

Микротроны ФНСС дээр резонансны нейтроноор идэвхжүүлж алт тодорхойлоход нейтроны урсгалын зөрөө, сулралыг тооцох

Д.Баатархүү*, Н.Ганбаатар

Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв, Монгол улсын их сургууль, Монгол улс, Улаанбаатар, Баянзүрх дүүрэг, Энхтайвны өргөн чөлөө-122

Резонансны энергитэй нейтроны идэвхжилээр дээж дэх алтны агуулгыг тодорхойлоход шарлагын суваг дахь нейтроны нэгэн төрөл бус урсгалын нөлөө болон дээж дэх нейтроны урсгалын сулралыг тооцож шинжилгээний нарийвчлалыг дээшлүүлж болохыг үзүүлсэн.

Түлхүүр үг: резонансны нейтрон, алт, нейтроны урсгал сулрал

УДИРТГАЛ

Бидний бүтээсэн МУИС-ийн ЦФСТ-ийн микротрон МТ-22 [1] нь гамма болон нейтроны цацрагаар элементийн шинжилгээ хийх өргөн боломжийг бүрдүүлсэн. Бид зөвхөн алтны агуулгыг тодорхойлох арга зүй боловсруулах, хэрэглэх талаар судалгааны цуврал ажлыг хийсэн[2-8] ба энэ ажилд зарим хэмжилтийн нарийвчлан боловсруулсан үр дүнг оруулав.

Цөмийн идэвхжилийн судалгааны бүтээмжийг нэмэгдүүлэхийн тулд олон тооны дээж, стандартыг нэгэн зэрэг шарж идэвхжүүлдэг. Энэ тохиолдолд идэвхжүүлж байгаа цацрагийн оронгийн нэгэн төрөл байдал (энерги, урсгалын нягт) дээжээс дээжид өөрчлөгддөг. Энэ үед нейтроны урсгал удааширан, шингэж, сарниснаар спектр болон идэвхижүүлэлт нь өөрчлөгдөнө. Шинжилгээнд энэ өөрчлөлтийг тооцох эсвэл бууруулах замаар гарч болох алдааны эх үүсвэрийг багасгах шаардлагатай.

Энэ ажлын зорилго. Микротроны резонансны нейтроноор идэвхжүүлэн дээж дэх алтны агуулгыг тодорхойлох үеийн нейтроны энерги, урсгалын нягтын өөрчлөлт болон дээж идэвхжүүлэх үеийн алтны цөм дээрх нейтроны урсгалын сулралыг тооцох аргыг боловсруулахад оршино. Ажлын агуулга нь нэгэн зэрэг идэвхжүүлэн хийх олон элементийн шинжилгээнд урсгалын зөрөө сулралыг тооцож, шинжилгээний нарийвчлалыг эрс дээшлүүлэх боломжийг илэрхийлж байгаа юм.

I. ДЭЭЖИД АЛТ ТОДОРХОЙЛОХ АРГА ЗҮЙ

Фото-нейтроны судалгааны систем (ФНСС)-ийн резонансны нейтрон идэвхжилийн арга

(РНИА)-аар алт тодорхойлоход хамгийн тохиромжтой урвал нь $^{197}\text{Au}(n,\gamma)\text{Au}^{198}$ бөгөөд урвалаар үүссэн Au^{198} -ийн бета-задралын 411.9 кэВ энергитэй гамма квантыг бүртгэж алтыг тодорхойлдог.

Дээжид байгаа саад болох элементүүдийн идэвхжил, шарлагын суваг дахь дулааны нейтроны нөлөөг багасгаж, 411.9 кэВ –ийн шугамд харгалзах фоныг бууруулах аргыг [9] ажилд өгүүлсэн.

A. Дээж, стандарт, мониторгыг идэвхжүүлэх.

Алтны агуулгыг гадаад стандартын харьцангуй аргаар тодорхойлох мөн боловсруулсан аргаа шалгахад Монгол улсын стандарт загваруудыг [10] ашигласан.

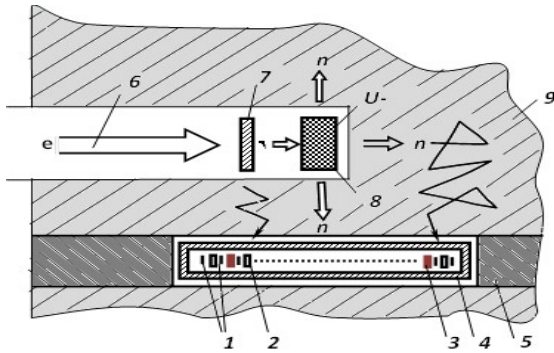
Дээжийг стандарт дээжтэй адил хэмжээнд нунтаглах ба ижил нягттай, 30-50 грамм жинтэйгээр адил хэмжээний цилиндр, полиэтилен саванд савлана. Нейтроны урсгалын зөрөөг тооцоолохын тулд зэс мониторуудыг дээж болон стандарт бүрийн завсарт байрлуулна. Эдгээрийг кадми бортогод хийж ФНСС-д нейтроноор шарж идэвхжүүлэнэ (зураг.1).

Б. Хэмжилт.

Дээж идэвхжүүлэх, хөргөх, хэмжих тохиромжтой хугацаа нь нейтроны урсгалын нягт, дээж дэх алтны болон саад болох элементийн агуулга, урвалын огтлол, хагас задралын үеэс хамаарна. Дээж дэх алтны агуулга нь 411.9 кэВ энергитэй гамма квантын эрчмээр тодорхойлогдох тул үүнд харгалзах бүртгэгдсэн импульсийн тоог олно. Хэрэв алтны агуулга 1г/т –оос бага бол хэмжих хугацаа нэмэгдэнэ. Зэс

* Electronic address: ddd.baatarhuyu@gmail.com

монитор бүрийн хэмжилт 5 минут байхад хангалттай.



Зураг 1. ФНСС дэх алтны дээжийн байршил. 1-Монитор, 2-Дээж, 3-Стандарт, 4-Кадми бортого, 5-Дээж шарах суваг, 6-Электроны урсгал, 7-Тантал бай, 8- ^{238}U бай, 9-Бал чулуун удаашируулагч.

II. ХУГАЦААНЫ ЗАСВАР

Нэг детекторт цувуулан хэмжсэн дээж ба стандарт, мониторын импульсийн тоонд хүлээсэн хугацааны засварыг хийвэл, нэгэн зэрэг хэмжигдсэн үеийн импульсийн тоо, нь дараах (1) ба (2) томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$F_i = N_i \frac{e^{\lambda_{\text{Cu}} t_{i,\text{Cu}}}}{P_{i,\text{Cu}}} \quad (1)$$

$$S_i = I_i \frac{e^{\lambda_{\text{Au}} t_{i,\text{Au}}}}{P_{i,\text{Au}}} \quad (2)$$

Энд, N_i , I_i , i -дугаар зэс монитор, дээж, стандартыг хэмжихэд тоологдсон импульсийн тоо, λ_{Cu} , λ_{Au} - Cu^{64} ба Au^{198} -ийн задралын тогтмол, $t_{i,\text{Cu}}$, $t_{i,\text{Au}}$ - i -дугаар зэс монитор, дээж, стандартыг шаралт дууссанаас хойш хэмжилт эхлэх хүртэл хүлээсэн хугацаа, $P_{i,\text{Cu}}$, $P_{i,\text{Au}}$ - монитор, дээж ба стандартын жин.

Нейтроны урсгалын нягт бүх дээж, стандартад тогтмол байх үед, i -дугаар дээжийн алтны агуулга C_i -ийг гадаад стандарт ашиглан харьцаагаар тодорхойлно:

$$C_i = \frac{S_i}{S_{St}} C_{St} \quad (3)$$

Энд: S_i ба S_{St} нь (2)-д тооцсон дээж ба алтны стандартаас бүртгэгдсэн импульсийн тоо, C_{St} нь стандартын алтны агуулга.

III. НЕЙТРОНЫ УРСГАЛЫН НЯГТЫН ЗӨРӨӨГ ТООЦОХ

Дээж ба стандарт нь байрлалаас хамаарч харилцан адилгүй урсгалтай нейтроноор шарагдана. Урсгалын энэ зөрөөг тооцоход зэс ялтсан монитор ашиглах ба харьцангуй нэгжид шилжүүлэн дараах маягаар засварлах нь тохиромжтой. Энэ (1) илэрхийллийн F_i -ийн утгуудын хамгийн их утгыг F_{max} гэвэл нейтроны харьцангуй урсгал нь

$$\Phi_i = \frac{F_i}{F_{\text{max}}} \quad (4)$$

болно. i -дугаар стандарт болон дээжийн байрлалд харгалзах нейтроны харьцангуй урсгал нь тэдгээрийн хоёр талын харьцангуй урсгалын дунджаар

$$\bar{\Phi}_i = \frac{\Phi_i + \Phi_{i+1}}{2} \quad (5)$$

гэж илэрхийлэгдэнэ. i -дугаар дээж, стандартад нейтроны урсгалын өөрчлөлтийн засвар хийхэд тоологдвол зохих импульсийн тоо x_i нь дараах харьцаагаар илэрхийлэгдэнэ.

$$x_i = \frac{S_i}{\Phi_i} \quad (6)$$

Энэ нь дээж болон стандарт бүр байрлалаас үл хамааран нэгэн ижил нейтроны урсгалаар шарагдсан үед бүртгэгдсэн импульсийн тоог илэрхийлнэ.

IV. ДЭЭЖ ДЭХ НЕЙТРОНЫ УРСГАЛЫН СУЛРАЛЫГ ТООЦОХ

Дээжид нейтрон урвал явуулахаас гадна сарниж, диффузилэн энерги, эрчим нь өөрчлөгдөнө. Энэ процессын үр дүнд дээж идэвхжүүлэх нейтроны урсгал өөрчлөгдөн сулардаг.

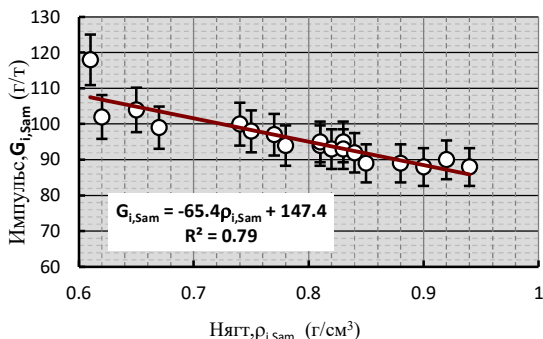
Нейтрон дээжийн гадаргаас эхлэн урвалд орох тул Φ -урсгалтай нейтроны оронд дээж $\Phi > \bar{\Phi}$ дундаж урсгалтай нейтроноор идэвхжинэ. Нейтроны урсгалын энэ сулралыг ФНСС-д идэвхжүүлж байгаа дээж, стандарт бүрийн хувьд тооцоолох нь шинжилгээний нарийвчлалыг дээшлүүлэх ач холбогдолтой. Дээж ба стандартад нейтроны урсгалын сулрал дараах хэлбэртэй бичигдэнэ:

$$\Phi = \Phi_o \exp(-\sum N_i \sigma_i D) \quad (7)$$

Энд: D -урсгал суларсан зай, N_i - 1cm^2 талбай дахь атомын тоо, σ_i -бүрэн огтлол

Туршилт, хэмжилтээр $(\sum N_i \sigma_i)$ -ыг тодорхойлох боломжгүй байдаг учраас хурдан нейтроны урсгал сулралыг нэгж хугацаанд үүссэн идэвхжил дээжийн геометр хэмжээнээс

хамаарсан функц маягийн засварыг хэрэглэн тооцсон байдаг [11]. Бид дээжийг идэвхжүүлэн өөрчлөгдөж буй нейтроны урсгалын нөлөөг дээж ба стандартын нягтаас хамааруулан тооцож бууруулах аргыг илэрхийлэв. Үүний тулд стандарт ба дээж бүрийн хувьд 1г/т алтны агуулгад оногдох импульсийн $G_{i,ct}$, $G_{j,Sam}$ тоог (8)-аар олж, дээжийн нягтаас хэрхэн хамаарахыг зураг-2 д үзүүлэв.



Зураг 2. Адил 1г/т агуулгатай дээж ба стандартын импульсийн тоо, нягтын хамаарал.

$$G_{i,St} = \frac{x_{i,St}}{C_{i,St}} \quad G_{j,Sam} = \frac{x_{j,Sam}}{C_{j,Sam}} \quad (8)$$

Энд: $C_{i,St}$ ба $C_{j,Sam}$ нь i -дугаар стандарт ба j -дугаар дээжийн (3) томьёогоор олсон (нейтроны урсгалын засвар хийгдээгүй) агуулга, $x_{i,ct}$ ба $x_{j,Sam}$ нь i -дугаар стандарт мөн j -дугаар дээжээс тоологдсон урсгалын зөрөөгүй үеийн (2) харьцаагаар олсон импульсийн тоо.

G_{St} , G_{Sam} утгууд ба нягтаас шугаман хамаарлын дараах тэгшитгэлүүдийг бичиж болно.

$$G_{i,St} = a_{St} - b_{St}\rho_{i,St} \quad (9)$$

$$G_{j,Sam} = a_{Sam} - b_{Sam}\rho_{j,Sam} \quad (10)$$

Эдгээр шугаман тэгшитгэлээс орд, дээж бүрд харгалзах a ба b -ийн утга олдоно. Мөн дээж ба стандартын алт дээр нейтроны урсгал урвалаар сулрах H коэффициентууд харгалзан дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$H_{i,St} = 1 - \frac{b_{i,St}}{a_{i,St}} \rho_{i,St} \quad (11)$$

$$H_{j,sam} = 1 - \frac{b_{j,sam}}{a_{j,sam}} \rho_{j,sam} \quad (12)$$

Дээж ба стандартын хэмжилтийн үр дүн, хүлээсэн хугацааны (1), (2) нейтроны урсгалын нягтын өөрчлөлтийн (6) болон нейтроны урсгал урвалаар сулрах коэффициентын (11), (12) засваруудыг оруулж тооцоход дээж дэх j -дугаар

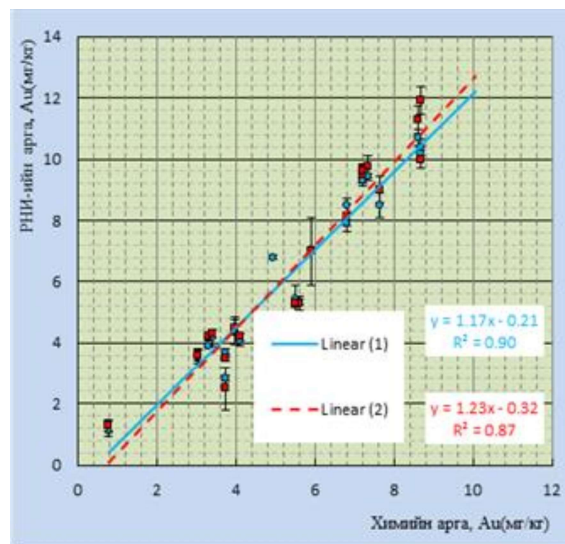
дээжийн хувьд i -дүгээр стандартаар бодож олсон алтны агуулга C_j нь

$$C_{j,sam} = \frac{x_{j,Sam}}{x_{i,St}} \frac{H_{i,St}}{H_{j,Sam}} C_{i,St} \quad (13)$$

гэж г/т-оор илэрхийлэгдэнэ.

V. ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ДҮН

Алдааны эх үүсвэрүүдийг тооцсон алтны агуулгыг тодорхойлсон резонансын нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний үр дүнг, химийн аргаар тодорхойлсон (баталгаажсан) дүнтэй харьцуулж (зураг 3)-т үзүүлэв.



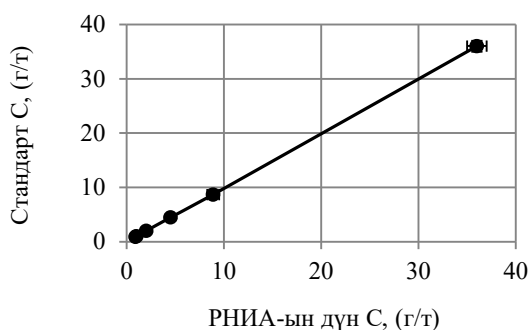
Зураг 3. Резонансны нейтроны идэвхжилийн болон химийн аргаар алт тодорхойлсон дүнгийн жишилт. Нейтроны урсгалын нягтын болон урвалаар сулрах сулралтын өөрчлөлтийг 1-д(тасралтгүй шугам) тооцсон, Нейтроны урсгалын нягтын өөрчлөлтийг зөвхөн 2-д(тасархай шугам) тооцсон.

РНИА-р тодорхойлсон алтны агуулга ихэнх дээжид химийн аргын дүнтэй алдааныхаа мужид тохирч байна (химийн аргын алдаа 6-12 %). Шинжилгээний дүнгийн дундаж квадрат хазайлтыг (хүснэгт 1) -д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Дундаж квадрат хазайлт

Агуулга, г/т	Дундаж квадрат хазайлт, %
0.1-0.99	<30
1-1.90	<27
2-7.90	<18
8-40.0	<9

Нейтроны урсгалын нягтын болон урвалын сулрахыг тооцож боловсруулсан идэвхжилийн шинжилгээний энэ аргыг, стандартын алтны агуулгыг тодорхойлон шалгасан дүнг (зураг 4) , (хүснэгт 2) -д үзүүлэв.



Зураг 4. РНИА-р стандартын агуулга шалгасан дүнгийн жишилт.

Энд шинжилгээний нийлэмж-коэффициент ($R^2=0,99$) байна.

Хүснэгт 2. Стандартын алтны агуулгыг РНИА-аар тодорхойлж шалгасан дүн, г/т.

	Стандарт	Багалгаат утга	Бидний утга
1	СЗХ-3	0.9 ± 0.1	0.91
2	СЗХ-1	1.0 ± 0.1	1.00
3	СЗХ-2	2.0 ± 0.1	2.00
4	СЗР-1	4.5 ± 0.1	4.50
5	ПИЭН613	8.9 ± 0.6	8.70
6	СЗК-1	36 ± 1.0	36.00

Мөн дээж дэх алтны агуулгыг тодорхойлох нарийвчлал 2-3 дахин нэмэгдэж, 1г/т агуулгатай дээжид 10%, 10г/т агуулгатай дээжид 5% болсон. Шинжилгээний үр дүн давтагдах чанар дүрэм ёсоор 10% -аас багагүй байна.

ФНСС дээр дээж шарах хугацаа 2 цаг, хүлээх хугацаа 48 цаг, хэмжилтийн хугацаа алтны агуулгаас хамааран дээж бүрд 10-20 минут байх үед (14) томъёогоор бодоход алтны агуулгыг 95%-ийн итгэлтэй тодорхойлох, алт илрүүлэх хязгаар ихэнх дээжийн хувьд 2-3 г/т байна [6].

$$L_{Au} = C_{Au} \times [3\sqrt{S_f}/S_{Au}] \quad (14)$$

Энд: L_{Au} -илрүүлэх хязгаар, C_{Au} -дээж дэх алтны агуулга, S_f ба S_{Au} -нь аналитик шугамын фон ба талбай.

VI. ДҮГНЭЛТ

Идэвхжүүлэх нейтроны урсгалын нягтын болон дээж дэх урвалаар сулрах сулралтыг тооцох энэ аргыг боловсруулан хэрэглэсэн нь:

1. Бидний бүтээсэн микротроны ФНСС-ийн 12 сувагт (3-6) г/тн-оос багагүй алтны агуулгатай 200-250 дээжийг нэгэн шаралтаар идэвхжүүлэн шинжилгээ хийх боломжтойг тогтоосон.

2. Олон элементийг нэгэн зэрэг идэвхжүүлэн тодорхойлох шинжилгээнд, идэвхжүүлэх цацрагийн урсгалын нягтын болон тухайн

элементүүд дээрх урвалаар сулрах сулралтыг тооцож нарийвчлалыг дээшлүүлэх шинэ боломжийг хөндөж илрүүлсэн.

3. Алт тодорхойлох бидний боловсруулсан арга Улсын стандарт хэмжил зүйн албаны стандарт загварууд боловсруулан тогтоох хяналтын шинжилгээнд хэрэглэх боломжтой ($R^2=0,99$) байна.

4. Энэ аргаар “Монгол газар” ХХК-ний Харгуйдын орд, Ховдын Мөстийн алтны орд, “Эрэл” ХХК-ний андезит, занар, эрдэс, ГТЛ, ШУА-ийн ХХ, УМХГ-ын алтны дээжийн шинжилгээнүүд хийгдсэн.

5. Цөмийн идэвхжилийн аргаар Монгол банкинд хүлээн авч буй алтан гулдмайн цэвэршилтийг хянах шинжилгээнд ашиглах боломжтой.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Д.Баатархүү нар, Электроны цикл хурдасгуур Микротрон МТ-22, МУИС-ийн ЭШБ №4(137), 1998, х.109-119, Улаанбаатар
- [2] D.Baatarhkuu et al. Gold Determination in Gold-Containing Samples Using the Method of Neutron Activation Analysis. Workshop Siberian Geoanalytical Seminar, July 24-26, 2001, Irkutsk, Russia pp.27.
- [3] А.Карибай нар. Оценка возможности электронного ускорителя Микротрона МТ-22 для анализа в пробах из золоторудных месторождений, ISCP-2 Proceedings of the 2-nd International School on Contemporary Physics, Ulaanbaatar, Mongolia, 2002, pp. 208-217.
- [4] D.Baatarhkuu et.al. Bulk analysis method of gold determination in ores using epithermal neutrons of electron accelerator MICROTRON МТ-22. Preprint of JINR, E18-2004-96;
- [5] Д.Баатархүү нар, Резонансын нейтроны идэвхжилээр алтны агуулгыг тодорхойлох асуудалд, МУИС, ЭШБ №179(10), 2003, Улаанбаатар, х.173-178.
- [6] Д.Баатархүү нар. Резонансын нейтроноор алт тодорхойлсон дүн. Бүс нутгийн тогтвортой хөгжил, мэдээллийн технологи-2002, ЭШОТ-ийн бага хурал, Өлгий хот, 2002, х 70-74.
- [7] Д.Баатархүү и др, Методика определения Au в золотосодержащих образцах методом нейтронного активационного анализа. МУИС, Шинэ материалын хими

- технологийн төв, ЭШБ, 177(4), х.41-45, 2001.
- [8] D.Baatarkhuu et al, Estimation possibility of determination gold in ores using photoneutrons of cyclic electron accelerator microtron MT-22, ISCP-2 International School on Contemporary Physics, Book of Abstracts, Ulaanbaatar, Mongolia, 2002, p53
- [9] Д.Баатархүү, Н.Ганбаатар, Резонансын энергитэй нейтрон идэвхжилээр алт тодорхойлоход саад болох идэвхжил болон дулааны нейтроны нөлөөг бууруулах арга зүй, МУИС, ХШУИС-ийн ЭШБ №1, 2018
- [10] Свидетельство и сертификат на золотосодержащие руды: USZ:23-98 "ЦБХ Au" (10.72 ± 0.78), УСЗ: 21-98 "ЗБ-2" (1.05 ± 0.16), USZ:30-2000 "Б-7/2" (5.92 ± 0.21), USZ:31-2000 "Б-7/3" (3.28 ± 0.19)
- [11] S. Nargowalla, Edwin Przylowicz. Activation Analysis with Neutron Generators. JOHN WILEY and SONS New York/London/Sydney/ Toronto. 1973.