

ТУУЗАН ДАМЖУУРГА ДЭЭРХ ХҮДЭРТ НЕЙТРОН ИДЭВХЖИЛИЙН  
ШИНЖИЛГЭЭХИЙХЭД ЗОХИМЖТОЙ ЗАЙГ  
ТОДОРХОЙЛОХ АРГА

В.БАЯР, Б.ОТГООЛОЙ

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ  
В НЕЙТРОННОМ АКТИВАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ РУД  
НА КОНВЕЙЕРАХ

Разработан метод выбора оптимального расстояния между источником нейтрона и детектором излучения для нейтронного активационного анализа. Показано, что лента конвейеров уменьшала наведенный эффект на 40% по сравнению с измерениями на открытой руде.

Оршил

Анх 1960 онд ажил [1]-д өрмийн цоонгог дулааны нейтроноор идэвхжилийн шинжилгээ хийхэд хамгийн их эффект тоолоход харгалзах төхөөрөмжийн хөдлөх хурд  $U=\lambda L$  хамааралтай болохыг тогтоосон байдаг. Энд  $\lambda$ -хэмжигдэж буй изотопын задралын тогтмол,  $L$ -нейтроны үүсгүүр детектор хоёрын хоорондох зай.

Өнөөг хүртэл дээрхи хамаарлыг туузан дамжуурга дээрхи нейтрон идэвхжилийн шинжилгээ (НИШ) хийхэд хэрэглэж ирсэн бөгөөд хурдан нейтроноор хийгддэг фторын шинжилгээнд сайн тохирдоггүй болохыг ажил [2] -д тэмдэглэсэн боловч зохимжтой  $L$  зайг хэрхэн сонгох асуудлыг хөндөж чадаагүй юм.

Иймд туузан дамжуурга дээр хурдан нейтроноор шинжилгээ хийхэд  $L$  зайг  $L=U/\lambda$  хамаарлаар сонгон авах нь хир үндэслэлтэй болох асуудлыг энэхүү ажилд авч үзэв.

**1. Зохимжтой зайг тодорхойлох нь**

Ажил [2] ёсоор  $T$  хугацаанд нийт тоологдох эффект  $N$ , дараах хэлбэрээр бичигдэнэ:

$$N_T = \epsilon f \sigma_0 N_0 K (1 - e^{-\lambda_0 T}) e^{-\lambda_0 T}$$

$\epsilon$  - хэмжилтийн тухайн геометрт харгалзах детекторын эффективность.

$f = Q/4\pi^2$  - нейтроны урсгалын нягт. Нейт/см<sup>2</sup>сек

$Q$  - нейтроны үүсгүүрийн гаралт. Нейт/сек

$\sigma_0$  - нейтроноор явагдах урвалын огтлол. См<sup>2</sup>

$N_0$  - Дээж дэх тухайн судлагдах элементийн атомын тоо

$K$  – бусад холбогдох физик тогтмолууд.

$T = h/\nu$ ,  $\nu$  – туузан дамжуургын хурд

$h$  – хэмжилтийн хугацаанд урсан өнгөрсөн дээжний урт.

$(1 - e^{-\lambda t})$  – нэгж талбайг идэвхжүүлэх хугацааны фактор.

Тухайн ажилд аргын илрүүлэх чадвар  $\alpha$  болон хэмжилтийн алдаа  $\beta$  хэмжигдхүүнүүдийг уламжлалт аргаар тодорхойлохдоо фоныг тогтмлоор авсан байдаг.

Практикт фонын тоологдох хурд  $N_{\Phi}$  детектор үүсгүүр хоёрын хоорондох зай  $L$ -ээс маш их хамаарна. Иймд  $N_{\Phi}$  дараах гурван нөхцөлөөр тодорхойлогдох ёстой.

- Детектор болон түүний ойролцоох цэгүүд дээр туссан нейтроноор явагдах цөмийн урвалуудаас өгөгдөх фон,
- Үүсгүүрийн ойролцоох цэгүүд дээр нейтроноор явагдсан цөмийн урвалуудаас өгөх фон,
- Сансарын туяа болон байгалийн цацрагаас өгөх фон

Шинжилгээг гамма-квантын 3 МэВ -ээс их энергийн мужид хийх тохиолдолд байгалийн цацраг ба сансарын туяанаас өгөх фоны нөлөөг тооцсугүй байж болно.

Энэ тохиолдолд үүсгүүрээс гарч буй нейтрон болон түүний эсчинд цөмийн урвалаар үүссэн гамма квантууд үндсэн фон болох бөгөөд тэдгээрийн урсгалуудын нийлбэр  $A_{D,Y}$  эрчим детектор дээр тусгахдаа ойролцоогоор  $4\pi L^2$  дахин буурч ирнэ гэдгийг тооцвол нэгж хугацаанд тоологдох фоны ерөнхий хэлбэр  $N_{\Phi}$  дараах хэлбэртэй байх ёстой.

$$N_{\Phi} = A_{D,Y} / 4\pi L^2$$

НИШ-ний аргын илрүүлэх чадвар  $\alpha$  болон хэмжилтийн алдаа  $\beta$  хэмжигдэхүүнүүдэд фоны хэмжээ голлох үүрэг гүйцэтгэнэ.

Тухайн  $T$  хугацаанд урсан өнгөрсөн туузны урт  $h$  гэдгийг тооцож тодорхойлолт ёсоор  $\alpha$  ба  $\beta$  хэмжигдэхүүнүүдэд  $N_{\Phi} = A_{D,Y} / 4\pi L^2$  хамаарлыг орлуулбал эцсийн хэлбэр нь ажил [2]-оос ялгаатай, дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$a = 3\sqrt{A_{D,Y} h / 4\pi \nu e^{\lambda L \nu}} / cL$$

$$\beta = \sqrt{c e^{-\lambda L \nu} + A_{D,Y} h / 2\pi L^2 \nu} * e^{\lambda L \nu}$$

$$c = A_0 (1 - e^{-\lambda t}) h / \nu$$

Эхлээд  $\beta$  хэмжигдэхүүнээс  $L$ -ээр уламжлал авч тэгтэй тэнцүүлбэг

$$\pi \frac{A_0(1 - e^{-\alpha x})}{A_{0,y}} * \frac{v^2}{\lambda^2} = \frac{(1 - X)}{X^3} e^{-\alpha x}$$

Энд:  $X = \lambda L/v$

гэсэн тэгшитгэл гарна. Энэхүү тэгшитгэл  $L$  зайг эффект фоны харьцаа болон дээжийг шарах хугацаатай холбож өгснөөрөө онцлог юм.

Тэгшитгэл  $0 \leq X \leq 1$  мужид физик шийдтэй байх нь ойлгомжтой. Хэрэв нэгж хугацаанд харгалзах фоны хэмжээ  $A_{0,y}$  ашигтай эффекттэй харьцангуй маш их бол тэгшитгэлийн зүүн гар тал тэргүү тэмүүлэх бөгөөд  $x=1$  тухайн шийд нь  $L=v/\lambda$  хамааралд харгалзана.

Нөгөө талаас  $\alpha$  хэмжигдэхүүнээс  $L$  -ээр уламжлал авч тэгтэй тэнцүүлэхэд  $L=v/\lambda$  гэсэн ганцхан шийд гарах бөгөөд энэхүү хамаарал нь тухайн шийд болох нь батлагдаж байна. Үнэхээр эффект фоны харьцаа тэргүү тэмүүлэхэд  $\beta \approx \alpha$  болохыг амархан харж болно. Одоо эффект фоны ерөнхий харьцааг харуулсан

$$F(x) = \frac{(1-x)}{x^3} e^{-\alpha x}$$

функцэнд шинжилгээ хийж хамгийн зохимжтой  $x_{on}$  утгыг тогтоох асуудлыг авч үзье.

$F(x)$  функц нь  $x$  аргументын  $[0,1]$  мужид хязгааргүйгээс тэг утгыг авах бөгөөд огцом буурна (Зураг.1).

Зураг 1-ээс харахад  $x_{on}$  утгыг шууд тодорхойлоход ярвигтай тул дараах захын нөхцлөөр бодлогыг амархан шийдэж болно. Үүнд аргументын тодорхой  $\Delta X$  өөрчлөлтөнд функцын  $F(x)$  утга хамгийн багаар өөрчлөгдөх  $x$ -ийн утгыг сонгон авах нь хэмжилтийн дүнд хамгийн чухал. Өөрөөр хэлбэл эффект фонын харьцааны өөрчлөлт хамгийн бага байх ёстой.

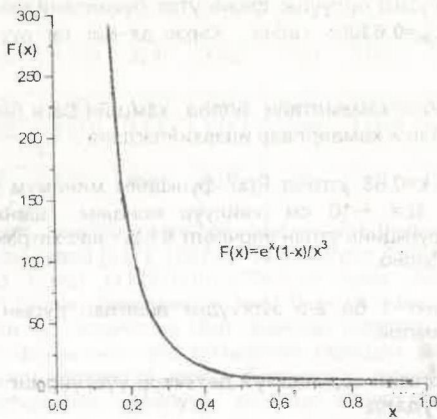
Үүний тулд дараах хэлбэрийн функцын минимум утганд харгалзах  $x$ -ийн утгыг тодорхойлоход хүрэлцээтэй.

$$P(x) = \frac{F(x) - F(x + \Delta x)}{F(x + \Delta x)} * 100\%$$

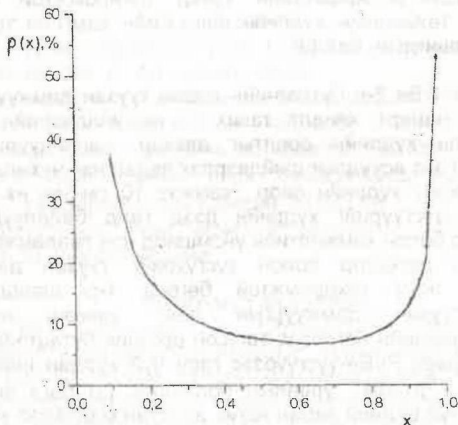
$F(x)$  функцийг эх хэлбэрийг орлуулан  $x$ -ээр уламжлал авч тэгтэй тэнцүүлэхэд  $2x^2 - (6-2\Delta x)x + 3(1-\Delta x) = 0$  гэсэн квадрат тэгшитгэл үүснэ.

Жишээлбэл:  $\Delta x = 0.01$  гэе. Бор-Өндөрийн хайлуур жоншны Уулын баяжуулах үйлдвэрийн туузан дамжуургын хурд  $v = 100$  см/сек.

Хайлуур жонш ( $\text{CaF}_2$ ) химийн нэгдлийг хурдан нейтроноор явагдах  $F^{19}(n, \alpha)N^{16}$  цөмийн урвалаар тодорхойлоход хамгийн тохиромжтой байдаг бөгөөд  $N^{16}$  изотопын задралын тогтмол  $\lambda = 0.0943$  байна. Эдгээрийг тооцвол  $\Delta x = 0.01$  утга  $\Delta L = -10.6$  см зайд харгалзана.



Зураг 1  $F(x)$  функцийн  $x$ -ээс хамаарал



Зураг 2  $[F(x)-F(x+dx)]/F(x+dx)$  харьцаа  $x$ -ээс хамаарлыг  
процентоор харуулв



Тэгшитгэлд  $\Delta x$ -ийн утгыг орлуулж физик утга бүхий шийдийг тодорхойлбол  $X_1=0.629$  буюу  $L_{оп}=0.63 \text{v}/\lambda$  гарна. Хэрэв  $\Delta x$ -ийг тэг рүү тэмүүлүүлбэл:  $L_{оп}=0.634 \text{v}/\lambda$ .

Өөрөөр хэлбэл хэмжилтийн алдаа хамгийн бага байхад харгалзах оптималь  $L$  зай  $0.63 \text{v}/\lambda$  хамаарлаар илэрхийлэгдэнэ.

Аргументын  $x=0.63$  утганд  $P(x)$  функцийн минимум утга харгалзаж байгааг болон  $\Delta L = +10$  см (хайлуур жоншны шийжилгээний үед) өөрчлөлтөнд  $F(x)$  функцийн утгын өөрчлөлт  $6.8\%$  - аас хэтрэхгүй болохыг 2-р зургаас харж болно.

Иймд практикт 1 ба 2-р зургуудыг ашиглан дурын  $L$  зайг сонгон авахад нэн тохиромжтой.

## 2. Туузан дамжуургатай харьцангуй детектор, үүсгүүрийг байрлуулах асуудалд.

Туузан дамжуурга дээр НИШ – ийн аргаар хэмжилт хийхэд тавигдах гол шаардлагууд нь:

- Дээжний гадаргууг жигд нэг төвшинд байлгах.
- Урсан өнгөрч байгаа дээжний зузаан ханалтын зузаанаас багагүй байх

Иймд хүдрийн ширхэгийн хамгийн том хэмжээ нь  $5$  см-ээс хэтрээгүй тохиолдолд детектор ба үүсгүүрийг туузан дамжуургын дээд талд байрлуулах нь ашигтай эфффектийн хувьд тохиромжтой. Бор-Өндөрийн УБҮ-г тавигдсан төхөөрөмж хүдрийн ширхэгийн хамгийн том нь  $5$  см-ээс бага хэсэг дээр тавигдсан байдаг.

Гэвч УБҮ-г 1 ба 2-р бутлагчийн дараа туузан дамжуургаар орж ирж байгаа хүдрийн чанарт хяналт тавих нь үйлдвэрийн технологийн процессийг болон хүдрийн оролтыг давхар зохицуулах чухал ач холбогдолтой тул энэ асуудлыг шийдвэрлэх явдал нэн чухалд тооцогддог. Харин тухайн хэсэгт хүдрийн овор хэмжээ  $10$  см-ээс их байдаг учраас детектор болон үүсгүүрийг хүдрийн дээд талд байрлуулах нь техник аюулгүйн үүднээс болон хэмжилтийн үнэмшилд нэн тааламжгүй. Энэ тохиолдолд детектор болон үүсгүүрийг туузан дамжуургын дор байрлуулах нь илүү тохиромжтой бөгөөд 1-р шаардлага төвөггүй биелэнэ. Гэвч туузан дамжуургын лент хөнгөн элемент бүхий нүүрстөрөгч, устөрөгчийн нэгдлээс тогтсон органик бүтэцтэйгээр барахгүй  $1$  см зузаантай учраас  $\text{PuBe}$ -үүсгүүрээс гарч буй хурдан нейтрон энергийг амархан алдаж  $F^{19}(n, \alpha)N^{16}$  урвалын босгоноос [3] бага энергитэй болох магадлал өндөр тул бидний авбал зохих ашигтай мэдээлэл тодорхой хувиар буурна. Энэхүү шалтгаанаар ашигтай мэдээлэл хэр буурахыг шалгасан туршилтын дүнг хүснэгтээр үзүүлбэл:

## Хүснэгт 1.

	Хэмжилтийн цэвэр утга. $N_i = N - N_{фон}$ : ( $N_{фон} = 340$ )								Дундаж
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Эталон 32.05%	3100	3170	3240	3160	3151	3180	3200	3175	3172
Ленттэй.	1920	1900	1905	1910	1900	1930	1890	1901	1907
Эталон 12%	1180	1210	1170	1187	1169	1190	1158	1170	1179
Ленттэй.	712	701	690	810	700	710	695	704	715

Хэмжилтийн дүнг ашиглан ашигтай эффектийн бууралтын тооцвол: 1-р эталоны (32.05%) хувьд  $(3172-1907)/3172=0.4$  буюу 40%-ийн бууралттай 2-р эталоны (12%) хувьд  $(1179-715)/1179=0.39$  буюу 39%-ийн бууралттай. Өөрөөр хэлбэл туузан дамжуургын лент бидний ашигтай эффектийг 40% бууруулсан гэсэн үг. Хэдийгээр бид ашигтай мэдээлэлийг алдаж байгаа боловч эффект, фоны үнэн зөв тогтвортой харьцааг хадгалснаар хүдрийн дундаж агуулгыг найдвартай үнэлэх бололцоог энэхүү тохиолдолд бүрэн хадгалах бололцоотой. Хайлуур жоншны хүдэрт хурдан нейтроноор шинжилгээ хийхэд харгалзах ханалтын зузаан нь 10 см байдаг.

Ханалтын энэхүү зузааныг үүсгэсэн тохиолдолд урьдчилан бэлтгэсэн калибровкны тусламжтайгаар хүдрийн агуулгыг шууд тодорхойлох боломжтой бөгөөд эсрэг тохиолдолд буруу үнэлгээ гардаг.

Өөрөөр хэлбэл дээжний зузаан ханалтын зузаанаас бага бол ашигтай мэдээлэл алдагддаг бөгөөд их бол мэдээлэлийн 95% нь 10 см-ийн зузаанаар хязгаарлагдах тул хэмжилтийн дүнд нөлөөлдөггүй [3].

Иймд урсан өнгөрч буй хүдрийн зузааныг тогтмол хянах шаардлагатай. Үүнийг гамма үүсгүүрийн тусламжтайгаар хянах бүрэн боломжтой.

### Дүгнэлт.

Энэхүү ажилд туузан дамжуурга дээр НИШ хийх ерөнхий зарчмыг онолын үүднээс судалж дараах үр дүнгүүдийг гаргав.

- Анх удаагаа эффект, фоны харьцаа болон шаралтын хугацааг детектор ба үүсгүүрийн хоорондох зайтай холбосон тэгшитгэлийг гарган авч,  $L = v/\lambda$  хамаарал тухайн шийд нь болохыг батлан харуулав.
- Оптималь  $L$  зайг сонгон авах шинэ, хялбар аргыг боловсруулж,  $L_{оп} = 0.63 \cdot v/\lambda$  хамааралыг анх удаагаа тогтоосон.
- Туузан дамжуургын лент ашигтай эффектийг 40% бууруулдаг нь туршлагаар тогтоогдсон байна.

### Ашиглагдсан хэвлэл.

1. Булашевич Ю.П., Шулятьев С.А. Оптимальные условия непрерывного активационного каротажа. "Изв. АН СССР", серия геофиз. 1960. №2.
2. Камышев Б.С. Ядерно-Геофизические методы при поисках, разведке и разработке фторсодержащего сырья. Москва "Недра" 1985.
3. Б.Отгоолой. Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний зарим хувилбарыг боловсруулан загварчилах нь. (Диссертаци) 1993 он. УБ.