

УРАНЫ ХУВААГДЛЫН БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ САЛААЛСАН ХЭЛХЭЭН ДЭХ ГАММА ЦАЦРАГ ИДЭВХГҮЙ ЦӨМИЙН ГАРАЛТЫГ ҮНЭЛЭХ НЬ

С.Одмаа, Н.Норов

Монгол улсын их сургууль, Цөмийн судалгааны төв

Товч утга. Бид энэ ажилд ураны цөмийн фото хуваагдлын бүтээгдэхүүний салаалсан хэлхээн дэх гамма цацраг идэвхтэй цөмийн цацраг идэвхийг хэмжих замаар уг хэлхээн дэх гамма цацраг идэвхгүй цөмийн гаралтыг үнэлэв.

Түлхүүр үг. фотохуваагдал, хуваагдлын бүтээгдэхүүн, салаалсан хэлхээ, гамма цацраг идэвхгүй цөм.

ОРШИЛ

Хуваагдлын гаралтын хэрэглээний хоёр гол салбар нь суурь цөмийн физик болон хэрэглээний салбар юм. Суурь цөмийн физикт хуваагдах процесст хэлтэрхий үүсч хэлбэржих бүх боломжийг авч үзэхэд, харин хавсрага хэрэглээний салбарт цөмийн түлшний циклийн янз бүрийн шатанд хуваагдлын бүтээгдэхүүний хуримтлал болон хувь нэмрийг тооцоход хуваагдлын гаралтыг хэрэглэдэг.

Цөмийн фотохуваагдал нь нилээд төвөгтэй урвал бөгөөд энэ нь өнөөг хүртэл бүрэн төгс судлагдаагүй байна. Тиймдээ ч $^{238}\text{U}(\gamma, f)$, $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ урвалын талаарх өгөгдөл маш бага байдаг.

Бид энэ ажилдаа ураны фото хуваагдлаар үүсэх бүтээгдэхүүнийг нимгэн хөнгөн цагаан ялтсанд шигтгэн авч, тэдгээрийн гамма цацрагийг гамма-спектрометр дээр хэмжиж, салаалсан хэлхээн дэх гамма цацраг идэвхгүй цөмийн гаралтыг үнэлэх зорилго тавьсан юм.

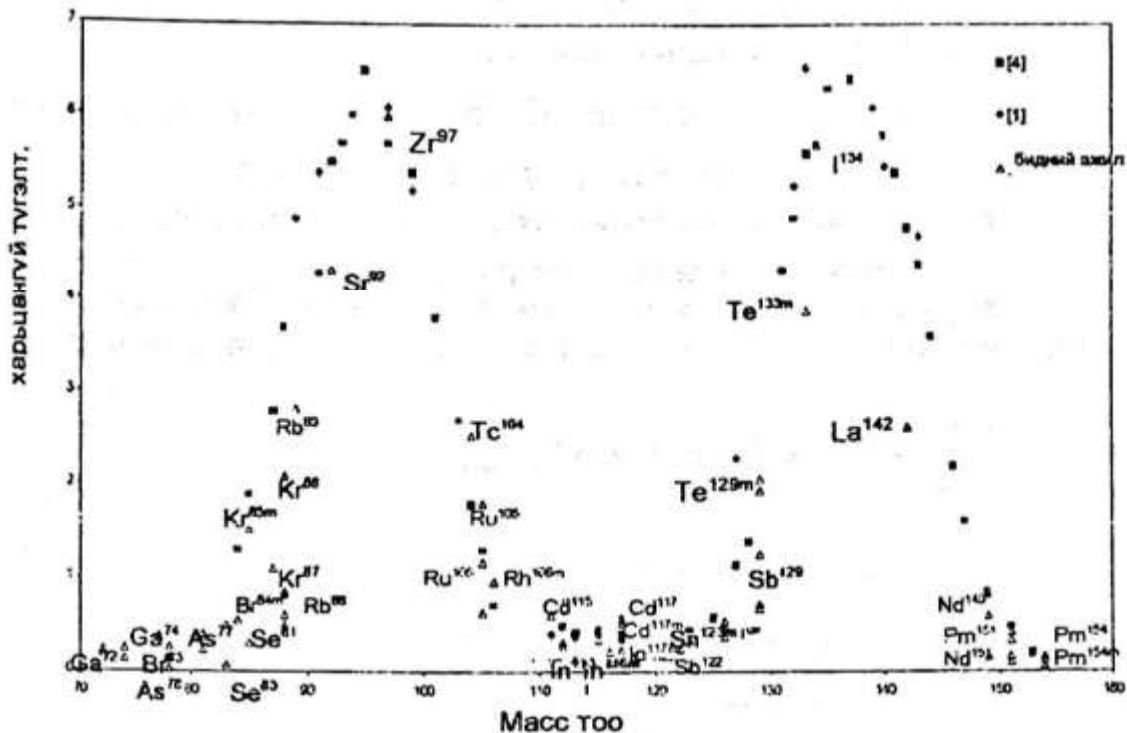
ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

Микротроны хурдассан электроны энерги 22 МэВ, дундаж гүйдэл 12 мкА байх горимд U^{235} -аар 5 % баяжуулсан ураны түрхэц бүхий хөнгөн цагаан ялтсыг (ураны бай) олон давхарласан нимгэн ($d=5$ мкм) Al ялтсанд ороон микротроны гамма сувагт байрлуулж 2 цаг 30 мин шарав.

Ураны бай болон нимгэн Al ялтсанд шигдсэн гамма цацраг идэвхтэй хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдээс гарах тодорхой энергитэй гамма квантуудыг хагас дамжуулагч цэвэр Ge детектороор бүртгэж, тэдгээрийн спектрийг олон сувагт гамма-спектрометрт гаргаж авав.

Ураны хуваагдлын хэлтэрхий хөнгөн цагаан ялтсанд гүйх гүйлтийн хамгийн их утга нь тооцоогоор $R < 20$ мкм байдаг [1] учраас бидний энэ туршилтанд 4-р болон түүнээс хойших Al ялтсанд хэлтэрхий шигдээгүй. Ураны бай болон нимгэн хөнгөн цагаан ялтсын хэмжилтийн спектрийг харьцуулан харахад хуваагдлын хэлтэрхийнүүдийн гамма шугамууд давхцаж байгаа боловч нимгэн хөнгөн цагаан ялтсын хувьд фон нь ураны байгаас ялангуяа бага энергийн мужид олон дахин бага байсан [2, 3].

Тухайн хуваагдлын хэлтэрхийн гамма шугамын эрчмийн хэмжилтийг давтан хийх замаар түүний хагас задралын үеийг шалгав. Хагас задралын үе болон гамма спектрометрт бүртгэгдсэн спектрийн гамма шугамуудын энерги, хөнгөн цагаан ялтас дахь гүйлтээр нь түүнд шигдсэн хуваагдлын хэлтэрхийнүүдийг таньж тодорхойлов. Ажил [4]-д өгөгдсөнөөр ^{134}I -харьцангуй гаралтын утга (5.7 %) -ийг ашиглан бусад хэлтэрхийн харьцангуй гаралтыг тодорхойлов. Энэ ажлын дүнг бусад судлаачдын үр дүнтэй [1, 4] харьцуулан 1-р зурагт харуулав.



Зураг 1. $U^{235}(\gamma, f)$ хуваагдлын бүтээгдэхүүний масс түгэлт t_1 хугацаанд шарахад хуримтлагдсан a хуваагдлын хэлтэрхийн цөмийн тоон хувьд (1) дифференциаль тэгшитгэлийг бодъё [5].

Анхны нөхцөл $N_a(\tau = 0) = N_a(0) = 0$

$$\frac{dN_a(\tau)}{d\tau} = -\lambda_a N_a(\tau) + y_a \sigma \Phi_\gamma N_U \eta + \sum_{b=1}^{a-1} \lambda_{ba} N_b(\tau) \quad (1)$$

Үүнд: λ_a - гамма цацраг гаргадаг a хуваагдлын бүтээгдэхүүний задралын тогтмол

y_a - ураны цөм хуваагдахад үүсэх a хуваагдлын бүтээгдэхүүний хамааралгүй гаралт

σ - $^{235}U(\gamma, f)$ хуваагдах огтлол, $E_{\max}^\gamma = 22$ МэВ

Φ_γ - гамма квантын урсгал, $[y/cm^2c]$

N_U - бай дахь ^{235}U цөмийн тоо

η - ^{235}U цөмийн байгалийн тархалт

λ_{ba} - α , β^- , β^+ -задрал, К-залгилт, изомер шилжилт гэх мэтээр b цөм a цөмд задрах магадлал,

b - салаалсан хэлхээн дэх a хуваагдлын бүтээгдэхүүний өмнөх цөмд харъяалагдана, $b < a$

Харин салаалсан хэлхээний эхний хэлтэрхий гамма цацраг идэвхтэй бол (1) тэгшитгэл нь дараах хялбар байдлаар бичигдэнэ.

$$\frac{dN(\tau)}{d\tau} = -\lambda N(\tau) + y \sigma \Phi_{\gamma} N_U \eta \quad (1)$$

(1) тэгшитгэлийн шийд:

$$N_a(\tau) = \frac{y_a \sigma \Phi_{\gamma} N_U \eta + \sum_{b=1}^{a-1} \lambda_{ba} N_b}{\lambda_a} (1 - e^{-\lambda_a \tau}) \quad (2)$$

болно. Хялбар тохиолдол болгон $b = 1$ гэж авъя. Тэгвэл:

$$N_a(\tau) = \frac{y_a \sigma \Phi_{\gamma} N_U \eta + \lambda_{ba} N_b}{\lambda_a} (1 - e^{-\lambda_a \tau}) \quad (3)$$

болно. $\tau = t_1$ хугацаанд шарсны дараа цацраг идэвхт цөмийн тоо $N_a(t_1)$ болно. Шаралт дууссанаас хэмжиж эхлэх хүртлэх t_2 хугацааны завсар дахь цөмийн тоо:

$$N_a(t_2) = N_a(t_1) e^{-\lambda_a t_2}$$

t_3 хугацаанд хэмжилт хийсний дараа дээж дэх цацраг идэвх цөмийн тоо: $N_a(t_3) = N_a(t_2) e^{-\lambda_a t_3}$

Хэмжих хугацаанд задрах цөмийн тоо $N_a(t_2) - N_a(t_3)$ -тай тэнцүү болно. Бүртгэгдсэн E_γ энергитэй γ квантын тоо:

$$S_\gamma(E_\gamma) = [N_a(t_2) - N_a(t_3)] \varepsilon_\gamma(E_\gamma) I_\gamma(E_\gamma)$$

Энд: $\varepsilon_\gamma(E_\gamma)$ - E_γ энергитэй γ квантыг бүртгэх чадвар,

$I_\gamma(E_\gamma)$ - E_γ энергитэй γ квантын гаралт.

Дээрх тэгшитгэлээс гамма цацраг идэвхгүй b цөмийн тоо N_b -ийг олбол:

$$N_b = \left(\frac{S_\gamma(E_\gamma) \lambda_a}{\varepsilon_\gamma(E_\gamma) I_\gamma(E_\gamma) (1 - e^{-\lambda_1 t_2}) e^{-\lambda_1 t_1} (1 - e^{-\lambda_1 t_3})} - y_a \sigma \Phi_\gamma N_U \eta \right) \cdot \frac{1}{\lambda_{ba}} \quad (4)$$

Энд: $N_U = \frac{N_a m}{A}$

Тэгшитгэл (4)-ийг тооцон гамма идэвхгүй цөмийн тоог олоод, ажил [5]-д өгөгдсөнөөр Pr^{151} -ийн хамааралгүй гаралтын утга (0.29 %) -ыг ашиглан тэдгээрийн хамааралгүй гаралтыг олов.

Тэгшитгэл (1')-ээс изобар салаалсан хэлхээний эхний хэлтэрхийн хамааралгүй гаралт y -ыг олбол:

$$y = \frac{S_\gamma(E_\gamma) \lambda}{\Phi_\gamma \sigma N_U \eta \varepsilon_\gamma(E_\gamma) I_\gamma(E_\gamma) (1 - e^{-\lambda_1 t_2}) (1 - e^{-\lambda_1 t_3})} \cdot e^{-\lambda_2 t_2} \quad (5)$$

1-р хүснэгтэнд энэ ажлаар танисан гамма цацраг идэвхтэй зарим хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүд, тэдгээрийн хөнгөн цагаан ялтсанд гүйх гүйлт мөн уг бүтээгдэхүүний изобар салаалсан хэлхээ, гамма цацраг идэвхгүй цөм, тэдгээрийн хамааралгүй гаралтыг үзүүлэв.

Хүснэгт 1. $^{235}\text{U}(\gamma, f)$ урвалын бүтээгдэхүүний үзүүлэлтүүд

Салаалсан хэлхээ	гамма цацраг идэвхтэй цөм, $T_{1/2}$	E_γ , кэВ	I_γ , %	$\leq R_{\text{твд}}$, МКМ	R, МКМ [1]	γ , %	гамма цацраг идэвхгүй цөм, $T_{1/2}$	Y_b , %
...Zn ⁷² →Ga ⁷² →тогт Ge ⁷²	Ga ⁷² 14.1 ц	629.9 2201.7	26 26	15	-	-	Zn ⁷² 1.94 х	5.2* 10 ⁻²
$\begin{matrix} & & \text{Se}^{81m} & & \\ & \nearrow & & \searrow & \\ \text{As}^{81m} & & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{Se}^{81} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Br}^{81} & & & \end{matrix}$	Se ^{81m} 57.3 м	290.1	6	15	-	-	As ⁸¹ 33 с	4.4* 10 ⁻⁵
$\begin{matrix} & & \text{Rb}^{84m} & & \\ & & \downarrow & & \\ & \text{Rb}^{84} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Sr}^{84} & & & \end{matrix}$	Rb ^{84m} 20.5 м	463.7	32	15	-	0.42	-	-
$\begin{matrix} & & \text{Kr}^{85m} & & \\ & \nearrow & & \searrow & \\ \text{Br}^{85m} & & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{Kr}^{85} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Rb}^{85} & & & \end{matrix}$	Kr ^{85m} 4.48 ц	151 304.5	75 14	15	-	-	Br ⁸⁵ 3 м	5.7* 10 ⁻⁷
$\begin{matrix} & & \text{Kr}^{86} + n & & \\ & \nearrow & & \searrow & \\ \text{Br}^{87} & & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{Kr}^{87} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Rb}^{87} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Sr}^{87} & & & \end{matrix}$	Kr ⁸⁷ 1.26 ц	402.7	48.3	15	15	-	Br ⁸⁷ 56 с	2.7* 10 ⁻⁵
$\begin{matrix} & & \text{Kr}^{88} + n & & \\ & \nearrow & & \searrow & \\ \text{Br}^{88} & & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{Kr}^{88} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Rb}^{88} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Sr}^{88} & & & \end{matrix}$	Kr ⁸⁸ 2.84 ц	166 196 2392	6.8 37.8 37.8	15	-	-	Br ⁸⁸ 17 с	3.7* 10 ⁻⁶
...Kr ⁸⁸ →Rb ⁸⁸ →тогт Sr ⁸⁸	Rb ⁸⁸ 17.8 м	898 1836.1	14.4 23.2	15	-	-	Kr ⁸⁸ 2.84 ц	0.1
$\begin{matrix} & & & & \text{Y}^{89m} & & \\ & & & & \nearrow & & \\ \text{Kr}^{89} & & & & & & \\ & & & & \downarrow & & \\ & & & & \text{Rb}^{89} & & \\ & & & & \downarrow & & \\ & & & & \text{Sr}^{89} & & \\ & & & & \downarrow & & \\ & & & & \text{тогт Y}^{89} & & \end{matrix}$	Rb ⁸⁹ 15.2 м	658.8	10.7	15	15.4	-	Kr ⁸⁹ 3.2 м	5.3* 10 ⁻²
...Rb ⁹² →Sr ⁹² →Y ⁹² →тогт Zr ⁹²	Sr ⁹² 2.71 ц	1386	80	15	-	-	Rb ⁹² 4.52 с	3.3* 10 ⁻⁶
Mo ¹⁰⁴ →Tc ¹⁰⁴ →тогт Ru ¹⁰⁴	Tc ¹⁰⁴ 18.2 м	530.4	17	15	-	-	Mo ¹⁰⁴ 1.4 м	3.5* 10 ⁻²
$\begin{matrix} & & \text{Rh}^{105m} & & \\ & \nearrow & & \searrow & \\ \text{Tc}^{105} & & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{Ru}^{105} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{Rh}^{105} & & & \\ & \downarrow & & & \\ & \text{тогт Pd}^{105} & & & \end{matrix}$	Ru ¹⁰⁵ 4.44 ц	676.3 724.2	15 44.5	15	-	-	Tc ¹⁰⁵ 7.7 м	5.7* 10 ⁻⁴
Rh ^{106m} →тогт Pd ¹⁰⁶	Rh ^{106m} 2.2 ц	748.5	22	15	-	0.5	-	-
...Pd ¹¹² →Ag ¹¹² →тогт Cd ¹¹²	Ag ¹¹² 3.14 ц	1613.2 1798.2	6 2	10	-	-	Pd ¹¹² 21.1 ц	0.09
In ^{113m} →тогт In ¹¹³	In ^{113m} 1.66 ц	391.7	64	15	-	1.3* 10 ⁻³	-	-
$\begin{matrix} & & \text{Cd}^{115m} & & \text{In}^{115m} & & \\ & \nearrow & & \searrow & \nearrow & & \\ \text{Ag}^{115m} & & & & & & \\ & \downarrow & & & \downarrow & & \\ & \text{Cd}^{115} & & & \text{In}^{115} & & \\ & \downarrow & & & \downarrow & & \\ & \text{тогт Sn}^{115} & & & & & \end{matrix}$	Cd ^{115m} 44.6 х	484.9	31	15	-	-	Ag ¹¹⁵ 20 м	2.6* 10 ⁻²

$\begin{array}{c} \text{In}^{116m2} \\ \downarrow \\ \text{In}^{116m1} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{ТОГТ Cd}^{116} \leftarrow \text{In}^{116} \rightarrow \text{ТОГТ Cd}^{116} \end{array}$	In^{116m1} 54.1 М	417 1507.7 1753	36 11 1.5	10	-	-	In^{116m2} 2.2 с	$1.2^* 10^{-9}$
$\begin{array}{c} \text{Cd}^{117m} \rightarrow \text{In}^{117m} \quad \text{Sn}^{117m} \\ \downarrow 43\% \\ \dots \text{Ag}^{117} \rightarrow \text{Cd}^{117} \rightarrow \text{In}^{117} \rightarrow \text{ТОГТ Sn}^{117} \end{array}$	Cd^{117m} 3.4 ц	567 860 1028	11 9 10	10	-	-	Ag^{117} 1.2 М	$2.6^* 10^{-5}$
$\begin{array}{c} \text{Cd}^{117m} \rightarrow \text{In}^{117m} \quad \text{Sn}^{117m} \\ \downarrow 43\% \\ \dots \text{Cd}^{117} \rightarrow \text{In}^{117} \rightarrow \text{ТОГТ Sn}^{117} \end{array}$	In^{117m} 1.94 ц	315.3	42.9	15	-	-	Cd^{117} 2.5 ц	$1.5^* 10^{-5}$
$\begin{array}{c} \text{Sb}^{122m} \\ \downarrow \\ \text{ТОГТ Sn}^{122} \leftarrow \text{Sb}^{122} \rightarrow \text{ТОГТ Te}^{122} \end{array}$	Sb^{122} 2.71 х	1140.6	0.7	10	-	-	Sb^{122m} 4.2 М	$1.2^* 10^{-2}$
$\dots \text{ТОГТ Te}^{126} \leftarrow \text{I}^{126} \rightarrow \text{ТОГТ Xe}^{126}$	I^{126} 13 х	666.4 754 879.7	94 12 2	10	-	1.03	-	-
$\begin{array}{c} \text{Te}^{129m} \\ \swarrow 33\% \quad \downarrow 65\% \quad \searrow 2\% \\ \dots \text{Sb}^{129} \rightarrow \text{Te}^{129} \rightarrow \text{ТОГТ I}^{129} \end{array}$	Te^{129m} 33.6 х	556.6	18	15	12.4	-	Sb^{129} 4.41 ц	2.5
$\begin{array}{c} \text{Te}^{133m} \\ \swarrow 4\% \quad \downarrow 13\% \quad \searrow 83\% \\ \text{Sb}^{133} \rightarrow \text{Te}^{133} \rightarrow \text{I}^{133} \rightarrow \text{Xe}^{133} \rightarrow \text{ТОГТ Cs}^{133} \end{array}$	Te^{133m} 55.4 М	882.8	4	15	-	-	Sb^{133} 2.7 М	$5.9^* 10^{-3}$
$\dots \text{Ba}^{142} \rightarrow \text{La}^{142} \rightarrow \text{ТОГТ Ce}^{142}$	La^{142} 1.54 ц	641.2	46.5	15	-	-	Ba^{142} 10.6 М	$6.8^* 10^{-4}$
$\begin{array}{c} \text{Ce}^{149} \rightarrow \text{Pr}^{149} \rightarrow \text{Nd}^{149} \rightarrow \text{Pm}^{149} \rightarrow \\ \text{ТОГТ Sm}^{149} \end{array}$	Nd^{149} 1.8 ц	211.4 326.3 540.4	28 5 8	10	-	-	Pr^{149} 2.3 М	$6.4^* 10^{-5}$
$\begin{array}{c} \text{Ce}^{151} \rightarrow \text{Pr}^{151} \rightarrow \text{Nd}^{151} \rightarrow \text{Pm}^{151} \rightarrow \\ \rightarrow \text{Sm}^{151} \rightarrow \text{ТОГТ Eu}^{151} \end{array}$	Nd^{151} 12.4 М	405 425	1.4 5.5	10	-	-	Pr^{151} 18.9 с	$2.8^* 10^{-1}$
$\begin{array}{c} \text{Ce}^{151} \rightarrow \text{Pr}^{151} \rightarrow \text{Nd}^{151} \rightarrow \text{Pm}^{151} \rightarrow \\ \rightarrow \text{Sm}^{151} \rightarrow \text{ТОГТ Eu}^{151} \end{array}$	Pm^{151} 1.18 х	177 344.8	4.8 2.2	10	-	-	Nd^{151} 12.4 М	$1.9^* 10^{-3}$
$\begin{array}{c} \text{Pm}^{154m} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{Nd}^{154} \rightarrow \text{Pm}^{154} \rightarrow \text{ТОГТ Sm}^{154} \end{array}$	Pm^{154m} 2.7 М	184.8 231.7 1357.8 1656	100 20 29 100	10	-	-	-	-
$\begin{array}{c} \text{Pm}^{154m} \\ \swarrow \quad \searrow \\ \text{Nd}^{154} \rightarrow \text{Pm}^{154} \rightarrow \text{ТОГТ Sm}^{154} \end{array}$	Pm^{154} 1.6 М	2058.6	56	10	-	-	Nd^{154} 26 с	-
$\text{Er}^{171} \rightarrow \text{ТОГТ Tm}^{171}$	Er^{171} 7.52 ц	111.6	23	5	-	0.48	-	-

ДҮГНЭЛТ

1. Туршилтаар таньж тодорхойлсон гамма цацраг идэвхтэй Ga^{72} , Ga^{74} , Se^{81m} , Se^{83} , Kr^{85m} , Kr^{87} , Rb^{88} , Kr^{88} , Rb^{89} , Tc^{104} , Ru^{105} , Pd^{111} , Ag^{112} , Cd^{115m} , In^{116m1} , Cd^{117m} , In^{117m} , Sb^{122} , Te^{129m} , Te^{133m} , La^{142} , Nd^{149} , Pm^{151} , Nd^{151} , Pm^{154m} цөмүүдийн гамма идэвхийг хэмжих замаар тухайн изобар салаалсан хэлхээнд эдгээрийн өмнөх гамма цацраг идэвхгүй цөмүүдийн гаралтыг үнэлэх боломжтойг харуулав.
2. Бидний тодорхойлсон Rb^{84m} , Rh^{106m} , In^{113m} , I^{128} , Er^{171} зэрэг хэлтэрхийнүүд нь тэдгээрт харгалзах изобар салаалсан хэлхээний эхний цөм учраас тэгшитгэл (5)-ийг ашиглан хамааралгүй гаралтыг тодорхойлов.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. В.М.Горбачев, Ю.С.Замятнин, А.А.Лбов
Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер /Справочник/. Москва, Атомиздат. 1976.
2. S.Odmaa, G.Khuukhenkhuu, D.Baatarkhuu, N.Norov and V.Munkhbat
The study of Uranium Photo- and Neutron-Fission on the Electron Cyclic Accelerator Microtron MT-22.
ISCP-2, Proceedings of the 2-nd International School on Contemporary Physics. Ulaanbaatar, Mongolia. 2002, pp89-92
3. С.Одмаа, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Д.Баатархүү
 $^{238}U(n_{th}, f)$ урвалын бүтээгдэхүүний масс түгэлт. МУИС, ЭШБ №167(9). 2002, хх23-28.
4. Ю.П.Гангрский, Б.Далхсүрэн, Б.Н.Марков
Осколки деления ядер. Москва. Энергоатомиздат. 1986.
5. В.М.Колобашкин, П.М.Рубцов, П.А.Ружанский, В.Д.Сидоренко
Радиационные характеристики облученного ядерного топлива /Справочник/
Москва, Энергоатомиздат. 1983

Abstract

In this work we have estimated the relative yield of the some nuclids none the gamma radioactivity, which were on the isobar chain, using the measurement of gamma radioactivity of the fission fragments produced by photo-fission of ^{235}U .