

Сорил Хэмжилтийн Дээжид Нейтрон Идэвхжилийн Аргаар Хийсэн Элементийн Шинжилгээний Дүн

Г. Дамдинсүрэн^{1,2,*}, П. Зузаан², Н. Отгонпүрэв²

¹МУИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль

²МУИС, Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв

Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний лабораториудын дунд явуулсан ур чадварыг шалгах сорил хэмжилтийн дээжүүдийг ЦСТ-ийн электроны цикл хурдасгуур MT-22 микротроны удаан нейтроны суваг дээр Na, Mn, K, Sb, As, Eu зэрэг элементүүдийг идэвхжилийн аргаар шинжлэн тодорхойлж, бусад орны лабораториудын дүнтэй харьцуулан үзүүлэв.

I. ОРШИЛ

Азийн Цөмийн Хамтын Ажиллагааны Форум (FNCA) нь азийн улс орнуудын цөмийн технологийн үйл ажиллагааг идэвхжүүлэх, хамтран ажиллах, туршлага солилцох зорилготой 2001 онд байгуулагдсан ба одоогоор 12 гишүүн орны бүрэлдэхүүнтэй үйл ажиллагаа явуулж байна. Манай улсын хувьд 2011 оноос гишүүнээр элсэн Био бордоо, Мутацийн селекц ба тогтвортой хөгжил, Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээ, Электрон хурдасгуур ашиглан байгалийн полимер боловсруулах, Цацраг изотопыг туяа эмчилгээнд ашиглах нь гэх зэрэг 10 дэд төсөлд хамтран ажиллаж байна [1].

Гишүүн орнуудын нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний лабораториудын дунд ур чадварыг шалгах, харилцан туршлага солилцох сорил хэмжилтийг 2009 оноос эхлэн хоёр жил тутамд зохион байгуулж эхэлсэн байна.

Олон улсын болон дотоодын сорил хэмжилтэнд оролцсоноор өөрийн лабораторийн

үйл ажиллагааны аргазүйн чанарыг баталгаажуулах, алдаа дутагдлаа үнэлэх, бусад лабораториудтай туршлага солилцох зэрэг олон ач холбогдолтой юм.

Сорил хэмжилтийн дээжийг Австрали улсын Үндэсний хэмжил зүйн хүрээлэнд тусгайлан бэлтгэж, АЦХАФ-ын гишүүн орнуудын нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний лабораториудад явуулсан [2,3].

Бид сорил хэмжилтэнд ирсэн дээжүүдэд элементийн шинжилгээг МУИС – ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн электроны цикл хурдасгуур MT-22 микротрон дээр нейтрон идэвхжилийн аргаар хийж, тодорхойлсон элементүүдийн үр дүнг бусад орны лабораторийн шинжилгээний утгатай харьцуулан энэхүү ажилд нэгтгэн үзүүллээ. Ур чадварыг шалгах сорил хэмжилтэнд оролцсон улсын нэр, лабораторийн дугаар болон хэрэглэсэн аргуудын жагсаалтуудыг хүснэгт 1. – д нэгтгэв.

Хүснэгт 1. Ур чадварыг шалгах сорилд оролцсон улсын нэр, лабораторийн дугаар [2]

Дэс дугаар	Улсын нэр	Лабораторийн дугаар	Тодорхойлох арга
1	Австрали	10	K ₀ – арга (абсолют)
2	Бангладеш	14	Харьцангуй арга
3	Индонез	03	Харьцангуй арга
4	Индонез	07	Харьцангуй арга
5	Индонез	11	Харьцангуй арга
6	Индонез	41	Харьцангуй арга
7	Индонез	42	K ₀ – арга (абсолют)
8	Япон	12	Харьцангуй арга
9	Япон	15	Харьцангуй арга
10	Казакстан	01	Харьцангуй арга
11	Малайз	09	Харьцангуй арга
12	Тайланд	02	Харьцангуй арга
13	Вьетнам	06	K ₀ – арга (абсолют)
14	Монгол	13	Харьцангуй арга

* Electronic address: g.damdinsuren@gmail.com

II. НЕЙТРОН ИДЭВХЖИЛИЙН ШИНЖИЛГЭЭ

МУИС-ийн ЦФСТ-ийн электроны цикл хурдасгуур MT-22 микротрон дээр цөмийн урвалаар судалгаа хийхэд зориулсан гамма, нейтрон идэвхжилийн гэсэн хоёр суваг байдаг. Бид нейтроноор идэвхжүүлэх сувгийг ашиглан шинжилгээг гүйцэтгэсэн. Энэ суваг нь $1.2 \times 1.2 \times 1.2$ м³ эзэлхүүн бүхий графитан удаашруулагчтай, зөвхөн удаан нейтроноор шинжилгээ хийхэд зориулагдсан бөгөөд дулааны нейтроны урсгалын нягт $\sim 10^8$ нейтрон/см²сек байдаг [4]. Гамма болон нейтроны урсгалыг ашиглан цөмийн урвал явуулах байдлаар дээжид агуулагдах химийн элементүүдэд тоон болон чанарын шинжилгээ хийдэг.

Дулааны нейтроноор идэвхжүүлсэн үл мэдэгдэх болон харьцуулах стандарт дээжүүдийн цацраг идэвхийг 50 см³ эзэлхүүнтэй цэвэр хагас дамжуулагч герман детектор бүхий гамма-спектрометрээр ижил нөхцөлд хэмжин харьцуулах замаар тухайн элементийн агуулгыг тодорхойлно [4]:

$$C_{\text{дээж}} = C_{\text{стан}} \frac{S_{\text{дээж}} M_{\text{стан}} \Phi_{\text{стан}}}{S_{\text{стан}} M_{\text{дээж}} \Phi_{\text{дээж}}} \quad (1)$$

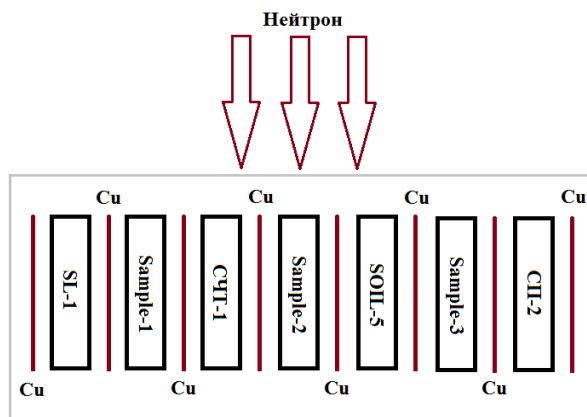
$C_{\text{стан}}$ – стандарт дээжийн агуулга; $S_{\text{дээж}}$, $S_{\text{стан}}$ – стандарт ба дээжийн гамма шугамын хэмжсэн цэвэр эрчим; $M_{\text{стан}}$, $M_{\text{дээж}}$ – стандарт, дээжийн масс; $\Phi_{\text{стан}}$, $\Phi_{\text{дээж}}$ – стандарт, дээж дэх нейтроны урсгалын засвар.

III. ТУРШИЛТ, ҮР ДҮНГИЙН ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Сорил хэмжилтэнд ирүүлсэн судлах болон харьцуулах стандарт дээж тус бүрээс ~ 2 граммыг 20 мм диаметр, 10 мм өндөр бүхий полимер саванд хийж, туршилтанд бэлтгэв. Харьцуулах дээжид олон улсын SL-1, ОХУ-ын СЧТ-1, Soil-5, СП-2 стандарт дээжүүдийг ашигласан.

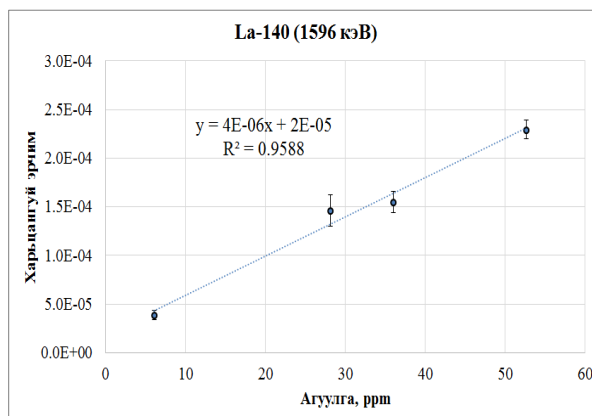
Микротрон MT-22 дээр судлах болон харьцуулах дээжүүдийг электроны гүйдэл ~ 8 мкА байхад 5 цаг шарсны дараа эхний дээжийг хэмжих хүртэл 10 цаг хүлээж, дараагаар дээж тус бүрийг 1 цагийн хугацаанд хэмжив. Судлах болон харьцуулах стандарт дээж дэх нейтроны урсгалын нягтыг ~ 0.2 грамм зэс мониторууд дээр явагдах $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ урвалаар үүссэн $T_{1/2} = 12.7$ цаг хагас задралын үе бүхий изотопын 511(37), 1346(0.5) кэВ гамма шугамыг ашиглан

тодорхойлсон ба дээжийг шарсан геометрийг зураг 1. – д үзүүлэв [5,6].



Зураг 1. MT-22 хурдасгуурын нейтроны сувагт дээжийг шарсан геометр

Үр дүнг тооцоолохдоо стандарт дээжүүдийн өгөгдлийг ашиглан элемент бүрийн хувьд харьцуулах дээж дэх тухайн элементийн агуулга, харьцангуй эрчмийн хамаарлын муруйг байгуулж, судлах дээж дэх элементийн агуулгыг тодорхойлсон ба лантаний хувьд байгуулсан хамаарлын муруйг зураг 2. – т үзүүлэв.



Зураг 2. Стандарт дээжийн агуулга, харьцангуй эрчмийн хамаарлын муруй (La).

Нейтрон идэвхжилийн аргаар Na, Mn, K, Sb, As, Eu зэрэг элементүүдийг тодорхойлж, бусад орны лабораторийн утгатай харьцуулан хүснэгт 2. – т үзүүлэв.

Хүснэгт 2. – оос харахад нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргаар бидний тодорхойлсон элементийн агуулга нь бусад орны лабораторийн утгатай алдааны мужид маш сайн тохирч байна. Манай улсын хувьд цөөн элемент тодорхойлсон нь бидний шарах төхөөрөмжийн хүчин чадал, нейтроны урсгалтай холбоотой боловч энэхүү харьцуулсан хэмжилт нь манай улсын идэвхжилийн шинжилгээний аргазүйн чанарыг олон улсад батлан харуулсан үзүүлэлт болов.

Хүснэгт 2. Сорил хэмжилтийн дээжүүд дэх зарим элементийн агуулгыг НИА-аар тодорхойлж, бусад орны лабораторийн утгатай харьцуулсан дүн [3,7]

		Элемент						
Д/д	Лаб/код	Na	Mn	Eu	La	K	Sb	As
№1 Дээж	1	7190±320		0.90±0.08	22.7±1.5	9540±730	9.8±1.5	18.6±1.2
	2	6430±280	249±2		21.1±3.1	8220±460	11.5±0.6	20.7±1.3
	3	8260±20	300±8		23.2±1.5	10224±367	12.0±0.2	20.9±1.8
	6	7800±280	269±13	0.81±0.07	25.2±2.3	9600±3098	11.1±0.4	21.0±1.1
	7	7680±90	292±5		23.1±1.4	9826±99	10.1±0.7	20.4±1.1
	9	7230±470	251±21	0.80±0.20	28.0±6.8	9728±768	10.9±0.2	18.0±1.6
	10	7580±620	258±18	0.69±0.05	20.8±1.5	9130±760	10.0±0.7	19.1±1.6
	11	7100±360		0.92±0.14	25.3±3.6	8420±420	12.9±1.6	22.0±2.6
	12	7700±300	273±20		22.4±2.6	9440±920	10.4±0.7	19.8±1.3
	13	8125±120	308±14	0.81±0.06	23±2	10247±640	14.2±2.3	16.3±1.8
	14	6850±50	247±17		24.9±0.5	8984±268	10.4±0.3	19.5±0.3
	15	7080±80	264±24	0.81±0.05	34.6±0.6	2340±500	10.7±2.0	34.9±4.8
	41	7495±250	266±13	0.88±0.04	31.5±1.5	7881±240	10.4±0.2	20.1±0.4
	42	6568±190		0.66±0.04	23.1±1.2	8042±310	9.8±0.5	18.2±0.9
	№2 Дээж	1	2240±100		0.99±0.09	25.8±1.7	9400±600	1.6±0.3
2		2420±220	554.3±14.7		24.5±2.5	8800±1060	2.0±0.1	4.8±0.7
3		2619±8	549.3±7.7		31.6±1.2	10737±162	2.1±0.3	5.5±1.1
6		2290±112	585±84.4	0.92±0.07	28.3±2.0	9500±1200	2.0±0.6	5.0±1.1
7		2392±10	605.9±6.9	0.90±0.06	30±1.0	10817±25	1.6±0.2	6.2±0.7
9		2197±146	442.1±80.2	0.86±0.10	29±4.1	9273±274	1.7±0.1	4.4±0.2
10		2334±184	524±38	0.82±0.06	33.5±2.4	9270±720	1.8±0.2	4.8±0.5
11		2380±160		0.94±0.12	24.9±3.2	9660±680	2.2±0.4	3.3±1.0
12		2340±200	525±16.2		29.3±2.8	10200±720	2.0±0.3	5.0±0.6
13		2422±75	397±58	0.76±0.09	32.4±2.5	9945±330	2.7±0.5	4.6±0.4
14		2200±18	495.9±32.2		28.1±0.4	9836±280	2.0±0.1	4.6±0.1
15		2100±20	535±40	0.90±0.05	25.1±0.4	2480±520	1.7±0.3	8.1±1.1
41		2646±105	620.2±13.2	0.92±0.04	25.5±0.2	8942±308	1.5±0.1	4.4±0.1
42		1941±113		0.74±0.05	22.6±0.9	8678±467		3.8±0.3
№3 Дээж		1	17750±800		1.06±0.09	11.1±0.7	8660±670	10.7±1.6
	2	14800±1620	817.6±26.4		9.4±1.1	7970±460	10.8±0.4	37.3±1.4
	3	17331±42	928.3±12.02		10.0±2.2	9246±735	11.5±0.4	38.4±2.4
	6	17900±540	943±21.6	0.82±0.12	11.1±0.4	9700±3038	12.2±2.7	39.0±1.3
	7	32347±895	1002±8.5		15.3±1.1	18868±520	12.6±0.6	45.3±1.1
	9	18184±904	879.1±14.2	0.83±0.10	10.6±1.2	9727±1230	10.8±1.3	37.6±8.6
	10	18300±1360	945.7±68	0.80±0.06	11.0±0.1	9500±1800	11.1±0.9	38.6±2.8
	11	19100±1200		0.92±0.10		10400±400	11.8±0.8	39.8±5.2
	12	17900±600	923±34		11.3±2.8	9370±780	11.3±0.8	38.9±2.0
	13	19814±520	992±43	0.75±0.11	13.8±3.1	10735±925	11.4±1.1	45.2±2.8
	14	15783±106	823.5±51.6		10.6±0.3	8298±252	10.0±0.3	37.4±0.4
	15	17300±200	960±62	0.83±0.05	10.7±0.2	8430±2600	15.5±3.0	74.6±9.8
	41	15211±283	894.9±27.7	0.83±0.03	10.9±0.1	8073±209	10.4±0.2	37.3±0.7
	42	15809±314		0.65±0.05	9.0±0.5	8202±337		35.1±1.3

IV. ДҮГНЭЛТ

Сорил хэмжилтэнд ирсэн дээжүүдийг ЦФСТ-ийн МТ-22 микротроныг ашиглан нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргаар элементүүдийн агуулгыг тодорхойлох туршилтыг гүйцэтгэв. Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээгээр Na, Mn, K, Sb, As, Eu зэрэг элементийн агуулгыг тодорхойлж, бусад орны итгэмжлэгдсэн лабораторийн дүнтэй

харьцуулан үр дүнг баталгаажуулав. Туршилтын дүнгүүдээс харахад МУИС-ийн ЦФСТ-ийн МТ-22 микротрон дээр НИА-аар хийсэн шинжилгээний утгууд нь бусад орны лабораторид хийгдсэн шинжилгээний дүнтэй алдааны мужид сайн тохирч байгаа нь ЦФСТ-д боловсруулсан нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргагүйн боломжийг харуулсан жишээ юм.

V. НОМЗҮЙ

- [1] Г.Дамдинсүрэн, Б.Отгоолой, П.Зузаан. Азийн цөмийн хамтын ажиллагааны форум (FNCA) – ийн сорилын дээжүүдэд нейтрон идэвхжилийн аргаар хийсэн зарим элементийн шинжилгээний дүн. Цөмийн Аналитик Арга, Шинжлэх ухааны суурь судалгааны сэдэвт ажлын тайлан 2011-2013, Улаанбаатар, 2013он.
- [2] John Bennett, “Proficiency Testing in the Asia-Pacific Region coordinated through the Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA)”, IAEA Workshop on Inter-Comparison Feedback of NAA and other Analytical Techniques PT Performed in 2012-2013, 27-31 May 2013, Vienna
- [3] National Measurement Institute, “PROFICIENCY STUDY AQA-13-99 NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS”, May 2013, Australia
- [4] Б.Отгоолой, П.Зузаан, Г.Дамдинсүрэн. Микротрон дээр гамма нейтроны холимог орноор шарах төхөөрөмж. МУИС. ЭШБ. ФИЗИК. №355(16). Хууд. 76-82.
- [5] И.В.Меднис. “Гамма-излучение радионуклидов, применяемых в нейтронно-активационном анализе” РИГА <ЗИНАТНЕ>, 1987
- [6] Handbook on Nuclear Activation Data №273 Vienna.1987.
- [7] John W. Bennett, Mitsuru Ebihara, others “A trial proficiency test of eight NAA laboratories in Asia using stream sediments” Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry, 10 July 2011.