

Импульсын Горимд Дулааны Нейтроны Шингэлтээр Шинжилгээ Хийх Асуудалд

Б.Отгоолой, П.Зузаан, Б.Энхцэцэг

Товч утга: Импульсын горимд цикл диффузлэгдэж байгаа дулааны нейтроны шингэлтээр элементийн шинжилгээ хийх арга дэвшүүлэв. Энэхүү аргад харгалзах хугацааны зохимжтой параметруудийг сонгох тооцоог графит болон усан удаашруулагчуудын хувьд хийв. (Энэхүү ажлыг "Цөмийн хавсарга судалгаа" сэдвийн дагуу гүйцэтгэв.)

ОРШИЛ

Өнөөг хүртэл нейтроны удаашрал, диффузлэх үзэгдлийг судлах, үндсэн параметруудийг нь тодорхойлох олон ажлуудыг хийсэн байдаг [1,2,3].

Харин энэ аргыг бодисын найрлагын шинжилгээнд ашиглах асуудал (ялангуяа импульсын горимд) ховор хөндөгдсөн байдаг нь удаашруулагчийн материал сонголт, түүний овор хэмжээ болон импульсын горимд ажиллах техникийн нөхцөлүүдтэй холбоотой.

Иймд дээрх аргыг элементийн шинжилгээнд ашиглах бололцоог судалж цикл идэвхжилийн аргатай [4,5] төсөөтэй цикл диффузийн аргыг дэвшүүлж, удаашруулагчийн параметруудийг үнэлэх импульсын горимын зохимжтой хувилбаруудыг хэрхэн сонгох асуудлыг энэ ажилд хөндөв.

А. Удаашруулагчийн параметр

Энэ аргын үндэс болох дулааны нейтроны урсгал удаашруулагч дотор хугацаанаас хамаарч яаж өөрчлөгдөхийг авч үзье.

Удаашруулагч орчинд үүссэн дулааны нейтроны урсгалын хугацаанаас хамаарсан өөрчлөлт нь нейтроны дундаж энерги тогтмол үед диффузын тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$D \Delta f(r, t) - \frac{f(r, t)}{T_0} = \frac{\partial f(r, t)}{\partial t}$$

$$T_0 = \frac{1}{\nu \Sigma_a} - \text{нейтроны амьдрах дундаж}$$

хугацаа тухайн орчны шингээх шинж чанараар тодорхойлогдоно.

ν, Σ_a - нейтроны хурд болон шингээлтийн макро огтлол.

D - диффузийн коэффициент

Тэгшитгэлийн шийд дараах хэлбэртэй байна:

$$f(r, t) = \sum_n f_n(r) e^{-\alpha_n t}$$

α_n - n дугаар гармоникийн унтралын коэффициент

$f_n(r)$ - орон зай дах нейтроны түгэлтийн n дугаар хувийн функц.

Дээд эрэмбийн гармоникүүд хурдан буурдаг бөгөөд хамгийн бага хувийн утганд харгалзах гишүүнүүд цаашид гол үүрэг гүйцэтгэдэг[3]. Өөрөөр хэлбэл удаашруулагч доторх нейтроны спектр тодорхой t_y хугацаанд бүрэн хэлбэржиж, дундаж энерги нь өөрчлөгдөхгүй тогтмол болсон дулааны спектрт шилжих учраас дулааны нейтрон урсгал аливаа давхцал байхгүй ганцхан $e^{-\alpha t}$ хуулиар унтрана. Иймд хамгийн бага хувийн утганд харгалзах $\alpha - \gamma$, дугаарыг нь орхиж бичвэл:

$$\alpha = \frac{1}{T_0} + DB^2 - CB^4 \quad (1)$$

$$\text{Энд } B^2 \text{ нь } \Delta f(r, t) + B^2 f(r, t) = 0$$

тэгшитгэлийн хамгийн бага хувийн утга ба түүнийг геометр параметр гэдэг бөгөөд удаашруулагчийн геометр хэлбэрээс хамаардаг [1].

Унтралын α коэффициентийн максимум утганд харгалзах B_m^2 геометр параметрийг 1-р томъёоноос B^2 -аар уламжлал авч тэгтэй тэнцүүлэх замаар тодорхойлбол:

$$B_m^2 = D/2C \quad (2)$$

Янз бүрийн материалд T_0 , D , C хэмжигдэхүүнүүдийн туршлагаар [2,3,7] тодорхойлсон утгуудыг 1-р хүснэгтэнд, дээрх параметрт харгалзах, удаашруулагчуудын хамгийн бага V_m эзэлхүүнийг тооцоолсон дүнг 2-р хүснэгтэнд нэгтгэв.

Параметр B_m^2 -ээс их утганд харгалзах α коэффициентийн утгуудад физик утга байхгүй. Тодруулж хэлбэл 2-р хүснэгтэнд нэгтгэгдсэн V_m -ээс бага эзэлхүүнтэй удаашруулагч доторх цэгэн үүсгүүрээс гарч байгаа нейтронүүд дулааны тэнцвэрт орж амжилгүй нэвт гарч явах учир B_m^2 -ээс их утганд дулааны нейтроны нэвчих үзэгдэл бараг явагдахгүй.

Хүснэгт.1. T_0 , D , C , λ_{tr} –хэмжигдэхуунуудийн утга. Хэмжилтийн алдааг хаалтанд заав.

	Нягт г/см^3	$1/T_0$ сек^{-1}	$D, 10^5$ $\text{см}^2\text{сек}^{-1}$	$C, 10^5$ $\text{см}^4\text{сек}^{-1}$	B^2 см^{-2}	λ_{tr} см
Графит	1.6	88.3(10%)	2.13(1.5%)	26(10%)	1.26-22.9	2.7
Парафин	0.87	5620(3%)	0.27(4%)	0.02(15%)	0.07-0.67	0.327
Ус	1.0	4830(4%)	0.36 (1%)	0.042(19%)	0.01-0.9	0.431

Хүснэгт.2. B_m^2 геометр параметрт харгалзах удаашруулагчийн хамгийн бага V_m эзэлхүүн

	Бөмбөрцөг $V_m, \text{см}^3$	Цилиндр $V_m, \text{см}^3$	Куба $V_m, \text{см}^3$
Графит $B_m^2=0.041 \text{ см}^{-2}$	10528	11593	12208
Парафин $B_m^2=6.75 \text{ см}^{-2}$	3.91	4.18	4.32
Ус $B_m^2=4.29 \text{ см}^{-2}$	7.43	7.93	8.17

Б. Импульсын горимыг тогтоох

Импульсын горимд ажилладаг үүсгүүрээс хурдан нейтроны багцыг удаашруулагчид оруулсан гэж үзвэл энерги нь тодорхой t_3 (зураг.1.) хугацаанд $\sim 1\text{эВ}$ хүртэл буурахыг удаашрал гэнэ.

Нейтроны энерги 1эВ -ээс бага энергийн үед химийн холбоосоос гадна атомын дулааны хөдөлгөөн удаашралын явцад нөлөөлдөг. Иймээс 1эВ -ээс бага энергийн мужид явагдах удаашралын явцыг термализаци гэж нэрлэдэг. Энэ тохиолдолд нейтроны энерги атомуудын дулааны хөдөлгөөний энергитэй жишихүйц болтлоо буурдаг:

$$E = kT_0$$

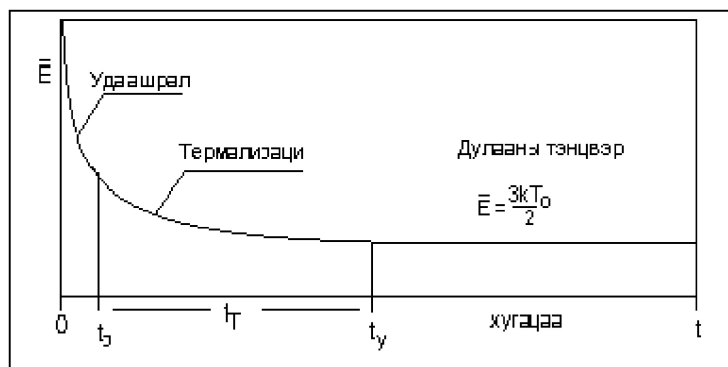
энд k – Больцманы тогтмол; T_0 – абсолют температур.

Ийм энергитэй нейтроныг дулааны гэж нэрлэдэг.

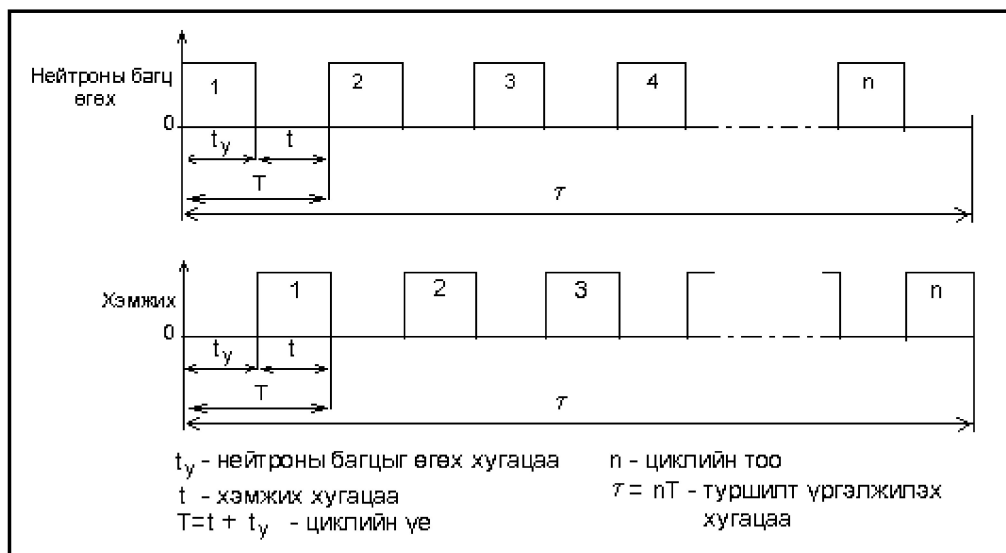
Тасалгааны ($T_0=300^\circ\text{K}$) температурын үед нейтроны хөдөлгөөний хамгийн магадлангуй энерги $kT_0 = 0.025\text{эВ}$ байдаг. (Харин бөөмсийн дулааны хөдөлгөөний дундаж энерги $3kT_0/2$)

Тухайн орчинд удаашралын явцад үүсэх дээд гармоникүүд t_y хугацаанд, A -бүлэгт тэмдэглэсэн ёсоор, байхгүй болж ганцхан дулааны тэнцвэрт харгалзах үндсэн гармоник (спектр) үлдэх ба нейтроны дундаж энерги $\bar{E} = 3kT_0/2$ орчим тогтворжино (зураг.1.).

Харин нейтроны урсгалын нягт хугацааны $t_y < t$ мужид $\exp(-\alpha t)$ хуулиар унтрана гэдгийг өмнө дурьдсан билээ.



Зураг.1. Удаашруулагч доторх нейтроны дундаж энерги Хугацаанаас хамаарах хамаарал



Зураг.2. Импульсын горимд ажиллах хугацааны диаграмм

Импульсын горимд, зөвхөн дулааны нейтроны шингэлтээр үүсэх эгшин зуурын гамма цацрагийг t хугацаанд (зураг.2.) бүртгэх үйлдлийг туршилтын τ -хугацаанд n удаа давтсан гэвэл детектороор тоологдсон импульсын нийт $N(\alpha, \tau, T)$ тоо циклийн $T = t_y + t$ үеэс хэрхэн хамаарахыг авч үзье. Нейтроны багцыг удаашруулагчид оруулах, дулааны нейтроны шингэлтээр үүсэх эгшин зуурын гамма квантыг бүртгэх импульсын горимын хугацааны диаграммыг 2-р зурагт үзүүлэв.

Эхний циклийн t хугацаанд детекторын бүртгэгдэх импульсын тоо хугацаанаас дараах хамааралтай байна:

$$N_1(\alpha, t_x) \sim (1 - e^{-\alpha t})$$

2-р цикл буюу T үе өнгөрсний дараа давтан хэмжихэд зөвхөн өмнөх үеэс тоологдсон нийт нийлбэр нь:

$$N_2 \sim (1 - e^{-\alpha t})(1 + e^{-\alpha T})$$

i -р хэмжилтэнд зөвхөн анхдагч үеэс тоологдох импульсын тоо

$$N_i \sim (1 - e^{-\alpha t})(1 + e^{-\alpha T} + \dots + e^{-(i-1)\alpha T})$$

буюу $\tau = nT$ хугацаанд бүх үеүүдээс тоологдох импульсын нийт тоо:

$$N(\alpha, \tau, T) = \sum_{i=1}^n N_i \sim \frac{(1 - e^{-\alpha t})}{(1 - e^{-\alpha T})} \left[n - \frac{e^{-\alpha T}(1 - e^{-n\alpha T})}{1 - e^{-\alpha T}} \right]$$

буюу $n = \tau / T$ орлуулбал:

$$N(\alpha, \tau, T) = \sum_{i=1}^n N_i \sim \frac{(1 - e^{-\alpha t})}{(1 - e^{-\alpha T})} \left[\frac{\tau}{T} - \frac{e^{-\alpha T}(1 - e^{-\alpha \tau})}{1 - e^{-\alpha T}} \right]$$

Энэ томъёо цикл идэвхжилийн [4, 5] томъёотой төсөөтэй болох нь харагдаж байна.

Нөгөө талаас цикл идэвхжилийн үед $N(\alpha, \tau, T)$ хамгийн их утгаа авах нэг нөхцөл нь $t = t_y$ байх явдал юм [1,4].

Харин бидний тохиолдолд t_y хугацаа удаашралын хугацаа t_z болон 1эВ -ээс доош энергитэй нейтроны бүх спектрүүд орчныхоо дулааны тэнцвэрт орон хэлбэржихэд шаардагдах t_r хугацаануудын нийлбэр юм. Иймд t_y бол нейтроны багцыг удаашруулагчид оруулахад шаардагдах хамгийн бага хугацаа юм.

Туршилтын τ хугацаанд хамгийн их импульс тоолох циклийн зохимжтой давтамжын T үеийг

$$\frac{\partial N(\alpha, \tau, T)}{\partial T} = 0$$

нөхцөлөөс тогтоох ёстой боловч тэгшитгэлийн ил хэлбэрээс T тогтоох боломжгүй. Иймд тохиромжтой үеийг тогтоох хамгийн сонгомол арга нь дээрх томъёоны графикийг αT -аас хамааруулан байгуулах явдал юм.

Хэрэв бид $T = t_y + t$ гэдгийг санавал $N(\alpha, \tau, T)$ -ын хамаарал дараах хэлбэртэй болно.

$$N(\alpha, \tau, T) = \sum_{i=1}^n N_i \sim \frac{(1 - e^{-\alpha t})}{(1 - e^{-\alpha t} e^{-\alpha k t_y})} \left[\frac{\alpha \tau}{\alpha t + \alpha k t_y} - \frac{e^{-\alpha t} e^{-\alpha k t_y} (1 - e^{-\alpha \tau})}{1 - e^{-\alpha t} e^{-\alpha k t_y}} \right] \quad (3)$$

Томьёонд шинээр орж ирсэн k гишүүн нь нейтроны багцыг удаашруулагчид оруулахад шаардагдах хамгийн бага t_y хугацааг хэд дахин өсгөснийг харуулах коэффициент.

Харин $\alpha t_y = \alpha(t_3 + t_r)$ хэмжигдэхүүн нь удаашруулагчийн эзэлхүүн болон дулааны нейтроныг нэвчүүлэх шинж чанараас хамаарна. Иймээс бид удаашруулагч, түүний геометр хэлбэр, эзэлхүүний сонголтуудыг хийсний дараагаар $N(\alpha, \tau, T)$ тооны харьцангуй нэгжийг αt -ээс хамааруулсан графикийг байгуулах замаар хэмжилтийн t хугацааг сонгох боломжтой.

МУИС-ийн Цөмийн Судалгааны Төвд ашиглагдаж байгаа $1,2 \times 1,2 \times 1,2 \text{ м}^3 = 1.728 \text{ м}^3$ эзэлхүүнтэй цэвэр графитан удаашруулагч болон яг ийм эзэлхүүнтэй (графитан

удаашруулагчтай жишихэд хялбар тул) шоо савтай нэрмэл усан удаашруулагчуудын хувьд хийсэн тооцоонуудыг авч үзье.

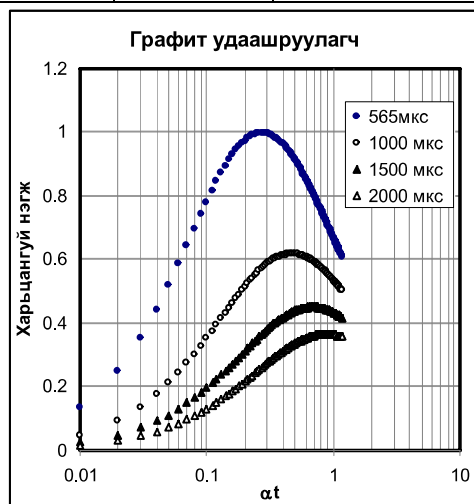
Үүний тулд $\alpha^*(t_3 + t_r)$ хэмжигдэхүүнийг удаашруулагч бүрд тодорхойлох шаардлагатай.

Авч үзэж байгаа удаашруулагчуудад унтралын α коэффициентийн харгалзах утгуудыг бодсоныг 3-р хүснэгтэнд, t_3 , t_r өгөгдлүүдийн хамт нэгтгэв.

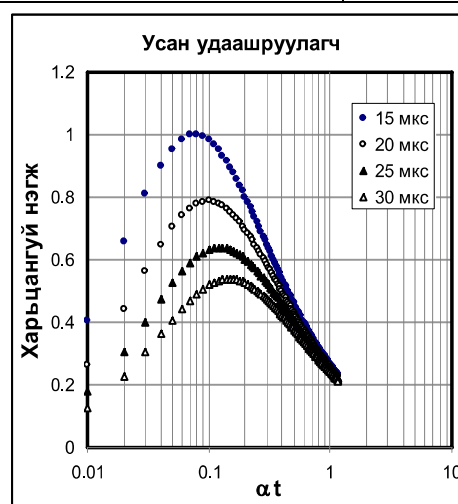
Энэхүү хүснэгтэнд нэгтгэгдсэн αt_y хэмжигдэхүүний утгыг 3-р томьёонд орлуулж $N(\alpha, \tau, T)$ тооны харьцангуй нэгжийг αt -ээс хамааруулсан графикийг удаашруулагч бүрд $k t_y$ -ийн дөрвөн янзын утганд байгуулсныг 4 ба 5-р зургуудад үзүүлэв.

Хүснэгт.3. 1.728 м^3 эзэлхүүнтэй куба удаашруулагчид харгалзах $\alpha^*(t_3 + t_m)$ хэмжигдэхүүний тооцоо

	α , сек ⁻¹	Удаашрах хугацаа t_3 , 10^{-5} сек	Термализацийн хугацаа t_r , 10^{-5} сек	$\alpha t_y = \alpha^*(t_3 + t_r)$
Графит	489.5	1.5	55	0.2766
Ус	4912	1	0.4	0.0687



Зураг.4. Графитан удаашруулагчид хэмжилтийн t хугацааг сонгох график ($k t_y$ -ийн утгуудыг мкс нэгжээр заав)



Зураг.5. Усан удаашруулагчид хэмжилтийн t хугацааг сонгох график ($k t_y$ -ийн утгуудыг мкс нэгжээр заав)

Импульсын горимд нейтроны багцыг өгөх хугацааг t_y -тай тэнцүү ($k=1$) авахад хамгийн их импульс тоологдох нь зургуудаас харагдаж байна. Энэ тохиолдолд $N(\alpha, \tau, T)$ -ны хамгийн их утганд харгалзах αt -ийн утга графит болон усан удаашруулагчуудын хувьд харгалзан 0.27

ба 0.08 болохыг зургуудаас шууд үнэлж болно. Удаашруулагчуудад бодсон α хэмжигдэхүүний утгуудыг 3-р хүснэгтээс авах замаар t -ийн хамгийн тохиромжтой утгуудыг тухайн тохиолдолд тодорхойлбол:

графитанд
 $t=0.27/489.5=0.00055\text{сек}=550\text{мкс}$
 усанд
 $t=0.08/4912=0.000016\text{сек}=16\text{мкс}$

Энэ маягаар авч үзэж буй тохиолдолуудад бодсон тооцооны дүнг хүснэгтээр нэгтгэн үзүүлбэл:

Хүснэгт.4. Томьёо (3)-ыг ашиглан байгуулсан графикуудыг үндэслэн хийсэн тооцооны дүн

	Графит				Ус			
kt_y , мкс	565	1000	1500	2000	15	20	25	30
$N(\alpha, \tau, T)$	1	0.57	0.39	0.30	1	0.78	0.63	0.51
αt	0.27	0.47	0.68	0.86	0.08	0.10	0.12	0.15
t , мкс	550	959	1388	1755	15	20	24	31

Хүснэгтэнд нэгтгэгдсэн $N(\alpha, \tau, T)$, αt , t хэмжигдэхүүнүүдийн утга нь 4 ба 5-р зургуудад заагдсан импульсын тооны харьцангуй түгэлтийн муруйнуудын хамгийн их утгуудад харгалзана.

Тооцооноос харахад графитын хувьд циклын үеийг $T = t_y + t = 1115\text{мкс}$, үе дэх хэмжилтэнд харгалзах хугацааг $t = 550\text{мкс}$ гэж тус тус сонгож авбал τ хугацаанд хамгийн их статистик цуглуулна. Харин усан удаашруулагчтай үед хамгийн сайн статистик цуглуулахад харгалзах импульсын горим нь $T = 30\text{мкс}$, $t = 15\text{мкс}$ байна.

Усанд циклийн үе харьцангуй бага байгаа нь нейтроны масстай ойролцоо масстай цөм бүхий устөрөгчийн удаашруулагч шинж чанартай холбоотой.

ДҮГНЭЛТ

Энэ ажилд нейтроны диффузийн үзэгдлийг импульсын горимд шинжилгээнд хэрэглэх арга зарчмын хувьд хөндөгдөж зарим шардлагатай тооцоонууд хийгдсэн.

- Графит, парафин, усан удаашруулагчуудын хувьд хурдан нейтроныг удаашруулж дулааны тэнцвэрт байлгах хамгийн бага эзэлхүүнүүдийг тооцоолсон.
- МУИС.ЦСТ-ийн материаллаг баазыг үндэслэн ашиглаж болох графит болон усан удаашруулагчуудын хувьд цикл диффузын аргыг ашиглахад нэн тэргүүний шаардлагатай үндсэн гармоникийн α – тогтмолуудын тооцоо хийгдсэн.
- Сонгогдсон геометр бүхий удаашруулагчуудын хувьд импульсын горимын тохиромжтой хувилбарыг сонгон тогтоох шинэлэг зарчмыг хөндөж, графит болон усан удаашруулагчуудад харгалзах тооцоонууд хийгдсэн.

К Вопросу Анализа По Захвату Тепловых Нейтронов В Импульсном Режиме

Б.Отгоолой, П.Зузаан, Б.Энхцэцэг

Предложен циклический диффузионный метод анализа по захвату тепловых нейтронов. Проведены расчётные исследования по выбору оптимальных временных параметров для установления импульсного режима при использовании конструкционных материалов из воды и графита.

АШИГЛАГДСАН ХЭВЛЭЛ

- [1]. Под ред. Пауля Гриблёра и Эрнеста Хенли Атомиздат, Москва 1969 г. 247 стр.
- [2]. К. Бекурц, К. Виртц, Нейтронная физика. Атомиздат, Москва 1968г. 455 стр.
- [3]. Ф.Л. Шапиро, Физика нейтронов / собрание трудов / Изд. "НАУКА" Москва 1976г. 411 стр.
- [4]. Т. Гунаажав, Ц. Содов, Д. Чүлтэм, Увеличение чувствительности активационного анализа методом периодического облучения, МУИС. ЭШБ №31 1971 113 стр.
- [5]. Ш.Гэрбиш, П. Зузаан, Ж. Сэрээтэр, Г. Хүүхэнхүү, Д. Чүлтэм, Циклический активационный анализ с перемещением образца, МУИС. ЭШБ № 43 1973 он. 71 стр.
- [6]. А.Г.Белов, Н. Ганбаатар, Б.Далхсүрэн, Устройство для модуляции пучка в. Микросекундом диапозине
- [7]. Н.Мухин, Экспериментальная ядерная физика Том 1 ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА Москва Атомиздат 1974