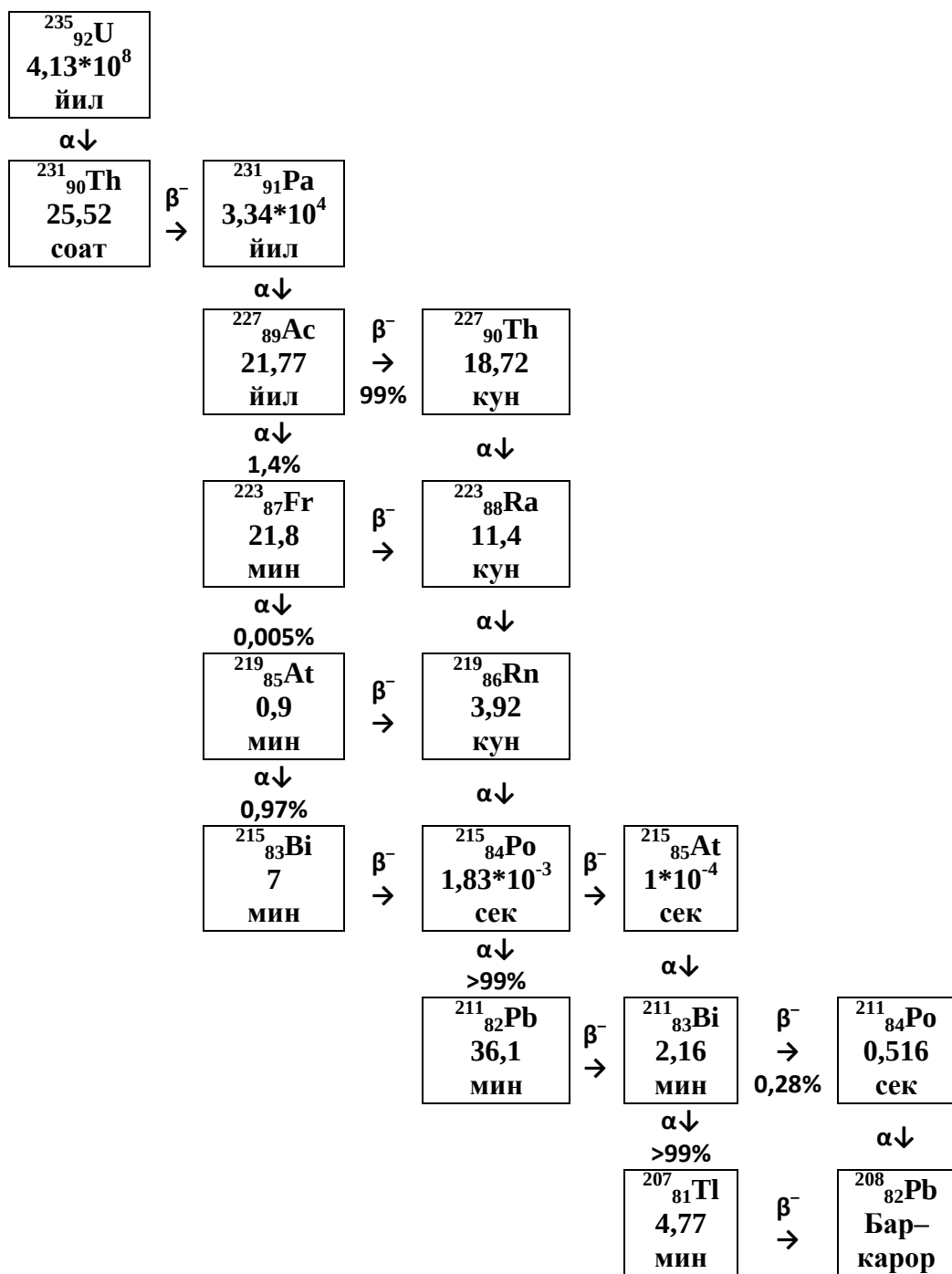
бу ерда  $\lambda_1$ – ва  $\lambda_2$ – мос равишда она ядро ва ҳосилавий ядронинг емирилиш доимийларидир.



3-расм.  $^{238}_{92}\text{U}$  нинг радиоактив оиласи



4-расм.  $^{232}_{90}\text{Th}$  нинг радиоактив оиласи



5–расм.  $^{235}_{92}\text{U}$  нинг радиоактив оиласи

Агар она ядронинг яшаш вакти хосилавий ядронинг яшаш вактидан катта булса, унда она ядронинг ярим емирилиш даври  $T_m$  хосилавий ядроларнинг ярим емирилиш даври  $T_x$  дан анча катта булади, яъни  $T_m \gg T_x$ , чунки  $\lambda_1 \ll \lambda_2$ . Юкоридаги тенгликларнинг тахлилидан шундай хулоса келиб чикадики, агар кузатув вакти хосилавий ядролар ярим емирилиш вактидан кичик булса, у холда она ядроларнинг дастлабки пайтдаги сони кузатув вакти мобайнида узгармай қолади. Кандайдир маънода киска вақт яшайдиган хосилавий ядроларнинг жамланиши содир булади. Агарда кузатув вакти хосилавий ядролар ярим емирилиш вақтига нисбатан анча катта булса, у холда юкоридаги тенгликлар куйидаги ифодани беради:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (9)$$

Ушбу ифода асрий тенглама ёхуд радиоактив мувозанат тенграмаси деб аталади. Асрий тенграманинг маъноси шуни англатадики, хосилавий ядроларнинг емирилишлари сони  $\lambda_2 N_2$  она ядроларнинг емирилиш сони  $\lambda_1 N_1$  га тенг.

$N_1/N_2$  нисбатнинг доимийлиги ихтиёрий вақт моментида хосилавий ядролар емирилишлар сонининг камайиши радиоактив она ядрола емирилишлари сонининг ортиши билан компенсация булиши оркали тушунтирилади.

Маълумки,

$$T = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

ҳамда

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 .$$

Шуларни ҳисобга олсак, асрий тенграманинг бошқача қурилишини, яъни

$$N_1/N_2 = T_m / T_x ,$$

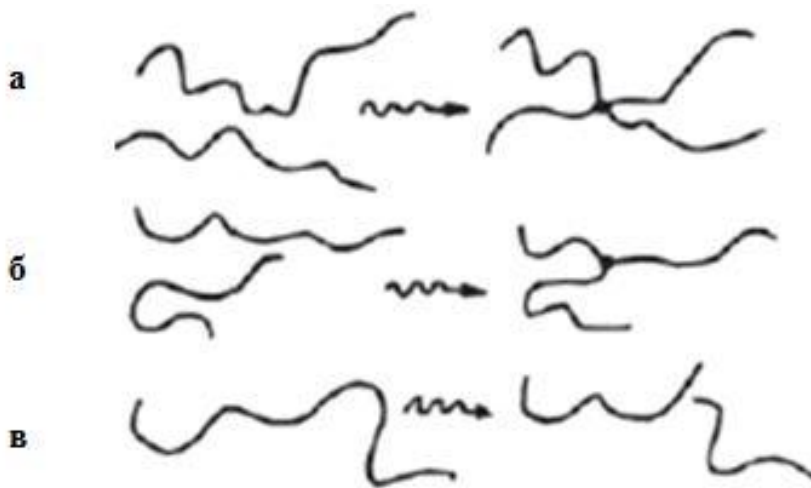
$$T_m \gg T_x$$

ифодаларни ҳосил қилиш мумкин.

## §1.5. Ядровий нурланишнинг кимёвий ва биологик таъсири

### §1.5.1. Нурланишнинг кимёвий таъсири

Ядровий нурланиш моддадан утаётганида унда турли кимёвий узгаришларни юзага келтиради. Нурланиш молекула ёки атомларни ионлаши, уйготиши, диссоциациялаши мумкин. Бунда бирламчи нурланиш зарралари кандай турда (рентген ва  $\gamma$ -нурлар, электронлар,  $\alpha$ -зарралар, протонлар, тез нейтронлар) булганда ҳам, молекулаларнинг кимёвий узгаришига уларнинг иккиламчи (нурланиш таъсирида юзага келган) электронлар, булиниш парчалари, тепки ядролар,  $\gamma$ -квантлар кабилар билан узаро таъсирлашиши сабаб булади. Бундай узаро таъсирнинг махсулотлари: ионлар, эркин радикаллар, уйгонган зарралар, одатда, бошка молекулалар билан кимёвий реакцияларга киришади. Натижада модданинг кимёвий таркиби, физик ва кимёвий хоссалари узгариши мумкин. Масалан, нурланиш таъсирида полимерлар хоссалари уларда руй берадиган радиацион-кимёвий реакциялар туфайли узгаради.



**6-расм. Ионизацион нурланиш таъсири натижасидаги молекулалардаги кимёвий реакциялар.**

Ядровий нурланиш полимер молекулаларининг тузилишини узгартирувчи бир катор кимёвий реакцияларни, хусусан, молекулалар орасида кимёвий боғланишлар (бирикиш) (6- а, б- расм), молекулаларнинг

узилиши (деструкция) (б-в-расм) (расмда молекуланинг бошлангич ва охири ҳолатлари тасвирланган), ҳар қандай қуш боғланишларнинг ҳосил бўлиши ва йуқолиши, газсимон маҳсулотлар (водород ва бошқалар)нинг ажралиши ва шу кабиларни юзага келтирадики, бу, уз навбатида, полимерларнинг физик хоссаларининг узгаришига олиб келади. Масалан, полиэтилен, табиий каучук, нейлон каби бир гуруҳ полимерлар  $\gamma$ -нурлар билан нурлантирилганда уларнинг узилишга мустаҳкамлиги ва температурага чидамлиги, материалнинг каттиклиги ортади, эрувчанлиги узгаради. Бошқа бир гуруҳ полимерлар, масалан, тефлон, селлюлоза, бутил-каучук кабилар борки, нурлантириш оқибатида уларнинг хоссалари ёмонлашади: толаларнинг узилиш узунлиги ҳамда уртача узунлиги кискаради, ёпишқоклиги камаяди ва хоказо.

Ядровий нурланиш таъсирида моддада руй берадиган радиацион-кимёвий узгаришларни урганиш икки жиҳатдан аҳамиятга эга: 1) Радиацион кимёвий узгаришлар атом техникасида ёки табиатда буладиган нурланишлар майдонларида руй беради. Бунда энг асосий мақсад – материаллар (атом реакторларидаги иссиқлик узаткичлар, нурланиш майдонларида ишлатиладиган полимерлар ва мойловчи материаллар ҳамда шу кабилар)ни имкони борича бузилиш ва йемирилишдан сақлаш. 2) Мухим қимматли янги хоссаларга эга материалларни олиш ва юқори самарали кимёвий технологик жараёнларни яратиш.

### **§1.5.2. Нурланишнинг биологик таъсири**

Радиацион нурланиш барча тирик объектларга, энг оддийси (вирус ва бактериялар) дан тортиб то инсонларгача, қучли таъсир қилади, уларга шикаст етказди, ҳатто нобуд қилишгача олиб келади. Биологик объектнинг нурланишга радиосезгирлик деб аталадиган таъсирчанлиги ва унда тула ютилган нурланиш дозаси объектнинг шикастланиш даражасини аниқлайдиган асосий омиллардир.

Организмнинг радиация таъсирида зарарланиши асосида молекуляр ва хужайра структуралар шикастланишининг бирламчи жараёнлари – атом ҳамда молекулаларнинг ионлашиши ва шу туфайли хуларнинг кимёвий фаоллигининг узгариши ётади. Бунинг оқибатида муҳим биологик макромолекулалар – оксиллар, ферментлар, нуклеин кислоталар, полисахаридлар ва хоказолар нурланиш таъсирида бир катор узгаришларга, купрок кайтмас узгаришларга дучор бўлади. Нурланиш таъсирида биологик макромолекулаларда уларнинг биологик (ферментатив, гормонал ва хоказо) фаоллигининг йуқолиши, деполимерлашиш ва, аксинча, янги кимёвий боғланишнинг ҳосил бўлиши, дезаминлашиш (кимёвий бирикмадан  $NH_2$  аминогурухни юлиб ажратиш), радиацион оксидланиш ва шу каби узгаришлар юзага келади.

Аниқланишича, организмнинг температурасини 0,001 градусгагина кутара оладиган даражада ютилган нурланиш дозаси организм хужайраларининг ҳаёт фаолиятини издан чиқариш учун етарли экан. Тирик хужайранинг турли қисмлари радиоактив нурланишнинг бир хил дозасига нисбатан турлича сезгир бўлади. Нурланишга хужайраларнинг ядролари, айниқса, тез бўлинадиган хужайраларнинг ядролари сезгир бўлади.

Шунинг учун нурланиш, биринчи навбатда, организмда илиқни шикастлайди, бунинг натижасида қон ҳосил бўлиш жараёни бўзилади (қон саратони касаллигига дучор қилади), нурланиш оқват ҳазм қилиш йулининг хужайраларига – меъда ва ичакларнинг шиллик қатламларига таъсир қурсатади. Катта дозалардаги нурланиш нобуд бўлишга олиб келади, қамрок дозаларда эса катор касалликлар (нур касаллиги) пайдо бўлади.

Биологик химоя. Радиоактив изотоплар, атом реакторлари каби радиоактив нурланиш манбалари билан ишлашда нурланишнинг таъсир доирасига тушиши мумкин бўлган барча ишловчиларни нурланишдан химоя қилиш чораларини қуриш лозим. Радиацион нурланиш интенсивлиги манбагача бўлган масофанинг квадратиға тесқари пропорционал равишда қамайишини назарға олсак, муҳофазанинг энг оддий усули – одамларни

нурланиш манбайидан етарлича каттарок масофага узоклаштиришдир. Шу маънода радиоактив препаратли ампулаларни кул билан эмас, балки узун дастали кискичлар билан ушлаш мақсадга мувофикдир.

Радиация манбайидан керакли масофагача узоклашишнинг имкони булмаган холларда муҳофаза қилиш учун нурланишни ютувчи материаллардан қилинган тусиклардан фойдаланиш зарур.

Маълумки, «нейтрал нурланиш» ҳисобланувчи рентген нурлари,  $\gamma$ -квантлар ва нейтронлар оқимининг моддаларга қирувчанлик қобилияти катта. Шунинг учун улардан муҳофаза қилиш анча қийин кечади. Рентген нурлари,  $\gamma$ -квантлар **Pb** қурғошинда энг қўп ютилади. Секин нейтронлар **B** борда ва **Cd** кадмийда яхши ютилади. Тез нейтронларни бу тусикларга йуналтиришдан аввал графитда секинлаштирилади.

$\alpha$ -нурланишдан ҳимояланиш анча содда:  $\alpha$ -зарраларни батамом ютиш учун бир варақ қогоз ёки бир неча сантиметр қалинликдаги ҳаво қатлами етарли, аммо радиоактив манбалар билан ишлаётганда нафас олиш ёки овқатланиш пайтларида  $\alpha$ -зарраларнинг организм ичига кириб кетишидан эҳтиёт бўлиш керак.

$\beta$ -нурланишдан ҳимояланиш учун қалинлиги бир неча сантиметр бўлган алюминий, плексиглас ёки шиша пластинкалар қўйя. Бу ҳолда  $e^-$ -электронлар модда билан узаро таъсирлашганда рентген нурланишининг,  $e^+$ -позитронлар модда билан таъсирлашганда эса бу зарраларнинг электронлар билан аннигиляцияланишида  $\gamma$ -нурланишнинг ҳосил бўлишини ҳисобга олиш лозим.

## II БОБ РАДИАЦИОН ФОН ТУШУНЧАСИ ВА ХОССАЛАРИ

### §2.1. Умумий радиацион фон

Ер юзидаги барча тирик мавжудод келиб чиқиши буйича табиий ва сунъий манбалардан чикувчи узлуксиз нурланиш остида яшамокда. Ушбу табиий ва сунъий радиоактив манбалар умумий радиацион фон (УРФ)ни шакллантиради. Ер радиацион фонининг ташкил этувчилари куйидагилар: 1) табиий радиоактивлик; 2) технологик жихатдан узгартирилган табиий радиоактивлик; 3) сунъий радиоактивлик.

Тупрокда, сувда, хавода инсон организмини доимий тарзда нурлаб турадиган радиоактив элементлар бор. Табиий радиоактивлик манбалари нурланишидан кутилишнинг ҳеч иложи йук. Коинотдан келувчи нурланиш инсонни бутун умри мобайнида нурлаб туради. Табиий радиоактив фон (ТРФ)ни коинот ва Ердаги табиий манбаларнинг ионизацион нурланиш шакллантиради.

Хозирги кунга келиб инсоният атом энергиясидан жадал фойдаланишни яхши йулга куйган: бу энергия ишлаб чиқариш жараени; ядровий ҳамда термоядровий куролларни ишлаб чиқариш; фойдали казилма бойликларни излаб топиш ва хоказо. Инсон фаолияти натижасидаги табиий манбаларнинг ионизацион нурланиши технологик жихатдан узгартирилган табиий радиацион фон (ТЖУТРФ)ни шакллантиради.

Уран рудалари, калийли угитлар каби казилма бойликларни жамлаш, табиий радионуклидлари бор қурилиш материаллардан фойдаланиш, органик ёкилгининг ениш маҳсулотлари, самолетлар парвозлари – буларнинг барчаси технологик жихатдан узгартирилган табиий радиацион фонга уз хиссасини қушувчи факторлардир.

Бундан ташқари кейинги йилларда ионизацион нурланишнинг сунъий манбалари қулланиладиган қурилма ва асбоблар кенг тарзда ишлатилмокда. Масалан, тиббиётда ишлатиладиган қурилмалар, илмий изланишларда қулланиладиган қурилмалар. Сунъий манбаларнинг ионизацион нурланиши

сунъий радиацион фон (СРФ)ни шакллантиради. Хозирги кнда сунъий радионуклидлар онкологик касалликларни даволашда, ташхиз куйиш марказларида кенг кулланилмокда.

Демак, умумий радиацион фонни куйидагича ифодаласа булади:

$$\text{УРФ} = \text{ТРФ} + \text{ТЖУТРФ} + \text{СРФ}$$

Табиий ва сунъий радиация манбалари томонидан инсон организмини нурлаши даражаси тугрисида куйидаги жадвалда келтирилган маълумотлар асосида мулохаза юритса булади.

**1–жадвал**

***Табиий ва сунъий радиация манбалари нурланиши  
эффектив дозасини уртача йиллик курсаткичлари***

| <i>Радиация манбалари</i>  | <i>Нурланиш<br/>дозаси, мЗв</i> |
|----------------------------|---------------------------------|
| Табиий                     | 2                               |
| Сунъий                     |                                 |
| Тиббиётда                  | 0,4                             |
| Радиоактив егингарчиликлар | 0,02                            |
| Атом энергияси             | 0,001                           |
| <b>Жами:</b>               | <b>2,421</b>                    |

Жадвалдан куруниб турибдики, инсон кабул килувчи нурланиш дозасининг асосий кисмини (2 мЗв) табиий радиация манбалари нурланиши ташкил этмокда. Шу боис радиацион фоннинг ушбу ташкил этувчисини батафсилрок куриб чикиш максадга мувофик.

## **§2.2. Табиий радиацион фон**

Табиий радиацион фон (ТРФ)ни космик нурлар ва уларнинг атмосфера атом ва молекулалари билан узаротаъсири натижасида вужудга келувчи радионуклидлар нурланиши, Ер кобигида, сув, хаво ва озик–овкатлар таркибида мавжуд булган табиий радионуклидлар нурланишлари шакллантиради.

ТРФ таъсири остида инсоният куп минг йиллик давр мобайнида яшаб келмокда, шу боис ТРФ – бу инсон хаётининг табиий яшаш мухити деб хисобласа булади. ТРФ муайян худуд учун жуда давомли вақт мобайнида узгармас булиб туради. Бинобарин, ундан сунъий манбаларнинг ионизацион нурланиш даражасини баҳолашда эталон сифатида ишлатса булади.

Ер сиртининг бир квадрат метри юзасига ҳар секундда космосдан  $10^4$  дан зиёд зарядланган зарралар ва ядролар келиб тушади. Бу ходиса бирламчи космик нурланиш деб айтилади. У асосан протонлардан (90% атрофида) ва альфа–зарралардан (6% атрофида) ташкил топган. Колган қисми огир ядролар, электронлар, нейтронлар ва электромагнит нурланиш квантларига тугри келади.

Бирламчи космик нурланишининг энергияси жуда катта ( $10^{10}$  эВ) эканлиги аниқланган. Бирламчи космик нурланиш ҳаво атомлари билан узаро таъсирлашади, натижада иккиламчи космик нурланиши оқими вужудга келади. Ушбу нурланиш туркибида ҳозирга келиб фанда маълум булган барча элементар зарралар киради. Иккиламчи космик нурланиш таркиби ва интенсивлиги денгиз сатҳига нисбатан қандай баландликдалигига ҳамда жойнинг географик кенгламасига сезиларли даражада боглиқ булади. Космик нурланиш интенсивлигининг жой кенгламасига қараб узгаришини Ерни улкан магнит деб тасаввур этиш билан тушунтириш мумкин. Космик нурлар заврядланган нурлар булганлиги учун улар Ернинг магнит майдонида огадилар, айникса экватор соҳасида қучли тарзда ва кутблар худудида йигиладилар. Шу сабабли экватор яқинида космик нурланиш дозаси энг кичик микдордадир.

Иккиламчи космик нурланиш атмосферадаги азот ва кислород атом ядролари билан узаротаъсирлашиб космоген радионуклидларни ҳосил килади. Булар:  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$  ва бошқалар. Ушбу космоген радионуклидлар ҳам инсон организмига таъсир этувчи нурланишга уз хиссасини қушади. Инсон денгиз сатҳига нисбатан қанчалик баландрокка кутарилаверса, унинг нурланиш дозаси шунчалик юкори булади. Бундай

узгариш инсон учун химоя экрани ҳисобланадиган ҳаво катлами калинлигининг камайиб боришига боғлиқдир.

Табиий радиоактив фоннинг иккинчи ташкил этувчиси – бу Ер қобиғида мавжуд бўлган табиий радионуклидлар. Булар асосан  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  ва  $^{238}\text{U}$  ҳамда  $^{232}\text{Th}$  радиоактив оилалар аъзолари. Табиий радионуклидларнинг Ер қобиғидаги тарқалиш тақсимооти турли жойларда бир хил эмас. Табиий радионуклидлар энг кўп миқдорда тоғ жинсларида қўзғатилган. Буни 2–жадвалда келтирилган маълумотлар қўрсатиб турибди.

2–жадвал

**Тоғ жинслари таркибидаги радионуклидларнинг  
уртача солиштирма активлиги**

| Тоғ жинслари турлари | A, мБк / г      |                  |                   |
|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|
|                      | $^{40}\text{K}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{232}\text{Th}$ |
| Магмасимон           |                 |                  |                   |
| Гранит               | 1000            | 60               | 80                |
| Диорит               | 700             | 20               | 30                |
| Базальт              | 240             | 10               | 10                |
| Дюрит                | 150             | 0,4              | 25                |
| Чукмасимон           |                 |                  |                   |
| Охактошлар           | 90              | 30               | 7                 |
| Карбонатлар          | –               | 27               | 8                 |
| Кумликлар            | 370             | 19               | 10                |
| Сланцлар             | 700             | 44               | 45                |

Ер қобиғидаги табиий радионуклидлар нурланиши эъвазига инсон бир йилда 0,3 дан 0,6 мкЗв доза олар экан. Турли типдаги тупроқларда радионуклидлар ҳам турлича миқдорда бўлади. Масалан, тупроқ турича қараб  $^{40}\text{K}$  радионуклидининг уртача солиштирма активлиги 110–740 Бк/кг,  $^{238}\text{U}$  11–52 Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  эса 7,5–48 Бк/кг оралиғида ўзгариб туради. Қўпроқ миқдори оддий тупроқ (серозём) ва қоратупроқ (чернозём) турларида, озроқ миқдори эса торфли тупроқларда қўзғатилган. Шунинг учун ҳам иморат

куриш пайтида иморат учун жой танлаш жараёнида тупрок таркибидаги радионуклидлар активлигига алоҳида эътибор қаратиш лозим. Чунки тупрокдан иморат хоналари ичига, хавосига радиоактив газлар келиб туради. Хаво таркибида космоген радионуклидлар Ер қобиғидан кутарилиб турувчи радиоактив газлар, инсон фаолияти натижасидаги радиоактив чанглар мавжуд бўлади.

Бир йил давомида табиий радиация манбалари томонидан инсон қабул қилган нурланиш дозалари ташқи манбаларда юқори, ички манбаларда эса кичикроқлиги аниқланган. Бундай маълумотлар қуйидаги жадвалда келтирилган.

**3–жадвал**

***Табиий радиация манбалари нурланиши  
эффeктив дозасининг уртача йиллик курсаткичлари***

| <i>Радиация манбалари</i>    | <i>Нурланиш<br/>дозаси, мЗв</i> |
|------------------------------|---------------------------------|
| Ташқи нурланиш               |                                 |
| Космик нурлар                | 0,30                            |
| Ер қобиғидаги радионуклидлар | 0,35                            |
| Ички нурланиш                |                                 |
| Космоген радионуклидлар      | 0,015                           |
| Ер қобиғидаги радионуклидлар | 1,325                           |
| <b>Жами:</b>                 | <b>2,0</b>                      |

### **§2.3. Қурилиш материаллари радиоактивлиги**

Турли қурилиш материаллари одатда табиий хомашелардан тайёрланади. Бироқ баъзида хомашё сифатида саноат чиқиндилари, масалан қимё саноати чиқиндилари ҳам ишлатилади. Бундай қурилиш материалларидан барпо этилган иморат хоналарида радиоактивлик даражаси инсон организмга хавфсиз бўлган радиоактивлик даражасидан юқори бўлиб қолиши мумкин. Тугри, иморат хонасининг радиоактивлик даражасини асосан радиоактив газ – радон шакллантиради. Радон иморат хонасига пол

орасидаги тиркишлар, коммуникацион трубалар атрофидан, деворнинг ёрилган жойларидан, девор ички бушликларидан кириб келади. Шу билан биргаликда радон газы курилиш материалларининг эксхалацияси (бугланиши) эвазига хам хонани тулдиради. Куйидаги жадвалда иморат хонасидаги радон газы манбаларининг радиоактивлик даражасига кушган хиссаси тугрисида маълумотлар келтирилган.

#### 4–жадвал

##### *Иморат хонасидаги радон газы манбаларининг улушлари*

| <i>Манбалар</i>                        | <i>Улуши, %</i> |
|----------------------------------------|-----------------|
| Иморат остидаги тупрок ва тог жинслари | 70              |
| Ташки хаво                             | 13              |
| Курилиш материаллари                   | 7               |
| Сув                                    | 5               |
| Табиий газ                             | 4               |
| Бошка манбалар                         | 1–2             |

Куришиб турибдики, курилиш материаллари хам хонанинг умумий радиацион ҳолатига сезиларли хисса кушар экан. Дастлабки ёндашишда инсон радиацион таъсир остида купрок ташкарида юрганида булиши керакдек, бироқ шамоллатиб турилмайдиган, ёпик иморат ва унинг хоналарида инсон организмига таъсир этувчи нурланиш даражаси баъзида ташкарида юргандаги даражага нисбатан 8 баробар юкори булиши мумкин экан. Бунда асосий нурланиш манбалари билан бир каторда курилиш материаллари хам кучли факторлардан бири хисобланади.

Бундан ташкари иморат хонасидаги гамма–нурланиш доза кувватига курилиш материаллари табиий радионуклидларининг факатгина солиштирма активлиги эмас, балки шу радионуклидларнинг гамма–нурланиш спектри хам уз хиссасини кушади ва натижада иморат хонасидаги умумий гамма–фонни шакллантиради.

Демак, юкоридаги мулохазаларга кура курилиш материаллари инсон организмини нурлантирувчи кушимча манба булиб хисобланади. Курилиш

материалларининг радиоактивлигини урганиш асосан чет давлатларда кенгрок ривож топди. Олинган натижалар куйидаги 5–жадвалда келтирилган.

5–жадвал

**Турли курилиш материалларидаги  
табiiй радионуклидларнинг солиштирма активлиги**

| Мамлакат             | Курилиш материали                                        | Солиштирма активлик, Бк / кг |                   |                 |                  |
|----------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|
|                      |                                                          | $^{226}\text{Ra}$            | $^{232}\text{Th}$ | $^{40}\text{K}$ | $A_{\text{эфф}}$ |
| 1                    | 2                                                        | 3                            | 4                 | 5               | 6                |
|                      | <b>Курилиш тоши</b>                                      |                              |                   |                 |                  |
| Буюк Британия        | Гранит                                                   | 89                           | 81                | 111             | 204              |
| Германия             | Гранит                                                   | 100                          | 80                | 1299            | 315              |
|                      | Базальт                                                  | 33                           | 37                | 444             | 119              |
|                      | Туф, пемза                                               | 111                          | 126               | 1073            | 367              |
|                      | Охактош, мрамар                                          | 18                           | 18                | 37              | 45               |
|                      | Кумликлар                                                | 33                           | 33                | 480             | 117              |
|                      | <b>Бетонни тулдирувчи</b>                                |                              |                   |                 |                  |
| Германия             | Кум, шагал                                               | 15                           | 18                | 241             | 59               |
| Финляндия            | Кум, шагал                                               | 37                           | 43                | 1054            | 183              |
| Буюк Британия        | Кум, шагал                                               | 4                            | 7                 | 33              | 16               |
| АКШ                  | Кум, шагал                                               | 230                          | 30                | 440             | 107              |
|                      | <b>Коришмани богловчи</b>                                |                              |                   |                 |                  |
| АКШ                  | Цемент                                                   | 18                           | 11                | 111             | 41               |
| Буюк Британия        | Цемент                                                   | 22                           | 18                | 155             | 59               |
| Германия             | Цемент                                                   | 26                           | 18                | 241             | 70               |
| Венгрия              | Цемент                                                   | 26                           | 18                | 149             | 63               |
| Финляндия            | Цемент                                                   | 44                           | 26                | 241             | 98               |
|                      | <b>Гишт</b>                                              |                              |                   |                 |                  |
| Буюк Британия        | Гишт                                                     | 52                           | 44                | 703             | 170              |
|                      | Силикатли гишт                                           | 15                           | 4                 | 33              | 48               |
| Венгрия              | Гишт                                                     | 48                           | 52                | 629             | 169              |
| Германия             | Гишт                                                     | 59                           | 67                | 673             | 204              |
|                      | Силикатли гишт                                           | 22                           | 22                | 222             | 70               |
|                      | <b>Саноат чикиндилари асосидаги курилиш материаллари</b> |                              |                   |                 |                  |
| АКШ, Иллинойс        | Кул                                                      | 3145                         | 7                 | 1850            | 3310             |
| АКШ,<br>Пенсильвания | Кул                                                      | 96                           | 18                | 407             | 155              |
| Польша               | Кул                                                      | 133                          | 109               | 451             | 314              |
|                      | Шлак                                                     | 67                           | 18                | 481             | 132              |
| Германия             | Кул                                                      | 211                          | 129               | 721             | 221              |
|                      | Шлакли бетон                                             | 121                          | 101               | 529             | 299              |

Инсон организмнинг нурланишини меъёрлаш мақсадида қурилиш материалларидаги табиий радионуклидлар солиштирама активлиги курсатгичи урнига эффектив солиштирама активлик киритилган. Унинг кийматлари  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ , ва  $A_K$  ларнинг махсус тузатма коэффициентларини ҳисобга олган ҳолдаги йигиндисидан иборат. Махсус коэффициентлар  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  ва  $^{40}K$  радионуклидларнинг солиштирама активликларини радиоактив оилаларнинг қолган аъзолари билан мувозанатда бўлишлик шартидан келиб чиққан ҳолда белгиланган. 5–жадвалнинг охириги устунида ана шундай эффектив солиштирама активлик кийматлари келтирилган.

2– ва 5–жадвалларда келтирилган маълумотлар шуни курсатадики, табиий радиоактив нуклидларнинг энг юқори активлиги келиб чиқиши вулкон табиатига эга бўлган жинсларда, яъни гранит, диорит, туф, пемза каби жинсларда қузатиладиган экан, энг кичик активликлар эса карбонатли жинсларда, масалан мрамор ва охактошларда, уртача активлик эса, яъни тупроқ радионуклидларининг активлигига яқин кийматлар қум ва шағал учун қузатилади. Демак, қурилиш материаллари таркибидаги радионуклидлар активлиги қурилиш материаллари турига боглиқ экан.

Қуйидаги жадвалда эса собик иттифокнинг айрим ҳудудларида ишлатиладиган қурилиш материаллари бўйича табиий радионуклидлар эффектив солиштирама активлигининг уртача кийматлари келтирилган.

#### 6–жадвал

##### *Айрим давлатлар ҳудудидаги қурилиш материаллари табиий радионуклидларининг солиштирама активлиги*

| Мамлакат   | Солиштирама активлик, Бк / кг |            |          |           |
|------------|-------------------------------|------------|----------|-----------|
|            | $^{226}Ra$                    | $^{232}Th$ | $^{40}K$ | $A_{эфф}$ |
| Россия     | 25,2                          | 24,4       | 370      | 89        |
| Украина    | 28                            | 33         | 407      | 106       |
| Белоруссия | 24                            | 29         | 585      | 112       |
| Арманистон | 37                            | 42         | 792      | 159       |
| Грузия     | 28                            | 27         | 444      | 101       |
| Литва      | 27                            | 29         | 659      | 120       |

Иزلанишлар шуни курсатдики, курилиш материалларидаги эффектив солиштирма активлик кийматлари ушбу мамлакатлардаги тупрок учун булган кийматларига якин экан. Бирок, курилиш материалларининг алохида хар бир тури ёхуд махсулоти узига хос кийматларга эга экан. Масалан, Россиянинг худудлари буйича бундай кийматлар 7–жадвалда келтирилган.

**7–жадвал**

***Россия худудидаги турли курилиш материалларининг табиий радионуклидлари уртача солиштирма активликлари***

| <i>Материал тури</i>    | <i>Солиштирма активлик, Бк / кг</i> |                   |                 |                        |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|
|                         | <sup>226</sup> Ra                   | <sup>232</sup> Th | <sup>40</sup> K | <i>A<sub>эфф</sub></i> |
| Цемент                  | 33                                  | 18                | 155             | 69                     |
| Кум                     | 8                                   | 9                 | 192             | 36                     |
| Шагал                   | 14                                  | 14                | 318             | 59                     |
| Охак                    | 10                                  | 5                 | 32              | 19                     |
| Силикатли гишт          | 10                                  | 10                | 133             | 34                     |
| Кизил гишт,<br>керамзит | 33                                  | 39                | 581             | 132                    |
| Щебень:                 |                                     |                   |                 |                        |
| Гранитли                | 27                                  | 36                | 614             | 127                    |
| Охактошли               | 13                                  | 5                 | 41              | 22                     |
| Бетон                   | 22                                  | 15                | 185             | 58                     |
| Шлак                    | 44                                  | 22                | 163             | 27                     |

Ушбу жадвалдан куришиб турибдики, *A<sub>эфф</sub>* нинг энг катта кийматлари кизил гишт, керамзит, гранитли щебеньга тугри келади, энг паст кийматлари эса охак учун кузатилад экан.

Курилиш материалларини ишлаб чиқаришда турли хомашёлардан фойдаланилади. Масалан, баъзида бетон урнига унинг уринини босувчи махсулот ишлатилади, у эса саноат чиқиндиларидан ясалади. Бунда иссиқлик электростанцияларидаги чиқиндилар – кул ва шлак ёки домна печларининг чиқиндилари – конверторли шлаklar ишлатилади, ёхуд фосфогипсдан ҳам

ишлаб чиқарилиши мумкин. Саноат чиқиндиларининг тури ва улар қаердан олинганлиги жуда муҳим эканлигига ишонч ҳосил қилмоқдамиз.

Юқорида келтирилган маълумотлардан маълум бўладики, қурилиш материаллари табиий радионуклидлари активлигини урганиш муҳим аҳамиятга эга. Чунки қурилатган иморатларимиздаги радиацион фоннинг ташкил этувчиларидан бири – бу қурилиш материаллари. Бизнинг фикримизча, янги қурилатган иморатлар қандай жойда қурилатганлиги ёхуд уларни барпо этишда қандай қурилиш материалларидан фойдалиниляпти деган масалалар нихоятда муҳим масалалар бўлиб, инсон саломатлигини таъминловчи омиллардан бири.

Шу боис ҳам, мазкур битирув малакавий иш айнан қурилиш материаллари табиий радионуклидлари активлигини улчашни урганишга бағишланган. Бунинг учун эса даставвал мазкур соҳадаги изланишларда қандай асбоблар ва қандай тажрибавий услублар ишлатилишини қуриб чиқиш мақсадга мувофиқ деб ҳисоблаймиз.

### **III БОБ ТАБИИЙ РАДИОНУКЛИДЛАР АКТИВЛИГИНИ УЛЧАШНИНГ АМАЛИЙ УСЛУБЛАРИ**

#### **§3.1. Ионизацион нурланишни аниклаш ва уни улчаш асбоблари тугрисида умумий тушунчалар**

Ионлаштирувчи нурланишни инсон уз органлари ёрдамида бевосита сезмайди. Хаттоки куринма еруглик нурларидан факат частотаси билангина фарк килувчи гамма–нурланишни инсон органлари сезишга ожизлик килади. Шунинг учун ҳам ионлаштирувчи нурланишларни кайд килиш ва микдорий жихатдан улчаш учун махсус асбоблар керак булади. Уз функционал мақсадларига караб ушбу асбоблар дозиметр, радиометр ва спектрометрларга булинади.

Дозиметрлар – бу шунаканги асбобларки, улар ёрдамида ионизацион нурланиш манбалари мавжуд ёки мавжуд эмаслигини аниклаш мумкин. Агар манбалар мавжуд булса, улардан чиқаётган фотонли ёки электронли нурланишнинг ютилиш, эквивалент кувватларини улчаш мумкин.

Радиометрлар ёрдамида ионизацион нурланиш манбаларини кидириш ва топиш ишлари амалга оширилади. Топилган манбалардан улчаш учун тайёрланган намуналарнинг солиштирма, хажмий, сирт активликлари ёхуд эквивалент доза куввати аникланади.

Ионизацион нурланиш спектрометрлари эса ионлаштирувчи нурланиш спектрларини улчаш учун ишлатилади. Мана шундай спектрлардан радионуклидларни идентификация килиш ва уларнинг солиштирма активликларини аниклаш амаллари бажарилади.

Юқорида кайд этилган асбоблардан хар бири зарраларни кайд килувчи мосламага, яъни детекторга эга. Детекторлар энергия буйича ажратиб олиш кобилияти, вақт буйича ажратиб олиш кобилияти, кайд килиш эффективлиги, улик вақти каби узига хос характеристикаларга эга буладилар. Белгиланган мақсадларга мувофик ушбу характеристикаларга караб тегишли детекторларни тажрибага жалб килиш мумкин.

Ионлаштирувчи зарраларни кайд килишда ионизацион газли детекторлар, масалан ионизацион камера ишлатилади. Унинг ишлаш принципи бирламчи еки иккиламчи зарядланган заррачалар томонидан атом ва молекулаларни ионлаштиришга асосланган бўлиб заррача томонидан колдирилган тулик энергия улчанади. Камерада хосил булувчи электр импурси амплитудаси жуда кичик, шунинг учун ҳам ионизацион камера тажрибани бузувчи шовкинларга жуда сезгир булади. Бу каби камчиликлар ионизацион санагичларда бартараф этилган, масалан, Гейгер–Мюллер санагичларида, бироқ бундай санагичларнинг кайд килиш эффективлиги 100% га якин булишига карамасдан, уларнинг улик вакти ва вақт буйича ажратиб олиш кобилиятлари анча кичик хисобланади.

Ионизацион нурланишни кайд килувчи детекторлардан навбатдагиси оптик детекторлар хисобланади. Улар юкорида эслаб утган санагич ва камераларга караганда тезкоррок ишлайди. Заррани кайд килишда махсус сцинтилляторлар ёрдамида чакнашлар содир этилади ва зарра томонидан колдирилган энергия электр импурсига айлантиради. Бундай детекторларда электр импурси сигналининг амплитудаси зарра энергиясига пропорционал булади. Шунинг учун ҳам оптик детекторларни факатгина радиометрларни яратишдагина эмас, балки спектрометрларни яратишда ҳам ишлатишади. Сцинтилляцион детекторлардан ташкари люминесцент детекторлар ҳам ишлатилади. Бу асбобларда фторли кальций  $\text{CaF}_2$ , фторли литий  $\text{LiF}$  каби термолюминофорлар кулланилади ва улар ердамида ютилиш дозасини жуда кенг кийматлар микъёсида улчаш мумкин.

Хозирга келиб ионизацион нурланишни кайд этишда ярим утказгичли детекторлар ҳам ишлатилади. Бу детекторлар ҳам худди ионизацион камералар каби ишлайди, факат ярим утказгичли детекторларда газ урнига ярим утказгич кулланилади. Бу юкори даражадаги энергия буйтча ажратиб олиш кобилиятини таъминлайди. Яримутказгичли детекторларни хар доим совутиб туриш керак, бундан ташкари нурланиш натижасида ярим

утказгичда радиацион нуксонлар тобора тупланиб боради ва детекторнинг характеристикалари емонлашиб боради.

### **§3.2. Ионизацион нурланиш спектрометрлари**

Спектрометриянинг асосий вазифаси ҳар бир радионуклиднинг активлигини улчаш ва ушбу радионуклиднинг намуна таркибидаги нисбий миқдорини аниқлашдан иборат. Шунинг учун ҳам ионлаштирувчи зарраларнинг спектрометрияси нурланиш характеристикаларини урганиш услублари билан атом ядролари хоссларини урганиш услублари уйғунлигида нурланиш спектрларини улчаш ва уларни интерпретация қилиш амалларини уз ичига олади.

Ионизацион нурланишни қайд қилувчи ва энергетик спектрларни улчовчи асбоблар спектрометрлар деб аталади ва нурланиш турига (альфа–, бета– ва гамма–спектрометрлар) ҳамда нурланишни қайд қилиш типига (ионизацион камера, термолюминесцент детектор, сцинтилляцион еки ярим утказгичли детектор) қараб тавсифланади.

Шулар ичидан мазкур малакавий иш мақсадларини амалга оширишда сцинтилляцион спектрометр қулланиши режалаштирилганлиги учун сцинтилляцион кристаллдан ташкил топган бир кристалли сцинтилляцион гамма–спектрометр билан батавсил танишиб утамиз. Танишишни мозийга назар қилишдан бошлаймиз.

#### **§3.2.1. Тарихга назар**

Резерфорднинг машҳур тажрибасида радиоактив манбадан чикувчи ва атом ядросида сочилувчи алфа–зарраларни санаш учун коронгу хонада соатлаб утириб рух сульфиди ( $ZnS$ )дан ясалган экрандаги чакнашларни кузатганлар. Бу элементар зарраларни қайд қилувчи илк детектор булиб, у Крукс спинтарископи деб аталар эди. Айнан шу асбоб ердамида атом ядроси кашф этилган эди. Албатта, бу асбоб вақт жихатидан жуда сийрак (секундига

икки мартадан ошмайдиган) руй берувчи ходисаларни санаш учун ярайди, холос. Узок вақт, яъни давомли кузатувларни олиб бориш ҳам нисбатан кийин кечар эди. Резерфорднинг эслашича, у икки минут давомида узлуксиз кузата олар эди, кейин унинг кузлари ешланиб ва чарчок аломатлари пайдо булар экан.

Резерфорд лабораториясида кузатув мусобакаси буйича Гейгер чемпион хисобланар эди. Лекин у уз чемпионлик шарафларидан воз кечиб газразрядли санагич – Гейгер санагичини ихтиро килди. Ана шу санагич сцинтилляция услубни, яъни чакнашлар услубини, маълум бир муддатга амалиётдан суриб чикарди.

1944–йилда Керран ва Бейкер сцинтилляцияларни санаш учун фотоэлектронли купайтиргич (ФЭК) деб аталувчи асбобни кузатувлар учун мочлаштиришга муваффақ булдилар. Фотоэлектронли купайтиргич инсон имкониятларига нисбатан инкор этиб булмайдиган устунликларга эга – бу тезкорлиги, юкори даражадаги сезгирлики ҳамда ишончлилигидир. Хар бир заррадан хосил булувчи еруглик электр импульсига айлантирилар эди, кейин эса махсус электрон асбоб ушбу импульсларни санар эди. Айнан шу пайтдан бошлаб кайта тугилган сцинтилляция услуб ядро ва элементар зарралар физикасида узининг улугвор ривожланишини касб этди.

1947–йилда Кальман рух сульфиди (**ZnS**)дан ясалган экран урнига уз нурлари учун шаффоф булган нафталин кристаллини куллай бошлади. Энди еруглик экраннинг ташки сиртидан эмас, балки кристаллнинг бутун хажмидан таралар эди. Бу эса нафакат киска чопиш масофали алфа–зарраларгина эмас, балки бета– ва гамма–нурланишларни ҳам кайд килиш имкониятини берди. Тугри, гамма–нурланиш нафталин кристаллида яхши ютилмас эди, чунки нафталиннинг заряди ( $Z=6$  углерод учун) жуда хам кичик. Бирок, 1948–йилдаги кашфиёт ушбу нокулайчиликни бартараф этди. Гап шундаки, шу йили Хофштадтер йодланган натрий **NaI** кристалли (унинг учун  $Z=50$ ), агар унга таллий моддасининг озгина микдордаги кушимчалари

киритилса, гамма–нурланиш учун ажойиб сцинтиллятор була олишини ва жуда кучли еруглик чакнашлари хосил булишини кашф этди.

Киска вақт ичида жуда куп хилдаги сцинтилляторлар яратилди. Органик: кристаллар, суюкликлар, пластинкалар. Анорганик: кристаллар. Сцинтилляцион услуб амалиётда жуда куп кулланиладиган бўлди. Ундан ҳозирда нафакат физикада, балки геологияда, тиббиётда, кишлок хужалигида ҳам фойдаланадилар.

### **§3.2.2. Зарра энергиясининг ёругликка айланиши**

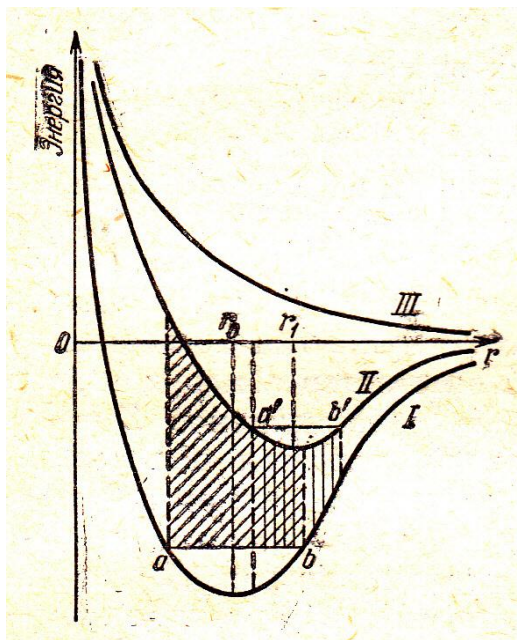
Зарранинг энергияси қандай йул билан еругликка айланишини куриб утамиз. Зарра модда орқали утганида, унинг изида уйгонган ва ионлашган атомлар вужудга келади. Уйгонган атомлар асосий ҳолатларига утиши жараенида квантларни нурлайди, ионлашган атомлар эса электронларни ютади (рекомбинация ҳодисаси) ва улар ҳам еруглик чиқаради. Шундай қилиб, зарра томонидан йукотилган энергиянинг бир қисми еругликка айланади. Мана шу энергиянинг бир қисми иложи борица катта бўлиши, бинобарин еруглик моддада ютилмай унинг ташқарисига чиқиши ва фотоэлектронли қупайтиргичга туша олиши сцинтиллятор учун ута муҳим ҳисобланади. Органик ва анорганик сцинтилляторлардаги зарра энергиясининг еругликка айланиш жараенлари бир–биридан кескин фарқ қилади. Фарқ сабаблари етарли даражада мураккаб бўлганлиги туфайли баъзи ечимини топаолмаган деталлар ҳозиргача ҳам узига эътиборни тортиб келмокда.

Биз жуда оддий модел ердамида тушунтириш билан чекланамиз. Ушбу модел органик сцинтилляторларга тегишли бўлиб, унда битта молекула алоҳида қаралади, яъни бошқа молекулалар ушбу молекула ҳатти–ҳаракатига таъсир қурсатмайди деб фараз қилинади. Шунинг учун ҳам бор–йуги икки атомли молекулани таҳлил қилиб, унинг томонидан нурлаб юбориладиган

квантлар бошка молекулалар томонидан бир зумда ютилмаслигини англаб олсак етарли булади.

7-расмда молекуланинг потенциал энергияси (II-эгри чизик) атомлар орасидаги  $r$  масофага қандай боғлиқ эканлиги акс эттирилган. Молекуланинг асосий ҳолатига I-эгри чизик мос келади. Маълумки, молекула таркибидаги атомлар тебраниб туради, шунинг учун  $E$  тулик энергиянинг қуйи сатхи – бу қуйи тебранма сатхдир ва у расмда **ab** кесма орқали тасвирланган.

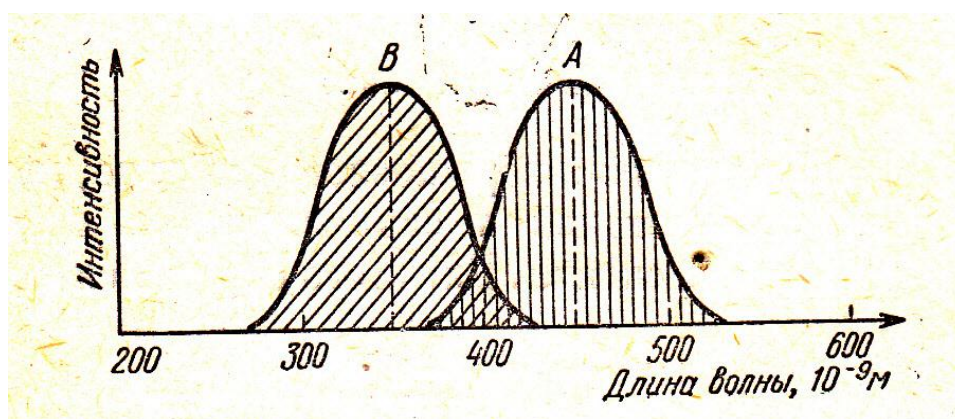
Уртадаги II-эгри чизик уйғонган молекуланинг потенциал энергияси. Ундаги атомлар орасидаги  $r_1$  масофа  $r_0$  дан катта, яъни  $r_1 \gg r_0$ , чунки потенциал чуқурлик унча катта эмас. II-эгри чизикдаги қуйи тебранма сатх **a'b'** кесма орқали акс еттирилган. Нихоят, III-эгри чизик атомлар бир-биридан ихтиерий катта масофага узоклашган ҳолатдаги уйғонишга мос келади. Бундай ҳолатда молекула парчаланadi.



7-расм. Икки атомли молекулаларнинг энергия сатхлари

Молекулани асосий ҳолатдан уйғонган ҳолатга утказиб қуйядиган квант энергиялари туплами расмда оғма штрихланган соҳа орқали акс эттирилган. Агар квант энергияси етарли даражада катта бўлса, молекула

юкори тебранма сатхга утади. Бироз вақтдан сунг у бошка молекулалар билан содир буладиган тукнашишлар эвазига уз энергиясининг бир кисмини беради ва  $a'b'$  сатхга тушиб колади. Энди молекуланинг уйгонган  $a'b'$  холатидан асосий холатга утиши пайтидаги квантлар спектри тугри чизиклар билан штрихланган сохани беради. Куришиб турибдики, бу спектр нисбатан юмшок ва кушни молекулаларни уйготиш учун квантларнинг факат бир кисмигина етарлича энергияга эга. Бундай холатда молекуланинг  $A$  нурланиш спектри молекуланинг  $B$  ютилиш спектрига нисбатан силжиган дейдилади (8-расмга каранг).



8-расм. Сцинтилляторнинг нурланиш ва ютилиш спектрлари

Агар I-эгри чизик II-эгри чизикка якин булса, молекула уйгонган холатдан асосий холатга квант нурламай утиб колиши мумкин. Ортикча энергия иссиклик энергиясига айланади. Агар  $A$  ва  $B$  спектрлари бир-бирига туласинча мос тушганида эди, бир катор нурланиш ва ютилишлардан сунг энергиянинг барчаси иссикликка айланиб кетар эди.  $A$  ва  $B$  спектрларининг айнан ана шу устма-уст тушмаслиги моддани сцинтиллятор сифатида кулланиши учун зарурий шарт хисобланади.

Шундай килиб, зарра энергияси  $E$  нинг бир кисми  $\Delta E$  энергияга айланади ва уни сцинтиллятор ташкарисига чикара олади. Мана шу энергия кай даражада катта булиши айрим факторларга боглик, хусусан сцинтиллятор табиатига, зарранинг турига, баъзида эса зарранинг

энергиясига хам. Масалан, электронлар учун ҳамда “самараси юкоринок” булган кристалл – йодли натрий учун  $\Delta E/E$  –10% атрофида, антрацен ( $C_{14}H_{10}$ ) кристалли учун эса – 4% ни ташкил этади. Купчилик суюк ва пластик сцинтилляторлар учун  $\Delta E/E$  1–2% оралигида узгариб туради. Энергиянинг колган кисми кайд килиш жараенида катнашмайди. Шунга карамасдан, заррача томонидан моддада колдирган энергия хакидаги маълумот еругликда мужассам булиб колиши жуда–жуда мухимдир. Бу хол энергиялари аввалдан маълум булган нурланиш манбалари ердамида санагични даражалаб олиш имкониятини яратади, бинобарин урганилаётган зарранинг энергиясини аникласа булади. Бу амалиётда кандай тартибда бажарилиши хакида кейинрок мулохаза юритамиз.

Заррача моддадан утиб булганидан сунг сцинтиллятор томонидан еруглик квантининг чикариш вакти кичикдир. Аноганик кристаллар учун квантларнинг асосий кисми  $10^{-6}$  секунддан сунг чикиб кетади, органик моддалар учун эса  $10^{-9}$  секунддан сунг. Шундай килиб турли активликдаги нурланишларни кайд килса булади ва турли зарралар туфайли хосил буладиган чакнашлар устма–уст тушиб колишидан куркмаса хам булаверади.

### **§3.2.3. Сцинтилляторлар турлари ва уларнинг хоссалари**

Сцинтилляцион санагичларда сцинтилляторлар сифатида аноганик кристаллар, органик пластмасса ва суюкликлар, соф инерт (гелий, аргон, криптон) газлар ва уларнинг аралашмалари ишлатилади. Аксариат куп холларда каттик жисмли сцинтилляторлар кулланилади. Улар юкори зичликка эга булиб, кристаллнинг улчамлари кичиклигига карамасдан зарраларни юкори эффективлик билан кайд этиш имконини беради.

Сцинтилляторнинг асосий хоссалари чакнаш механизми билан аникланади. Шунга кура чакнаш механизмига караб сцинтилляторлар аноганик кристалли еки газли синфга ва органик бирикмалар асосидаги синфларга булинади. Шунга таъкидлаш керакки, сцинтилляторларнинг асосий

хоссалардан бири – бу конверсион эффективлик хисобланади. Кристаллнинг конверсион эффективлиги деб еруглик чакнаши энергиясининг кайд этидаётган заррача томонидан сцинтилляторда йукотган энергиясига булган нисбатига айтилади. Идеал сцинтилляторларда конверсион эффективлик ионлаштирувчи зарра турига ҳамда унинг кинетик энергиясига боглик булмаслиги керак. Акс холда еруглик чакнаши интенсивлиги зарра томонидан сцинтилляторда колдирган энергияга пропорционал булмай колади.

Анорганик сцинтилляторларнинг асосий хоссалари хакидаги маълумотлар 8–жадвалда келтирилган. Аноргатик сцинтилляторлардан биринчиси **ZnS(Ag)** – кумуш билан фаоллаштирилган рух сулфидилиси. У асосан огир зарраларни, масалан альфа–зарраларни, протонларни, кайд килишда кулланилади экан. Ушбу кристалларнинг камчилиги шундаки, уларнинг эффективлиги гамма–нурланишга нисбатан пастрок экан.

**8–жадвал**

**Анорганик сцинтилляторлар хоссалари**

| <i>Сцинтиллятор</i> | <i>Конверсион эффективлик, %</i> | <i>Чакнаш вакти, <math>10^{-6}</math> сек</i> | <i>Нурланиш полосаси максимуми, нм</i> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| ZnS (Ag)            | 25                               | 1                                             | 450                                    |
| NaI(Tl)             | 8,4                              | 0,25                                          | 410                                    |
| CaI(Tl)             | 6                                | 0,5                                           | 560                                    |
| KI(Tl)              | 2                                | 1                                             | 410                                    |
| LiI(Sn)             | 1                                | 1,2                                           | 450                                    |

Шунинг учун ҳам хозирда энг афзал сцинтиллятор сифатида таллий билан фаоллаштирилган йодли натрий **NaI(Tl)** кристаллиси ишлатилади. У юкори конверсион чикишга ва кичик чакнаш вактига эга. Уни устириш ҳам нисбатан осон хисобланади. Ушбу кристалл моддасининг заряди юкори булганлиги сабаб ( $Z=50$ ) уни гамма–нурланишни кайд килишда фаол тарзда ишлатадилар.

$NaI(Tl)$  кристалли сцинтилляторнинг асосий камчилиги унинг гигроскопик хусусиятида. Кристаллни намликдан саклаш учун ярим шаффоф ойнали герметик корпус ичига жойлашга тугри келади. Жадвалда келтирилган бошка анорганик сцинтилляторлар бироз емонрок хисобланади, масалан  $KI(Tl)$  кристаллида  $^{40}K$  изотопининг табиий радиоактивлиги ва сезиларли фосфоресценцияси тажриба пайтида кушимча нокулайликларни вужудга келтиради.

Органик сцинтилляторлар юкори даражали вақт буйича ажратиб олиш қобилияти билан характерланади. Уларда чакнаш вақти анча кичик булади. Сцинтилляцион санагичларда қулланиладиган органик кристалларнинг характеристикалари 9–жадвалда келтирилган. Улардан бири антацен ( $C_{14}H_{10}$ ) – энг катта конверсион эффективликка эга. Бирок ушбу кристалл жуда катта кийинчилик билан устирилади. Очик хавода еки еруглик билан еритилганда антацен кристалли парчаланиши мумкин.

**9–жадвал**

**Органик сцинтилляторлар хоссалари**

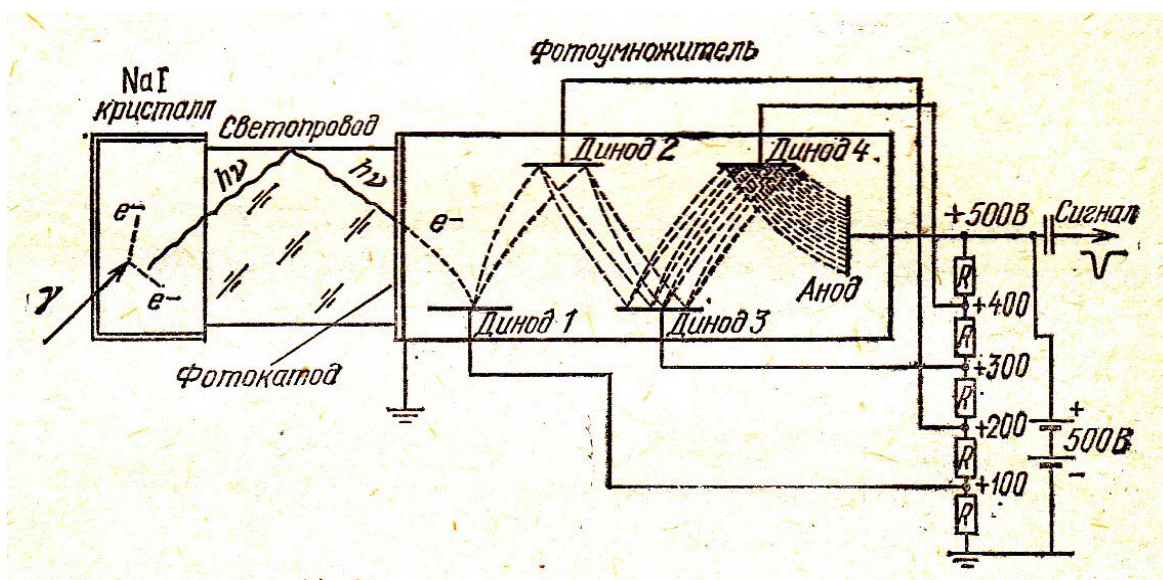
| <i>Сцинтиллятор</i>        | <i>Конверсион эффективлик, %</i> | <i>Чакнаш вақти, <math>10^{-6}</math> сек</i> | <i>Нурланиш полосаси максимуми, нм</i> |
|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Антацен ( $C_{14}H_{10}$ ) | 4 – 6                            | 25 – 30                                       | 445                                    |
| Нафталин                   | 1                                | 70 – 80                                       | 245                                    |
| Трансстильбен              | 2,4                              | 4 – 8                                         | 410                                    |
| Толан                      | 2,8                              | 3 – 5                                         | 390                                    |
| p–Терфенил                 | 2,8                              | 10 – 12                                       | 415                                    |

Нафталин кристалли сцинтиллятор урта миена хоссаларга эга – нисбатан кичик конверсион эффективлик, катта чакнаш вақти. Унинг нурланиш спектри ультрабинафша сохага тугри келар экан. Бу соха учун деярли барча фотоэлектрон купайтиргичларнинг сезгирлиги паст хисобланади.

Органик сцинтилляторлар ичида энг афзали трасстильбен ва толан монокристаллари хисобланади. Уларни катта улчамли килиб осонгина устирса булади. Улар энг киска чакнаш вактига хам эгадирлар.

### §3.2.4. Замоनावий сцинтилляцион санагич

Зарра томонидан сцинтилляторда колдирилган энергия электр импульсига кай тарзда айланишини кузатиб утамиз. Бунинг учун куйидаги 9-расмга мурожаат этамиз. Унда NaI кристалли замоनावий сцинтилляцион санагич акс эттирилган. Фараз килайлик, радиоактив  $^{137}\text{Cs}$  манба томонидан чикарилган 100 та гамма-квантлар ингичка даста тарзида бирин-кетин учиб келсин ва кристаллга тушсин.



9-расм. Замоनावий сцинтилляцион санагич тузилиши ва ишлаш принципа доир.

Хар бир гамма-квант энергияси  $h\nu=661$  кэВ ни ташкил этади. Ушбу квантларнинг хар бири куйидаги учта ходисалардан бирига дуч келади: фотоэффект, комптонча сочилиш ёхуд хеч кандай узаро таъсирлашувсиз кристаллдан утиб кетиш. Худди эртақлардаги кахрамон учта хар хил йулдан бирини данлаб олиши кераклиги каби гамма-квантлар хам юкоридаги учта ходисадан бирини таанлаши керак. Бирок эртақ кахрамонининг танлаган

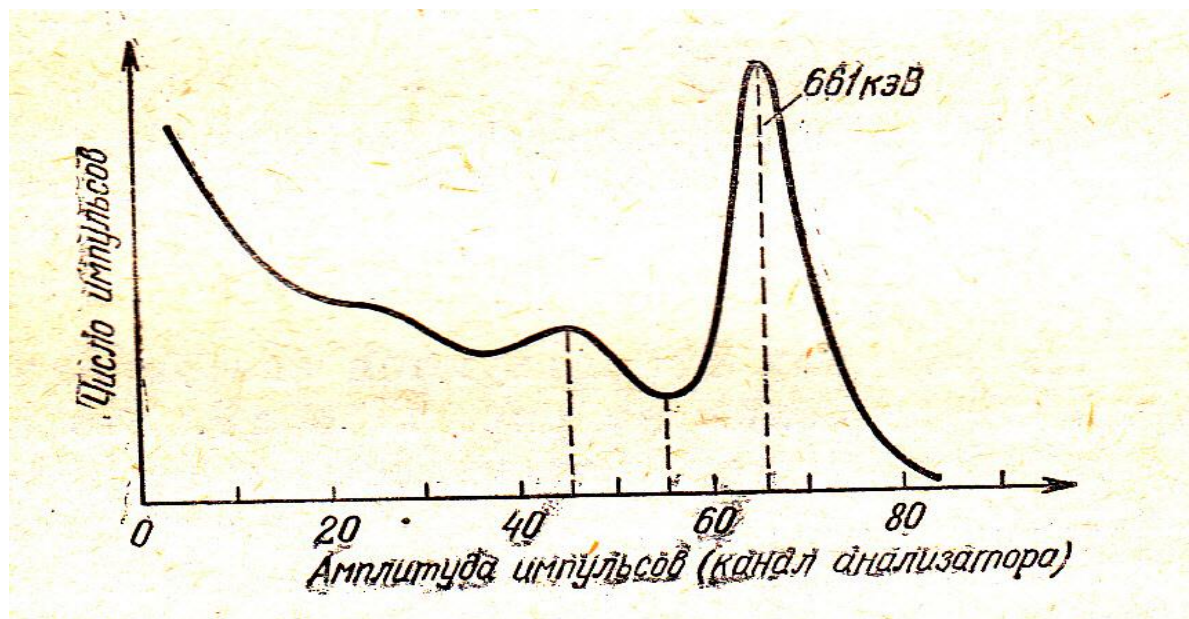
йули эртак муаллифининг хохишига боглик булса, гамма–квантлар иштирокидаги эхтимолли жараёнларда кайси ходиса юз бериши зарра энергияси, сцинтиллятор материали ва унинг улчамлари билан белгиланади. Агарда сцинтиллятор калинлигини  $\delta=5$  см деб олсак, унда 9 та квант фотоэффектни, 68 таси комптонча сочилишни вужудга келтиради, 23 таси эса кристалл оркали таъсирлашмай, энергияни колдирмай утиб кетади. Умуман олганда  $\delta$  калинлик канча катта булса, учинчи ходисанинг эхтимолияти шунча кичик булади, биринчи ва иккинчи ходисаларнинг нисбати эса квант энергияси  $h\nu$  ва кристалл заряди  $Z$  га боглик булади. Фотоэффект ходисаси туфайли квант энергиясининг деярли барчаси чопиш масофаси кичик ( $<1$  мм) булган электронга утади. Демак, энергиянинг ушбу кисми бир зумда сцинтилляторда колади.

Комптонча сочилишга учраган квант эса, уртача 230 кэВ энергияни йукатади ва ундан сунг унинг олдида яна уша уч имконият гавдаланади. Факатгина энди унинг энергияси аввалгидан кура кичикрок, сочилиш эхтимолияти эса юкорирок. Мулохаза остидаги жараёнларнинг кечиш вакти сцинтиллятор моддасининг уйгонган молекуласи томонидан чакнаш чикариш вактидан анча кичикдир.

Энди амплитудали анализатор – амплитудали тахлил асбобининг экранига карасак, кристаллда вужудга келган еруглик импульслари энергиясининг таксимотини куриб олиш мумкин булади. Ушбу таксимот 10–расмда курсатилган.

Расмнинг унг томонида келтирилган чулки энергияси 661 кэВ булган гамма–квант уз энергиясини туласинча кристаллда колдирган холатга жавоб беради. Бунда еруглик импульслари катталики жихатидан бир–бирига жуда якин. Агарда квант сочилган булса ва кристаллдан чикиб кетса, комптон электронлари томонидан вужудга келтирилган еруглик импульслари катталиги кичикрок булади. Айнан шу импульслар спектрнинг чап “канотини” шакллантиради. Бундан тулик ютилиш чулкисидан фойдаланган

холда амплитудали тахлил асбоби шкаласини кай тарзда даражалаш мумкин эканлигини англаб олиш кийин эмас.



10–расм.  $^{137}\text{Cs}$  радиоактив манба нурланишининг энергетик спектри

9–расмимизга кайтадан назар ташлайлик. Кристалл юпка металллик копламага эга булиб, у оркали гамма–квантлар бемалол утиб кетади, биров еруглик утаолмайди. Коламанинг бир томони очик, шишали ойна каби. Бошка томонларида эса коплама ва кристалл орасида магний оксиди кукунидан ясалган махсус кайтаргич мавжуд булиб, у кристаллдаги чакнаш еругликларини ташкарига караб таркалиб кетишига каршилик килиб, еругликни кайтариб туради. Шу таърика иложи борича купрок еругликни фотоэлектрон купайтиргичга йигиб бериш амалга оширилади.

Фотоэлектрон купайтиргич (ФЭК) – бу сезгир асбоб. Юкори ёхуд жуда паст температура унинг ишлашига салбий таъсир курсатади. Кучли магнит майдонлари мавжуд сохаларда хам фотоэлектрон купайтиргич ишдан чикиши мумкин. Юкори босим остида парчаланиб кетишдан холи эмас, шунинг учун хам баъзида кристаллни ФЭК дан узоклаштириш зарурати пайдо булади. Бундай холларда 9–расмда курсатилган еруглик утказгичлари кулланилади. Улар силликлаштирилган шаффоф пластмассали цилиндр курунишига эга. Еруглик утказгичи икки четки томонлари билан махсус

оптик елим еки оптик суртма ердамида кристалл ойнасига – бир томондан, ФЭК кириш ойнасига – иккинчи томондан бириктирилади.

Еруглик утказгичининг ишлаш принципи тула ички кайтиш ходисасига асосланган. Еруглик нури пластик–хаво чегаравий сохага  $\alpha$  – тула ички кайтиш бурчагидан каттарок бурчак остида тушади. Демак, еруглик нури утказгичнинг ташкарисига чикиб кетмайди ва бир нечта кайтишлардан сунг ФЭК катодига келиб тушишга мажбур.

Шундай килиб, еруглик утказгичи ердамида ФЭК кириш ойнасига еруглик йигиб берилади. ФЭК – шишали цилиндр куринишидаги, юкори даражали вакуумгача хавоси суриб олинган ва бир томондан кавшарланган асбобдир. Кириш ойнасига карама–карши булган томонидан контакли электродлари чикариб куйилган.

Фотоэлектрон купайтиргич сцинтилляцион санагичда иккита роль уйнайди – у еруглик импульсини электр импульсига айлантириб беради ва ундан сунг мазкур электр импульсини кучайтириб хам беради. Шуларга мос тарзда фотоэлектрон купайтиргичда иккита физикавий ходиса ишлатилади, булар: фотоэффект, иккиламчи электронли эмиссия. Еруглик кванти ФЭК нинг шишали (баъзида кварцли) ойнаси оркали утиб ички томондаги ярим шаффоф катламга – фотокатодга келиб тушади.

Хозирда жуда куп турдаги фотокатодлар яратилган. Аксарият куп холларда уларни ишкорий металлар бирикмаларидан ясаيدилар. Бундай катлам чакнаш еругликлари учун айникса жуда сезгир ва кичик кийматдаги чикиш ишига эгадир.

Ташки фотоэффект ходисаси туфайли квантлар ушбу катламдан электронларни уриб чикаради, уз навбатида электронлар кейинги электродгача (1–динодгача) булган масофада узатилган кучланиш таъсирида тезлаштирилади, шунинг билан биргаликда фокусланади хам. Диноднинг сирти иккиламчи эмиссия коэффиценти юкори булган модда катлами билан копланган. Иккиламчи эмиссия коэффиценти бирламчи электронлар энергиясига боглик булиб, тезлаштирувчи 100 В ли кучланишда тахминан

учга тенг булади. Бу дегани динодга келиб тушган хар бир бирламчи электрон уз навбатида учта иккиламчи электронларни уриб чикаради. Уриб чиқарилган электронлар навбатдаги динодлар томон учиб боради ва ходисалар такрорланади. Агар ФЭК унта динодга эга булса, энг сунгисига, яъни анодга, уртача  $3^{10} \approx 6 \cdot 10^4$  электрон етиб келади. Каранг, бошида биттагина электрон эди, охирида эса канча!

9–расмда ФЭК электродларига кучланиш манбаи ердамида ҳамда каршиликлар таксимлагичи ердамида ишчи кучланиш (500–2000 В) узатиш усули келтирилган. Анодда хосил булган электр импульси электрон схемага келиб тушади ва охири окибат амплитудали тахлил асбоби экранига.

Сцинтилляцион санагич ядро ва элементар зарралар физикасида катта роль уйнади. Унинг ердамида бажарилган бир катор буюк тажрибаларни санаб утса булади: 1) антипротон ва антинейтронларни кашф этилиши (Сегре тажрибалари); 2) ядровий реакторлардан чикувчи нейтронни кайд этиш (Коуэн тажрибалари); 3) кучсиз узаротаъсирлашувда жуфтлик сакланмаслигининг исботи (Ву тажрибалари); 4) нейтринонинг электрондаги сочилиши (Рейнес тажрибалари); 5) космик нейтринолар буйича ер ости тажрибалари; 6) икки каррали бета–емирилишни излаш тажрибалари ва хоказо. Биз эса шу каби санагични курилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг кичик даражадаги активлигини улчаш учун куллаймиз.

## IV БОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛ КУРИЛМА ВА ХИСОБЛАШ УСЛУБИ

### §4.1. «РАДЭК» аналитик комплекс буйича киска маълумотлар

Курилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг солиштирма активлигини улчаш учун юқорида таъкидлаб утганимиздек сцинтилляцион усул танланди. Бевосита улчаш ишлари Самарканд давлат университети «Ядро–физикавий лабораторияси»даги «РАДЭК» аналитик комплекс ёрдамида амалга оширилди. Мазкур комплекс саноат корхоналари, кишлок хужалик ташкилотлари маҳсулотларидан, атропо–мухот объектларидан тайёрланган ва таркибида  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  радионуклидлари мавжуд булган намуналарнинг активлигини улчаш учун мулжалланган. «РАДЭК» аналитик комплекснинг умумий курилиши 11–расмдаги фототасвирда келтирилган.



*11–расм. «РАДЭК» аналитик комплекснинг умумий курилиши*

Комплекс таркибига МКГБ–1 «РАДЭК» гамма–бета–нурланиш сцинтилляцион спектрометр–радиометри, кичик кучланишли ток манбаи, юқори кучланишли ток манбаи, шахсий IBM PC компьютер ва унинг улчаш учун кулланиладиган дастурий таъминоти, кургошинли химоя «Гамма–К» камераси, гамма каналнинг сезгирлигини назорат қилиш учун назорат

радиоактив ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , ва  $^{137}\text{Cs}$ ) манбалари, энергия буйича эффективликни назорат қилиш учун назорат радиоактив ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ва  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ) манбалари, қушимча асбоб ва материаллар: ВЛКТ-500М лаборатория тарозиси, улчаш намуналари учун «Маринелли идиши», каттик жинсли намуналарни майдалаш мосламалари, озик-овқат маҳсулотларини майдалаш мосламалари, қуриштиш шкафи, қуриштиш патнислари, арра, пичок, қуракча ва х.к. Буларнинг айримларининг умумий қурилишлари 12–16–расмлардаги фототасвирларда келтирилган.



12–расм. Қурғошинли химоя «Гамма–К» камерасининг ҳар хил ҳолатлари.



13–расм. Паст (чапда) ва юкори (унгда) қучланишли ток манбалари.



**14–расм. Химоя камераси ичига жойлаштирилган сцинтилляторли БДБГ блоки (чаңда) ва қуритиш шкафи (унгда)**



**15–расм. ВЛКТ–500М лаборатория тарозиси (чаңда) ва улчаш намуналари учун «Маринелли идиши»(унгда)**



**16–расм. Қушимча асбоб ва материаллар**

Мазкур комплексдаги улчаш услуги куйидагиларни таъказо этади: текширилиши керак булган намуналардан махсус тартиб асосида улчаш намуналарини тайерлаш; текширилиши керак булган намуна ва улчаш намуналарда радионуклидлар таркиб буйича бир хил булиши лозим, бунбан ташкари уларнинг солиштирма активликлари хам бир хил булиши шарт.

«РАДЭК» аналитик комплекси  $0,2-2 \text{ г}\cdot\text{см}^3$  зичликлар диапазони учун Маринелли идиши шаклида тайерланган намунавий активликка эга булган радиоактив манбалар ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , ва  $^{137}\text{Cs}$ ) ёрдамида даражаланган.

Радионуклидларнинг активлиги, солиштирма активлиги ва улчашдаги тасодифий хатоликларни хисоблаш автоматик тарзда махсус дастурий таъминот «А–Scinti–W» ёрдамида амалга оширилади. Хисоблашлар комплексни даражалаш пайтида олинган сезгирлик коэффициенти хамда тажриба улчовлари пайтида олинган намунанинг нурланиш спектрлари асосида амалга оширилади. Активлик, солиштирма активлик ва тажриба хатоликлари кийматлари компьютер экранида акс эттирилади.

Демак, бевосита улчашларни бажаришга киришишдан аввал текшириладиган курилиш материаллари (керамик гишт, кум ва шагалдан тайерланган шебен)дан улчаш намуналарини тайерлаш хамда сцинтилляцион спектрометрни улчовларга тайерлаш ишларини бажариш лозим экан.

#### **§4.3. Курилиш материалларидан улчаш намуналарини тайёрлаш услуги**

Улчаш намуналарини тайёрлаш услуги турли хил махсулотлар учун узига хос деталлари билан фарк килади. Шу билан биргаликда курилиш материалларидан улчаш намуналарини тайерлашда бироз купрок жисмоний энергияни сарфлашга тугри келади.

Курилиш материалларидан улчаш намуналарини тайёрлаш схемасига кура (17–расмга каранг) операциялар алгоритми куйидагилардан иборат:

- 1) Ажратиб олинган махсулот намуналарини бирламчи тайёрлаш операциялари. Бунда намуналар тозаланади, сараланади.

2) Махсус лаборатория майдалагичлари ёрдамида ажратиб олинган намунанинг энг катта булакчаси 5 мм дан катта булмайдиган даражагача майдалаш операцияси.



***17–расм. Курилиш материалларидан улчаш намуналарини тайёрлаш схемаси***

- 3) Майдаланган намунани тешигининг улчами 5 мм булган элакдан утказиш операцияси.
- 4) Эланган намунани махсус куриштиш патнисларига ёйиб 2 соат давомида  $100-120^{\circ}\text{C}$  харорат остида куриштиш шкафида куриштиш операцияси.
- 5) Контейнер – «Маринелли идиши»ни иссик сув билан хужалик совуни ёрдамида ювиш, сунг спирт ёрдамида идишнинг ички кисмини артиб, куриштиш ишлари. Контейнерни ракамлаш ҳамда унинг копкоги билан биргаликдаги массасини граммларда махсус лаборатория тарозисида улчаш. Улчаш тажрибалари ва гамуналар турига караб контейнерлар сони белгиланади ва уларни юкоридаги тартибда тайерлаш лозим.
- 6) Куритилган намунани шкафдан олиш ва совутиш ишлари. Совутилган намунани контейнерга махсус белгисигача жойлаштириш операцияси.
- 7) Ичида улчаш намуналари мавжуд булган контейнернинг массасини граммларда махсус лаборатория тарозисида тортиш.
- 8) i–нчи улчаш намунасининг массасини куйидаги формула буйича аниклаш:

$$m_{y.n.} = m_{y.n.+кон} - m_{кон} .$$

- 9) Контейнер ичидаги улчаш намунасининг жойланиш зичлигини куйидаги формула буйича аниклаш:

$$\rho = m_{y.n.} / 1000$$

Жойланиш зичлиги  $2\text{ г}\cdot\text{см}^3$  дан ошмаслиги керак.

- 10) Тайерланган улчаш намунаси учун махсус этикетка тузиш ва уни контейнер корпусига елимли лента ёрдамида епиштириш ҳамда улчовларга жунатиш ишлари.

#### **§4.4. Сцинтилляцион гамма–спектрометрни ишга тайерлаш**

Улчаш намуналарини тайерлаб булгандан сунг «РАДЭК» аналитик комплекснинг асосий улчов асбобини – сцинтилляцион гамма–спектрометрни ишга тайёрлаш керак. Ушбу асбобнинг айрим хоссаларига тухталиб утамыз.

МКГБ–01 сцинтилляцион гамма–спектрометр радионуклидларнинг сцинтилляцион спектрларини улчаш учун мулжалланган. Бундан ташқари унинг ёрдамида тупрок, усимликлар, озик–овкат, қурилиш материаллари каби намуналар радионуклидларининг активлигини (солиштирма активлигини) улчаш мумкин. Спектрометрнинг айрим ташкил этувчи қисмлари алоҳида фототасвирларда келтирилган.

Сцинтилляцион спектрларни улчаш учун *NaI(Tl)* монокристалли сцинтиллятор блоқи БДБГ ишлатилади. Сцинтилляторли блок фон даражаси паст бўлган қурғошинли «Гамма–К» химоя камерасига жойлаштирилган.

Маринелли идиши геометриясида улчаш учун спектрометр  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  ва  $^{137}\text{Cs}$  радионуклидлари активлиги бўйича намунавий (назорат) радиоактив манбалар ёрдамида аввалдан даражаланган. Ҳажми 1 литр бўлган Маринелли идиши геометриясидаги улчаш вақти турли табиатдаги намуналар учун ҳар хил бўлади, ҳусусан қурилиш материаллари учун ҳар бир намунага тугри келадиган улчаш вақти 2400 секунддан кам бўлмаслиги керак, акс ҳолда етарлича статистика йиғилмайди.

Спектрометрнинг фотоэлектрон қулайтиргичи спектрометр корпуси ичида Ернинг магнит майдони йуналишини ҳисобга олган ҳолда урнатилган. Шунинг учун ҳам сцинтилляторли БДБГ блоқи қурғошинли химоя камерасидан ташқарига чиқарилганда, масалан дезактивация утқизиш учун, фотоэлектрон қулайтиргичнинг фокусировкаси узгаради. Демак, дезактивациядан сунг БДБГ блоқи уз жойига қуйилиши керак ва спектрометрни қайтадан назорат манбалари ёрдамида энергия бўйича даражалаб олиш талаб этилади.

Спектрометрни ишга тушириш учун қуйидаги амалларни бажариш зарур:

- 1) Кичик қучланишли ток манбаини электр тармоғига улаш ва уни ёқиш.
- 2) Шахсий IBM PC компьютерни электр тармоғига улаш ва уни ёқиш.

- 3) Компьютер юкланганидан сунг махсус хисоблаш дастури «A–Scinti–W»ни ишга тушириш.
- 4) Аналог–ракамли узгартиргичнинг параметрларини текшириш, зарурат тугилса, уларни ростлаб олиш.
- 5) Юкори кучланишли ток манбаини электр тармогига улаш ва уни ёкиш. Шу холатда спектрометр 30 минут мобайнида кизиб туриши ва унинг ишлаш режими баркарорлаши керак.

Улчаш намуналарни тайёрлаб, спектрометрни ишга тушириб булгандан сунг улчаш намуналарини спектрометрнинг химоя камерасига жойлаштириш ва бевосита улчаш ишларига утиш мумкин.

#### §4.5. Улчаш натижаларини хисоблаш учун айрим ифодалар

Маълумки, радионуклиднинг активлигини унинг емирилиш тезлиги ташкил этади, яъни 1 секунд вақт ичидаги емирилишлар сони. Демак,  $A = N/t$ , бу ерда  $N$ –емирилишлар сони. Активлик Беккерел (**Бк**) бирлигида улчанади. Ушбу бирлик жуда кичик булганлиги учун Кюри (**Ки**) бирлиги киритилган булиб, уни системадан ташкари улчов бирлиги деб хисобланади.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 * 10^{10} \text{ Бк}$$

$$1 \text{ Бк} = 2,7 * 10^{-11} \text{ Ки}$$

Активлик катталиги радиоактив элемент мавжудлигини ҳамда унинг томонидан чиқарилаётган нурланиш интенсивлигини характерлайди, холос. Бирок, емирилиш тури ёки кандай турдаги элемент емирилатганлик хақида маълумот бермайди. Шунинг учун солиштирма активлик, хажмий активлик ҳамда сирт активлиги тушунчалари амалий улчашлар жараенида кулланилади. Намунанинг солиштирма активлиги деганда унинг активлигининг массасига булган нисбати тушунилади, яъни

$$A_m = A_{\text{элемент}} / m$$

бу ерда  $m$  – намуна массаси булиб, кг ларда улчанади. Намунанинг хажмий активлиги деганда унинг активлигининг хажмига булган нисбати тушунилади, яъни

$$A_V = A_{\text{элемент}} / V$$

бу ерда  $V$  – намуна хажми булиб,  $\text{см}^3$ , литр, миллилитр в х.к. ларда улчанади. Намунанинг сирт активлиги деганда унинг активлигининг сирт юзасига булган нисбати тушунилади, яъни

$$A_S = A_{\text{элемент}} / S$$

бу ерда  $S$  – намуна сиртти юзаси,  $\text{м}^2$  ларда улчанади.

Инсон организмнинг нурланишини меъёрлаш максатида курилиш материалларидаги табиий радионуклидлар солиштирма активлиги курсатгичи урнига эффектив солиштирма активлик  $A_{\text{эфф}}$  киритилган. Унинг кийматлари  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ , ва  $A_K$  ларнинг махсус тузатма коэффициентларини хисобга олган холдаги йигиндисидан иборат, яъни

$$A_{\text{эфф}} = A_{Ra} + A_{Th} + A_K$$

Махсус коэффициентлар  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ва  $^{40}\text{K}$  радионуклидларнинг солиштирма активликларини радиоактив оиоаларнинг колган аъзолари билан мувозанатда булишлик шартидан келиб чиккан холда белгиланган.

Юкорида таъкидлаб утган эдикки, хисоблашлар махсус дастурий таъминот ёрдамида автоматик тарзда амалга оширилади. Спектр, солиштирма активлик киймати, муайян радионуклиднинг солиштирма активлиги, нисбий ва абсолют хатоликлар, яъни барча натижалар компьютерда спектрнинг остидаги жадвалда акс эттирилади. Эффектив солиштирма активликни хисоблаш ифодасига тухталиб утамыз.

Курилиш материаллари радионуклидлари учун эффектив солиштирма активлик  $A_{\text{эфф}}$  куйидаги формула ёрдамида аникланади:

$$A_{\text{эфф}} = 1,3A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K$$

Абсолют хатолик эса

$$\delta A_{\text{эфф}} = \sqrt{1,3^2 \delta A_{Ra}^2 + 1,31^2 \delta A_{Th}^2 + 0,085^2 \delta A_K^2}$$

формуласига кура топилади.

## **V БОБ ТАДКИКОТ НАТИЖАЛАРИ**

### **§5.1. Тайёрланган улчаш намуналари**

Курилиш материаллари радионуклидларининг солиштирма актилигини улчаш учун юқорида келтирилган тартиб (қаранг, §4.1.) бўйича шебен (шагалдан), қум ва керамик гишт намуналари бўйича бир нечта улчаш нуманалари тайёрланди. Улчаш намуналарини тайёрлашда ишлатилган қурилиш материаллари хомашёсининг умумий қурилиши 18–19–20–расмлардаги фототасвирларда келтирилган.



***18–расм. Улчаш намунасини тайёрлаш учун шебен (шагалдан)***



***19–расм. Улчаш намунасини тайёрлаш учун қум***



**20–расм. Улчаш намунасини тайёрлаш учун  
майдаланган керамик гишт**

Тайёрланган намуналардан малакавий ишда спектрлари мавжуд булган намуналар учун баъзи характеристикалар куйидаги 10–жадвалда келтирилган.

**10–жадвал**

***Курилиш материалларидан тайёрланган улчаш намуналари***

| <i>Улчаш<br/>намунаси</i> | <i>Массаси,<br/>г</i> | <i>Хажми,<br/>литр</i> | <i>Жойланиш<br/>зичлиги,<br/>г*см<sup>3</sup></i> | <i>Тайерланиш<br/>санаси</i> |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|
| Шебен<br>(шагалдан)       | 1546                  | 1,0                    | 1–2                                               | Март 2014 йил                |
| Кум                       | 1386                  | 1,0                    | 1–2                                               | Апрель 2014 йил              |
| Керамик<br>гишт           | 1183                  | 1,0                    | 1–2                                               | Май 2014 йил                 |

Жадвалдан куришиб турибдики, барча улчаш намуналари учун хажм Маринелли идиши хажмига мос, жойланиш зичлиги ҳам улчаш услуби талабларига жавоб беради. Шебен (шагалдан) улчаш намунасини тайерлаш энг куп вақтни олди, чунки уни майдалаш операцияси анчагина жисмоний энергия сарфланишини талаб этди. Энг огир улчаш намунаси булиб айнан шу намуна булиб чикди.

## §5.2. Радиоактив эталон манбалар спектрлари

«РАДЭК» аналитик комплекси 0,2–2 г·см<sup>3</sup> зичликлар диапазони учун Маринелли идиши шаклида тайерланган намунавий активликка эга булган радиоактив эталон манбалар (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) ёрдамида даражаланган. <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K радиоактив эталон манбалар активликлари тугрисидаги маълумот куйидаги жадвалда келтирилган:

11–жадвал

### Радиоактив эталон манбалар характеристикаси

| № | Нуклид            | Активлик,<br>кБк | Материал   | Масса,<br>грамм |
|---|-------------------|------------------|------------|-----------------|
| 1 | <sup>232</sup> Th | 6,43             | Кварц. Кум | 1650            |
| 2 | <sup>226</sup> Ra | 5,49             | Кварц. Кум | 1600            |
| 3 | <sup>40</sup> K   | 13,70            | KBr        | 1610            |

<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K табиий радионуклидлар ва улардан хосил буладиган нуклидларнинг характеристикалари ҳам муҳим. Биз улардан қайси хосилавий нуклид емирилади, натижада экспериментал спектрда қандай энергияли гамма–чүкки кузатилади деган маълумотлар оламиз. Бизга керак булган маълумотлар куйидаги жадвалда келтирилган.

12–жадвал

### Табиий радионуклид <sup>226</sup>Ra ва ундан хосил буладиган нуклидларнинг характеристикаси

| <sup>226</sup> Ra ва ундан хосил булган нуклидлар | γ-квант энергияси,<br>кэВ | Интенсивлик,<br>% | Ярим емирилиш даври T <sub>1/2</sub> |
|---------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| <sup>226</sup> Ra                                 | 186                       | 3,28              | 1600 йил                             |
| <sup>214</sup> Pb                                 | 241,9                     | 7,46              | 26,8 минут                           |
|                                                   | 295                       | 19,2              |                                      |
|                                                   | 351,9                     | 37,1              |                                      |
| <sup>214</sup> Bi                                 | 609                       | 46,1              | 19,7 минут                           |
|                                                   | 1120                      | 15                |                                      |
|                                                   | 1238                      | 5,92              |                                      |
|                                                   | 1764                      | 15,9              |                                      |

**Табиий радионуклид  $^{232}\text{Th}$  ва ундан ҳосил буладиган  
нуклидларнинг характеристикаси**

| $^{232}\text{Th}$ ва ундан<br>ҳосил булган<br>нуклидлар | $\gamma$ -квант<br>энергияси,<br>кэВ | Интенсивлик,<br>% | Ярим<br>емирилиш<br>даври $T_{1/2}$ |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| $^{228}\text{Ac}$                                       | 911                                  | 29                | 6,13 соат                           |
|                                                         | 968                                  | 17                |                                     |
|                                                         | 964                                  | 5,5               |                                     |
|                                                         | 338                                  | 12                |                                     |
| $^{212}\text{Pb}$                                       | 238                                  | 43,6              | 10,64 соат                          |
| $^{208}\text{Tl}$                                       | 583                                  | 30,9              | 3,05 минут                          |
|                                                         | <b>2614</b>                          | 35,8              |                                     |

$^{232}\text{Th}$  нуклиднинг ярим емирилиш даври  $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$  йил

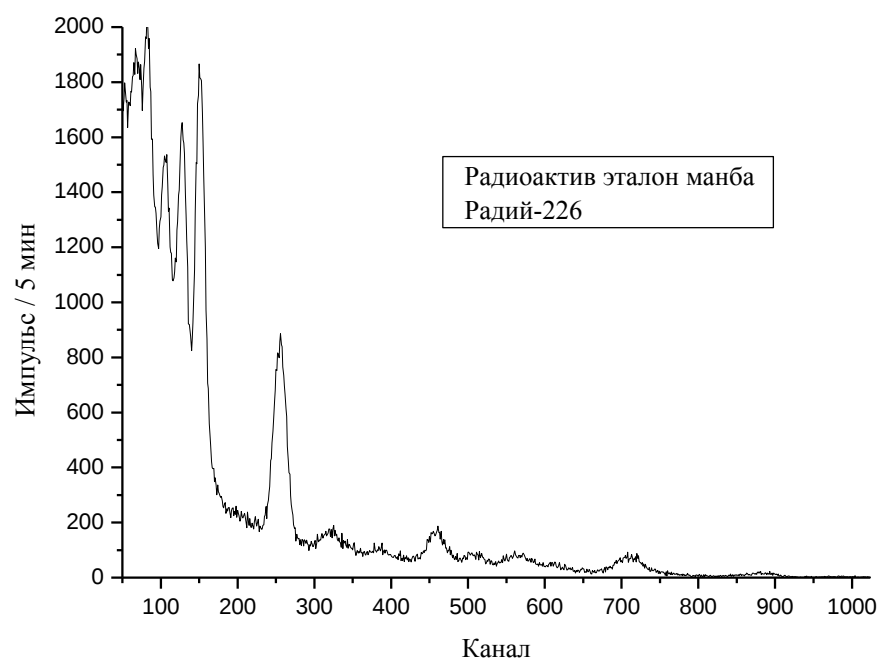
**Табиий радионуклид  $^{40}\text{K}$  ва ундан ҳосил буладиган  
нуклидларнинг характеристикаси**

| $^{40}\text{K}$ ва ундан ҳосил<br>булган нуклидлар | $\gamma$ -квант<br>энергияси,<br>кэВ | Интенсивлик,<br>% | Ярим<br>емирилиш<br>даври $T_{1/2}$ |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| $^{40}\text{Ar}$                                   | <b>1460,75</b>                       | 10,7              | Барқарор                            |

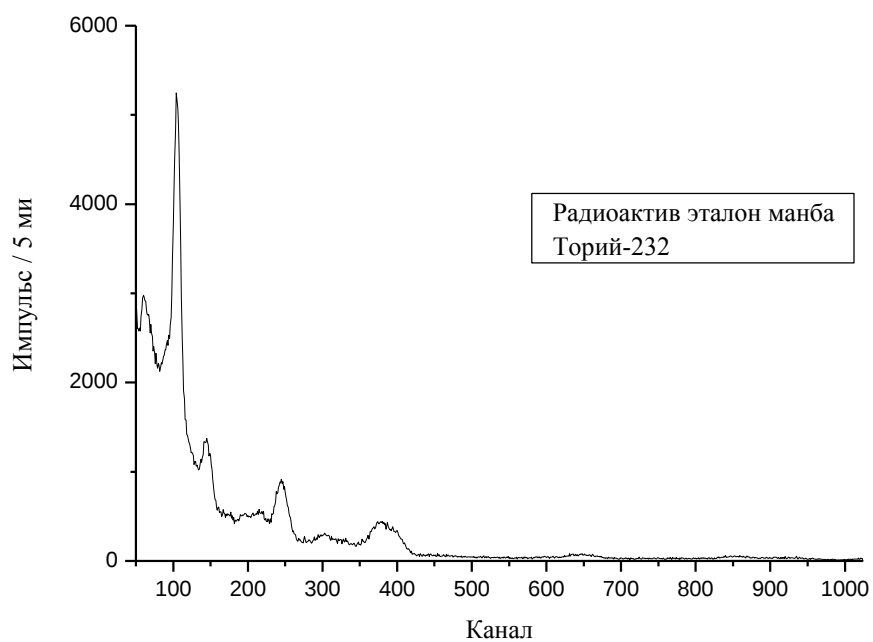
$^{40}\text{K}$  нуклиднинг ярим емирилиш даври  $T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$  йил

Олинган спектрларни таҳлил килиш жараёнида фойдаланган гамма–  
чуққиларимиз 12–13–14–жадвалларда калин килиб ажратиб куйилган гамма  
квант энергиялари буйича идентификация килинган. Масалан, табиий  
радионуклид  $^{226}\text{Ra}$  учун 1120 кэВ ва 1764 кэВ.

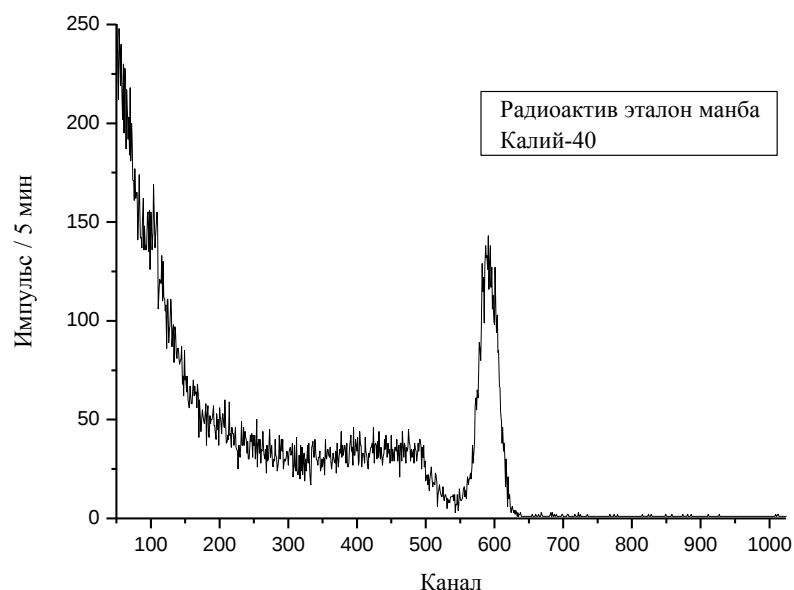
Куйидаги расмларда табиий радиоактив эталон манбалар учун  
спектрлар келтирилган. Ушбу спектрлар буйича экспериментал «РАДЭК»  
аналитик комплекси даражаланган ва қурилиш материаллари учун олинган  
тажриба спектрларида активликни улчаш учун қулланилади.



**21-расм.  $^{226}\text{Ra}$  радиоактив эталон манбаси учун калибровка спектри**



**21-расм.  $^{232}\text{Th}$  радиоактив эталон манбаси учун калибровка спектри**



**22–расм.  $^{40}\text{K}$  радиоактив эталон манбаси учун калибровка спектри**

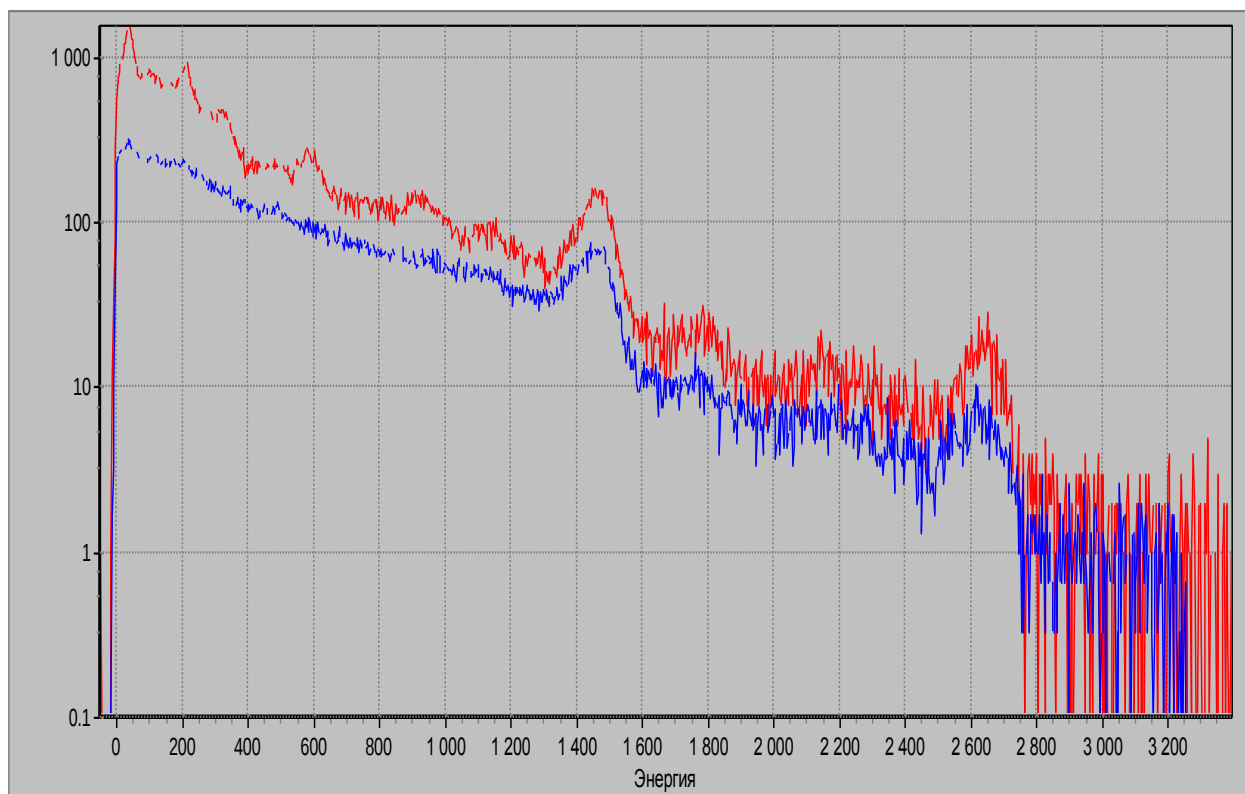
Сцинтилляцион спектрометрда табиий радионуклидлар ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) кўйидаги энергетик диапазонда аникланади:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| 891–989 кэВ   | $^{232}\text{Th}$ учун; |
| 1388–1524 кэВ | $^{40}\text{K}$ учун;   |
| 1692–1838 кэВ | $^{226}\text{Ra}$ учун. |

### **§5.3. Курилиш материаллари спектрлари ва уларнинг муҳокамаси**

Кўйидаги 23–24– ва 25–расмларда курилиш материалларидан тайёрланган улчаш намуналари спектрлари келтирилган. Мазкур спектрлар 2400 сек вақт мобайнида олинган бўлиб, уларда қулайлик учун курилиш материаллари спектрларидан ташқари фон спектри ҳамда калибровка спектрлари ҳам қўрилган. Хар бир спектр остига юқорида келтирилган мулохазаларга ва ҳисоблаш формулаларига мувофиқ махсус дастурий таъминот ёрдамида автоматик тарзда ҳисобланган активлик, солиштирма активлик, эффектив солиштирма активлик ҳамда хатоликларнинг

кийматлари келтирилган. Бундан ташкари намуна тури, унинг массаси, хажми, улчаш вакти, улчаш санаси ҳамда фон ва калибровка спектрлари хақидаги маълумотлар ҳам урин олган.



**23–расм. Шебен (шагалдан) намунасидан тайерланган  
улчаш намунаси учун сцинтилляцион спектр**

| Нуклид | Активлик,<br>Бк | Тасод.хато.,<br>% | Солиш.актив.,<br>Бк/кг | Абс.хато.,<br>Бк/кг | Нисб.погр.,<br>% (P=0.95) |
|--------|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Ra-226 | 28.567          | 0.07              | 18.482                 | 2.5                 | 13.7                      |
| Th-232 | 41.558          | 0.02              | 26.886                 | 2.6                 | 9.57                      |
| K-40   | 390.76          | 0.01              | 252.8                  | 24                  | 9.38                      |

$$A_{\text{эфф}} = 76.2 \pm 4.71 \text{ Бк/кг}$$

Ишчи спектр: D:\Измерение\2014\Гамма\02-9-1-2-121g-2014.asw

Фон спектри: C:\ASW\fon-g\1L.asw

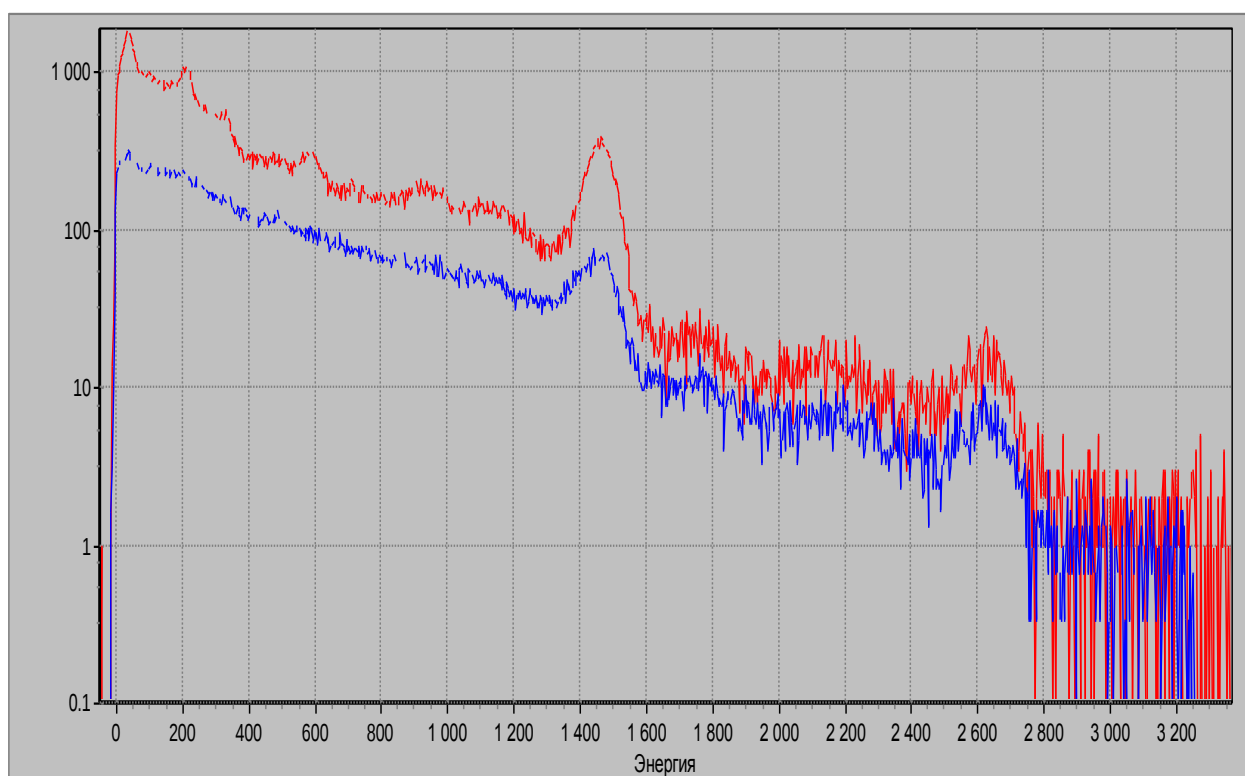
Калибровка: C:\ASW\clb-g\marin-constr.clb

Спектрни улчаш санаси: 18.03.2014 18:04:57

Реал вақт: 2400.00 сек.

Намуна массаси: 1.546 кг; Намуна хажми: 1.000 л

Изох: Шебен (шагалдан)



**24–расм. Кум намунасидан тайерланган  
улчаш намунаси учун сцинтилляцион спектр**

| Нуклид | Активлик,<br>Бк | Тасод.хато.,<br>% | Солиш.актив.,<br>Бк/кг | Абс.хато.,<br>Бк/кг | Нисб.погр.,<br>% (P=0.95) |
|--------|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Ra-226 | 28.122          | 0.06              | 20.29                  | 2.4                 | 12.1                      |
| Th-232 | 45.875          | 0.01              | 33.099                 | 3.2                 | 9.72                      |
| K-40   | 1551.4          | 0                 | 1119.3                 | 110                 | 10                        |

**$A_{эфф} = 164 \pm 11.2$  Бк/кг**

Ишчи спектр: D:\Измерение\2014\Гамма\02-14-1-1-121g-2014.asw

Фон спектри: C:\ASW\fon-g\1L.asw

Калибровка: C:\ASW\clb-g\marin-constr.clb

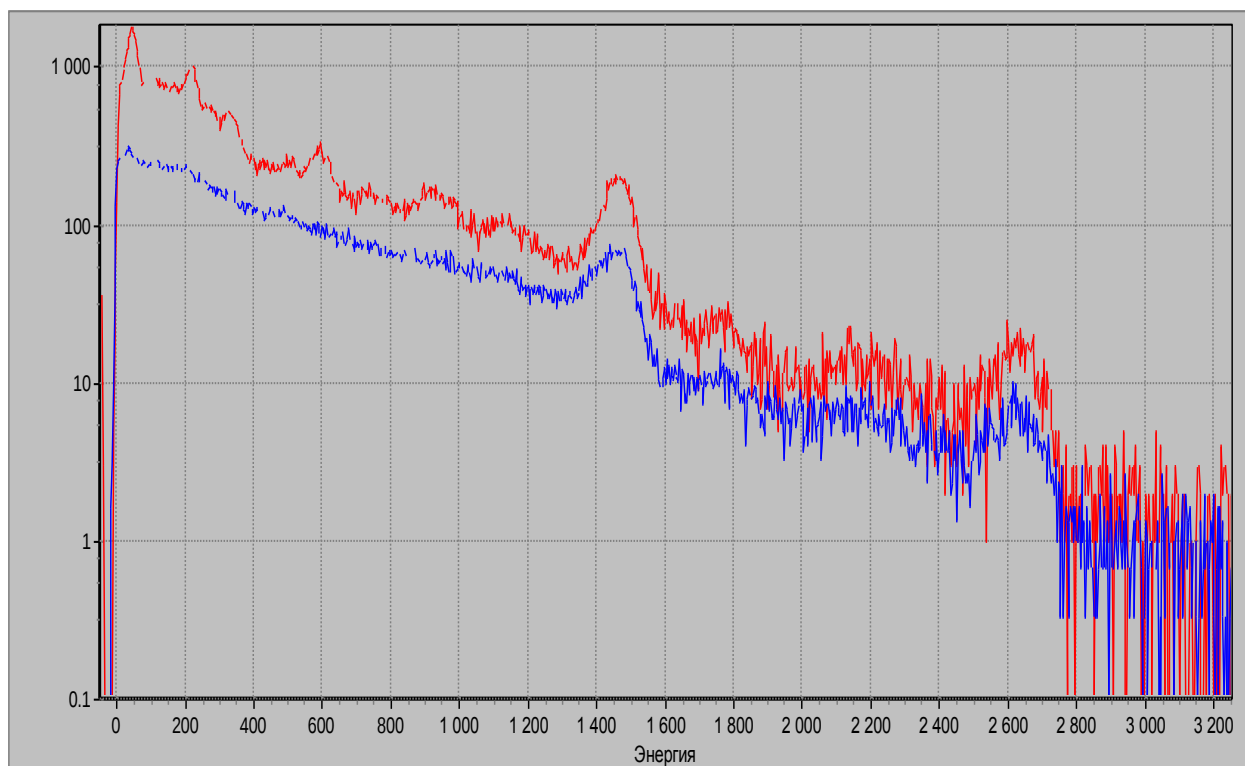
Спектрни улчаш санаси: 19.04.2014 9:11:37

Реал вакт: 2400.00 с.

Намуна массаси: 1.386 кг;

Намуна хажми : 1.000 л

Изох : Кум



**25–расм. Керамик гишт намунасидан тайерланган  
улчаш намунаси учун сцинтилляцион спектр**

| Нуклид | Активлик,<br>Бк | Тасод.хато.,<br>% | Солиш.актив.,<br>Бк/кг | Абс.хато.,<br>Бк/кг | Нисб.погр.,<br>% (P=0.95) |
|--------|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Ra-226 | 31.69           | 0.02              | 26.776                 | 2.6                 | 9.83                      |
| Th-232 | 49.038          | 0.01              | 41.434                 | 4.1                 | 10                        |
| K-40   | 677.46          | 0                 | 572.42                 | 57                  | 10                        |

**$A_{эфф} = 132 \pm 7.9$  Бк/кг**

Ишчи спектр: D:\Измерение\2014\Гамма\02-17-1-1-121g-2014.asw

Фон спектри: C:\ASW\fon-g\1L.asw

Калибровка: C:\ASW\clb-g\marin-constr.clb

Спектрни улчаш санаси: 07.05.2014 13:06:00

Реал вакт: 2400.00 с.

Намуна массаси: 1.183 кг; Намуна хажми: 1.000 л

Изох: Керамик гишт

Олинган спектрларнинг тахлили ва тегишли хисоблардан курилиб турибдики шебен (шагалдан) курилиш материали учун эффектив солиштирма активлик  $A_{эфф} = 76.2 \pm 4.71$  Бк/кг, кум курилиш материали учун эффектив солиштирма активлик  $A_{эфф} = 164 \pm 11.2$  Бк/кг, керамик гишт

курилиш материали учун эффектив солиштирма активлик  $A_{эфф} = 132 \pm 7.9$  **Бк/кг** ташкил этмокда. Мазкур курилиш материаллари орасида энг катта эффектив солиштирма активлик киймати кум курилиш материалига тугри келмокда. Олинган натижаларни Узбекистон Республикасида жорий килинган курилиш материалларидаги активлик даражаси буйича мейъёрлашган хужжатларга мувофик тахлил киламиз.

Маълумки, агар курилиш материалидаги табиий радионуклидларнинг эффектив солиштирма активлиги

$A_{эфф} < 370$  (**Бк/кг**) булса, у холда мазкур курилиш материаллари 1–синф курилиш материалларига киради ва ундан курилатган ёхуд реконструкция килинаётган ахоли турар жойи ва ижтимоий иморатлар учун фойдаланса булади;

$A_{эфф} \leq 740$  (**Бк/кг**) булса, у холда мазкур курилиш материаллари 2–синф курилиш материалларига киради ва ундан ахоли турар жойи худудида йул курилиши, шунингдек ишлаб чикариш иншоатлари курилишида фойдаланса булади;

$A_{эфф} \leq 1350$  (**Бк/кг**) булса, у холда мазкур курилиш материаллари 3–синф курилиш материалларига киради ва ундан ахоли турар жойидан ташкари булган худудларда йул курилишида фойдаланса булади;

$1350(\text{Бк/кг}) \leq A_{эфф} \leq 4000(\text{Бк/кг})$  булса, у холда мазкур курилиш материаллари 3–синф курилиш материалларига киради ва ундан фойдаланиш учун санитария–эпидемиология хизматларининг махсус рухсати талаб этилади.

Куришиб турибдики биз текширган курилиш материалларининг эффектив солиштирма активликларининг кийматлари 1–синф курилиш материаллари активлигига мос келмокда, яъни уларнинг кийматлари  $< 370$  (**Бк/кг**). Демак, мазкур курилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг солиштирма активли даражаси талабларга жавоб беради ва улардан тура ржой ва ижтимоий биполарни куришда фойдаланса булади.

## ХУЛОСАЛАР

Магистрлик диссертация ишнинг асосий хулосалари куйидагилардан иборат:

1. Радиоактивлик, унинг турлари, емирилиш конунлари, радиоактив оилалар, радиацион фоннинг ташкил этувчилари хақидаги назарий маълумотлар атрофлича таҳлил килинди.
2. Ионизацион нурланишни қайд қилиш услублари, хусусан сцинтилляцион услуб кенг тарзда ёритилди.
3. Сцинтилляцион услубга асосланган «РАДЭК» аналитик комплекснинг таркиби, ишлаш принципи ҳамда қурилиш материаллари таркибидаги радионуклидларнинг активлигини улчаш услуби урганилди.
4. Қурилиш материалларидан махсус тартиб бўйича улчаш намуналарини тайёрлаш услуби урганилди.
5. Қурилиш материаллари: кум, керамик гишт ва шебен (шагалдан) улчаш намуналари таркибидаги радионуклидларнинг эффектив солиштирама активлиги улчанилди. Натижаларга қура эффектив солиштирама активликларнинг барчаси 370 Бк/кг дан паст эканлиги аникланди ва ҳар бир намуна активлигининг асосий улушини  $^{40}\text{K}$  радионуклиди ҳосил қилиши аникланди. Мазкур қурилиш материалларидан аҳоли турар жойларини ва ижтимоий биноларни қуриш ҳамда реконструкция қилишда фойдаланса бўлади деган хулоса чиқарилди.
6. Тадқиқот утқозиш чоғида қулланилган экспериментал услубдан нафакат бошқа турдаги қурилиш материалларининг, балки озик–овкат намуналари, тупрок, сув, саноат маҳсулотлари, умуман атроф муҳит объектларининг таркибидаги радионуклидлар активлигини улчашда фойдаланиш тавсия этилади.

## АДАБИЁТЛАР

1. Бекжонов Р. Атом физикаси ва элементар зарралар физикаси. – Тошкент, 1995.
2. Muminov T.M., Xushmurodov Sh.X., Xoliqulov A.B. Yadro va elementar zarralar fizikasi. Toshkent. 2009.
3. Кужир П.Г. Прикладная ядерная физика. Уч.пос. – Мн.: УП Технопринт, 2000.
4. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. А.А.Боровой. Как регистрируют частицы. – М.: Наука, 1981.
6. М.Т.Максимов, Г.О.Оджагов. Радиационные загрязнения и их измерение. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
7. Жизнь и радиация. Национальный Совет по радиологической защите [Великобритания]; Перевод с англ. Г.В.Архангельской, Е.К.Понкрашевой; Под ред. П. В. Рамзаева. – М.: Энергоатомиздат, 1993
8. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Перевод с англ. Ю.А.Банникова. – М.: Мир, 1988.
9. [www.radek.ru](http://www.radek.ru) Сцинтилляционный спектрометр–радиометр гамма– и бета–излучений МКГБ-01 «РАДЭК». Руководство по эксплуатации. – С.Пб., 2005
10. [www.radek.ru](http://www.radek.ru) Аналитический комплекс «РАДЭК». Методика измерений. – С.Пб., 2005.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ–1994). – Ташкент, 1994
12. Zhang, X. B., Higgitt, D. L. and Walling, D. E. (1990): A preliminary assessment of the potential for using cesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. Hydrol. Sci. **35**: 267-276.
13. He, Q. and Walling, D. E. (1997). The distribution of fallout  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in undistributed and cultivated soils. Appl. Radiat. Isotopes. **48**: 677-690.
14. Govers, G., Quine, T. A., Desmet P. J. J and Walling, D. E. (1996). The contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land. Earth Sur. Proc. Landforms **21**: 929-946.
15. Pegoyev, A. N. and Fridman, Sh. D. (1978). Vertical profiles of cesium-137 in soils (translation). Pochvovedeniye **8**: 77-81.
16. Walling, D. E. and He, Q (1993). Towards improved interpretation of  $^{137}\text{Cs}$  profiles in lake sediments. In: Geomorphology and Sedimentology of Lakes

- and Reservoirs (ed. J. McManus & R. W. Duck), 31-53. Wiley, Chichester, UK.
- 17.Blake, W.H., D.E Walling, and Q. He. (1999). Fallout Beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations. *Applied Radiation and Isotopes* **51**(5): 599-605.
- 18.Zapata, F, 2002. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides. Kluwer Ac. Publ., The Netherlands.
- 19.He, Q. and Walling, D. E. (1996). Interpreting the particle size effect in the adsorption of  $^{137}\text{Cs}$  and unsupported  $^{210}\text{Pb}$  by mineral soils and sediments. *J. Environ. Radiact.* **30**: 117-137.