

Резонансны энергитэй нейтрон идэвхжилээр алт тодорхойлоход саад болох идэвхжил болон дулааны нейтроны нөлөөг бууруулах арга зүй

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 алт тодорхойлох үед саад болох элементүүдийн идэвхжил, тэдгээрийн гамма квант болон дээж шарах суваг дах дулааны нейтроны нөлөөг бууруулах арга зүй боловсруулж шинжилгээний нарийвчлалыг дээшлүүлэх боломжийг бүрдүүлсэн.

Түлхүүр үг: резонансны энергитэй нейтрон, дулааны нейтрон, гамма квант, саад болох идэвхжил

УДИРТГАЛ

Манай оронд дээж дэх алтыг тодорхойлоход хими-технологийн арга, атомын шингээлтийн болон плазмын индукцэн холбоотой атомын цацаргалтын спектрометрүүдийг хэрэглэж байна.

Алтны геологи хайгуул, хүдэр боловсруулах технологийн судалгаанд судалгааны реактор, хурдасгуур, 10^9 - 10^{11} н/сек нейтроны гаралттай изотоп үүсгүүр ашиглаж алтыг 0.1-0.01 ppm хэмжээнд мэдэрч тодорхойлсон байдаг [1-2].

Бидний бүтээсэн микротроны хурдассан электрон, саатлын гамма ба нейтрон цацраг нь атом, цөмийн физикийн суурь болон хэрэглээний судалгааны өргөн боломжийг бүрдүүлсэн.

Бид фото-нейтроны судалгааны систем (ФНСС) дээр алтны агуулгыг тодорхойлох арга зүй боловсруулж хэрэглэсэн цуврал судалгаа хийсэн [3-9].

Энэ ажилд алтны агуулга тодорхойлох шинжилгээний алдааны эх үүсвэр, дээжид байгаа бусад элементүүдийн саад болох идэвхжил мөн ФНСС дэх дулааны нейтроны нөлөөг тооцоолж багасгах замаар шинжилгээний нарийвчлалыг дээшлүүлэх асуудлыг авч үзсэн.

I. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Микротроны дулааны ба резонансны нейтрон идэвхжилийн аргаар алт тодорхойлоход хэрэглэгдэх цөмийн урвалын өгөгдлийг (хүснэгт 1)-д үзүүлэв.

Нейтрон идэвхжилийн аргаар алт тодорхойлоход хамгийн тохиромжтой урвал нь $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ бөгөөд урвалын бүтээгдэхүүн ^{198}Au -ийн задралын 411.9 кэВ энергитэй гамма квантыг бүртгэж алтыг тодорхойлох нь тохиромжтой.

Хүснэгт 1. Алтны цөмийн дулааны ба резонансны нейтроноор явагдах урвал, үүссэн цөмийн задралын өгөгдөл.

Алтны изотоп	Тархалт, %	Урвалын огтлол, барн		Цөмийн урвал	Үүссэн изотоп Au^{198}	
		Дулааны нейтрон (0.025 эВ)	Резонансын энергитэй нейтрон, $1\text{кэВ} > E > 0.025\text{эВ}$		T _{1/2} , цаг	E _γ , кэВ гаралт
^{197}Au	100	98.8	1551	$^{197}\text{Au}(n,\gamma)\text{Au}^{198}$	62.4	411.9 (0.95)

II. СААД БОЛОХ ҮЗЭГДЛҮҮДИЙН НӨЛӨӨГ ТООЦОХ, БАГАСГАХ АРГА

Саад болох үзэгдлүүдийн нөлөөг дээжийг шарж идэвхжүүлэх, цацраг идэвхийг хэмжих, хэмжилтийн үр дүн боловсруулах бүх үе шатуудад тооцно.

A. Саад болох урвал.

^{198}Au нь хурдан нейтроны $^{198}\text{Hg}(n,p)^{198}\text{Au}$; $^{201}\text{Tl}(n,\alpha)^{198}\text{Au}$ урвалаар үүсэх боломжтой. Гэвч ^{198}Hg -ийн байгалийн тархалт 10.02% ба алтны (n,γ) урвалын огтлолтой жишихэд (n,p) урвалын огтлол нь маш бага, алтны байгалийн ордуудад мөнгөн усны тогтоц байдаггүй. Саатлын гамма цацрагаар ^{238}U дээр үүссэн хурдан нейтрон

* Electronic address: ddd.baatarkhuu@gmail.com

ФНСС-д бүрэн удааширдаг тул дээжийг шарах сувагт хурдан нейтрон байхгүй. Мөн ²⁰¹Tl изотоп нь байгал дээр тогтвортой байдаггүй тул энэ хоёр изотопоос ¹⁹⁸Au үүсэж саад болохгүй.

Алтны ордууд, геологийн дээжид олон элементүүд байдгийг хэмжилтээр ажигласан ба

Хүснэгт 2. Геологийн алтны дээжид зонхилон дагалдах элементийн дундаж агуулга, (%)

Na	Cu	Fe	Mn	Zn	As	Sb
10 ⁻² ±11.1	10 ⁻³ ±24.0	10 ⁻¹ ±4.9	10 ⁻² ±3.0	10 ⁻³ ±52.2	10 ⁻² ±1.2	10 ⁻³ ±0.6

Б. Саад болох идэвхжилийн харьцангуй эрчимийг тооцох, түүнийг багасгах.

Алт бүхий геологийн дээжид ихээхэн хэмжээгээр агуулагдах магадлалтай, алт тодорхойлоход голлон нөлөөлж саад болох элементүүдийн цөмийн физикийн (урвал, задралын) өгөгдлийг хүснэгт 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 3. Алт тодорхойлоход саад болох элементүүдийн урвал, задралын өгөгдлүүд

№	Изотоп	g _i	(n,γ) урвалын огтлол, σ _i барн		T _{1/2} , цаг	Нөлөөлөх гамма квантын энерги (кэВ), гаралт (K _γ %)
			σ _{th}	σ _R		
1	²³ Na	1.0	0.53	0.125	15.05	511 (1)
2	⁵⁵ Mn	1.0	13.30	14.0	2.58	847 (0.99)
3	⁷⁵ As	1.0	4.50	63.0	26.30	559 (0.45)
4	¹²¹ Sb	0.57	5.90	202.0	64.80	564 (0.72)

Эдгээр өгөгдлүүдийг ашиглан тухайн элементээс өгөх гамма квантын эрчимийг алтны 411,9 кэВ энергитэй гамма квантын эрчимтэй харьцуулан (1) томъёогоор (харьцангуй эрчимийг) бодож хүснэгт 4-д үзүүлэв.

$$I_{\text{харь}} = \frac{I_i}{I_{\text{Au}}};$$

$$I_i = S_i \cdot \lambda_i = \frac{m \cdot N_A \cdot \varepsilon \cdot \sigma_i}{M_i} K_{i\gamma} \vartheta (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (1)$$

Энд: I-эрчим, K-гаралт, θ-изотопын байгалийн тархалт, λ-задралын тогтмол, t-хугацаа.

Хүснэгт 4. Алт тодорхойлоход саад болох гамма-квантын харьцангуй эрчим

Изотоп	E _γ , кэВ	I _{харь} харьцангуй эрчим (алтны 411.9кэВ)	
		Дулааны нейтроноор идэвхжүүлэх	Резонансны нейтроноор идэвхжүүлэх
¹⁹⁸ Au	412	1	1
²⁴ Na	511	0.188	0.0057
⁵⁶ Mn	847	8.453	0.5650
⁷⁶ As	559	0.130	0.1140
¹²¹ Sb	564	1.970	0.2500

тэдгээрээс зонхилон дагалдах элементүүдийн дундаж агуулгыг хүснэгт 2-т үзүүлэв [4]. Эдгээрээс Na, Mn, Sb, As зэрэг элементүүд голлон нөлөөлөх боломжтой.

Хамгийн баян ордны алтны агуулга 0.001% (10 г/т) ихгүй, харин Na, Mn-ийн агуулга 0.050 % (500 г/т)-ээс хэтгэрдэггүй, харьцаа нь (5:0.1) орчим байдаг. Энэ харьцаа мөн хүснэгт 4-өөс саад болох элементүүдийн гамма-квантын харьцангуй эрчим нь дулааны нейтроны хувьд I_{харь}=9.4 (Na) болон 422.7(Mn), резонансны нейтроны хувьд I_{харь}=0.3 (Na) болон 28.3 (Mn) байна. Эндээс резонансны нейтроноор шинжилгээ хийхэд 412 кэВ энергийн мужид фон бага байх, харин дулааны нейтроны тохиолдолд фон их байх нь харагдаж байна. Мөн хүснэгт 5-д саад бологч изотопуудын дулааны нейтроны идэвхжил алтны мөн идэвхжилээс хэд дахин их байгааг үзүүлэв. Эдгээрээс саад болох идэвхжилийг бууруулахын тулд дулааны нейтроны урсгалыг аль болохоор багасгах шаардлагатай байна.

Хүснэгт 5. Саад бологч изотопуудын ба алтны дулааны нейтроны идэвхжилтийн харьцаа, (%)

Үүсэх изотоп	Урвал	Нейтроны нийт идэвхжил дэх дулааны нейтроны идэвхжилт S _{th} ⁱ , %	
		S _{th} ⁱ	S _{th} ⁱ /S _{th} ^{Au}
¹⁹⁷ Au	¹⁹⁷ Au(n,γ) ¹⁹⁸ Au	6.0	
⁶⁴ Cu	⁶³ Cu(n,γ) ⁶⁴ Cu	47.8	7.9
²⁴ Na	²³ Na(n,γ) ²⁴ Na	62.3	10.4
⁵⁶ Mn	⁵⁵ Mn(n,γ) ⁵⁶ Mn	49.1	8.1
⁷⁶ As	⁷⁵ As(n,γ) ⁷⁶ As	6.1	1.1
¹²¹ Sb	¹²⁰ Sb(n,γ) ¹²¹ Sb	2.9	0.5

III. ДУЛААНЫ НЕЙТРОНЫ НӨЛӨӨГ ТООЦОЖ БУУРУУЛАХ

Иймд бид ФНСС-ийн дээж шарах суваг дахь дулааны нейтроныг хэмжих, нөлөөг нь бууруулахын тулд тухай байрлал дахь кадми харьцааг тодорхойлсон. Кадми дулааны нейтроныг шингээх огтлол асар их (¹¹³Cd-ийн σ_{th}=1.99·10⁴ барн), 0.25 мм зузаан кадми ялтас 0.4 эВ хүртэл, 1 мм зузаан ялтас нь 0.55 эВ энергитэй нейтроныг ч шингээдэг [8,10]. Иймд дээжийг кадми бортогод хийж шарвал зөвхөн

резонансны энергитэй нейтроноор идэвхжинэ. Тухайн байрлал дахь дулааны ба резонансны нейтроны урсгалын харьцааг илэрхийлэх кадми харьцаа нь

$$R = 1 + \frac{\sigma_{th}}{I_{Res}} \cdot \frac{\Phi_{th}}{\Phi_{Res}} \quad (2)$$

гэж илэрхийлэгддэг. Энд, σ_{th} -дулааны нейтроноор явагдах урвалын огтлол, Φ_{th} -дулааны нейтроны урсгал, I_{Res} -резонансны интеграл, Φ_{Res} -резонансны нейтроны урсгал.

Манай микротроны ФНСС-ын шарлагын суваг дахь кадми харьцааг дан дулааны эсвэл резонансны нейтроны урвал ашиглах элементийн судалгаанд хэрэглэнэ. Зэс идэвхжүүлэн хэмжиж тогтоосон кадми харьцаагаар алтны кадми харьцаа

$$R_{Cd}^{Au} = 1 + (R_{Cd}^{Cu} - 1) \cdot \frac{I_{Res}^{Cu}}{I_{Res}^{Au}} \cdot \frac{\sigma_{th}^{Au}}{\sigma_{th}^{Cu}} \quad (3)$$

гэж илэрхийлэгдэнэ.

ОХУ-ын Дубна хот дахь ЦШНИ-ийн микротроны нейтроны төхөөрөмжийн дулааны ба резонансны нейтроны урсгалын харьцаа нэгтэй тэнцүү байрлалд алтны кадми харьцаа $R_{Cd} \approx 1.064$ байдаг [11,12]. Бид ФНСС-ийн сувгууд дахь алтны кадми харьцааг тодорхойлж хүснэгт 6-д үзүүлэв.

Хүснэгт 6. ФНСС-ийн шарлагын суваг дахь алтны кадми харьцаа.

Шарлагын суваг	1	2	3	4
$R_{Cd}(Au)$	1.17	1.19	1.20	1.21

Манай тохиолдолд шарлагын сувгуудад алтны кадми харьцаа $\sim 10\%$ их байгаа нь төхөөрөмжийн бүтэц мөн дээжийн полиэтилен сав дээрх нейтроны удаашралтай холбоотой. Алтны хувьд R_{Cd} ийм харьцангуй бага байгаа нь кадми бортогод дээж шарсан үед аналитик шугамын эрчмийг багасгахгүйгээр саад бологч элементүүдээс үүсэх фоныг бүрэн бууруулах боломжтойг харуулж байна.

IV. ДЭЭЖИЙН ИДЭВХИЙГ ХЭМЖИХЭД ГАРЧ БОЛОХ АЛДАА, ТҮҮНИЙГ ТООЦОХ

А. Саад болох идэвхжил.

^{24}Na , ^{56}Mn , ^{76}As , ^{122}Sb изотопуудын гамма шугамууд алтны 411.9 кэВ шугамтай давхцахгүй боловч детекторт үүсэх комптон сарнил нь Au^{198} изотопын 411.9 кэВ шугамын фоныг өсгөж алтны шугамын эрчмийг тодорхойлоход нөлөөлнө.

Үүнийг бууруулах үндсэн арга нь шарсан дээжийг хэмжихийн өмнө тодорхой хугацаагаар (24цаг) хүлээх хөргөлт юм. Энэ үер дээжид байж болох $^{24}\text{Na}(T_{1/2}=15\text{ц})$, $^{56}\text{Mn}(T_{1/2}=2.6\text{ц})$ изотопуудын идэвхжил бараг задарч дуусах ба ^{76}As изотопын идэвхжил үлэмж хэмжээгээр (хагас нь) задарна. Харин ^{121}Sb -ийн байгалийн тархалт 0.57, мөн ^{122}Sb -ийн хагас задралын үеийн ^{198}Au -ны задралын үетэй ойролцоо байдаг боловч 564 кэВ шугамын гаралт 0.72% тул комптон сарнилын нөлөө нь бага байна.

Б. Дээжид гамма квант сулрах.

Энэ нь дээжийн идэвхжилийг хэмжих үед алдааны нэгэн эх үүсвэр болох талтай. Алтны идэвхжилийг бүртгэх үед дээжийн х см зузаанд шингэсэн 411.9 кэВ энергитэй гамма шугамын эрчим дараах хуулиар суларна.

$$J = J_0(1 - e^{-\mu}) \quad (4)$$

411.9 кэВ энергитэй гамма квантын алт дахь сулралын шугаман ба масс коэффициентууд харгалзан 0.2100 (1/см), 0.0011 ($\text{см}^2/\text{г}$) байдаг боловч алтны 411.9 кэВ энергитэй гамма-квантын эрчмийн сулрал кварцад ордны дээжид 0.5%, сульфит металлын ордны дээжид 5% хүрч [4] тооцох шаардлагатай байгаа нь ажиглагдсан. Харин дээж ба стандартууд нь бүтцийн хувьд ойролцоо буюу ижил төрлийн бол дээж дэх сулралыг тооцохгүй.

V. ДҮГНЭЛТ

1. Микротроны ФНСС дээрх резонансны нейтрон идэвхжилийн арга нь байгалын цэвэр орд, ашигласан гадны хольцгүй (мөнгөн ус зэрэг ялгах бодис хэрэглээгүй) овоолго, геологи хайгуулын, (3-6) г/тн-оос багагүй алтны агуулгатай дээжийн шинжилгээнд тохиромжтой.
2. Кадми шүүлтүүрээр дулааны нейтроны нөлөөг бууруулж, резонансны энергитэй нейтроны $^{197}\text{Au}(n,\gamma)\text{Au}^{198}$ урвалыг ашиглах нь хамгийн тохиромжтой арга болно.
3. Идэвхжсэн дээжийг 24-48 цаг хүлээж хөргөх нь зонхилон саад болох ^{24}Na , ^{56}Mn , ^{76}As элементүүдийн урвалын бүтээгдэхүүний гамма-квантын комптон сарнилаас өгөх фоныг бууруулах, шинжилгээний нарийвчлалыг дээшлүүлэх үндсэн арга болно.
4. Au^{198} изотопын 411.9 кэВ энергитэй гамма-квантын дээж дэх сулралын коэффициентыг алтны кварцад болон сульфит металлын ордны дээжид тооцож байх ба бусад ордны

шинжилгээнд дээжтэй ойролцоо бүтэцтэй стандарт ашиглах нь тохиромжтой байна.

5. Микротроны саатлын гамма ба нейтрон идэвхжилийн аргыг сорьцын албанд цэвэршүүлсэн цэвэр алтан гулдмайн (цэвэршилт) хольцийг шалгах олон элементийн тандалын (чанар) судалгаанд ашиглахад нэн тохиромжтой.

НОМ ЗҮЙ

- [1] А.М. Беневоленский. и др. “АРГУС-21” реактор для ядерно-физических методов анализа и контроля. В кн: 4-ое совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач, Дубна, 1982.
- [2] Г.Н. Флеров и др. Применение микротрона и $^{124}\text{Sb}+\text{Be}$ источника для анализа золотосодержащих продуктов: Химия, технология и анализа золота и серебра, Новосибирск, 1983.
- [3] D.Baatarkhuu 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.
- [4] 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, pp. 208-217. Ulaanbaatar (2002).
- [5] 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.
- [6] Д.Баатархүү нар, Резонансын нейтроны идэвхжилээр алтны агуулгыг тодорхойлох асуудалд, МУИС, ЭШБ №179(10), 2003, Улаанбаатар, х.173-178.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] D.Baatarkhuu et al, Estimation possibility of determination gold in ores using photoneutrons of cyclic electron accelerator microtron МТ-22, ISCP-2 International School on Contemporary Physics, Book of Abstracts, Mongolia, 2002, p53.
- [10] J.Tolgyessy and M.Kyrs Radioanalytical chemistry, vol. 2, Bratislava, 1989, p35.
- [11] М.В. Фронтасьева. Нейтронный активационный анализ в науках о жизни. Физика элементарных частиц и атомного ядра ядра, 2011, т.42. вып. 4, стр. 646.
- [12] Ю.Г.Тетерев, Формирование полей эпитепловых нейтронов применению к задачам анализа элементного состава вещества. Автореферат, УДК 539. 1.06/18-88-111, Киев, 1988.