

## Нейтрон идэвхжилийн аргаар уран тодорхойлох

Б.Отгоолой, П.Зузаан\*, Ж.Амгалан, Г.Дамдинсүрэн, Д.Баатархүү

Монгол Улс, Улаанбаатар-210646, Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Судалгааны Төв

\*Э- шуудан:pzuzaan@yahoo.com

Микротрон МТ-22 дээр цөмийн  $^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U}^{\beta^-}$ ,  $0.392\text{цаг}^{239}\text{Np}^{\beta^-}$ ,  $2.36$  хоног. урвалыг ашиглан уран-238-ыг  $^{239}\text{Np}$  изотопын 228 кэВ энергийн гамма шугамаар тодорхойлох нейтрон идэвхжилийн арга боловсруулсан. Энэ аргаар уран-238-ыг тодорхойлох мэдрэх чадвар  $0.1\text{г/т}$ . Дээжүүдийг шарах болон хүлээх зохистой хугацаа тус бүр 2 цаг болохыг тогтоосон. Энэ ажлыг "Цөмийн физикийн аналитик арга" сэдэвт ажлын хүрээнд гүйцэтгэв.

### I. ОРШИЛ

Монгол Улсын Засгийн газрын 2008-2012 оны үйл ажиллагааны мөрийн хөтөлбөрт цацраг идэвхт ашигт малтмалыг эдийн засгийн эргэлтэнд оруулах, цөмийн эрчим хүч, цөмийн технологийг ашиглаж эхлэх асуудлууд тусгагдсанаар Монгол Улсын төрөөс холбогдох хууль тогтоомжуудыг баталж, баримтлах бодлого, хөтөлбөр, төлөвлөгөөг хэрэгжүүлэхэд онцгой анхаарах болсон [1].

Монгол орны хувьд геологийн эрэл хайгуулын ажлыг үр дүнтэй болгож, ордыг илрүүлж нөөцийг тогтооход тухайн ордын хүдэрт агуулагдах уран гэдэг элементийн орцын хэмжээг тодорхойлох нь чухал асуудлын нэг юм. Түүнчлэн нөгөө талаас нүүрс, фосфорит, цахилгаан станцын хаягдал үнснээс уран ялгах технологи боловсруулахтай холбоотойгоор ураны хэмжээг нарийн тодорхойлох шаардлага тавигдаж байна.

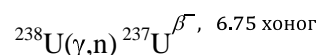
Үүнтэй уялдан МУИС-ийн Цөмийн судалгааны төв атом, цөмийн физикийн аргаар төрөл бүрийн дээжинд уран тодорхойлох арга зүйн судалгаа явуулж байна.

Энэ ажилд ураны хүдэр, фосфорит болон нүүрс, тэдгээрээс уран ялгах технологийн дээжинд ураны агууламжийг тодорхойлох нейтрон идэвхжилийн аргыг боловсруулах асуудлыг авч үзлээ.

Дээжинд аливаа боловсруулалт хийсний дараа  $^{238}\text{U}$ -ын задралын шууд болон бусад бүтээгдэхүүнүүд нь баяжих юмуу эсвэл хорогдсон байдаг. Өөрөөр хэлбэл цацраг идэвхт тэнцвэрийн тухай ямар ч ойлголт байхгүй болно. Иймээс  $^{238}\text{U}$ -г шууд тодорхойлох арга зайлшгүй шаардагдаж байгаа юм. Цаашид боловсруулагдсан дээж дэх  $^{238}\text{U}$ -г техногенийн гэв.

Энэ асуудлыг шийдэх нэг зам бол цөмийн урвалыг ашиглах явдал юм. МУИС-ийн ЦСТ-ийн хурдасгагч МТ-22 дээр гамма болон нейтрон идэвхжилийн гэсэн хоёр суваг байдаг [2].

Эхлээд гамма идэвхжилийн суваг ашиглах асуудлыг авч үзье. Энэхүү суваг дээр дараах цөмийн фотоурвалыг явуулж болно:

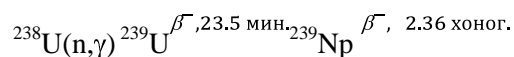


$^{237}\text{U}$ - изотопоос үүсэх 59.54 кэВ болон 208 кэВ энергитэй харгалзан 34.5% ба 21.2 % гаралттай шугамуудаар шинжилгээ хийх боломжтой. Гэвч энэ сувгийн дутагдалтай тал нь нэг удаагийн шаралтанд 5 – аас дээш дээж тавихад систематик алдаа ихэсдэг талтай. Иймд зөвхөн цөөн тооны дээжинд тохиромжтой арга.

Иймээс олон дээжинд шинжилгээ хийхэд зориулсан графитан удаашруулагч бүхий суваг дээр удаан нейтроноор явагдах цөмийн урвалыг ашиглах хувилбарыг сонгосон болно.

### II. УРАНЫГ ТОДОРХОЙЛОХ НЕЙТРОН ИДЭВХЖИЛИЙН АРГА (НИА)

Уран агуулсан аливаа дээжинд нейтрон идэвхжилийн аргаар  $^{238}\text{U}$  изотопыг шууд тодорхойлох арга нь удаан нейтроноор явагдах



урвал дээр үндэслэгдсэн.

Дулааны болон резонансын нейтроноор явагдах дээрх урвалын харгалзах  $\sigma_t$ ,  $\sigma_p$  огтлолууд ба бусад шаардлагатай физик хэмжигдэхүүнийг 1-р хүснэгтэд нэгтгэв.

Хүснэгт.1.  $^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U}^{\beta^-}$ , 23.5 мин.  $^{239}\text{U}^{\beta^-}$ , 2.36 хоног. урвалын зарим өгөгдөл [3]

Урвал	Хагас задралын үе	Урвалын огтлол барн	Гамма квантын энерги E,кэВ	Гамма квантын гаралт %
$^{238}\text{U}(n,\gamma)^{239}\text{U}$	23.5 мин.	$\sigma_i = 2.70 \pm 0.02$ $\sigma_p = 276.3 \pm 2.7$	44 75	4 50
$^{239}\text{U}^{\beta^-} \rightarrow ^{239}\text{Np}$	2.35 өдөр		106 210 228 278	23 3 11 14

Хүснэгт.2. Саад болох урвалууд [3]

Урвал	Хагас задралын үе	Урвалын огтлол, барн	Гамма квантын энерги E,кэВ	Гамма квантын гаралт %
$^{130}\text{Te}(n,\gamma)^{131m}\text{Te}$	30 цаг	$\sigma_i = 0.02$ $\sigma_p = 0.05$		34.5
$^{131m}\text{Te}(n,\gamma)^{132}\text{Te}$	78 цаг	$\sigma_i = 0.11$ $\sigma_p = 0.16$	228	88
$^{198}\text{Pt}(n,\gamma)^{199}\text{Pt}$	31мин	3.7		7
$^{199}\text{Pt}(n,\gamma)^{200}\text{Pt}$	11.5 цаг	1.5	227	2
$^{236}\text{Pu}(n,\gamma)^{237}\text{Pu}$	45.6 өдөр	197	229	8
$^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$	155 өдөр	2.1 3.8	208 228	79 48
$^{242}\text{Cm}(n,\gamma)^{243}\text{Cm}$	28 жил	5 33	228	11

Нейтронээр явагдах (n,γ) урвалаар үүсэх  $^{239}\text{U}$  изотопын хагас задралын үе нь 23.5 минут учраас шаралтын хугацаа 2 цаг байхад тухайн элементийн идэвхи үндсэндээ ханасан хэмжээндээ хүрнэ. Өөрөөр хэлбэл  $^{238}\text{U}$ -ыг удаан нейтроноор 2 цагаас илүү шарахад  $^{239}\text{U}$  изотопын идэвх 3%-иас илүү нэмэгдэхгүй.

Хүснэгтээс харахад  $^{239}\text{U}$  изотопоос үүсэх 50%-ийн гаралттай 75 кэВ энергитэй шугамаар ураны шуурхай шинжилгээ хийх бүрэн боломжтой. Гэвч энэхүү изотопын идэвх нь 47 минутын дараа 75% буурах учраас шинжилгээнд хамрагдах дээжний тоо хязгаарлагдмал.

Нөгөө талаас ураны рентген цацрагийн  $K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$  шугамууд харгалзан 97,13, 111,28 кэВ

энергитэй тул бага энергийн фоныг ихэсгэх учраас аливаа идэвхжилийн шинжилгээнд энэхүү энергиэс бага энергитэй гамма квантыг ашиглахаас зайлсхийх нь илүү оновчтой байдаг. Иймд рентген цацрагаас их энергитэй гамма квантыг сонгон авах нь шинжилгээний систематик алдааг багасгах нэг арга билээ.

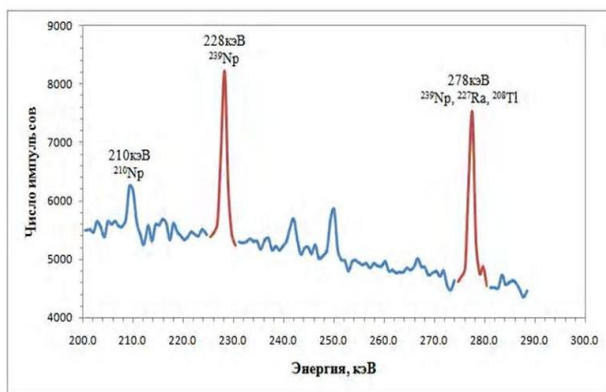
Харин шаралтын дараа 2 цаг хүлээхэд  $^{239}\text{U}$  изотопын 97% нь задарч дараагийн 2,36 өдрийн хагас задралын үетэй  $^{239}\text{Np}$  изотопод үндсэндээ бүрэн шилжинэ. Ийнхүү богино настай изотоп удаан настай изотоп руу шилжиж байгаа нь урт хугацаанд олон тооны дээжинд шинжилгээ хийх таатай нөхцлийг бүрдүүлж байгаа билээ.

Иймд олон дээжийг зэрэг 2 цаг шараад 2 цаг хүлээсний дараа хэмжилтийг 2 өдөр үргэлжлүүлэн хийхэд сүүлийн дээж дэх  $^{239}\text{Np}$  изотопын идэвх анхны хэмжилт эхэлсэн үеийнхээс  $\sim 2$  дахин буурсан байх болно.

Шаралтаас хойш 2 цагийн дараа анхны хэмжилт хийх шаардлага нь дараах хоёр хүчин зүйлтэй холбоотой: нэгдүгээрт  $^{239}\text{U}$  изотопын идэвхид  $^{239}\text{U}$  изотопоос үзүүлэх нөлөө бараг байхгүй болсон байх тул хэмжилтийн дүнд боловсруулалт хийхэд шаардагдах хугацааны ярвигтай засвар хийх шаардлагагүй болно, хоёрдугаарт  $^{239}\text{Np}$  изотопоос үүсэх аналитик гамма квантын энерги богино настай бета задралаас үүсэх аннигилцийн 511 кэВ энергиэс бага учир түүний комптоны сарнилын өндөр фоннд дарагдах магадлал өндөр тул хэдэн минутын настай изотопуудын нөлөөг багасгах шаардлагатай.

Микротроны электроны гүйдэл 10 мкА үед (дулааны нейтроны урсгалын нягт  $\sim 10^8$  нейтрон/см<sup>2</sup>сек) 2 цаг шарж, 2 цаг хүлээсний дараа хэмжсэн дээж №ОФ2 –ын хувьд  $^{239}\text{Np}$  задралын гамма спектрийг 1-р зурагт үзүүлэв.

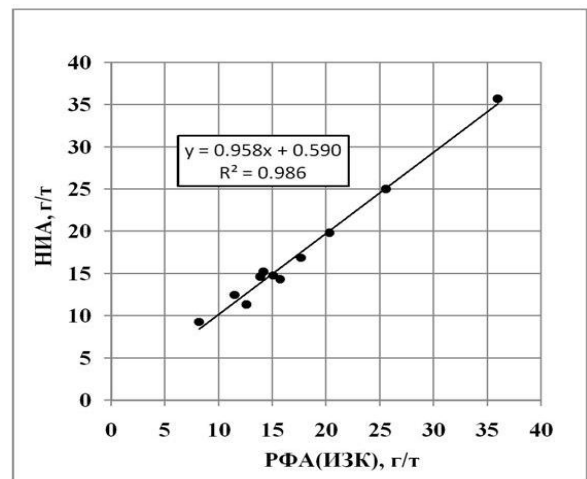
Энэ спектр нь хэмжилт хийсэн өдрийн фонын спектрийг хассан цэвэр спектр бөгөөд бусад бүх боловсруулалт зөвхөн цэвэр спектрт хийгдсэн. Зургаас харахад 278 кэВ энергийн шугамтай  $^{227}\text{Ra}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  изотопуудын шугам давхцаж байна. Харин 210 ба 228 кэВ энергитэй шугамууд ялгарсан байна. Иймд гаралт ихтэй 228 кэВ шугамыг  $^{238}\text{U}$ -ыг тодорхойлоход сонгон авах нь илүү тохиромжтой.



Зураг.1. №ОФ2 дээж дэх  $^{239}\text{Np}$  изотопын гамма спектр. Хэмжсэн хугацаа 2 цаг.

Фосфоритын ордын хүдэр, зарим нүүрсний ордын дээж болон тэдгээрт химийн боловсруулалт хийсэн дээжинд энэхүү НИА-аар  $^{238}\text{U}$ -ыг тодорхойлох шинжилгээ хийж

рентгенфлуоресценцийн аргын (РФА) дүнтэй харьцуулсныг 2-р зурагт үзүүлэв.



Зураг.2.  $^{238}\text{U}$ -ыг НИА болон РФА-аар тодорхойлсон дүнгийн харьцуулалт. ИЗК-Эрхүүгийн дэлхийн царцдас судлалын хүрээлэн

Зургаас харахад хоёр өөр аргаар зэрэгцээ тодорхойлсон үр дүнгүүд зөвшөөрөгдсөн алдааны мужид сайн тохирч байгаа нь аливаа дээжин дэх төдийгүй техногенийн ураныг

НИА-аар  $^{238}\text{U}(n,\gamma)$   $^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-, 23.5 \text{ мин.}} ^{239}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-, 2.36 \text{ хоног.}}$

урвалыг ашиглан тодорхойлж болохыг бүрэн баталж байна. Онцлон тэмдэглэхэд энэхүү аргыг шалгах гадны лабораториор олон улсад хүлээн зөвшөөрөгдсөн Эрхүүгийн дэлхийн царцдас судлалын хүрээлэнг сонгон авч хамтран ажилласан нь бидний боловсруулсан аргын үнэмшлийг бататгах чухал хөшүүрэг болсон билээ.

Стандарт дээжний тусламжтайгаар  $i$  – дугаар дээж дэх ураны  $C_i$  агуулгыг дараах харьцаагаар тодорхойлсон:

$$C_i = \frac{S_i P_c \Phi_c}{S_c P_i \Phi_i}$$

энд:  $S_c$  и  $S_i$  – стандарт болон судалж буй  $i$  – дээжийн хувьд шарах, хүлээх, хэмжих ижил хугацаануудад харгалзах импульсийн тоо;  $P_c$  ба  $P_i$  – стандарт болон дээжийн жин;  $S_c$  – стандарт дээж дэх ураны ( $^{238}\text{U}$ ) агуулга;  $\Phi_i$  – нейтроны урсгалын засвар. Нейтроны урсгалыг зэсэн дээр явагдах (n,γ) урвалын тусламжтайгаар хянасан.

Энэхүү аргаар 30 дээжийг нэгэн зэрэг 2 цаг шараад хэмжилтийг 2 цагийн дараа эхэлж дээж болгоныг 2 цагаар хэмжихэд шаардагдах хугацаа 64 цаг. Энэ тохиолдолд мэдрэх чадвар 0.1г/т байна. Аргын нэг давуу тал нь шинжилгээнд шаардагдах дээжийн хамгийн бага жин 5гр байхад хангалттай.

### Ш.ДҮГНЭЛТ

Микротрон МТ-22 дээр цөмийн  $^{238}\text{U}(\text{n},\gamma)$  урвалыг  
 $^{239}\text{U}$   $\beta^-$ , 0.392цаг  $^{239}\text{Np}$   $\beta^-$ , 2.36 хоног. 1.  
ашиглан уран-238-г  $^{239}\text{Np}$  изотопын 228 кэВ  
энергийн гамма шугамаар тодорхойлох НИА-  
ыг боловсруулав. Энэ аргаар уран-238-г 2.  
тодорхойлох мэдрэх чадвар 0.1г/т.  
Дээжүүдийг шарах болон хүлээх зохистой  
хугацаа тогтмол, тус бүр 2 цаг болохыг тогтоов. 3.

### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Монгол Улсын Ерөнхий сайд С.Батболдын цөмийн энергийн салбарын төлөөлөлтэй хийсэн “Цөмийн технологи-Монгол Улсын хөгжил” зөвлөлдөх уулзалтанд хэлсэн үгээс, 2009.
2. Д.Баатархүү бусад. Электроны цикл хурдасгуур МУИС,ЭШБ,№4(137) хууд.109-119 Улаанбаатар, 1998 он.
3. Handbook on Nuclear Activation Data, Technical reports series No.273,International Atomic Energy Agency, Vienna, 1987.