

“Гамма-Нейтрон” төхөөрөмж дээрх гамма цацрагийн болон дулааны нейтроны урсгалын харьцаа

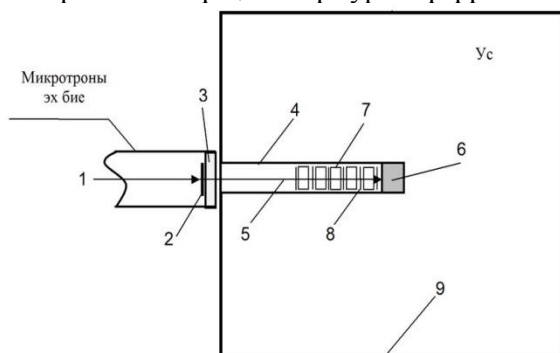
Б.Отгоолой, П.Зузаан, Г.Дамдинсүрэн, Д.Баатархүү

Монгол Улс, Улаанбаатар-210646, Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Судалгааны Төв
*Э- шуудан: pzuzaan@yahoo.com

Энэ ажлаар “Гамма-Нейтрон” төхөөрөмжийн дээж шарах суваг дахь гамма цацрагийн болон дулааны нейтроны урсгалын нягтын харьцааг зэс, мышьяк дээр явагдах цөмийн (γ, n), (n, γ) урвалуудыг ашиглан тодорхойлох тооцоо хийгдсэн. Дулааны болон резонансын нейтроны урсгалын нягтын харьцааг тодорхойлох шинэ арга боловсруулсан.

I. ОРШИЛ

МУИС-ийн Цөмийн Судалгааны Төвийн (ЦСТ) Микротроны гамма квантын суваг дээр суурилсан гамма болон нейтрон идэвхжилийн шинжилгээг нэгэн зэрэг хийх зориулалттай “Гамма-Нейтрон” төхөөрөмж 2009 оноос ашиглагдаж эхэлсэн. Тухайн төхөөрөмжийн суваг дээжтэй байх үед ($L_0=5-10$ см мужид) харгалзах тормозын гамма цацрагийн урсгалын дундаж нягт $3 \cdot 10^{11} \gamma/\text{см}^2\text{сек}$, харин дулааны нейтроны урсгалын дундаж нягт $1.4 \cdot 10^8$ нейтрон/ см^2 сек тус тус байдаг [1]. Төхөөрөмжийн бүтцийг 1-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 1. “Гамма-Нейтрон” төхөөрөмжийн бүтэц: 1- электроны цацраг, 2-тантал бай, 3- Al экран, 4-дээж шарах суваг, 5-тормозын цацраг, 6- хар тугалган хувиргагч, 7- дээж, 8- монитор, 9- усан удаашируулагчийн органик шилээр хийсэн сав $250 \times 250 \times 250$ мм³.

Төхөөрөмжийн дээж шарах суваг дахь тормозын цацрагийн болон дулааны нейтроны урсгалын $\Phi_\gamma(r)/\Phi_n(r)$ харьцаа мэдэгдэж байгаа тохиолдолд (γ, n) болон (n, γ) урвалыг шинжилгээнд ашиглах боломжийг урдчилан үнэлэх бүрэн боломжтой.

Иймд энэхүү ажилд “Гамма-Нейтрон” төхөөрөмжийн дээр гамма цацраг болон нейтроны урсгалын харьцааг дээж шарах суваг хоосон болон ачаалалтай байх үед үнэлэх аргыг боловсруулах асуудлыг хөндөв. Цацрагын урсгалыг хянах мониторт зэс болон мышьяк сонгон авсан. Учир нь Cu^{63} , As^{75} изотопууд дээр явагдах (γ, n) урвалын босго энерги ойролцоогоор ижил 10 МэВ учраас цацрагын урсгалын харьцааг зөв үнэлэх гол нөхцөл юм.

II. ҮР ДҮН

A. $\text{Cu}^{63}(\gamma, n)\text{Cu}^{62}$, $\text{As}^{75}(\gamma, n)\text{As}^{74}$ урвалуудын эффектив болон дундаж огтлолын үнэлгээ

Тормозын цацраг нь E_{max} энергиэр хязгаарлагдсан нил спектртэй тул энэ спектрт харгалзах эффектив болон дундаж огтлолыг E_{max} энергиэс хамааруулан тооцоолох шаардлагатай болдог. Микротрон МТ-22-ын хувьд $E_{\text{max}}=22$ МэВ. Харин фото-урвалуудын энергиэс хамаарсан огтлолын мэдээллүүд өнөө үед бүрэн хангалттай бий [2,3]. Авч үзэж буй фото урвалуудын огтлолуудын үнэлгээгээр $\Phi_\gamma(r)/\Phi_n(r)$ харьцааны алдаа тодорхойлогддо.

Энэ хэсэгт ЦСТ-ийн микротроны тормозын цацрагийн хувиргагч тантал байны хувьд дараах хоёр тооцооны дүнг нэгтгэв:

1. $\text{Cu}^{63}(\gamma, n)\text{Cu}^{62}$, $\text{As}^{75}(\gamma, n)\text{As}^{74}$ урвалуудын хувьд $E_{\text{max}}=22$ МэВ хязгаарын энергитэй тормозын цацрагийн спектрт харгалзах σ_{eff} эффектив болон σ_d дундаж огтлолын үнэлгээ.

2. Дээж шарах суваг алтны ордын дээжүүдээр ачаалагдсан үед $\text{Cu}^{63}(\gamma, n)\text{Cu}^{62}$,

$As^{75}(\gamma, n)As^{74}$ урвалуудын эффектив болон дундаж огтлолын өөрчлөлтийн үнэлгээ.

Микротрона МТ-22 дээр үүсч буй тормозын цацрагийн спектрийн энергийн (0-22) МэВ мужийн бүтэн интеграл урсгалын нягт $\Phi_\gamma(r)$ болон урвалын E_B босго энергиэс дээш энергийн мужид харгалзах $\Phi(r, E_B)$ интеграл урсгалын нягтууд дараах хамааралтай байдаг [1]:

$$\Phi_\gamma(r)\sigma_{eff}(r) = \Phi_\gamma(r)\sigma_D(r) \int_{E_B}^{22MэВ} f(r, E)dE = \Phi(r, E_B)\sigma_D(r) \quad (1)$$

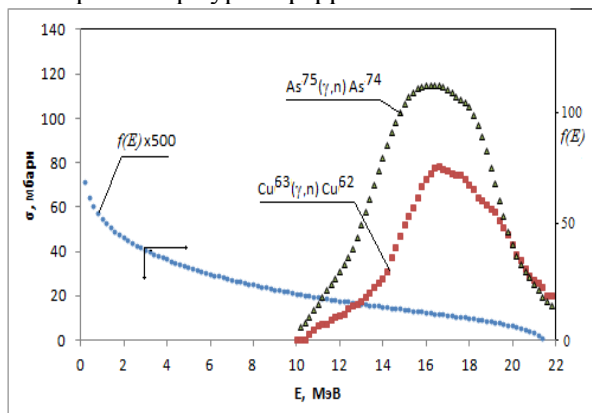
$$\sigma_{eff}(r) = \int_0^{22MэВ} f(r, E)\sigma(E)dE \text{ барн -}$$

$f(r, E)$ спектрт харгалзах эффектив огтлол[2],

$$\sigma_D(r) = \frac{\int_{E_B}^{22MэВ} f(r, E)\sigma(E)dE}{\int_{E_B}^{22MэВ} f(r, E)dE}$$

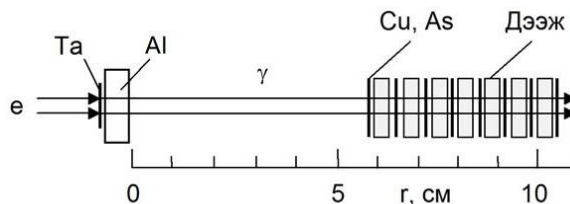
- дундаж огтлол, $\int_0^{22MэВ} f(r, E)dE = 1$

Тантал байны хувьд бодогдсон $f(r, E)$ спектр [1] болон $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$, $As^{75}(\gamma, n)As^{74}$ урвалуудын огтлолуудын энергиэс [2,3] хамаарлыг 2-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 2. $f(r, E)$ спектр болон $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$, $As^{75}(\gamma, n)As^{74}$ урвалуудын огтлолын энергиэс хамаарах хамаарал [1,3].

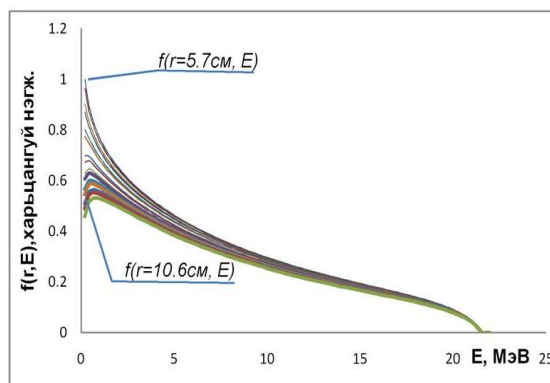
Хийсэн тооцоонд харгалзах шаралтын геометрийг ойлгомжтой болгох үүднээс төхөөрөмжийн сувагт алтны ордын дээжийг шарсан байршилыг хөнгөн цагаан экраны гадаргатай харьцангуйгаар 3-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 3. "Гамма-Нейтрон" төхөөрөмж дээр алтны дээжийг шарсан геометр.

Шарагдаж байгаа монитор болон дээжийг нэвтэрч гарсан тормозын цацрагийн спектрийн хэлбэрийн өөрчлөлтийг бодсон үр дүнг 4-р зурагт нэгтгэв.

Харин дээжийг нэвтэрч гарсан тормозын цацрагийн (ялангуяа бага энергийн мужид харгалзах) $f(r, E)$ спектрийн хэлбэр өөрчлөгдвөл (1) томъёонууд ёсоор эффектив болон дундаж огтлолууд өөрчлөгднө.



Зураг 4. Монитор болон дээжүүдийг нэвтэрсэн тормозын цацрагийн спектрийн хэлбэрийн өөрчлөлт.

Зургаас харахад анхны туссан $f(r = 5.7 \text{ см}, E)$ спектрийн хэлбэр бүх монитор болон дээжийг нэвтэрч гарсны дараа $f(r = 10.6 \text{ см}, E)$ хэлбэртэй болж өөрчлөгдсөн байна. Өөрөөр хэлбэл бага энергийн мужид ихээхэн өөрчлөлт гарсан нь спектрийн хэлбэрийн өөрчлөлтийн ерөнхий зүй тогтол зөв байгааг харуулж байна. Практикт урвалын огтлолыг энергийн дискрет утгуудад хэмжсэн юмуу бодсон байдаг. Бидний авч үзэж буй фото урвалын хувьд огтлолын утгууд 0.3 МэВ энергийн алхамтай өгөгдсөн тул $f(r, E)$ спектр мөн энэхүү алхмаар бодсон [1].

$$\sigma_{eff}(r) = \sum_{i=1}^n f_i(r, E)\sigma_i(E)\Delta E \quad (2)$$

$$\Delta E = 0.3 \text{ МэВ}, \quad \sum_{i=1}^n f_i(r, E) \Delta E = 1$$

$$\sigma_D(r) = \sum_{i=k}^n f_i(r, E) \sigma_i(E) \Delta E / \sum_{i=k}^n f_i(r, E) \Delta E \quad (3)$$

k- E_б босго энергид харгалзах дугаар.

Тантал бай бүхий микротрон МТ-22 дээрх $f(r=5.7 \text{ см}, E)$, $f(r=10.6 \text{ см}, E)$ спектрүүдийн хувьд $\text{Cu}^{63}(\gamma, n) \text{Cu}^{62}$, $\text{As}^{75}(\gamma, n) \text{As}^{74}$ урвалын эффе́ктив болон дундаж огтлолуудыг (2), (3) томъёонуудын тусламжтайгаар үнэлсэн дүнг 1-р хүснэгтэнд нэгтгэв.

Хүснэгт, 1. МТ-22 дээр $\text{Cu}^{63}(\gamma, n) \text{Cu}^{62}$, $\text{As}^{75}(\gamma, n) \text{As}^{74}$ урвалуудын эффе́ктив болон дундаж огтлолыг бодсон дүн.

Урвал	r=5.7см		r=10.6см	
	$\sigma_{\text{eff}}(r), \text{мбн}$	$\sigma_D(r), \text{мбн}$	$\sigma_{\text{eff}}(r), \text{мбн}$	$\sigma_D(r), \text{мбн}$
$\text{Cu}^{63}(\gamma, n)$ Cu^{62}	10.1±0.1	34.7±0.4	11.0±0.2	34.8±0.6
$\text{As}^{75}(\gamma, n)$ As^{74}	18.7±0.1	64.8±0.2	20.0±0.3	63.2±0.4

Хүснэгтээс харахад тормозын цацрагийн спектрин хэлбэрийн өөрчлөлтөөс урвалын огтлолуудад өгөх эффе́кт тийм ч их биш байна. Иймд $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцааг үнэлэх тооцоонд урвалын огтлолуудад засвар оруулах шаардлагагүй.

Б. Тормозын цацрагийн болон дулааны нейтроны $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ урсгалуудын харьцаа

Идэвхжилийн шинжилгээний уламжлалт томъёонуудыг ашиглан тормозын цацрагийн болон дулааны нейтроны урсгалуудын нягтын дурын цэг дээрх $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцааг зэс болон мышьякын тохиолдолд бичвэл:

$$\frac{\Phi_\gamma^{\text{Cu}}(r)}{\Phi_t^{\text{Cu}}(r)} = \frac{S_\gamma^{\text{Cu}}(r)}{S_t^{\text{Cu}}(r)} D^{\text{Cu}}(r);$$

$$\frac{\Phi_\gamma^{\text{As}}(r)}{\Phi_t^{\text{As}}(r)} = \frac{S_\gamma^{\text{As}}(r)}{S_t^{\text{As}}(r)} D^{\text{As}}(r) \quad (4)$$

$$D^{\text{Cu}}(r) = \frac{\sigma_t^{\text{Cu}} \varepsilon_t(E) \lambda_\gamma^{\text{Cu}} I_t^{\text{Cu}} \theta_t^{\text{Cu}} (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2} (1 - e^{-\lambda t_3})}{\sigma_{\text{eff}}^{\text{Cu}}(r) \varepsilon_\gamma(E) \lambda_\gamma^{\text{Cu}} I_\gamma^{\text{Cu}} \theta_\gamma^{\text{Cu}} (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2} (1 - e^{-\lambda t_3})} \quad (5)$$

$$D^{\text{As}}(r) = \frac{\sigma_t^{\text{As}} \varepsilon_t(E) \lambda_\gamma^{\text{As}} I_t^{\text{As}} \theta_t^{\text{As}} (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2} (1 - e^{-\lambda t_3})}{\sigma_{\text{eff}}^{\text{As}}(r) \varepsilon_\gamma(E) \lambda_\gamma^{\text{As}} I_\gamma^{\text{As}} \theta_\gamma^{\text{As}} (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2} (1 - e^{-\lambda t_3})}$$

энд: $\Phi(r)$ – бөөмийн урсгалын нягт; $S(r)$ – импульсын тоо; λ – изотопын задралын тогтмол; ε – E энергид харгалзах детекторын бүртгэх чадвар; I – E энергитэй гамма квантын гаралт; t_i – шарах, хүлээх, хэмжих хугацаа; θ – изотопын байгалийн тархалт; $\sigma(E)$ – цөмийн урвалын огтлол.

Тооцоонд Cu, As элементүүдийн цөмийн тоо шаардлагагүй болохыг дээрх харьцаануудаас харж болно. Ямар урвалыг ашиглаж $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцааг тодоохойлноос үл хамааран дурын цэг дээр дараах тэнцэтгэл биелнэ:

$$\Phi_X(r) \equiv \frac{\Phi_\gamma^{\text{Cu}}(r)}{\Phi_t^{\text{Cu}}(r)} = \frac{\Phi_\gamma^{\text{As}}(r)}{\Phi_t^{\text{As}}(r)};$$

В. Дулааны болон резонансын нейтроны урсгалын нягтын харьцааг тодорхойлох арга

Төхөөрөмж дээрх цацрагуудын урсгалын $\Phi_\gamma(r)/\Phi_i(r)$ харьцааг тодорхойлоход шаардлагатай $\text{Cu}^{65}(n, \gamma)\text{Cu}^{66}$, $\text{As}^{75}(n, \gamma)\text{As}^{76}$ урвалууд нь дулааны болон резонансын нейтроноор зэрэг явагдах тул спектрометр дээр энэ хоёр урвалын тус тусдаа ялгарч тоологдсон импульсын $N^{\text{Cu}}(r)$, $N^{\text{As}}(r)$ тоо нь дулааны болон резонансын нейтронуудаас өгөгдсөн нийлбэр эффект байдаг. Иймд дулааны нейтроны цэвэр эффектэд харгалзах $S_i^{\text{Cu}}(r)$,

$S_i^{\text{As}}(r)$ импульсын тоо дулааны болон нейтроны $\Phi_i(r)/\Phi_p(r)$ харьцаагаар тодорхойлогддог. Нейтрон идэвхжилийн уламжлалт аргаар кадмийн харьцааны тусламжтайгаар $S_i^{\text{Cu,As}}(r)$ импульсын тоонуудыг тодорхойлдог [4].

Төхөөрөмжийн цацрагийн урсгалын харьцааг тодорхойлоход шаардлагатай Cu болон As элементүүд дээр гамма ба нейтрон идэвхжилээр явагдах урвалын чухал физик тогтмолуудыг 2-р хүснэгтэнд нэгтгэн үзүүлэв.

Хүснэгт 2. As и Cu элемент дээр явагдах (n, γ) и (γ, n) урвалуудын зарим өгөгдлүүд

Реакция	$T_{1/2}$	σ , мбн	θ	E, кэВ	I
$\text{As}^{75}(n, \gamma)\text{As}^{76}$	26.4 цаг	$\sigma_i = 4480 \pm 110$ $\sigma_p = 61000 \pm 400$	1	559	0.440
$\text{Cu}^{65}(n, \gamma)\text{Cu}^{66}$	5.1 мин	$\sigma_i = 2270 \pm 30$ $\sigma_p = 2320 \pm 80$	0.309	1039	0.080
$\text{As}^{75}(\gamma, n)\text{As}^{74}$	426.5 цаг	$\sigma_{eff} = 18.7 \pm 0.1$	1	596	0.6
$\text{Cu}^{63}(\gamma, n)\text{Cu}^{62}$	9.8 мин	$\sigma_{eff} = 10.1 \pm 0.1$	0.691	1173	0.004

Харин гамма болон нейтрон идэвхжилийн аргуудыг хослуулан хэрэглэж байгаа тохиолдолд [4] ажилд заагдсан кадмийн харьцааны аргыг хэрэглэх шаардлагагүй.

Илэрхийлэл (4) ба (5) –аас дулааны болон резонансын нейтроны урсгалын нягтын $\Phi_i(r)/\Phi_p(r)$ харьцаа спектрометрээр ялгарч тоологдсон импульсын $N^{\text{Cu}}(r)$, $N^{\text{As}}(r)$ тоонууд дараах хэлбэрээр тодорхойлогдоно:

$$\frac{\Phi_i(r)}{\Phi_p(r)} = \frac{N^{\text{Cu}} \frac{\sigma_p^{\text{As}}}{\sigma_i^{\text{As}}} - \frac{S_\gamma^{\text{Cu}}(r) D^{\text{Cu}}(r) \sigma_p^{\text{Cu}}}{S_\gamma^{\text{As}}(r) D^{\text{As}}(r) \sigma_i^{\text{Cu}}} N^{\text{As}}}{\frac{S_\gamma^{\text{Cu}}(r) D^{\text{Cu}}(r)}{S_\gamma^{\text{As}}(r) D^{\text{As}}(r)} N^{\text{As}} - N^{\text{Cu}}} \quad (6)$$

Дулааны нейтроны цэвэр эффектэд харгалзах $S_i^{\text{Cu}}(r)$, $S_i^{\text{As}}(r)$ импульсын тоонуудыг

дулааны болон нейтроны $\Phi_i(r)/\Phi_p(r)$ харьцаагаар илэрхийлбэл:

$$S_i^{\text{Cu}}(r) = N^{\text{Cu}}(r) - \frac{N^{\text{Cu}}(r)}{\frac{\sigma_i^{\text{Cu}} \Phi_i(r)}{\sigma_p^{\text{Cu}} \Phi_p(r)} + 1};$$

$$S_i^{\text{As}}(r) = N^{\text{As}}(r) - \frac{N^{\text{As}}(r)}{\frac{\sigma_i^{\text{As}} \Phi_i(r)}{\sigma_p^{\text{As}} \Phi_p(r)} + 1}$$

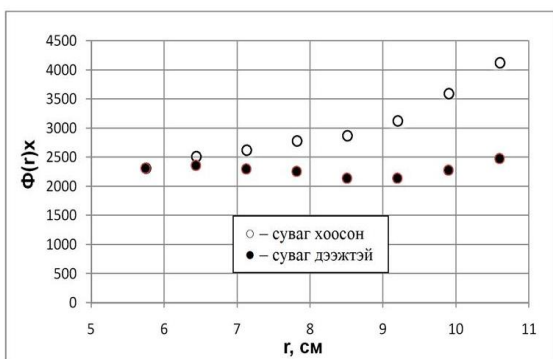
болно.

**Г. “Гамма-Нейтрон” төхөөрөмж дээрх
тормозын цацрагийн болон
дулаанынейтроны урсгалын нягтынхарьцаа
 $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$**

Илэрхийлэл (5), (6)-аас тормозын цацрагийн болон дулааны нейтроны урсгалын нягтын $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцааг тодорхойлбол:

$$\Phi_x(r) = \frac{S_\gamma^{Cu}(r)D^{Cu}(r)}{N^{Cu}(r) - \frac{N^{Cu}(r)}{\frac{\sigma_t^{Cu} \Phi_t(r)}{\sigma_p^{Cu} \Phi_p(r)} + 1}} = \frac{S_\gamma^{As}(r)D^{As}(r)}{N^{As}(r) - \frac{N^{As}(r)}{\frac{\sigma_t^{As} \Phi_t(r)}{\sigma_p^{As} \Phi_p(r)} + 1}} \quad (7)$$

Хэмжилтийн $N^{Cu}(r)$, $N^{As}(r)$ дүнгүүд болон 2-р хүснэгтийг ашиглан (7) томъёогоор бодогдсон $\Phi_x(r) = \Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцаа шаралтын r зайнаас хамаарлыг төхөөрөмжийн дээж шарах суваг хоосон ба дээжтэй тохиолдолд 5-р зурагт үзүүлэв.



Зураг.5. $\Phi_x(r) = \Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцааны шаралтын r зайнаас хамаарал.

Төхөөрөмжийн суваг дээжтэй байх үед тормозын гамма цацрагийн урсгал буурч харин дээж болон түүний полиэтилен савнууд дээрх нейтроны удаашралаас үүдэн дулааны нейтрон урсгал ихэссэн болох нь зургаас харагдаж байна. Харин суваг хоосон байхад нейтроны конверторын ойролцоо зайд (1-р зургыг үз.) тормозын цацрагийн урсгал харьцангуй их байна. Иймд дээж шарах хэсэгт суваг дээжтэй байх үед $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцаа ойролцоогоор 2000-3000, суваг хоосон үед 2000-4500 байна.

Ш.ДҮГНЭЛТ

Гамма болон нейтрон идэвхжилийн шинжилгээ зэрэг хийхэд зориулагдсан “Гамма-Нейтрон” төхөөрөмжийн суваг дахь тормозын цацрагийн болон дулааны нейтроны урсгалын нягтын харьцааны үнэлгээг дээж шарах хэсэгт хийж, дээжтэй үед $\Phi_\gamma(r)/\Phi_t(r)$ харьцаа ойролцоогоор 2000-3000, суваг хоосон үед 2000-4500 завсарт хэлбэлзэхийг тогтоов.

Дээж шарах байршил полиэтилен сав бүхий дээжтэй үед $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$, $As^{75}(\gamma, n)As^{74}$ урвалуудын эффектив болон дундаж огтлолуудын утганд тормозын цацрагийн спектрийн хэлбэрийн өөрчлөлтийн үзүүлэх нөлөө 10% -иас хэтрэхгүй.

Энэхүү ажлаар дулааны болон резонансын нейтроны урсгалын нягтын харьцааг тодорхойлох шинэ арга боловсруулсан.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Б.Отгоолой, П.Зузаан, Г.Дамдинсүрэн. Микротрон дээр гамма нейтроны холимог орноор шарах төхөөрөмж. МУИС. ЭШБ. ФИЗИК, №355(16). Хууд. 76-82.
2. Varlamov.V.V, et ell. J, YK, 1-2, 48, 2003
3. Handbook on Nuclear Activation Data, Technical reports series No.273, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1987
4. Н.Норов, С.Одмаа, Г.Хүүхэнхүү. Нейтроны физикийн практик, МУИС, ЦСТ, Улаанбаатар, 2007.