

МИКРОТРОНЫ БАЛ ЧУЛУУН УДААШРУУЛАГЧ ДАХЬ НЕЙТРОНЫ ТҮГЭЛТ

С.Одмаа, Н.Норов, Д.Баатархүү
МУИС, Цөмийн Судалгааны Төв

Түлхүүр үг: Цөмийн мөрийн хатуу биет детектор (ЦМХБД), идэвхжих ялтас, хоёр бүлгийн дөхөлт, дулааны нейтроны урсгалын нягт, микротрон, ураны конвертор.

Товч утга: МУИС-ийн ЦСТ дэх микротрон МТ-22-ийн дулааны нейтроны урсгалын нягтыг цөмийн мөрийн хатуу биет детектор, зэс ялтас идэвхжүүлэх аргаар тодорхойлж, хоёр бүлгийн дөхөлтийн онолоор тооцсонтой харьцуулав.

ОРШИЛ

Микротроны фотонейтроноор идэвхжүүлэх анализын аргын өндөр мэдрэмж, нарийвчлал, дээжийг эвдэхгүйгээр судлах боломж, туршилтыг автоматжуулалт зэрэг давуу талуудтай холбоотойгоор уг аргыг хүрээлэн байгаа орчин, геологи, уул уурхай, хүнсний бүтээгдэхүүний элементийн бүрэлдэхүүнийг тодорхойлоход улам ихээр ашиглаж байна [1]. Нейтрон идэвхжилийн анализын зориулалт бүхий их чадалтай суурь төхөөрөмж болох электроны циклэн хурдасгуур микротрон МТ-22 МУИС-ийн Цөмийн судалгааны төвд ашиглагдаж байгаа билээ. Микротроны хурдассан электрон тантал байд тормозлоход гамма квант үүсдэг. Энэ гамма квант уран конвертор дээр (γ, n) урвал явуулахад үүсэх фотонейтроны бал чулуун удаашруулагч дахь урсгалын нягтыг ЦМХБД, зэс ялтас идэвхжүүлэн тодорхойлж, хоёр бүлгийн дөхөлтийн тооцсонтой харьцуулав.

1. ЦМХБД АШИГЛАН ДУЛААНЫ НЕЙТРОНЫ УРСГАЛЫГ ҮНЭЛЭХ АРГА ЗҮЙ

^{235}U -ын цөм дулааны нейтроноор хуваагдах огтлолын утга нилээд нарийн тодорхойлогдсон байдаг учир, түүнийг ашиглан хуваагдлын хэлтэрхийн детекторт үүсгэх мөрийн нягтаар дулааны нейтроны урсгалын нягтыг нарийвчлал сайтай тогтоож болох юм.

Тодорхой хэмжээтэй ураны түрхэц бүхий ялтсуудыг хуваагдлын хэлтэрхийг бүртгэх чадвар сайтай лавсан детектортой нийлүүлэн, микротроны фотонейтроны бал чулуун удаашруулагч дахь уран хувьсгуураас янз бүрийн зайтай орших дээж шарах сувагт байрлуулж, микротроны хурдассан электроны энерги 22 МэВ, дундаж гүйдэл 9.5 мкА үед үүсэх фотонейтроны урсгалаар 2 цаг шарав. Шарлага дууссаны дараа лавсан детектороо ураны түрхэц бүхий ялтаснаас салган авч, түүнийг 25% NaOH-ын усан уусмалд хийж, HEREAUS маркийн хатаах шүүгээнд 60°C температурт 2 цаг идүүлэв. Илэрсэн мөрийг биологийн CARL ZEISS микроскопоор тоолов.

ЦМХБД-т үүссэн мөрийн нягт ρ нь туссан нейтроны урсгалын нягт Φ , ^{235}U -ын цөм хуваагдах урвалын огтлол σ , шарах хугацаа t , детекторын бүртгэх чадвар ε зэргээс шууд хамаарна [2,3].

Үүнээс дулааны нейтроны урсгалыг олбол:

$$\Phi_{th} = \frac{\rho}{N_U \cdot I \cdot \sigma(U^{235}(n_{th}, f)) \cdot \varepsilon \cdot t} = \frac{\rho}{\frac{N_a \cdot C}{A} \cdot I \cdot \sigma(U^{235}(n_{th}, f)) \cdot \varepsilon \cdot t} \quad (1)$$

болно. Үүнд:

N_U – ураны түрхэц бүхий ялтасны 1 см² дахь ураны цөмийн тоо

N_a – Авогадрын тоо

C – ураны агуулалт, мкг/см²

A – ^{235}U -ийн цөмийн масс

I- ^{235}U изотопын байгалийн тархалт.

2. ИДЭВХЖИХ ЯЛТСААР НЕЙТРОНЫ УРСГАЛЫГ ҮНЭЛЭХ АРГА ЗҮЙ

Маш цэвэр (99.9%), 1.5 см диаметртэй зэс ялтсуудыг микротрон МТ-22-ийн дээж шарах сувагт байрлуулан $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ урвалаар үүсэх ^{64}Cu -ын 511 кэВ энергитэй гамма квантын шугамын эрчмийг өндөр ялгах чадвартай цэвэр хагас дамжуулагч германи детектор, 4096 сувагтай анализатор бүхий гамма спектрометрээр хэмжив. Гамма спектрийг "Microsoft" фирмийн стандарт программаар боловсруулав.

Дулааны нейтроны урсгалын нягтыг идэвхжилийн

$$q = \Phi \Sigma \xi$$

тэгшитгэлээр тооцов [2,3].

$$\Phi_{th} = \frac{N \cdot M \cdot \lambda}{\sigma \cdot N_a \cdot \vartheta \cdot \varepsilon \cdot K_\gamma \cdot m} \cdot \frac{e^{\lambda \cdot t_2}}{(1 - e^{-\lambda \cdot t_1})(1 - e^{-\lambda \cdot t_3})} \quad (2)$$

Үүнд:

M - анхны цөмийн масс тоо (г), λ - үүссэн цацраг идэвхт цөмийн задралын тогтмол (с^{-1}), t_1 , t_2 , t_3 - шарах, хүлээх, хэмжих хугацаа(с), ϑ - изотопын тархалт, σ - урвалын огтлол (см^2), m - дээжийн масс (г), N - хэмжсэн импульс, N_a - Авогадрын тоо, ε - гамма спектрометрийн бүртгэх чадвар, K_γ - гамма квантын гаралт.

3. ХОЁР БҮЛГИЙН ДӨХӨЛТӨӨР НЕЙТРОНЫ УРСГАЛЫН ОРОН ЗАЙН ТҮГЭЛТИЙГ ҮНЭЛЭХ АРГА ЗҮЙ

Нейтрон удаашрах процессын үед түүний шилжилтийг тооцоход бүлэглэх аргыг өргөн хэрэглэдэг.

Энэ аргад латаргийн өөрчлөгдөж байгаа мужийг дэс дараалсан олон завсар бүлэгт хувааж, бүлэг бүрт нейтроны тархалт нь диффузийн дөхөлтөөр бичигдэнэ гэж үздэг [1]. Бүлэг тус бүрээс нейтрон гарах магадлал нь шингэх (Σ_a) ба удаашрах процесстой (Σ_s) холбоотой. Удаашрах процесст тухайн бүлгээс гарч байгаа нейтрон нь дараагийн бүлгийн нейтроны үүсгүүр болдог. Диффузийн хоёр бүлгийн дөхөлтийг хэрэглэн удаашруулагч дахь дулааны нейтроны түгэлтэд үнэлгээ өгөх тохиолдолд бүх нейтроныг удаашрах ба дулааны нейтроны гэсэн хоёр бүлэгт хуваана. Бүлэг бүрт диффузийн тэгшитгэлийг бичье.

Хоёр бүлгийн дөхөлт нь нарийвчлал багатай ч гэсэн удаашруулагч дахь нейтроны түгэлтэд нөлөөлөх үндсэн хүчин зүйлүүдийг тооцдог. Энэ дөхөлтөөр тооцсон удаашрах нейтроны нягтыг дараах байдлаар бичнэ.

Q_0 (нейт/с)-нейтроны гаралттай цэгэн үүсгүүрийн хувьд хоёр бүлгийн дөхөлтийг дараах байдлаар бичье.

$$D_{ns} \cdot \Delta \Phi - \Sigma_{as} \cdot \Phi_s + Q_0 \delta(r) = 0 \quad (3)$$

Үүнд:

$$D_n \cdot \Delta \Phi_t - \Sigma_a \cdot \Phi_t + \Sigma_{as} \cdot \Phi_s = 0$$

s-индексстэй гишүүд нь удааширах нейтронд харгалзана.

t-индексстэй гишүүд нь дулааны нейтронд харгалзана.

$\delta(r)$ -Диракын функц

Σ_{as} -нэгдүгээр бүлгээс хоёрдугаар бүлэгт шилжиж байгаа удааширах нейтроны шингэх макро огтлол

$\Sigma_{as} \Phi_s$ -удаашруулагчид дулааны нейтроны үүсгүүрийн тархалтыг тодорхойлдог хэмжигдэхүүн
Систем тэгшитгэл (3)-ийн шийд

$$\Phi_s(r) = \frac{Q_0 \cdot e^{-\frac{r}{\sqrt{\tau}}}}{4\pi \cdot D_{ns} \cdot r} \quad (4)$$

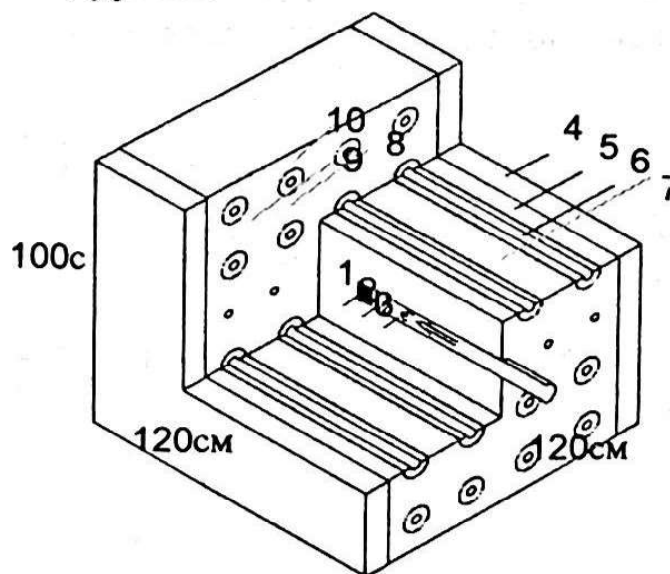
$$\Phi_{th} = \frac{Q \cdot L^2}{4\pi D r} \left(\frac{e^{-r/L}}{L^2 - \tau_{th}} - \frac{e^{-r/\sqrt{\tau_{th}}}}{L^2 - \tau_{th}} \right) \quad (5)$$

болно.

Илэрхийлэл (5) нь уран конверторт үүсэх фотонейтрон дулааны энергитэй болон удаашруулагчид түгэхийг илэрхийлнэ. Бал чулуун удаашруулагчийн хувьд $L=52.5\text{см}$, $D=0.86\text{см}^{-1}$, $\tau_{th}=368\text{см}^2$ [1].

Хэмжилт, үр дүн

Бал чулуун удаашруулагчид дээж шарах сувгийн байрлалыг 1-р зурагт, эдгээр сувагт нейтроны урсгалын нягтыг ЦМХБД ашиглан тодорхойлсон хэмжилт болон (1) томъёогоор тооцсон үр дүнг 1-р хүснэгтэд тус тус харуулав.



Зураг1. Бал чулуун удаашруулагчид дээж шарах суваг
 1- ^{238}U
 2- ^{181}Ta
 3- электроны багц
 4- полиэтилен
 5- бал чулуу
 6,7,8,9,10- дээж шарах суваг

Хүснэгт 1. ЦМХБД ашиглан дулааны нейтроны урсгалын нягтыг тодорхойлсон дүн

ЦМХБД	Сувгийн дугаар	Ураны конвер - тороос холдох (см)	ΣN (мөр)	ΣS (см ²)	ρ (мөр/см ²)	C (мкг/см ²)	$\Phi_{th} * 10^7$ (нейт/см ² с)
Л-2	7	39.43	815	0.03633	22433.3	12.5	2.5
Л-11		25.93	6321	0.01211	521965.3	961.2	7.8
Л-5		40.63	8	0.02422	330.3	0.13	3.33
Л-12	8	40.63	4115	0.016954	226534.5	738	3.1
Л-10		25.93	4725	0.01211	390173.4	875	6.95
Л-9		40.63	2388	0.013321	179265.8	685	3.42
Л-6	9	53.30	3	0.021798	137.6	0.13	1.4
Л-4		44.10	10	0.043596	229.4	0.13	2.3
Л-7		53.30	2	0.014532	137.6	0.13	1.4
Л-1	6	53.30	438	0.033908	12917.3	12.5	1.3
Л-8		44.10	9	0.041174	218.6	0.13	2.2
Л-3		53.30	514	0.038752	13263.8	12.5	1.4

Зэс ялтас идэвхжүүлэх замаар дулааны нейтроны урсгалын нягтыг тодорхойлох хэмжилт болон идэвхжилийн тэгшитгэл (2)-ийг ашиглан тооцоолсон үр дүнг 2-р хүснэгтэд харуулав

2-р зурагт зэс ялтас идэвхжүүлэх замаар дээж шарах 10-р суваг дахь дулааны нейтроны урсгалын нягтын түгэлтийг үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Зэс ялтсыг идэвхжүүлж дулааны нейтроны урсгалын нягтыг тодорхойлсон дүн

Ялтас	Сувгийн дугаар	Уран ы конве р- тороо с холдо х (см)	Масс (г)	t_2 (цаг)	N (импуль с)	$\Phi_{th} * 10^7$ (нейт/ см ² с)
Cu-42	7	25.93	0.0510	24.483	16279	7.04
Cu-40		40.63	0.0512	24.15	8399	3.55
Cu-43	8	39.63	0.0510	24.583	9587	4.17
Cu-44		25.63	0.0510	24.683	15303	6.69
Cu-54		40.63	0.0512	25.6	8019	3.12
Cu-59	9	53.30	0.0512	26.17	3465	1.389
Cu-53		44.10	0.0512	25.5	5695	2.2
Cu-48		53.30	0.0510	25.1	3700	1.41
Cu-50	6	53.30	0.0510	25.3	3741	1.44
Cu-55		44.10	0.0510	25.7	5019	1.97
Cu-46		53.30	0.0512	25.92	3896	1.72
Cu-74	10	77.6	0.0510	27.42	314	0.135
Cu-98		70.15	0.0510	28.43	1024	0.47
Cu-67		63.4	0.0512	26.87	2128	0.89
Cu-64		57.6	0.0511	26.62	2734	1.13
Cu-65		53.1	0.0512	26.75	3583	1.48
Cu-58		50.2	0.0512	26.03	4483	1.81
Cu-56		49.2	0.0510	25.8	4808	1.89
Cu-57		50.2	0.0511	25.9	4456	1.76
Cu-41		53.1	0.0512	24.38	4250	1.54
Cu-51		57.6	0.0512	25.38	2745	1.05
Cu-68		63.4	0.0512	26.97	1951	0.82
Cu-69		77.6	0.0511	27.08	318	0.13

Бал чулуун удаашруулагч дахь дулааны нейтроны урсгалын нягтыг цөмийн мөрийн хатуу биет детектор, зэс ялтас идэвхжүүлэх аргаар тодорхойлсон үр дүнг хоёр бүлгийн дөхөлтөөр тооцсонтой харьцуулан 3-р хүснэгтэд харуулав.

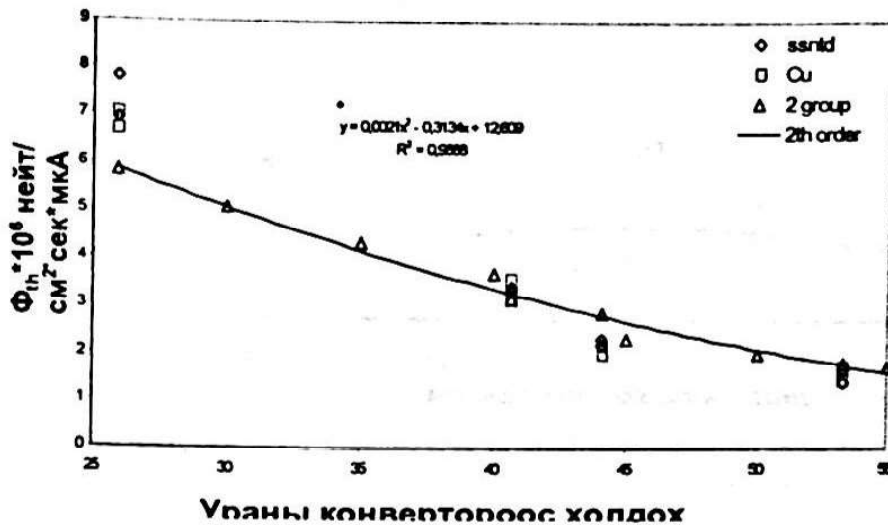
Хүснэгт 3. Нейтроны урсгалын нягтыг тодорхойлсон дүн

Сувгийн дугаар	Ураны конвертороос холдох зай (см)	$\Phi_{th} * 10^7$ (нейт/см ² с) ЦМХБД	$\Phi_{th} * 10^7$ (нейт/см ² с) Зэс	$\Phi_{th} * 10^7$ (нейт/см ² с) Хоёр бүлгийн дөхөлт
7	39.43	2.5	-	2.62
	25.93	7.8	7.04	4.10
	40.63	3.33	3.55	2.54
8	40.63	3.1	4.17	2.54
	25.93	6.95	6.69	4.10
	40.63	3.42	3.12	2.54
9	53.3	1.4	1.389	1.70
	44.1	2.3	2.2	2.28
	53.3	1.4	1.41	1.70
6	53.3	1.3	1.44	1.70
	44.1	2.2	1.97	2.28
	53.3	1.4	1.72	1.70



Зураг 2. Зэс ялтас идэвхжүүлэх замаар олсон удаашруулагчийн дээж шарах 10-р суваг дахь дулааны нейтроны урсгалын нягтын түгэлт

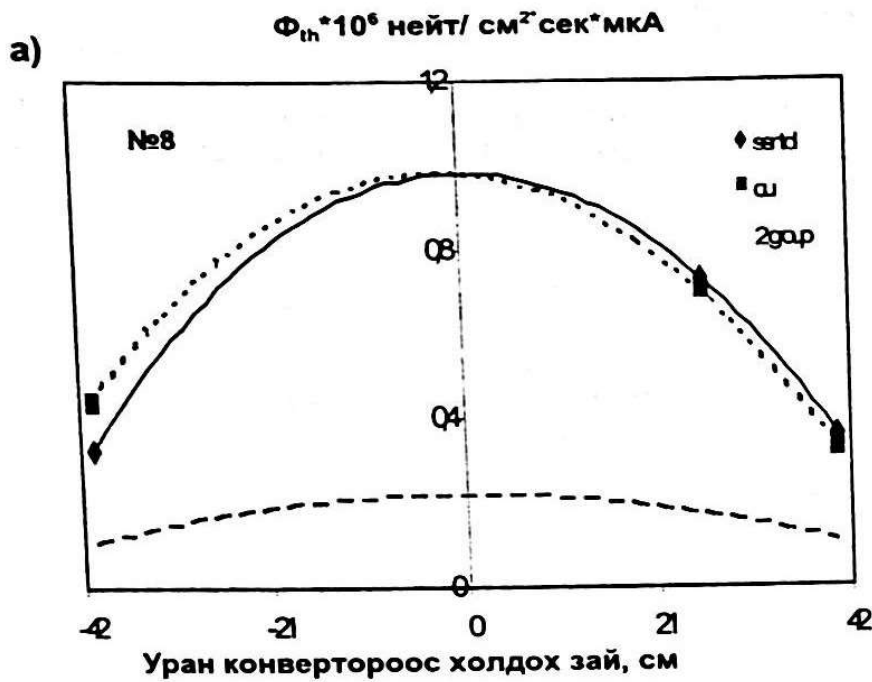
3-р зурагт бал чулуун удаашруулагч дахь дулааны нейтроны урсгалын нягтын огторгуйн түгэлтийг ЦМХБД ба зэс ялтас идэвхжүүлэх аргаар тодорхойлсон үр дүнг хоёр бүлгийн дөхөлтийн онолын тооцоотой харьцуулан үзүүлэв.



Зураг 3. Дулааны нейтроны урсгалын нягтын огторгуйн түгэлт

3-р зургаас харахад ураны хувьсгуураас 25 см зайд ЦМХБД ба зэс ялтас идэвхжүүлэн тодорхойлсон дүн хоёр бүлгийн дөхөлтийн онолоор тооцсонтой зөрж байгаа нь ойр зайд дулааны нейтроны урсгалыг тооцоход хоёр бүлгийн дөхөлт тохиромжгүйг харуулж байна.

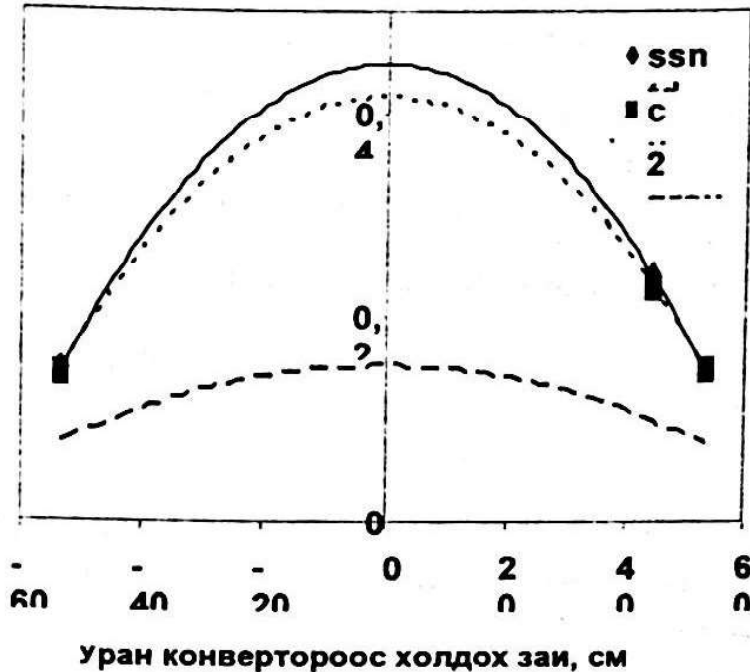
4-р зурагт дээж шарах сувгууд дахь а) 8-р сувагт б) 9-р сувагт нейтроны түгэлтийг эдгээр аргаар тодорхойлсон үр дүнг үзүүлжээ.



Зураг 4. Дээж шарах сувагууд дахь дулааны нейтроны түгэлт

$\Phi_{th} \cdot 10^6$ нейт/см²сек*мкА

b)



Дүгнэлт

1. Микротрон МТ-22-ийн хурдассан электроны энерги 22 МэВ, дундаж гүйдэл 9.5 мкА байхад бал чулуун удаашруулагчийн шарах сувагт фотонейтроны конвертороос 26 см зайд орших цэгт дулааны нейтроны урсгалын нягт $7 \cdot 10^7$ нейт/см²с болохыг тогтоов.
2. Энд дурьдсан цөмийн физикийн аргуудаар микротроны дулааны нейтроны урсгалын нягтыг тодорхойлсон үр дүн хоорондоо сайн тохирч байгаа нь бидний боловсруулсан эдгээр аргаар дулааны нейтроны урсгалын нягтыг үнэлэх боломжтой гэдгийг харуулж байна.
3. Микротроны бал чулуун удаашруулагчийн дээж шарах сувагт нейтроны урсгалын нягтыг нарийвчлан тодорхойлсноор нейтрон идэвхжилийн анализын аргаар тодорхойлох элементүүдийг

илрүүлэх доод хязгаарыг үнэлэх, стандарт дээжгүй тохиолдолд төрөл бүрийн дээжинд нейтрон идэвхжилийн анализийн үнэмлэхүй аргаар судалгаа хийх боломжийг олгоно.

Ашигласан ном

1. Ю.Н.Бурмистинко. Фотоядерный анализ состава вещества. Москва. Энергоатомиздат. 1986
2. IAEA, 1987, Handbook on Nuclear Activation Data. Technical reports series №273.
3. Firestone R.B., V.S.Sherley, 1996, Table of isotopes, Eighth edition, John Willey and Sons, New York.

Abstract

In this work the thermal neutron flux of the MT-22 microtron with graphite moderator at the Nuclear Research Center, National University of Mongolia has been determined using the solid state nuclear track detector, nuclear activation analysis and two groups approximation.