

ЭЗЭЛХҮҮНТ ДЭЭЖИЙГ СУДЛАХ ГАММА-  
СПЕКТРМЕТРИЙН ҮНЭМЛЭХҮЙ АРГА

Н.Норов, С.Даваа, Н.Ганбаатар,

Г.Хүүхэнхүү, Б.Болормаа

The Absolute Method for study of Volume  
samples using Gamma Spectrometry

The Absolute Method for determination of gamma-emitting radionuclides in environmental samples using gamma spectrometry was described.

Density correction coefficients of Gamma-Ray Detection efficiency taking into account absorption of gamma-quants in environmental samples were calculated by the this method (standard Marinelli beaker geometry).

I. Аргын мөн чанар

Хүрээлэн байгаа орчны сорьц, уулын чулуулаг, хүнсний бүтээгдэхүүн зэрэг төрөл бүрийн дээжинд байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хэмжээг тодорхойлох гамма спектрометрийн шинжилгээний нарийвчлал нь хэрэглэж байгаа аргачлалаас их хамаардаг.

Өнгөн харахад стандарт дээжтэй шууд харьцуулах аргаар гамма цацраг идэвхт изотопуудын хэмжээг амархан тодорхойлж болох юм шиг санагддаг. Гэвч судалж байгаа дээж болон стандарт дээжний химийн бүтэц, гамма квантыг сулруулах коэффициент, хэмжих геометр, дээжний нягт адилхан байх шаардлагатай. Судалж байгаа дээж болгоны хувьд эдгээр нөхцөлийг хангасан стандарт дээж бэлдэх асуудал маш түвэгтэй юм[1]. Иймд их жинтэй дээжийг судлахад зориулсан бүртгэх чадварыг нь тодорхойлсон детектор бүхий гамма спектрометрийн үнэмлэхүй аргачлал боловсруулав.

Энэ аргачлалын мөн чанар нь сонгон авсан Маринеллийн савны хувьд детекторын үнэмлэхүй бүртгэх чадвар  $\epsilon_0$ -ыг стандарт уусмал ашиглан тодорхойлоод дурын нягттай, химийн бүрэлдэхүүн нь тодорхойгүй дээжийг

хэмжих тохиолдолд детекторын бүртгэх чадварыг  $\epsilon(E_i) = k\epsilon_0(E_i)$  гэсэн харьцаагаар тооцдогт оршино.

Кoeffициент  $k$  нь детектор ба хэмжиж байгаа дээжний геометр хэмжээ, тэдгээрийн харилцан байршил, судалж байгаа дээж болон усанд гамма квантын урсгалын сулралын коэффициентээс хамаарна. Судалж байгаа дээжинд гамма квантын сулралын коэффициентийг стандарт, изотоп үүсгүүр ашиглан туршлагаар тодорхойлоод  $k$ -г тухайн геометрт тооцож олно.

## 2. Гамма квантын сулралын шугаман коэффициентийг тодорхойлох

Судлах дээжинд гамма квантын сулралын шугаман коэффициент  $\mu(E_i)$ -ийг цэгэн стандарт үүсгүүр ашиглан дээжний сав хоосон буюу дээжтэй байхад  $E_i$  энергитэй бүрэн шингээлтний пикт тоолсон импульсийн харьцаагаар тодорхойлъё.

Гамма квант  $x$  зузаантай дээжээр дайрч өнгөрсний дараах түүний эрчим буюу сав дээжтэй байхад  $E_i$  энергитэй гамма квантын бүрэн шингээлтний

$$dm_i = -m_i \mu(E_i) dx$$

$$\int \frac{dm_i}{m_i} = -\int \mu(E_i) dx$$

$$\ln m_i = -\mu(E_i)x + c$$

пикийн талбайг  $m_i$  гэвэл  $dx$  гэсэн нимгэн давхаргаар гамма квантын урсгал өнгөрөхөд түүний эрчим  $dm_i$  -ээр буурна.

Гамма квант дээжээр нэвтрэхийн өмнөх ( $x=0$ ) түүний эрчим буюу дээжний сав хоосон байхад  $E_i$  энергитэй гамма квантын бүрэн шингээлтний пикийн талбайг  $m_i$  гэвэл:

$$\ln n_i = c_1$$

болно.

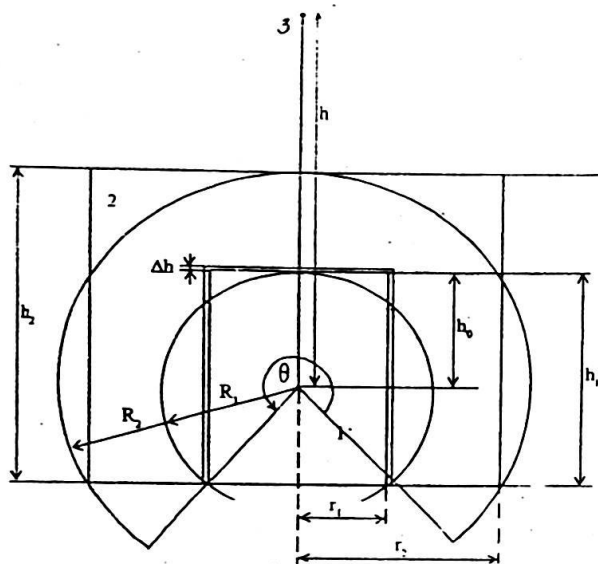
$C_1$ -ийн илэрхийлэлийг (1)-д орлуулбал

$$\mu(E_i) = \frac{\ln\left(\frac{n_i}{m_i}\right)}{x}$$

болно.

### 3. Маринеллийн савны геометрийг тооцох

Хэрэв ашиглаж байгаа Маринеллийн савны геометрийг төлөөлж чадах  $R_1, R_2$  радиустай бөөрөнхий гадаргуу бүхий бөмбөрцгийн секторын доторхи эзэлхүүнийг сонгон авсан тохиолдолд ийм хэлбэртэй эзэлхүүнт үүсгүүрээс (зураг 1) детекторын төлөөх төв дэх гамма квантын урсгалын нягтыг тооцъё.



Зураг 1. 1-Цилиндр детектор; 2-детекторын идэвхтэй гадаргууг бүрхсэн хэлбэртэй Маринелл сав; 3- цэгэн үүсгүүр

$h=19.3\text{см}$ ,  $h_1=7.5\text{см}$ ,  $h_2=10\text{см}$ ,  $r_1=4.75\text{см}$ ,  $r_2=6.75\text{см}$ ,  $\Delta h=0.5\text{см}$

$$\begin{aligned} \phi(E) &= \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta} \frac{S_v \rho^2 \sin \theta d\theta d\theta}{4\pi^2} = \frac{S_v}{2} \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{\theta} \sin \theta d\theta d\theta = \frac{S_v}{2} (R_2 - R_1) \int_0^{\theta} \sin \theta d\theta = \\ &= \frac{S_v}{2} (R_2 - R_1) (1 - \cos \theta) \quad (2) \end{aligned}$$

#### 4. Гамма квантын шингээлтийг тооцох

Дээжинд гамма квантын сулрал нь шингээлтийн экспоненциаль бууралтын томъёогоор илэрхийлэгдэнэ гэж үзье. Детекторын зүгт нэгж хугацаанд  $N_0$  тооны гамма квант дээрх эзэлхүүнээс цацарч байг. Хэрэв дээжний зузаан  $R_2 - R_1$  бол детекторын тоолох хурдад  $dx$  гэсэн нимгэн давхаргаас өгөх хувь нь ( $m_0$ ):

$$dm_0 = \frac{N_0}{R_2 - R_1} dx \quad \text{Дээжний гадаргуугаас } x \text{ зайд байрлах давхаргаас нэгж хугацаанд гарах гамма квантын тоо:}$$

$$dN = \frac{N_0}{R_2 - R_1} \exp(-\mu(E_i)x) dx \quad \text{болно.}$$

$R_2 - R_1$  зузаантай дээжнээс детекторын зүгт гарах гамма квантын бүрэн тоо:

$$N = \int dN = \frac{N_0}{\mu(E_i)(R_2 - R_1)} [1 - \exp(-\mu(E_i)(R_2 - R_1))] \quad \text{болно.}$$

Эндээс дээжинд гамма квантын сулралыг дараах коэффициентоор тооцно.

$$k_\mu = \frac{N}{N_0} = \frac{1}{\mu(E_i)(R_2 - R_1)} [1 - \exp(-\mu(E_i)(R_2 - R_1))]$$

Гамма квантын дээжин дэх шингээлтийг тооцсон урсгалын нягт:

$$\Phi = \frac{S}{2} (R_2 - R_1) (1 - \cos\theta_0) \cdot \frac{1 - \exp[-\mu(E_i)(R_2 - R_1)]}{\mu(E_i)(R_2 - R_1)} \exp(-\mu d) \quad (3)$$

болно.

Үүнд:  $S$ -эзэлхүүнт дээж дэх цацраг идэвхт нуклидын хувийн идэвх. өөрөөр хэлбэл, нэгж хугацаанд нэгж эзэлхүүнээс гарах гамма квантын тоо

$$R_1 = \sqrt{\frac{3V_1}{2\pi(1 + \cos\theta_0)}}; \quad R_2 = \sqrt{\frac{3V_2}{2\pi(1 + \cos\theta_0)}}; \quad V_1 = \pi r_1^2 h_1$$

$R_1, R_2$ - бөөрөнхий гадаргуугийн радиус;

$V_2$ - Маринеллийн савны эзэлхүүн;

$V_1$ - Маринеллийн саванд детекторын орсон эзэлхүүн

$$\cos\theta_0 = \frac{h_1 - (h + \Delta h)}{\sqrt{[h_1 - (h + \Delta h)]^2 - r_1^2}};$$

(3)-р илэрхийллийг ашиглан  $k$ -г олбол:

$$k = \frac{\Phi(E_i)}{\Phi_o(E_i)} = \frac{\mu_o(E_i)}{\mu(E_i)} \cdot \frac{1 - \exp[-\mu(E_i) \cdot (R_2 - R_1)]}{1 - \exp[-\mu_o(E_i) \cdot (R_2 - R_1)]} \quad (4) \text{ болно.}$$

Үүнд:  $\mu_o(E_i)$  - усанд гамма квантын сулралын шугаман коэффициент,  $\text{см}^{-1}$   
 $\mu(E_i)$  - судлах дээжинд гамма квантын сулралын шугаман коэффициент,  $\text{см}^{-1}$

Энэ коэффициентийг ашиглан дээж дэх  $i$ -р изотопын хувийн идэвхийг доорхи илэрхийллээр тооцно.

$$A_i = \frac{S(E_i)}{k \cdot \epsilon_o(E_i) k_T \cdot t \cdot m} \quad [\text{Бк/кг}]$$

Үүнд:  $S(E_i)$  -  $E_i$ - энергитэй бүрэн шингээлтийн пикийн талбай, имп  
 $\epsilon_o(E_i)$  - усны хувьд детекторын бүртгэх чадвар  
 $k_T$  -  $E_i$  энергитэй гамма квантын гаралт  
 $t$  - хэмжих хугацаа, с  
 $m$  - дээжний жин, кг

### 5. Судалгааны дүн

Одоо цэгэн стандарт үүсгүүрээр тодорхойлсон детекторын бүртгэх чадварыг ашиглан эзэлхүүнт дээжийн хувьд детекторын бүртгэх чадварыг тооцож, түүнийг туршлагаар тодорхойлсон дүнтэй харьцуулж үзье.  
 Хэрэв Маринеллийн саван дахь дээжний идэвхийг детекторын оройгоос  $h=19,3$  см зайд цэгэн үүсгүүрт шилжүүлбэл детекторын төлөөлөх төв дэх гамма квантын урсгалын нягтыг дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$\Phi_{\text{вх}}(E) = \frac{S_v \cdot V_M}{4\pi(h+h_o)^2} \quad (5)$$

Илэрхийлэл (5)-ыг (4)-д харьцуулбал цэгэн үүсгүүр ба Маринеллийн савтай үүсгүүрийн хувьд детекторын бүртгэх чадварын харьцаа гарна.

$$R = \frac{\epsilon_{\text{вх}}(E)}{\epsilon_o(E)} = \frac{\Phi_{\text{вх}}(E)}{\Phi(E)} = \frac{V_M}{2\pi(h+h_o)^2 (R_2 - R_1) (1 - \cos\theta_o)} \cdot \frac{\mu_o(R_2 - R_1)}{1 - \exp[-\mu_o(R_2 - R_1)]} \quad (6)$$

Үүнд:  $\mu_o$  - ус дахь гамма квантын сулралын шугаман коэффициент.  
 $1$ -р хүснэгтэд  $\mu_o$ -ыг лавлах материалаас авч  $R$ -ыг (6)-р илэрхийллээр тооцов.  
 Стандарт цэгэн үүсгүүрээр тодорхойлсон  $\epsilon_{\text{вх}}(E)$ -ийг ашиглан  $\epsilon_o(E) = \epsilon_{\text{вх}}(E)/R$  тодорхойлсон дүнг туршлагаар тодорхойлсон дүнтэй харьцуулж үзүүлэв.

Маринеллийн саванд (1л) ус хэмжих  
детекторын бүртгэх чадварыг туршлагаар  
болон тооцож олсон утга

Гамма квантын энерги, КэВ	$\mu_0$ [2,3]	R (б)-р илэрхийлэл	$\epsilon_{\text{из.}}(E)$ туршлага	$\epsilon_{\text{т.}}(E)$ тооцоо	$\epsilon_{\text{с.}}(E)$ туршлага
186	0.1405	0.11124	0.00162	0.0145	0.0142
238	0.1265	0.10809	0.00125	0.0115	0.0099
295	0.1125	0.10499	0.00100	0.0095	0.0086
352	0.1075	0.10389	0.00082	0.0078	0.0071
583	0.0900	0.10012	0.00046	0.0045	0.0043
609	0.890	0.09991	0.00045	0.0044	0.0040
662	0.0869	0.09946	0.00040	0.0039	0.0037
911	0.0745	0.09685	0.00028	0.0028	0.0027
1120	0.0660	0.09509	0.00021	0.0021	0.0022
1461	0.0575	0.09334	0.00016	0.0017	0.0017

### 6. Дүгнэлт

Энэ аргын мөн чанар нь тодорхой геометр бүхий Маринелл саванд ус хэмжих детекторын бүртгэх чадвар  $\epsilon_{\text{с.}}(E)$ -ын утгыг судалж байгаа дээж дэх гамма квантын шингээлтийг тооцсон коэффициентээр засвар хийж, уг дээжин дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвхийг тооцоход оршино. Маринеллийн саванд ус хэмжих үеийн детекторын бүртгэх чадварыг туршлагаар болон тооцоолж олсон утга хоорондоо сайн тохирч байгаа нь энэ үнэмлэхүй аргад гаргаж авсан илэрхийлэлүүд зөв болохыг баталж байна.

### Ашигласан хэвлэл

1. Willian R. Nemeth and Bahman Parsa  
Density Correction of Gamma-Ray Detection Efficiency in Environmental Samples;  
Radioactivity and Radiochemistry. vol 3, №3, 1992
2. Debertin, K., R.G. Helmer  
Gamma and x-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, North Holland Publishers, Amsterdam, 1988
3. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений.  
Справчник М: Энергоатомиздат, 1982.