

## Микротрон Дээр Гамма-Нейтроны Холимог Орноор Шарах Төхөөрөмж

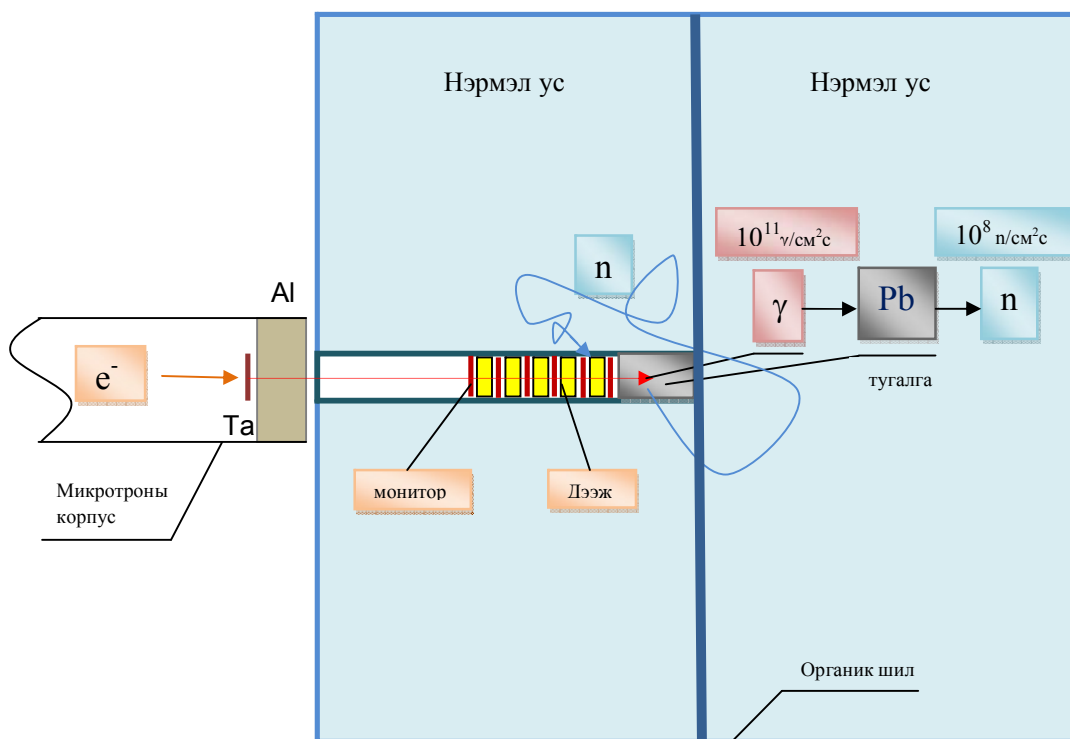
Б.Отгоолой, П.Зузаан, Г.Дамдинсүрэн

Монгол улсын их сургууль, Цөмийн судалгааны төв

Энэ ажлаар МТ-22 микротроны гамма суваг дээр нейтрон болон гамма цацрагаар нэгэн зэрэг судалгаа хийхэд зориулсан төхөөрөмжийн хамгийн тохиромжтой геометрийн болон бүтцийн тооцоонуудыг хийж, зохион бүтээсэн. Төхөөрөмжийн үндсэн физик үзүүлэлтүүдийг бүрэн тодорхойлсон. Энэхүү төхөөрөмж зохион бүтээгдсэнээр гамма болон нейтроноор явагдах зарим цөмийн урвалуудын огтлолыг харьцангуй аргаар, нэг элементийг хоёр аргаар зэрэг тодорхойлох шинэ аргууд боловсруулсан. Энэ ажлыг “Хрэглэгээний цөмийн физикийн судалгаа” сэдэвт ажлын хүрээнд гүйцэтгэв.

### 1.Төхөөрөмжийн бүтэц, үндсэн үзүүлэлт

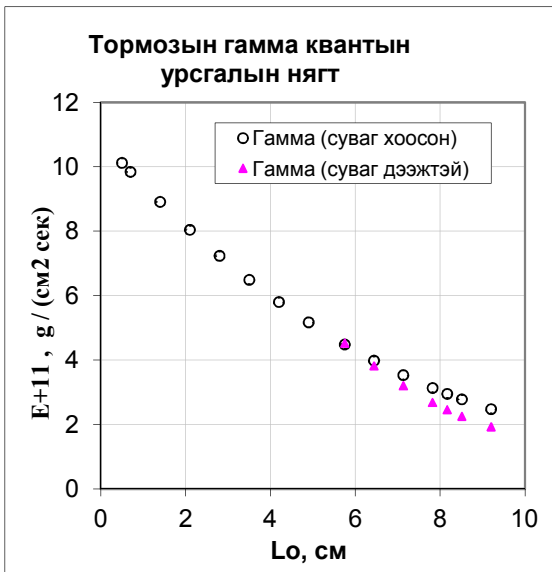
Микротроноос гарч буй тормозын  $\gamma$ -гамма цацраг дээж болон мониторууд дээр шууд тусна. Харин нэвтэрч гарсан гамма цацраг Pb-хар тугалган ( $\varnothing 28 \times 35$ мм) конвертортой харилцан үйлчлэлцсэнээр их хэмжээний фотонейтрон үүснэ. Эдгээр нейтонууд  $25 \times 25 \times 25$  см<sup>3</sup> эзэлхүүн бүхий нэрмэл усанд огцом удааширснаар дээжийн орчинд өндөр урсгалтай дулааны нейтроны орон бий болно. Холимог орноор шарах төхөөрөмжийн ерөнхий схемийг 1-р зурагт үзүүлбэл:



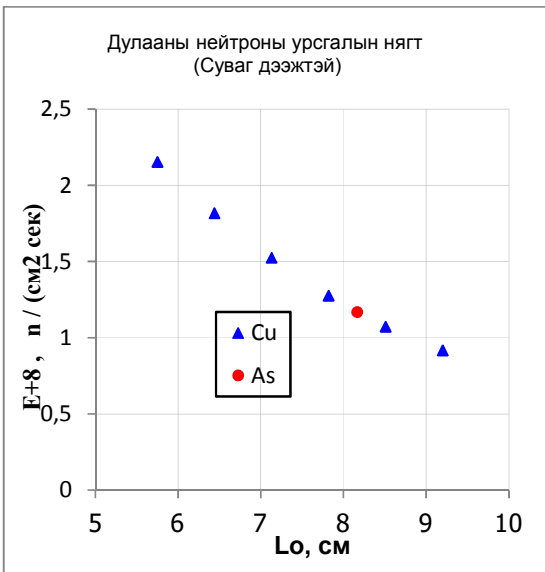
Зураг.1.Микротрон дээр гамма-нейтроны холимог орноор шарах төхөөрөмжийн схем.  $e^-$ -электроны урсгал; Ta-электроныг тормозлуулах зорилготой 1,8мм зузаантай тантал бай; Al-электроныг системээс гаргахгүй бага үүрэгтэй хөнгөн цагаан фильтр;  $\gamma$ -тантал байнаас үүссэн тормозын гамма цацрагийн урсгал; Монитор-тормозын гамма цацраг болон нейтроны урсгалыг зэрэг хянах зориулалттай зэс ялтас; Pb- фото цөмийн урвалаар нейтрон үүсгэгч хар тугалган конвертор,  $\varnothing 28 \times 35$ мм

Дээжүүдийн завсар байрлуулсан зэс мониторуудын тусламжтайгаар тусч буй цацрагийн урсгалын түгэлтийг тодорхойлсон. Үүнд: Тормозын гамма цацрагийн урсгалыг  $\text{Cu}^{63}(\gamma, n)\text{Cu}^{62}$  урвалаар, харин дулааны нейтроны урсгалыг  $\text{Cu}^{65}(n, \gamma)\text{Cu}^{66}$  урвалаар тус тус хянасан. Дулааны болон

резонансны нейтроны урсгалын харьцаа зай болгонд өөр өөр бөгөөд тухайлбал As-мышьяк шарсан цэгт  $\Phi_d/\Phi_p=6.0\pm 0.4$  байв. Төхөөрөмжийн дээж байрлуулах суваг дахь цацрагуудын урсгалын нягтын түгэлтийг доорх зургуудад нэгтгэн үзүүлэв.



Зураг,2.



Зураг,3.

Түгэлтүүдээс харахад төхөөрөмжийн суваг дээжтэй байх үед (микротроны корпусоос L<sub>0</sub>=5-10см мужид) харгалзах тормозын гамма цацрагийн урсгалын дундаж нягт  $3 \cdot 10^{11} \gamma/\text{cm}^2 \text{ с}$ , харин дулааны нейтроны урсгалын дундаж нягт  $1,4 \cdot 10^8 \text{ нейт}/\text{cm}^2 \text{ сек}$  тус тус байна.

## 2. Гамма-нейтроны холимог орны идэвхжилээр цөмийн урвалын огтлол тодорхойлсон харьцангуй арга

Тормозын гамма цацрагаар явагддаг  $As^{75}(\gamma, n) As^{74}$  урвалын эффектив  $\sigma_{eff}$  болон дундаж  $\sigma_d$  огтлолуудыг дэвшүүлж байгаа аргаар тодорхойлсныг жишээ болгон авч үзье. Дээрх урвалын босго энерги  $E_B=10$  МэВ. Иймд жишиг элементээр  $(\gamma, n)$  урвалын хувьд  $E_B=10$

МэВ урвалын босго бүхий зэсийг сонгон авсан.

Сонгосон As, Cu элементүүд бүхий дээжийг гамма-нейтроны холимог оронд  $t_1=1$  цаг шарсан бөгөөд Ge детектортой гамма спектрометрээр хэмжилтийг гүйцэтгэсэн. Туршилтад ашигласан урвал болон бусад хэмжигдэхүүнийг хүснэгтээр үзүүлэв.

Хүснэгт.1. Мышьяк болон зэс дээр явагддаг цөмийн зарим урвалуудын өгөгдлүүд

	T <sub>1/2</sub>	σ <sub>n</sub> , мбн	σ <sub>eff</sub> , мбн	σ <sub>d</sub> , мбн	θ	E кэВ	I, %
As <sup>75</sup> (γ, n) As <sup>74</sup>	426,5ц		18.7±0.1	64.80±0.24	1	596	0,6

$As^{75}(n, \gamma) As^{76}$	26,4ц	4480±110			1	559	0,44
$Cu^{63}(\gamma, n) Cu^{62}$	9,76 м		10,04±0,13	34,7±0,4	0,691	1173	0,004
$Cu^{65}(n, \gamma) Cu^{66}$	5,1м	2170±30			0,309	1039	0,08

Зэсийн хувьд хүлээсэн, хэмжсэн хугацаа харгалзан  $t_2 = 7,9$  мин.  $t_3 = 3$  мин, харин мышъякийн хувьд  $t_2 = 76,13$  цаг,  $t_3 = 1$  цаг.

Микротрон МТ-22 дээр гарч байгаа  $F(E)$  квант/(см<sup>2</sup>сек.МэВ) спектр бүхий тормозын гамма цацрагийн (0÷22) МэВ энергийн мужид харгалзах  $\Phi_\gamma$  урсгалын нягтыг бичвэл:

$$\Phi_\gamma = \int_0^{22\text{МэВ}} F(E)dE \text{ квант/(см}^2\text{сек.)}$$

Тормозын цацрагийн “урагш” чиглэсэн нормчилогдсон Шиффагийн  $f(E)$  спектр нь дараах хэлбэртэй тодорхойлогддо [1].

$$f(E) = \frac{F(E)}{\Phi_\gamma} \text{ МэВ}^{-1} \text{ буюу } \int_0^{22\text{МэВ}} f(E)dE = 1 \text{ болно.}$$

Энэ тохиолдолд  $\sigma(E)$  огтлол бүхий фото урвалын  $Y$  гаралтыг бичвэл:

$$Y = \int_0^{22\text{МэВ}} F(E)\sigma(E)dE = \Phi_\gamma \int_0^{22\text{МэВ}} \frac{F(E)}{\Phi_\gamma} \sigma(E)dE = \Phi_\gamma \int_0^{22\text{МэВ}} f(E)\sigma(E)dE = \Phi_\gamma \sigma_{eff}$$

$$\sigma_{eff} = \int_0^{22\text{МэВ}} f(E)\sigma(E)dE \text{ барн – тухайн спектрт харгалзах эффектив огтлол [1].}$$

Харин  $E_B$  урвалын босготой тохиолдолд дундаж  $\sigma_D$  огтлолыг уламжлалт аргаар тодорхойлбол:

$$\sigma_D = \frac{\int_{E_B}^{22\text{МэВ}} f(E)\sigma(E)dE}{\int_{E_B}^{22\text{МэВ}} f(E)dE} = \frac{\int_0^{22\text{МэВ}} f(E)\sigma(E)dE}{\int_{E_B}^{22\text{МэВ}} f(E)dE} = \frac{\sigma_{eff}}{\int_{E_B}^{22\text{МэВ}} f(E)dE}$$

Энергийн ( $E_B \div 22$ ) МэВ мужид харгалзах тормозын цацрагийн урсгалын  $\Phi(E_B)$  нягтыг бичвэл:

$$\Phi(E_B) = \Phi_\gamma \int_{E_B}^{22\text{МэВ}} f(E)dE = \int_{E_B}^{22\text{МэВ}} F(E)dE$$

Дээрх хоёр томъёоноос дараах тэнцэтгэл гарна.

$$Y = \Phi_{\gamma} \sigma_{eff} = \Phi_{\gamma} \sigma_{д} \int_{E_B=10\text{МэВ}}^{22\text{МэВ}} f(E) dE = \Phi(E_B) \sigma_{д}$$

Иймд тооцоонд эффетив болон дундаж огтлолын алийг нь ч ашиглаж болох боловч  $\Phi(E_B)$  нягт тэр болгон тодорхой байдаггүй, харин бүтэн  $\Phi_{\gamma}$  урсгалын нягт ямагт мэдэгдэж байдаг учраас  $\sigma_{eff}$  огтлолыг ашиглах нь илүү тохиромжтой. Практикт аливаа урвалын огтлолын утгуудыг дандаа энергийн дискрет утгууд дээр хэмжисэн, эсвэл тооцоолсон байдаг. Энэ тохиолдолд  $\sigma_{eff}$  эффетив огтлолыг дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$\sigma_{eff} = \sum_{i=1}^n f_i(E) \sigma_i(E) \Delta E \quad \text{харин} \quad \sum_{i=1}^n f_i(E) \Delta E = 1 \quad (1)$$

Энд:  $n$  – тормозын цацрагийн (0÷22) МэВ энергийн мужийг  $\Delta E$  алхмаар хуваахад гарсан интервалын тоо. Хүснэгт, 1-д нэгтгэгдсэн  $\sigma_{eff}$ ,  $\sigma_{д}$  огтлолын утгууд нь хамгийн сүүлийн [2] мэдээлэх болон (1) томьёонуудыг ашиглан  $\Delta E=0.3$  МэВ тохиолдолд бодогдсон.

Урсгалын нягтын харьцааг тодорхойлох:

$\text{Cu}^{63}(\gamma, n) \text{Cu}^{62}$  болон  $\text{Cu}^{65}(n, \gamma) \text{Cu}^{66}$  урвалуудын тусламжтайгаар тормозын цацрагийн бүтэн  $\Phi_{\gamma}$  ба  $\Phi(E_B)$  урсгалын нягтуудыг дулааны нейтроны  $\Phi_n$  урсгалын нягтад харьцуулсан харьцааг тодорхойлсныг бичвэл:

$$\frac{\Phi_{\gamma}}{\Phi_n} = \frac{S_{\gamma} \sigma_n \varepsilon_n(E) \lambda_{\lambda} I_n \theta_n (1 - e^{-\lambda_n t_1}) e^{-\lambda_n t_2} (1 - e^{-\lambda_n t_3})}{S_n \sigma_{eff} \varepsilon_{\gamma}(E) \lambda_n I_{\gamma} \theta_{\gamma} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_1}) e^{-\lambda_{\gamma} t_2} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_3})} = 2004 \pm 100 \quad (1.A)$$

$$\frac{\Phi(E_B)}{\Phi_n} = \frac{S_{\gamma} \sigma_n \varepsilon_n(E) \lambda_{\lambda} I_n \theta_n (1 - e^{-\lambda_n t_1}) e^{-\lambda_n t_2} (1 - e^{-\lambda_n t_3})}{S_n \sigma_{д} \varepsilon_{\gamma}(E) \lambda_n I_{\gamma} \theta_{\gamma} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_1}) e^{-\lambda_{\gamma} t_2} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_3})} = 581 \pm 29 \quad (1.B)$$

$$\text{Энд: } S_n = 594 \pm 17 ; S_{\gamma} = 1113 \pm 16 ; \frac{\varepsilon_n(1039\text{кэВ})}{\varepsilon_{\gamma}(1173\text{кэВ})} = 1,087 \pm 0,001$$

Урвалын эффетив болон дундаж огтлолыг тодорхойлох нь:

$\text{As}^{75}(\gamma, n) \text{As}^{74}$  урвалд харгалзах  $\sigma_{eff}$ ,  $\sigma_{д}$  огтлолуудыг (1.A), (1.B) –д тодорхойлсон утгуудын тусламжтайгаар үнэлснийг бичвэл:

$$\sigma_{eff} = \sigma_n \frac{S_{\gamma} \Phi_n \varepsilon_n(E) \lambda_{\lambda} I_n \theta_n (1 - e^{-\lambda_n t_1}) e^{-\lambda_n t_2} (1 - e^{-\lambda_n t_3})}{S_n \Phi_{\gamma} \varepsilon_{\gamma}(E) \lambda_n I_{\gamma} \theta_{\gamma} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_1}) e^{-\lambda_{\gamma} t_2} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_3})} = 19 \pm 2 \text{мбн}$$

$$\sigma_{д} = \sigma_n \frac{S_{\gamma} \Phi_n \varepsilon_n(E) \lambda_{\lambda} I_n \theta_n (1 - e^{-\lambda_n t_1}) e^{-\lambda_n t_2} (1 - e^{-\lambda_n t_3})}{S_n \Phi(E_B) \varepsilon_{\gamma}(E) \lambda_n I_{\gamma} \theta_{\gamma} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_1}) e^{-\lambda_{\gamma} t_2} (1 - e^{-\lambda_{\gamma} t_3})} = 65 \pm 6 \text{мбн}$$

$$\text{Энд: } S_n = 11694 \pm 110 ; S_{\gamma} = 55468 \pm 405 ; \frac{\varepsilon_n(559\text{кэВ})}{\varepsilon_{\gamma}(596\text{кэВ})} = 1,053 \pm 0,001$$

Энэхүү тооцоонуудыг хийхэд ашигласан  $\frac{\varepsilon_n(E)}{\varepsilon_\gamma(E)}$  харьцаа нь детекторын гадаргуйгаас 10 см зайд 0,5

см диаметртэй стандарт гамма үүсгүүрүүдээр тодорхойлсон хэмжих чадварын муруйг [3] ашигласан. Гэтэл бидний туршилтанд хэрэглэсэн дээж 2см диаметртэй бөгөөд хэмжилтүүд шууд детекторын гадарга дээр хийгдсэн. Тооцоонд элементүүдийн цөмийн тоо N огт хэрэглэгдээгүй. Туршлагын үр дүн хүснэгтэд заасан (V.V. VARLAMOV, ... J, YK, 1-2, 48, 2003) ажлын дүнтэй таарч байгаа нь үндсэн физик хэмжигдэхүүнүүдийн харьцангуй утгаар тооцоо хийснээр систематик алдаа гарах нөхцөл эрс багассантай холбоотой.

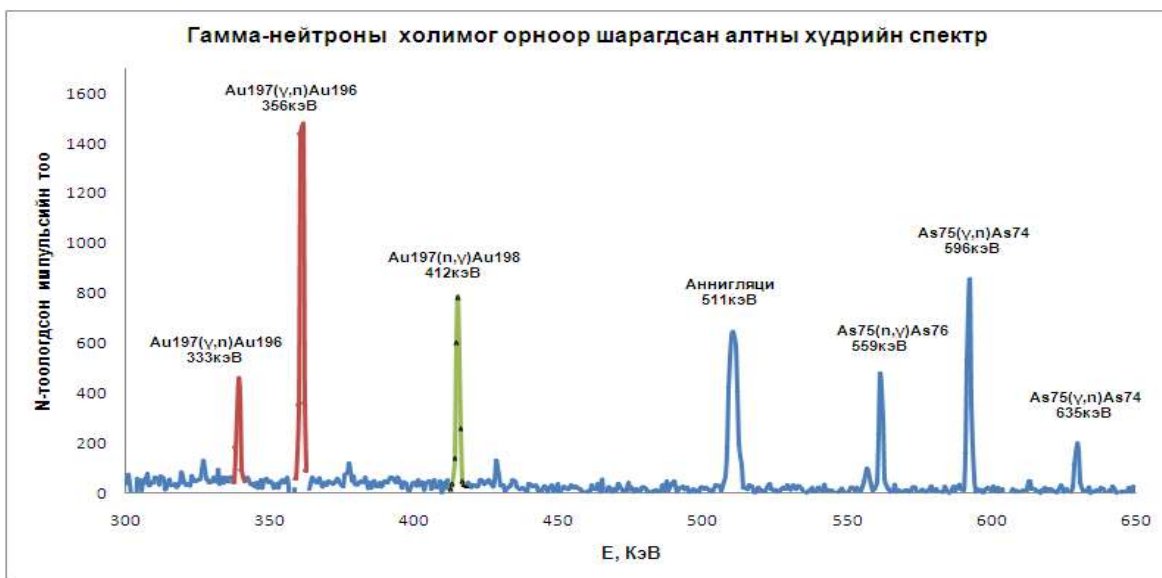
### 3. Алтыг гамма болон нейтрон идэвхжилийн аргуудаар нэгэн зэрэг тодорхойлох арга

Алтан дээр гамма цацрагаар болон дулааны нейтроноор явагдах цөмийн урвалуудын зарим физик хэмжигдэхүүнүүдийн өгөгдлийг хүснэгтэд нэгтгэн үзүүлэв.

Хүснэгт, 2. Гамма цацрагаар явагдах фото цөмийн  $Au^{197}(\gamma, n)$   $Au^{196}$  урвалууд:

Анхдагч изотоп	Үүссэн цацраг идэвхт изотоп	Хагас задралын үе, $T_{1/2}$	Гамма квантын энерги, кэВ	Гамма квантын гаралт, %
$Au^{197}$	$Au^{196m}$	9.7 цаг	148 188	42 32
$Au^{197}$	$Au^{196}$	6.18 өдөр	333 356	25 94
$Au^{197}$	$Au^{198}$	2.7 өдөр	412	100

$Au^{196m}$  изомер төлөв 9.7 цагийн хагас задралын үетэй задарч  $Au^{196}$  изотопод шилждэг. Ойролцоогоор  $t = 6.5 T_{1/2}$  хугацааны дараа тухайн цацраг идэвхт цөмийн 99% нь задарсан байх тул 63 цагийн дараагаас эхлэн  $Au^{196}$  цацраг идэвхт цөмийн тоонд  $Au^{196m}$  изомерийн нөлөөг тооцохгүй байж болно. Нөгөө талаас 511 кэВ энергитэй аннигиляцийн гамма квантыг ихэнх богино наст цацраг идэвхит изотопууд өгдөг учраас түүний комптоны сарнилд бага энергитэй шугамууд булагддаг. Өөрөөр хэлбэл  $Au^{196m}$  изомерийн задралаар шинжилгээ хийхэд систематик алдаа ихсэнэ. Иймд дэвшүүлэгдэж байгаа аргаар хэмжилт хийхдээ хүлээх хугацаа 63 цагаас багагүй байх шаардлагатай. Алтны хүдрийн дээжийг 3.5 цаг шарж 65 цагийн дараа гамма спектрометр дээр 2 цаг хэмжихэд гаммаар явагдах  $Au^{197}(\gamma, n)$   $Au^{196}$  фото урвалаар алтыг мэдрэх чадвар 0.1г/т, харин нейтроноор явагдах  $Au^{197}(n, \gamma)$   $Au^{198}$  урвалаар мэдрэх чадвар 0.3г/т байв. Алтны дээжийн хоёр цагийн хэмжилтийн спектрээс байгалийн фонын спектрийг хассан үеийн цэвэр спектрийг 4-р зурагт үзүүлбэл:



Зураг. 4.

Зургаас харахад гамма цацрагаар болон нейтроноор явагдах урвалуудаас үүссэн  $Au^{196}$ ,  $Au^{198}$  изотопуудын 356 кэВ, 412 кэВ энергийн шугамууд маш сайн ялгарч бүртгэгдсэн байна. Түүнчилэн мышьяк дээр(хүснэгт.1.-ийг үз) нейтрон болон гаммаар явагдсан  $As^{75}(n, \gamma)As^{76}$  ба  $As^{75}(\gamma, n)As^{74}$  урвалуудын бүтээгдэхүүн  $As^{76}$ ,  $As^{74}$  изотопуудын 559кэВ, 596 кэВ энергитэй шугамууд сайн ялгарч хэмжигдсэн нь мөнхүү элементийг хоёр аргаар зэрэг тодорхойлох боломжтойг харуулж байна.

### Дүгнэлт

Энэ ажлаар МТ-22 микротроны гамма суваг дээр нейтрон болон гамма цацрагаар нэгэн зэрэг судалгаа хийхэд зориулсан төхөөрөмжийн хамгийн тохиромжтой геометрийн болон бүтцийн тооцоог хийж, зохион бүтээсэн. Төхөөрөмжийн үндсэн физик үзүүлэлтүүд бүрэн тодорхойлсон. Энэхүү төхөөрөмжийг зохион бүтээснээр гамма болон нейтроноор явагдах зарим цөмийн урвалын огтлолыг харьцангуй аргаар, нэг элементийг хоёр аргаар зэрэг тодорхойлох шинэ аргуудыг боловсруулсан.

Гамма ба нейтроны холимог орон бий болгох энэхүү зохион бүтээсэн төхөөрөмжөөр (ялангуяа орчин үед гүйцэд судлагдаагүй  $(\gamma, n)$ ,  $(\gamma, p)$  фото урвалуудын эффектив болон дундаж огтлолуудыг) цөмийн урвалын огтлолыг харьцангуй аргаар өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох боломжтойг харуулав.

Холимог орны гамма квантаар явагдах  $Au^{197}(\gamma, n)Au^{196}$  фото урвалаар алтыг мэдрэх чадвар 0.1г/т, харин дулааны нейтроноор явагдах  $Au^{197}(n, \gamma)Au^{198}$  урвалаар мэдрэх чадвар 0.3г/т байгааг тогтоов.



Зураг,5. "Гамма-нейтрон" төхөөрөмжийн гадаад хэлбэр

## Облучающая Установка Смешанным Полем Гаммы-Нейтрона На Базе Микротрона

Б.Отгоолой, П.Зузаан, Г.Дамдинсүрэн

*На основании полученных в работе результатов расчетов и экспериментов разработана и создана установка для проведения одновременных анализов на тепловых нейтронах и гамма-излучениях на базе микротрона. Определены основные технические характеристики данной установки. С использованием созданной установки разработана относительная методика определения эффективного и среднего сечений фотоядерной реакции и методика одновременного определения золота двумя методами.*

### Ном зүй

1. Christion Segebade and Hans-Peter Weise. Photon Activation Analysis. Berlin and New York, 1988.
2. V.V.VARLAMOV,N.N.PESKOV,D.S.RUDENKO,M.E.STEPANOV, Photoneutron reaction cross sections in experiments with beams of quasimonoeenergetic annihilation photons. J,УК,1-2, 48, 2003
3. Б.Отгоолой, Н.Энхбат Микротрон МТ-22 хурдасгуурын гамма квантын суваг дахь цацрагийн түгэлт. МУИС-Цөмийн судалгааны төв, УБ хот, 2007 он.