

## МОНГОЛЫН МИКРОТРОНЫ ЦАЦРАГИЙН ХАМГААЛАЛТ

Н.Норов<sup>1</sup>, Д.Баатархүү<sup>1</sup>, Г.Манлайжав<sup>2</sup>, Н.Оюунтүлхүүр<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МУИС, Цөмийн судалгааны төв

<sup>2</sup>-Улсын мэргэжлийн хяналтын газар, Цацрагийн хяналтын алба

Түлхүүр үг: Гамма квант, нейтрон, электрон, цөмийн цацраг, цацрагийн дэвсгэр түвшин, цацрагийн хамгаалалт.

### ОРШИЛ

Их эрчимтэй гамма-квант, нейтрон гаргах цэнэгт бөөмийн хурдасгуурыг төрөл бүрийн суурь судалгаа, аналитик зорилтууд, үйлдвэрлэл, эрүүл ахуй, хяналтын шинжилгээнд хэрэглэх үйл ажиллагаа өсөн нэмэгдэхийн хэрээр түүний цацрагийн аюулгүй ажиллагаа, хамгаалалт, хяналтын асуудал улам нарийн тавигдаж, шаардлага өсөн нэмэгдэж байна.

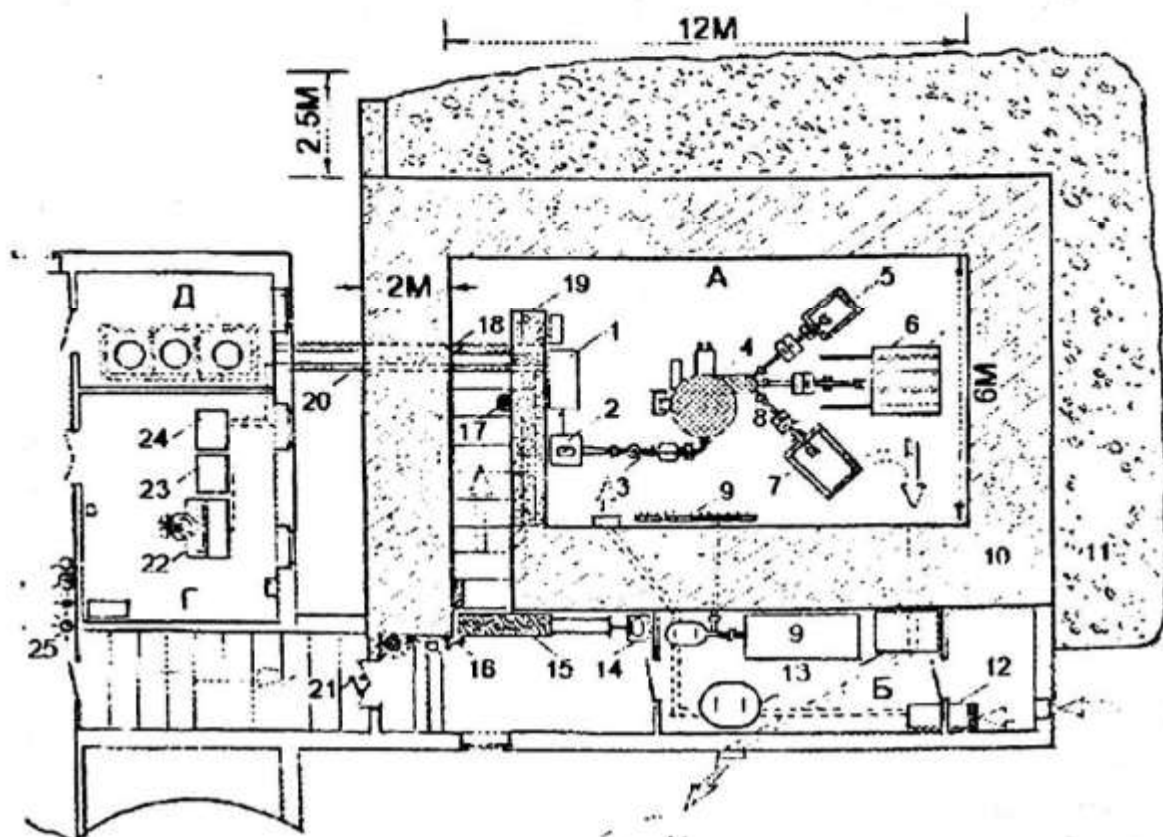
Цөмийн судалгааны төвийн электроны циклэн хурдасгуур микротрон "МТ-22"-ын цацрагийн аюулгүй ажиллагаа, орчны цацрагийн дэвсгэр түвшинг тогтоож, зориулалтын хамгаалалтын байранд цацрагийн хамгаалалт, цацрагийн аюулгүйн байдалд үнэлгээ өгөх зорилгоор энэхүү ажлыг гүйцэтгэв

### ЦАЦРАГИЙН ХАМГААЛАЛТЫН БАЙР

Их эрчимтэй нейтрон, гамма-квант үүсгэх микротрон бүхий микротроны байрны хэвтээ ба босоо огтлол, хурдасгуурын байршилыг 1 ба 2-р зурагт үзүүлэв.

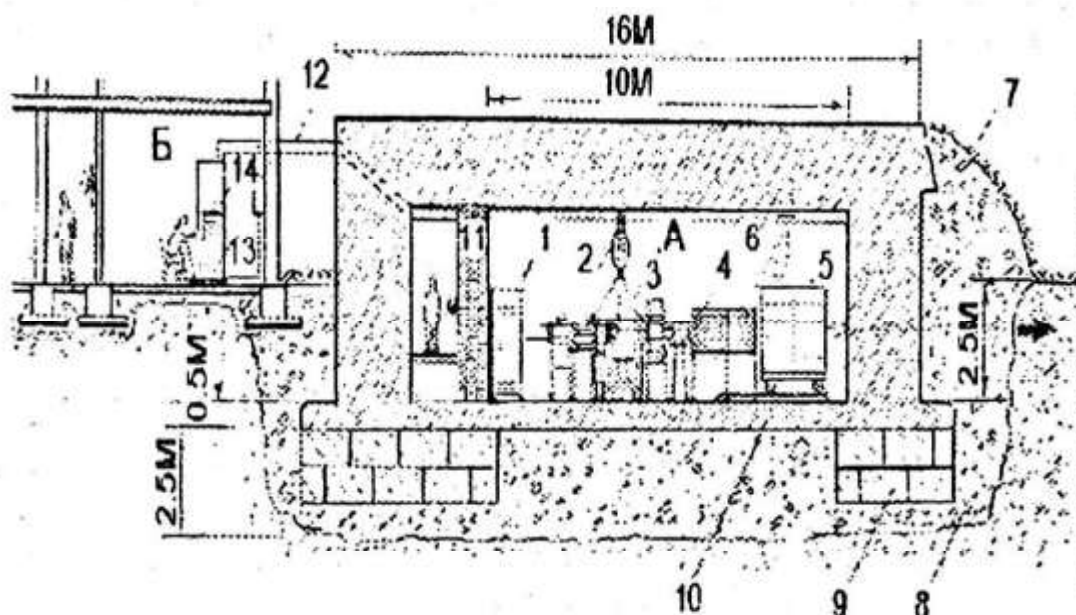
Микротроны цацрагийн хамгаалалтай зориулалтын байр 1,5м урт хүзүүвч хонгилоор лабораторийн барилгатай холбогдоно.

Микротроны байр нь газрын хөрсөнд 1,5-2м (Зураг-2 ) гүн суусан, хойт болон хажуу талаасаа 2-2,5м налуу хайрган хучлагатай. Байрны хана 2м, дээвэр нь 1,5м, шал 0,5м тус тус зузаан цутгамал төмөр бетон (2-10). байрны зааланд хэмжин тооцоолох систем, удирдлагын пульт, хонгилын талд цацрагийн фон багасгах 0,8м зузаан бетон лабиринттай (1-19, 2-11).



Зураг-1. Микротроны байрны хэвтээ огтлол, багаж төхөөрөмжийн байрлал. А-хурдасгуурын, Б- технологийн, В- хонгилын, Г- удирдалгын, Д- хэмжилтын өрөө.

1-модулятор, 2-генератор, 3-ЦСД дамжуулах эд анги, 4-микротроны хурдасгах камер, 5-бага энергийн гамма-шугам, 6-фото-нейтроны төхөөрөмж, 7-их энергийн гамма-шугам, 8-электрон дамжуулах хоолой, 9-хөргөлтийн систем, 10-хамгаалалтын хана, 11-хайрган хучлага, 12-агааржуулалт, дулааны систем, 13-электромашини агергат ВПЛ-50, 14-хаалга хөтлөгч, 15-хамгаалалтын хаалга, 16, 21, 25-дохиолол, холболт, 17-гамма-тоолуур, 18-пнемо-шуудан, 19-бетонон лабиринт, 20-кабелын шугам, 22-удирдалгын пульт, 23-удирдлага дохиололын шүүгээ, 24-тогтворжуулсан тэжээлийн систем.



Зураг-2 Микротроны цацрагийн хамгаалалттай байрны босоо огтлол, газарт суусан байдал, тоног төхөөрөмжийн байрлал. А, хурдасгуурын Б-удирдалгын өрөө. 1-ХӨД-ын ЦСД-ны систем, 2- өргөх кран, 3-хурдасгуурын үндсэн эд анги, 4-гамма-шугам, 5- фото-нейтроны төхөөрөмж, 6-агааржуулалтын суваг, 7,8- хайрган хучлага, суурь. 9-фундамент, 10- бетонон шал, 11- лабиринт, 12-пнемо-шуудан, кабелин шугам, 13-удирдлагын пульт, 14- тэжээлийн болон дохиололын систем.

### ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БАЙРЛАЛ

Тоног төхөөрөмжийг цацрагийн эрүүл ахуйн аюулгүй байдлын төвшин өндөр байх, нөгөө талаас хурдасгуурын ажиллагаа ашиглалтын технологийн тохиромжтой горим бүрдүүлэхэд чиглүүлэн байршилыг тогтоов. Үүнд:

-Гамма-цацрагийн тархалт, хурдассан электроны гаралт газрын гадаргаас 0,8м дор төвшинд, (Зураг-2) барилгын лабораторийн хэсгийн эсрэг ( 1-5,6,7,) чиглэсэн.

-Микротроны ХӨД-ийн ЦСД-ны системийн модулятор (1-1), генератор (1-2), долгио дамжуулах хэсэг (1-3), хурдасгах камерь (1-4), хурдассан электрон дамжуулах хоолой (1-8), их бага энергийн гамма-квантын шугам (1-5,1-7), фото-нейтроны

төхөөрөмж ( 1-6), зэрэг цөмийн цацаргийн болон өндөр давтамжийн ЦСД-ны үүсгүүр нь хамгаалалттай зааланд байрлана.

-Тэжээлийн үндсэн эд анги цахилгаан машины агергат ВПЛ-50 (1-13), цацрагийн хамгаалалтын хаалганы хөтлүүр, ( 1-14 ), битүү хөргөлтийн систем ( 1-9 ), халаалт, агааржуулалтын (1-12 ), тусгай системүүд зэрэг дуу чимээ ихтэй төхөөрөмжүүд заалны хажууд технологийн өрөөнд байрлана.

-Микротроны удирдлагын пульт (1-22 ), дохиолол хяналтын шүүгээ, (1-23 ) тогтворжуулагдсан тэжээлийн систем (1-24 ) удирдлагын өрөөнд байрлана.

### ХУРДАСГУУРЫН ЦАЦРАГИЙН АЮУЛГҮЙ АЖИЛЛАГААГ ХАНГАХ ТОНОГЛОЛ, ХАМГААЛАЛЫН СИСТЕМ

Микротроны цацрагийн аюулгүй ажиллагааг хангах систем нь дараах зүйлүүдээс бүрдэнэ. Үүнд :

- Агааржуулалт нь заалны агаарыг цагт 10-аас доошгүй удаа сэлгэх хүчин чадалтай, агааржуулалтын бусад хоолойтой холбогдохгүй систем болно.

- Цацраг идэвхит бохирдол, тоосжилтийг цэвэрлэх боломжтой, заалны хана тааз тосон будагтай, бетон шал плита, хулдаасан өнгөлгөөтэй.

.- Хурдасгуурын заал (хотын нэгдсэн дулааны шугамтай шууд холбогдоогүй), технологийн өрөөнд бэлтгэсэн халуун агаараар хална.

- Хурдасгуурын заал (А) нь цацрагийн хамгаалалттай, гар болон цахилгаанаар ажиллах хаалгатай (1-15). Хамгаалалтын ба хонгилын хаалга хаагдаж түгжигдсэн үед электрон хурдасгах өндөр хүчдэл өгөх боломж бүрдэх, ажлын үед аль нэг хаалга нээгдэхэд хурдасгуур өөрөө унтрах удирдлага дохиолол, хамгаалалийн нэгдсэн системтэй (1-16, 1-21).

-Удирдлага тэжээл, пневмо шуудан, хөргөлт, дулаан (1-18:20:9:12.) агааржуулалтын (2-6), холболтын сувгууд лабиринт, хана, шал, таазанд ташуу хэлбэртэй гаргагдсан.

- Цацрагийн үйлчилэлд байнга байдаг электрон, гамма-квант, нейтроны бай, үндсэн соронзон, резонатор зэрэг эд эд ангийн хөргөлт нь 2,5 тн нөөц нэрмэл усаар хөргөх битүү систем болно. Энэ систем нь шугамын усаар хагас ба бүтэн горимд ажиллах боломжтой ( 1-9 ).

- Хурдасгуурын тогтворжуулсан тэжээлийн системийн флуктуацн зөвшөөрөгдөх утганд байхад, өндөр вакуум- $10^{-6}$  Тр-



оос доошгүй, ХӨД-ийн ЦСД-ы систем халсан, хөргөлт жигд ажилласан, хаалга түгжигдсэн, дотоод хамгаалалтын холболт удирдлагын систем хэвийн ажиллаж байх үед хурдасгуурыг ажиллуулах бүрдэнэ.

-Өндөр хүчдэл өгөгдөж электрон хурдасгалт эхэлж зааланд цөмийн цацраг( 1-17 ) үүсч эхлэх үед (хурдассан электроны гүйдэл 1мкА хүрээгүй байхад) хонгилд нэвтрэхийг хориглосон улаан гэрэл асна.

Коридорт үүссэн гамма-квант болон нейтроны(1-25) цацрагийн фоныг дохиолол хяналт, удирдлагын шүүгээнд байрлах УСИТ-2, УИМ-2 зөөврийн ДРГ-0,5, ВИСТ-3, БЕЛЛА зэрэг багажаар хянана. - Микротроны заал удирдлагын өрөөний хооронд ХӨД-ийн ЦСД-ны модуляторын ажиллагааг хянах, генераторын блок, долгио дамжуулах хоолойн хэсэг, шарагдаж байгаа дээж, байг ажиглах видео төхөөрөмж тавигдсан. Мөн хурдасгуурын заал удирдлагын өрөөний хооронд өрөө хоорондын ярианы төхөөрөмжөөр тоноглогдсон.

- Хурдасгуурын зааланд төхөөрөмж дээр болон цацрагтай ажиллагсадад зориулсан халуун хүйтэн устай шүршүүрт усанд орох газрыг удирдлагын пульт, хонгилын хажууд байгуулсан байна.

#### ЦАЦРАГИЙН ХАМГААЛАЛТЫН ТООЦОО

Хурдасгуур ажиллах үед дараах төрлийн цацрагууд

үүснэ.

Үүнд:

- Хурдассан электрон тантал бай дээр тусч саарснаар нил спектр бүхий гамма цацраг

- Гамма цацраг хоёрдогч бай  $^{238}\text{U}$  дээр тусахад (у,п) урвал явагдаж нил спектр бүхий фото-нейтрон

- Фото-нейтроны бал чулуун удаашруулагчид үүсэх дулааны ба резонансны энергитэй нейтрон

- Судалж байгаа дээж дахь элементүүдийн цөмд гамма квант, нейтроны үйлчилэлээр явагдах урвалаар үүсэх цацраг идэвхит цөмүүдийн төрөл бүрийн цацраг

- Хурдасгах болон хувиарлах камерын соронзон оронд эргэлдэж байгаа электрон "синхротронны цацраг"

- Эдгээр цацрагаар хурдасгуур, хамгаалалтын эд анги хэсгүүд идэвхжин, цацрагийн дэвсгэр төвшин нэмэгдэнэ.

Саатлын гамма цацрагийн өнцгийн түгэлт байд тусч байгаа электроны чиглэлийн дагуу биет өнцөгөөр, фото-нейтроны хувьд бараг изотроп байна [1].

Хэрэв ажлын байран дахь гамма цацрагийн урсгалын нягт  $\varphi_\gamma(E_\gamma)$ ,  $\gamma/\text{см}^2\text{с}$  бол цацрагийн тунгийн чадал (бэр/с):

$$\varphi_\gamma = \overline{K}_\gamma \int_0^\infty \varphi_\gamma(E_\gamma) \overline{\gamma}(E_\gamma) dE_\gamma \quad (1)$$

болно.

Үүнд:  $\varphi_\gamma(E_\gamma)$ -ажлын байран дахь гамма квант (гамма цацрагийн спектр)-ын энергийн түгэлт

$E_\gamma$ - гамма квантын энерги, МэВ

$\overline{\gamma}(E_\gamma)$  ( $\text{см}^2/\text{с}$ )- биологийн эсэд электроны энерги хувиралтын коэффициент буюу гамма цацрагийн энергийн жинхэнэ шингээлтийн масс коэффициент

$\overline{K}_\gamma$ - нормчлолын коэффициент,  $\overline{K}_\gamma = 1.6 \cdot 10^{-8}$

Хэрэв цацрагийн тунгийн чадлыг (Зв /с)-ээр илэрхийлбэл энэ коэффициент  $1.6 \cdot 10^{-10}$  болно.

#### а. Тормозын цацрагаас хамгаалах тооцоо

Микротроны электроны гүйдэл  $I_0$ (мА) байхад байнаас  $R$ (м) зайд тормозын цацрагийн агаарт шингэсэн тунгийн чадал  $P(R, \Theta)$ -ыг дараах байдлаар тооцоно.

$$P(R, \Theta) = \frac{P_0(\Theta) I_0}{R^2} = \frac{P_0(\Theta) \cdot 10}{3^2} = 1.1 P_0(\Theta)$$

Хамгаалалтын гаднах цацрагийн тунгийн чадлын зөвшөөрөгдөх хэмжээг хангах цацрагийн тунгийн сулралын давтаг зэрэг  $K = P(R, \Theta) / P_{зх} = 5 \cdot 10^5$  болон эффектив энерги  $E_{эф} = E_0 / 3 = 7$  МэВ-ыг ашиглан бетон хамгаалтын зузааныг олбол 200 см болно.

#### б. Микротроны фото-нейтроны хамгаалах тооцоо

$E$ - энергитэй нейтроны эффектив тунг дараах илэрхийллээр тооцоно.

$$E_{эф}(d, E) = \frac{Q}{R^2} h(E) B(E) \exp\left(-\frac{d}{\lambda(E)}\right)$$

Үүнд :  $E_{ef}(d,E)$  -  $d$  зузаантай хамгаалтын гаднах эффектив тун,  $Q$ -нейтроны гаралт  $Q = 1.5 \cdot 10^{-4} NE_0$ ,  $R$ -үүсгүүрээс цацрагийн тун хэмжих цэг хүртлэх зай,  $h(E)$ -нейтроны флюнсийг эффектив тунд шилжүүлэх коэффициент [2],  $B(F)$  - нейтрон хуримтлах фактор,  $\lambda(E)$ -бетонд нейтроны тунгийн сулралын урт.

Нейтроны эффектив тунгийн сулралын коэффициент

$$K = E_{ef}(d,E) / E_{ef}(0,E) = 8 \cdot 10^{-5} \text{ болно.}$$

Энэ коэффициентэд харгалзах 3 м зай дахь бетон хамгаалалтын зузаан 180 см болно.

Хурдасгуур ажиллаж байх үед байрны эргэн тойрон, хамгаалалттай хаалганы гадна, дээвэр, хажуугийн хонгил, удирдлагын пульт, хэмжилтийн өрөө, гаднах орчин зэрэгт үүсч байгаа цацрагийн дэвсгэр түвшиний хэмжээг Улсын мэргэжлийн хяналтын газрын ШУ, Цацрагийн хяналтын албаны гамма цацрагийг хэмжихэд зориулсан дозиметрийн Babyline (France), Aloka PDR-102 (Japan), Minirad S1000 (England), FAG FH-40 F2 (Germany), BELLA (Russia) мөн нейтроны тунг хэмжихэд зориулсан Cramat-31 (France) багажуудаар хэмжилт хийж микротроны хамгаалалтын гаднах цацрагийн тун 0.05-аас 0.5 мкЗв/цаг байгааг тогтоов. Хэмжилтийн дүнгээс үзэхэд уг байр нь электроны цикл хурдасгуур микротрон MT-22-ийг гамма квант, нейтрон үүсгэх зорилгоор 20мкА хүртэл бүрэн хүчин чадлаар нь ажиллуулахад цацрагийн хамгаалалт сайн тооцогдож баригдсан тул уг байранд электрон хурдасган, цөмийн цацраг үүсгэж судалгаа шинжилгээний ажил хийхэд цацрагийн аюулгүйн байдал хангагдсан болно.

#### ДҮГНЭЛТ

Цацрагийн хамгаалалттай байрны хонгил, хажуугийн өрөө тасалгаа гаднах орчин дахь цацрагийн дэвсгэр төвшинг тогтоосон хэмжилтийн дүнгээс үзэхэд уг байрны цацрагийн биологийн хамгаалалт нь микротрон бүрэн хүчин чадлаараа ажиллах боломжтой болно.

Уг байрны зураг төсөлд төмөр бетонон хана, тааз, шалыг тооцооноос илүү зузаантайгаар битүү цутгаж цацрагын хамгаалалтын өндөр төвшинд бариулахын зэрэгцээ байрны дулаан хангамж, агааржуулалт, эд ангиудын хөргөлтийн системийг битүү хийж, аудио, видео, гэрэл дуут дохио, аваарын болон хамгаалалт холболтын нэгдсэн сүлжээг цацрагийн үүсэлттэй холбон бүх хаалганд тавьж өгснөөр

цөмийн цацрагын төдийгүй эрүүл ахуйн бусад шаардлага, аюулгүй ажиллагааны техникийн дүрмийн дагуу хийгдсэн байна.

Цацрагын хамгаалалттай байрны байршил, дуу чимээ ихтэй технологийн багаж төхөөрөмжийн өрөөг хурдасгуурын заалны өмнөх хажуу талын ханын зузааныг нэмэгдүүлэхтэй холбон удирдалгын өрөөнөөс тодорхой зайтай байгуулсан, хурдасгуурын заалны хэмжээ, лабиринт, хамгаалалттай хаалга, удирдлага хэмжилтийн болон бусад өрөөтэй пневмо-шуудан болон хонгилоор холбогдсон зэрэг өрөө хоорондын байрлал нь тус хурдасгуурыг ажиллуулан ашиглах, хоёрдогч цацрагийг түшиглэн туршилт эрдэм шинжилгээний ажил явуулах технологийн тохиромжтой нэхцлийг бүрдүүлсэн юм.

#### АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. Тетерев Ю.Г. Радиационная обстановка на микротроне МТ-22. Атомная энергия, Т.62, Вып. 5, 1987.
2. IAEA, Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes, TRS №403, Vienna, 20016