

## ЭЛЕКТРОНЫ ЦИКЛ ХУРДАСГУУР МИКРОТРОН "МТ-22"

Д.Баатархүү, А.Г.Белов, П.Г.Бондаренко, Ш.Гэрбиш,  
С.Даваа, Б.Далхсүрэн, Н.Норов, Ч.Намнан, Б.Отгоолой,  
Н.Содном, Б.Сэргэлэн, Г.Хүүхэнхүү, Л.Энхжин

### ELECTRON CYCLE ACCELERATOR MT-22

#### Abstract

Technical and physics characteristics of the Microtron MT-22 operating at the Nuclear Research Centre of the National University of Mongolia are presented.

#### 1. ОРШИЛ

Цөмийн физикийн ололтыг улс ардын аж ахуйн төрөл бүрийн салбарт өргөн хэрэглэх, шинжлэх ухааны тулгуур болон хэрэглээний зарим зорилтуудыг шийдвэрлэхэд их эрчимтэй гамма-квант, нейтроны үүсгүүр хэрэглэдэг.

Энэ хоёр төрлийн цөмийн цацрагийг гаргах нэг үндсэн төхөөрөмж нь электроны хурдасгуур юм. Үүний нэг төрөл нь электроны цикл хурдасгуур микротрон болно.

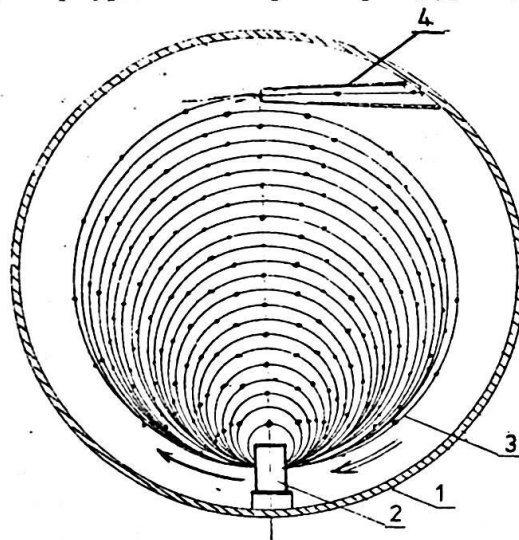
ЗХУ-д анх 1944 онд В.И.Векслер электроны циклотрон нэртэйгээр микротроныг зохион бүтээсэн. Дараа нь С.П.Капица, В.И.Мелехин нарын удирдлагаар Москвагийн физикийн асуудлын хүрээлэнд микротроныг бүтээх, боловсронгуй болгох ажил хийгдсэн байна. 1973 оноос Дубна хот дахь Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институтэд (ЦШНИ) электроныг 17 МэВ, 22 МэВ, 25 МэВ энергитэй болтол хурдасгах микротронууд хийгдсэн байна. Энэ нь Дубнагийн ЦШНИ-ийн гишүүн манай орны хувьд төдийгүй бусад гишүүн олон орны хувьд ЦШНИ-ийн хамтын ажиллагааны шугамаар хоёр талын эрдэмтдийн оролцоотойгоор микротрон бүтээж ажиллуулах таатай нөхцөл болсон юм.

Энэ өгүүлэлд академич Н.Содном, профессор Б.Далхсүрэн нарын санаачлага, удирдлагаар бүтээсэн МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн (ЦФСТ) электроны цикл хурдасгуур микротрон "МТ-22"-ын талаар өгүүлнэ.

## 2. МИКРОТРОНЫ АЖИЛЛАГААНЫ ЗАРЧИМ

Микротрон нь электрон позитроны резонатор дахь хувьсах цахилгаан орны үйлчлэлээр вакуум бүхий тогтмол соронзон оронд тойрог орбитоор эргэлдүүлэн хурдасгадаг электроны цикл хурдасгуур юм [1].

Генератор магнетроноос хэт өндөр давтамжийн (ХӨД), цахилгаан соронзон долгион (ЦСД), долгион дамжуулах системээр дамжин тогтмол хөндлөн соронзон орон, вакуум бүхий камерт байрласан резонаторыг өдөөж түүний тэнхлэгийн дагуу хүчтэй хувьсах цахилгаан орныг үүсгэнэ. Резонаторын катодоос сугаран гарсан электронууд хувьсах цахилгаан орны үйлчлэлээр хамагдан хурдасч тогтмол соронзон орны үйлчлэлээр тойрог орбитоор эргэж резонаторын тэнхлэгээр дахин өнгөрөх агшинд хурдасч, энерги нь ихсэж, дараагийн их радиустай тойрог орбитоор эргэх, хурдсах үйл явц давтагдана. Хурдасч буй электроны энерги тодорхой хэмжээнд хүрэх үед тусгай сувгаар хурдасгах камераас гарна (зураг 1).

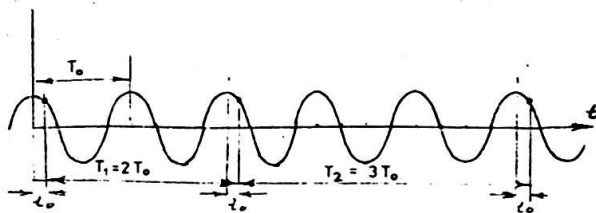


Зураг 1. Хурдасч байгаа электроны орбит. 1 - камер, 2-резонатор, 3-электроны багц, 4-гарах суваг

Микротронд автофазировкийн зарчим дараах нөхцлөөр биелэнэ. Дараалсан орбит дээрх электроны эргэлтийн үеийн зөрөө нь хурдасгах орны үеийн бүхэл тоогоор илэрхийлэгдэх явдал юм [2]. Электроны орбит бүр дээр энэ нөхцөл биелэх үед өмнөх орбитод хурдассан электрон дараагийн орбитод хурдасгалтын ижил фазад хурдсана. Электроны орбит дээрх эргэлтийн үе  $T$ -г хурдасгаж буй ХӨД-ийн ЦСД-ы үе  $T_0$ -д харьцуулсан харьцааг хурдасгалтын давталт гэнэ:

$$T/T_0 = k; k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Орбит бүр дээр  $k$ -аар өөр утга авах тул микротрон хувьсах давталттай хурдасгуур болно (зураг 2).



Зураг 2. Орбит дээрх эргэлтийн үе хурдасгах орны үеээс хамаарах нь

Микротроны параметруудийг холбосон харьцааг авач үзье [2].  $n$ ,  $n+1$  орбит дээрх эргэлтийн үе дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{2\pi V_n}{e^- c H} \\ T_{n+1} &= \frac{2\pi V_{n+1}}{e^- c H} \end{aligned} \quad (2)$$

$$T_{n+1} - T_n = \Delta T = \frac{2\pi \Delta V}{e^- c H} = T_0 g; g = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

$g=1$  байх үед

$$\Delta T = T_0 \quad (4)$$

$g$ -ийн энэ утганд фазын тэнцвэрийн муж  $0+32^\circ$  байх ба бусад утганд энэ муж  $g$  дахин багасна [3].

(3), (4) -өөс

$$H_0 = \frac{2\pi V_0}{e^- c T_0} = \frac{2\pi m c^2}{e \lambda_0} \quad (5)$$

$H_0$ -ийг циклотрон орон гэнэ. Энэ нь соронзон орныг тодорхойлох тулгуур хэмжигдэхүүн болох бөгөөд хурдасгах орны үеээр тодорхойлогдоно.

Микротрон бусад шугаман хурдасгууртай адил  $v_0 = 3$  ГГц давтамжтай хурдасгах долгионы мужид ажиллана. Энэ үед циклотрон орон нь  $H_0 = 1070$  э байна. (3), (5)-ийн тусламжтайгаар хурдасгалтын горимыг тодорхойлох үндсэн характеристик дараах хэлбрээр илэрхийлэгдэж байна:

$$\Omega = \frac{H}{H_0} = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (6)$$

$\Omega$ -оор хурдасгуурын бүх параметр тодорхойлогдоно.  
n-р орбит дээрх электроны бүтэн энерги

$$U_n = (n-1)\Omega V_0 + U_1 \quad (7)$$

$U_1$  нь 1-р орбит дээрх электроны бүтэн энерги.  
n-р орбит дээрх эргэлтийн үе:

$$T_n = (n+m-1) \cdot T_0 \quad (8)$$

m нь 1-р орбит дээрх хурдасгалтын давталт.

$$V_n = (n+m-1) \cdot \Omega V_0 \quad (9)$$

(7)ба (9)-ийн харьцаанаас 1-р орбит дээрх электроны кинетик энерги:  
Ийм байдлаар энерги нь  $\Omega$ -аас хамаарна.

$$V_1 - V_0 = (m\Omega - 1)U_0 \quad (10)$$

Микротроны хувьд  $m=2$  нь хамгийн тохиромжтой байдаг.

$\Omega \approx 1$  үед электрон резонаторыг нэвтрэн хурдсах бүрдээ энерги нь тайвны энергитэй тэнцүү хэмжээгээр нэмэгдэнэ. Хурдасгалтын энэ горимд тохируулж 1-р горимын резонатор боловсруулагдсан.

$\Omega \approx 2$  үед электрон резонаторыг нэвтрэн хурдсах бүрдээ энерги нь ойролцоогоор 1 МэВ-ээр нэмэгдэх бөгөөд энэ горимд тохируулж 2-р горимын резонатор боловсруулагдсан.

Мөн түүнчлэн n-р орбитын радиус дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ:

$$D_n = (n+m-1) \frac{\lambda}{\pi} \quad (11)$$

### 3. ЦАХИЛГААН СОРОНЗОН ДОЛГИОНЫ СИСТЕМ, РЕЗОНАТОР

Микротроны хэт өндөр давтамжийн (ХӨД) цахилгаан соронзон долгионы (ЦСД) системийн үндсэн хэсэг нь электроны хурдасгуурт өргөн хэрэглэгддэг, 3 ГГц давтамжтай ЦСД-ыг 2 МВт чадалтай импульс хэлбэрээр гаргах чадвартай магнетрон генератор болно.

Давтамжийг нь өөрчлөн тохируулж болдог энэ генератор магнетроныг хэрэглэснээр микротроны зарим эд ангийн бүтэц, ажиллагаа, тохируулагыг хялбарчлах боломжтой болсон.

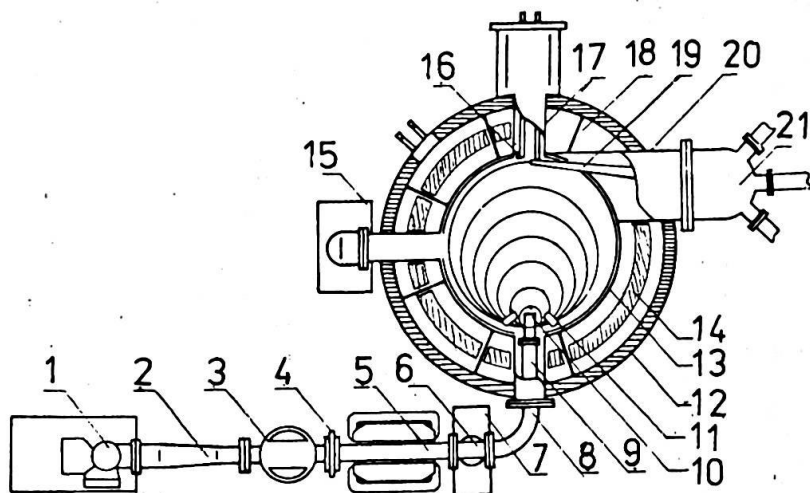
ХӨД-ийн ЦСД-ы систем нь  $72 \times 44$  мм<sup>2</sup> хөндлөн огтлолтой ЦСД дамжуулах хоолой, зайлшгүй байх бусад элементүүдийн хамт генератор (3-1), резонаторын (3-10) хооронд горинзонталь хавтгайд 2 м зайд байрлана (зураг 3).

а. ЦСД-ыг дугуй хөндлөн огтлолтой хоолойгоос тэгш өнцөгт огтлолтой хоолойд шилжүүлэх долгионы трансформатор (3-2)

б. ЦСД-ы фаз тохируулагч (3-3)

в. Ойсон долгионоос генераторыг тусгаарлах ферритэн хаалт (3-5).

г. Өндөр вакуумын насос залгах (3-6), ЦСД-ы  $90^\circ$  өнцөгөөр эргүүлэх (3-8), резонатор суулгах (3-9) зориулсан долгион дамжуулах хоолойн оруулга.



Зураг 3. Микротроны ерөнхий схем

Фазын тохируулагч, феррит хаалтын хооронд ЦСД атмосфераас вакуумд дамжуулах хөргөлттэй кварцан цонх байрлана.

Микротронд Оросын ШУА-ийн Физикийн асуудлын хүрээлэнд боловсруулсан [2] нэг ба хоёрдугаар горимын резонатор хэрэглэнэ. Резонаторын таг, үндсэн хэсэг нь бүхэлдээ хүчилтөрөгчгүй, цэвэр зэсээр хийгдсэн, тус бүрдээ усан хөргөлттэй.

Электрон оруулагч нь эмисс ихтэй бөгөөд [4] вольфрамаас бараг хоёр эрэмбэ бага ууршилттай лантан борын нэгдлээс ( $\text{LaB}_6$ ) тогтсон катод болно. Катодын ажиллах хугацаа резонаторт үйлчилгээ хийх хугацаатай бараг адил  $130 \div 180$  цаг.

#### 4. ЦАХИЛГААН СОРОНЗ, КАМЕР, ВАКУУМЫН СИСТЕМ

Микротрон хэвийн ажиллахад түүний соронзон туйлууд параллель байх, тогтмол соронзон орон нэгэн төрөл байх явдал [2] гол нөхцөл нь болдог. Иймд микротроны соронзон туйлийг бэлтгэх, тээвэрлэх, ашиглалтын үеийн нээх, хаах бүх үйл ажиллагаанд онцгой анхаарал шаардагдана.

Соронзонг бэлтгэхдээ соронзон туйлийн параллельность, соронзон орны нэгэн төрлийн талаарх тооцоо, практик зөвлөмж [5] -ийг үндэслэж цэвэр АРМКО гангаар хийж кристаллын оронт торны эвдрэл согогыг арилгах дулааны боловсруулалтанд оруулжээ. Соронзон орны нэгэн төрөл бусыг тодорхойлох хэмжилтийн дүнгээс үзэхэд соронзон туйлийн 42 см-ийн радиуст харгалзах соронзон орны харьцангуй өөрчлөлт (электроны орбитод нөлөөлөхгүй) 0.15 % -оос хэтрэхгүй зөвшөөрөгдөх мужид байгаа юм [5].

Соронзонгийн хэмжээсийг доор үзүүлэв.

Соронзонгийн гаднах диаметр	1440 мм
Соронзонгийн туйлийн диаметр	900 мм
Хоёр туйлийн хоорондох зай	100 мм
Ороомог, камертай соронзонгийн жин	2000 кг
Ороомгийн ороодсын тоо	56 (28x2)
Ороомгийн гүйдэл	250-300 А

Микротроны камер хөндий цилиндр хэлбэртэй Х18Н9Т төрлийн гангаар хийж мөн дулааны боловсруулалтанд орсон байна.

Камер нь тусгай зориулалтын 8 оруулгатай, соронзон хоёр туйлийн хооронд жийргэвчээр холбогдоно.

Микротронд  $10^{-6}$  тор-ээс доошгүй өндөр вакуум байх эзэлхүүн 100 л. Шингэн азотын хөргөлттэй ловушка, форвакуумны насос, камерт (3-15) болон долгионы хоолойд залгасан (3-7) НМДО-0,25; НМДО-0.1 загварын насос бүхий өндөр вакуум гаргах системтэй.

## 5. ХУРДАССАН ЭЛЕКТРОНЫ ГҮЙДЛИЙГ КАМЕРААС ГАРГАХ

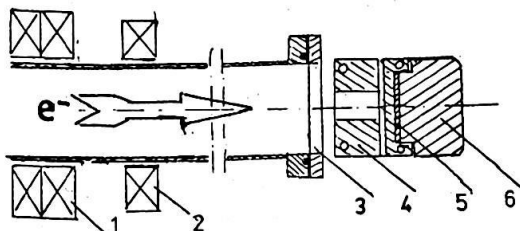
Хурдассан электроны гүйдэл конус хэлбэртэй соронзон оронгүй хоолойгоор (3-19) камераас гаргана.

Электрон гаргах хоолой электроны орбитод үзүүлэх нөлөөг арилгах конус хэлбэрийн шимм [7] нь энэ хоолойн хоёр талд үндсэн соронзон орны хүчний шугамын дагуу байрлана. Электрон гаргах хоолой нь камерын гаднах механизмын тусламжтайгаар камер дотор медианы хавтгай дээр орбитын радиус болон азимутын дагуу шилжиж 23-16-р орбитоос электрон гаргана.

Камерт резонаторын ард долгион дамжуулах хоолойг уртасгах долгионы хоолойн оруулга тавьж холбосон үед электроныг 8 хүртэл орбитоос гаргах боломжтой.

Камерт орбит бүр дээрх электроны гүйдлийг хэмжихдээ электрон шингээгч бай бүхий тусгай зонд хэрэглэнэ. Электрон гаргах хоолой, дотоод зондыг өндөр вакуум бүхий электрон хурдасгуурын адил камерын гаднаас дотогш оруулсан жийргэвчтэй савааны механик хөдөлгөөнөөр шилжүүлнэ. Савааны гадаргаар вакуум алдахгүйн тулд гадаргуугийн өнгөлгөөг өндөр түвшинд хийж тефлонон жийргэвчийн шахалтыг савааны хөдөлгөөнд саад болохгүй вакуум алдагдахгүй байхаар нарийн тохируулдаг.

220 мм диаметртэй 40 мм завсар бүхий хазайлгах соронзонгоор камераас гаргагдсан электроны гүйдэл электрон дамжуулах гурван хоолойн аль нэгэнд залагдан орно. Энэ хоолойд электроны гүйдэл фокуслагдан улмаар электроны цонхоор (зураг 4-3) нэвтрэн диафрагм (4-4) дотуур өнгөрч электрон гамма квант цацруулан удааширч шингээх бай (4-5) дээр тусна. Байг нэвтрэн гарсан электронууд электрон шингээгч (4-6) -д шингэнэ.



Зураг 4.  
Электрон  
тормозлох бай

Электрон дамжуулах гурван хоолой тус бүр дээр 50 мм-ийн апертуртай 120 мм урттай электроны гүйдлийг харилцан перпендикуляр хавтгайд фокуслах хос линзүүд (4-1) мөн гүйдлийг босоо хавтгайд залах, соронзонууд (4-2) байрлана.

Бай, диафрагм дээр тусч байгаа хурдассан электроны гүйдэл тус тусдаа хэмжигдэнэ. Эдгээр гүйдлийн харьцаагаар хурдассан электроны

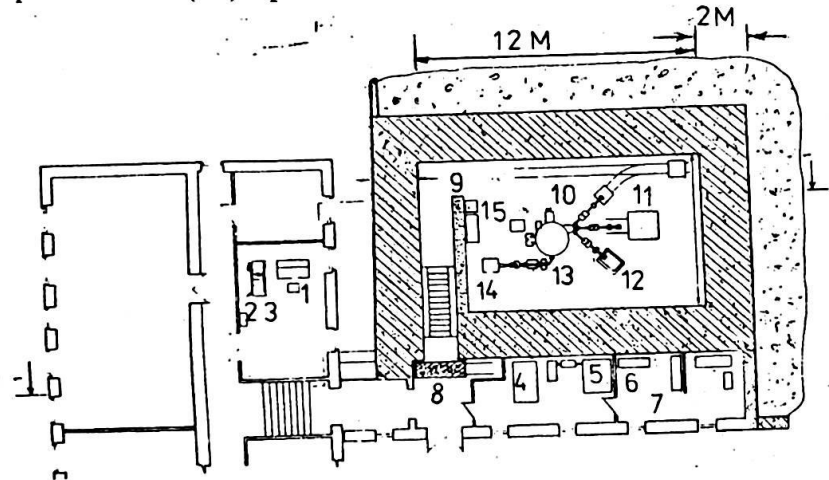
фокусалт, бай дээрх тусалт, улмаар үүсч буй гамма-квант, нейтроныг орныг үнэлэх боломжтой.

Резонаторт хурдассан электроны 80 % нь бай дээр гаргагдана. Бай дээрх электроны тусалтын хөндлөн огтлолын диаметр 8 мм байна.

## 6. ХУРДАСГУУРЫН УДИРДЛАГА, ТЭЖЭЭЛИЙН СИСТЕМ

Микротроны удирдлага, дохиолол, тэжээлийн системд хурдасгуурын найдвартай ажиллагааг ханган аюулгүй ашиглахад зайлшгүй шаардлагатай бүх үйлдлийг багтаасан цахилгаан угсралтын хялбар схемийг сонгох зорилт тавьсан.

Удирдлага, тэжээлийн систем нь удирдлагын пульт (зураг 5-1), удирдлагын щит (5-2), тогтворжуулагдсан тэжээлийн шүүгээ (5-3), технологийн өрөөн дахь давтамжийг өөрчлөгч цахилгаан машины агрегат ВПЛ-50 (5-4) зэргээс тогтоно.



Зураг 5. Микротроны байр, удирдлага, тоног төхөөрөмжийн байршил

Хурдасгуурыг ажилд бэлтгэх ажиллагааг удирдах, хурдасгалт эхлэж байгааг зааланд үүссэн цацрагаар мэдрэх, хурдасгуурын параметруудийг хянах бүх үйл ажиллагааг удирдлагын щит, пультнээс гүйцэтгэнэ. Бүх холболт залгалтын аппарат, элементүүдийг удирдлагын щитэнд байрлуулсан нь засвар үйлчилгээний ажлыг хөнгөвчилж байгаа юм.

Хурдасгуурын үндсэн тэжээл ердийн  $3 \times 380$  В, 50 Гц хүчдэлээр тэжээгдэх бөгөөд ХӨД-ийн ЦСД-ы систем, тогтмол соронзон орны бүх эд анги, зарим багаж, гүйдлийн үүсгүүрүүд нь 400 Гц-ийн давтамжтай,  $3 \times 220$  В хүчдэлийн гаралттай ВПЛ-50-аар тэжээгдэнэ.

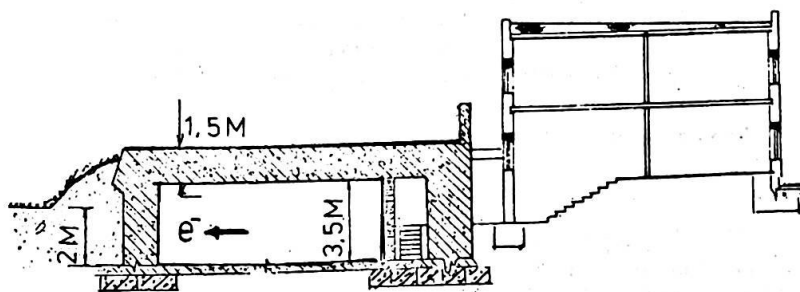


Өндөржүүлсэн давтамжтай тэжээлийг ашигласанаар шулуун гүйдлийн бүх үүсгүүрүүдийг тогтворжуулах схемтэй нэгтгэн хийж стандарт электрон техникийн шүүгээний (5-2) блокуудад байрлуулах боломжтой болсон юм. Үндсэн цахилгаан соронзоны тэжээлийн трансформатор, шулуутгагч (250+300 А-ийн гүйдэлтэй хөргөлттэй, овор жин ихтэй) зааланд хурдасгуурын дор байрлагдсан.

Хурдасгуурын үндсэн цахилгаан соронзон орны шулуун гүйдлийн үүсгүүрүүд  $2 \cdot 10^{-4}$  %, бусад эд ангийн тэжээл  $5 \cdot 10^{-4}$  % нарийвчлалтайгаар тогтворжуулагдсан [8].

## 7. ХУРДАСГУУРЫН БАЙР, БАЙРШИЛ

Микротрон нь харьцангуй орон сууц, хүн амын нягтрал багатай, газар хөдлөлт, хөрсний бүтэц нягтын хувьд тохиромжтой, хөрсний усны түвшин дор (4+5 м гүн), Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн нутагт байрлах бөгөөд цэнэгт бөөмийн хурдасгуурын байранд тавих цацрагийн эрүүл ахуйн аюулгүй ажиллагааны дүрмийн дагуу зориулан барьсан барилгад байрлана (зураг 5, 6). Микротроны байр нь газрын хөрсөнд 1.5-2 м суусан, хажуу талаасаа 1.5-2.5 м шороон хучлагатай, дөрвөн талын хана нь 2 м (зааланд удирдлагын пулт талын лабиринт 0.8 м), дээд тал нь 1.5 м, шал нь 0.5 м зузаан бетон болно.



Зураг 6. Микротроны байрны босоо огтлол

Үүссэн  $\gamma$ -квантын тархалт, эрчим өнцгийн хамааралтай тул микротроныг байрлуулахдаа электрон гаралтыг газрын түвшинээс 0.8 м дор, удирдлагын пулт, детекторын болон бусад өрөө тасалгааны эсрэг чиглүүлж байрлуулсан.

Микротроны агааржуулалт (5-6), халаалтын систем (5-7), эд ангийг хөргөх усан хөргөлтийн битүү систем (5-5), дуу чимээ ихтэй

цахилгаан машины агрегат ВПЛ-50 (5-4) нь микротроноос холгүй хажуугийн технологийн ерөөнд байрлахаар төлөвлөж хийсэн.

Микротроны өрөө цацрагаас хамгаалах гамма-квант, нейтроны датчик бүхий гэрэл, дуут дохионы системтэй.

#### 8. ХУРДАСГАЛТЫН ГОРИМ, ХУРДАССАН ЭЛЕКТРОНЫ ХОЁРДОГЧ ЦАЦРАГТ ХИЙСЭН ҮНЭЛГЭЭ

Микротрон резонаторын гүйдлээс хамаарч хоёр горимд ажиллана. Нэг ба хоёрдугаар горимын резонаторт ХӨД-ийн ЦСД хэлбэлзэх үед тэдгээрийн тэнхлэг дээрх электрон хурдасгах ашигтай завсарт үүсэх цахилгаан орны потенциалын ялгавар харгалзан ~500 кВ, ~1000 кВ хүрэх тул электрон резонатороор нэг удаа өнгөрөхөд энерги нь ~500 кэВ, ~1000 кэВ-ээр нэмэгдэнэ. Хурдасгуур 23 орбиттай тул хоёр горимд харгалзан ~13 МэВ, 22÷23 МэВ энергитэй болтол хурдасна.

Элементийн дугаар  $Z$  ихтэй (вольфрам, тантал, алт зэрэг), тодорхой зузаантай (радиационная длина ~0.3) “бай” дээр электрон саарахад  $\gamma$ -квантын гаралт хамгийн их байдаг [9].

Микротронд  $\gamma$ -квантын гаралт ихтэй, нэвтэрсэн электроны шингээлттэй, “сэндвич” загварын нарийн бүтэцтэй “бай” ашигласан [9] (зураг 3).

Микротроны зарим үзүүлэлт:

Хурдассан электроны максимум энерги	22 МэВ
Хурдассан электроны дундаж гүйдэл	16 мкА
Хурдассан электроны импульс дэх гүйдэл	16 мА
Импульсийн урт	3 мкс
Бай дээрх $\gamma$ -квантын гаралтын нягт	$2.5 \cdot 10^{13} \gamma/\text{см}^2\text{с}$

20.5 МэВ хүртэл энергитэй  $\gamma$ -квантын урсгалыг хатуу биет трек детекторын аргаар дараах нөхцөлд хэмжсэн. Электроны гүйдлийн хүч 8 мкА тохиолдолд  $0.13 \text{ мкг}/\text{см}^2$  байгалийн ураны агуулгатай нимгэн ялтсыг полиэтилентерефталат (лавсан) детектортэй хамт электроны филтрээс 150 мм зайд 3 цагийн турш шарсан. Шаралтын дараа лавсан детекторыг 6N NaOH уусмалд 60°C температурт 1.5 цагийн туршид идүүлээд, ураны цөмийн хуваагдлын хэлтэрхийн мөрийн нягтын хэмжээг микроскопын тусламжтайгаар тоолж,  $\gamma$ -квантын урсгалыг дараах томъёогоор бодсон:

$$\phi = \frac{N}{C_U N_U \sigma \epsilon t}$$

Үүнд:  $N$  - мөрийн нягт [ $\text{тр}/\text{см}^2$ ],  $C_U$  - стандарт дээж дэх ураны концентрац [ $\text{мкг}/\text{см}^2$ ],  $N_U$  - стандарт дээж дэх ураны цөмийн тоо [ $\text{г}^{-1}$ ],  $\sigma$  -  $U^{238}$ -ийн цөм  $\gamma$ -квантаар хуваагдах огтлол [ $\text{см}^2$ ],  $\epsilon$  - детекторын бүртгэх чадвар,  $t$  - шарсан хугацаа.

Тухайн тохиолдолд  $\gamma$ -квантын урсгалын нягт  $\phi = 1.2 \times 10^{11} \text{ } \gamma/\text{см}^2\text{с}$  байв.

## 9. ДҮГНЭЛТ

- Тооцоо ба хэмжилтийн дүнгээс харахад электроны фильтрийн гадаргуу дээрх  $\gamma$ -квантын урсгалын нягт  $\phi = 2.5 \times 10^{13} \text{ } \gamma/\text{см}^2\text{с}$  байна.
- Гамма-квантын урсгал дээр  $^{238}\text{U}$  бай тавихад графитан удаашруулагчийн дотор дулааны болон резонансын нейтроны урсгал  $10^7$ - $10^8$  нейтр./ $\text{см}^2\text{с}$  болно.
- Ийнхүү гаргаж авсан электрон, гамма-квант, нейтроны урсгалыг ашиглан цөмийн ба хатуу биеийн физикийн суурь судалгаа явуулах, төрөл бүрийн дээжид элементийн анализ хийх, цацрагийн технологийн арга боловсруулж нэвтрүүлэх зэрэг өргөн боломж нээгдэж байна.

### Ашигласан хэвлэл:

1. К.А.Беловинцев, П.А.Черенков. Позитронный микротрон. Микротрон, сборник статей, 1980
2. С.П.Капица, В.И.Мелехин. Микротрон, Москва, 1969
3. А.А.Коломенский. Диссертация, ФИАН, 1950
4. В.С.Степанчук. Термоэлектронные катоды, Москва, 1975
5. В.П.Быков. Влияние неоднородности магнитного поля на движение частиц в микротроне., ЖЭТФ, №33, 1963
6. А.Г.Белов, П.Г.Бондаренко, И.Шимане, М.Вогнар. Сообщения ОИЯИ, Дубна, P9-82-301, 1982
7. H.Peich, K.Lonsk. Nucl. Instr. and Meth., 1964, 31, p. 221
8. А.Г.Белов, П.Г.Бондаренко, А.Н.Кузнецов. Системы питания и управления микротрона МТ-22, Сообщения ОИЯИ, Дубна, 9-82-424, 1982
9. В.П.Ковалев. Вторичные излучения ускорителей электронов, Атомиздат, М., 1979