

# Эмнэлэгийн $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$ генераторыг үйлдвэрлэх цөмийн $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$ урвалын огтлолын хэмжилтийн дүнгээс

Б.Лхагвасүрэн<sup>1,3\*</sup>, Ц.Золбадрал<sup>1,4</sup>, М.Айкава<sup>2</sup>, С.Одмаа<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв, Монгол улс, Улаанбаатар 13330

<sup>2</sup> Хоккайдо Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Япон улс, Саппоро 060-0810

<sup>3</sup> Монгол Улсын Их Сургууль, Инженер Технологийн Сургууль, Монгол, Улаанбаатар 14201

<sup>4</sup> Нишина хурдасгуурт суурилсан шинжлэх ухааны төв, РИКЕН, Япон улс, Вако 351-0198

Бид энэхүү судалгааны ажлаар  $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$  генераторын эх изотоп болох  $^{118}\text{Te}$ -ийг  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  гарган авах цөмийн урвалын огтлолыг хэмжлээ. Урвалын огтлолыг тодорхойлох туршилтад цэнэгт бөөмөөр идэвхжүүлэх арга хэрэглэн  $\gamma$ -спектрометрыг хэмжилтэд ашиглав.  $^{118}\text{Te}$ -ийн физик гаралтыг туршилтаас тодорхойлсон урвалын огтлолоос үнэлсэн. Энэхүү ажлаар 40 Мэв хүртэл хурдассан альфа бөөмөөр явагдах  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг хэмжсэн үр дүн нь бусад судлаачдын үр дүнтэй нийцтэй байв. Түүнчлэн 40-50 МэВ энергийн мужид  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг шинэ утгуудыг хэмжиж тодорхойлов.

*Түлхүүр үгс:* Цагаан тугалга, теллур-118, сурьма-118, альфа бөөм, өдөөлтийн функц, урвалын огтлол

## 1. ОРШИЛ

Позитрон цацаргагч изотопуудын дундаас  $^{118}\text{Sb}$  нь хагас задралын үе богино ( $T_{1/2} = 3.6$  минут), гаралт өндөртэй (75 %), дагалдаж цацрах өндөр энергийн  $\gamma$  цацрагийн эрчим багатай ( $I_{\gamma} = 1229.33$  кэВ, 2.5%) [1] изотоп учир түүнийг Позитрон Цацаргалтын Томографид хэрэглэх боломжтой. Энэ изотопын бас нэг давуу тал нь 6 өдрийн хагас задралын үетэй  $^{118}\text{Te}$  -ийн задралаас буюу зөөврийн  $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$  генератороос гаргаж авах боломжтой учраас алслагдсан суурин ихтэй манай орны эмнэлэгүүдэд зөөвөрлөж, хэрэглэхэд тохиромжтой.  $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$  генераторын эх изотоп болох  $^{118}\text{Te}$  -ийг хөнгөн цэнэгт бөөмийн хурдасгуур дээр байгалийн болон изотопын өндөр баяжилттай цагаан-тугалга (Sn) болон сурьма (Sb) зэрэг элементүүдийн изотоп дээрх  $^{nat}\text{Sn}(p, x)^{118}\text{Te}$ ,  $^{nat}\text{Sn}(d, x)^{118}\text{Te}$ ,  $^{115}\text{Sn}(\alpha, n)^{118}\text{Te}$ ,  $^{116}\text{Sn}(\alpha, 2n)^{118}\text{Te}$  цөмийн урвалаар гаргаж авах боломжтой. Эдгээр цөмийн урвалыг харьцуулан судалж,  $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$  генераторыг үйлдвэрлэх аргыг хөгжүүлэх, оновчтой болгоход цөмийн урвалын огтлолын нарийвчлал сайтай туршилтын өгөгдөл шаардлагатай. Тухайлбал,  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, n)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг хэмжсэн ердөө ганц туршилтын судалгаа [2] хийгдсэн байгаа нь энэ цөмийн урвал бүрэн судлагдаагүй, урвалын огтлолыг туршилтаар

тодорхойлсон бодит үр дүн дутагдалтай байна. Иймээс бид энэ судалгааны ажлаараа байгалийн агуулга бүхий цагаан-тугалга (Sn) байг  $\alpha$ -бөөмөөр шарахад явагдах  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  цөмийн урвалын огтлолыг хэмжиж, үйлдвэрлэх боломжыг судлах зорилго тавьсан.

## 2. ТУРШИЛТЫН АРГА ЗҮЙ

Японы шинжлэх ухаан, технологийн судалгааны РИКЕН төв дэх AVF циклотрон дээр  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, n)^{118}\text{Te}$  цөмийн урвалын туршилтыг хийсэн. Урвалын огтлолын хэмжилтэд цэнэгт бөөмөөр идэвхжүүлэх арга, хэмжилтийн төхөөрөмжид  $\gamma$ -спектрометрийг ашиглав.

Туршилтад байгалийн агуулга бүхий цагаан тугалга ( $^{nat}\text{Sn}$ : 10-мкм зузаан, 99.9% цэвэршилттэй), болон титаны ( $^{nat}\text{Ti}$ : 5-мкм зузаан, 99.6% цэвэршилттэй) цэвэр металл ялтаснууд хэрэглэсэн. Ялтасны жин болон талбайг хэмжсэнээр туршилтад хэрэглэх дээжний дундаж зузааныг  $^{nat}\text{Sn}$ : 7.179,  $^{nat}\text{Ti}$ : 2.343 мг/см<sup>2</sup> гэж тодорхойлсон. Ялтаснуудыг 10×10 мм хэмжээтэй хайчлаад, Sn-Sn-Ti-Ti дараалалаар Фарадей цилиндрт хийж шаралтын сувагт байршуулсан. Цагаан тугалга ялтас  $^{118}\text{Te}$ -ийг үйлдвэрлэх гол байны хувьд харин титан ялтас сум бөөмийн энерги, эрчмийг хянах монитор урвалын огтлолыг хэмжих зорилгоор хэрэглэсэн. Хоёрдогч

\* e-шуудан: 22M1NUM2867@stud.num.edu.mn

цагаан тугалга болон титан ялтаснууд нь сум бөөмийн чиглэлд тийрэгдэж гарсан урвалын бүтээгдэхүүнүүдийг барих зорилготой бөгөөд тухайн ялтаснуудыг хамтад нь  $\gamma$ -спектрометр дээр хэмжсэн.

Нийт 80 ялтаснаас бүрдэх бэлтгэсэн дээжийг 50 МэВ энергитэй альфа бөөмөөр 30 минутын турш шарсан. Тусаж буй альфа бөөмийн энергийг нисэлтийн хугацаа хэмжих аргаар [3] тодорхойлсон ба бай ялтас дахь энерги сулралыг SRIM програмаар тооцоолсон [4]. Тусаж буй альфа цацрагийн багцын эрчмийг Фарадей цилиндр ашиглан

тодорхойлсон. Шарагдсан ялтаснуудын идэвхийг ялгах чадвар сайтай HPGe детектороор хэмжсэн. Хэмжилтийн детекторыг  $\gamma$ -цацрагийн стандарт цэгэн үүсгүүр ашиглан тохируулга хийсэн. Хэмжилтэд детекторын үл тоолох хугацаа 10%-оос доош байсан.

Хэмжсэн  $\gamma$ -цацрагийн спектрийг Gamma Studio программаар боловсруулсан. Хэмжилтээр тодорхойлсон изотопуудын цөмийн урвалын болон цацраг идэвхт задралын өгөгдлийг хүснэгт 1-д өгөв.

Хүснэгт 1: Хэмжилтээр тодорхойлсон изотопуудын цөмийн урвалын болон цацраг идэвхт задралын өгөгдлүүдийг [5–7].

Изотоп	$T_{1/2}$	Задралын төрөл [%]	$E_{\gamma}$ [кэВ]	$I_{\gamma}$ [%]	Урвал	Q-утга [МэВ]	Босго энерги [МэВ]
$^{118}\text{Te}$	6 өдөр	$\epsilon + \beta^+$ [100]	1229.33 from $^{118}\text{Sb}$	2.5 [0.3]	$^{114}\text{Sn}(\alpha, \gamma)$ $^{115}\text{Sn}(\alpha, n)$ $^{116}\text{Sn}(\alpha, 2n)$ $^{117}\text{Sn}(\alpha, 3n)$ $^{118}\text{Sn}(\alpha, 4n)$ $^{119}\text{Sn}(\alpha, 5n)$	-0.44 -7.99 -17.55 -24.50 -33.82 -40.31	0.46 8.21 18.03 25.15 34.71 41.36
Монитор урвал							
$^{51}\text{Cr}$	27.704 өдөр	$\epsilon$ [100]	320.0824	9.910 [10]	$^{50}\text{Ti}(\alpha, 3n)$ $^{49}\text{Ti}(\alpha, 2n)$ $^{48}\text{Ti}(\alpha, n)$ $^{47}\text{Ti}(\alpha, \gamma)$	-21.77 -10.83 -2.68 8.93	23.35 11.64 2.89 0.00

$t_m$ - хэмжсэн хугацаа [с]

Урвалын огтлолыг цацраг идэвхтэй ялтасны  $\gamma$  цацрагийн хэмжилтээс дараах тэгшитгэл 1 - ээр тодорхойлсон:

$$\sigma = \frac{\Delta N \lambda}{n_T I_p \epsilon_d \epsilon_{\gamma} \epsilon_t (1 - e^{-\lambda t_{irr}}) e^{-\lambda t_c} (1 - e^{-\lambda t_m})} \quad (1)$$

Үүнд:

- $\Delta N$ -хэмжсэн пикийн талбай
- $\lambda$ -тухайн изотопын задралын тогтмол [ $\text{с}^{-1}$ ]
- $n_T$ -ялтасны нэгж талбай дахь бай цөмийн тоо [ $\#/\text{см}^2$ ]
- $I_p$ - 1с дэх альфа цөмийн дундаж тоо [ $\#/\text{с}$ ]
- $\epsilon_d$ - детекторын бүртгэх чадвар
- $\epsilon_{\gamma}$ -гамма цацрагийн эрчим
- $\epsilon_t$ -детекторын үл тоолох хугацаа
- $t_{irr}$ -шарсан хугацаа [с]
- $t_c$ -хүлээсэн хугацаа [с]

Зузаан байн хувьд физик гаралт (PHY)-ийг тэгшитгэл 2-оор тооцсон:

$$= H \cdot \frac{PHY}{A_t \cdot Z_p \cdot e} \cdot \int_{E_2}^{E_1} \frac{\sigma(E)}{dE/d\rho x} dE \cdot \lambda \quad (2)$$

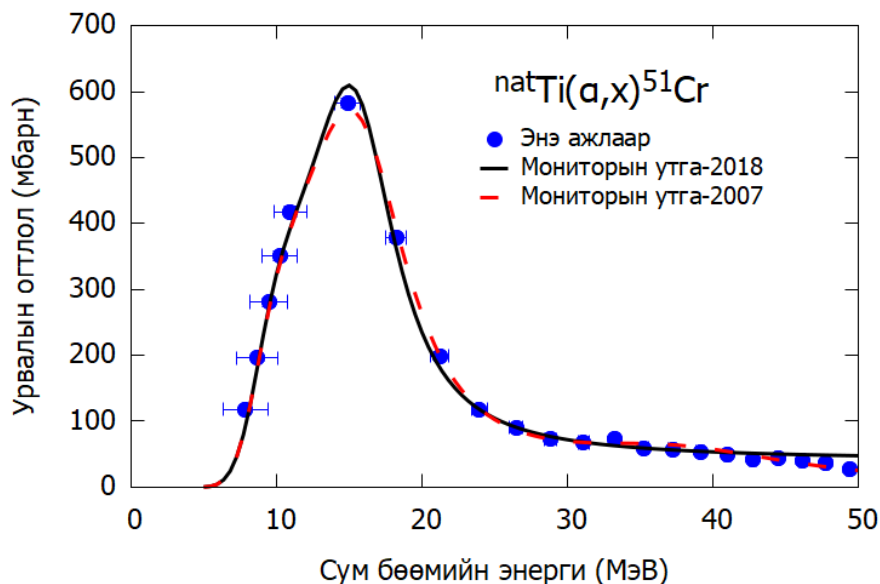
Үүнд:

- $E_1$ - ялтас дээр тусаж буй сум бөөмийн энерги [МэВ]
- $E_2$ - ялтсыг нэвтэрсэний дараах сум бөөмийн энерги [МэВ]
- $dE/d\rho x$ - зогсоох хүч [МэВ  $\text{см}^2/\text{мг}$ ]
- $H$ -бай цөмийн изотопын баяжуулалт
- $N_A$ - Авогадрын тоо [ $\#/\text{моль}$ ]
- $A_t$ - бай элементийн моль масс [гр/моль]

$Z_p$ - сум бөөмийн атомын дугаар  
e- эгэл цэнэг

$^{nat}\text{Ti}(\alpha, x)^{51}\text{Cr}$  монитор урвалын огтлолыг хэмжиж, Фарадей цилиндрээр хэмжсэн цацрагийн эрчимийг шалгасан. Монитор урвалын огтлолыг  $^{51}\text{Cr}$  изотопын задралын ( $T_{1/2} = 27.7025$  өдөр) 320.0824 кэВ ( $I_\gamma = 9.91\%$ ) энергитэй гамма цацрагийн хэмжилтээс

тодорхойлоод, ОУАЭА- аас гаргасан цэнэгт бөөмийн монитор урвалын өгөгдлийн сангийн утгатай [8] харьцуулж, зураг 1-д үзүүлэв.  $^{nat}\text{Ti}(\alpha, x)^{51}\text{Cr}$  урвалын хэмжилтийн үр дүн монитор урвалын өгөгдлийн сангийн утгатай нийцтэй байгаа учраас бид сум бөөмийн энерги, эрчим мөн ялтасны хэмжсэн зузаан зэрэг параметруудад ямар нэг засвар оруулаагүй. Туршилтад хэрэглэсэн альфа цацрагийн багцын эрчим 201 нА.

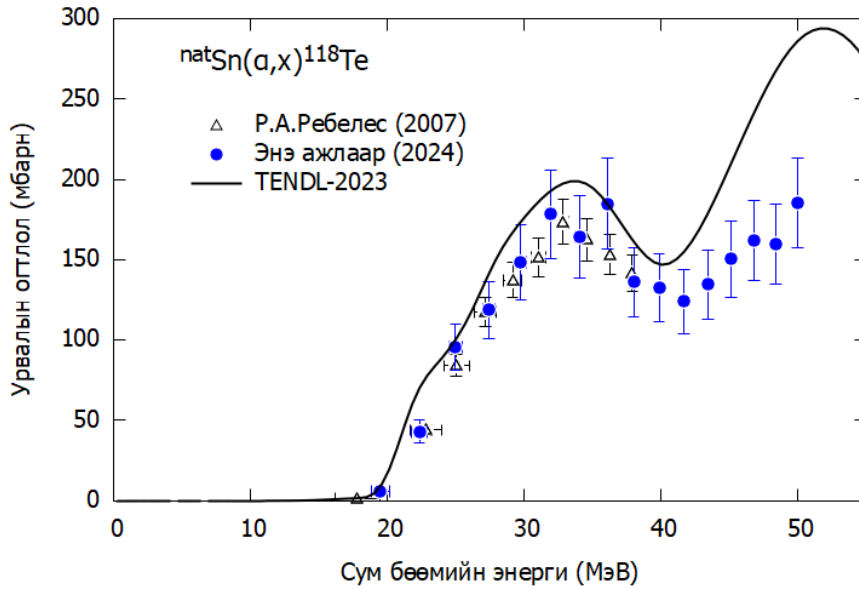


Зураг 1. Хэмжилтээр тодорхойлсон монитор  $^{nat}\text{Ti}(\alpha, x)^{51}\text{Cr}$  урвалын огтлол ба ОУАЭА өгөгдлийн сангийн утгын харьцуулалт [8]

### 3. ҮР ДҮН

Байгалын агуулга бүхий цагаан тугалыг 50 МэВ энергитэй альфа бөөмөөр шарахад  $^{118}\text{Te}$  ( $T_{1/2} = 6$  өдөр) нь хүснэгт-1-д өгсөн  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, xn)^{118}\text{Te}$  цөмийн урвалуудаар үүсэн. Энэ изотоп нь бүрэн ( $I_{IT} = 100\%$ ) дотоод шилжилтээр  $^{118g}\text{Sb}$ -ийн үндсэн төлөв рүү задрах учраас  $^{118}\text{Te}$  изотопоос бүртгэгдэх бие даасан гамма цацраг байхгүй. Иймээс  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  цөмийн урвалын огтлолыг  $^{118}\text{Sb}$  изотопын задралаас цацрах харьцангуй сул эрчимтэй, 1229.33 кэВ ( $I_\gamma = 2.5\%$ ) энергитэй гамма цацрагийн хэмжилтээс буюу шууд бус аргаар тодорхойлсон.  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)$  шууд урвалуудаар үүсэн богино наст  $^{118}\text{Sb}$  ( $T_{1/2} = 3.6$  минут) изотоп бүрэн задарч дууссаны дараа буюу дээжийг шарсанаас хойш нэг хоногийн дараа хэмжсэн. Туршилтаар тодорхойлсон  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын өдөөлтийн функцийг өмнөх судалгааны үр дүн болох Ребелес нарын хэмжилтийн утга [2] болон онолын тооцооны TENDL-2023 өгөгдлийн сангийн утгатай [9] харьцуулсныг зураг 2-т харуулав.

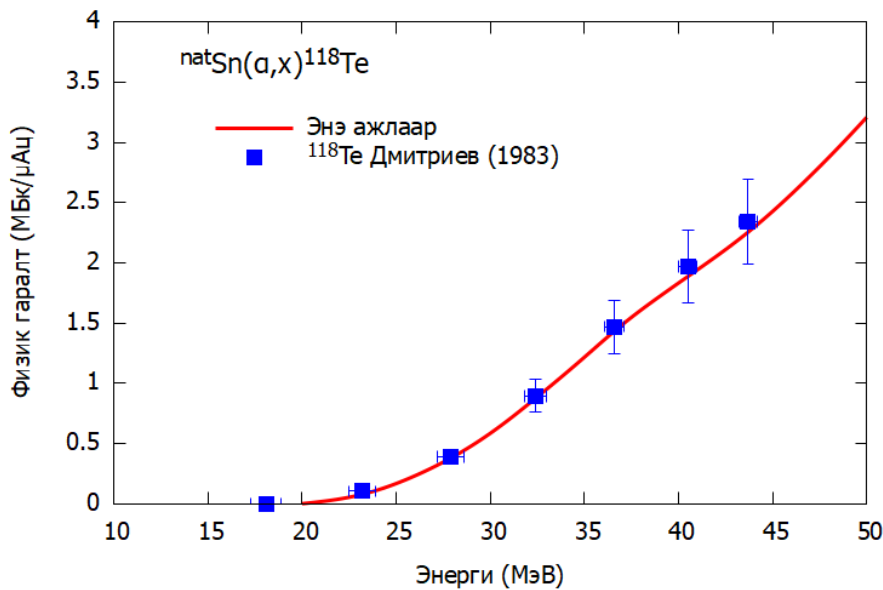
Туршилтаар тодорхойлсон  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, n)^{118}\text{Te}$  урвалын өдөөлтийн функц өмнөх туршилтын үр дүнтэй нийцэж байна. Харин өндөр энергийн мужид онолын тооцооны TENDL-2023 өгөгдлийн сангийн утга нь туршлагын утгуудтай харьцуулахад их байна. Энэ ажлаар бид 40 МэВ-ээс дээш энергийн мужид  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг шинэ утгуудыг хэмжилтээр тодорхойллоо. Сум бөөмийн энергийн 35 МэВ дэх урвалын огтлолын утга бусдаас их харагдаж байна. Энэ нь  $^{118}\text{Sn}(\alpha, 4n)^{118}\text{Te}$  урвалын босго энерги нь  $E_{thr} = 34.71$  МэВ бөгөөд бай цөм  $^{118}\text{Sn}$ -ийн байгалын агуулга нь харьцангуй их буюу 24.22 % байгаатай холботой. Мөн энэ туршилтын ажлаар бид  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг хэмжихээс гадна индий (In), цагаан тугалга (Sn), сурьма (Sb), Теллур (Te) зэрэг бусад элементүүдийн нийт 18 изотопыг үүсгэх урвалын огтлолыг хэмжсэн.



Зураг 2. Туршилтаар тодорхойлсон  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын өдөөлтийн функц ба бусад судлаачдын хэмжилтийн үр дүнгийн харьцуулалт.

SRIM кодоор тооцсон зогсоох хүчний утга болон энэ ажлаар хэмжсэн урвалын огтлолын утгуудаас  $^{118}\text{Te}$  изотопыг  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалаар үйлдвэрлэх физик гаралтыг

тооцоолж, 1983 онд Дмитриев нарын туршилтын утгатай [10] харьцуулсныг зураг 3-г өгөв.



Зураг 3:  $^{nat}\text{Sn}$  бай дээр альфа бөөмөөр шарж  $^{118}\text{Te}$ -ийг үйлдвэрлэх урвалын физик гаралт.

Туршилтаар тодорхойлсон өдөөлтийн функц ашиглан тооцоолсон  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын физик гаралт нь Дмитриев нарын туршилтын утгатай [10] нийцтэй байна. Урвалын огтлолын хэмжилтийн утгаас хамаарч 20 МэВ-ээс доош мужид физик гаралтыг тодорхойлоогүй. Энэ урвалын физик гаралт нь 45 МэВ энергитэй, 1 мкА гүйдэлтэй альфа бөөмөөр байгалийн агуулга бүхий цагаан тугалган байг 1 цагийн турш шарахад 2.4 МБк/μА хүрч байна.

#### 4. ДҮГНЭЛТ

Энэ ажлаар бид  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг 50 МэВ хүртэл мужид хэмжив. Туршилтаар тодорхойлсон  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын огтлолыг өмнөх туршилтын үр дүн болон TENDL-2023-ийн өгөгдлийн сангийн утгатай харьцуулсан. Манай хэмжилтийн үр дүн 2007 онд хэмжсэн Ребелес нарын туршилтын үр дүнтэй [2] нийцэж байна.  $^{nat}\text{Sn}(\alpha, x)^{118}\text{Te}$  урвалын физик гаралт Дмитриев нарын туршилтын үр дүнтэй [10] нийцтэй байна.

## Талархал

Энэ судалгааны ажил нь Боловсрол Шинжлэх Ухааны Яамны (БШУЯ) Шинжлэх Ухаан Технологийн Сангийн ШУТБИХХЗГ-2022/159 дугаартай “Эмнэлгийн зориулалт бүхий позитрон цацаргагч изотопуудыг гарган авах цөмийн урвалын судалгаа” төслийн хүрээнд хийгдсэн. Зохиогчдын зүгээс БШУЯ Шинжлэх Ухаан Технологийн Сан болон туршилт тавих, хэмжилт хийх бүхий л орчин нөхцөл бүрдүүлж, хурдасгуур лаборатори зэрэг тоног төхөөрөмжөөр хангасан Японы Токиогийн Их Сургуулийн РИКЕН Нишина төвд талархал илэрхийлье.

## Ашигласан ном

- [1] National Nuclear Data Center. Nuclear structure and decay data on-line library, Nudat 2.7. 2017.
- [2] Adam Rebeles R, Hermanne A, Takács S, et al. Alpha induced reactions on natSn: An experimental study of excitation functions and possible production pathways. Nucl Instrum Methods Phys Res B. 2007;260(2):672–684.
- [3] Watanabe T, Fujimaki M, Fukunishi N, et al. Beam energy and longitudinal beam profile measurement system at the RIBF. Proceedings of the 5th International Particle Accelerator Conference (IPAC 2014). 2014. p. 3566–3568.
- [4] Ziegler JF, Ziegler MD, Biersack JP. SRIM - The stopping and range of ions in matter (2010). Nucl Instrum Methods Phys Res B. 2010;268(11–12):1818–1823.
- [5] International Atomic Energy Agency. LiveChart of Nuclides. [Internet]. 2009. Available from: <https://www-nds.iaea.org/livechart/>.
- [6] National Nuclear Data Center. Nuclear structure and decay data on-line library, Nudat 2.8 [Internet]. 2019. Available from: <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>.
- [7] Pritychenko B, Sonzogni A. Q-value Calculator (QCalc). [Internet]. 2003. Available from: <https://www.nndc.bnl.gov/qcalc/>.
- [8] Hermanne A, Ignatyuk A V., Capote R, et al. Reference Cross Sections for Charged-particle Monitor Reactions. Nuclear Data Sheets. 2018;148:338–382.
- [9] Koning AJ, Rochman D, Sublet JC, et al. TENDL: Complete Nuclear Data Library for Innovative Nuclear Science and Technology. Nuclear Data Sheets. 2019;155:1–55.
- [10] Dmitriev PP, Molin GA. YIELD OF  $^{118}\text{Te}$  (GENERATOR OF  $^{118}\text{Sb}$ )  $^{119\text{m}}\text{Te}$ ,  $^{121\text{m}}\text{Te}$ ,  $^{121}\text{Te}$  AND  $^{123\text{m}}\text{Te}$  IN  $\text{Sn}(\alpha, \text{xn})$  REACTIONS. Atomnaya Energiya. 1983.