

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ

МУИС-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг

ФИЗИК

№30 (527)

2020 он

Редакцийн зөвлөл:

Зөвлөлийн дарга:

Др, Проф. Ж.Даваасамбуу
Монгол Улсын Их Сургууль

Гишүүд:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Док. Проф. Б.Бурмаа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 2. Док. Проф. Н.Цогбадрах | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 3. Док. Проф. П.Энхбаяр | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 4. Док. Дэд проф. Ж.Ванчинхүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 5. Док. Дэд проф. Д.Улам-Оргих | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 6. Док. Дэд проф. Ц.Баатарчулуун | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 7. Док. Ц.Энхбат | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 8. Док. Ч.Содбилэг | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 9. Док. Дэд проф. П.Мөнхбаатар | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 10. Док. Дэд проф. С.Мөнхцэцэг | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 11. Док. Дэд проф. Н.Төвжаргал | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 12. Док. Дэд проф. Б.Мөнхбат | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 13. Док. Дэд проф. С.Одмаа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 14. Док. Дэд проф. Х.Тэгшжаргал | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 15. Док. Ч.Алдармаа | Шинжлэх Ухаан Технологийн
Их Сургууль |

Дугаарыг эмхтгэсэн:

Редакцын зөвлөлийн нарийн бичгийн дарга

Док. Дэд проф. Г.Эрдэнэ-Очир Монгол Улсын Их Сургууль

МУИС-ийн ШУС-ийн Физикийн тэнхим,
© Монгол улсын их сургууль,
Их сургуулийн гудамж-1, Сүхбаатар дүүрэг,
Улаанбаатар – 210646, Монгол улс, 2020

ISSN 2311-1097

Өндөр температурын хийн реакторын голомтын нейтроник анализд “SERPENT” кодыг ашиглах нь

Т.Жамъянсүрэн^{1,*}, С.Одмаа^{1,2}, Б.Мөнхбат^{1,2}, Н.Норов^{1,2}

¹ Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улсын их сургууль

² Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Монгол улсын их сургууль

Энэ ажилд Финландын Техникийн Судалгааны төвийн хөгжүүлсэн Монте Карло аргыг ашиглан нейтроникийн тооцоолол хийдэг SERPENT2.1.30 кодыг ашиглан 20%-ийн баяжуулалттай ураны исэл (UO₂) бүхий TRISO түлштэй, 100 МВт-ийн дулааны чадалтай, 927°C температурт ажиллах төвдөө ойлгогчтой, өндөр температурын хийн реакторын голомтын дизайныг хийж, анхан шатны нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэв. Энэхүү тооцоололд цөмийн урвалын өгөгдлийн сан ENDF/B-VI.8-ийг ашиглав. Бид өмнө нь ийм голомтын нейтроник тооцооллыг Японы Атомын Энергийн Агентлагийн хөгжүүлсэн Монте Карло аргаар тооцоолдог MVP/GMVP 2.0 компьютерийн кодыг ашиглан нейтроник тооцооллуудыг гүйцэтгэж, анализ хийсэн. Энэ ажлаар ижил аргаар тооцоолол хийдэг өөр кодууд ашиглан нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэн, гарган авсан үр дүнгүүдийн харьцуулан, ялгааг тайлбарлав.

I. ОРШИЛ

Орчин үед дурын хэлбэр хэмжээстэй системүүдэд нейтроны шилжилтийг тооцоолдог Монте Карло аргад үндэслэсэн компьютерийн кодуудыг детерминистик аргад үндэслэсэн кодын баталгаажуулалт, цөмийн детекторын загварчлал, цацрагийн хамгаалалтын асуудлууд болон реакторын аюулгүй байдлын анализ зэрэг реакторын физикийн төрөл бүрийн тооцооллуудад өргөн ашиглаж байна. Энэ төрлийн компьютерийн кодууд нь дурын геометр хэмжээстэй орчныг дуурайлган загварчилж түүнд явагдах нарийн төвөгтэй физик процессыг судлах боломжийг олгож байна.

Бид өмнөх судалгааны ажлуудаар голомтын төвдөө ойлгогчийн нэг блоктой, 100 МВт дулааны чадалтай, 850°C температурт ажиллах призм төрлийн өндөр температурын хийн реакторын (ӨТХР) голомтын дизайныг сонгон, критик байдлын болон түлшний шаталтын тооцооллыг гүйцэтгэсэн [1-4]. ӨТХР-ын голомтын дизайныг загварчлан, нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэхдээ Японы Атомын Энергийн Агентлаг (ЯАЭА)-ийн хөгжүүлсэн MVP/GMVP 2.0 [5] болон MVP-BURN [6] компьютерийн кодуудаар судалсан ба тооцоололд цөмийн урвалын өгөгдлийн сан JENDL-3.3 [7] ба JENDL-4.0[8]-ийг ашигласан. Энэ ажлаар Монте Карло аргаар нейтроны

шилжилтийг тооцоолдог Финландын VTT Техникийн Судалгааны Төвийн SERPENT2.1.30 [9] кодыг ашиглан 100 МВт дулааны чадалтай ӨТХР-ийн голомтын дизайныг хийж, нейтроник анализыг гүйцэтгээд гарган авсан үр дүнгээ уг голомтын хувьд цөмийн урвалын өгөгдлийн JENDL-3.3 сантай MVP/GMVP 2.0 кодоор тооцоолсон үр дүнтэй харьцуулж, ялгааг авч үзэх зорилго тавив.

II. АРГА ЗҮЙ

2.1. Голомтын дизайн

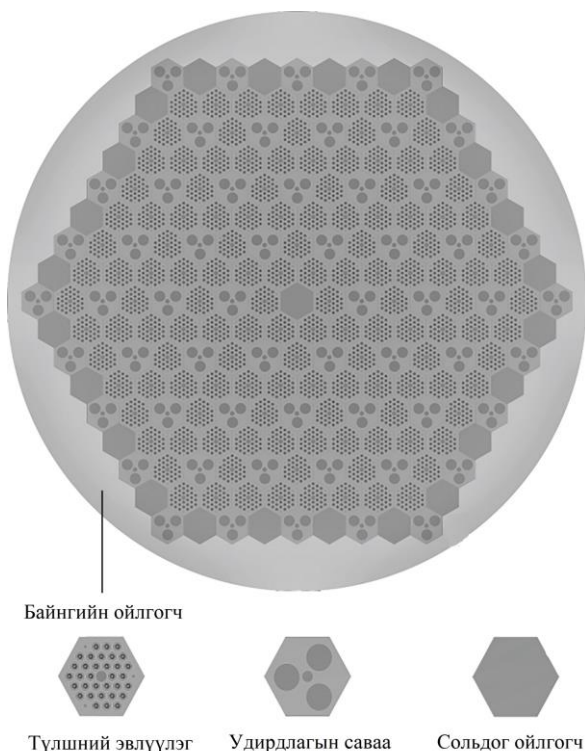
Өмнөх ажлуудад тайлбарласнаар призм төрлийн ӨТХР-ийн голомт нь түлшний эвлүүлгийн, удирдлагын савааны, ойлгогчийн гэсэн блокуудаас бүрдэх ба төвдөө 36 см өргөнтэй зургаан өнцөгт призм хэлбэртэй бал чулуун ойлгогчтой. Түлшний эвлүүлгийн блок нь 33 түлшний саваанаас бүрдэх ба түлшний саваа нь 20%-ын баяжуулалттай ураны исэл (UO₂) бүхий TRISO бөөмсийг агуулдаг [1-4].

Хүснэгт 1. ӨТХР-ын голомтын үндсэн үзүүлэлтүүд

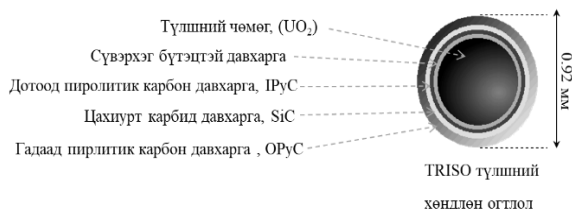
Дулааны чадал, МВт	100
Голомтын температур, °C	927
Голомтын хэмжээ:	
Өндөр, см	638
Радиус, см	247
Идэвхтэй голомтын эзлэхүүн, м ³	121
Түлш	UO ₂
Баяжуулалт	20wt%
Хөргүүрийн материал	Гелийн хий

* Electronic address: t.jamiyansuren@gmail.com

ӨТХР-ын голомтын дизайны үндсэн үзүүлэлтийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Голомт болон TRISO түлшний хөндлөн зүсэлтийг харгалзан Зураг 1 болон 2-т харуулав.



Зураг 1. Голомтын хөндлөн зүсэлт.



Зураг 2. TRISO түлшний хөндлөн зүсэлт.

2.2. Монте Карло арга

Монте Карло аргаар тооцоолдог MVP/GMVP 2.0 болон SERPENT кодоор реакторын голомт дэх нейтрон үржүүлэх эффектив фактор ($k_{эфф}$)-ыг тооцоолохдоо голомт дотор үүссэн нейтонуудын санамсаргүй алхамуудыг тэдний мөргөлдөөний нягт, мөрийн урт, болон гадаргуу нэвтлэх магадлалт үйл явцаар тооцон олдог [5,6,8]. Монте Карло аргад голомтод үүссэн нейтроноор явагдах харилцан үйлчлэлийг санамсаргүйгээр үнэлдэг тул тооцооллыг хамгийн оновчтой болгох нөхцлийг бодлого тус бүрд тогтоох шаардлагатай байдаг. Тооцооллын статистик алдааг хангалттай бага байлгахын тулд нэг удаагийн тооцоололд нейтроны нийт 5 сая (50000×100) харилцан үйлчлэлийг авч үзсэн.

2.3 Цөмийн өгөгдлийн сан

Нейтроны шилжилт, материал хөгжүүлэлтийн тооцоололд JENDL-(Japanese Evaluated Nuclear Data Library), ENDF-(Evaluated Nuclear Data File), ба JEFF-(Joint Evaluated Fission and Fusion File) зэрэг цөмийн урвалын өгөгдлийн сангуудыг ашигладаг. Бидний ашиглаж байгаа Монте Карло кодууд нь өөрсдийн хувилбартаа тохирсон тусгай өргөтгөл бүхий цөмийн урвалын өгөгдлийн санг ашигладаг. Энэ ажилд ашигласан SERPENT2.1.30 кодоод өмнөх тооцооллуудад ашигласан JENDL-3.3, JENDL4.0 цөмийн урвалын өгөгдлийн сангийн өргөтгөл тохирохгүй байсан учраас 2001 онд гарсан ENDF/B-VI.8 [9] цөмийн өгөгдлийн санг ашиглав. Учир нь бидний өмнөх ажлуудад ашигласан JENDL-3.3 өгөгдлийн сан нь дээрх сантай ойролцоо буюу 2002 онд гарсан болно [7].

III. НЕЙТРОНИК АНАЛИЗ

3.1 ӨТХР-ын голомт

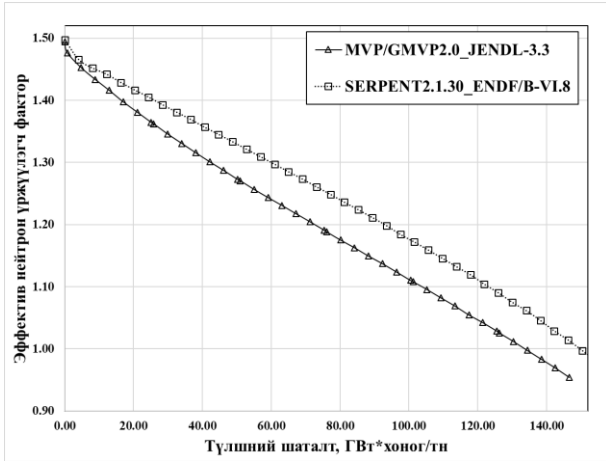
100 МВт дулааны чадалтай ӨТХР-ын голомтод JENDL-3.3 сантай MVP/GMVP2.0 ба ENDF/B-VI.8 сантай SERPENT2.1.30 кодуудаар нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэв. Эдгээр тооцооллын үр дүнг Хүснэгт 2 болон Зураг 3-т харуулав.

Хүснэгт 2. ӨТХР-ийн голомтын нейтроник анализын үр дүн.

Цөмийн өгөгдлийн сан	$K_{эфф,0}$ (алдаа %)	ХИУ $\Delta k/k$ (%)	$t_{голомт}$ (жил)	$V_{түлш,t}$ (ГВт*хоног/тн)
MVP2.0, MVP-BURN, $T_{голомт} = 927^\circ\text{C}$				
JENDL-3.3	1.4939 (0.03)	33.06	32.9	133.7
SERPENT2.1.30, $T_{голомт} = 927^\circ\text{C}$				
ENDF/B-VI.8	1.4977 (0.04)	33.23	36.8	149.6
Тайлбар:				
$K_{эфф,0}$ алдаа	Реактор ажиллаж эхлэх үеийн $K_{эфф}$ статистик хазайлт			
ХИУ $\Delta k/k$	Реактивитийн хамгийн их утга			
$t_{голомт}$	Голомт дэх түлшний нэг циклийн үргэлжлэх хугацаа			
$V_{түлш,t}$	Нэг циклийн төгсгөлд түлшний шаталт			

Үр дүнгээс харахад SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцооллоорх голомтын нейтроник параметруудын утга нь MVP/GMVP2.0+JENDL-

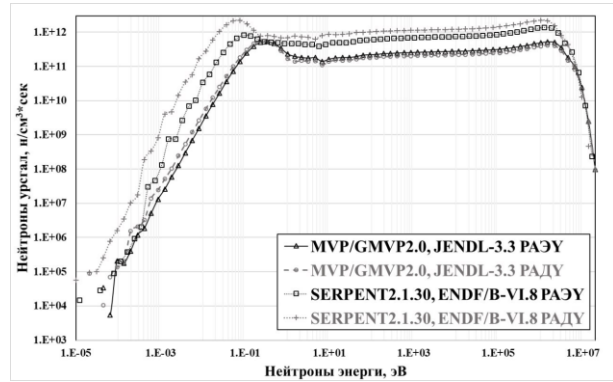
3.3 тооцооллоос гарган авсан утгаас их гарсан байна. Тухайлбал, SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцоололд реактор ажиллаж эхлэх үеийн нейтрон үржүүлэх эффектив факторын ($k_{эфф}$) болон реактивитийн утга ялимгүй ихэссэн байхад, голомтын нэг циклийн үргэлжлэх хугацаа 4 жилээр уртасч, түлшний шаталт 16 ГВт*хоног/тн хэмжээгээр ихэссэн байна.



Зураг 3. Голомтын нейтрон үржүүлэх эффектив факторын өөрчлөлт.

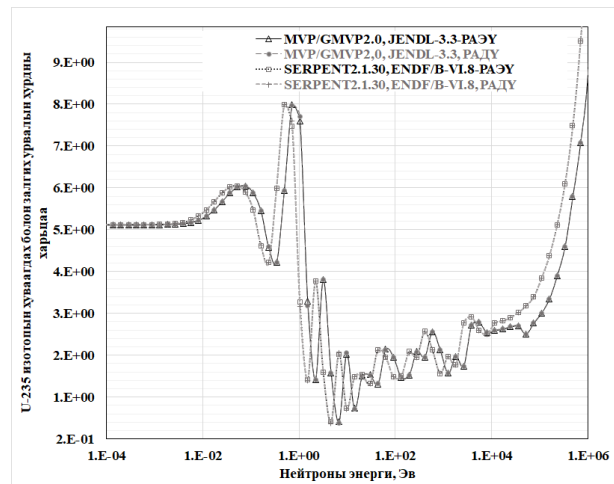
Ижил зарчмаар тооцоолдог дээрх симуляцын кодуудын хувьд тооцоололд ашиглаж байгаа цөмийн урвалын өгөгдлийн сангууд нь хоорондоо ялгаатай ба үүнээс хамааран нейтроник үзүүлэлтүүд өөрчлөгдөж байна гэж үзэв. Үүнийг тайлбарлахын тулд хэд хэдэн параметруудийг хооронд нь харьцуулая.

Зураг 4-д реактор ажиллаж эхлэх үе (РАЭУ) болон дуусах үе (РАДУ)-д голомт дэх нийт түлш даяарх нейтроны спектрийг харьцуулан харуулав. Зураг 4-өөс харахад SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцооллоос РАЭУ болон РАДУ-д түлш даяарх нейтроны урсгал нь нейтроны энергийн бүх мужид MVP+JENDL-3.3 тооцооллынхоос их бөгөөд спектр нь бага энергийн муж руу бага зэрэг шилжсэн байна. Энэ нь голомтын ажиллах бүх үед SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцоололд дулааны нейтроны хувь хэмжээ нөгөө тооцооллынхоос арай их байсан гэсэн үг. Иймд SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцоололд дулааны нейтроноор явагдах урвалууд илүү явагдаж голомтын нейтроник үзүүлэлтүүдийг нэмэгдүүлж байна. Үүнийг дараах үзүүлэлтүүдээр батлан тайлбарлая.

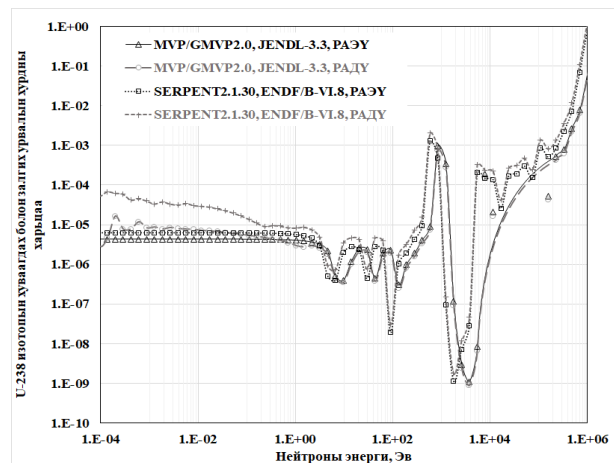


Зураг 4. РАЭУ болон РАДУ-д түлш даяарх нейтроны спектр.

Эхлээд түлш дэх ^{235}U , ^{238}U цөмийн хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцааг авч үзье.



Зураг 5. РАЭУ болон РАДУ-д ^{235}U -ын хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцаа нейтроны энергийгс хамаарах нь.



Зураг 6. РАЭУ болон РАДУ-д ^{238}U -ын хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцаа нейтроны энергийгс хамаарах нь.

Хоёр тооцоололд РАЭУ болон РАДУ-д голомт дахь ^{235}U болон ^{238}U -ын хуваагдах болон залгих

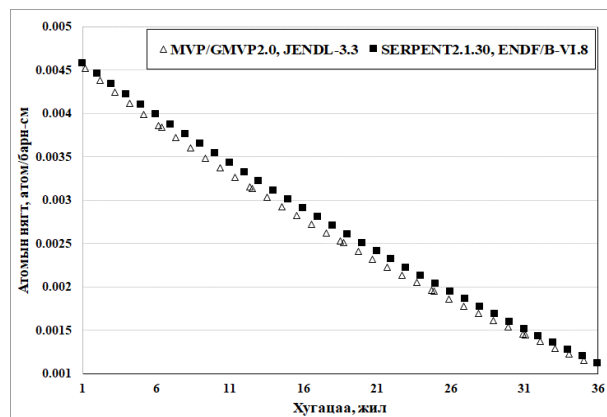
(n, γ) урвалын хурдны харьцааг нейтроны энергиэс хамааруулан тооцсон үр дүнг Зураг 5 болон Зураг 6-д тус тус харуулав.

Зураг 5, 6-аас харахад реакторын ажиллах хугацаанд (РАЭҮ болон РАДҮ) SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцоололд ураны үндсэн хоёр изотопын хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцаа нейтроны энергийн бараг бүх мужид их байна. Иймд Хүснэгт 2-т харуулсанчлан РАЭҮ-д эффектив нейтрон үржүүлэгч фактор болон реактивитийн хамгийн их утга нь SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцооллоор арай их гарсан нь энэ тооцоололд нейтроны спектр илүү “зөөлөн” (дулааны нейтроны хувь хэмжээ харьцангуй өндөр) байгаа бөгөөд ураны хуваагдагч болон хуваагдахуйц хоёр изотоп нейтроныг залгиад илүү хуваагдалд орж байгаатай холбоотой юм.

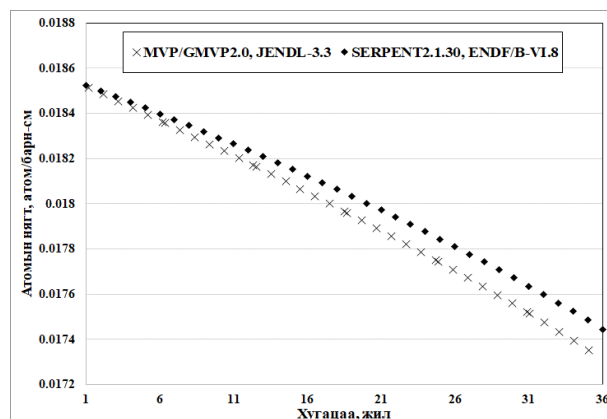
Түүнчлэн тухайн тооцооллын хувьд ^{235}U -ийн хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцааны спектр нь реактор ажиллах хугацааны турш бараг өөрчлөгдөөгүй байна. Харин хоёр тооцооллоор гаргасан ^{238}U -ийн хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцааны зөрүү нь РАДҮ-д бага энергийн мужид РАЭҮ-ийнхээс ихэссэн байна. Энэ нь Зураг 4-д харуулсанаар SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцооллоорх бага энергийн мужид нейтроны урсгал арай өндөр байгаагаас шалтгаалж байна [10]. Реактор ажиллах үед голомт дэх түлш шатан, энд нейтроноор хуваагдах болон залгих огтлол өндөртэй трансураны элементийн изотопууд мөн хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүд үүсдэгээс шалтгаалж голомт дэх нейтроны урсгал нь өөрчлөгддөг. Тухайлбал Зураг 7 болон 8-д хоёр тооцооллоор голомт дэх ^{235}U болон ^{238}U -ийн атомын нягтын хугацааны өөрчлөлтийг харуулжээ. ^{235}U болон ^{238}U -ийн атомын нягт нь MVP+JENDL-3.3 тооцоололд арай их хурдаар буурсан байна. Энэ нь Зураг 4-д харуулсан нейтроны спектр нь реактор ажиллах үед MVP+JENDL-3.3 тооцоололд арай “хатуу” (хурдан нейтроны хувь хэмжээ харьцангуй өндөр) байгаагаас шалтгаалж байна.

Мөн ^{238}U -ийн атомын нягт нь реактор ажилласнаас хойш 7 орчим жилийн дараагаас MVP+JENDL-3.3 тооцоололд илүү хурдтай буурсан байна. Энэ нь Зураг 6-д үзүүлснээр ^{238}U -

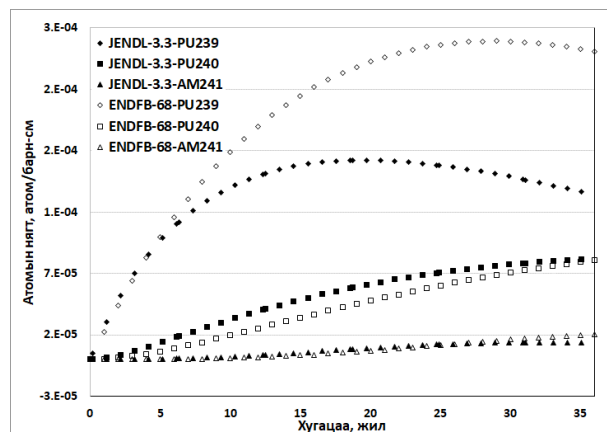
ийн хуваагдах болон залгих урвалын хурдны зөрүү реактор ажиллах тусам ялангуяа бага энергийн мужид ихэсч байгаагаас шалтгаална. Үүнээс гадна, хоёр тооцооллоорх голомтод үүссэн трансураны элементүүд болон хорлолт хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн атомын нягтын өөрчлөлтийг харьцуулан авч үзье.



Зураг 7. Реактор ажиллах үед ^{235}U -ийн атомын нягтын өөрчлөлт.

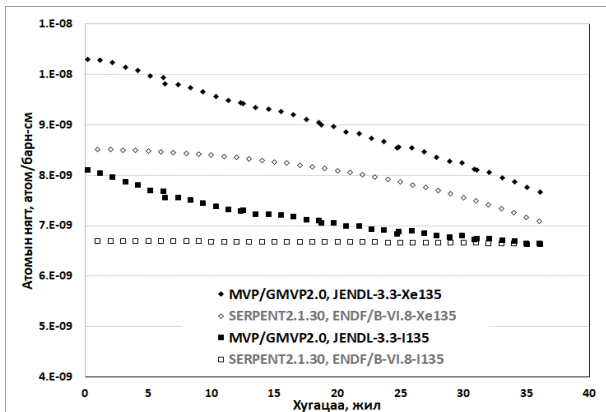


Зураг 8. Реактор ажиллах үед ^{238}U -ийн атомын нягтын өөрчлөлт.

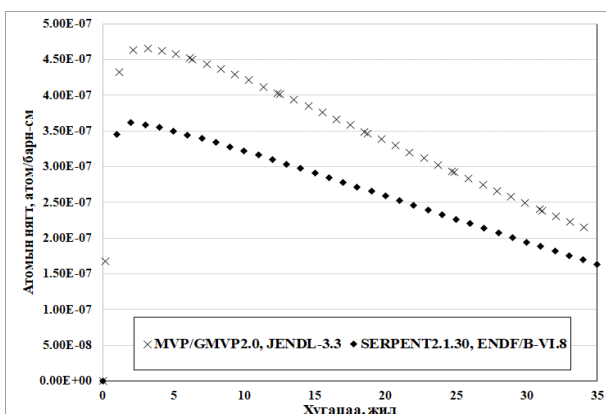


Зураг 9. Реактор ажиллах үед трансураны элементийн атомын нягтын өөрчлөлт.

Зураг 9-т харуулсан трансураны зарим элементийн атомын нягтын өөрчлөлтийг харвал ^{239}Pu -ын хэмжээ нь реактор ажиллаад долоон жил болсноос хойш хоёр тооцооллын үр дүн нилээд ялгаатай байгаа нь Зураг 8-д харуулсан ^{238}U -ийн атомын нягтын өөрчлөлтийн зөрүүтэй холбоотой. ^{239}Pu нь дулааны нейтроноор хуваагддаг изотоп тул голомтод үүссэн цагаасаа хуваагдалд орж голомтын нейтроник үзүүлэлтэд нөлөөлдөг тул Хүснэгт 2-т харуулсанаар SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцооллоор арай их хэмжээгээр үүсч буй ^{239}Pu нь голомтын ажиллах хугацааг ойролцоогоор 4 жилээр, түлшний шаталтыг 15.9 ГВт·хоног/тн-оор ихсэхэд нөлөөлсөн байна. Харин хоёр тооцооллоор ^{240}Pu , ^{241}Am изотопуудын голомтонд хуримтлагдах хэмжээ нь реактор ажиллах хугацаанд ойролцоо байна.



Зураг 10. Реактор ажиллах үед ^{135}I , ^{135}Xe хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн атомын нягтын өөрчлөлт.



Зураг 11. Реактор ажиллах үед ^{15}Sm хуваагдлын бүтээгдэхүүний атомын нягтын өөрчлөлт.

Одоо хоёр тооцоололд реактор ажиллах хугацааны турш голомт дахь хорлолт шинж чанартай хуваагдлын бүтээгдэхүүн болох ^{135}Xe (эх цөм нь ^{135}I), ^{149}Sm (эх цөм нь ^{149}Pm)-ийн

үүссэн хувь хэмжээг авч үзье. Эдгээрийг Зураг 10, Зураг 11-д тус тус харуулав.

Реактор ажиллах хугацаанд голомтонд үүссэн хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн хэмжээг харахад хугацаа өнгөрөх тусам SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцооллын утга нь MVP+JENDL-3.3 тооцооллын утгаас бага байна. Хорлолт хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүд нь дулааны нейтроныг ^{235}U цөмөөс илүү ихээр шингээдэг учраас нейтрон үржүүлэх эффектив фактор болон голомт дэх нейтроны урсгалд шууд нөлөөлдөг. Зураг 10, 11 дэх үр дүнгээс харвал өмнөх Хүснэгт 2 дэх голомтын нейтроник үзүүлэлтүүд, нейтроны урсгалын ялгаанд эдгээр хуваагдлын бүтээгдэхүүний нөлөө бас байсныг харж болно.

Иймд SERPENT2.1.30 кодыг ENDF/B-VI.8 цөмийн урвалын өгөгдлийн сантай ашиглан тооцоолол явуулахад хорлолт хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүд харьцангуй бага хэмжээгээр үүсч байгаа тул тэд голомт дэх нейтроны тоог арай багаар шингээснээр түлш даяарх нейтроны урсгал ихэсч, нейтроник үзүүлэлтүүд нь MVP+JENDL-3.3 тооцооллынхоос арай өндөр байхад бас нөлөөлж байна.

ДҮГНЭЛТ

1. Энэ ажилд 100 МВт дулааны чадалтай, төвдөө ойлгогчтой, ӨТХР-ын голомтын нейтроник тооцооллыг Монте Карло аргад суурилсан SERPENT2.1.30 кодыг цөмийн урвалын өгөгдлийн ENDF/B-VI.8 сантай ашиглан гүйцэтгэв.

2. SERPENT2.1.30 кодыг ENDF/B-VI.8 сантай ашиглахад нейтроны энергийн бүх мужид ураны хуваагдагч болон хуваагдахуйц изотопын хуваагдах болон залгих урвалын хурдны харьцаа ихэсч байгаа тул реактор ажиллаж эхлэх үед эффектив нейтрон үржүүлэгч фактор 0.03%-иар, реактивитийн хамгийн их утга 0.17%-иар ихэсэхэд нөлөөлж болохыг тогтоов.

3. Реактор ажиллах хугацааны туршид голомтод үүсч байгаа хорлолт хуваагдлын бүтээгдэхүүний хуримтлал нь MVP2.0 кодтой JENDL-3.3 санг ашигласан тооцоололд арай их байгаа нь голомтын нейтроник үзүүлэлтэд нөлөөлж болохыг тайлбарлав.

4. Голомтод үүсч байгаа ^{239}Pu -ийн хэмжээ SERPENT2.1.30+ENDF/B-VI.8 тооцоололд их

үүсч байгаа нь түлш дэх нейтроны урсгалыг ихэсгэх тул түлшний шаталтыг нэмэгдүүлж болохыг тайлбарлав.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлын бүх тооцооллыг МУИС-ийн Цөмийн Физикийн Судалгааны Төвд байрлах МИНАТО-СЕРВЕР дээр хийж гүйцэтгэв. Мөн энэхүү ажил нь “Монголд тохиромжтой дэвшилтэт цөмийн реакторын харьцуулсан судалгаа” сэдэвт төслийн хүрээнд хийгдсэн бөгөөд санхүүжүүлсэн БСШУСЯ, Шинжлэх ухаан, технологийн санд талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Т.Жамъянсүрэн, С.Одмаа, Н.Норов, Б.Мөнхбат. Бага чадлын өндөр температурын хийн реакторын голомтын дизайны судалгаа. Залуу судлаачдын эрдэм шинжилгээний бага хурал. Байгалийн ухааны салбар. 2016.10.29. Хүрэлтогоот-2016 эрдэм шинжилгээний хурлын эмхтгэл. Улаанбаатар. хх24-28.
- [2] S.Odmaa, T.Jamyansuren, O.Toru, N.Norov and B.Munkhbat. Design parameters in an annular, prismatic HTGR for passive decay heat removal. *Annals of Nuclear Energy*, 111 (2018) 441-448.
- [3] С. Одмаа, Т. Жамъянсүрэн, Н. Норов. Задралын дулаанаа идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай, төвдөө ойлгогчтой, өндөр температурын хийн хөргөлттэй реакторын

голомтын дизайны судалгаа. МУИС, *Физик*.25(478) 2017, 34-40

- [4] Т. Жамъянсүрэн, С. Одмаа, Цөмийн өгөгдлийн JENDL-3.3 болон JENDL-4.0 санг ашигласан үр дүнгийн харьцуулалт. МУИС, *Физик сэтгүүл* №26, 2018, хх-20-24
- [5] Nagaya Y et al. MVP/GMVP II: general-purpose Monte Carlo code for neutron and photon transport calculations based on continuous energy and multigroup methods. JAERI-1348. Japan: Japan Atomic Energy Research Institute; 2005.
- [6] Okumura K et al. MVP-BURN user's manual. Japan: Atomic Energy Agency; 2005.
- [7] K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, O. Iwamoto, J. Katakura, T. Fukahori, S. Chiba, A. Hasegawa, T. Murata, H. Matsunobu, T. Ohsawa, Y. Nakajima, T. Yoshida, A. Zukeran, M. Kawai, M. Baba, M. Ishikawa, T. Asami, T. Watanabe, Y. Watanabe, M. Igashiri, N. Yamamuro, H. Kitazawa, N. Yamano and H. Takano: “Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3,” *J. Nucl. Sci. Technol.* 39, 1125(2002)
- [8] J. Leppänen, “PSG2/ Serpent-A Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation code v2.1.30”
- [9] Cross section Evaluation working group, ENDFB-VI Summary Documentation, BNL-NCS-17541 (ENDF-201)
- [10] Comparison of Major Nuclear Data libraries – JENDL-3.3, ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VIIβ1.2 and JEDD-3.1, Keiichi SHIBATA.

WSe₂ –ийн гадаргуугийн сканнин туннелийн микроскопын судалгаа

Д.Отгонбаяр, Г.Мөнхсайхан*, Б.Одонтуяа, Д.Наранчимэг

*Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль
8-р хороо, Бага тойруу, Сүхбаатар дүүрэг, Улаанбаатар, Монгол улс, 14191*

Энэ ажилд балк WSe₂ –ийн гадаргуугийн шинж чанарыг сканнин туннелийн микроскопын (СТМ) тусламжтай судалсан. Судалгааны ажилд өндөр вакуумын камерт хуулалтын арга ашиглан атомын хэмжээний гөлгөр террас буюу шаталсан үет бүтэц бүхий WSe₂ дээжийн цэвэр гадаргууг гарган авч гадаргуугийн атомуудын кристалл бүтэц болон гадаргууд үүссэн хоёр төрлийн гажгийг илрүүлсэн. Эдгээр гажгууд нь гадаргуугийн доор байрлах вольфрамын атомуудын үед үүссэн гажгууд болохыг тогтоосон болно.

PACS numbers: 61.46.+w, 61.50.-f, 61.72.Ji, 61.82.Fk

Түлхүүр үг: Шилжилтийн металлын дихалкогенид, гадаргуугийн гажиг, хагас дамжуулагч.

ОРШИЛ

Вольфрамын диселенид буюу WSe₂ нь шилжилтийн металлын дихалкогенидын (ШМДХ) нэгэн төрөл материал болох MoS₂-ын адил балк болон дан үеийн шинж чанараар эрс ялгаатай байна. MoS₂ ба WSe₂ нь үелэх системийн VI бүлгийн нэгдлүүд бөгөөд балк хэлбэртээ ~1.2 эВ шууд бус хориотой бүсийн өргөнтэй байна [1, 2]. Гэвч WSe₂-ийн дан үеийн хувьд хориотой бүсийн өргөн нь ~1.6 эВ [3], MoS₂-ын хувьд ~1.7 эВ болж нэмэгддэг байна [4,5].

Механик хуулалтаар гарган авсан WSe₂-ийн дан үеийг оронт транзистор, гэрэл цацруулагч диод, нарны элемент зэрэг электроник болон оптоэлектроникийн олон салбарт ашиглаж байна [6,7]. WSe₂ кристалл нь үелсэн хагас дамжуулагч материал бөгөөд балк нь Se–W–Se буюу нягт өрөгдсөн Se атомуудын хоёр үеийн хооронд байрлах нягт өрөгдсөн W атомуудын нэг үеэс тогтдог. WSe₂-ийн дан үе бүрийн атомууд нь өөр хоорондоо ковалентын хүчтэй холбоогоор холбогддог бол Se–W–Se гэсэн үеүд нь хоорондоо Ван Дер Ваальсын сул харилцан үйлчлэлээр үйлчлэлддэг. WSe₂-ийн гексагональ кристалл бүтэц нь D6h 4-P63/mmc огторгуйн группт хамаардаг бөгөөд эгэл торын параметрууд нь a = b = 0.3282 нм, c = 1.2937 нм байна [8,9]. Ийм үелсэн материалын кристаллыг энгийн хуулалтын аргаар хуулж дан болон цөөн үеийг гарган авдаг. Энд 2H гэсэн политип нь

WSe₂-ийн хамгийн тогтвортой фаз бөгөөд H нь W атомууд нь тригональ призм хэлбэртэй байрлах гексагональ кристалл бүтэцтэй болохыг, 2 гэдэг тоо нь нэгж торонд агуулагдах Se–W–Se үеийн тоо болно.

ШМДХ-ийн шинж чанаруудыг тодруулах зорилгоор хоёр хэмжээст MoS₂, WSe₂ ба HfSe₂-ийн гадаргуугийн шинж чанарыг тодорхойлох судалгаанууд хийгдсэн байна [10-13]. Саяхны судалгаагаар балк MoS₂ кристаллын гадаргуугийн шинж чанарууд болох стохиометр, ажлын функц, хольцлолт зэрэг нь дээж бүрийн хувьд тэр дундаа нэг гадаргуугийн хувьд ч ялгаатай болохыг тогтоожээ [11,12]. Мөн шилжилтийн металлын сульфидүүд (MoS₂ ба WS₂) нь селенидуудтай (WSe₂ ба MoSe₂) харьцуулбал хэт хүчлээр идүүлсэний дараа урвалд бага ордог болох нь тогтоогджээ. Ингэж химийн боловсруулалтыг хүлээж авах чадвар харилцан адилгүй байгаа нь нягт болон гадаргуугийн гажгийн ялгаагаар тодорхойлогддог [14]. Мөн хагас дамжуулагчийн контакт болон интерфейс нь наноэлектроникийн төхөөрөмжийн гүйцэтгэлд чухал нөлөөлдөг.

Энэхүү судалгааны ажлаар СТМ-ын тусламжтай WSe₂-ийн гадаргуугийн шинж чанарыг атомын түвшинд тодорхойлох зорилго тавьсан болно.

ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

Судалгааны ажилд АНУ-ын “2D semiconductors” компани үйлдвэрлэсэн химийн ууршуулан

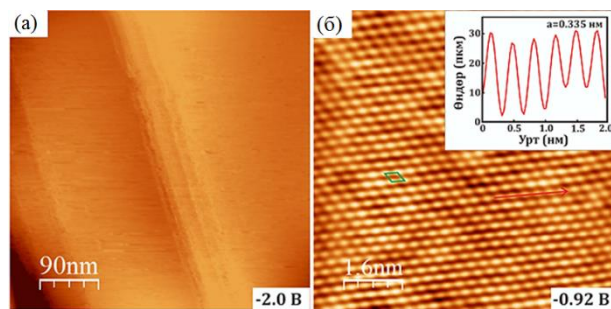
* Electronic address: munerd@yahoo.com

тунадасжуулалтын аргаар гарган авсан 99.9999% цэвэршилттэй WSe₂ кристаллыг ашигласан. Улмаар СТМ-ын туршилтанд зориулан уламжлалт хуулалтын арга ашиглан цөөн үе бүхий дээжийг гарган авсан. СТМ-ын туршилтад бэлтгэж гадаргын бохирдлыг арилгах зорилгоор дээжийн гадаргууд өндөр вакуумын зориулалт бүхий “kapton tape” гэж нэрлэгдэх скоч наасан. Скоч наасан дээжийг өндөр вакуумын камерт (UHV chamber) оруулж скочыг хуулах байдлаар цэвэр гадаргуу үүсгэсэн. СТМ-ын туршилтыг БНСУ-ын Стандарт ба Шинжлэх Ухааны Судалгааны Хүрээлэнгийн СТМ-ын лабораторийн RHK R9 электрон систем ба өөрсдийн угсарсан СТМ толгой бүхий СТМ систем ашиглан тасалгааны температурт гүйцэтгэсэн болно. Туршилт явуулах өндөр вакуумын камерын даралт 2.0×10^{-10} Торр байсан бөгөөд СТМ-ын зургуудыг тогтмол гүйдлийн горимд цахилгаан химийн идүүлэлтээр гарган авсан поликристалл W зүү ашиглан гарган авсан.

ҮР ДҮНГИЙН ХЭСЭГ

Зураг 1-д судлагдсан дээжийн цэвэр гадаргуугийн өргөн мужийн болон атомын түвшний нарийвчлал бүхий СТМ зургуудыг харуулав. Зураг 1а-аас үзвэл дээжийн гадаргууд наасан скочыг 2.0×10^{-10} Торр даралттай өндөр вакуумын камерт хуулсны дараагаар зуугаас хэдэн зуун нанометр өргөнтэй атомын хэмжээний гөлгөр шаталсан үет бүтэц бүхий цэвэр гадаргуу үүссэн болох нь харагдаж байна. Энэхүү өргөн шаталсан үет бүтцүүд дээрээс нарийвчлан хэмжилт хийж гарган авсан атомын түвшний нарийвчлал бүхий СТМ зургийг зураг 1б-д харуулсан болно. Зургаас үзвэл гадаргуу дээр селенийн атомуудын маш сайн эрэмбэлэгдсэн гексагональ бүтэц маш тодорхой харагдаж байна. Энэ зураг дээр дүрслэгдсэн гадаргуу дахь селенийн атомуудын эгэл торыг параллелограммаар тэмдэглэв. Зураг 1б-д сумтай улаан шугамын дагуу авсан шугамын профилийг (line profile) энэ зургийн дээд талд дүрслэн харуулав. Эндээс гадаргуу дахь селенийн атомуудын хоорондох зай буюу эгэл торын тогтмолыг нарийвчлал сайтай тодорхойлсон бөгөөд энэ утга нь 0.335 нм байв. Бриксер, Глемсер нарын судалгааны ажлуудад

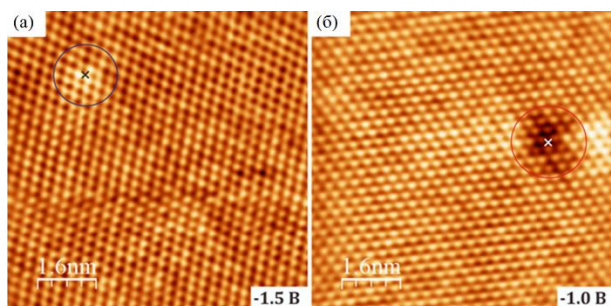
WSe₂ нь гексагональ кристалл бүтэцтэй бөгөөд торын тогтмолууд нь $a=b=0.3282$ нм ба $c=1.2937$ нм байдаг хэмээн тодорхойлсон байна [15, 16]. Харин бидний хэмжилтээр дээрх торын тогтмолууд нь дээрх судлаачдын үр дүнгээс 2% орчмоор их гарсан. Үүнийг хэмжилт гүйцэтгэсэн СТМ-ын пьезо хоолойн тохируулга болон СТМ-ын зураг авах үед хэмжилтийн зүүний шилжилтээс хамаарч үүссэн өөрчлөлтийн нөлөө байж болзошгүй гэж үзэж байна.



Зураг 1. WSe₂ дээжийн цэвэр гадаргуу. (а) Өргөн хэмжээс бүхий СТМ зураг. (б) Атомын түвшний нарийвчлал бүхий СТМ зураг. Гадаргуугийн эгэл торыг параллелограммаар тэмдэглэв.

Хэмжилтийн явцад WSe₂-ийн дээжийн гадаргууд зарим төрлийн гажгууд ажиглагдсан бөгөөд эдгээр гажгийн СТМ зургийг Зураг 2-д харуулав. Дээжинд сөрөг 1.5В хүчдэл өгч гарган авсан зургийг Зураг 2а-д үзүүлсэн. Зураг дээрээс гадаргуугийн зарим селенийн атомууд нь бусдаасаа илүү тод гэрэлтэй харагдаж байгааг харж болно. Дээжинд сөрөг 1.0В хүчдэл өгөхөд үүний эсрэг дүр төрх илэрсэн (Зураг 2б) бөгөөд энд гадаргын зарим селенийн атомууд илүү бараанаар харагдаж байна. Эдгээр гажгийг зураг дээр цагиргуудаар хүрээлж тодотгон харуулав. Үүний зэрэгцээ гажгуудын байрлалуудыг цагиргуудын төвд хэрээсээр тэмдэглэсэн болно. Бидний судалж буй материалтай төстэй хоёр хэмжээст шилжилтийн металлын дихалькогенид материалуудыг СТМ болон бусад гадаргуугийн судалгааны багажуудаар судалсан ажлуудад үүнтэй төсөөтэй гажгууд ажиглагддаг бөгөөд эдгээрийг нарийвчлан судалсан ажлууд нилээд хийгдсэн байдаг [17-21]. Р. Аддоу нарын судлаачдын MoTe₂-ийн хувьд гүйцэтгэсэн ажилд биднийхтэй ижил гажгууд илэрсэн ба дээрх судлаачид эдгээр гажгууд WSe₂ үеийн селенийн атомуудын хоёр үе хооронд сэндвич үүсгэх орших вольфрамын атомуудын үед

орших зарим W атомууд нь өөр донор болон акцептор атомуудаар солигдох үед гадаргуу дээр үүсдэг гажгууд болохыг баталжээ [20]. Иймд Зураг 2а-д илэрсэн гажиг нь дээжийн хасах хүчдэл бүхий зурагт тод гэрэлтэй цагаан харагдаж байгаа болон гажгийн гол төв цэг нь гадаргуугийн селенийн атомуудын хооронд байгааг тооцож үзвэл гадаргын Se атомуудын доод атомын үед орших W-ын атом нь вакуум дахь хүчилтөрөгч атом эсвэл ямар нэгэн өөр акцептор атомаар солигдоход үүсэж байгаа нь харагдаж байна. Үүний адилаар Зураг 2б-д бараантаж харагдаж буй гажгийн хувьд цэнэгийн түгэлт болон гажгийн байрлалаас нь харвал вольфрамын атом нь сугаран гарч зангилаа хоосон үлдсэний (W-ын ваканс) улмаас үүссэн гажиг болов уу хэмээн таамаглаж болохоор байна [21]. Цаашилбал хэмжилтийн явцад эдгээр гажгууд нь цөөхөн ажиглагдсан ба хэмжилтээр гол төлөв ямар нэгэн гажиг болон бохирдолгүй маш сайн эрэмблэгдсэн селенийн атомууд бүхий гадаргуу ажиглагдсан болно.



Зураг 2. WSe_2 дээжийн гадаргуугийн гажгууд. (а) Дээжийн гадаргуугаас доорх үе дэх акцептор атомын үүсгэсэн гажиг. Зураг дээр гажгийг цагиргаар хүрээлж тэмдэглэв. (б) Дээжийн гадаргуугаас доорх үе дэх W атомын үүсгэж буй вакансын гажиг. Зураг дээр гажгийг цагиргаар хүрээлж тэмдэглэв.

ДҮГНЭЛТ

Энэ ажилд WSe_2 -ийн гадаргууд хийсэн сканнин туннелийн микроскопын судалгааны үр дүнг танилцууллаа.

Ажлын хүрээнд өндөр вакуумын камерт хуулалтын арга ашиглан хэдэн зуун нанометр өргөнтэй атомын хэмжээний гөлгөр шаталсан үет бүтэц бүхий WSe_2 дээжийн цэвэр гадаргууг гарган авсан. Шаталсан үет бүтэц дээр атомын түвшинд нарийвчлан авсан СТМ-ын хэмжилтээр гадаргуугийн атомуудын кристалл бүтэц болон

гадаргууд үүссэн хоёр төрлийн гажгийг илрүүлсэн бөгөөд энэ гажгууд нь гадаргуугийн доор байрлах вольфрамын атомын үед үүссэн гажгууд болохыг тогтоосон болно.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлыг ШУТСангийн “Нанохэмжээст вольфрам болон молибдений диселенид гарган авах судалгаа” (ШУС-2019/08) сэдэвт төслийн санхүүжилтээр гүйцэтгэсэн болно.

СТМ-ын туршилтыг явуулах бололцоогоор хангасан БНСУ-ын Стандарт ба Шинжлэх Ухааны Судалгааны Хүрээлэнгийн СТМ-ын лабораторийн хамт олонд талархал илэрхийлж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Deshpande, M. P.; Solanki, G. K.; Agarwal, M. K. Optical BandGap in Tungsten Diselenide Single Crystals Intercalated by Indium. *Mater. Lett.* 2000, 43, 66–72.
- [2] Addou, R.; Colombo, L.; Wallace, R. M. Surface Defects on Natural MoS_2 . *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2015, 7, 11921–11929.
- [3] Anedda, A.; Fortin, E.; Raga, F. Optical Spectra in WSe_2 . *Can. J. Phys.* 1979, 57, 368–374.
- [4] Lin, Y.-C.; Chang, C.-Y. S.; Ghosh, R. K.; Liand, J.; Zhu, H.; Addou, R.; Diaconescu, B.; Ohta, T.; Peng, X.; Lu, N.; Kim, M. J.; Robinson, J. T.; Wallace, R. M.; Mayer, T. S.; Datta, S.; Li, L.-J.; Robinson, J. A. Atomically Thin Heterostructures Based on SingleLayer Tungsten Diselenide and Graphene. *Nano Lett.* 2014, 14, 6936–6941.
- [5] Kam, K. K.; Parkinson, B. A. Detailed Photocurrent Spectroscopy of the Semiconducting Group-VIB Transition-Metal Dichalcogenides. *J. Phys. Chem.* 1982, 86, 463.
- [6] Fang, H.; Chuang, S.; Chang, T. C.; Takei, K.; Takahashi, T.; Javey, A. High-Performance Single Layered WSe_2 p-FETs with Chemically Doped Contacts. *Nano Lett.* 2012, 12, 3788–3792.
- [7] Ross, J. S.; Klement, P.; Jones, A. M.; Ghimire, N. J.; Yan, J. Q.; Mandrus, D. G.; Taniguchi, T.; Watanabe, K.; Kitamura, K.; Yao, W.; Cobden, D. H.; Xu, X. Electrically Tunable

- Excitonic Light-Emitting Diodes Based on Monolayer WSe₂ p-n Junctions. *Nat. Nanotechnol.* 2014, 9, 268–272.
- [8] Wilson, J. A.; Yoffe, A. D. The Transition Metal Dichalcogenides Discussion and Interpretation of the Observed Optical, Electrical and Structural Properties. *Adv. Phys.* 1969, 18, 193–335.
- [9] Brixner, L. H. Preparation and Properties of the Single Crystalline AB₂-type Selenides and Tellurides of Niobium, Tantalum, Molybdenum and Tungsten. *J. Inorg. Nucl. Chem.* 1962, 24, 257.
- [10] Glemser, O.; Sauer, H.; König, P. The Sulfides and Selenides of Tungsten. *Z. Anorg. Chem.* 1948, 257, 241–246.
- [11] Addou, R.; McDonnell, S.; Barrera, D.; Guo, Z.; Azcatl, A.; Wang, J.; Zhu, H.; Hinkle, C. L.; Quevedo-Lopez, M.; Alshareef, H. N.; Colombo, L.; Hsu, J. W. P.; Wallace, R. M. Impurities and Electronic Property Variations of Natural MoS₂ Crystal Surfaces. *ACS Nano* 2015, 9, 9124–9133.
- [12] McDonnell, S.; Addou, R.; Buie, C.; Wallace, R. M.; Hinkle, C. L. Defect-Dominated Doping and Contact Resistance in MoS₂. *ACS Nano* 2014, 8, 2880–2888.
- [13] Lin, Y.-C.; Ghosh, R. K.; Addou, R.; Lu, N.; Eichfeld, S. M.; Zhu, H.; Li, M.-Y.; Peng, X.; Kim, M. J.; Li, L.-J.; Wallace, R. M.; Datta, S.; Robinson, J. A. Atomically Thin Resonant Tunnel Diodes Built from Synthetic Van der Waals Heterostructures. *Nat. Commun.* 2015, 6, 7311.
- [14] Amani, M.; Addou, R.; Ahn, G. H.; Kiriya, D.; Taheri, P.; Lien, D.-H.; Ager, J. W.; Wallace, R. M.; Javey, A. Recombination Kinetics and Effects of Superacid Treatment in Sulfur and Selenium Based Transition Metal Dichalcogenides. *Nano Lett.* 2016, 16, 2786–2791.
- [15] Brixner, L. H. Preparation and Properties of the Single Crystalline AB₂-type Selenides and Tellurides of Niobium, Tantalum, Molybdenum and Tungsten. *J. Inorg. Nucl. Chem.* 1962, 24, 257.
- [16] Glemser, O.; Sauer, H.; König, P. The Sulfides and Selenides of Tungsten. *Z. Anorg. Chem.* 1948, 257, 241–246.
- [17] Sommerhalter, Ch.; Matthes, Th. W.; Boneberg, J.; Lux-Steiner, M. Ch.; Leiderer, P. Investigation of Acceptors in p-type WS₂ by Standard and Photo-Assisted Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy. *Appl. Surf. Sci.* 1999, 144–145, 564–569.
- [18] Klein, A.; Dolatzoglou, P.; Lux-Steiner, M.; Bucher, E. Influence of Material Synthesis and Doping on the Transport Properties of WSe₂ Single Crystals Grown by Selenium Transport. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 1997, 46, 175–186.
- [19] Matthes, Th. W.; Sommerhalter, Ch.; Rettenberger, A.; Bruker, P.; Boneberg, J.; Lux-Steiner, M. C.; Leiderer, P. Imaging of Dopants in Surface and Sub-Surface Layers of the Transition Metal Dichalcogenides WS₂ and WSe₂ by Scanning Tunneling Microscopy. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process.* 1998, 66, 1007–1011.
- [20] Addou, R.; Wallace, R. M. Surface Analysis of WSe₂ Crystals: Spatial and Electronic Variability. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2016, 8, 26400–26406.
- [21] Zhang, Ch.; Wang, C.; Yang, F.; Huang, J. K.; Li, L. J.; Yao, W.; Ji, W.; Shih, Ch. K. Engineering Point-Defect States in Monolayer WSe₂. *ACS Nano* 2019, 13, 1595–1602.

$(\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x})\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ нунтаг материал гарган авах болон түүний гэрлийн цацаргалтын судалгаа

С.Баасанжав¹, Цогхүү², Н.Төвжаргал^{1*}, Ж.Даваасамбуу¹, О.Төгс²

¹Монгол улс, Улаанбаатар хот 14210, Монгол Улсын Их Сургууль,
Шинжлэх ухааны сургуулийн Физикийн тэнхим

²БНХАУ, Хөх хот, Өвөр Монголын багийн их сургуулийн
Функционал материалын физик, химийн төв лаборатори

Энэ ажлаар улаан гэрэл цацруулагч $(\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x})\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ нунтаг материалыг тодорхой мольн харьцаа бүхий Si_3N_4 , Sr_3N_2 , Ca_3N_2 нитридүүд болон EuB_6 дээж ашиглан хатуу төлөвийн урвалын аргаар Ca болон Sr-ийн янз бүрийн концентрацтай гарган авав. Рентген дифракцын хэмжилтийн үр дүнгээс үзэхэд $x = 1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.59, 0.5, 0.4$ тохиолдлуудад цэвэршил өндөртэй дээжүүд амжилттай гаргаж авсан болох нь харагдаж байна. $(\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x})\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ дээж нь улаан гэрлийн цацаргалт хийх бөгөөд x -ийн хэмжээнээс хамааран улаан гэрлийн долгионы урт 580 нм-ээс 620 нм хооронд өөрчлөгдөж улаан шилжилт хийж байгааг үзүүлэв.

PACS numbers: 42.72.-g, 85.60.Jb, 42.25.Bs

I. Удиртгал

Хатуу төлөвийн гэрэлтүүлгийн технологид гэрэл цацруулагч(люминисцент) материалуудыг ашиглаж эхэлсэн нь үсрэнгүй хөгжлийн үндэс болсон. Үүнтэй холбоотойгоор гэрэлтүүлэг, дэлгэцийн технологид зориулсан цагаан гэрэл цацаргагч диод(wLED)-ын хөгжилд гэрэлтэгч нитрид материалууд чухал үүрэг гүйцэтгэж байна. Нитрид материалуудын бүтэц, найрлагыг өөрчлөх замаар түүний гэрэл цацруулагч шинж чанарыг хувиргалтын өндөр үр ашигтай, бага дулааны эффекттэй байхаар удирдан тохируулж болдог. Иймээс судлаачид шинэ гэрэл цацруулагч нитрид материал гарган авах болон тэдний гэрэл цацруулагч шинж чанарыг сайжруулах, хатуу төлөвийн гэрэлтүүлэг(LED, лазер г.м)-ийн янз бүрийн хэрэглээнд зориулсан судалгааг сүүлийн жилүүдэд маш эрчимтэй хийж байна[1–4].

Өндөр гэрэл цацруулагч чанар бүхий хатуу төлөвийн лазер гэрэлтүүлгийн технологид керамик материал шинэ боломжуудыг бий болгож байна[5]. Лазер диод(LD) нь гэрэл цацруулагч диод(LED)-тай харьцуулахад өндөр чадал бүхий лазераар гэрэлтүүлж, гаралтад өндөр эрчих бүхий гэрэл цацруулдагаараа онцгой байдаг. Лазер гэрэлтүүлгийн технологид, лазер диодоор үүсгэсэн цэнхэр өнгийн лазерын цацрагийг өөр гэрэлтэгч материал дээр нарийн фокуслан тусгахад тэндээс өндөр эрчимтэй лазерын гэрэл цацаргах тул энд уламжлалт гэрэл цацруулагч диодын технологид ашиглагдах полимерт гэрэл цацруулагч суулгах аргыг ашиглах боломжгүй юм. Иймээс лазерын гэрэлтүүлгийн төхөөрөмжийг дулааны эффектгүй ашиглах шинэлэг материал хэрэгтэй болдог. Шилэнд гэрэл цацруулагч суулгах арга нь

шилэн хэв материалд гэрэл үүсгэгч нунтгийг тодорхой хэмжээний тархалттай суулгах арга шинэ тутам хөгжиж байна[6]. Органик полимертэй харьцуулахад шилний дулаан дамжуулалт болон дулааны эсэргүүцэл илүү байдаг[7].

Мөн дулааны эффект, квант үр ашиг зэрэг люминисцентийн шинж чанарын сайжруулалт хийснээр гэрэл цацруулагч керамик материалууд шилэнд гэрэл цацруулагч суулгах технологиос олон давуу талуудтай болох ба ийм керамик материалуудын нэг бол $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$ нитрид юм[8]. Энэ төрлийн материалыг гарган авах, гэрлийн цацаргалтыг судлах ажлыг өмнө бид гүйцэтгэж байсан[9].

Янз бүрийн гэрэл цацруулагч нитрид материалыг гарган авахдаа нитрид нэгдлүүд(AlN_4 , SiN_4 , MgN_4 , LiN_4 , GaN_4 , GeN_4 , CN_4 , PN_4 г.м)-ийг агуулсан бүтцүүдийг ихэвчлэн ашигладаг. Иймээс эдгээрийг маш олон янзын комбинацаар гарган авах туршилтуудыг гүйцэтгэх боломжтой.

Түүнчлэн, гэрэл цацруулагч материалууд нь янз бүрийн люминисцентийн төвүүдтэй байж болох бөгөөд тэдгээрийг гэрэл цацруулагч нитрид материалуудыг Eu^{2+} хольцот, Ce^{3+} хольцот, идэвхжүүлэгчгүй болон бусад идэвхжүүлэгчээр чанаржуулсан гэж ангилж болно[10]. Eu^{2+} нь гэрэл цацруулагч материалын идэвхжүүлэгчээр хамгийн өргөн ашиглагддаг элементийн нэг бөгөөд энэ түүний тэгш-зөвшөөрөгдсөн $4f^7 \longleftrightarrow 4f^6 5d^1$ төлөвүүдийн электроны шилжилт, өндөр хэлбэлзлийн хүч(10^{-2})-тэй холбоотой үүсэх эрчим ихтэй, өргөн фотолюминисцентийн спектртэй холбоотой. Eu^{2+} ионы 5d төлөвийн электронууд нь бүрэн дүүрээгүй байдаг тул энергийн төвшнүүд нь сууж буй орчны байдлаас хүчтэй хамаардаг. Тиймээс Eu^{2+} -ийн гэрлийн цацаргалтыг хэт ягаан, хөх, ногоон, шар, улаан хүртэл маш өргөн мужид өөрчилж болно[11].

Eu^{2+} -аар идэвхжүүлсэн $\text{M}_2\text{Si}_5\text{N}_8$ ($\text{M}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) материал нь маш өргөн өдөөлтийн бүстэй,

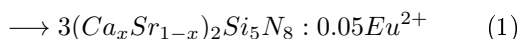
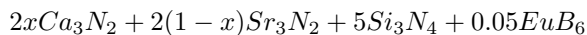
*E-mail: tuvjargal@num.edu.mn

гэрлийн цацаргалтыг нь тохируулж удирдах боломжтой, өндөр квант үр ашигтай зэрэг олон сайн шинж чанартай чухал улаан гэрэл цацруулагч материал болох нь тогтоогдоод байна[12–16].

Иймээс энэ ажлаар улаан гэрэл цацруулагч $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ материалыг тодорхой молийн харьцаа бүхий Si_3N_4 , EuB_6 , Sr_3N_2 болон Ca_3N_2 нитридүүдийг ашиглан хатуу төлөвийн урвалын аргаар Ca болон Sr-ийн янз бүрийн концентрацтай гарган авч, түүний гэрлийн цацаргалт Ca болон Sr-ийн хэмжээнээс хамааран хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг судлах зорилготой.

II. Туршилт

$(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ -ийг гарган авахдаа хатуу төлөвийн урвалын аргаар тодорхой молийн харьцаа бүхий Si_3N_4 , EuB_6 , Sr_3N_2 болон Ca_3N_2 нитридүүдийг ашиглан тэгш.(1)-д үзүүлсэн урвалын тэгшитгэлийн дагуу гарган авна.



Ингэхдээ $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ - ийг Ca болон Sr-ийн хэмжээ x -ээс хамааруулан гарган авахад шаардагдах нитридүүдийн хэмжээг тэгш.1-ийн дагуу тооцсоныг хүснэгт.1-д үзүүлэв.

Хүснэгт I: Янз бүрийн x агуулга бүхий $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ -ийг гарган авах нитридүүдийн хэмжээ

№	Ca ₃ Na ₂ (г)	Sr ₃ Na ₂ (г)	Si ₃ Na ₂ (г)	EB ₆ (г)	x
1	3.00	0.0	5.67	0.331	1.0
2	2.28	0.5	4.79	0.280	0.9
3	2.02	1.0	4.79	0.280	0.8
4	1.77	1.5	4.79	0.280	0.7
5	1.45	2.0	4.79	0.280	0.6
6	1.26	2.5	4.79	0.280	0.5
7	1.01	3.0	4.79	0.280	0.4
8	0.00	3.5	2.87	0.168	0.0

Sr_3N_2 , Ca_3N_2 нэгдлүүд нь агаарт амархан исэлддэг материал тул тодорхой молийн харьцаагаар бэлтгэсэн дээжүүдийг исэлдлээс хамгаалж Glove box-т нэгэн төрөл болтол нунтаглаж хольж өгөх бөгөөд ингэхдээ урвалжид шаардагдах бүх зүйлсийг Glove box-ийн дамжуулах хоолойн хэсэгт N_2 -оор гурван удаа угааж ариутгана. Нэгэн төрөл болтол хольж бэлтгэсэн дээжүүдээ өндөр цэвэршилтэй N_2 орчин бүхий шатаах зууханд дараах горимын дагуу шатааж бэлтгэнэ. Үүнд:

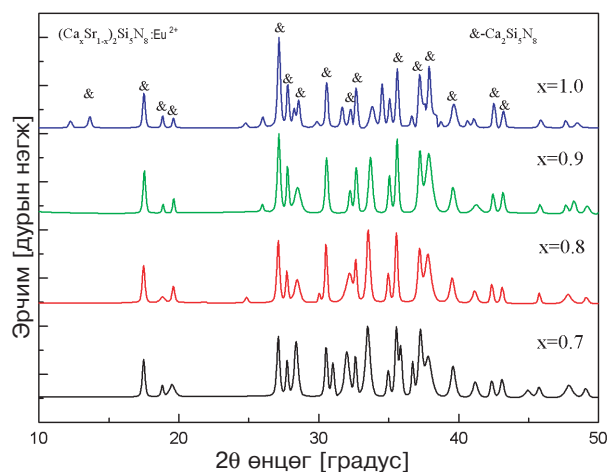
- $0^\circ C$ -ээс $\sim 800^\circ C$ хүртэл нэг цаг халаана
- $\sim 800^\circ C$ температурт 30 минут шатаана
- $800^\circ C$ -ээс $\sim 1550^\circ C$ хүртэл 80 минут халаана
- $\sim 1550^\circ C$ температурт 4 цаг шатаана
- Эцэст нь тасалгааны температур хүртэл аажим хөргөнө.

Энэ шатлан шатаах процесс нь урвалын горимыг тохируулах зорилготой хатуу төлөвийн урвал явуулахад түгээмэл хэрэглэдэг арга юм.

Дээжийн цэвэршилт болон кристалжилтыг тасалгааны температурт Cu анод бүхий Shimadzu MAXima X XRD7000 нунтаг дээжийн рентген дифрактометр, гэрлийн цацаргалтыг дээжийг тодорхой долгионы урт бүхий гэрлээр өдөөж HITACHI F-4600 спектрофотометр ашиглан хэмжинэ.

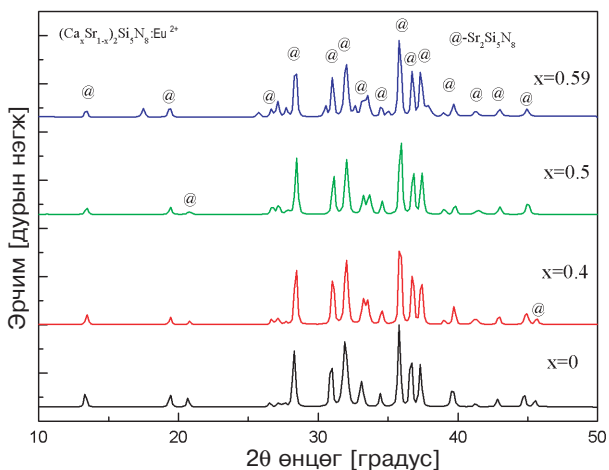
III. Үр дүн

$(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ ($x=0, 0.4, 0.5, 0.59, 0.7, 0.8, 0.9, 1$) нунтаг дээжүүдийн цэвэршилт болон кристалжилтыг шалгасан рентген дифракцын хэмжилтийн үр дүнг зураг 1, 2-т үзүүлэв. Зураг.1-д $\&$ -ээр тэмдэглэсэн пикүүд нь $Sr_2Si_5N_8$ бол зураг.2-т \textcircled{a} -ээр тэмдэглэсэн пикүүд нь $Ca_2Si_5N_8$ болно.



Зураг 1: $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ ($x=1.0, 0.9, 0.8, 0.7$) дээжүүдийн рентген дифракцын спектр, энд $\&$ -өөр тэмдэглэсэн пикүүд нь $Ca_2Si_5N_8$ болно

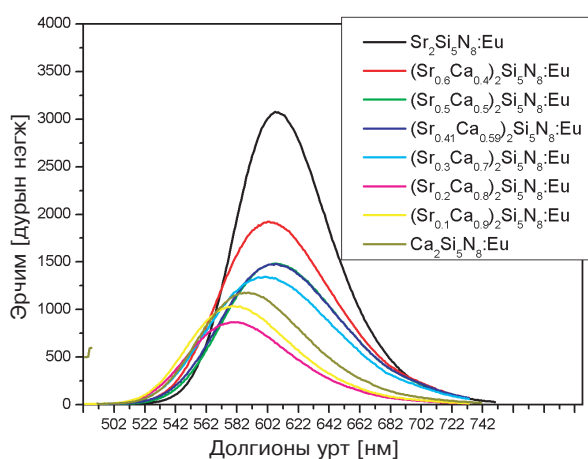
Хэмжилтийн үр дүнг $SrSi_5N_8$ -ийн кристаллографийн өгөгдөлтэй жишиж Ритвелдын арга ашиглан боловсруулалт хийж $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ системийн кристалл бүтэц нь орторомбик, огторгуйн групп нь $Pmn2_1$, эгэл торын параметрууд нь $a=5.7069(1)\text{\AA}$,



Зураг 2: $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ ($x=0.59, 0.5, 0.4, 0$) дээжүүдийн рентген дифракцын спектр, энд @-өөр тэмдэглэсэн пикууд нь $Sr_2Si_5N_8$ болно

$b=6.8142(1)\text{\AA}$, $c=9.3269(1)\text{\AA}$ гэж тодорхойлов. Энд Eu^{2+} ион болон Ca атомууд нь $SrSi_5N_8$ системийн Sr-ийн атомын байрлалд халж суух бөгөөд яг аль байрлалд сууж байгааг тодорхойлох боломжгүй. Эндээс үзэхэд хангалттай сайн цэвэршилт болон кристалжилттай дээжүүд гарган авч чадсан болох нь туршилтын үр дүн, бусад судлаачдын ажлаас харагдаж байна[13].

Зураг 3-т $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ ($x=0, 0.4, 0.5, 0.59, 0.7, 0.8, 0.9, 1$) материалд $\lambda=450\text{nm}$ долгионы урт бүхий цэнхэр гэрлийн өдөөлтөөр үүсэх цацаргалтын спектрийг спектрофотометр ашиглан хэмжсэн хэмжилтийн үр дүнг үзүүлэв.



Зураг 3: $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ ($x=0, 0.4, 0.5, 0.59, 0.7, 0.8, 0.9, 1$) материалын цэнхэр гэрлийн($\lambda=450\text{nm}$) өдөөлтөөр үүсэх цацаргалтын спектр

$(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ дээжүүдийн цацаргаж байгаа улаан-улбар шар цацаргалтын төвүүд нь x -ийн хэмжээнээс хамааран 580nm -ээс 620nm долгионы уртын хооронд өөрчлөгдөж улаан шил-

жилт хийж байна. Энэ цацаргалт нь Eu^{2+} ионы $4f^7 \rightarrow 4f^65d^1$ төлөвүүдийн хоорондох электроны шилжилттэй холбоотой. Энэ гэрлийн цацаргалтын максимумын шилжилт нь $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ материал дахь Eu^{2+} ионы лиганд кристалл орны салалттай холбоотой.

Ca-ийн ионы радиус $\sim 0.114\text{nm}$, Sr-ийн ионы радиус $\sim 0.1\text{nm}$ орчим байдаг бөгөөд $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ дээж дэх Ca болон Sr-ийн хэмжээнээс хамааран торын параметр болон Eu^{2+} ионы кристалл орны харилцан үйлчлэл өөрчлөгддөг. Торын хэмжээ томрох тусам кристалл орны харилцан үйлчлэл суларч, кристалл орны салалт багасдаг бол торын хэмжээ багасах тусам кристалл орны харилцан үйлчлэл чангарч, кристалл орны салалт ихэсдэг байна. Үүнтэй холбоотойгоор $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ дээж дэх Ca болон Sr-ийн концентрацаас хамааран цацаргалтын спектр өөрчлөгдөж байна.

IV. Дүгнэлт

Энэ ажлаар улаан гэрэл цацруулагч $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ нитрид материалыг тодорхой молийн харьцаа бүхий Si_3N_4 , Sr_3N_2 , Ca_3N_2 нитридүүд болон EuB_6 дээж ашиглан хатуу төлөвийн урвалын аргаар Ca болон Sr-ийн янз бүрийн концентрацтай байхаар өндөр цэвэршил бүхий N_2 хийн орчинд 1550°C температурт шатааж гарган авч түүний цацаргалтын шинж чанарыг судалсан үр дүнг үзүүлэв. Рентген дифракцын хэмжилтийн үр дүнгээс цэвэршил өндөртэй, кристалжилт сайтай гарган Ca болон Sr-ийн янз бүрийн концентрацтай нунтаг нитрид материал гарган авсан болох нь харагдаж байна.

Түүнчлэн $(Ca_xSr_{1-x})Si_5N_8:Eu^{2+}$ материал $\lambda = 450\text{nm}$ долгионы урт бүхий цэнхэр гэрлийн өдөөлтөөр улаан-улбар шар гэрлийн мужид цацаргалт хийх бөгөөд x -ийн хэмжээнээс хамааран улаан гэрлийн долгионы урт 580 -ээс 620nm хооронд өөрчлөгдөж улаан шилжилт хийж байгааг тогтоов.

Талархал

Энэхүү ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж "Үзэгдэх гэрлийн мужид цацаргах шинэ төрлийн лазерын материал гарган авах, түүний шинж чанарын судалгаа" суурь судалгааны төслийг санхүүжүүлсэн ШУТС болон БСШУС -ийн яам, P2019-3738 зочин судлаачдын судалгааны тэтгэлгийг санхүүжүүлсэн МУИС, туршилтын ажлыг хамтран гүйцэтгэсэн БНХАУ-ийн ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн Функционал материалын физик, химийн төв лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

-
- [1] Schubert.E.F, Kim.J.K, Solid-State Light Sources Getting Smart. Science 2005, 308, 1274–1278.
- [2] Pimputkar.S, Speck.J.S, DenBaars.S.P, Nakamura.S, Prospects for LED Lighting. Nat. Photonics 2009, 3, 180–182.
- [3] Xie.R.-J, Li.Y.Q, Yamamoto.H, Hirosaki.N, Nitride Phosphors and Solid State Lighting; CRC Press, 2011.
- [4] Lin.C.C, Liu.R.-S, Advances in Phosphors for Light-emitting Diodes. J. Phys. Chem. Lett. 2011, 2, 1268–1277.
- [5] Wierer.J.J, Tsao.J.Y and Sizov.D.S, Laser Photonics Rev., 2013, 7, 963.
- [6] D. Chen, W. Xiang, X. Liang, J. Zhong, H. Yu, M. Ding, H. Lu and Z. Ji, J. Eur. Ceram. Soc., 2015, 35, 859.
- [7] M. Raukas, J. Kelso, Y. Zheng, K. Bergenek, D. Eisert, A. Linkov and F. Jermann, ECS J. Solid State Sci. Technol., 2013, 2, 3168.
- [8] Shuxing Li, Daiming Tang, Zifeng Tian, Xuejian Liu, Takashi Takeda, Naoto Hirosaki, Fangfang Xu, Zhengren Huang and Rong-Jun Xie, J. Mater. Chem. C, 2017, 5, 1042–1051
- [9] Н.Төвжаргал, Б.Алтантулга, Цогхүү, О.Төгс, Ж.Даваасамбуу, “CaAlSiN₃:xEu²⁺-ийг гарган авах болон түүний гэрлийн цацаргалтын судалгаа” Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences Vol. 57 No 03(223), х51, 2017
- [10] Le Wang, Rong-Jun Xie, Takayuki Suehiro, et al, Down-Conversion Nitride Materials for Solid State Lighting: Recent Advances and Perspectives; Chem. Rev. 2018, 118, 4, 1951-2009
- [11] McKittrick.J, Shea-Rohwer.L.E, Review: Down Conversion Materials for Solid-State Lighting. J. Am. Ceram. Soc. 2014, 97, 1327–1352.
- [12] Hoppe.H. A, Lutz.H, Morys.P, Schnick.W, Seilmeier.A, Luminescence in Eu²⁺-doped Ba₂Si₅N₈: Fluorescence, Thermoluminescence and Upconversion. J. Phys. Chem. Solids 2000, 61, 2001–2006.
- [13] Li.Y. Q, van Steen.J.E.J, van Kreveld.J.W.H, Botty.G, Delsing.A.C.A, DiSalvo.F.J, de With.G, Hintzen.H.T, Luminescence Properties of Red-Emitting M₂Si₅N₈:Eu²⁺ (M = Ca, Sr, Ba) LED Conversion Phosphors. J. Alloys Compd. 2006, 417, 273–279.
- [14] Suehiro.T, Hirosaki.N, Xie.R.-J, Mitomo.M, Powder Synthesis of Ca-α-SiAlON as a Host Material for Phosphors. Chem. Mater. 2005, 17, 308–314.
- [15] Piao.X.Q, Horikawa.T, Hanzawa.H, Machida.K, Characterization and Luminescence Properties of Sr₂Si₅N₈:Eu²⁺ Phosphor for White Light-Emitting-Diode Illumination. Appl. Phys. Lett. 2006, 88, 161908.
- [16] Xie.R.-J, Hirosaki.N, Suehiro.T, Xu.F.F, Mitomo.M.A, Simple, Efficient Synthetic Route to Sr₂Si₅N₈:Eu²⁺-Based Red Phosphors for White Light-Emitting Diodes. Chem. Mater. 2006, 18, 5578.

Структура и электрические свойства на переменном токе титан-фуллереновых пленок

Шпилевский Э.М.¹, Филатов С.А.¹, Филатова О.С.¹, Замковец А.Д.², Шилагарди Г.³, Улам-Оргих Д.³, Тимур-Батор Д.³, Мунхцецег С.³, Эрдэнэбатор Д.³, Тувшинтур П.^{3*}

¹ Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, г Минск, Республика Беларусь

² Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г Минск, Республика Беларусь

³ Национального университета Монголии, Улан-Батор, Монголия

Фуллерены благодаря способности структурировать прилегающие к ним молекулы, обеспечивают многообразие возможных конструкций элементов структуры, выступают инструментом формирования новых материалов [1]. Перспективы использования фуллереносодержащих материалов в микро- и нанoeлектронике выдвигают задачи всестороннего исследования свойств сплавов фуллеренов с широко применяемыми материалами. Более двух третей всех химических элементов являются металлами. Согласно [1-3], взаимодействие молекул C₆₀ с атомами металлов приводит к высокой дисперсности структуры, в некоторых случаях к образованию новых фаз. Это сопровождается существенным изменением свойств исходных материалов, в том числе концентрационной зависимости удельного сопротивления. Поскольку многие устройства микроэлектроники работают на переменном токе, то понимание процессов переноса электрического заряда на разных частотах является важным как с теоретической, так и с практической позиций.

Целью настоящей работы являлось исследование структуры и полного электрического сопротивления пленок титан-фуллерен, содержащих разное соотношение компонентов пленок титан-фуллерен.

ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Титан-фуллереновые материалы в виде тонких плёнок получали в вакууме при остаточном давлении воздуха не более 1×10^{-4} Па. При этом, учитывая, что температура сублимации фуллеренов составляет порядка 700К, что значительно ниже температуры испарения титана, использовали два испарителя, разогрев которых обеспечивали пропусканием электрического тока. В качестве испарителя для титана применяли «лодочки» из молибдена, для C₆₀ – из тантала. Получение пленок с различным содержанием фуллеренов достигалось путем варьирования плотностью атомно-кластерных потоков компонентов, что обеспечивалось регулированием температуры испарителей, а так же изменением их расположения относительно подложки. Плотность потока из фуллеренового испарителя контролировалась термопарой, а титанового по току через испаритель и по скорости изменения сопротивления контрольного образца.

Образцы для электрических измерений изготавливались на ситаловых подложках

размером 60×48×0,6 мм наносились четыре контактные площадки по длине подложки на расстоянии 10 мм друг от друга. Контактные площадки напылялись через маску и представляли собой трёхслойную структуру - медь с подслоем хрома и буферным слоем из титана. Толщины слоев контактных площадок Cr-Cu-Ti составляли 80, 300 и 100 нм соответственно. Поверхностное сопротивление не превышало 0,4 Ом/□. Титан – фуллереновый слой заданного состава осаждался на всю поверхность подложки. Образцы получали скрайбированием подложки по ширине алмазным резцом с шагом 5 мм перпендикулярно контактным площадкам. При измерениях контактирующая измерительная ячейка, содержащая пружинные прижимы, подсоединялось к измерительному прибору штатным кабелем.

Исследование частотных свойств титан-фуллереновых плёнок проводилось на измерителе импеданса BM507 TECLA в диапазоне частот от 50 Гц до 600 кГц.

Исследование микроструктуры проводилось на атомно-силовом микроскопе “Nanoscope IIIA”.

* Electronic address: tuvshintur@num.edu.mn

Фазовый состав пленок исследовали на автоматизированном рентгеновском комплексе на базе дифрактометра ДРОН-3М. С целью обеспечения более надежной информации о составе формируемых покрытий рентгеновскую съемку подложки и образцов с покрытием проводили в широком интервале углов рассеяния и более точно в двух интервалах: $2\theta = 8-27$ град и $2\theta = 34-42$ град. в режиме сканирования при времени набора импульсов в каждой точке 30 с.

СТРУКТУРА Ti-C₆₀

Структура поверхности пленок Ti-C₆₀ и размер зерен определялись с помощью атомно-силового микроскопа "Nanoscope IIIA". На рис 1 приведены в качестве примера виды структуры поверхности пленок Ti-C₆₀.

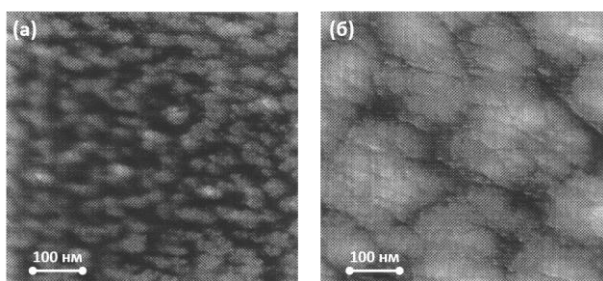


Рис. 1 – АСМ-изображение поверхности Ti-C₆₀ пленок: а) $n_{Ti}/n_{C60} = 30$; б) $n_{Ti}/n_{C60} = 12$.

Размеры зёрен и статистика их распределения показана на рис.2.

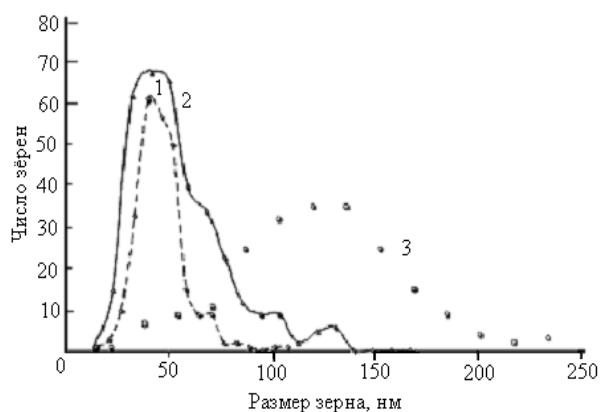


Рис. 2. - Распределение по размеру зёрен в Ti-C₆₀ пленках: 1– $n_{Ti}/n_{C60} = 680$; 2– $n_{Ti}/n_{C60} = 60$; 3– $n_{Ti}/n_{C60} = 6$.

Исследования показали, что размер зерен зависит от долевого состава компонентов. Гомогенные пленки как титана, так и фуллерита имеют зерна больших размеров, чем пленки сплавов титана и фуллерита. С ростом

гетерогенности размер зерен в пленках уменьшается. Это объясняется процессами зарождения и последующего роста островков, которые вырастают до зерен сплошной пленки. Молекулы C₆₀ вследствие меньшей подвижности выступают как центры кристаллизации для атомов металла. Когда молекул C₆₀ на подложке мало, то образуется меньше зародышей, а, значит, зерна имеют возможность расти до больших размеров. С увеличением доли молекул C₆₀ размер зерен уменьшается. Когда на подложку поступает мало атомов металла, зарождение и рост зерен происходит медленнее (вследствие малой подвижности C₆₀), что приводит к увеличению размеров зерен.

Рентгенографические исследования проводили с целью выявления возможных химических соединений в системе Ti-C₆₀, поскольку для системы Cu-C₆₀ ранее [4] была обнаружена фаза Cu₆C₆₀.

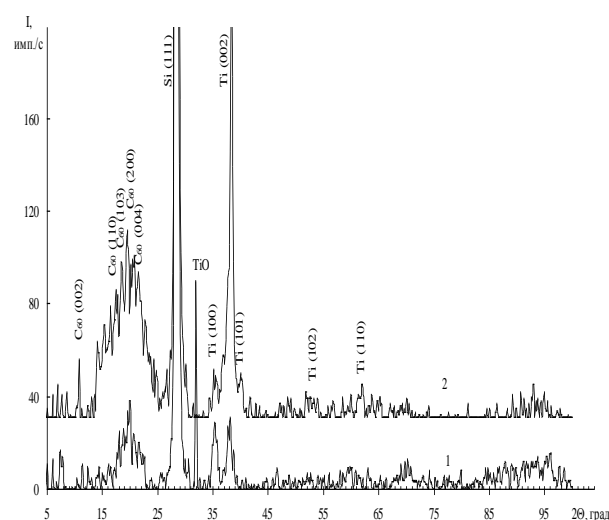


Рис. 3. Рентгенограммы плёнок Ti-C₆₀: 1– $n_{Ti}/n_{C60} = 6$, 2– $n_{Ti}/n_{C60} = 12$.

Фрагменты рентгенограмм пленок сформированных при конденсации титана и титана с фуллереном C₆₀ представлены на рис. 4. В таблице приведены межплоскостные расстояния d/n и интенсивности I/I_1 пленок Ti-C₆₀ с соотношением $n_{Ti}/n_{C60} = 6$. Для сравнения в таблице представлены также данные по рентгеновским характеристикам для оксидов титана, титана и фуллерена C₆₀ [5].

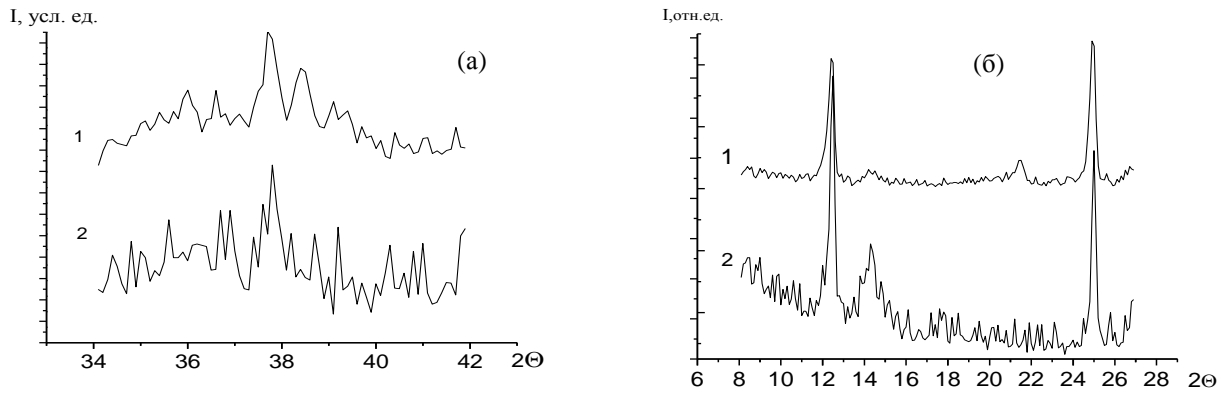


Рис. 4 - Рентгенограммы плёнок Ti (1) и Ti-C₆₀ (n_{Ti}/n_{C₆₀}=12) (2) а) - диапазон углов 2θ=8-27град.; б) - диапазон углов 2θ=34-42 град.

Таблица 1. Межплоскостные расстояния и интенсивности линий тонких пленок (Ti, Ti+C₆₀).

Экспериментальные данные				Литературные данные							
Ti		Ti+C ₆₀		TiO		Ti ₃ O ₅		Ti		C ₆₀	
d/n, Å	I/I ₁	d/n, Å	I/I ₁	d/n, Å	I/I ₁	d/n, Å	I/I ₁	d/n, Å	I/I ₁	d/n, Å	I/I ₁
-	-	7,4	37	-	-	-	-	-	-	-	-
7,196	89	-	-	7,18	60	-	-	-	-	-	-
-	-	7,14	100	-	-	-	-	-	-	7,12	4
-	-	6,86	24	-	-	-	-	-	-	6,85	3
-	-	6,46	33	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	5,01	21	-	-	-	-	-	-	-	-
4,23	16	-	-	-	-	4,28	30	-	-	-	-
4,17	24	-	-	4,13	30	4,13	18	-	-	-	-
4,02	14	-	-	-	-	4,00	18	-	-	-	-
3,87	12	-	-	-	-	3,83	30	-	-	-	-
3,75	14	3,65	19	3,75	20	3,77	40	-	-	-	-
3,59	100	3,58	75	-	-	3,54	100	-	-	3,54	4
3,49	16	3,47	21	-	-	3,44	20	-	-	-	-
2,39	44	-	-	2,39	50	2,38	40	2,56	30	-	-
2,35	35	-	-	-	-	-	-	2,34	20	-	-

Как следует из приведенных данных, в фазовый состав пленок входят его оксиды TiO, Ti₃O₅. В небольшом количестве в нем присутствует титан, о чем непосредственно свидетельствует наличие характерного для него отражения с d/n=2,35. Наряду с этим наблюдается изменение значений межплоскостных расстояний, относящихся к оксидам титана. Рентгенограммы характеризуются появлением новых дифракционных отражений с d/n, равными 7,4; 7,14; 6,86; 5,01 Å. Сравнение данных по межплоскостным расстояниям для C₆₀ и приведенных значений d/n для пленок Ti+C₆₀ следует, что некоторые из них (d/n=7,14, 6,86, 3,58) можно отнести к фуллериту C₆₀. Одновременно с этим следует отметить, что полученные значения межплоскостных

расстояний несколько отличаются от величин d/n, относящихся к TiO, Ti₃O₅, что может быть связано с формированием соединений титана с фуллереном.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ТИТАН-ФУЛЛЕРЕНОВЫХ ПЛЕНОК

Исследовалось полное электрическое сопротивление пленок с разными долевыми соотношениями Ti/C₆₀ (n_{Ti}/n_{C₆₀}=6-1000). Графики изменения полного электрического сопротивления для ряда образцов с разными долевыми соотношениями Ti/C₆₀ приведены на рис.5.

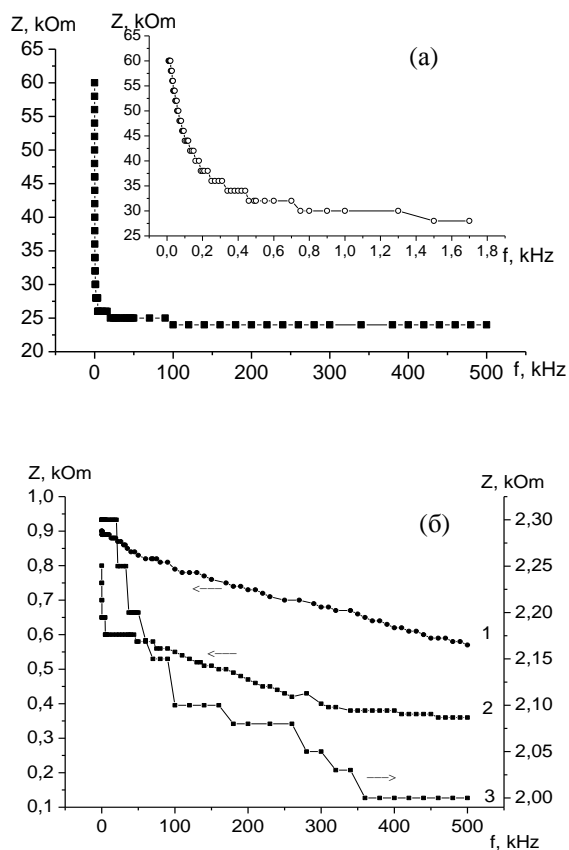


Рис.5. Зависимость полного электрического сопротивления плёнок от частоты при различных концентрациях Ti/C_{60} : а - 1.- $n_{Ti}/n_{C_{60}}=680$, 2.- $n_{Ti}/n_{C_{60}}=270$, 3.- $n_{Ti}/n_{C_{60}}=140$, б - $n_{Ti}/n_{C_{60}}=110$.

Увеличение концентрации молекул C_{60} в плёнке титана приводит к увеличению удельного электрического сопротивления плёнки на постоянном токе [6]. На переменном токе в плёнках $Ti-C_{60}$ идет монотонное уменьшение полного электросопротивления и изменение угла сдвига фазы с увеличением частоты. Так сопротивление плёнки $Ti-C_{60}$ с долевым отношением $n/n=680$ (рис. 5а-1) изменяется с 900 до 600 Ом (1,5 раза), а с $n/n=270$ (рис. 5а-2) с 800 до 400 Ом (2 раза).

Исходя из приведенных на рис. 5 зависимостей следует, что полное электрическое сопротивление плёнок содержит ёмкостную и, возможно, индуктивную составляющие. Эквивалентная схема структуры $Ti-C_{60}$ для этого случая имеет вид, показанный на рис. 6.

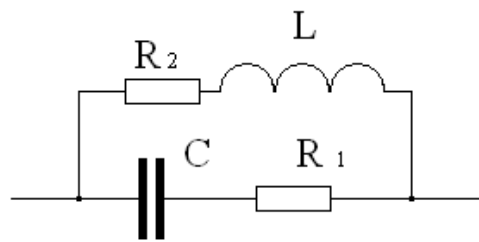


Рис.6. Эквивалентное электрическое звено, отражающее структуру плёнки $Ti-C_{60}$.

По экспериментальным значениям полного электрического сопротивления плёнок, исходя из эквивалентной схемы были рассчитаны значения параметров звена эквивалентной схемы R_1 , R_2 , C , L для разных долевого соотношений, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2. Измеренные значения плёнок $Ti-C_{60}$ и расчетные значения параметров звена эквивалентной схемы от долевого отношения n/n .

$n_{Ti}/n_{C_{60}}$	R_1 , кОм	R_2 , кОм	$C \cdot 10^9$, ф	$L \cdot 10^4$, Гн
12	891	76	0,6	-
25	648	180	2,4	0,28
30	125	12	4,8	1,1
45	194	37	6,0	1,4
110	46	67	8,0	1,9
140	15,6	2,35	6,0	0,9
270	5,8	0,88	3,4	-
680	4,2	0,64	2,0	-
1000	3,2	0,56	-	-

Как следует из приведенных данных полное электрическое сопротивление плёнок $Ti-C_{60}$ имеет ёмкостную и индукционную составляющие. При этом в образцах с малой (до $n_{Ti}/n_{C_{60}}=12$) и высокой (выше $n_{Ti}/n_{C_{60}}=900$) долей металла реактивная составляющая электросопротивления не выявляется на всех использованных частотах. Полученные результаты указывают на смену механизмов проводимости в плёнках с разным долевым соотношением металлической и диэлектрической фаз. Образцы с малой долей металла представляют собой полупроводник (диэлектрик, легированный атомами металла). При больших значениях долей металла работают каналы металлической проводимости с островками вкрапленного диэлектрика. При средних значениях долей металла ($n_{Ti}/n_{C_{60}}=25-$

140) срабатывает эквивалентная схема R-C-L-цепочки.

ВЫВОДЫ

1. Плёнки Ti-C₆₀, полученные вакуумным осаждением, представляют мелкодисперсные структуры. Размер зерна может изменяться от 30 до 120 нм в зависимости от соотношения металлической и фуллереновой компонентов.
2. Рентгенограммы пленок Ti-C₆₀, сформированных совместной конденсацией титана и C₆₀, характеризуются появлением новых дифракционных отражений с d/n, равными 7,4, 7,14, 6,86, 5,01 Å, что может быть связано с формированием соединений атомов титана с фуллереном.
3. Установлено, что полное электрическое сопротивление пленок Ti-C₆₀ уменьшается с ростом частоты, что связано с емкостными и индукционными свойствами композиционной пленочной структуры Ti-C₆₀, содержащей металлические и диэлектрические прослойки.
4. Показано, что композиционные пленочные структуры Ti-C₆₀ в определенных интервалах долевого состава компонентов обладают свойствами R-C-L- цепочек.

Работа выполнена в рамках международного сотрудничества между Институтом тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси и Национальным университетом Монголии (код проекта T19MH-003).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shpilevsky E. M., Zhdanok S. A., Schur D. V. Containing carbon nanoparticles materials in hydrogen energy. Hydrogen Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems – II. Dordrecht: Springer Science, 2011. P. 23–39.
- [2] Shpilevsky E.M., Penyazkov O.G., Filatov S.A., Shilagardi G., Tuvshintur P., Timur-Bator D., Ulam-Orgikh D. Modification of materials by carbon nanoparticles//Solid State Phenomena Shweizarland, 2018. Vol. 271. P.70-75.
- [3] Витязь П. А., Свидуневич Н. А., Куис Д. В. Наноматериаловедение: учеб. Пособие. Минск: Высш. шк., 2015. – 511 с.
- [4] Шпилевский Э. М., Шпилевский М. Э., Соловей Д. В. Получение и изучение пленок фуллерида меди//Вакуумная техника, материалы и технология. М.: ФГУП «НИИ вакуумной техники имени С. А. Векшинского». 2013. С. 151–155.
- [5] Миркин Л.И., Уманский Я.С., Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов, 1961, а так же Картотека ASTM (American Society for Testing Materials).
- [6] Шпилевский Э.М., Шпилевский М.Э., Шилагарди Г. Электрические и термоэлектрические свойства тонких пленок титан-фуллерен.//Вакуумная техника, материалы и технология. М.: ФГУП «НИИ вакуумной техники им. С.А. Векшинского». 2012. С. 111-115.

Зорчигчийн вагоны эд ангиудыг үл эвдэх сорилоор шалгах аргачлал

Ц. Байгальмаа^{1,*}, Т. Шинэбаяр², О.Алтантуяа³, Т.Жавзандулам⁴

¹ Физикийн тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Монгол

² Үл эвдэх сорилын лаборатори, Зорчигчийн вагон депо, Улаанбаатар Төмөр Зам, Монгол

³ Үл эвдэх сорилын лаборатори, Зүүн Хараа Ачааны вагон депо, Улаанбаатар Төмөр Зам, Монгол

⁴ Цахилгаан Техникийн Салбар, Эрчим Хүчний Сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Монгол

Энэ ажилд ашиглалт өндөртэй зорчигчийн вагоны арал, ноён нурууг үл эвдэх сорилтын аргуудаар шалгах шалгалтын цэг, байршлыг тогтоон шалгах аргачлал боловсруулан, металын соронзон санамжийн аргаар вагоны насжилтийг тодорхойлов.

Түлхүүр үг: ферросоронзон, соронзон индекс, хүчдэл төвлөрсөн бүс.

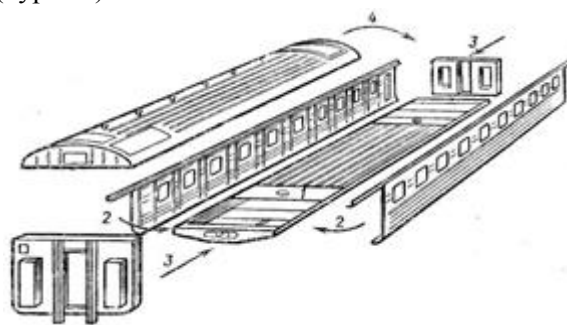
I. ОРШИЛ

Төмөр замын тээвэрт зорчигч болон ачаа, ачаан тээшийг аюулгүй, найдвартай, тасралтгүй тээвэрлэх явдал хамгийн чухал. Хөдлөх бүрэлдэхүүний зангилаа хэсгийн эд ангиудын найдваржилтыг хангах зорилгоор үл эвдэх сорилтын уламжлалт аргуудаар шалгах, баталгаажуулалтын ажил хийгддэг. Сүүлийн үед зорчигчийн вагоны ашиглалт нэмэгдсэнтэй холбоотойгоор вагоны үндсэн хийцийн эд ангиудад гэмтэл гарах болсон. Иймд гарч болзошгүй аюул ослоос урьдчилан сэргийлэхийн тулд зорчигчийн вагоны үндсэн хийцийн зангилаа хэсгийн үзлэг оношилгоог сайжруулах, үл эвдэх сорилтын шинэ арга, техник технологийг нэвтрүүлэх зайлшгүй шаардлага тулгарч байна. Ашиглалт өндөртэй зорчигчийн вагоны арал, ноён нурууг үл эвдэх сорилтын аргуудаар шалгах шалгалтын цэг, байршлыг тогтоон шалгах аргачлал боловсруулан, нэвтрүүлж галт тэрэгний хөдөлгөөний аюулгүй байдлыг хангахад энэхүү судалгааны ажил чиглэгдэв.

II. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

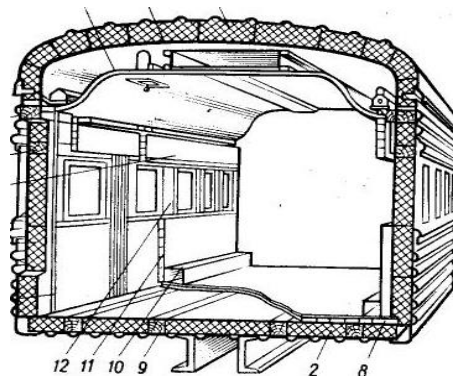
Зорчигчийн вагон зориулалтаас хамаараад тасалгаат, нийтийн, тээшийн, шуудангийн, вагон-ресторан, тусгай зориулалтын гэх мэт ангилна. Вагоны бүтэц нь зориулалтаас үл хамааран кузов, арал, явах анги, хос дугуй, авто тоормос, ниших татах байгууламжаас бүрдэнэ. Вагоны үйлдвэрлэлийн технологи нь вагоны хана, шал, дээвэр, ноён нурууг тус тусад нь блок байдлаар үйлдвэрлэсний дараа тусгай дамжлага

шугам дээр бүгдийг нь угсрах зарчмаар хийгддэг (Зураг 1).



Зураг 1. Вагоны бүтэц (шал-1, хана-2, ноён нуруу-3, дээвэр-4).

Вагоны арал, ноён нуруу нь хамгийн чухал хийцийн эд анги бөгөөд зорчигч суух зориулалттай кузовт бэхлэгдэнэ (Зураг 2). Зорчигчийн вагоны үндсэн байгууламжийн эд ангиудыг төрөлжүүлэн авч үзэн үл эвдэх сорилтоор шалгах байдлаар судалгааг хийхэд арал, ноён нуруунд үзлэг шалгалтыг хийхгүй байгааг тогтоосон.

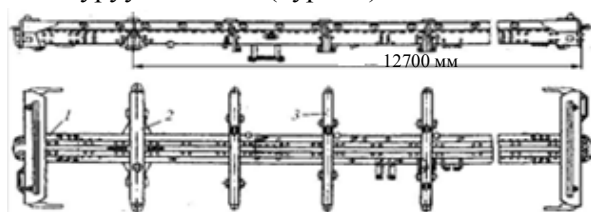


Зураг 2. Вагоны кузовт ноён нуруу бэхлэгдсэн байдал.

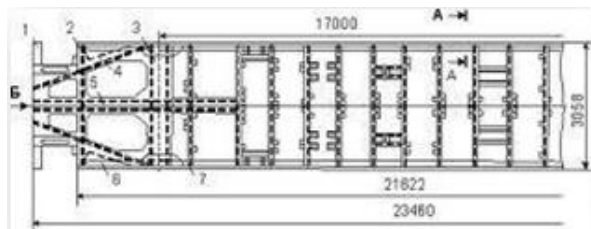
Нийтийн вагон нь вагоны кузовын бүх уртын дагуу ноён нуруутай (Зураг 3) байдаг бол

* Electronic address: baigali5@must.edu.mn

тасалгаат вагоны хувьд зөвхөн 2 төгсгөлдөө ноён нуруутай байна (Зураг 4).



Зураг 3. Нийтийн вагон ноён нуруутай.



Зураг 4. Тасалгаат вагон ноён нуруугүй.

Тасалгаат болон нийтийн вагоны ноён нурууг 09Г2Д гангийн марктай швеллерээр хийх бөгөөд тасалгаат вагоны ноён нуруун 23450 мм, нийтийн вагоны ноён нуруун 23600 мм-ийн тус тус урттай байна. Зорчигчийн вагоны арал, ноён нуруу нь хэд хэдэн зангилаа хэсгүүдээс бүрдэх бөгөөд дээрээс, хажуугаас ирэх ачааллыг харилцан адилгүй хүлээж авна.

Арал, ноён нуруунд гэнэтийн үйлчлэлээс үүсэх статик болон олон удаагийн давталттай үйлчлэлээс үүсэх динамик хүчний үйлчлэлүүдийн улмаас дотоод хүчдэл төвлөрлийн бүс үүсэж, улмаар механик бүтцийн өөрчлөлтөнд орж нүдэнд харагдахуйц хэмжээний гэмтэл согог болон хөгждөг. Иймд зорчигчийн вагоны арал, ноён нуруунд үл эвдэх сорилтын шалгалт, оношилгоог 2 аргачлалаар хийж гүйцэтгэнэ. Үүнд:

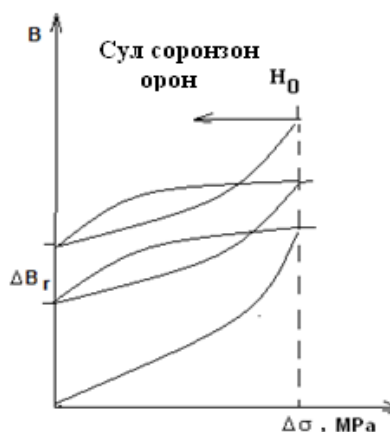
1. Үл эвдэх сорилтын уламжлалт соронзон бөөмийн сорилт-материалын ферросоронзон шинж чанарыг ашиглан гадаргуу орчим 5 мм-ийн гүнтэй ан цавыг илрүүлэх, нэвчигч шингэний капиллярын үзэгдэл дээр үндэслэсэн шингэн нэвчүүлэлтийн аргаар гагнуурын хүйтэн хагарлын ил ан цавыг, харимхай орчинд долгион нэгэн төрлийн бус орчноос ойх үзэгдэл дээр үндэслэгдсэн хэт авианы эхо импульсийн аргаар гагнуурын дутуу нэвтрэлт, дотоод согогийг тус тус илрүүлж гэмтлийн хэмжээ байрлал, аюулыг тодорхойлно.

2. Зорчигчийн вагоны арал ноён нурууны нийт уртын дагуу үл эвдэх сорилтын дэвшилтэт арга, металын соронзон санамжийн арга (МСС

арга) ашиглан хүчдэл төвлөрлийн бүсийг хэмжиж, үлдэгдэл нөөцийг тогтооно.

Металын соронзон санамжийн арга (МСС арга) бол дэлхийн соронзон орны сул үйлчлэл дотор орших ажлын ачаалалтай шалгалтын зүйлд, түүний дотоод хүчдэлийн дундаж түвшнээс илүү гарсан хүчдэлээр нөхцөлдсөн соронзолгооны үл буцах өөрчлөлт юм. МСС арга нь эд ангийн гадаргуу дээрх өөрийн соронзон алдагдлын орон (ӨСАО)-ны түгэлтийг хэмжин материал ба ширээсэн холболт дахь микробүтцийн гажиг, согог, хүчдэл төвлөрсөн бүсийг тодорхойлох зориулалтын ҮЭС-ын арга юм [1,2].

Ферросоронзон бие дэх далд согог нь ажлын цикл ачаалал ба дэлхийн соронзон орны хам үйлчлэлээр согог дээр соронзон доменууд цэгцрэн байрласаны улмаас алдагдал соронзон орныг металын гадаргуу дээр бий болгодог (Зураг 5). Согог буюу хүчдэл төвлөрсөн хэсэгт металын соронзон нэвтрүүлэлт нь минимум, соронзон орны тангенциал байгуулагч нь максимум, харин нормаль байгуулагч нь тэмдэгээ өөрчилж тэг болдог. Ажлын биеийн гадаргуу дээрх алдагдал соронзон орны нормаль байгуулагчийг хайж илрүүлэн хүчдэл төвлөрсөн бүсийг тогтоох ба улмаар ферросоронзон бие согог агуулж байгаа эсэхийг тодорхойлно[3].



Зураг 5. Цикл ачаалал ба дэлхийн сул соронзон орны хам үйлчлэлээр үүссэн соронзон харимхай үзэгдлийн схем. ΔB_r - үлдэгдэл соронзон индукцийн өөрчлөлт; $\Delta \sigma$ -цикл ачаалалын өөрчлөлт; H_0 - дэлхийн сул соронзон орны хүчлэг

Туршилт. Зорчигчийн вагоны арал ноён нуруунд динамик болон статик ачаалалаас үүссэн согог гэмтлийг илрүүлэхдээ хэт авианы эхо-импульсийн ЕРОСН-ХТ сүүлийн үеийн нарийвчлал өндөртэй багаж ашиглан гэмтлийн

байрлал, хэмжээг далайцын өөрчлөлтөөр тодорхойлсон.

Соронзон бөөмийн сорилтод хувьсах болон тогтмол гүйдлээр тэжээгддэг Parker-da 400A цахилгаан соронзон зангуу хэлбэртэй 0-400 мм-ийн диаметртэй эд ангиудыг олон чиглэлд соронзлогч багажийг гадаргуун согогийг илрүүлэхэд ашигласан. Гагнуурын ил ан цавыг илрүүлэхэд шингэн нэвчүүлэлтийн DPT-8 нэвчигч, тодруулагч, цэвэрлэгч бодисуудыг ашигласан.

МСС-ийн аргын багаж нь ферросоронзон материалын гадаргуу дээрх соронзон алдагдлын орныг тусгай сенсоорын тусламжтайгаар хэмжинэ. Багаж нь хэмжилтийн хоёроос цөөнгүй тооны сувагтай байх ба хэмжилтийн үр дүнг боловсруулан багажын дэлгэц дээр графикаар харуулан улмаар шинжлэх зориулалтаар компьютерт дамжуулах микропроцессорын удирдлагатай байна.

Аргачлал А. Зорчигчийн вагоны арал, ноён нурууны нэршил, байрлалыг нийтийн болон тасалгаат вагоны төрлөөс хамааруулан 2 ангилан авч үзсэн. Зангилаа хэсэг бүрийн шалгалтын цэгүүдийг толорхойлж өгсөн. Цэг бүрийн үл эвдэх сорилтоор шалгах аргачлал боловсруулсан. Нийтийн вагоны ноён нурууны шалгалтын заасан цэгүүдэд гадна үзлэгийн сорил (ГҮС) хийнэ[4].

Аргачлал В. Нийтийн вагоны ноён нурууны уртын дагуу металын соронзон санамжийн аргаар хүчдэл төвлөрлийн бүсийг тодорхойлно. Мөн тасалгаат вагоны ноён нурууны уртын дагуу соронзон санамжийн аргаар хүчдэл төвлөрлийн бүсийг тодорхойлно. Үлдэгдэл хүчдлийн төвлөрлийн түвшний тоон холбогдлыг үнэлэхийн тулд соронзон орны градиент H_p (dH_p/dx) нормаль ба тангенциал байгуулагчийн эрчмийг илэрхийлэх K_{in} -ийг доорх томъёогоор тодорхойлно[3].

$$K_{in}^{max} = \Delta H_p^{max} / \Delta l \quad (1)$$

Хүчдэл Төвлөрсөн Бүс (ХТБ) тус бүрд (1) тооцоолоод дараа нь n тооны ХТБ-ийн хувьд дундаж утгыг олно. Δl - суваг хоорондын зай.

$$K_{in}^{ave} = 1/n (\sum_{i=1}^n K_{in}^i) \quad (2)$$

Дээрх хоёр утгаар металын хэв гажилтад орох соронзон үзүүлэлт болох соронзон индекс m -ийг бүх ХТБ-д тодорхойлно.

$$m = K_{in}^{max} / K_{in}^{ave} \quad (3)$$

m -ийн хязгаарын m_{lim} утгатай жишиж материалыг тэнцэх, давтан шалгах, голох болохыг тодорхойлно. Дээрх алгоритмаар хэмжилтийн үр дүнг боловсруулан соронзон индекс m -ийг **МММ system 3** программ хангамжийн тусламжтайгаар боловсруулна. H_{min} ба H_{max} нь харгалзан графикийн тооцоонд орсон хэсгийн соронзон орны H_p хүчлэгийн минимум ба максимум утга юм [5,6].

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Зорчигчийн вагоны цаашид ашиглах хугацаа нь арал, ноён нуруунд үл эвдэх сорилтын оношилгоо хийгдсэн үр дүнгээс шууд хамаарна. Өөрөөр хэлбэл арал, ноён нурууны үлдэгдэл насжилтын хугацаа вагоны ашиглалтын хугацааг тодорхойлно. Иймд зорчигчийн вагоны арал, ноён нуруунд үл эвдэх сорилтын уламжлалт аргуудаар шалгалт хийхэд дараах гэмтлийг зөвшөөрөхгүй. Үүнд:

1. Нийтийн вагоны нугас төмрийн дам нурууны хэвтээ лист төмрийн ирмэгээс вагоны дунд хэсэг рүү шилжих 680-1020 мм зайд ноён нурууны аль нэг швеллерийн дээд эсвэл доод тавиурын бүх гадаргуу дээр үүссэн ан цав[7,8].
2. Тасалгаат вагоны нугас төмрийн дам нурууны хэвтээ лист төмрийн ирмэгээс вагоны дунд хэсэг рүү шилжих 480-625 мм зайд кузовын хажуу холбоосын хэвтээ болон босоо тавиурын бүх гадаргуу дээр үүссэн ан цав ноён нурууны аль нэг швеллерийн дээд эсвэл доод тавиурын бүх гадаргуу дээр үүссэн ан цавыг зөвшөөрөхгүй [9,10]. Үл эвдэх сорилтын металын соронзон санамжийн аргаар (МСС) дээрх схемээр хэмжин цуглуулсан өгөгдлийг компьютерт дамжуулан зориулалтын программ хангамжаар боловсруулна. Программ дээрх томъёонуудыг ашигласан алгоритмаар боловсруулалт хийж нэгэн зэрэг Өөрийн Соронзон Алдагдлын Орон (ӨСАО)-ны нормаль байгуулагчийн градиентийн харьцаа болон тангенциал байгуулагчийн градиентийн харьцааны хувьд тус тусад нь m -ын утгыг тодорхойлдог[11]. Хэрэв орны нормаль ба тангенциал

байгуулагчийн градиентийн харьцааны тоон утга m нь хязгаарын босгын утга m_{lim} утгаас давсан тохиолдолд шалгасан материалын эвдрэх хүртэл үлдсэн хугацаан дахь материалын төлөвийн талаар дүгнэлт хийнэ. Соронзон индекс m_{lim} нь эвдрэлийн өмнөх ачаалалаар материал хэв гажилтад орох чадварын үзүүлэлт бөгөөд түүнийг тусгай шалгалт тохируулгын аргаар лабораторийн нөхцөлд тодорхойлдог.

IV. ДҮГНЭЛТ

Зорчигчийн вагоны арал, ноён нуруунд үл эвдэх сорилтын аргуудыг хослуулан ашиглаж оношилгоо хийж дараах дүгнэлт гаргав.

1. Зорчигчийн 35 жил ашиглагдаж байгаа 2 вагоны 09Г2Д маркийн гангаар үйлдвэрлэгдсэн арлын хэсэг бүрт металын соронзон санамжийн аргаар соронзон индексийн утгыг тодорхойлж түүний ашиглалтын нөөц хугацаа 5,6+-2,1 жил болохыг тогтоосон.
2. Үлдэгдэл насжилтыг тооцоолсноор засварт орох вагоны засварын төлөвлөгөөг боловсруулах боломжтой болно.
3. Ашиглалт өндөртэй /41 жилээс дээш/ 55 вагоны арал, ноён нурууг үл эвдэх сорилтын дээрх аргуудыг ашиглан үе шаттайгаар шалгаж оношлох шаардлагатай байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлийг ШУТИС-ийн Үл эвдэх сорилтын төв болон УБ Зорчигчийн вагон депогийн “ҮЭС 03-2019” гэрээт ажлын дэмжлэгээр хийв.

НОМ ЗҮЙ

- [1] V.T.Vlasov, A.A. Dubov, “Physical bases of the metal magnetic memory method,” Moscow: ZAO, TISSO, 2004, p. 424.
- [2] A.A. Dubov, Al.A. Dubov, S.M. Kolokolnikov, “Metal magnetic memory method and inspection instruments,” Training handbook. Moscow: ZAO“TISSO”, 2003. p.320.
- [3] ИИВ/Doc. V-1347-06.A.A.Dubov, Al.A.Dubov, S.M. Kolokolnikov, “Method of metal magnetic memory (MMM) and inspection instruments,” Training hand book.

- [4] "Неразрушающий контроль деталей вагонов общие положения" РД 32.174-2001. ст 5-14.
- [5] "Магнито порошокый метод Неразрушающий контроль деталей вагонов", ст17-35
- [6] О.Дэмбэрэлсүрэн, "Зорчигчийн вагоны сэргээн засварлах технологи, УБ (2014), "Ган зам пресс" 23 дахь тал.
- [7] "Инструкция по сварке и наплавке узлов и деталей при ремонте пассажирских вагонов", 2004. 167-171 хуудас.
- [8] "Зорчигчийн вагоны сэргээн засварлах дүрэм", 2014.хуудас. 9-43, 211-218,
- [9] "Их засварын үед вагоны арал, ноён нуруу, кузовыг үл эвдэх сорилтоор шалгах технологийн дараалал", 2017. 1-9 хуудас.
- [10] Т.Шинэбаяр "СИЗ-ыг үед зорчигчийн вагоны арал, ноён нуруу, кузовыг үл эвдэх сорилтоор шалгах технологийн дараалал", УБ (2018), 24 дэх тал
- [11] A.A.Dubov, “Method of service durability determination of pipes made off ferromagnetic materials”, Author’s Certificate 1769105. Patent of Russia BI, No.38.1992.

Монгол улсад тохиромжтой цөмийн сургалт, судалгааны реакторын ГОЛОМТЫН ДИЗАЙНЫ СУДАЛГАА

А.Цэндсүрэн¹, Г.Дамдинсүрэн¹, С.Даваа², Б.Мөнхбат^{1*}

¹ Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар хот,
Монгол улс

² Цөмийн Энергийн Комиссын Ажлын Алба, Улаанбаатар хот, Монгол улс

Монгол улс анхны цөмийн судалгааны реакторыг эмнэлгийн зориулалттай цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэх, шаардлагатай хүний нөөцөө бэлтгэх зориулалттай ашиглахаар төлөвлөж байна. Уг судалгааны реакторын техникийн үзүүлэлт ямар байх асуудал дээр эрдэмтэн судлаачид болон шийдвэр гаргагчид нэгдсэн шийдвэрт хүрээгүй байна. Эрдэмтдийн зүгээс чадлын хувьд дунд төвшний реактор манай улсад илүү тохиромжтой гэсэн өнцгөөс харж байгаа бол шийдвэр гаргагчдын хувьд реакторын үнэ ханш өндөр үнэтэй болно гэсэн байр суурьтай байдаг. Энэхүү судалгааны ажлаар реакторын техникийн үзүүлэлтийг харьцуулсан гурван өөр түлш бүхий, чадлын хувьд ялгаатай судалгааны реакторуудын дизайны судалгааг хийж, реакторын чадлаас хамаарч судалгааны реакторын хэрэглээ, ашиглалт хэрхэн өөрчлөгдөж болохыг харуулахыг зорьсон.

PACS numbers: 28.50.Dr, 28.41.Ak

1. УДИРТГАЛ

Монгол улсад тохиромжтой цөмийн сургалт, судалгааны реакторын судалгааны ажил Монгол Улсын Их Сургуулийн харьяа Цөмийн Физикийн Судалгааны Төвд 2014 оноос хийгдэж байна. Эдгээр судалгааны ажлын үр дүнгээс харахад ОХУ-Монголын эрдэмтдийн удаан хугацааны хамтын ажиллагаа, газарзүйн байршил зэргээс шалтгаалж Монгол улсад баригдах анхны цөмийн судалгааны реактор ОХУ-д үйлдвэрлэдэг цөмийн судалгааны реактор байх боломжтой байна. Харин реакторын техникийн үзүүлэлтийн нэг болох реакторын чадлын төвшинг сонгох асуудалд шийдвэр гаргагчид, эрдэмтэн судлаачид харахан тодорхой зөвшилцөлд хүрээгүй байна. Эрдэмтдийн зүгээс дунд чадлын судалгааны реактор судалгаа явуулах, эмнэлгийн болон аж үйлдвэрлэлийн зориулалттай цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэх зэрэг зорилгоор ашиглахад тохиромжтой гэж үзэж байна. Харин шийдвэр гаргагчид дунд чадлын реакторыг ажиллуулах, аюулгүй ажиллагааг хангах асуудлууд харьцангуй өндөр өртөгтэй, эрсдэлтэй гэж үзэж байна.

Шийдвэрт дэмжлэг үзүүлэх зорилгоор ОХУ – д үйлдвэрлэгдэж байгаа түлшний 3 төрлийн ассемблейн хувьд нейтроник анализ хийж, дунд

чадлын реактор ирээдүйн хэрэглэгчдийн хэрэгцээг бүрэн хангаж чадаж байгаа эсэхийг харуулах шаардлагатай байна. ОХУ-д одоо экспортод гаргадаг VVR-M2, IRT-4M ба VVR-KN гэсэн 3 төрлийн түлшний ассембли байна. Эдгээр түлшний ассембли бүхий цөмийн судалгааны реакторыг олон орон амжилттай ажиллуулж байгаа юм.

VVR-M2 түлшний ассемблейг бага чадлын реакторт (<1МВт), харин IRT-4M-ийг гол төлөв өндөр чадлын реакторт (≥ 10 МВт) тус тус ашигладаг. VVR-KN түлшний ассемблейн хувьд VVR-M2 ба IRT-4M түлшний ассемблитэй харьцуулбал харьцангуй шинэ түлш бөгөөд 2013-оос хэрэглэж эхэлсэн. Энэ ассемблейг дунд чадлын (1-10МВт) реакторт зориулан үйлдвэрлэдэг[1].

Монгол улсад 2018 оны байдлаар нэг жилд 12 Ки идэвх бүхий Тс-99m-н генератор, 1 Ки идэвх бүхий I-131 изотопыг эмчилгээ, оношилгоонд зориулж 100% гаднаас импортоор оруулж ирдэг[2]. Бусад төрлийн изотопын хэрэглээ харьцангуй бага байдаг.

Монгол улсад зөвхөн нэг гамма камер (SPECT-CT) ажилладаг бөгөөд түүнд ашиглагдах үндсэн изотоп болох Тс-99m-н жилийн нийт хэрэгцээ нь 12 Кр болно. Олон улсын жишигт 1 сая хүн амд ногдох эмчилгээ, оношилгооны гамма камер (SPECT-CT гэх мэт) – ийн тоо 2.2 байдаг[3]. 2025

* Electronic address: munkhbat@seas.num.edu.mn

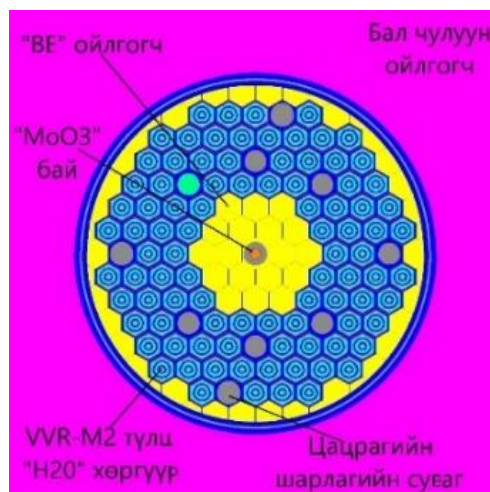
онд Монгол улсын хүн ам 3.5 саяд хүрнэ гэж үзвэл тэр үед $3.5 \times 2.2 \approx 8$ ширхэг гамма камер ажиллаж байна гэж үзэж болно.

Сүүлийн жилүүдэд Монгол улсад хорт хавдраар өвчлөх нь эрс нэмэгдэж байгаа ба түүний оношилгоо, эмчилгээнд нилээд хөрөнгө оруулалт хийгдэж байгаа тул дээрх тоо нэлээд бодиттой тоо байх боломжтой. Дээрх мэдээллээс харахад 2025 онд нэг жилд 100 Кр Тс-99m изотопын хэрэгцээ үүсэх ба үүнийг бүгдийг гаднаас импортоор оруулж ирэх нь хүндрэлтэй болно. Энэхүү изотопыг долоо хоног бүрээр үйлдвэрлэх шаардлагатай байдаг. Иймд 2 Кр/(долоо хоног) хэмжээгээр үйлдвэрлэх шаардлага гарч байна.

Энэхүү судалгаагаар эдгээр 3 өөр түлшний ассемблейн хувьд реакторын физикийн судалгааг гүйцэтгэсэн. Мөн Монгол улсад хорт хавдрын өвчлөл хурдацтай нэмэгдэж, эмнэлгүүдийг цацраг идэвхт изотопоор найдвартай хангахад гарах өртөг өндөр, мөн тээвэрлэлтийн асуудал, Монгол улс өөрөө их хэмжээний Молибденыг экспортод гаргадаг зэргийг харгалзан үзэж нейтрон идэвхжлийн арга буюу (n, γ) урвалаар байгалийн Молибденоос Мо-99 үйлдвэрлэх тооцооллыг хийж гүйцэтгэсэн. Гаргаж авсан үр дүнгээс ямар чадалтай судалгааны реактор байх, эмнэлгийн цацраг идэвхт изотопын дотоодын хэрэгцээгээ хангах боломжит зэргийг урьдчилан таамаглаж болно.

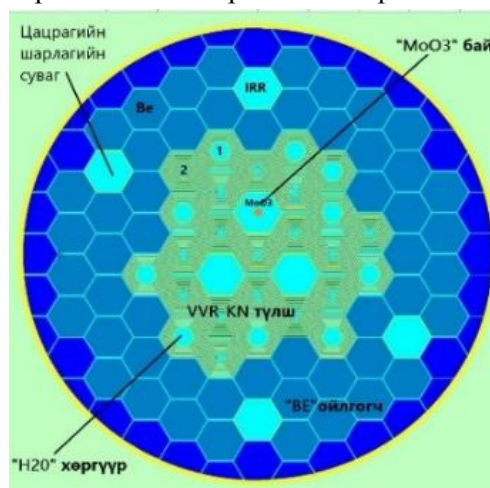
2. РЕАКТОРЫН ДИЗАЙН БА ТҮЛШНИЙ АССЕМБЛИ

Реакторын чадал ба ассемблейн төрлөөс хамааруулан дараах гурван төрлийн реакторын голомтын судалгааг хийсэн. Вьетнам улсын судалгааны реакторт ашиглагддаг 92 ширхэг VVR-M2 түлшний ассемблиээс бүрдэх реакторын голомтыг Зураг 1-д үзүүлэв. Энэ реакторын голомт 3 шарлагын суваг, 7 удирдлагын саваатай ба Берилли ойлгогч, усан хөргүүртэй.



Зураг 1. VVR-M2 түлши бүхий голомт.

Дараагийн реакторын голомт нь Казахстан улсын VVR-K судалгааны реакторт ашиглагддаг 26 ширхэг VVR-KN түлшний ассемблигээс бүрдэх ба Зураг 2-д харуулав. Энэхүү голомтын ойлгогч, хөргүүрийг Вьетнам улсын судалгааны реактортой ижил материал байхаар сонгосон.

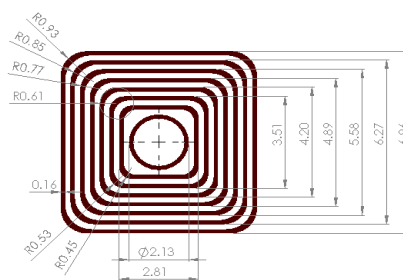
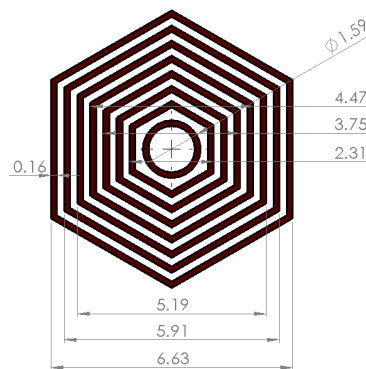
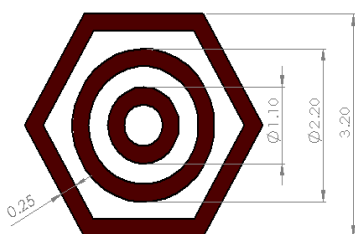


Зураг 2. VVR-KN түлши бүхий голомт.

Гурав дахь реакторын голомт 32 ширхэг 32 IRT-4M түлшний ассемблитэй бөгөөд шарлагын суваг болгон хэрэглэх зорилгоор голдоо 4 түлшний ассемблейн зайг усаар дүүргэсэн байхаар тооцсон ба Зураг 3. – т харуулав. Берилли ойлгогч, усан хөргүүртэй байхаар тооцоолов. Гурван төрлийн түлшний ассемблейн техникийн үзүүлэлтийг [4]-ээс авсан ба Хүснэгт 1. – д үзүүлэв.



Зураг 3. IRT-4M түлш бүхий голомт.



Зураг 4. VVR-M2, VVR-KN, IRT-4M түлшний ассемблейн хэмжээс.

Хүснэгт 1. Голомт, түлшний ассемблейн үзүүлэлтүүд.

Д/д	Үзүүлэлт	VVR-M2	VVR-KN	IRT-4M
1	Дулааны чадал	500 кВт	5 МВт	10 МВт
2	Голомтын өндөр	60 см	60 см	60 см
3	Түлшний материал	UO ₂ -Al	UO ₂ -Al	UO ₂ -Al
4	Түлшний баяжуулалт	19.7%	19.7%	19.7%
5	Түлшний эвлүүлгийн тоо	92	26	32
6	Түлшний зузаан	0.094 см	0.07 см	0.07 см
7	Бүрээсийн зузаан	0.78 см	0.45 см	0.045 см
8	Нэг түлшний ассембли дэх ²³⁵ U-ийн нийт жин	50 г	202/ 253 г	300 г
9	Түлшний эвлүүлгийн эзлэхүүн (зөвхөн түлш)	285.23 см ³	1046.44 см ³	1330.45 см ³

3. АРГА ЗҮЙ БА КОД

Реакторын голомтын судалгааг Япон Улсын Атомын Энергийн Агентлагаас хөгжүүлэн гаргасан, Монте-Карло аргад суурилсан MVP/GMVP-II [5] симуляцын кодыг JENDL-3.3 [6] цөмийн өгөгдлийн сантай хослуулан нейтроник тооцооллыг гүйцэтгэсэн. Мөн түлшний шаталтын тооцооллыг MVP-BURN [7] симуляцын кодыг ашиглан гүйцэтгэсэн.

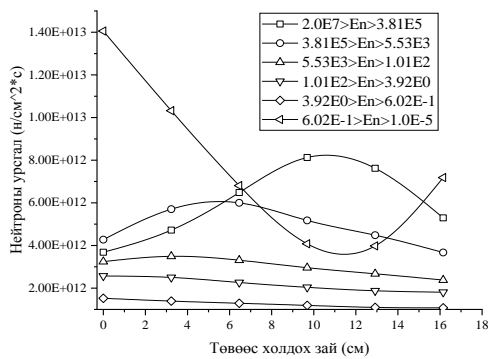
Анх голомтод 50 багц нейтроныг үүсгэх ба багц бүр 10000 нейтронтой. Статик алдааг бууруулахын тулд эхний 10 нейтроныг тооцоололд оруулахгүй байх нөхцөлтэйгөөр тооцооллыг явуулсан.

Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлаг (ОУАЭА)-ийн Молибден (Mo) үйлдвэрлэх техникийн тайланд [8] дурдагдсанаар ⁹⁹Mo-ийг (n, γ) урвалаар үйлдвэрлэхэд реакторын дизайны үзүүлэлтүүд, реакторын чадал, дулааны энергитэй нейтроны урсгал, реакторын ажиллах хуваарь зэргүүд чухал ач холбогдолтой байдаг. Дулааны энергитэй нейтроны урсгалд байгалийн Молибден бай материалыг шарвал 3.4 Кр/г хүртэлх хувийн идэвхтэй, харин бай материал дахь Молибденыг баяжуулж шарвал 15 Кр/г хүртэлх хувийн идэвхтэй ⁹⁹Mo-ийг үйлдвэрлэх боломжтой байдаг [8].

4. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

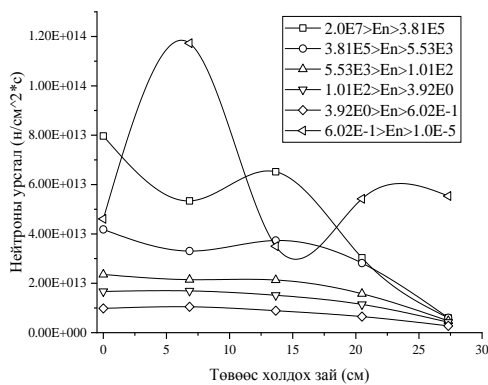
Нейтроны урсгалын орон зайн түгэлт (Зураг 5-7), түлшний шаталт, үүсэх ⁹⁹Mo-ийн хувийн идэвхийн тооцоог дээрх 3 төрлийн реакторын голомтын хувьд хийж гүйцэтгэв.

4.1 Нейтроны урсгалын орон зайн түгэлт. Нейтроны энергийг 6 бүлэг болгон авч үзсэн. Дулааны нейтроны энергийн муж $1.0 \cdot 10^{-5}$ эВ $< E_n < 6.02 \cdot 10^{-1}$ эВ. Мөн Хүснэгт 2– д голомтын төвийн байрлал болон захын байрлал дахь дулааны нейтроны хамгийн их урсгалын нягтыг харуулав.



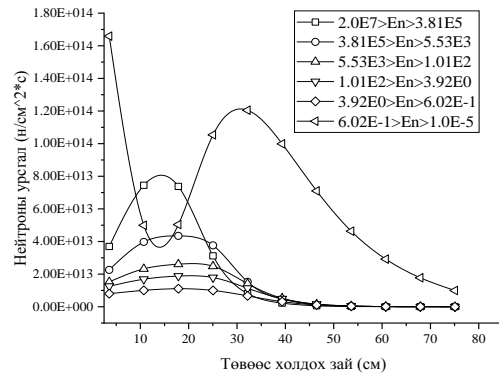
Зураг 5. VVR-M2 түлшний ассембли бүхий реакторын голомт дахь нейтроны урсгалын орон зайн түгэлт (төвөөс ирмэг хүртэлх түгэлт).

VVR-M2 түлштэй реакторын голомтын төв дахь дулааны нейтроны хамгийн өндөр урсгал $1.41 \cdot 10^{13}$ н·см⁻²·с⁻¹ харин зах хэсэгт $7.92 \cdot 10^{12}$ н·см⁻²·с⁻¹.



Зураг 6. VVR-KN түлшний ассембли бүхий реакторын голомт дахь нейтроны урсгалын орон зайн түгэлт (төвөөс ирмэг хүртэлх түгэлт).

VVR-KN түлштэй реакторын голомтын төв дахь дулааны нейтроны хамгийн өндөр урсгал $1.17 \cdot 10^{14}$ н·см⁻²·с⁻¹ харин зах хэсэгт $5.54 \cdot 10^{13}$ н·см⁻²·с⁻¹.



Зураг 7. IRT-4M түлшний ассембли бүхий реакторын голомт дахь нейтроны урсгалын орон зайн түгэлт (төвөөс ирмэг хүртэлх түгэлт).

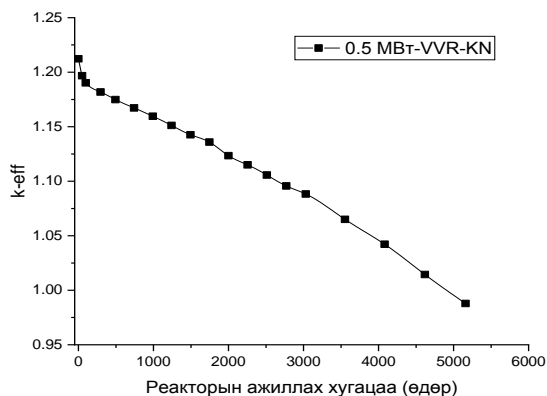
IRT-4M түлштэй реакторын голомтын төв дахь дулааны нейтроны хамгийн өндөр урсгал $1.65 \cdot 10^{14}$ н·см⁻²·с⁻¹ харин зах хэсэгт $1.20 \cdot 10^{14}$ н·см⁻²·с⁻¹.

Хүснэгт 2. Реакторын голомт бүр дэх дулааны энергитэй нейтроны урсгалын нягт, н·см⁻²·с⁻¹.

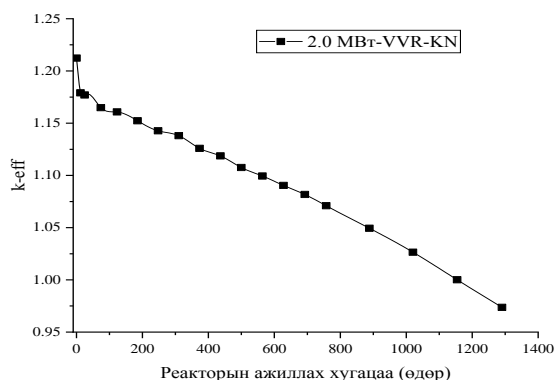
Түлшний ассемблийн төрөл	Төвийн байрлал дээрх дулааны нейтроны урсгалын нягтын хамгийн их утга	Зах дахь дулааны нейтроны урсгалын нягтын хамгийн их утга
VVR-M2	$1.41 \cdot 10^{13}$	$7.92 \cdot 10^{12}$
IRT-4M	$1.65 \cdot 10^{14}$	$1.20 \cdot 10^{14}$
VVR-KN	$1.17 \cdot 10^{14}$	$5.54 \cdot 10^{13}$

4.2 Түлшний шаталтын тооцоо.

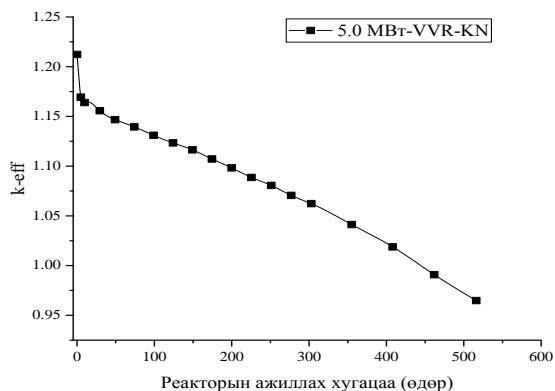
Түлшний шаталтын тооцооллын үр дүнг Зураг 8-12д үзүүлэв. Шаталтын тооцооллыг VVR-M2 (0.5 МВт), IRT-4M (10 МВт) түлшний ассемблитэй голомтын хувьд хийсэн. Түүнчлэн VVR-KN түлшний ассемблитэй голомтын хувьд 0.5, 2.0, 5.0 МВт чадалтай үед тус бүрчлэн шаталтын тооцоог хийв.



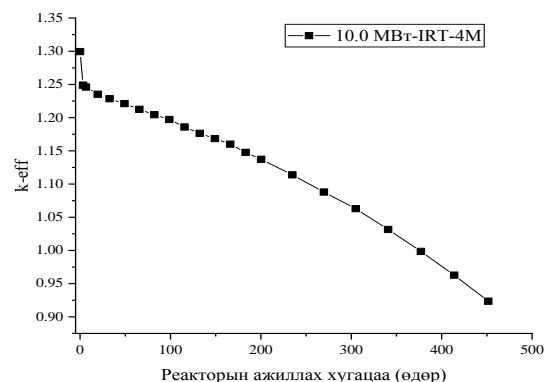
Зураг 8. VVR-KN түлштэй реакторыг 0.5 МВт чадлаар ажиллуулахад k_{eff} -д гарах өөрчлөлт.



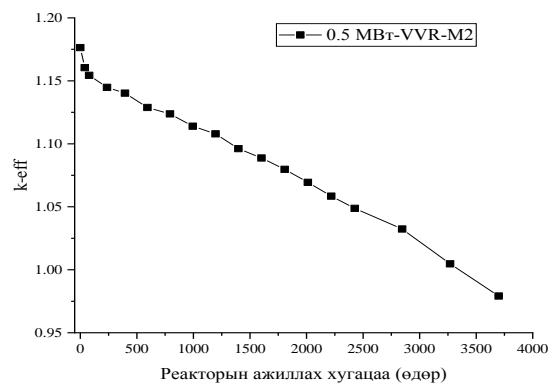
Зураг 9. VVR-KN түлштэй реакторыг 2.0 МВт чадлаар ажиллуулахад k_{eff} -д гарах өөрчлөлт.



Зураг 10. VVR-KN түлштэй реакторыг 5.0 МВт чадлаар ажиллуулахад k_{eff} -д гарах өөрчлөлт.



Зураг 11. IRT-4M түлштэй реакторыг 10.0 МВт чадлаар ажиллуулахад k_{eff} -д гарах өөрчлөлт.



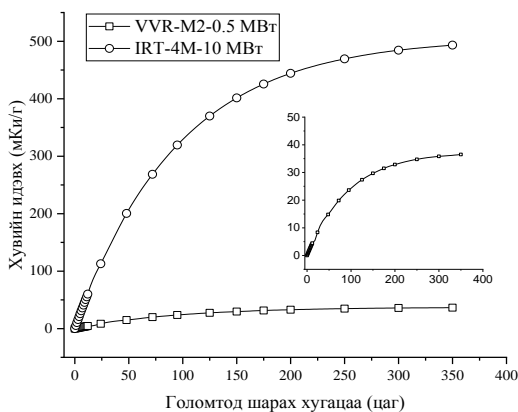
Зураг 12. VVR-M2 түлштэй реакторыг 0.5 МВт чадлаар ажиллуулахад k_{eff} -д гарах өөрчлөлт.

Зураг 8-12 – аас харахад IRT-4M түлш бүхий 10 МВт чадалтай реактор 340 өдөр, VVR-KN түлш бүхий реактор 5 МВт-аар 460, 2 МВт-аар 1000, 0.5 МВт чадлаар 4600 өдөр тус бүр ажиллахаар байна. Мөн VVR-M2 түлшний ассемблитэй голомт нь 0.5 МВт чадлаар 3700 өдөр ажиллах боломжтой нь харагдав. Дээрх үр дүнгүүд бол анх авсан түлшээрээ өдөрт 24 цаг, 7 хоногийн өдөр бүр тасралтгүй ажиллахад реактор ямар хугацаатай ажиллах боломжтойг харуулж байгаа болно.

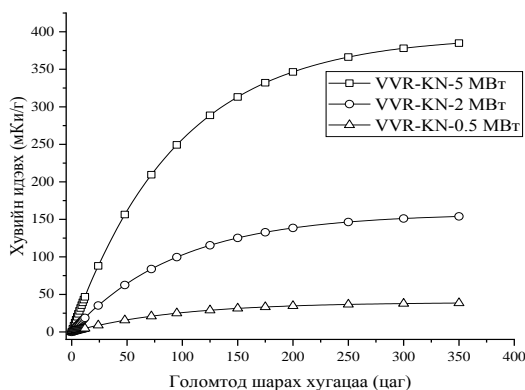
Бодит практик дээр реакторын ажиллагааны менежментийг өөр байдлаар зохион байгуулдаг. Тухайн сарын хэрэгцээнээс хамаарч дунджаар сард 15 хоног, өдөрт 8 цагаар эсвэл 7 хоног, өдрийн 24 цагаар ажиллуулах жишиг байдаг. Ингэснээр анх авсан түлшээрээ дээрх реакторууд илүү урт хугацааны туршид ажилладаг.

4.3 Байгалийн Мо-ийг нейтроноор идэвхжүүлэх тооцоо.

Реактор тус бүрийн нейтроны урсгалын түгэлтийг тодорхойлсны дараа дулааны энергитэй нейтроны урсгал хамгийн их цэгт байгалийн 32 гр байгалийн молибден байг (MoO_3) байрлуулсан. Байн хэмжээ, бэлдэц зэргийг ОУАЭА-аас бэлтгэн гаргадаг техникийн баримт бичгийг ашиглан сонгосон [8]. VVR-M2 ба IRT-4M түлшний ассембли бүхий голомтын үр дүнг Зураг 13-д, VVR-KN түлшний ассембли бүхий голомтын үр дүнг Зураг 14-д үзүүлэв. тус тус үзүүлэв. Реакторын чадал, нейтроны урсгалаас хамаарч үүсэх Мо-99 хэмжээг харуулсан үр дүнг Хүснэгт 3. – т харуулав.



Зураг 13. IRT-4M, VVR-M2 түлш бүхий реакторын голомт дахь ⁹⁹Mo-ийн хувийн идэвх.



Зураг 14. VVR-KN түлш бүхий реакторын голомт дахь ⁹⁹Mo-ийн хувийн идэвх.

Зураг 13-өөс харахад IRT-4M түлштэй 10 MBt чадалтай реакторын голомтод байг 72/125/175 цаг шарахад 268/319/401 мКр/г хувийн идэвхтэй Mo-99 үүсэж байгаа бол VVR-M2 түлштэй, 0.5 MBt реакторын голомтод яг адилхан цагаар байг шарахад 19/22/29 мКр/г хувийн идэвх бүхий Mo-99 үүсэж байна.

Зураг 14-аас харахад VVR-KN түлштэй, өөр чадлын төвшинтэй судалгааны реакторын голомтод байг 72/125/175 цаг шарахад дараах хэмжээний идэвхтэй Mo-99 үүссэн байна. Үүнд: 5 MBt чадалтай байх үед 209/288/332 мКр/г, 2MBt байх үед 83/115/132 мКр/г, 0,5 MBt байх үед 20/28/33 мКр/г тус тус байна.

Хүснэгт 3. 72 цаг шарсны дараах голомт бүр дэх ⁹⁹Mo-ийн хувийн идэвхийг тооцоолсон дүн.

Түлшний ассемблейн төрөл	Чадал	Дулааны нейтроны урсгалын нягт, н·см ⁻² ·сек ⁻¹	⁹⁹ Mo-ийн хувийн идэвх, мКр/г
VVR-M2	0.5 MBt	1.41·10 ¹³	19

IRT-4M	10 MBt	1.65·10 ¹⁴	268
VVR-KN	5 MBt	1.17·10 ¹⁴	209
	2 MBt	4.69·10 ¹³	83
	0.5 MBt	1.17·10 ¹³	20

5. ДҮГНЭЛТ

ОХУ-ын "РОСАТОМ" корпорац нь судалгааны реакторын 3 төрлийн түлшийг дэлхийн зах зээлд нийлүүлдэг. Үүнд VVR-M2-ийг бага, VVR-KN-ийг дунд, IRT-4M-ийг өндөр чадлын реакторуудад зориулан үйлдвэрлэдэг.

Дээрх 3 төрлийн түлш бүхий судалгааны реакторуудын хувьд нейтроны урсгалын орон зайн түгэлтийг нейтроны энерги ба реакторын чадлаас хамааруулж тодорхойлсон.

Нейтроны урсгалын түгэлтийг ашиглаж байгалийн Mo-ийг шарах оновчтой байрлалыг тодорхойлж уг байрлал дээр бай материалыг оруулж шарахад үүсэх Mo-99 изотопын хувийн идэвхийг реакторын түлш ба чадлаас хамааруулж тооцсон. Үр дүнгээс харахад 2 Кр/(долоо хоног) хэрэгцээг хангахын тулд 32 г байгалийн Молибдены байг хамгийн багадаа 2 MBt чадалтай реактор дээр шарах шаардлагатай байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг Монгол улсын ЦЭЖ-ын санхүүжилтээр “Монголын цөмийн шинжлэх ухаан, технологийн төвийн урьдчилсан замын зураглал хөгжүүлэх нь” дэд төслийн хүрээнд МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн МИНАТО кластер сервер хийж гүйцэтгэв.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] V. A. NASONOV, et al., “Water velocity determination in the gaps of irt-3m, -4m fuel assemblies”, Atomic Energy, Vol.110, No. 6, (2011) 389-394.
- [2] Grand Med эмнэлгийн эмч Эрдэнэчимэг, Эмнэлгийн зориулалттай изотопыг хэрэгцээ, хэвлэгдээгүй.
- [3] https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hlth_res_63-gamma-cameras-per-100-000/visualizations/#id=27985&tab=table
- [4] ACS.V. OSIPOVICH, et al., A new generation of research reactors fuelled with LEU, Joint-Stock Company “N.A. Dollezhal Research and

- Development Institute of Power Engineering” (JSC- “NIKIET”), Moscow, Russian Federation.
- [5] Y. NAGAYA, et al., “MVP/GMVP II: General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods,” JAERI-1348, Japan Atomic Energy Research Institute (2005).
- [6] K. SHIBATA, et al., “Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3,” J. Nucl. Sci. Technology, 39, 1125 (2002).
- [7] K. OKUMURA, et al., “Validation of a continuous-energy Monte Carlo burn-up code MVP-BURN and its application to analysis of post irradiation experiment,” J. Nucl. Sci. Technol, 37(2), 128-138 (2000).
- [8] Feasibility of Producing Molybdenum-99 on a Small-Scale using Fission of low Enriched Uranium or Neutron Activation of Natural Molybdenum, Technical Report Series No. 478, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna.

Будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн үзүүлэлтийг TiO_2 электродын гадаргуун боловсруулалтаар сайжруулах судалгаа

Ж.Түмэнхүслэн¹, Т.Угтахбаяр¹, Алтанбулаг², Н.Төвжаргал^{1*}, Алата², Ж.Даваасамбуу¹, О.Төгс²

¹Монгол улс, Улаанбаатар хот 14210, Монгол Улсын Их Сургууль,

Шинжлэх ухааны сургуулийн Физикийн тэнхим

²БНХАУ, Хөх хот, Өвөр Монголын багийн их сургуулийн

Функционал материалын физик, химийн төв лаборатори

Энэ ажлаар будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн үзүүлэлтийг сайжруулах судалгааг TiO_2 электродын үе давхаргыг TiCl_4 болон мочевинын уусмалыг хослуулах болон дан дангаар нь ашиглан боловсруулалт хийж сайжруулах ажлыг хийж гүйцэтгэлээ. Боловсруулалт хийсэн болон хийгээгүй TiO_2 электродын гадаргуун морфологи, түүнд шингээгдэх будгийн хэмжээ болон эдгээр электродод суурилсан нарны элементийн ашигт үйлийн коэффициентуудыг харьцуулан судлав. Гадаргуун боловсруулалтаас хамааран TiO_2 электродод шингээгдэх будгийн хэмжээ өөрчлөгдөж байгааг үзүүлэв. Эндээс TiO_2 нимгэн үеийн гадаргууг мочевинын уусмалаар боловсруулсан электрод хамгийн их буюу 5.51×10^{-8} моль/ cm^2 будаг шингээж байгаа бол TiCl_4 -оор идэвхжүүлж боловсруулсан электродод суурилсан нарны элемент хамгийн өндөр үр ашигтай буюу А.Ү.К нь 8.736% байгааг тогтоов.

PACS numbers: 88.40.hj, 81.65.-b, 73.50.Pz

I. Удиртгал

Орчин үеийн хүний амьдралыг цахилгаан эрчим хүчгүйгээр төсөөлшгүй билээ. Энергийн шинэ үүсгүүр, түүнийг хувиргах, хадгалах нь дэлхий нийтийн өмнө тулгамдсан нэгэн томоохон асуудал болж байгаатай холбоотойгоор сүүлийн жилүүдэд шинэ эрчим хүчний үүсгүүрийн судалгаа эрчимтэй хийгдэж байна. Одоогийн байдлаар нүүрс, байгалийн хий, газрын тос зэрэг үл нөхөн сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүрүүдийг түлхүү ашиглаж байгаа ч ойрын ирээдүйд эдгээрийг байгаль орчинд ээлтэй үүсгүүрээр солих шаардлага тулгарч байна. Энэ асуудлыг шийдэх арга замыг сэргээгдэх эрчим хүч гэж үзэж байна[1].

Нарны эрчим хүч нь шавхагдашгүй, нөхөн сэргээгдэх эх үүсвэртэй, байгаль орчинд ээлтэй, тогтвортой хөгжлийг хангагч эрчим хүчний үүсгүүр юм. Сүүлийн жилүүдэд будагч бодисоор идэвхжүүлсэн хагас дамжуулагч материалд суурилсан нарны элементүүдийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх судалгаа эрчимтэй хийж байгаа бөгөөд хэрэглээнд ашиглаж болох хүртэл сайжруулсаар байна. Будгаар идэвхжүүлсэн нарны элемент(DSSC)-ийг нээснээс хойш, түүний хөнгөн, уян хатан, үйлдвэрлэлийн өртөг бага зэрэг шинж чанарууд нь судлаачдын анхаарлыг ихээхэн татах болсон[2–5].

Нэг идэвхжүүлэгчид суурилсан будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн чадлын хувиргалтын бүтээмж(PCE) одоогоор ихдээ 14% хүрээд байна[6–8]. Нарны элемент нь төрөл бүрийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдээс тогтох бөгөөд тэдгээр нь бүгд түүний фото цахилгаан шинж чанар, бү-

тээмжийг сайжруулахад нөлөөлөх ач холбогдолтой байдаг. Чадлын хувиргалтын бүтээмжийг сайжруулахын тулд судлаачид нарны элементийн гол бүрэлдэхүүн хэсгүүд болох будагч бодисоор идэвхжүүлсэн хагас-дамжуулагч металл оксид(SMO) электрод[9–11], исэлдэн ангижруулах электролитын систем[12, 13] болон идэвхт тоологч электрод[14]-ыг хийх материалуудыг хувиргах замаар хөгжүүлж байна.

Будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийг оновчтой сайжруулах нэг арга бол титаны диоксид(TiO_2) хагас дамжуулагч металл оксидын үе давхаргад бүрэн-боловсруулалт хийх юм. Титаны тетрахлорид(TiCl_4)-ийн урвалжтай өндөр үр ашигтай нарны элементийн TiO_2 электродын бүрэн-боловсруулалтад амжилттай ашиглаж байна[15–17]. TiCl_4 -ийн боловсруулалтын дараа TiO_2 -ийн нано бөөмс дээр нэмэлт давхарга үүсдэг бөгөөд энэ нь түүний гадаргуун талбайг нэмэгдүүлэх, электрон шилжилт, гэрлийн сарнилыг сайжруулах гэх мэт зарим үзүүлэлтээр дамжуулан нарны элементийн ажиллагааг сайжруулдаг. TiCl_4 -ийн боловсруулалтыг гидролизын урвалаар явуулдаг бөгөөд шинээр үүсэх TiO_2 давхаргад TiCl_4 -ийн уусмалын концентрац голлон нөлөөлөх ба хамгийн өргөн хэрэглэгдэх зохимжтой утга нь 10–50мМ байна.

Сүүлийн жилүүдэд TiO_2 электродын сайжруулалтад өндөр дулаан болон химийн тэнцвэр, хялбар бэлтгэх боломжтой ба цэнэгийн рекомбинацийг сайжруулах боломж бүхий харьцангуй сөрөг дамжуулалтын бүстэй графит нүүрстөрөгчийн нитрид($g\text{-C}_3\text{N}_4$)-ийг ашиглах болсон. TiO_2 электродын гадаргуу дээр $g\text{-C}_3\text{N}_4$ -ийн нимгэн бүрхүүл үүсгэж нийлмэл болон бүрэн-боловсруулалт хийхдээ мочевины($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)-ын уусмалыг ашиглаж байна[18–20]. Хэдий ийм боловч, будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн үр ашгийг сайжруу-

*E-mail: tuvjargal@num.edu.mn

лах зорилгоор TiO_2 электродыг янз бүрийн материал, горимоор гадаргуун боловсруулалтыг хослуулан хийсэн ажил цөөхөн хийгдэж байна.

Иймээс энэ ажлаар будагч бодисоор идэвхжүүлсэн нарны элементийн үзүүлэлтийг сайжруулах судалгааг TiO_2 электродын үе давхаргын гадаргууг TiCl_4 болон мочефин(urea)-ийн уусмалыг хослуулах болон дан дангаар нь ашиглан бүрэн-боловсруулалт хийж сайжруулах ажлыг хийж гүйцэтгэх, мөн боловсруулалт хийсэн нано-бүтцэт TiO_2 электродын гадаргуун морфологи, түүнд шингээгдэх будгийн хэмжээг тооцоолох, эдгээр электродод суурилсан нарны элементийн ашигт үйлийн коэффициентыг харьцуулан тодорхойлох зорилготой.

II. Туршилт

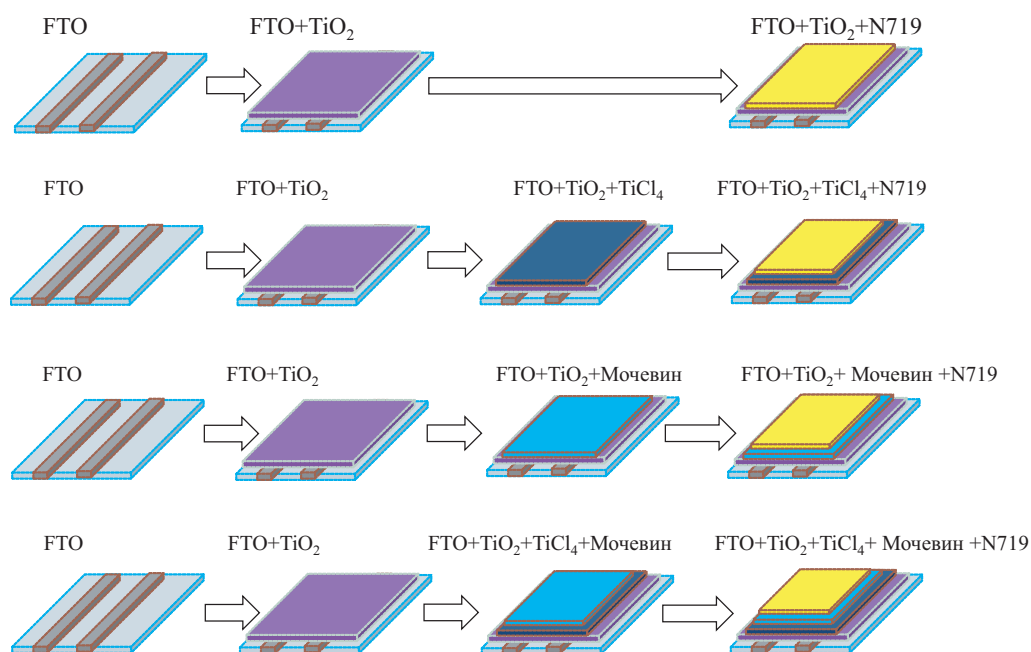
Туршилтад ашиглах бэлдэц болон уусмалуудыг тохирох урвалжуудаас гарган авах бөгөөд

шаардагдах урвалж, бодисуудыг худалдан(Sigma-Aldrich, Shanghai Macklin and Shanghai Aladdin Bio-Chem Technology) авсан.

Гэрлийн шингээлтийг тасалгааны температурт UV-Vis спектрометр(Perkin-Elmer Lambda 35), электродуудын нано-бүтцэт гадаргуун морфологийг сканнин электрон микроскоп(SU-8010, SEM), нэвтрэлтийн электрон микроскоп(JEM 210F, TEM) ашиглан судлав.

TiO_2 -электрод суурилсан нарны элементийн ашигт үйлийн коэффициент(A.Y.K)-ыг стандарт нарны элемент ашиглан тохируулга хийсэн AM1.5G нарны цацаргалтын эрчим буюу $100\text{mW}/\text{cm}^2$ чадалтай гэрэлтүүлэгч симулятор XES-70S1 (SAN-EI Electric, Japan) ашиглан гүйдлийн нягт-хүчдэл(J-V)-ийн характеристикийг хэмжиж тодорхойлов.

TiO_2 электрод бэлтгэх: TiO_2 электродыг янз бүрийн гадаргуун боловсруулалттай бэлтгэх үе шатны схемийг зураг.1-г үзүүлэв.



Зураг 1: Нано-бүтцэт TiO_2 электродыг янз бүрийн гадаргуун боловсруулалттай электродууд болгон бэлтгэх үе шатны схем

Энэхүү схемийн дагуу TiO_2 нимгэн үе бэлтгэж, түүнд гадаргуун боловсруулалт хийх ба будагч бодисоор идэвхжүүлэн дөрвөн электрод бэлтгэх болно. Үүнд:

- Фторын хольцот цагаан тугалгын оксид(F-SnO_2 буюу FTO)-ын шилэн суурийг эх-

лээд цэвэрлэгч уусмал, хэт цэвэршүүлсэн ус болон этанолоор хэт авианы ванн ашиглан цэвэрлэсний дараа нэрмэл ус, этанолоор угаагаад N_2 урсгал ашиглан хатаана. FTO ялтас дээр нано-бүтцэт TiO_2 -ын үе суулгаж бэлтгэхэд дэлгэц хэвлэх техник ашиг-

лах бөгөөд 20нм хэмжээтэй нано-бөөмсөөс тогтох титаны диоксидын зуурмагийг худалдан авч (Dalian HertaChroma Solar Tech Co., Ltd, DHS-TRP3) ашиглав. Хэвлэж бэлдсэн FTO+TiO₂ бэлдцийг шатаах зууханд аажуухан жигнэж 500°C температур хүртэл халааж тэнд 15 минут шатаагаад, тасалгааны температур хүртэл аажуухан хөргөнө.

- TiO₂ электрод дээр TiCl₄-ын боловсруулалтыг гүйцэтгэхдээ TiCl₄-ын 40мМ хэмжээтэй усан уусмалд электродоо дүрээд 70°C температурт 30 минут байлгаад нэрмэл ус болон этаноолоор угаасны дараа шатаах зууханд аажуухан жигнэж 500°C температурт хүргээд тэнд 30 минут шатаагаад, тасалгааны температур хүртэл аажуухан хөргөнө.
- Мочевин(CO(NH₂)₂)-ын боловсруулалтыг хийхдээ 50°C температурт бэлтгэсэн 1гр/моль концентрацтай CO(NH₂)₂ уусмалд электрод(TiO₂)-ын нимгэн үеийг 30секунд дүрж гаргаад зууханд 500°C температурт нэг цаг шатаагаад, тасалгааны температур хүртэл аажуухан хөргөнө. Ингэхдээ боловсруулалт хийгээгүй болон TiCl₄-ын боловсруулалт хийсэн FTO+TiO₂ электродууд дээр боловсруулалт хийсэн.
- TiO₂ электродод будагч бодис суулгаж идэвхжүүлэхдээ N719 буюу C₅₈H₈₆N₈O₈RuS₂ стандарт будаг ашигласан бөгөөд энэ нь будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн сайжруулалтад хамгийн түгээмэл ашиглагддаг будаг юм[21]. Электродод будаг шингээхдээ TiO₂ нимгэн үеийг 80°C температурт 30 минут халаагаад 0.3мМ хэмжээтэй будаг, этанолийн уусмалд дүрж 24 цаг гэрэлгүй орчинд байлгах ба үүний дараа этаноолоор угааж хатаана.

Будгаар идэвхжүүлсэн нарны элемент бэлтгэх: Нарны элемент бэлтгэхэд өмнө боловсруулалт хийж бэлтгэсэн дөрвөн TiO₂ электрод ашигласан. Тоологч электродоор цагаан алтан(Pt) электрод ашиглах бөгөөд түүнийг худалдан авсан нано-кластер бүтэц бүхий Pt зуурмаг(DHS-PtSP)-аар дэлгэц хэвлэх техник ашиглан FTO ялтас дээр хэвлээд шатаах зууханд 400°C температурт 30 минут жигнэж хатаана.

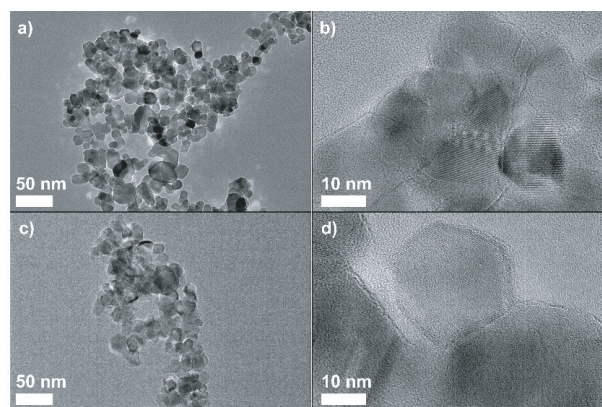
Будаг шингээсэн TiO₂ электрод болон Pt тоологч электродыг хооронд нь халуун туузан(25мкм зузаан) цавуугаар 0.4МПа даралт, 120°C температурт нааж нарны элемент болгон угсарна. Электролитын уусмал(ацетонитрилд 0.6моль 1,2-dimethyl-3-n-propylimidazolium iodide(DMPImI)+0.1моль LiI+0.2моль I₂+0.5моль 4-tert-butylpyridine (TBP) уусгаж бэлдсэн)-ыг тоологч электрод дээрх нүхээр нарны элементэд вакуум төхөөрөмжөөр дамжуулан оруулж, бэхжүүлнэ. Нүхийг нэмэлт халуун цавуун үеэр

бүрсэн нимгэн FTO шилэн ялтас ашиглан битүүмжилнэ. Ингээд гадаргуун боловсруулалт хийж, будаг шингээж бэлдсэн дөрвөн TiO₂ электродоо ашиглан нарны элемент хийх болно.

Эцэст нь TiO₂ электрод тус бүрд шингээгдсэн будгийн хэмжээ болон тухайн электродуудад суурилан бүтээсэн нарны элементийн ашигт үйлийн коэффициентыг харьцуулан тодорхойлох болно.

III. Үр дүн

Нано-бүтцэт TiO₂ нимгэн үе давхаргад мочевинын боловсруулалт хийсэн электродууд дээрх TiO₂-ийн бөөмсийн хэмжээ болон гадаргуун морфологийг TEM ашиглан хэмжсэн үр дүнг зураг.2-д үзүүлэв.



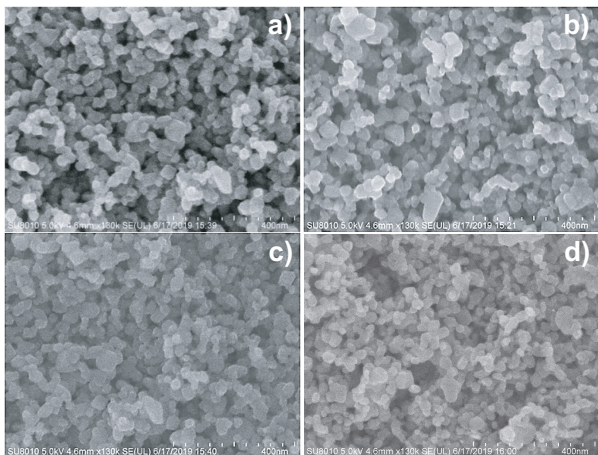
Зураг 2: Нано-бүтцэт TiO₂ бөөмсийн TEM зураг. Мочевинын боловсруулалт хийгээгүй (a, b) болон хийсэн (c, d) электродууд

Мочевинын боловсруулалт хийгээгүй электрод(зураг.2а, b)-ууд дээрх TiO₂ бөөмсийн дундаж хэмжээ ойролцоогоор 25нм, цэвэр жигд тархалттай байна. Харин электрод дээр боловсруулалт хийж, жигнэж хатаасны дараа TiO₂ бөөмсийн гадаргууд 1-2нм хэмжээтэй нимгэн нэмэлт бүрхүүл үүссэн нь зураг.2с, d)-ээс харагдаж байна. Энэ үр дүнд TiO₂ бөөмсийн гадаргуу дээр графит нүүрстөрөгчийн нитрид(g-C₃N₄)-ийн полимер нимгэн үе үүсгэсэн бусад ажилтай сайн тохирч байна[18, 19].

Мочевинын боловсруулалтын дүнд үүссэн g-C₃N₄-ийн бүрхүүлийн нөлөөгөөр электродод нэвтэрч, шингэх гэрлийн хэмжээ нэмэгдэж, нарны элементийн бүтээмж нэмэгдэх боломжтой.

Мөн электродууд дээрх TiO₂-ийн бөөмсийн тархалт, морфологийг SEM ашиглан хэмжсэн үр дүнг зураг.2-д үзүүлэв. Зураг.3-ын а) TiO₂ нимгэн үед гадаргуун боловсруулалт хийгээгүй электрод, б) TiO₂ нимгэн үед TiCl₄-ын боловсруулалт хийсэн электрод, с) TiO₂ нимгэн үед мочевинын

боловсруулалт хийсэн электрод, d) TiO_2 нимгэн үед $TiCl_4$ болон мочевинын боловсруулалт давхар хийсэн электродуудын гадаргуун морфологийг үзүүлэв.



Зураг 3: Нано-бүтцэт TiO_2 нимгэн үеийн гадаргуун морфологийн SEM зураг. а) TiO_2 нимгэн үед гадаргуун боловсруулалт хийгээгүй электрод, б) TiO_2 нимгэн үед $TiCl_4$ -ийн боловсруулалт хийсэн электрод, с) TiO_2 нимгэн үед мочевинын боловсруулалт хийсэн электрод, d) TiO_2 нимгэн үед $TiCl_4$ болон мочевинын боловсруулалт давхар хийсэн электрод

Зураг.2-аас үзэхэд электродуудын гадаргуу дээрх TiO_2 бөөмсийн түгэлт нэгэн жигд тархалттай, гадаргуун боловсруулалтаас хамааран өөрчлөлт гараагүй байна.

Будаг шингээж идэвхжүүлсэн электродуудад шингэсэн будгийн хэмжээг тооцоолохдоо TiO_2 электродод шингээсэн будгийг уусмал(0.1моль/л NaOH, THF((CH_2)₄O)/ $H_2O=1:1$)-д уусгаж аваад түүний оптик (UV-Vis) шингээлтийг хэмжиж, дээжийн шингээл A -аас тооцоолон гаргах болно. Ингэхдээ Веер-Ламбертын хууль ашиглан шингээлтийн багтаамж T (моль/ cm^2)-ийг олсон.

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \epsilon l c \quad (1)$$

$$n = cV \quad (2)$$

$$T = n/S \quad (3)$$

Энд A нь шингээлт, ϵ нь шингээлтийн коэффициент (л/(моль·см)), l нь уусмал агуулсан савны өргөн ($l=1$ см), c нь будагтай уусмалын концентрац (моль/л), n нь уусмал дэх дээж бодисын хэмжээ, V нь дээж уусмалын эзлэхүүн (л), S нь TiO_2 электродын гадаргуун талбай ($S=0.423$ см²). Эндээс бид электрод тус бүрд шингэсэн будгийн хэмжээг тооцоолсон үр дүнг хүснэгт.1-д үзүүлэв.

Хүснэгт I: Электродуудын будаг шингээх багтаамж, түүнд суурилсан нарны элементүүдийн ашигт үйлийн коэффициентуудын харьцуулсан үр дүн.

Электрод	A	T(моль/ cm^2)	η (%)
TiO_2	0.0595	4.33×10^{-8}	3.156
TiO_2+TiCl_4	0.0665	4.88×10^{-8}	8.736
TiO_2+Urea	0.0757	5.51×10^{-8}	4.717
TiO_2+TiCl_4+Urea	0.0694	5.07×10^{-8}	7.338

TiO_2 нимгэн үе ($E_g \approx 3.2$ эВ) нь хэт ягаан-цэнхэр гэрлийн мужид, N719 будаг ($E_g \approx 2.3$ эВ) нь улбар шар-улаан гэрлийн мужид гэрэл шингээдэг. Иймээс TiO_2 нимгэн үеийг будаг(N719)-аар идэвхжүүлж өгснөөр гэрлийн шингээлтийн муж үзэгдэх гэрлийн мужид өргөсөж гэрлийн шингээлт сайжирдаг бөгөөд энэ нь электродод шингээсэн будгийн хэмжээнээс хамаардаг. TiO_2 нимгэн үед шингэж байгаа будгийн хэмжээ гадаргуун боловсруулалтаас хамааран өөрчлөгдөж байгаа нь хэмжилтийн үр дүнгээс (хүснэгт.1) харагдаж байна.

$TiCl_4$ -ийн боловсруулалтын үр дүнд TiO_2 нимгэн үеийн гадаад бүрхүүлд холбоосны талбар үүсдэг бөгөөд үүний дүнд илүү их будгийн молекул шингээх нөхцөл бүрддэг бөгөөд үүний дүнд TiO_2 гадаргуу дээр хувийн холбоос үүсэж будгийн шингээлт нь TiO_2 нимгэн үеэс 11.4% нэмэгдэж байна.

Мочевинын боловсруулалтын дүнд TiO_2 нанобөөмсийн гадаргууд $g-C_3N_4$ -ын нимгэн бүрхүүл (зураг.2) үүссэн. Энэ нь электродод шингээх будгийн хэмжээ өөрчлөгдөх шалтгаан болж байна. Хэмжилтийн дүнгээс харахад (хүснэгт.1) шингээж буй будгийн хэмжээ TiO_2 нимгэн үед 27.2%, $TiCl_4$ боловсруулалт хийсэн TiO_2 нимгэн үед 3.8%-аар нэмэгдсэн байна. TiO_2 нимгэн үеийг мочевинын уусмалаар боловсруулсан электрод хамгийн их буюу 5.51×10^{-8} моль/ cm^2 будаг шингээж байна.

TiO_2 электрод болон түүнд $TiCl_4$, мочевинын уусмалаар гадаргуун боловсруулалт хийсэн электродод суурилсан нарны элемент тус бүрийн А.Ү.К (η) -ийг нэг нарны гэрэл цацруулагч (AM 1.5G) симулятор XES-70S1 ашиглан тодорхойлсон үр дүнг хүснэгт.1-т үзүүлэв. Нарны элементийн η -ийг түүний гүйдэл нягт-хүчдэл(J-V)-ийн характеристикийг хэмжиж тэгш.4-ийг ашиглаж тодорхойлов.

$$\eta = \frac{J_{SC} V_{OC} FF}{P_{in}} \quad (4)$$

Энд J_{SC} -богино хэлхээний гүйдлийн нягт, V_{OC} -нээлттэй хэлхээний хүчдэл, FF -дүүргэлтийн фактор, P_{in} -гэрлийн чадал.

Эндээс үзэхэд TiO_2 электродыг гадаргуун боловсруулалт хийсэн бүх тохиолдолд түүний энергийн хувиргалтын үр ашиг нэмэгдэж байна. $TiCl_4$ -оор гадаргуун боловсруулалт хийсэн TiO_2

электрод ашиглан хийсэн нарны элементийн η нь 8.736 % буюу хамгийн өндөр үр ашиг үзүүлж байна.

IV. Дүгнэлт

Энэ ажлаар нано-бүтцэт TiO_2 электродын нимгэн үеийг TiCl_4 болон мочевинын уусмалыг хослуулах болон дан дангаар нь ашиглан боловсруулалт хийж будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн үзүүлэлтийг сайжруулах судалгааны үр дүнг үзүүлэв.

Гадаргуун боловсруулалт хийсэн болон хийгээгүй TiO_2 нимгэн үеийн нано бөөмсийн морфологи, түүнд шингээгдэх будгийн хэмжээг тооцоолж, тэдгээр электродод суурилсан нарны элементийн ашигт үйлийн коэффициентыг харьцуулан тодорхойлов. TiO_2 электродод гадаргуун боловсруулалтаас хамааран түүнд шингэж байгаа будгийн хэмжээ өөрчлөгдөж (хүснэгт.I) байна. Мочевинын уусмалаар гадаргуун боловсруулалт хийсэн электродын будаг шингээх багтаамж хамгийн их буюу 5.51×10^{-8} моль/см² байна. Түүнчлэн нарны

элементийн ашигт үйлийн коэффициентыг тодорхойлсон үр дүнгээс (хүснэгт.I) TiO_2 электродыг гадаргуун боловсруулалт хийсэн бүх тохиолдолд түүний энергийн хувиргалтын үр ашиг нэмэгдэж байгааг үзүүлэв. Эндээс TiCl_4 боловсруулалт хийсэн электродод суурилсан нарны элементийн η нь 8.736 % буюу хамгийн өндөр хувиргалтын байгааг тогтоов.

Талархал

Энэхүү ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж "Үзэгдэх гэрлийн мужид цацаргах шинэ төрлийн лазерын материал гарган авах, түүний шинж чанарын судалгаа" суурь судалгааны төслийг санхүүжүүлсэн ШУТС болон БСШУС -ийн яам, P2019-3738 зочин судлаачдын судалгааны тэтгэлгийг санхүүжүүлсэн МУИС, туршилтын ажлыг хамтран гүйцэтгэсэн БНХАУ-ийн ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн Функционал материалын физик, химийн төв лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

-
- [1] A. Goetzberger, C. Hebling, and H.-W. Schock, *Materials Science and Engineering R* 40, 1 (2003)
- [2] Kim, H. et al., *Korean J. Chem. Eng.* 31, 1095-1104 (2014)
- [3] B. O'Regan, and M. Grätzel, *Nature* 353, 737 (1991).
- [4] M. Grätzel, *Inorg. Chem.* 446, 841 (2005).
- [5] A. Hagfeldt, G. Boschloo, L. Sun, L. Kloo, and H. Pettersson, *Chem. Rev.* 110, 6595 (2010).
- [6] K. Kakiage, Y. Aoyama, T. Yano, T. Otsuka, T. Kyomen, M. Unno, and M. Hanaya, *Chem. Commun.* 50, 6379 (2014).
- [7] K. Kakiage, Y. Aoyama, T. Yano, K. Oya, J.I. Fujisawa, and M. Hanaya, *Chem. Commun.* 51,15894 (2015).
- [8] K. Kakiage, Y. Aoyama, T. Yano, K. Oya, T. Kyomen, and M. Hanaya, *Chem. Commun.* 51, 19 6315 (2015).
- [9] C. Cavallo, F. D. Pascasio, A. Latini, M. Bonomo, and D. Dini, *J. Nanomater.* 2017, 1, (2017).
- [10] A. R. Jeyaraman, S. K. Balasingam, C. Lee, H. Lee, B. Balakrishnan, S. Manickam, M. Yi, H.-J. Kim, K. S. Nallathambi, Y. Jun, and H. Kuzhandaivel, *Mater. Lett.* 243, 180 (2019).
- [11] S. Aghazada, and M. K. Nazeeruddin, *Inorganics* 6, 52 (2018).
- [12] J. Wu, Z. Lan, S. Hao, P. Li, J. Lin, M. Huang, L. Fang, and Y. Huang, *Pure Appl. Chem.* 80, 2241 (2008).
- [13] Z. Yu, N. Vlachopoulos, M. Gorlov, and L. Kloo, *Dalton Trans.* 40, 10289 (2011).
- [14] S. Thomas, T. G. Deepak, G. S. Anjusree, T. A. Arun, S. V. Nair, and A. S. Nair, *J. Mater. Chem. A* 2, 4474 (2014).
- [15] Y. Xu, C. Gao, S. Tang, J. Zhang, Y. Chen, Y. 1 Zhu, and Z. Hu, *J. Alloys Compd.* 787,1082, (2019).
- [16] P. M. Sommeling, B. C. O'Regan, R. R. Haswell, H. J. P. Smit, N. J. Bakker, J. J. T. Smits, J. M. Kroon, and J. A. M. van Roosmalenm, *J. Phys. Chem. B* 110, 19191 (2006).
- [17] S.-W. Lee, and K.-S. Ahn, *J. Phys. Chem. C* 116, 21285 (2012).
- [18] K. Qi, S. Liu, Y. Chen, B. Xia, and G.-D. Li, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 183, 193 (2018).
- [19] J. Xu, G. Wang, J. Fan, B. Liu, S. Cao, and J. Yu, *J. Power Sources* 274, 77 (2015).
- [20] N. Irannejad, B. Rezaei, A. A. Ensafi, and M. M. Momeni, *Electrochim. Acta* 247, 764 (2017)..
- [21] I. Chung et al., *Nature*, 485, 486-489 (2012)

Ялгаатай хэмжээтэй мөнгөний нанопартиклын химийн урвалын катализаторын идэвхийн судалгаа

Б.Ихбаяр¹, Т.Анхбаяр¹, Н.Эрдэнэ¹, Х.Тэгшжаргал¹, Р.Галбадрах², Г.Эрдэнэ-Очир^{2*}

¹ Хими Биологийн Инженерчлэлийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол

² Физикийн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол

Энэхүү судалгааны ажлаар ялгаатай хэмжээтэй мөнгөний нанопартиклыг өөр өөр харьцаатай ангижруулагчдын тусламжтайгаар нойтон химийн аргаар синтезлэн гаргаж авсан. Нанопартиклын хэмжээний болон спектрийн анализыг фотоны хөндлөн корреляцийн спектроскопи, хэт ягаан туяа-үзэгдэх гэрлийн спектрофотометрээр тодорхойлсон. Нитро бүлэгтэй ароматик нэгдлээр 2,4-динитрофенолыг төлөөлүүлэн авч катализаторын идэвхийг тодорхойлсон. Туршилтын үр дүн мөнгөний нанопартиклын хэмжээ багасах тусам урвалын хурд өсч байгааг харуулсан.

Түлхүүр үг : Мөнгөний нанопартикл, 2,4-динитрофенол, катализаторын идэвхи

ОРШИЛ

Нитро бүлэгтэй ароматик нэгдлүүд нь химийн үйлдвэрүүдийн хаягдал усанд их хэмжээгээр агуулагддаг учир байгаль дахь усанд хамгийн өргөн тохиолддог органик бохирдлуудын нэг юм. Иймээс нитро бүлэг агуулсан энэ төрлийн нэгдлүүдийг ангижруулж амин бүлэгтэй болгосноор хорвуу чанарыг багасгахаас гадна үйлдвэрлэлд дахин ашиглах боломжийг нээдэг [1]. Гэвч нитро бүлгээс амин бүлэг болох урвал нь урвалын өндөр потенциалын (-0.76 эВ) улмаас катализаторгүйгээр явагдах боломжгүй [2]. Алт, мөнгө, цагаан алт, зэс зэрэг үнэт металаас гарган авсан нано хэмжээт материалууд нь ангижруулах урвалын маш сайн катализаторын идэвхтэй болох нь сүүлийн үеийн судалгаагаар тогтоогдсон [3]. Мөнгөний нанопартиклын гарган авах арга хялбар, катализаторын идэвх өндөр, биологийн орчинд тогтвортой, Раман сарнилыг өсгөх чадвар өндөр зэрэг шинж чанарууд нь судлаачдын анхаарлыг ихээр татаж байна [1]. Нөгөө талаас нано материалын физик, химийн шинж чанарт тэдгээрийн гарган авах арга, кристал бүтэц, хэлбэр, хэмжээ зэрэг олон хүчин зүйл нөлөөлж байдаг [4].

Бид энэхүү ажилд өөрийн лабораторийн нөхцөлд өөр өөр хэмжээтэй мөнгөний нанопартиклуудыг гарган авч тэдгээрийн хэмжээ катализаторын идэвхид хэрхэн нөлөөлж

байгааг 2,4-динитрофенолын ангижрах урвалыг судлах замаар тогтоохыг зорьсон.

ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

Хэрэглсэн бодис урвалж ба багаж төхөөрөмж. Мөнгөний нитрат (AgNO_3 99.6%), натрийн борогидрид (NaBH_4 98%), натрийн цитрат ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 98%), натрийн гидроксид (NaOH 96%) бодис урвалжийг хэрэглэсэн.

Шингээлтийн спектрийг хэт ягаан туяа-үзэгдэх гэрлийн спектрофотометр (Shimadzu 1650PC) багжаар хэмжсэн. Нанопартиклын хэмжээг тодорхойлоход фотоны хөндлөн корреляцийн спектроскопи Nanophox (PCCS, Sympatec)-г хэрэглэв. Масс спектрометр (Индукцийн холбоост плазмон оптик эмиссийн спектрометр ICP-MS, X SERIOS 2)-г дээжин дэх мөнгөний концентрацийг тодорхойлоход ашигласан.

Мөнгөний нанопартиклыг гарган авах. Натрийн борогидрид болон натрийн цитратыг ялгаатай хэмжээтэйгээр увалд хэрэглэсэн. Үүнд натрийн борогидрид болон натрийн цитрат нь ангижруулагч болон тогтворжуулагчийн үүргээр орж байгаа ба эдгээрийн молийн харьцаанаас хамаарч мөнгөний нанопартиклын хэмжээ хамаарна. Урвалд орох ангижруулагчид болон мөнгөний нитратын хэмжээг хүснэгт 1-д үзүүлэв [1], [4].

* Electronic address: erdeneochir_g@num.edu.mn

Хүснэгт 1. Урвалд орох ангижруулагчид болон мөнгөний нитратийн молийн хэмжээ.

Дээж	NaBH ₄ (10 ⁻⁴ М)	TSC (10 ⁻³ М)	AgNO ₃ (10 ⁻³ М)
Дээж 1	0	38.7	55
Дээж 2	10	3.55	2
Дээж 3	5	3.54	2
Дээж 4	0.05	1.77	2

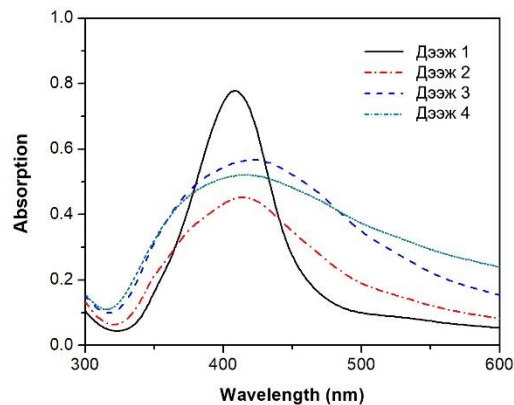
Урвал 2 өөр температурд явагдах ба эхлээд ангижруулагчдыг хүснэгт 1-д заасан хэмжээгээр усанд уусгасны дараагаар соронзон хутгуур дээр 60°C температурт 30 минутын турш өндөр эрчтэй хутгана. Үүний дараагаар бэлтгэсэн мөнгөний нитратын уусмалыг ангижруулагчдын усан уусмалд жигд нэмж өгнө. Мөнгөний нитратыг нэмсний дараа температурыг 90°C болтол өсгөж 20 минут соронзон хутгуураар өндөр эрчимтэй хутгана. Энэ үед натрийн гидроксидыг бага багаар нэмж уусмалын орчныг рН=10.5 болтол тогтворжуулна. Гаргаж авсан дээжин дэх урвалд ороогүй, илүүдэл бодисыг ялгахдаа дээжийг 16000g хүчээр 30 минутын турш центрифугт эргүүлнэ. Дээжний дээд хэсгийн шингэнийг пипетикээр соруулан авч, доод тунасан хэсгийг нэрсэн усанд уусгана.

Катализаторын идэвхийг тодорхойлох туршилт. Катализаторын урвалыг явуулахдаа 1мл эзэлхүүнтэй кварц кювьет дотор 1·10⁻⁵М концентрацитай 2,4-динитрофенолоос 10мкл, 1·10⁻⁴М концентрацитай натрийн борогидридээс 100мкл-г нэмж ялгаатай хэмжээтэй мөнгөний нанопартиклын уусмалыг концентрацийг нь ижил байхаар эзэлхүүнийг нь тааруулж хийнэ. Кювьет дотор бодис урвалжуудыг хийснээс хойш 5 минутын давтамжтайгаар 250-700 нм долгионы уртын мужид шингээлтийн спектрийг хэмжсэн.

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Туршилтаар гарган авсан 4 дээжийн шингээлтийн спектрийг 300-700нм долгионы уртын мужид спектрофотометрээр хэмжсэн (Зураг 1).

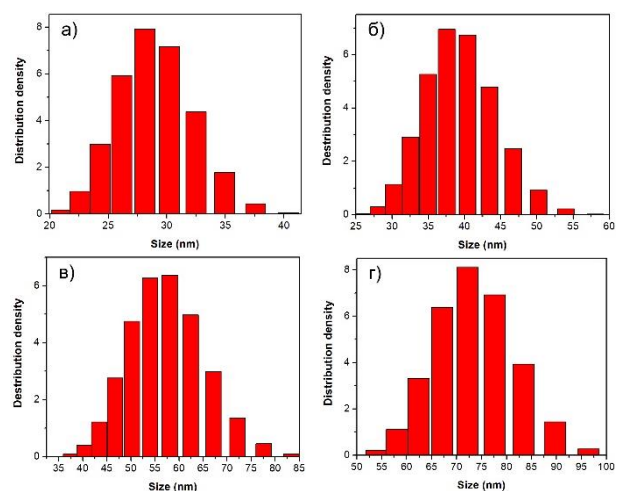
Дээж 1, Дээж 2, Дээж 3, Дээж 4-ийн шингээлтийн спектрт харгалзан 409нм, 415нм, 422нм, 426нм долгионы уртад хамгийн өндөр шингээлтийг үзүүлсэн.



Зураг 1. Гарган авсан дээжүүдийн шингээлтийн спектр.

Бөмбөлөг хэлбэртэй мөнгөний нанопартикл нь хэмжээнээсээ хамаарч 380-469нм мужид гадаргын плазоны резонанс пик өгдөг ба партиклын хэмжээ ихсэхэд пикийн байрлал спектрийн улаан тал руу шилждэг [4]. Дээрх туршилтын үр дүн гарган авсан дээжүүдэд нано хэмжээ мөнгөний партикл үүссэн болохыг баталж байна.

Дээжүүд дэх мөнгөний нанопартиклын хэмжээг фотоны хөндлөн корреляцийн спекрокопи ашиглан тодорхойлсон ба Дээж 1, Дээж 2, Дээж 3, Дээж 4-ийн дундаж диаметр харгалзан 28.44нм, 38.39нм, 55.70нм, 72.17нм хэмжээтэй байсан. Эдгээр үр дүн шингээлтийн спектр дэх пикийн байршил нанопартиклын хэмжээ нэмэгдэхэд спектрийн улаан тал руу шилждэг зүй тогтолтой сайн таарч байна.



Зураг 2. Нанопартиклын хэмжээний түгэлт. а) Дээж 1, б) Дээж 2, в) Дээж 3, г) Дээж 4.

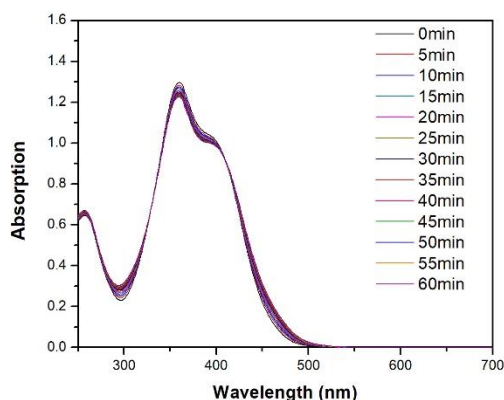
Масс спектрометр (ICP-MS)-ээр дээжин дэх мөнгөний концентрацийг тодорхойлсон үр дүнг Хүснэгт 2-т үзүүлэв. Хэмжилтийн үр дүнд

үндэслэн катализаторын идэвхийг тодорхойлох урвалд орох дээж бүрийн эзэлхүүнийг ижил хэмжээтэй мөнгөний атом (6.9×10^{-4} г) агуулсан байхаар тооцоолж бэлтгэсэн.

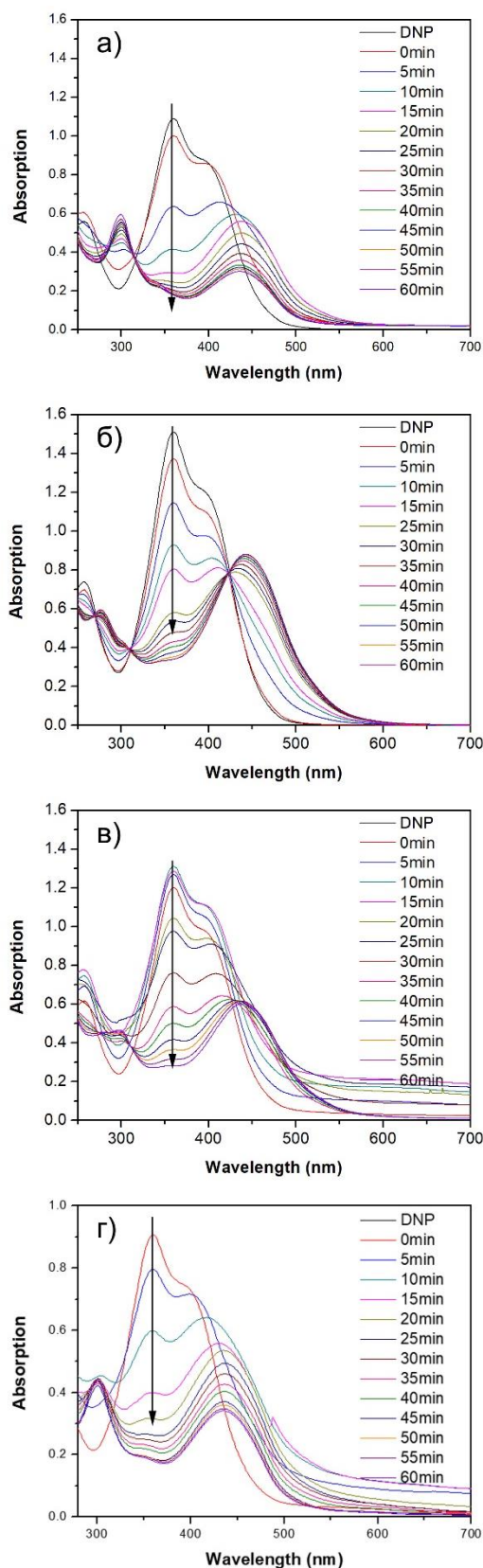
Хүснэгт 2. Мөнгөний партиклын урвалд орох эзэлхүүний хэмжээ.

Дээж	Агуулга мг/л	Урвалын эзэлхүүн, мкл
Дээж 1	33.9	41
Дээж 2	5.9	117
Дээж 3	8.4	164
Дээж 4	2.3	300

Зураг 3-д 2,4-динитрофенолын ангижрах урвалыг катализаторгүй үед 5 минутын алхамтай хэмжсэн хэмжилтийг харуулав. Хугацааны анхны агшин дахь спектрийн шингээлт хугацааны төгсгөл хүртэл бараг өөрчлөгдөөгүй байгаа нь энэхүү урвал катализаторын тусламжгүй маш удаан явагддагийг харуулж байна. Уусмал дахь натрийн борогидрид нь нитро бүлгийг ангижруулах боловч энэхүү ангижрах урвалын потенциал нь маш өндөр буюу -0.76 эВ учир нэмэлтээр мөнгөний нанопартикл зэрэг металын нанопартиклыг катализатороор нэмж өгснөөр энэхүү урвал явагдах хангалттай нөхцөл бүрдэнэ [2]. Мөн урвалд орж байгаа натрийн борогидрид нь ангижруулагчаас гадна усан дахь H^- ионы концентрацийг нэмэгдүүлж потенциалын зөрүүг үүсгэснээр усны молекул H^+ ион үүсгэж урвалын бүтээгдэхүүн болох амин бүлгийн устөрөгчийг ялгаруулдаг байна [2].



Зураг 3. Катализаторгүй үеийн 2,4-динитрофенолын хугацаанаас хамаарсан шингээлтийн спектр.

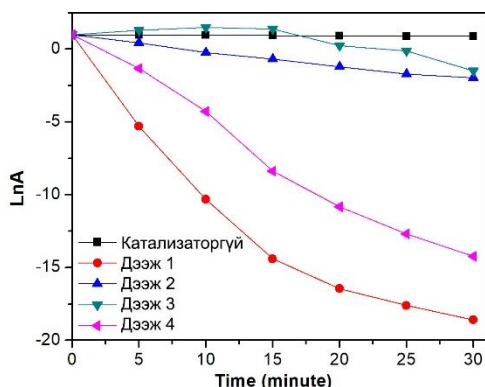


Зураг 4. Мөнгөний нанопартиклыг катализатороор нэмсэний дараах 2,4-динитрофенолын хугацаанаас хамаарсан шингээлтийн спектр. а) Дээж 1, б) Дээж 2, в) Дээж 3, г) Дээж 4. (График дээрх сум хугацаа ихэсч буй чиглэлийг заана.)

Зураг 4-т урвал явагдаж буй кювьетэд Дээж 1, Дээж 2, Дээж 3, Дээж 4-өөс мөнгөний агуулга нь

ижил байх хэмжээгээр нэмсэний дараах 2,4-динитрофенолын шингээлтийн спектрийг хугацаанаас хамааруулан хэмжсэн үр дүнг үзүүлэв.

Мөнгөний нанопартиклуудыг катализатор болгон 2,4-динитрофенолын уусмалд нэмсэний дараах шингээлтийн спектрийг зураг 3-т үзүүлэв. Цэвэр 2,4-динитрофенолын шингээлтийн спектрийн гол пик 360нм орчим бүртгэгддэг. Нанокатализатор нэмсэний дараа 360нм долгионы урт дээрх шингээлт буурч харин 439нм болон 298нм дээр шинэ пикүүд үүсч байсан. 360нм шингээлт нь нитро бүлгийн шингээлт ба шинээр үүсэж байгаа 298 нм-ийн долгионы урт дээрх шингээлт нь амин бүлгийн шингээлт гэж таамаглаж байгаа ба энэ нь нитро бүлэг ангижран амин бүлэг үүсэх урвал явагдаж байгааг илтгэж байна. Харин 439нм дээрх шингээлт туршилтыг үргэлжлүүлэх тусам буурах ба энэ нь 2 дахь нитро бүлгийн шингээлт юм. Туршилтыг 120 минут хүртэл үргэлжлүүлэхэд уг пик бүрэн алга болсон ба энэ нь нитро бүлэг ангижран амин бүлэг үүсгэж байгааг харуулж байна. Зураг 5-т катализаторын урвалын 360нм долгионы урт дээрх харьцангуй шингээлтийн натурал логарифм ба хугацааны хамаарлын шулууныг байгуулж урвалын хурдыг тооцоолсон үр дүнг үзүүлэв. Урвалын хурд катализаторгүй үед $K=2.05 \times 10^{-5} \text{c}^{-1}$ байсан бол Дээж 1, Дээж 2, Дээж 3, Дээж 4-ийг нэмэхэд харгалзан $K=8.8 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$, $K=4.6 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$, $K=2.3 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$, $K=8.1 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$ болж өссөн байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 5. Мөнгөний нанопартиклыг катализатороор ашигласан үеийн 2,4-динитрофенолын ангижрах урвал.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны хүрээнд 4 ялгаатай хэмжээтэй мөнгөний нанопартикл синтезлэж гарган авсан ба тэдгээрийг үзэгдэх гэрэл болон хэт ягаан туяаны спектрометр болон нанофокс зэрэг багажаар хэмжиж баталгаажуулсан ба 28.44нм, 38.39нм, 55.70нм, 77.17нм хэмжээтэй партиклууд гарсан болно. Нитро бүлэгтэй ароматик нэгдлийн ангижрах урвалын хүрээнд 2,4 динитрофенолыг туршилтанд сонгон авч ангижруулах урвалыг катализаторын тусламжтай явуулж урвалын хурдыг тооцоолсон. Туршилтын үр дүнд 28.44нм, 38.39нм, 55.70нм, 77.17нм хэмжээтэй партиклуудыг катализатороор ашиглахад урвалын хурд харгалзан $K=8.8 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$, $K=4.6 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$, $K=2.3 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$, $K=8.1 \times 10^{-4} \text{c}^{-1}$ тус тус гарсан. Урвалд орсон эхний 3 нанопартиклын үр дүнг харахад мөнгөний нанопартиклын хэмжээ багасах тусам хурд нэмэгдэж байгаа нь урвалд орох идэвхитэй гадаргуун талбай ихэссэнтэй холбоотой бол 77.17нм нанопартиклын хувьд ангижруулагчийн хэмжээ урвалын хурдад нөлөөлж хурдасгасан байж болох учир цаашид судалж үзэх шаардлагатай гэж үзэж байна.

ТАЛАРХАЛ

Уг судалгааны ажил нь Азийн Судалгааны Төвийн #P2019-3719 дугаартай төслөөр санхүүжигдсэн болно. Мөн судалгааг хийх нөхцлөөр хангасан МУИС-ШУС-ийн Физикийн тэнхимийн Оптик спектр судлалын лаборатори, МУИС-ХШУИС-ийн Наноматериал судлалын лабораторид талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Khongorzul Gerelbaatar Ariunzaya Tsogoo Rentsenmyadag Dashzeveg Ninjbadgar Tsedev Erdene-Ochir Ganbold. Reduction of 2,4-Dinitrophenol to 2,4-Diaminophenol Using AuNPs and AgNPs as Catalyst
- [2] Xiangkai Kong, Hongying Zhu, Chang-Le Chen, Guangming Huang, Qianwang Chen Insights into the Reduction of 4-Nitrophenol to 4-Aminophenol on Catalysts.
- [3] Osman Ahmed Zelekew and Dong-Hau Kuo A two-oxide nanodiode system made of double-

layered p-type Ag₂O@n-type TiO₂ for rapid reduction of 4-nitrophenol.

- [4] Shekhar Agnihotri, Soumyo Mukherji and Suparna Mukherji. Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy.
- [5] Sasa Gu, Yan Lu, Julian Kaiser, Martin Albrecht and Matthias Ballauff. Kinetic

analysis of the reduction of 4-nitrophenol catalyzed by Au/Pd nanoalloys immobilized in spherical polyelectrolyte brushes.

- [6] Muhammad Ismail, M.I. Khan, Sher Bahadar Khan, Kalsoom Akhtard Murad Ali Khan, Abdullah M.Asiri. Catalytic reduction of picric acid, nitrophenols and organic azo dyes via green synthesized plant supported Ag nanoparticles.

Импортын зарим турмерик нунтгийн элементийн шинжилгээний урьдчилсан дүн

Н.Отгонпүрэв*, Д.Болортуяа, П.Зузаан

Монгол Улсын Их Сургуулийн Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улс, Улаанбаатар 13330, Энхтайвны өргөн чөлөө -122

Бид энэ ажлаар Монгол улсад импортоор орж ирсэн, зах зээлд худалдаалагдаж байгаа зарим турмерикны дээжийг цуглуулан судалгаа хийж, түүнд агуулагдах үндсэн болон дагалдах хортой, хүнд элементүүдийг рентген-флуоресценцийн анализын аргаар тодорхойлов.

ОРШИЛ

Хүнсний аюулгүй байдлын эрсдэл нь дэлхий даяар нийгмийн эрүүл мэндийн асуудал, ялангуяа бага, дунд орлоготой орнуудад улам бүр нэмэгдэж байна. Хүнсний аюулгүй байдал нь Үндэсний аюулгүй байдлын чухал хэсэг бөгөөд төрөөс баталсан хүнсний салбарын бодлого, авч буй арга хэмжээ түүний хэрэгжилт, хүнсний сүлжээний бүх үе шат дахь хүнсний чиглэлийн үйл ажиллагаа, тэдгээрт тавих хяналт, шалгалт, түүнчлэн хэрэглэгчийн сэтгэл ханамжаар илэрхийлэгддэг онцлогтой [1].

Хүнсний нэмэлт гэж хүнсний бүтээгдэхүүнд амт, үнэр, өнгө оруулах, биежүүлэх, сийрэгжүүлэх, хүнсний бүтээгдэхүүнийг өвөрмөц чанартай болгон, хадгалах хугацаа болон үйлдвэрлэлийн технологи ажиллагааны хугацааг хурдасгах зорилгоор хүнсний бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх явцад зориудаар нэмдэг байгалийн болон химийн гаралтай бодисуудыг хэлнэ. Халуун ногооны төрлийн амтлагч нь түгээмэл хэрэглэгддэг хүнсний нэмэлт бүтээгдэхүүний эхний тавд багтдаг бөгөөд үндсэн ургамал нь маш үнэтэй байдаг[2]. Турмерик нэрээр танигдсан ургамлын үндэслэг ишний нунтагт агуулагдах күркүмин нь эрүүл мэндийг хамгаалагч гайхамшигт полифенол нэгдэл юм. Учир нь биологийн өндөр идэвхит энэ нэгдэл нь антиоксидант, хорт хавдрын эсрэг, үрэвслийн эсрэг, эм хамгаалах, сэтгэл гутралын эсрэг, өөх-тосны хэмжээг бууруулах үйлдэлтэй. Энэ ургамал нь хүн төрөлхтөнд ихээхэн танигдсан бөгөөд E100 гэдгээс эхлэн турмерик гэх мэтээр олон янзаар нэрлэгддэг. Мөн күркүмины ханд, карриний ханд диферуолоилметан, Цзянь Хуан,1,7-бис-{3-

метокси-4-гидроксипенил}-1,6-гептадиен-3,5-дион гэж нэрлэх нь ч бий. Күркүмины төрөлд Турмерикийн үндсэнд агуулагдах күркүминоид ба дизметоксикүркүмин, бис-диметоксикүркүмин ч хамаарагдана. Турмерикийн үндсэнд күркүминоид агуулагдах учир өнгө нь шар байдаг. Күркүмин нь диарилгептаноид юм. Энэ күркүминоид нь өмнөд азид алдартай Турмерик гэдэг (Япончууд укон-ukon, англичууд индиан сафрон-indian saffron, лалын орнуудад голдуу халди-haldi гэдэг), амтлагч бөгөөд цагаан гааны овогт хамаарагдана (Curcuma longa).

Турмерик нь зарим нэг хоолны амтлагчийн адил инсулинд мэдрэг байдлыг сайжруулах, хоолны дуршил бууруулна. Учир нь күркүмин эргэх зарчмаар инсулины ялгарал ба идэвхийг бууруулдаг. Мөн күркүмин нь инсулины анаболик эффектийг нэмэгдүүлснээр эсийн инсулинд мэдрэг чанар нэмэгддэг. Турмерик нь амттан болон өөх тостой хоолонд дурлах байдлыг бууруулдаг тул эрүүлээр жин хасахад тустай байдаг. Амьтан дээр хийгдсэн янз бүрийн, олон удаагийн судалгаагаар турмерик нь жин хасах үйлдэлтэй байна. Америкийн эрдэмтдийн хулгана дээр хийсэн судалгаанаас харахад күркүмин нь цусан дахь холестерин хэмжээ, элэгний өөхийг багасгадаг. Хүнсэнд күркүмин хэрэглэхэд өөхөн эдийн бичил судасны нягтралыг дарангуйлснаар судасжилт багасч өөхний хэмжээ буурсан байна. Судалгааны дүнд ангиогенезийн процесс ба өөхний эсэд липид хуримтлагдах үйл явцын дүнд өөхөн эд нэмэгддэг ажээ. Шар гаа (Curcuma Longa) нь Энэтхэг, Индонез, Филиппин, Мексикт өргөн тархсан, цагаан гааны төрлийн

* Electronic address: otgonpurev.n@gmail.com

хөхөлбөр шар өнгөтэй, гадуураа бор хальстай ургамал. Халуун, гашуун амттай, жүрж болон цагаан гаатай төстэй анхилуун үнэртэй. 3000 гаруй жилийн тэртээгээс хүнсэнд хэрэглэж иржээ. [3]

Энэ ажилд МУИС-ийн ЦФСТ-ийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн SPECTRO-XEPOS спектрометр ашиглан турмерикны дээжинд үндсэн болон дагалдах, хортой хүнд элементийн агуулгыг тодорхойлох судалгааны талаар өгүүлнэ.

СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Дээж бэлтгэл:

Монгол улсад импортоор оруулж ирж худалдаалагдаж буй төрөл бүрийн турмерикны дээжээс тус бүр 10 гр сонгон авч, 105°C-д хатааж, 32 мм голчтой майлар ёроолтой полимер саванд жигд дарж нягтруулан хэмжилтэд бэлтгэсэн. Дээжийн мэдээллийг хүснэгт 1-д үзүүлэв. Стандарт дээжээр олон улсын гурилны стандарт дээж IAEA-V-8(Trace elements in Rye Flour), олон улсын сүүний стандарт дээж(Milk powder A-11) тус бүр сонгов. Хэмжилтийн хугацаа 300 секунд. Спектрийг SPECTRO XEPOS спектрометрийн X-LabPro болон рентген спектр боловсруулалтын ерөнхий программ AXIL, тооцооны MS Excel зэрэг программуудыг ашиглан боловсруулалт хийж, үр дүнг тооцоолж гаргасан.

Хүснэгт 1. Дээжийн мэдээлэл.

Дээжийн нэрс	Улс	Худалдаж авсан газар
Турмерик-1	Энэтхэг	Namaste ресторан
Турмерик-2	Шри Ланк	Cranberry online shop
Турмерик-3	Энэтхэг	Шидэт нунтаг –Бүх сүлжээ дэлгүүр
Турмерик-4	Англи	Organic Superfood Mongolia



Зураг 1. Сонгож авсан турмерикны дээжүүдийг хэмжилтэнд бэлтгэсэн байдал.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэтхэг турмерик нь магни, цайр, кали, кальци, иод, марганци, төмөр, манган, зэс, кальци, фосфор, хром, кали, селен, цайр, уураг зэрэг эрдсээр баялаг бөгөөд А, С, Е, В1, В2, В3, В6 зэрэг амин дэмүүдийг агуулсан байдаг.

Хүснэгт 2. Турмерик ургамалын статистик үзүүлэлтүүд.

Параметр	Агуулга(%)
Чийглэг	8.92±0.02
Хуурайшилт	91.00±0.01
Үнслэг	2.85±0.02
Ширхэглэг	4.60±0.01
Уураг	9.40±0.02
Тослог	6.85±0.00
Нүүрс ус	67.38±0.01

Хоол тэжээлд агуулагдах макро, микро, хортой металлуудыг хүснэгт 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 3. Хоол хүнсэнд агуулагдах металлууд.

Макро металл	Микро металл	Хортой хүнд металл
Na	Fe	Ni
Mg	Mn	Pb
K	Cu	Cd
Ca	Zn	
	Cr	

Хүснэгт 4. Амтлагчинд агуулагдах үндсэн, дагалдах, хортой хүнд элементүүдийн зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ.

Элемент	Зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ(мкг/г)
Төмөр	300
Манган	100
Зэс	20
Цайр	50
Хром	30
Никель	50
Хар тугалга	10
Кадми	0.2

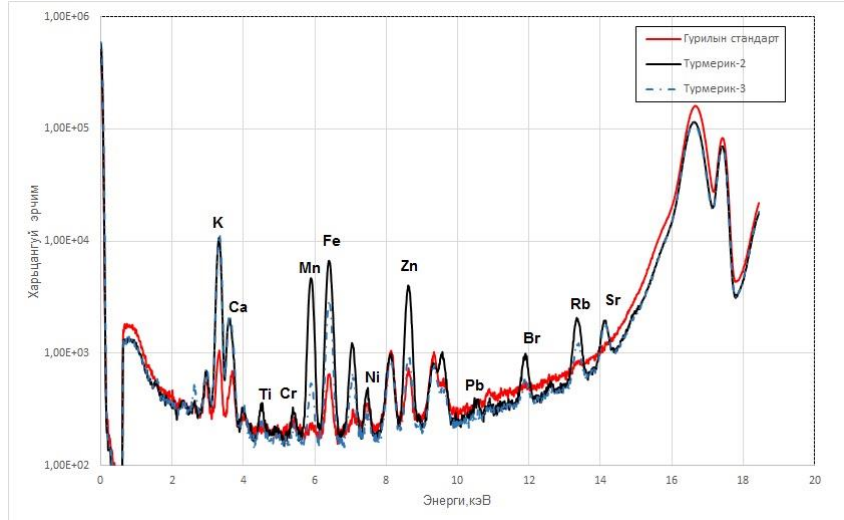
Эх үүсвэр: ДЭМБ(2005)

Эдгээр органик бус элементүүд нь хүний эрүүл мэнд, физиологийн процесст чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Тухайлбал, кальци нь сэтгэл хөдлөл, тархины эсийн дамжуулалт, генийн өөрчлөлт, синапсын сэргээлт зэрэг биологийн процесст гол үүрэг гүйцэтгэдэг. Магни нь нүүрс усны солилцоо, нуклейн хүчлүүдийн синтезд

оролцдог янз бүрийн ферментийг идэвхжүүлэгч үүрэг гүйцэтгэдэг.

Магнийн концентраци багассанаар мэдрэлийн систем болон зүрхний хэм алдагдал нэмэгддэг. Цайр нь согтууруулах ундааны дегидрогеназа, нүүрстөрөгчийн ахидраза, прокароки

пептидаза зэрэг олон тооны ферментүүдийн үндсэн бүрэлдэхүүн юм. Цайрын дутагдал нь өсөлтийн явц, арьсны гэмтэл зэрэгт хүргэдэг. Үүнтэй адил Ni нь ясны чөмөг дэх гемоглобины синтезд оролцдог. Төмөр нь биологийн процесст чухал үүрэг гүйцэтгэдэг элемент юм.



Зураг 2. Стандарт дээж болон Турмерик 2, Турмерик 3 дээжийн рентген спектр.

Мо байгаар хэмжсэн турмерикны дээжүүдийн рентген-флуоресценцийн спектрийг Зураг 2-т үзүүлэв. Мо, Al_2O_3 , Co, HOPG зэрэг дөрвөн бай ашиглан хэмжсэн турмерик дээжинд Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr

зэрэг элемент байгаа нь илэрсэн бөгөөд стандарт дээжүүдээс хамааран зарим элементүүдийн агуулгыг тодорхойлж 5-р хүснэгтэд нэгтгэн үзүүлэв.

Хүснэгт 5. Турмерикны дээжүүд дэх элементийн агуулгыг РФШ-ээр тодорхойлсон дүн.

№	Элемент	Турмерик1	Турмерик2	Турмерик3	Турмерик4
1	Al,%	0.29±0.01	0.29±0.01	0.34±0.01	0.30±0.01
2	Si,%	0.76±0.01	0.98±0.01	0.75±0.01	0.77±0.01
3	S, ppm	1899±16	2003±17	1723±16	1839±16
4	K,%	5.21±0.01	4.33±0.02	4.66±0.01	4.03±0.04
5	Ca, %	0.30±0.01	0.18±0.03	0.21±0.01	0.26±0.01
6	Cr, ppm	4±1	29±2	4±1	5±1
7	Mn,%	0.028±0.001	0.38±0.001	0.014±0.001	0.014±0.001
8	Fe,%	0.17±0.02	0.21±0.01	0.047±0.01	0.050±0.01
9	Ni,ppm	27±2.9	45±3.0	21±2.7	26±2.9
10	Cu,ppm	112±3.3	29±2.9	107±3.3	119±3.4
11	Zn,ppm	74±2	123±4	69±2	94±2
12	Rb,ppm	43±0.6	53±0.5	27±0.5	26±0.5
13	Sr,ppm	<DL	<DL	<DL	37±1.9

Дээрх тоон шинжилгээний дүнгээс харахад Турмерик 2 дугаар дээжинд Mn, Fe, Zn, Br, зэрэг элементүүд бусад дээжүүдтэй харьцуулахад их агуулгатай байгаа нь харагдаж байна. Мөн түүнчлэн чанарын болон тоон шинжилгээгээр Cr, Pb, As зэрэг хортой хүнд элементүүд

тодорхой хэмжээтэй агуулагдаж байгаа нь харагдсан.

Судалгааны үр дүнг хүснэгт 4-д байгаа амтлагчинд агуулагдах үндсэн болон дагалдах, хортой хүнд элементүүдийн зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээтэй харьцуулав. [4]. Турмерикны дээжүүдэд агуулагдах зарим үндсэн болон

дагалдах элементүүд болох Fe 470-2100 ppm, Mn 140-3800ppm, Cu 29-119 ppm, Zn 69-123ppm агуулгатай буюу зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их гарсан бол хортой хүнд элемент Cr 4-29ppm, Ni 21-45 ppm агуулгатай буюу зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байна. Харин судалгааны дээжид хүнд, хортой элемент болох Pb, Cr илэрсэн нь турмерик нунтгийн өнгийг нь илүү шаргал харагдуулахын тулд кроканта гэдэг эрдсээс гаралтай PbCrO₄ нэмэлтийг хийдэгтэй холбоотой байна [5]. Тэгэхдээ эдгээр элементийн агуулга зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байв.

ДҮГНЭЛТ

Бид энэ ажлаар Монгол улсад импортоор орж ирсэн, зах зээлд худалдаалагдаж байгаа зарим турмерикны дээжийг цуглуулан судалгаа хийж, рентген-флуоресценцийн анализын аргаар үндсэн болон дагалдах хортой хүнд 13 элемент тодорхойлов. Судалгааны дээжээр сонгож авсан турмерикны бүх дээжинд Fe, Cu, Zn амтлагчид байх зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их гарснаас гадна Cr, As, Pb зэрэг хортой, хүнд илэрсэн нь цаашид энэ төрлийн судалгааг илүү гүнзгийрүүлж бусад аргатай хоршин нарийвчлан судалж, харьцуулах шинжилгээ хийх шаардлагатайг харуулав.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Хүнсний аюулгүй байдал – Хүнс, хөдөө, аж ахуй хөнгөн үйлдвэрийн яам.
- [2] Хүнсний нэмэлт бохирдуулагчийн тухай ойлголт Малиша Антик, Белградын их сургууль, Хөдөө аж ахуйн факультет.
- [3] Турмерик түүний доторх күркүмний хэрэглээ, Тойм судалгаа, Б.Булган, АШУҮИС, Эм зүйн сургууль.
- [4] M.N.Withanage et al. Analysis of metal content in turmeric powder available in the Sri Lankan market, International Journal of Engineering Sciences& Research Technology 4.8 (2015), 367-380.

- [5] Jenna E.Forsyth et al. Turmeric means “yellow” in Bengali: Lead chromate pigments added to turmeric threaten public health across Bangladesh, Environmental Research 179 (2019) 108722.
- [6] Зарим төрлийн хүнсний бүтээгдэхүүнд хортой, хүнд элемент тодорхойлох судалгаа ‘Цөмийн цацрагийн хэрэглээ’ Шинжлэх ухаан технологийн суурь судалгааны ажлын тайлан (2014-2016), 47-52.
- [7] Усны чанар.Газрын доорхи усыг бохирдуулагч бодисын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ. Монгол улсын стандарт MNS 6148:2010.
- [8] Бүрэн ойлтын РФА ашиглан Улаанбаатар хотын ундны усанд хүнд хортой элементийн агуулга тодорхойлсон дүн ‘Цөмийн аналитик арга’ Шинжлэх ухаан технологийн суурь судалгааны ажлын тайлан (2011-2013), 82-88.
- [9] Цөмийн аналитик аргаар Туул гол орчмын хөрс, лаг шаврын дээжид хүнд, хортой элемент тодорхойлсон нь”, Г.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, Д.Болортуяа, Н.Отгонпүрэв, О.Сүх. МУИС. ЭШБ. ФИЗИК №438,(2015), 35-38.
- [10] П.Зузаан, С.Даваа, Д.Болортуяа “Рентген флуоресценцийн шинжилгээний онол, аргазүйн судалгаа” Улаанбаатар хот, 2012.
- [11] Nutritional metals in Foods by AAS- Mary Millikan, Victoria University, Australia, 2012.
- [12] Naila Akram et al. Comparative study on turmeric powder commercially available in different packaging FUUAST J.BIOL., 8(2): (2018), 237-241.
- [13] Waseem Hassan et al. Gas chromatography coupled with mass spectrometric characterization of Curcuma longa: Protection against pathogenic microbes and lipid peroxidation in rat’s tissue homogenate Pak. J. Pharm. Sci., Vol.29, No.2, (2016), 615-621.

Антипротон устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний иончлолын дан ба хоёрлосон дифференциал огтлолууд

Г.Зоригт, Л.Хэнмэдэх, Ч.Алдармаа*

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

Устөрөгчийн атомыг анти протон мөргөн иончлох үзэгдлийг Кулоны долгион функцын дискрет хувьсачийн аргаар хугацаанаас хамаарсан Ширедингерийн тэгшитгэлийг тоон аргаар тооцооллоо. Антипротон устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний үед иончлолын дан ба хоёрлосон дифференциал огтлолуудын тооцооллыг хийж бусад онолын үр дүнгүүдтэй харьцууллаа.

PACS numbers: Gs67.63.Gh, 67.80.Fh, 67.25.dt, 42.60.Rn, 31.55.ee

ОРШИЛ

Орчин үед туршлагын төхөөрөмжийн хөгжил дэвшил нь бөөмсийн мөргөлдөөний дифференциал огтлолуудыг хэмжих боломжийг олгож байна [1]. Антипротон-устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний бүрэн дифференциал огтлолыг континуумын засварласан долгионы хөндөх онолоор J. Berakdar, et.al. (1993) [2], S. Jones et.al. (2002) [3], A. B. Voitkiv and J. Ullrich (2003) [4] зэрэг судлаачдын ажлууд гарчээ. Харин хөндөх бус онолоор буюу Шредингерийн тэгшитгэл, Диракийн тэгшитгэлийг бодох замаар антипротон - устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний иончлолын дифференциал огтлолуудыг тооцоолох ажлууд сүүлийн (2009-2017) жилүүдэд хийгдсэн байна. Мак Говерн нар (McGovern et al. 2009, 2010) [5, 6] иончлолын бүрэн дифференциал огтлолыг тооцоолоход шагайлтын зайн аргыг боловсруулан холбоотой псевдо төлөвүүдийг (coupled pseudostates (CP)) ашиглажээ. Абдурахманов нарын (Abdurakhmanov et al. 2011) [7] ажилд бүрэн квант хугацаанаас хамаараагүй нийлэлттэй хүчтэй холбоосын аргаар (fully quantal time-independent convergent-close-coupling (QM-CCC)) ион атомын мөргөлдөөний процессыг судлан дифференциал огтлолуудыг тооцоолжээ. Харин Сиаппина нар (Ciarrina et al. 2013) [8] хугацаанаас хамаарсан хүчтэй холбоосын аргыг (time-dependent close-coupling (TDCC)) ашиглан бүрэн дифференциал огтлолыг судлахдаа цөм ионы харилцан үйлчлэлийн нөлөөг тооцоолсон байна. Abdurakhmanov et al. (2016) [9] нар нийлэлттэй хүчтэй холбоосын долгионы багцын

(wave-packet convergent-close-coupling (WP-CCC)) аргыг боловсруулан антипротон-устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний дифференциал огтлолуудыг тооцоолжээ. Бондарев нар (A. I. Bondarev et al. 2017) [10] Диракын релятив тэгшитгэлийг ион атомын мөргөлдөөний хувьд бодож дифференциал огтлолуудыг тооцоолох аргыг боловсруулсан байна.

Бид лазер атомын харилцан үйлчлэлийн тооцоололд амжилттай хэрэгжүүлсэн [11] (Peng. Liang-You and Starace. Anthony F, 2006.) Кулон баазтай дискрет хувьсагчийн төлөөллийн (CWDVR) аргыг ашиглан антипротон-устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний процессыг Шредингерийн хугацаанаас хамаарсан тэгшитгэлийг тооцоолох замаар иончлолын бүрэн дифференциал огтлолыг тооцоолсон билээ [12].

Дискрет хувьсагчийн төлөөлөлд псевдоспектрал бааз байгуулан тооцоолол хийх арга 50 гаруй жилийн өмнөөс хөгжиж ирсэн байна. Энэхүү аргыг лазер атомын харилцан үйлчлэл, цэнэгт бөөм атом, молекултай харилцан үйлчлэх процессыг судлахад ашиглаж байна. Дискрет хувьсагчийн төлөөлөлд тооцоолох аргыг Harris нар, (1965) [13] ба Dickinson, Certain (1968) [14], Лайт (Light) тэдний хамтрагчид (Lill. et al. 1982 [15], Light et al. 1985 [16]) зэрэг олон судлаачид хөгжүүлж ирсэн байна. Атомын физикт Кулоны потенциалыг илэрхийлэхэд хүндрэлтэй учраас тийм ч олон ажил гараагүй байна. Өргөтгөсөн Лагеррийн торонд суурилсан DVR аргыг Бей ба Хийнин (Baye and Heenen. 1986 [17]) нар томъёолон гаргасан байна.

* Electronic address: aldarmaa@must.edu.mn

Бауе, Keenen (1986)-ий гаргасан Лагеррийн тор ашигласан DVR аргыг Sakimoto антипротон-устөрөгчийн атомын өдөөлт ба иончлолын тооцоололд 2000 онд [18], протон-устөрөгчийн атомын харилцан үйлчлэлийн тооцоололд 2002 онд [19] ашигласан байна. Schwartz-ийн 1985 оны ([20] Schwartz С 1985) ажилд гаргасан интерполяцын аргад үндэслэн 2002 онд К.М.Dunseath нар [21] устөрөгчийн атомын холбоост төлөвийн энерги болон радиал диполийн моментийн дундаж утгуудыг тооцоолоход ашиглажээ.

Энэхүү ажилд антипротон устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний үед иончлолын дан (ДДО) ба хоёрлосон дифференциал огтлолууд(ХДО)ын тооцооллыг харуулна.

ОНОЛ

Хугацаанаас хамаарсан Шредингерийн тэгшитгэл

Устөрөгчийн атом антипротоны мөргөлдөөний процессыг динамикийг хугацаанаас хамаарсан Шредингерийн тэгшитгэлээр (ХХШТ) судлая. Антипротоныг шулуун траектороор хөдлөх шагайлтын зайн аргыг ашигласанаар антипротоны үүсгэх хувьсах цахилгаан оронд байгаа устөрөгчийн атомын бодлогод шилжинэ. Шредингерийн тэгшитгэлийг атомын нэгжийн системд бичвэл (Энд $\hbar = 1$ а. н, $e = 1$ а. н, $m_e = 1$ а. н)

$$i \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t) = [\hat{H}_0 + \hat{V}] \Psi(\vec{r}, t) \quad (1)$$

Энд $\Psi(\vec{r}, t)$ -атомын электроны долгион функц, \hat{H}_0 -устөрөгчийн атомын электроны Гамильтоны оператор, $\hat{V}(\vec{r}, t)$ -гадны орны харилцан үйлчлэлийн оператор нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\hat{V}(\vec{r}, t) = \frac{-Z}{|\vec{R}(b, 0, vt) - \vec{r}|} \quad (2)$$

Энд b шагайлтын зай v ионы хурд \vec{r} электроны радиус вектор \vec{R} ионы радиус вектор, t хугацаа, Z антипротоны хувьд -1 байна. Зураг 1.

ХХШТ-ийн хугацааны итерацыг операторын хоёрдугаар эрэмбийн задаргаагаар тооцоолоё. [22,23]

$$\Psi(\vec{r}, t + \Delta t) \cong \exp\left(\frac{-i\hat{H}_0\Delta t}{2}\right) \times \exp\left(-i\hat{V}(\vec{r}, t + \frac{\Delta t}{2})\Delta t\right) \times \exp\left(\frac{-i\hat{H}_0\Delta t}{2}\right) \Psi(\vec{r}, t) + O(\Delta t^3) \quad (3)$$

Долгион функцийг бөмбөлөг координатын системд дараах хэлбэртэй бичье.

$$\Psi(\vec{r}, t) = \sum_{l,m} R_{l,m}(r, t) Y_{l,m}(\varphi, \theta) \quad (4)$$

Энд $Y_{l,m}(\varphi, \theta)$ бөмбөлөг гармоник, $R_{l,m}(r, t)$ хугацаанаас хамаарсан радиал функц. Тухайн l -д харгалзах атомын Гамильтониан нь

$$H_0^l = -\frac{1}{2} \frac{d^2}{dr^2} + \frac{l(l+1)}{2r^2} - \frac{1}{r} \quad (5)$$

H_0^l Устөрөгчийн атомын Гамильтониан. Бид энэ ажилд Кулоны долгион функцийг дискрет хувьсагчийн төлөөлөл(CWDVR)-ийн аргыг ашиглалаа. [18,19,26,]

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2Z}{r} + k^2\right] v(r) = 0 \quad (6)$$

k -долгион тоо. $v(r)$ нь Кулоны долгион функц. $v(r)$ -г ашигласан интерполяцын функцээр (5) Гамильтонианы хувийн утга болон хувийн векторуудыг тодорхойлноор χ_i^l псевдоспектрал бааз тодорхойлогдоно. [11]

$$H_0^l \chi_i^l = \varepsilon_i^l \chi_i^l \quad i = 1 \dots N \quad (7)$$

Энд χ_i^l нь l орбитын квант тоотой төлвүүдийн псевдоспектрал бааз, N нь баазын гишүүний тоо, i нь баазын дугаар.

Радиал функцийг псевдоспектрал баазаар задлая.

$$R_{l,m}(r, t) = \sum_{i=1}^N g_{l,m,i}(t) \cdot \chi_i^l(r) \quad (8)$$

Үүнийг (3)-д орлуулж атомын Гамильтонианы операторын үйлчлэлийг тодорхойлбол

$$\begin{aligned} \exp\left(\frac{-i\hat{H}_0\Delta t}{2}\right) \Psi(\vec{r}, t) \\ = \sum_{l,m} \sum_{i=1}^N \exp\left(\frac{-i\Delta t}{2}\right) g_{l,m,i}(t) \\ \cdot \varepsilon_i^l \chi_i^l(r) Y_{l,m}(\varphi, \theta) \end{aligned} \quad (9)$$

Бид хугацааны алхамын тооцоололд (3) потенциал операторуудын хувьд экспоненциал матрицын үйлдэлийг Wolfram Mathematica програмын экспоненциал матрицын үйлдлийг ашиглалаа.

Иончлолын дифференциал огтлолууд

Хугацааны сүүлийн эгшиний долгион функцийг тодорхой импульстэй континуумын долгион функц дээр проекцлон шагайлтын зайн төлөөлөл дэх иончлолын амплитудыг тодорхойлно.

$$T(\varepsilon, \theta_e, \varphi_e, b, \varphi_b) = \langle \Psi_k^{(-)} | \Psi(t) \rangle \quad (10)$$

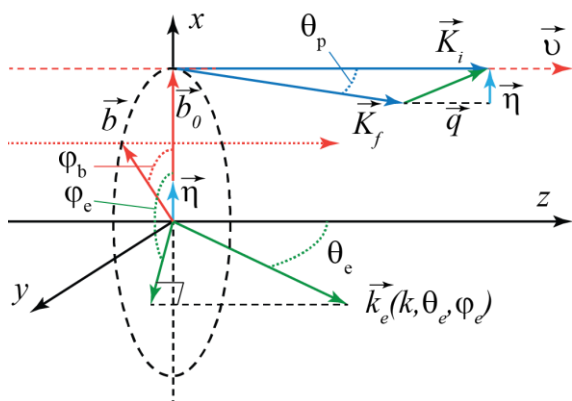
электрон ε энергитэй буюу $k = \sqrt{2\varepsilon}$ импульстэйгээр θ_e , φ_e өнцгөөр иончлогдох

амплитудыг антипротоны шагайлтын зай b , өнцөг φ_b

Энэхүү амплитудын модулийн квадрат нь магадлалаас электроны энерги, сугаран гарах биет өнцөг, шагайлтын зайгаар авсан гурвалсан уламжлалыг тодорхойлно.

$$\frac{d^3P(b)}{d\varepsilon d\Omega_e db} = |T(\varepsilon, \theta_e, \varphi_e, b, \varphi_b)|^2 \quad (11)$$

Шагайлтын зайн төлөөлөлд тооцоолсон үр дүнгээс шилжүүлсэн импульсийн төлөөлөлд шилжихдээ зураг 1 -д үзүүлсэн схемийг ашиглана.



Зураг 1. Антипротон, устөрөгчийн атомтай мөргөлдөх процессын кинематик схем. Антипротон z -тэнхлэгийн дагуу түсна. \vec{K}_i, \vec{K}_f антипротоны анхны ба эцсийн импульс \vec{k}_e электроны импульс, $\vec{\eta}$ нь \vec{q} шилжүүлсэн импульсийн антипротоны \vec{v} хурданд перпендикуляр байгуулагч.

Иончлолын амплитудыг шагайлтын параметрийн төлөөллөөс антипротоноос атомд шилжүүлсэн импульсийн төлөөлөлд, хоёр хэмжээст фурье хувиргалтаар дараах байдлаар шилжүүлнэ.

$$T(\varepsilon, \theta_e, \varphi_e, \eta, \varphi_b) = \frac{1}{2\pi} \int d\vec{b} e^{i\vec{\eta}\vec{b}} e^{i\delta(b)} T(\varepsilon, \theta_e, \varphi_e, b, \varphi_b) \quad (12)$$

$\delta(b)$ нь антипротон, устөрөгчийн атомын цөмийн харилцан үйлчлэлийг илэрхийлэх фазын үржигдэхүүн болно. [10].

$$\delta(b) = \frac{2 \cdot z_p z_p}{v} \cdot \ln(v \cdot b) \quad (13)$$

Антипротон ба устөрөгчийн атомын хувьд $z_p = -1, z_p = 1$

Шагайлтын параметр вектор x, y хавтгай дээр тодорхойлогдох бөгөөд бид шагайлтын параметр \vec{b} векторын өнцөг хувьсахад шагайлтын вектор x тэнхлэг дээр байрлах үед тооцоолсон утгаар (2) – амплитудын утгыг олохдоо z тэнхлэгийн хувьд эргүүлэлт хийн тодорхойлсон. Антипротоны шилжүүлсэн

импульсийн төлөөлөл дэх амплитудаар бүрэн дифференциал огтлолыг (БДО) дараах байдлаар тодорхойлно.

$$\frac{d^3\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e d\Omega_p} = K_i K_f |T(\varepsilon, \theta_e, \varphi_e, \eta, \varphi_b)|^2 \quad (14)$$

Бүрэн дифференциал огтлолыг аль нэг хувьсагчаар нь интегралчлан хоёрлосон дифференциал огтлолыг гарган авч болно.

Сугарсан электроны кинетик энерги, чиглэлээс хамаарсан ХДО нь антипротоны сарнилын өнцгөөс үл хамаарах буюу өөрөөр хэлбэл БДО – г сарнилын бүх өнцгөөр интегралчилан тодорхойлогдоно.

$$\frac{d^2\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e} = \int \frac{d^3\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e d\Omega_p} d\Omega_p \quad (15)$$

(15) илэрхийллээр сарнилын бүх өнцгөөр авсан интеграл нь шагайлтын зайн параметрээр авсан интегралтай эквивалент юм.

$$\frac{d^2\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e} = \int \frac{\partial^3 P(\varepsilon, \Omega_e)}{\partial \varepsilon d\Omega_e \partial \vec{b}} d\vec{b} \quad (16)$$

БДО (14)–г сугарсан электроны өнцгөөр болон шилжүүлсэн импульсийн өнцгөөр интегралчилбал электроны энерги болон шилжүүлсэн импульсийн хурданд перпендикуляр байгуулагчийн модулиас хамаарсан ХДО тодорхойлогдоно.

$$\frac{d^2\sigma}{d\varepsilon d\eta} = \eta \int d\varphi_\eta \int \frac{d^3\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e d\eta} d\Omega_e \quad (17)$$

ХДО –г нэг хувьсагчаар нь интегралчлан дан дифференциал огтлолыг тодорхойлж болно. Электроны энерги ба өнцгөөс хамаарсан (16) ХДО г энергиэр нь интегралчилбал электроны иончлох өнцгөөс хамаарсан дан дифференциал огтлол тодорхойлогдоно.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_e} = \int \frac{d^2\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e} d\varepsilon \quad (18)$$

Электроны энерги болон өнцгөөс хамаарсан (16) ХДО г өнцгөөр нь интегралчилбал электроны кинетик энергиэс хамаарсан дан дифференциал огтлол тодорхойлогдоно.

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \int \frac{d^2\sigma}{d\varepsilon d\Omega_e} d\Omega_e \quad (19)$$

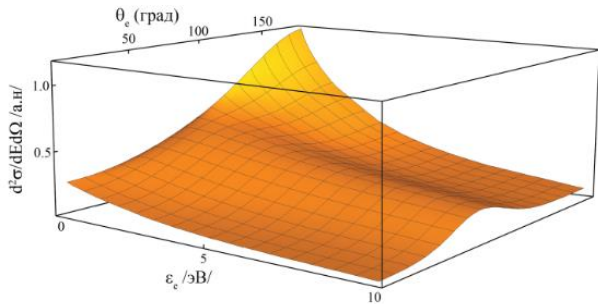
ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

Дифференциал огтлолын тооцоолууд

Кулоны долгион функцийн дискрет хувьсагчийн төлөөлөлд Кулоны континиумын долгион функцийн долгион тоог 2 а.н, цэнэг тоог 120 – иор авч орбитын квант тоог $l=0,1 \dots 5$ хүртэлх утгатайгаар авлаа. Антипротоны z координатыг -80 -аас 560 хүртэл $\Delta z = 0.32$ алхамтайгаар

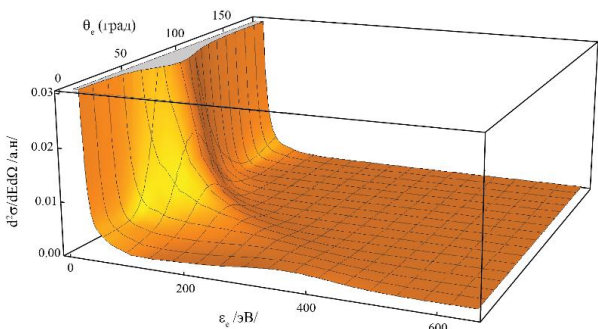
тооцооллоо.Хугацааны алхам нь антипротоны энерги $E_p = 200$ кэВ үед хурд нь $v_p \approx 2.83$ үүнд харгалзаад $\Delta t \approx 0.113$ байлаа. (12)-р Фурье хувиргалтын интегралыг тооцоолоходоо шагайлтын зайн утга b -гийн интегралыг 0.001 а.н – 100 а.н мужид 225 утганд Симпсоны квадратураар интегралыг тооцооллоо.

Электроны энерги, өнцгөөс хамаарсан ХДО.



Зураг 2. Антипротоны энерги 200кэВ үеийн хоёрлосон дифференциал огтлол. (16) томъёогоор илэрхийлэгдэх хоёрлосон дифференциал огтлолыг сарнилын хавтгай дээрх θ болон энергиэс хамааруулан тодорхойлсныг үзүүлэв.

Зураг 2-д CWDVR-д тооцоолсон (16) илэрхийллээр хоёрлосон дифференциал огтлолыг электроны энергийн 10эВ хүртэлх мужид үзүүлэв. Энд сугарсан электроны энергийн 0.1эВ-ээс их энергийн утгуудад гадаргын хэлбэр хэмжээ нь Абдурахманов нарын QM-CCC аргаар тооцоолсонтой (Зураг 2.) тохирч байна.

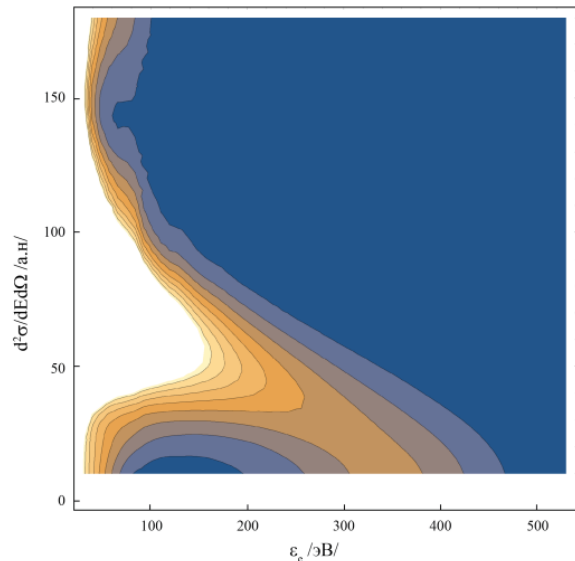


Зураг 3. Антипротоны энерги 200кэВ үеийн хоёрлосон дифференциал огтлол.

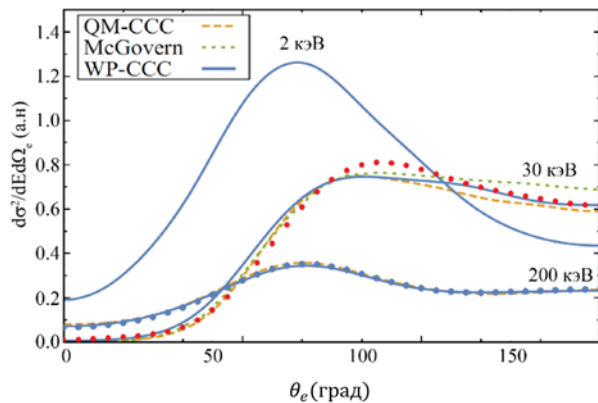
Хоёрлосон ба БДО-ын тооцоололд иончлогдсон электроны энергийн их утганд харгалзах дифференциал огтлолыг тооцоолоход Кулоны континуумын долгион функцийн долгион тоог ихэсгэх шаардлагатай нь ажиглагдаж байлаа. Иймд Антипротоны энерги 200кэВ үед (6) илэрхийлэл дэх долгион тоог 8 а.н. хүртэл

авснаар дифференциал огтлолын утга бүрэн тодорхойлодож байна.

Зураг 3 –д хоёрлосон дифференциал огтлолын их энергийн муж дахь хэсгийг харуулав. Иончлогдсон электроны энерги ихсэхэд дифференциал огтлолын максимум нь өнцөг θ -ийн 0 утга руу шилжиж байгаа бөгөөд 400эВ энергийн орчимд дифференциал огтлолын хамгийн их утга унтарч байгааг Зураг 4 үзүүлсэн контурын дүрслэлээс харж болно.



Зураг 4. Антипротоны энерги 200кэВ үеийн Электроны энерги, өнцгөөс хамаарсан хоёрлосон дифференциал огтлолын утгыг контураар дүрслэв.



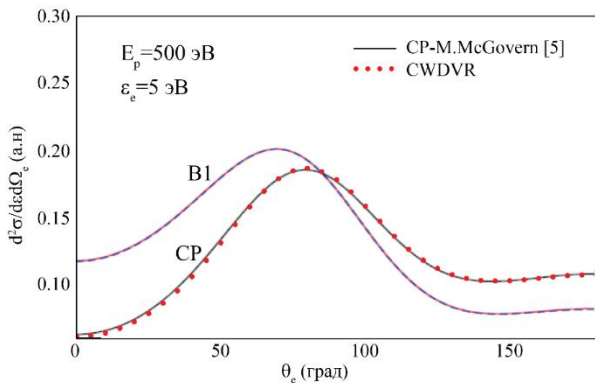
Зураг 5. Электроны энерги 5эВ үеийн хоёрлосон дифференциал огтлол. Электроны энерги 5эВ тохиолдолд антипротоны энерги 30кэВ, 200кэВ утгуудад бусад онолын үр дүнгүүдтэй харьцуулан CWDVR-ээр тооцоолсон үр дүнг цэгээр дүрслэн үзүүлэв.

Дээрх электроны энерги, өнцгөөс хамаарсан хоёрлосон дифференциал огтлолыг сугарсан электроны энерги 5эВ тохиолдолд антипротоны энерги 30кэВ, 200кэВ утгуудад хоёрлосон дифференциал огтлолыг тодорхойлж бусад

онолын үр дүнгүүдтэй харьцуулсныг Зураг 5-д үзүүлэв.

Антипротоны энерги 200кэВ үед МакГоверн (McGovern) [5], Абдурахманов (WP-CCC [9], QM-CCC [7]) нарын үр дүнгүүдтэй бидний тооцоолсон CWDVR үр дүнтэй сайн таарч байна. Антипротоны энерги 30кэВ үед МакГоверн (McGovern) ба Абдурахманов (WP-CCC, QM-CCC) нарын үр дүнгүүд хоорондоо зөрүүтэй байгаа бөгөөд бидний тооцоолсон CWDVR үр дүн мөн адил өнцгийн 90° их мужид бага зэрэг зөрүүтэй байна.

Сугарсан электроны энерги ба чиглэлээс хамаарсан хоёрлосон дифференциал огтлолыг антипротон энерги 500 кэВ үед мөн (16) илэрхийллээр тооцоолж МакГоверн нарын [5] тооцоололтой харьцууллаа. Антипротоны энерги $E_p = 500$ кэВ үед хурд нь $v_p \approx 4.47$ болох ба хугацааны алхамыг $\Delta t = 0.0715$ –ээр авч тооцооллоо.

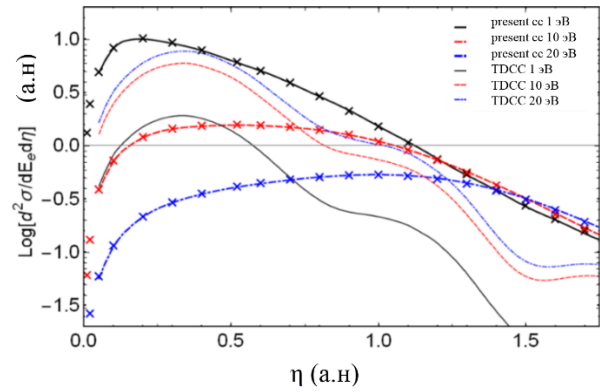


Зураг 6. Антипротоны энерги 500кэВ үед хоёрлосон дифференциал огтлол.

Антипротон энерги их үед холбоост псевдо спектрал аргаар (CP) тооцоолсон үр дүнтэй CWDVR аргаар тооцоолсон үр дүн өнцгийн бүх мужид сайн тохирч байна. Энэ үр дүн нь антипротоны энерги их үед CWDVR арга нарийвчлал сайтай үр дүн өгч байгааг харуулж байна

Бүрэн дифференциал огтлолыг интегралчлан электроны энерги болон шилжүүлсэн импульсийн хурданд перпендикуляр байгуулагчаас хамаарсан ХДО-ыг антипротоны энерги 200кэВ үед электроны энерги 1эВ, 10эВ, 20эВ тохиолдлуудад шилжүүлсэн импульсээс хамааруулан (17) илэрхийллээр тодорхойлж релятив аргаар тооцоолсон Бондарев нарын (Relativistic CC - A. I. Bondarev.et.al. 2017) [10] хугацаанаас хамаарсан хүчтэй холбоосын аргаар

бодсон Сиappaина нарын (TDCC - M.F. Ciappina, at.al. (2013) [8] онолын үр дүнтэй харьцуулсныг зураг 7-д үзүүлэв.

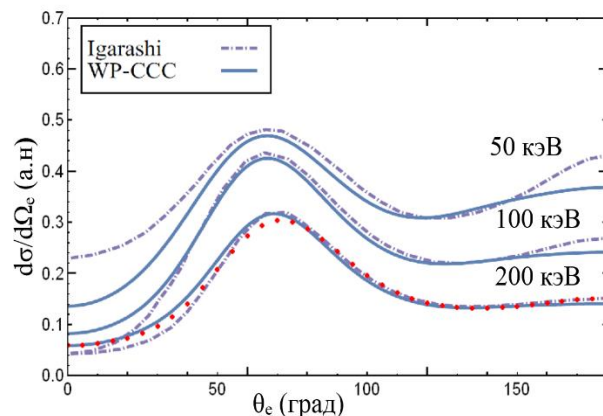


Зураг 7. Энерги ба шилжүүлсэн импульсээс хамаарсан хоёрлосон дифференциал огтлол. CWDVR аргаар тооцоолсон үр дүнг хэрэвсээр тэмдэглэн релятив тооцооллын үр дүнтэй харьцуулан үзүүлэв.

Бидний CWDVR аргаар тооцоолсон үр дүн релятив тооцооллын үр дүнтэй маш сайн тохирч байна.

Электроны сугаран гарах чиглэлээс хамаарсан ДДО.

Энэхүү дан дифференциал огтлолыг тодорхойлоход энергийн өргөн мужид хоёрлосон дифференциал огтлолыг тодорхойлох шаардагдаж байна. Бид антипротоны энерги 200кэВ үед CWDVR тооцоолсон үр дүнгээ Игараши [23], Абдурахманов [9] нарын үр дүнтэй харьцууллаа.



Зураг 8. Электроны сугаран өнцгөөс хамаарсан дан дифференциал огтлол. Антипротон 200 кэВ үед CWDVR тооцоолсон үр дүнг улаан цэгээр, Игараши, Абдурахманов нарын үр дүнг харгалзан тасархай шугам ба битүү муруйгаар дүрслэв.

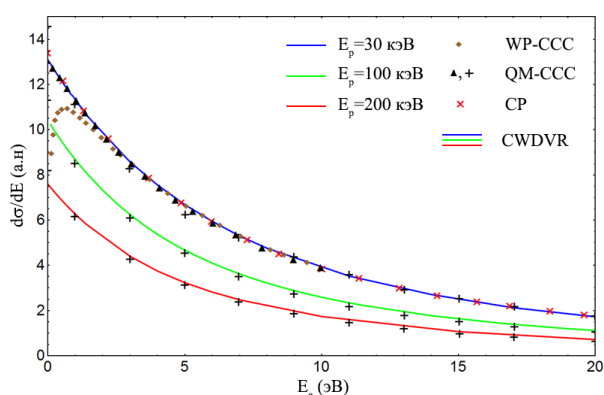
Псевдоспектрал баазын энергийн нягтрал ихтэй мужийг өргөтгөхийн тулд Кулоны долгион функцийг долгион тоог 8 а.н болгон тооцооллыг

(18) илэрхийллээр тооцоолж Зураг 8-д үзүүлсэн дан дифференциал огтлол тодорхойлогдлоо.

Тооцооллын үр дүн бага өнцгийн мужид Абдурахманов WP-ССС үр дүнтэй, өнцгийн их утгад Игараши нарын үр дүнтэй сайн давхцаж байгаа бөгөөд максимумын орчимд бага утга өгч байна.

Электроны сугаран гарах энергиэс хамаарсан ДДО.

Энэхүү ДДО-г (19) илэрхийллээр тооцоолж Зураг 9-д үзүүлэв. (19) дэх ХДО-г электроны сугаран гарах өнцгөөр нь интегралчлахдаа φ_e өнцгийн интегралын 121 утгаар, θ_e -ийн интегралыг 73 цэгийн утгаар нь Симсоны квадратураар тооцооллоо.



Зураг 9. Энергиэс хамаарсан иончлолын дан дифференциал огтлол.

Энэхүү дан дифференциал огтлолыг МакГоверн нар [5,6] холбоост псевдоспектрал аргаар антипротоны 30кэВ энергийн утганд, Абдурахманов нар [7] QM-ССС аргаар 30кэВ, 100кэВ, 200кэВ энергитэй антипротоны хувьд тооцоолсон бол [9] ажилд WP-ССС арга буюу багц долгионы нийлэлттэй хүчтэй холбоосын аргаар антипротоны энергийн 30кэВ утганд тооцоолсон байна.

ДҮГНЭЛТ

Кулоны долгион функций дискрет хувьсагчийн аргаар антипротон устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний иончлолын дифференциал огтлолуудыг тооцооллоо. Энэхүү аргын хувьд Кулоны долгион функций долгион тоо k үед $k^2/2$ -аас бага энергитэй иончлогдох электроны дифференциал огтлолуудыг тодорхойлох боломжтой нь харагдаж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Knudsen H, Mikkelsen U, Paludan K, Kirsebom K, Moller S P, Uggerhoj E, Slevin J, Charlton M and Morenzoni E 1995 Phys. Rev. Lett. 74 4627
- [2] J. Berakdar, J. S. Briggs, and H. Klar, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics 26, 285 (1993).
- [3] S. Jones and D. H. Madison, Phys. Rev. A 65, 052727 (2002).
- [4] A. B. Voitkiv and J. Ullrich, Phys. Rev. A 67, 062703 (2003).
- [5] M. McGovern, D. Assafrao, J. R. Mohallem, C. T. Whelan, and H. R. J. Walters, Phys. Rev. A 79, 042707 (2009).
- [6] M. McGovern, D. Assafrao, J. R. Mohallem, C. T. Whelan, and H. R. J. Walters, Phys. Rev. A 81, 032708 (2010).
- [7] I. B. Abdurakhmanov, A. S. Kadyrov, I. Bray, and A. T. Stelbovics, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics 44, 165203 (2011).
- [8] M. F. Ciappina, T.-G. Lee, M. S. Pindzola, and J. Colgan, Phys. Rev. A 88, 042714 (2013).
- [9] I. B. Abdurakhmanov, A. S. Kadyrov, and I. Bray, Phys. Rev. A 94, 022703 (2016).
- [10] A. I. Bondarev, Y. S. Kozhedub, I. I. Tupitsyn, V. M. Shabaev, and G. Plunien. Relativistic calculations of differential ionization cross sections: Application to antiproton-hydrogen collisions. Phys. Rev. A 95, 052709 (2017)
- [11] Peng. Liang-You and Starace. Anthony F., Application of Coulomb wave function discrete variable representation to atomic systems in strong laser fields, 2006. The journal of chemical physics 125, 154311.
- [12] G. Zorigt, L. Khenmedekh, Ch. Aldarmaa, IJMA- 10(5), (2019) 19-23.
- [13] Harris D O, Engerholm G G and Gwinn W D 1965 J. Chem. Phys. 43 1515
- [14] Dickinson A S and Certain P R 1968 J. Chem. Phys. 49 4209
- [15] Lill J V, Parker A and Light J C 1982 Chem. Phys. Lett. 89 483
- [16] Light J C, Hamilton I P and Lill J V 1985 J. Chem. Phys. 82 1400
- [17] Baye D and Heenen P-H 1986 J. Phys. A: Math. Gen. 19 2041

- [18] Sakimoto K 2000 J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 33 5165
- [19] Sakimoto K 2002 Phys. Rev. A 65 012706
- [20] Schwartz C 1984 J. Math. Phys. 26 411
- [21] K.M. Dunseath, J-M Launay, M Terao-Dunseath and L Mouret J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 35 (2002) 3539–3556
- [22] Xiao Min Tong, Shih I Chu Theoretical study of multiple high-order harmonic generation by intense ultrashort pulsed laser field: A new generalized pseudospectral time dependent method. Chemical Physics 217 (1997) 119-130
- [23] A. Igarashi, S. Nakazaki, and A. Ohsaki. Ionization of atomic hydrogen by antiproton impact, Phys review A, Vol 61, 062712 published 17 May 2000.

Зарим хүнсний ногоонд макро, микро элемент тодорхойлох атом-цөмийн аргагүйн судалгаа

Г.Дамдинсүрэн^{1,3}, А.Цогзолмаа^{1,3}, Ц.Амартайван^{1,2}, Д.Болортуяа³, П.Зузаан^{3,*}

¹ Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль

² Шинжлэх Ухааны Сургууль, Байгалийн Ухааны Салбар, Монгол Улсын Их Сургууль

³ Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв, Монгол Улсын Их Сургууль

Импортын болон дотоодын зарим хүнсний ногоо (чинжүү, сонгино, сармис)-ын дээжид рентген-флуоресценцийн болон идэвхжилийн шинжилгээний аргаар макро, микро элементийн агуулгыг тодорхойлж, үр дүнг олон улсын болон монгол улсын стандарт (зөвшөөрөгдөх) утгатай харьцуулан үнэлсэн талаар өгүүлнэ. Энэ ажлыг “Хүрээлэн буй орчин, биологийн объектыг шинжлэх цөмийн физикийн аргагүйн судалгаа” сэдэвт ажлын хүрээнд хийж гүйцэтгэв.

PACS numbers: 82.80.-d, 82.80.Ej

I. УДИРТГАЛ

Аливаа хүнсний ногоо, ургамалд агуулагдах макро, микро элементийн хэмжээ нь тариалалт, хөрсний нөхцөл, ургалтын үргэлжлэх хугацааны цаг агаарын нөхцөл байдал, бордоо ашиглалт, хураах үйл явц болон тухайн үеийн ургамлын төлөв зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаардаг [1].

Хүнсний ногоо нь витамин, эрдэс бодис, эслэгийн баялаг агууламжтай бөгөөд антиоксидант чанар ихтэй байдаг. Гэсэн хэдий ч хүнд металаар бохирдсон хүнсний ногооны хэрэглээ нь хүний эрүүл мэндэд аюул учруулж болзошгүй учраас хүнд металлын бохирдлын хэмжээ нь хүнсний бүтээгдэхүүний чанарын баталгааг илтгэх нэг чухал үзүүлэлт болдог.

Хөгжиж буй улс орнуудын хувьд үйлдвэрлэл, хотжилт, хүн амын төвлөрөл, уул уурхайн үйл ажиллагаа зэргээс хамааран хүрээлэн буй орчны бохирдлыг ихээхэн нэмэгдүүлдэг. Хүнсний бүтээгдэхүүнийг тариалах, боловсруулах, тээвэрлэх, хадгалах, борлуулах явцад орчины нөлөөллөөс хамааран хүнсний ногооны гадаргуун хэсэг ихээр бохирддог [2].

Хүнд металлууд нь хүнсний бүтээгдэхүүнээр дамжин хүний биед орж, удаан хугацааны турш хуримтлал бий болсноор хүний биеийн биохимийн процессуудыг тасалдуулж зүрх судас, мэдрэл, бөөр, ясны зэрэг олон өвчлөлд хүргэдэг [3-4]. Зарим хүнд металлууд болох Cu, Zn, Mn, Co, Mo зэрэг нь хүнс тэжээлд багахан хэмжээгээр агуулагдах үед хүн, амьтны

өсөлтөд сайнаар нөлөөлдөг ба харин Cd, As, Cr, Pb нь хорт хавдар үүсгэх эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг [5-6]. Жимс, хүнсний ногоонд хүнд металл (Cu, Cd, Pb)-ийн агуулга өндөр байвал ходоодны хавдар үүсэх магадлалтай [7]. Үүнээс гадна жимс, хүнсний ногоо нь тариалах явцад хөрснөөс металлуудыг маш сайн шингээх үйлчилгээтэй байдаг бөгөөд хүнд болон хортой элементийн бохирдолтой хөрсөнд жимс, хүнсний ногоо тариалах замаар бохирдлын хэмжээг бууруулдаг [8-10].

Энэхүү судалгааны ажлаар хүнсний өргөн хэрэглээний бүтээгдэхүүний нэг болох зарим төрлийн хүнсний ногоонд агуулагдах үндсэн болон дагалдах элементийн агуулгыг атом-цөмийн аналитик аргаар тодорхойлох, хэмжилтийн аргагүй боловсруулах, үр дүнг манай болон олон улсын стандарт утгатай харьцуулан үнэлэх зорилго тавив.

II. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ, ТУРШИЛТ

Судалгааны дээжээр монгол улсад тариалсан сонгино, сармисны дээж, мөн импортын чинжүү (улаан, ногоон), сонгино, сармисны дээжийг сонгон авч туршилтад ашиглав. Чинжүү, сонгино, сармисны 100 грамм боловсруулаагүй дээжид агуулагдах эрдэс бодисын дундаж хэмжээг хүснэгт 1-т харуулав.

* Electronic address: zuzaan@num.edu.mn

Хүснэгт 1. 100 г бүтээгдэхүүн дэх эрдэс бодисын дундаж хэмжээ [11].

Д/д	Элемент, мг	Чинжүү	Сонгино	Сармис
1	F	0.002	0.0011	-
2	Na	3	4	17
3	Mg	10	10	25
4	P	20	29	153
5	K	175	146	401
6	Ca	10	23	181
7	Mn	0.122	0.129	1.672
8	Fe	0.34	0.21	1.7
9	Cu	0.066	0.039	0.299
10	Zn	0.13	0.17	1.16
11	Se	-	0.0005	0.0142

А. Дээж бэлтгэл

Судалгааны дээж тус бүрийг цэвэрлэн хатаах шүүгээнд 105°C – т 20 цаг хатаасны дараа 65 мкм ширхэглэлтэй болтол нунтаглан тээрэмдэж, стандарт дээжүүдтэй адил нэгэн төрөл болгон хэмжилтэд бэлтгэв [12].

Хүснэгт 2. Дээжийн төрөл, чийгшил (%).

Д/д	Дээж	Төрөл	Чийгшил, %	Чийгшил, % [8]
1	Чинжүү	ногоон	94.19	93.9
2		(хятад) улаан	92.78	
3	Сонгино	монгол	92.51	89.11
4		хятад	93.39	
5	Сармис	хятад	68.24	59
6		монгол	65.03	

Хүснэгт 2-т дээж тус бүрийн хатаахын өмнөх болон хатаасны дараах жинг харьцуулан харьцангуй чийгшлийг үнэлэв. Бидний сонгож авсан дээжүүд нь дундаж утгатай ойролцоо чийгшилтэй болох нь харагдав.

В. Рентген-флуоресценцийн шинжилгээний арга

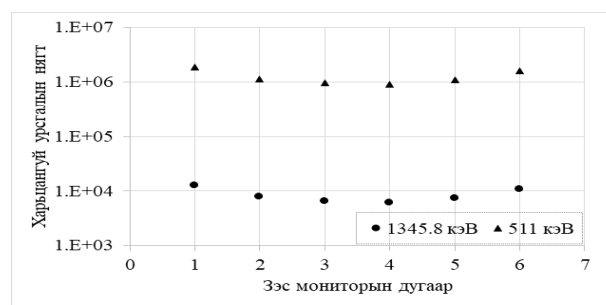
Рентген-флуоресценцийн шинжилгээ (РФС) – нд МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төв (ЦФСТ) – ийн өндөр мэдрэх чадвартай, энергиэр ялгах SPECTRO XEPUS спектрометрийг ашигласан. Тус спектрометр нь цахилгаан хөргөлттэй бөгөөд Pd анодтой рентген хоолой, 8 (НОРG, Мо, Al₂O₃, Со гэх мэт) ширхэг хоёрдогч болон туйлшруулагч бай, Mn Ka шугамын хувьд 155 эВ-ийн энергийн ялгах чадвартай SDD хагас дамжуулагч детектор, спектрийг тооцоолж үр дүнг боловсруулах програм хангамж бүхий компьютер зэргээс бүрддэг [13]. Харьцуулах стандарт, судлах дээжүүдээс ~10 граммыг авч, 32 мм голчтой

майлар ёроолтой полимер саванд жигд дарж нягтруулан хэмжилтэд бэлтгэсэн. Хэмжилтийн хугацаа бай тус бүр 300 секунд бөгөөд спектрийг SPECTRO XEPUS спектрометрийн X-LabPro болон рентген спектр боловсруулалтын программ AXIL, тооцооны MS-Excel зэрэг програмуудыг ашиглан боловсруулалт хийж, үр дүнг тооцоолов.

С. Идэвхжилийн шинжилгээний арга

Чинжүү, сонгино, сармисны дээжид хортой болон дагалдах элемент тодорхойлох гамма идэвхжилийн шинжилгээ (ГИШ)*-ний туршилтыг Оросын Холбооны Улс (ОХУ) – ийн Дубна хот дахь Цөмийн Шинжилгээний Нэгдсэн Институт (ЦШНИ) – ийн микротрон МТ-25 дээр хийж гүйцэтгэв. Электроны энерги 23 МэВ, гүйдэл 10 мкА байх үед гамма цацрагийн урсгалаар дээжийг 4 цаг шарж идэвхжүүлэв [14]. Шарсан дээжийн идэвхжлийг тус бүрчлэн 2, 20, 120 цаг хүлээсний дараа харгалзан 5, 30 минут, 1 цагийн хугацаагаар гамма-спектрометр дээр хэмжилт хийв. Стандарт болон судлах дээжийн жин ~5-10 грамм байсан бөгөөд туршилтад IAEA-V-8 (Rye Flour), A-11 (milk powder) стандарт дээжийг ашигласан.

Дээж бүр дэх гамма цацрагийн урсгалын нягтын өөрчлөлтийг ~0.2 грамм масстай зэс мониторуудыг ашиглан 12.7 цагийн хагас задралын үетэй ⁶⁵Cu(γ,n)⁶⁴Cu урвалын 511(37), 1345.8(0.48) кэВ энергитэй гамма шугамын тусламжтай тодорхойлсон [15-16]. Гамма цацрагийн урсгалын нягтын харьцангуй түгэлтийг зураг 1. – т харуулав.



Зураг 1. Гамма цацрагийн урсгалын нягтын харьцангуй өөрчлөлт.

Ш. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Сонгож авсан хүнсний ногооны дээжүүдэд рентген-флуоресценцийн болон гамма идэвхжилийн шинжилгээний аргаар

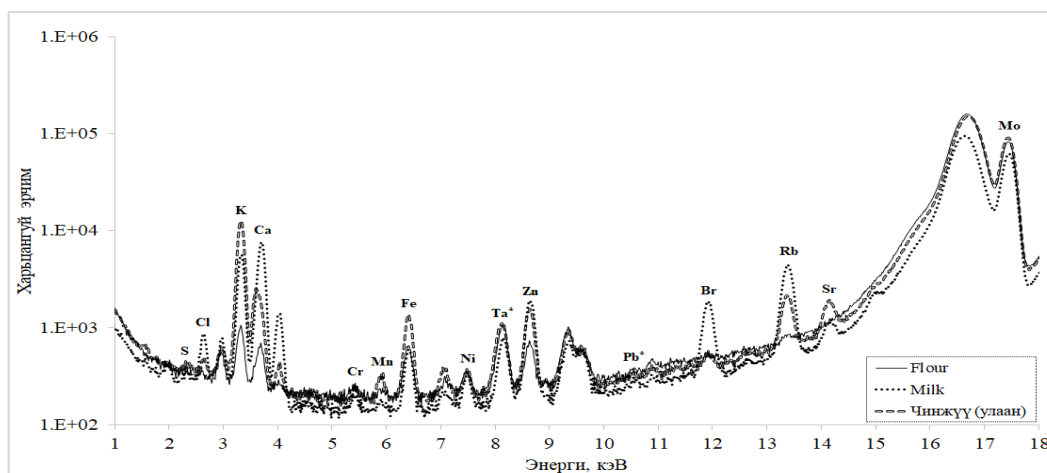
тодорхойлсон элементийн шинжилгээний дүнг хүснэгт 3, 4. – т нэгтгэн харуулав.

Хүснэгт 3. РФШ-ний аргаар тодорхойлсон элементийн шинжилгээний дүн.

Элемент	Чинжүү (улаан)	Чинжүү (ногоон)	Сонгино (монгол)	Сонгино (хятад)	Сармис (монгол)	Сармис (хятад)
P, %	0.33±0.09	0.66±0.19	0.40±0.02	0.41±0.18	0.39±0.24	0.34±0.13
Cl	0.38±0.01	0.52±0.01	0.31±0.01	0.24±0.01	0.08±0.01	0.09±0.01
K	6.06±0.71	6.06±0.91	2.58±0.21	3.10±0.26	2.44±0.08	2.16±0.06
Ca	0.25±0.04	0.27±0.05	0.43±0.04	0.45±0.05	0.08±0.04	0.11±0.04
Al, г/т	6.02±0.02	4.39±0.03	4.10±0.04	5.66±0.05	7.78±0.05	4.59±0.04
Mn	<DL	2.8	3.3	3.6	4.0	3.2
Fe	8.3±1.7	5.9±1.6	5.2±0.8	5.5±1.1	7.7±2.2	7.3±1.8
Zn	34.0±5.5	38.1±1.1	42.9±8.7	39.4±9.1	43.8±9.1	37.0±5.8
Br	0.5	<DL	1.4	1.1	0.8	0.2
Rb	14.1±0.5	20.6±0.5	7.2±0.4	13.4±1.4	1.5±0.3	9.0±1.5

РФШ-ий аргаар Spectro XEPoS спектрометр дээр хэмжсэн чинжүү (улаан) болон стандарт (IAEA-V-8 Rye Flour, A-11 milk powder) дээжийн спектрийг молибден (Mo) хоёрдогч байн хувьд харьцуулан зураг 2-г харуулав. Спектр дээр Та, Рb элементийн L-шугамыг “*” – оор тэмдэглэв. Элементийн шинжилгээний дүнгээс Cr, As, Pb

зэрэг элементүүд спектр дээр илэрсэн хэдий ч бидний ашиглаж буй РФШ-ний спектрометрийн тодорхойлох хязгаарын утгаас бага байв [13]. Тиймээс эдгээр элементийн агуулгыг зөвшөөрөгдөх (стандарт) утгатай харьцуулан үнэлэх зорилгоор хагас тоон шинжилгээ хийж, үр дүнг харьцуулсныг зураг 3-г харуулав.



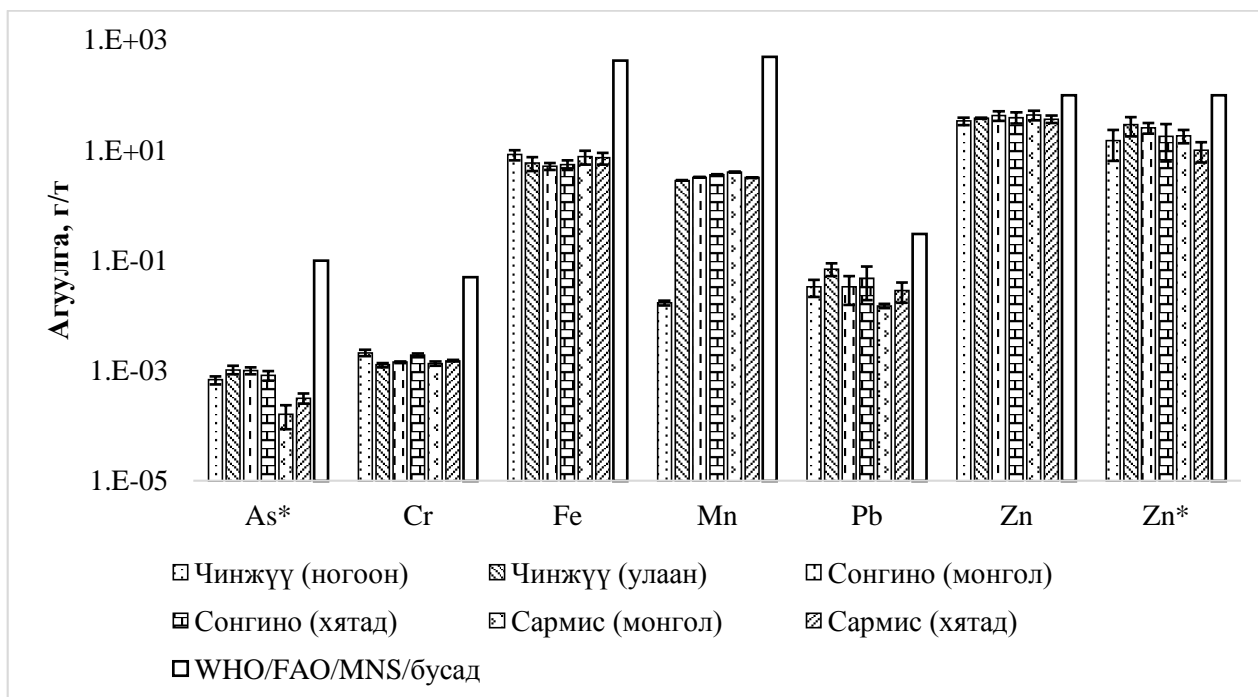
Зураг 2. Чинжүү (улаан) болон стандарт дээжийн спектр (Mo бай).

Хүснэгт 4. ГИШ*-ний аргаар тодорхойлсон элементийн шинжилгээний дүн.

Элемент	Чинжүү (улаан)	Чинжүү (ногоон)	Сонгино (монгол)	Сонгино (хятад)	Сармис (монгол)	Сармис (хятад)
Na, %	0.65±0.06	0.90±0.07	0.53±0.06	0.50±0.04	0.27±0.02	0.26±0.02
Cl, %	0.41±0.02	0.49±0.01	0.41±0.02	0.28±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
Ca, %	0.15±0.02	0.20±0.08	0.26±0.04	0.30±0.07	0.05±0.01	0.05±0.01
Zn, г/т	14.9±8.4	29.1±11.1	25.8±5.8	18.1±11.8	18.4±5.0	10.0±4.0
As, г/т	0.0007	0.0010	0.0010	0.0008	0.0002	0.0003
Sb, г/т	0.0024	0.0033	0.0030	0.0030	0.0028	0.0027
Rb, г/т	6.3±0.1	15.0±2.1	2.7±0.6	5.1±0.6	1.1±0.2	5.6±0.5

Чинжүү, сонгино, сармисны дээжид рентген-флуоресценцийн болон гамма идэвхжилийн шинжилгээний аргаар тодорхойлсон хүнд

(металл) элементийн агуулгыг зөвшөөрөгдөх утга [17-20] – тай харьцуулан зураг 3-г үзүүлэв.



Зураг 3. Хүнсний ногооны дээжид тодорхойлсон хүнд элементийн агуулгыг харьцуулсан дүн.

Дээрх харьцуулсан зургаас харахад бидний сонгон авсан хүнсний ногооны (хуурай) дээжид тодорхойлсон хүнд элементийн агуулгыг зөвшөөрөгдөх утгатай харьцуулан үзэхэд бүгд доогуур гарсан. Гэвч бидний сонгон авсан харьцуулах (стандарт) дээжийн өгөгдөл хязгаарлагдмал байсны улмаас РФШ, ГИШ – ээр илэрсэн S, Ni, Cu, Ga, Sr, Ta, Si, V, Ti зэрэг элементийн агуулгыг тодорхойлж чадаагүй. Цаашид судалгааны ажлыг үргэлжлүүлэн бусад шинжилгээний аргуудыг ашиглан үр дүнг баталгаажуулах, түүнээс гадна хүнсний ногоог тариалж буй хөрс, усны дээжийг зэргийг цогцоор судлах шаардлагатай харагдаж байна.

ДҮГНЭЛТ

Чинжүү, сонгино, сармисны дээжид РФШ-ний аргаар Al, P, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Br, Rb, Pb зэрэг 13 элемент, харин ГИШ-ий аргаар Na, Cl, Ca, Zn, As, Sb, Rb зэрэг 7 элементийн агуулгыг тодорхойлов.

Судалгаагааны дүнгээс As, Cr, Fe, Mn, Pb, Zn зэрэг хортой, хүнд (металл) элементийн агуулгыг олон улсын болон монгол улсын стандарт утгатай харьцуулав. Эдгээр элементийн агуулга зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс бага байв.

Элементийн шинжилгээний дүнгээс харахад хүнд (Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Ta зэрэг), хортой (As,

Cr, Pb) элементүүд илэрч байгаа нь энэхүү судалгааны ажлыг цаашид нарийвчлан хийх шаардлагатайг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] P. Ekholm et al. Journal of Food Composition and Analysis 20 (2007) 487–495
- [2] Mohamed H.H. Ali et al. The Egyptian Journal of Aquatic Research 38-1, 2012, 31-37
- [3] WHO (World Health Organization), Environmental Health Criteria, vol. 134, Geneva, 1992.
- [4] Jarup, L., Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin 68 (2003), 167–182.
- [5] Feig, D.I., Reid, T.M., Loeb, L.A., 1994. Reactive oxygen species in tumorigenesis. Cancer Research 54 (Suppl.), 1890–1894.
- [6] Trichopoulos, D., 1997. Epidemiology of cancer. In: DeVita, V.T. (Ed.), Cancer, Principles and Practice of Oncology. Lippincott Company, Philadelphia, pp. 231–258.
- [7] Turkdogan, M.K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., 2002. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. Environmental Toxicology and Pharmacology 13, 175–179.

- [8] Lokeshwari, H. and Chandrappa, G.T. 2006. Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation. *Current Science*. 91: 622-627.
- [9] Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.M. 2007. Heavy metals contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 66: 258-266.
- [10] Latif A, Bilal M, Asghar W, Azeem M, Ahmad MI, et al. (2018) Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Assessment of their Potential Health Risk. *J Environ Anal Chem* 5: 234.
- [11] USDA Nutrient Database (<https://fdc.nal.usda.gov/index.html>)
- [12] A.E. Mohamed et al. / *Ecotoxicology and Environmental Safety* 55 (2003) 251–260
- [13] Spectro XEPOS ED-XRF Spectrometers (<https://www.spectro.com>)
- [14] Belov A.G et al, Microtron MT-25. Workshop on Application of Microtrons in Nuclear Physics. Plovdiv 22-24 September 1992, Dubna, 1993, No. D15-93-80, pp. 12-19.
- [15] И.В.Меднис. “Гамма-излучение радионуклидов, применяемых в нейтронно-активационном анализе” РИГА <ЗИНАТНЕ>, 1987
- [16] Handbook on Nuclear Activation Data №273 Vienna.1987
- [17] Maximum permissible value, FAO – Food and Agriculture Organization; WHO – World Health Organization
- [18] Хүнсний бүтээгдэхүүн дэх хүнд металын үлдэгдлийн зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ, Монгол улсын стандарт MNS 4504:2008
- [19] China’s Maximum Levels for Contaminants in Foods, Chinese Standard (GB 2762-2005)
- [20] Maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, European Union Standards (EC: No. 629/2008).

Мазаалай хиймэл дагуулын газрын станцын хөгжүүлэлт зарим үр дүн

У.Төгөлдөр¹, Т.Ариунболд¹, М.Ананд¹, Э.Өсөхбаяр¹, Д.Амартүвшин², Т.Төртогтох¹,
М.Алтансүх¹, Т.Бэгзсүрэн¹, Д.Улам-Оргих¹, Д.Эрдэнэбаатар^{1,*}

¹ Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим, Нано хиймэл дагуул хөгжүүлэлтийн лаборатори

² Төмөр Замын Дээд Сургууль

Энэ ажлаар Монгол улсын анхны хиймэл дагуул "мазаалай"-н Монгол Улсын Их Сургууль дээр байрлах газрын станцын бүтэц, хиймэл дагуулаас мэдээлэл татаж авсан үр дүн, газрын станцын одоогийн үйл ажиллагааны талаар өгүүлнэ. МУИС-ийн газрын станц нь 2017 онд BIRDS-1 хиймэл дагуулын төсөл болон мазаалай хиймэл дагуулын сансрын орчин дахь үйл ажиллагааг хянах, удирдах зорилгоор байгуулагдсан. Тус газрын станц нь маш өндөр давтамж (Very High Frequency-VHF) давтамжийн 144MHz-148MHz – ийн зурвас, хэт өндөр давтамжийн (Ultra High Frequency-UHF) 430MHz-438MHz–н зурвасуудад хиймэл дагуултай холбогдон ажиллаж байна. Мөн “Мазаалай” хиймэл дагуулаас гадна NOAA цаг уурын хиймэл дагуулаас мэдээлэл татаж авах, BIRDS-2, BIRDS-3 төслийн хиймэл дагуулууд зэрэг сонирхогчийн радио давтамжийн хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл, дохио хүлээн авах, зураг авах команд илгээх зэрэг үйл ажиллагаа явуулж байна.

Түлхүүр үг: BIRDS төсөл, газрын станц, кубсат хиймэл дагуул

ОРШИЛ

Монгол улсын анхны хиймэл дагуул Мазаалайг BIRDS буюу Joint Multi Nation Birds (JGMNG) төслийн хүрээнд Япон улсын Кюүшүгийн Технологийн Институтэд монгол инженер, судлаачид хийж бүтээсэн. Уг хиймэл дагуул нь 2017оны 6-р сарын 3-нд SpaceX компанийн Falcon 9 пуужингаар сансарт хөөрөн, SpaceX Dragon C106 сансрын хөлгөөр Олон Улсын сансрын станцад хүргэгдсэн. Улмаар 2017 оны 7-р сарын 7-нд Олон Улсын Сансрын станцаас Японы Кибо модулийн тусламжтай задгай сансарт гаран ажиллаж эхэлсэн.

Хиймэл дагуулын үндсэн даалгаврууд нь хиймэл дагуулын найдвартай ажиллагааг хангахад шаардлагатай шинжлэх ухааны туршилт гүйцэтгэхээр төлөвлөгдсөн [1].



Зураг 1. Мазаалай хиймэл дагуулыг ОУ-н сансрын станцад хүргэсэн SpaceX компанийн цойлуур болон сансрын хөлгүүд.

Хиймэл дагуулын холбооны систем нь хиймэл дагуул болон газрын хооронд мэдээлэл дамжуулах үүрэгтэй үндсэн систем юм. Хиймэл дагуулын холбооны систем нь хиймэл дагуул буюу сансрын сегмент, газрын станц гэсэн үндсэн хоёр хэсгээс бүтнэ. Хиймэл дагуулын газрын станц нь хиймэл дагуулын үйл ажиллагааг хянах, үндсэн үүрэгтэй. Үүнээс гадна хиймэл дагуулын сансрын орчинд цуглуулсан мэдээлэл, радио дохио (beacon) хүлээн авах, хиймэл дагуулд үндсэн болон туслах даалгавруудтай холбоотой ямар нэгэн үйлдэл хийх командыг илгээх үүрэгтэй.



Зураг 2. Мазаалай хиймэл дагуул ОУ-н сансрын станцаас задгай сансарт гарч байна.

Монгол Улсын Их Сургуулийн газрын станц нь 2017 оны 5-р сард ашиглалтад орсон. Үүнээс хойш олон улсын BIRDS төслийн газрын

* Electronic address: erdenebaatar.d@num.edu.mn

станцын сүлжээний гишүүний хувиар BIRDS-1, BIRDS-2, BIRDS-3 төслийн хиймэл дагуулууд, зарим тохиолдолд NOAA цаг уурын хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл татаж авах, команд илгээх зэрэг үйл ажиллагаа явуулдаг.

Япон улсын Кюүшүгийн Технологийн Институтийн удирдлага дор хэрэгжиж буй BIRDS төслийн үндсэн даалгавруудын нэг нь төсөлд хамтран оролцож буй их сургуулиудад хиймэл дагуулын газрын станц байгуулан олон улсын газрын станцын сүлжээ үүсгэх байв. BIRDS-1 төслийн хүрээнд Япон, Тайланд, Монгол, Тайвань, Бангладеш, Нигери болон Гана улсууд нэгдэн уг газрын станцын сүлжээг үүсгэж байсан. Одоогоор уг газрын станцын сүлжээнд дээрх улсуудаас гадна Бутан, Филиппин, Малайз, Непаль, Шри Ланка, Парагвай, Коста Рика, Аргентин улсууд багтаж байгаа бөгөөд цаашид ч гишүүнд улсууд нэмэгдэх төлөвтэй байна. Зураг 3-д BIRDS төслийн газрын станцын сүлжээний гишүүн орнуудыг харууллаа.



Зураг 3. Шувууд төслийн газрын станцын сүлжээ [2].



Зураг 4. Шувуунд 3 төслийн хүрээнд зохион байгуулагдсан хиймэл дагуул руу команд илгээх уралдаанд МУИС-ийн газрын станц амжилттай команд илгээн дэд байрт шалгарсан.

Энэхүү газрын станцын сүлжээ нь хиймэл дагуултай газрын станцаас холбогдон ажиллах хугацаа, хиймэл дагуулаас татан авах мэдээллийг ихэсгэх, үр ашигтай байдлыг нэмэгдүүлэх зэрэг давуу талуудтай. Мөн гишүүн орнууд хиймэл дагуулаас татан авсан мэдээллүүдээ интернет сүлжээний тусламжтайгаар өөр хоорондоо солилцон ашиглах боломжтой [3].

МУИС-ийн газрын станц нь дээрх газрын станцын сүлжээний гишүүний хувьд үйл ажиллагаанд тогтмол оролцон үүргээ амжилттай биелүүлж байна. Мөн Кюүшүгийн Технологийн Институт болон BIRDS төслийн зүгээс гишүүн улсуудыг идэвхижүүлэх, хамтын ажиллагааг өргөжүүлэхээр зорилгоор жил бүр сургалт, уулзалт, уралдаант үйл ажиллагаануудыг зохион байгуулсаар байна. Зураг 4-д BIRDS 3 төслийн хүрээнд хиймэл дагуулууд руу команд илгээх уралдаанд МУИС-ийн газрын станцын хүртсэн шагналыг үзүүлээ.

АРГА ЗҮЙ

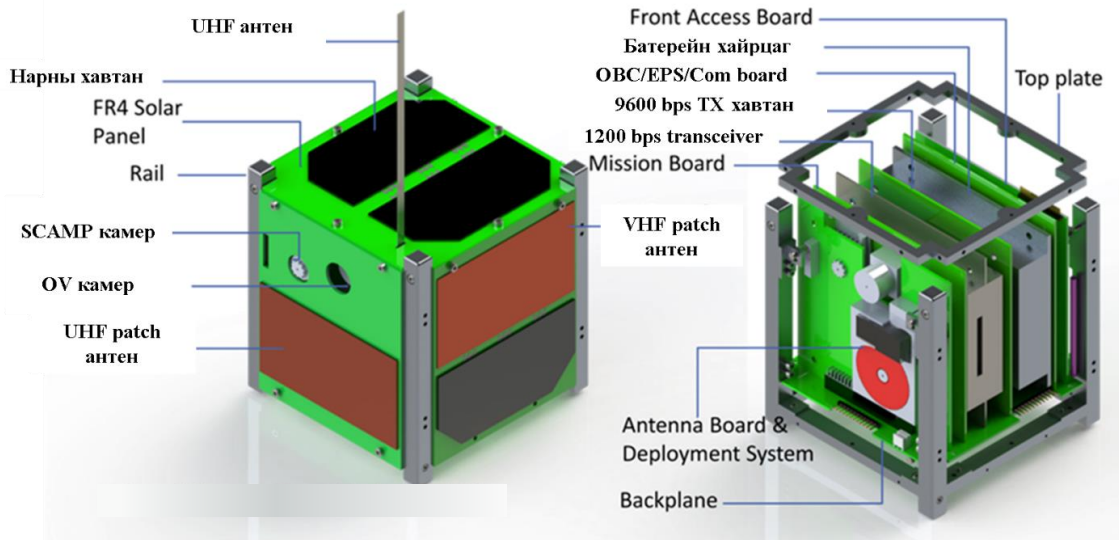
Энэ хэсэгт Мазаалай хиймэл дагуулын бүтэц, хиймэл дагуулаас хүлээн авах мэдээллийн бүтэц, формат, газрын станцын тоног төхөөрөмж, програм хангамжуудын талаар өгүүлнэ.

Мазаалай хиймэл дагуулын бүтэц, дэд системүүдийн тухай

Мазаалай хиймэл дагуулын гадаад болон дотоод бүтцийг Зураг 5-д үзүүлээ. Даалгаврын хавтанг хиймэл дагуулын үндсэн даалгавруудад суурилан загварчилсан бөгөөд хиймэл дагуулын сансрын орчин дахь үйл ажиллагааны төлөв байдлыг хянах зорилгоор хэд хэдэн төрлийн мэдрэгчийг бараг хавтан бүр дээр байрлуулсан. Урд гаднаас хандах хавтан - Front Access Board (FAB) болон ар гаднаас хандах хавтан (RAB) нь хиймэл дагуулын төв процессорын систем болон даалгаврын хавтан дээрх удирдлагын PIC микроконтроллеруудыг програмчлах боломжийг олгоно. Төв процессорын систем нь бүх тооцоолох) үйлдлийг гүйцэтгэх үүрэгтэй дэд систем юм. Бусад хиймэл дагуултай холбогдох, газрын станцаас команд хүлээн авах, хүлээн авсан командыг тайлах, бусад дэд системүүд рүү команд илгээх, хиймэл дагуулаас газрын станц руу илгээх хиймэл дагуулын биеийн байдлын мэдээлэл болон үндсэн даалгавруудын өгөгдөл,

мэдээллийг цуглуулах, боловсруулах, форматад оруулах зэрэг үйлдлүүд нь төв процессорын системийн тусламжтай хийгддэг. Иймээс хиймэл дагуулын төв процессорын системийн

үйл ажиллагааны хэвийн байдал, температурын өөрчлөлтийг хянах зорилгоор температурын мэдрэгчийг уг хавтан дээр суурилуулсан.



Зураг 5. Мазаалай хиймэл дагуулын бүтэц [5].

Холбооны системийн хавтан нь газрын станцаас хүлээн команд хүлээн авах, газрын станц руу мэдээлэл дамжуулах үүрэгтэй UHF болон VHF давтамжийн зурвасын радио дамжуулагчуудаас бүтнэ. Холбооны систем нь хиймэл дагуул болон газрын станцын хооронд холбоо тогтоох үндсэн систем юм. Иймээс уг хавтангийн ажиллагаа, температурын өөрчлөлтийг ажиглах зорилгоор мэдрэгчүүд байрлуулсан.

Даалгаврын хавтан нь мазаалай хиймэл дагуулын үндсэн даалгаврын электроник элемент, олон тооны интеграцчилагдсан бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг агуулсан хиймэл дагуулын чухал хавтан юм. Мазаалай хиймэл дагуул нь камер, хиймэл дагуулын байршлыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох POS (Determination of Satellite Precise Location), Атмосферийн нягт хэмжих (ATM), сонирхогчийн радио долгионоор дуу цацах (Digi-singer), хиймэл дагуулын хагас дамжуулагч төхөөрөмжүүд сансрын цацрагийн нөлөөгөөр эвдрэх үзэгдлийг судлах (Single Event Latchup) гэсэн үндсэн даалгавруудтай байсан [4]. Уг хавтан дээрх температурын өөрчлөлт нь хавтангийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг гэмтээх, хиймэл дагуулын даалгавруудын гүйцэтгэлд нөлөөлж болзошгүй тул хавтангийн температурын өөрчлөлтийг хянах шаардлагатай байдаг.

Хиймэл дагуулын биеийн байдлын талаарх мэдээлэл, түүний бүтэц

Хаускийпинг мэдээлэл бол хиймэл сансрын орчин дахь үйл ажиллагааны мэдээлэл юм. Энэхүү мэдээллээс төв процессорын системийн гүйдэл, хүчдэлийн утга, дэд систем, хавтангуудын ажиллаж байх үеийн температур, батарейн дэлхийн сүүдэр болон наран талд ажиллах байх үеийн хүчдэлийн түвшин зэрэг мэдээллийг авч болно. Мөн газрын станц дээр хүлээн авсан эдгээр мэдээлэл дээр суурилан сансарын орчин байгаа хиймэл дагуулын ажиллагаа хэвийн байгаа эсэхийг тодорхойлдог. Мазаалайн хиймэл дагуулын хаускийпинг мэдээлэл хиймэл дагуулын дуудлагын тэмдэгт JG6YJQ болон тухайн агшин дахь хиймэл дагуулын ажиллагааны төлөв байдлыг агуулсан 16 тэмдэгтийн урттай морз кодоос бүтнэ. Хаускийпинг мэдээллийг газрын станц 20 секунд орчим хугацаанд хүлээн авах бөгөөд дараагийн 90 секунд хугацаанд газрын станцаас хиймэл дагуул руу үндсэн даалгавруудыг гүйцэтгэх команд илгээх, хүлээн авах зарчмаар ажилладаг.

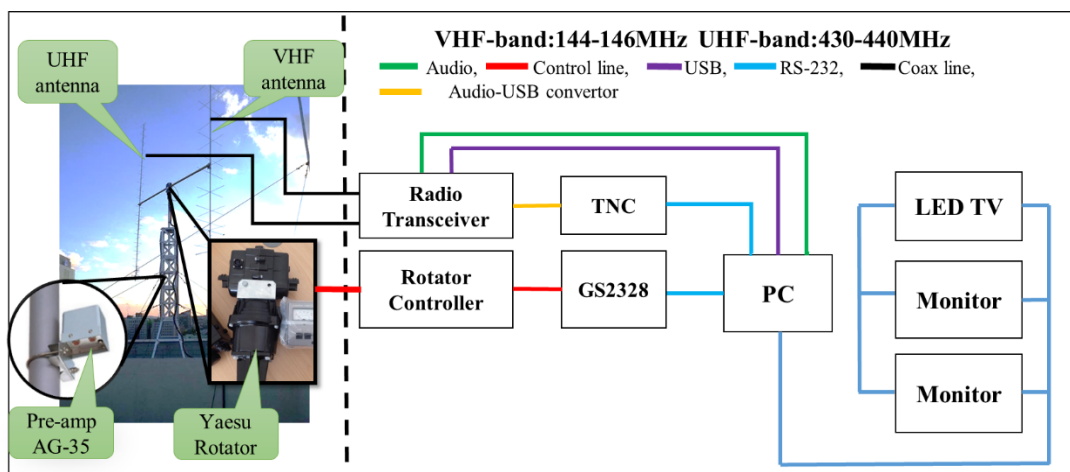
ГАЗРЫН СТАНЦЫН БҮТЭЦ, ПРОГРАМ ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮД

Газрын станцын үйл ажиллагаанд дараах програм, тоног төхөөрөмжүүдийг ашиглаж

байна. Зураг 6-д МУИС-ийн газрын станцын ерөнхий бүтэц, бүдүүвч зургийг үзүүллээ. Газрын станц нь хяналтын өрөөнд байрлах удирдлагын тоног төхөөрөмжүүд болон МУИС-ийн номын сангийн дээвэр дээр байрлах VHF/UHF антенууд, чиглүүлэгч төхөөрөмжүүдээс бүтнэ.

Хяналтын өрөөнд хиймэл дагуулуудыг хянах, хиймэл дагуултай харилцан ажиллах зорилгоор

ашиглаж буй 2 компьютер, мөн оюутнуудад хэрхэн хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авч, удирдан ажиллаж байгааг харуулах зорилгоор ашиглаж буй 32 инчийн дэлгэц бий. Антенны чиглүүлэгчийг GS-2328 төхөөрөмжийн тусламжтай автоматаар удирдана. Уг төхөөрөмж нь газрын станцын удирдлагын програмууд суулгасан компьютерт USB интерфэйсээр холбогдон ажиллана.



Зураг 6. МУИС-ийн газрын станцын блок схем.

ТЕХНИК ХАНГАМЖ

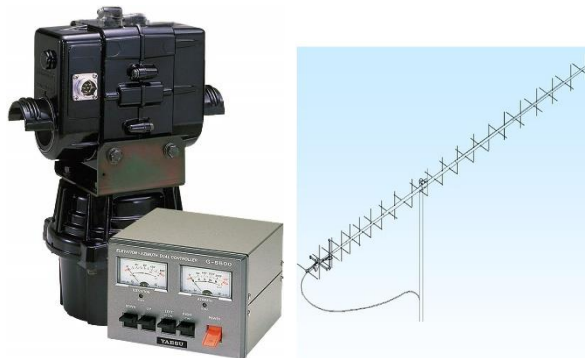
Антен. Одоогоор 144МГц – 148МГц давтамжийн зурвасын 2MCP22 загварын VHF антенн болон 436CP42UG загварын 430МГц – 438МГц давтамжийн зурваст ажиллах боломжтой UHF антеннуудыг ашиглаж байна. Мөн газрын станцын цаашдын үйл ажиллагаанаас хамааран өөр төрлийн антеннуудыг нэмэлтээр ашиглах боломжтой. Хүснэгт 1-ээс дээрх антеннуудын техникийн үзүүлэлтүүдийг харна уу.

Хүснэгт 1. Антенны техник үзүүлэлтүүд.

Антенны төрөл	UHF антен	VHF антен
Голын урт	5.75м	5.67м
Тэжээгдэх төрөл	Нугалмал диполь	Нугалмал диполь
Чадал	1000Вт	1500Вт
Өсгөлт	14.39дБ	18.9дБ

Чиглүүлэгч. Газрын станцад суурилуулсан VHF/UHF яги антенууд нь чиглэлтэй антенны төрөлд багтдаг. Чиглэлтэй антенны хувьд хиймэл дагуулын хөдөлгөөний дагуу хиймэл дагуулыг алдалгүй дагахын тулд антенны чиглүүлэгч

төхөөрөмжийг ашигладаг. Манай газрын станц одоогоор Yaesu-5500 загварын чиглүүлэгч төхөөрөмжийг ашиглаж байна. Зураг 7-д чиглүүлэгч төхөөрөмж болон антенныг үзүүллээ. Энэхүү чиглүүлэгч төхөөрөмж нь азимут болон элевац тэнхлэгийн дагуу эргэдэг. Хүснэгт 2-оос чиглүүлэгч төхөөрөмжийн техникийн үзүүлэлтийг үзнэ үү. Чиглүүлэгч төхөөрөмжийг суурилуулах болон тохиргоо хийхдээ хойд зүгийг төхөөрөмжийн анхны байрлал байхаар тохируулсан.



Зураг 7. Газрын станцын чиглүүлэгч болон антен.

Хүснэгт 2. Чиглүүлэгчийн техник үзүүлэлтүүд[6].

Хүчдэл	Шаардлага	110 – 120VAC / 200 – 240VAC
	Мотор	24 VAC
Ажиллагааны хугацаа	Эргэлтийн хугацаа (@60Hz)	Элевац (180°) ~ 67 секунд Азимут (360°) ~ 58 секунд
	Continues operation time (max)	5 минут
Момент	Эргэлт	Элевац: 14 kg-m Азимут: 6 kg-m
	Зогсоох	Элевац: 40 kg-m Азимут: 40 kg-m
Хүлцэл	Босоо ачаалал	200 кг
	Чиглэх нарийвчлал	~4%
Хэмжээ	Диаметр	32 – 43мм
	Роторын масс	9кг
	Удирдлагын масс	3кг

Terminal Node Controller (TNC). TNC (Зураг 8) нь микроконтроллер, модем, EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory) болон AX25 протоколыг агуулсан програм хангамжаас бүтнэ. TNC нь радио дамжуулагчтай холбогдох бөгөөд хиймэл дагуулаас хүлээн авсан дохиог тайлан газрын станцын операторт харуулахад чухал үүрэгтэй төхөөрөмж юм. МУИС-ийн газрын станц Kantronics-KPC-912+ загварын TNC төхөөрөмжийг ашиглаж байна.



Зураг 8. Kantronics Terminal Node Controller.

Радио дамжуулагч. МУИС-ийн газрын станцад ашиглаж буй ICOMM9100 төхөөрөмж (Зураг 9) нь газрын станцын холбооны гол төхөөрөмж юм.



Зураг 9. ICOM9100 радио дамжуулагч.

Хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах, хиймэл дагуул руу команд илгээх үеийн давтамжууд нь хяналтын програм болох SATPC32-г ашиглан синхрончлох бөгөөд програмын тохиргоон дээр суурилан давтамжийн өөрчлөлтийг автоматаар даган өөрчлөгддөг давуу талтай. Газрын

станцын UHF/VHF антenuуд радио дамжуулагчид шууд холбогдоно. Мөн HF, VHF, UHF давтамжийн зурваст ажиллахаас гадна SSB (Single Side Band), CW, FM зэрэг горимд ажилладаг[6]. Хүснэгт 3-д радио хүлээн авагчийн давтамжийн хамрах хүрээ болон чадлын үзүүлэлтүүдийг үзүүлээ.

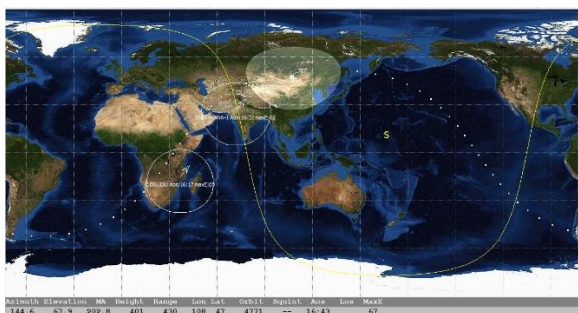
Хүснэгт 3. Радио дамжуулагчийн техник.

	Хүлээн авагч	Дамжуулагч
Ажиллах давтамж	0.03 – 60 МГц	21 – 21.45 МГц
	136 – 174 МГц	24.89 – 24.99 МГц
	420 – 480 МГц	28 – 29.7 МГц
	1240 – 1320 МГц	50 – 54 МГц
		144 – 148 МГц
		430 – 450 МГц
		1240 – 1300 МГц
Чадал	13.8±15%VDC	13.8±15%VDC
	4.5A (max)	20A (max)

Програм хангамж. SAT32PC нь хиймэл дагуулын байршлыг тооцоолж операторуудад харуулах үүрэгтэй програм юм. Уг програм USB интерфэйсээр чиглүүлэгчийн удирдлагын төхөөрөмж болох GS-232B-тэй холбогдон элевац, азимут өгөгдлийн дагуу чиглүүлэгчийг автоматаар хянах, удирдах интерфэйсийн үүрэг гүйцэтгэнэ. Нэгэнт хиймэл дагуулыг хянах програм болон интерфэйсийн тохиргоог хийсэн бол SATPC32 хиймэл дагуулын харгалзах элевац болон азимут өгөгдлөө автоматаар шинэчлэн антены чиглүүлэгчийг удирдаж, хиймэл дагуулын газрын станцын дээгүүр өнгөрөх хугацааг тооцоолох боломжийг олгоно. CW Get програм нь хиймэл дагуулаас хүлээн авсан CW дохиог текст рүү хөрвүүлэх үүрэгтэй. Компьютерийн дууны карт болон радио хүлээн авагч байхад л уг програмаар CW дохиог хөрвүүлэн унших боломжтой. CW Skimmer програм нь хиймэл дагуулаас хүлээн авсан CW дохиог тайлан уншихад ашигладаг програм юм. CW Get програмаас ялгаатай нь програмын текст болон морзийг дохиог нэгэн зэрэг харах боломжтой.

Газрын станцын програм хангамж. Кюүшүгийн Технологийн Институтээс BIRDS төслийн хүрээнд хөөрсөн хиймэл дагуулуудаас хүлээн авсан CW дохионд дүн шинжилгээ хийх газрын станцын програмыг хөгжүүлсээр ирсэн. CW дохио нь тухайн хиймэл дагуулын дуудлагын тэмдэгт, бүртгэлийн дугаар, сансрын

орчин дахь хиймэл дагуулын төлөв байдал зэрэг мэдээллийг агуулсан тэмдэгтүүдээс бүтнэ. Эдгээр хүлээн авсан тэмдэгтүүдээ хөрвүүлэн газрын станцын програмд оруулснаар хиймэл дагуулын нарны зайн хавтангуудын төлөв байдал батарейн хүчдэл, гүйдэл, температур зэрэг сансрын орчин дахь үйл ажиллагааны төлөв байдлуудыг мэдэж болно.



Зураг 10. Газрын станцын програм хангамж.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэхүү өгүүллийн үр дүнг хиймэл дагуулаас хүлээн авсан 16 тэмдэгтийн урттай housekeeping data болон BIRDS төслийн газрын станцын програмыг ашиглан боловсруулсан.

Газрын станцын оператор нь газрын станцын техник хангамж, програм хангамжтай харьцахдаа тусгай операторын лицензтэй байх хэрэгтэй. Мөн газрын станцын төхөөрөмж, програм хангамжуудыг ажиллуулахын тулд тодорхой асааж, унтраах дараалал, дүрмүүдийг баримтлах хэрэгтэй. Учир нь тоног төхөөрөмжүүд, програм хангамжууд хоорондоо харилцан уялдаа, холбоотой байдаг. Хиймэл дагуултай холбогдон ажиллах, хиймэл дагуулуудыг хянах, хүлээн авсан мэдээллүүдийг тайлан уншихад өмнө дурдсан програм хангамжуудыг компьютерт суулгасан. Мөн газрын станцын програм хангамжийн тохиргоог хийхдээ TNC болон радио дамжуулагчийн портуудын тохиргоог сайн шалгах хэрэгтэй. Учир нь тус тохиргоо нь хиймэл дагуулыг хянах явцад SATPC32 програм болон радио дамжуулагчийн хооронд холболт тогтооход чухал үүрэгтэй.

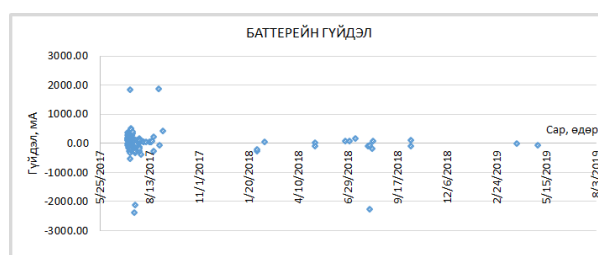
Мазаалай хиймэл дагуул нь сансарт 1 жил 10 сар орчим хугацаанд ажилласан. Зураг 10-д хиймэл дагуул газрын станцын дээгүүр өнгөрч байхад газрын станцын хяналтын програм хангамжид хэрхэн харагдах байдлыг үзүүллээ. Газрын зураг дээрх жижиг тойрог нь

хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах боломжтой хүрээг харуулж байна. Хиймэл дагуул хөдөлж байх үед газрын станцын антенныг энэ програмаар тооцоолсон азимут ба элевац өнцгийн дагуу эргүүлдэг. Зураг 12 – Зураг 15-д дээрх хугацаанд МУИС-ийн газрын станцад мазаалай хиймэл дагуулаас хүлээн авсан хиймэл дагуулын үйл ажиллагааны төлөв байдлыг үзүүллээ. Зураг 15 а, б-д 2019 онд өгөгдөл байхгүй байгаа нь хаускийпинг өгөгдлийн холбооны систем, төв процессорын системийн температурын мэдээллийн бит МУИС-ийн газрын станцад татаж авахад алдаатай ирж байсантай холбоотой.

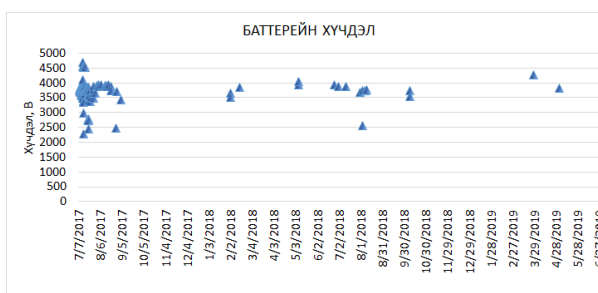


Зураг 11. Хиймэл дагуулаас хүлээн авсан дохио.

Зураг 11-д хиймэл дагуулаас хүлээн авсан дохиог CW Skimmer програм хангамжийн тусламжтай Морз үсэг рүү хөрвүүлсэн байдлыг үзүүллээ. JG6YJQ нь хиймэл дагуулын дуудлагын тэмдэгт бол BIRDMM нь мазаалай хиймэл дагуулын олон улсад бүртгүүлсэн нэршлийг илэрхийлж байна. Зураг 11-н доод хэсэгт хиймэл дагуулын хаускийпинг мэдээлэл буюу үйл ажиллагааны төлөв байдлыг илэрхийлсэн мэдээллийг харуулж байна.

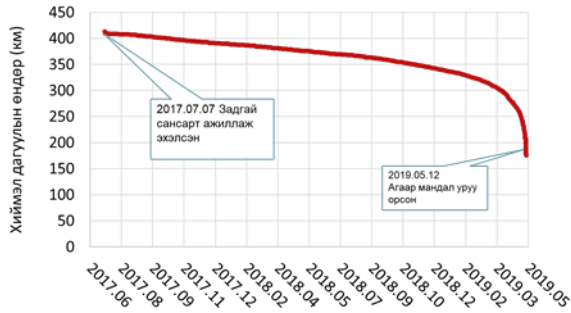


Зураг 12. Батарейн гүйдлийн үзүүлэлт.



Зураг 13. Батарейн хүчдэлийн үзүүлэлт.

Зураг 12-13-д үзүүлсэнчлэн хиймэл дагуулын батарейн хүчдэл, гүйдлийн түвшин болон чадал зарцуулалтаас харахад хиймэл дагуул цэнэглэгдэх цэнэгээ алдах байдлаар ажиллаж байсныг харж болно. Учир нь хиймэл дагуул цэнэглэгдэж байх үед баттерейны гүйдэл эерэг утгатай, цэнэг алдаж байх үед сөрөг утгатай байна.

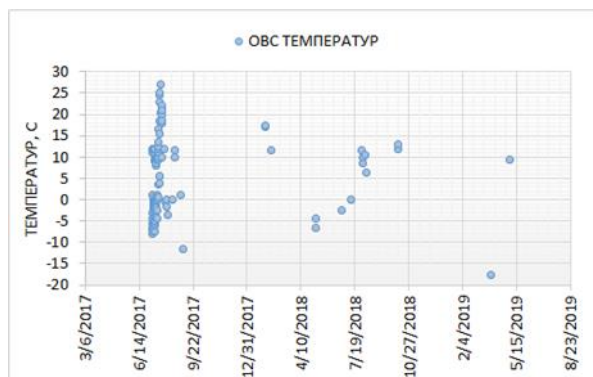


Зураг 14. Хиймэл дагуулын өндрийн өөрчлөлт.

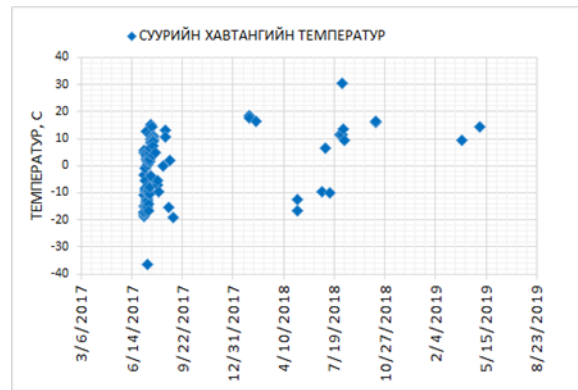
Зураг 14-д хиймэл дагуулын газрын гадаргаас дээш өндөр хугацаан хэрхэн өөрчлөгдсөн байдлыг үзүүлээ. Мазаалай хиймэл дагуул 2019 оны 5 сарын 12-нд дэлхийн агаар мандал руу орсноор хиймэл дагуулын үйл ажиллагаа зогссон.



Зураг 15. (a) Холбооны системийн хавтангийн радио дамжуулагчийн температур.



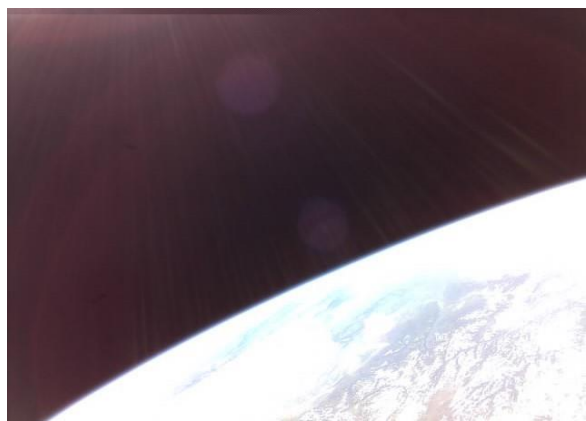
Зураг 15. (b) Төв процессорын системийн температур.



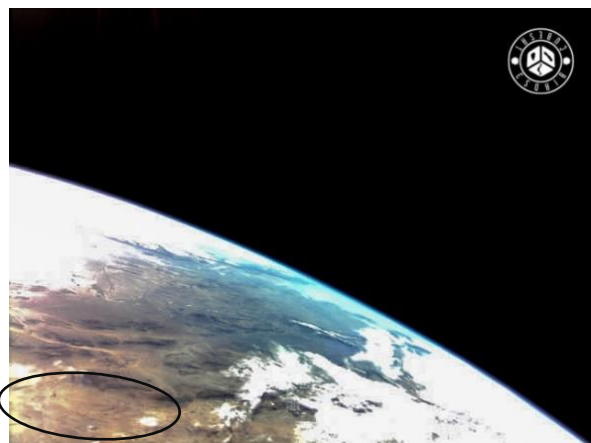
Зураг 15 (c) Суурийн хавтан хавтангийн температур.

Зураг 15-д хиймэл дагуулын дэд системүүд тэдгээрийн хавтангуудын (батерей, төв процессорын систем, холбоо болон backplane хавтан) сансрын орчин дахь температурын өөрчлөлтийг үзүүлээ. Дээрх графикуудаас харахад хавтангуудын температур хоорондоо бага зэргийн зөрүүтэй байгааг ажиглаж болно. Мөн backplane хавтангийн температур бусад хавтангуудын температураас 10°C-ээр бага байна. Сансрын орчинд дулаан шилжилт зөвхөн цацаргалтаар явагдана. Мөн куб буюу жижиг оврын хиймэл дагуулын хувьд гадаргуугийн 6 талын 3 тал нь нарны шууд тусгалын чиглэлд харах боломжтой бөгөөд үлдсэн 3 тал нь дэлхий рүү чиглэсэн сүүдэр талд орно. Иймээс сүүдэр талд байгаа хавтангуудын температур бусад хавтангаас бага байх боломжтой.

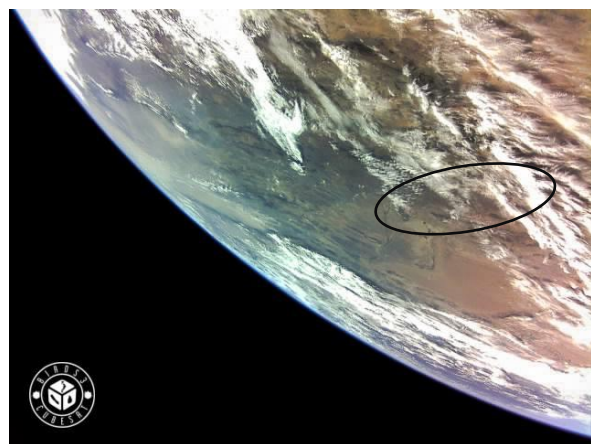
Газрын станцын одоогийн үйл ажиллагаа. Хэдийгээр Мазаалай хиймэл дагуулын үйл ажиллагаа дууссан хэдий ч МУИС-ийн газрын станц нь BIRDS төслийн газрын станцын сүлжээний гишүүн учир тус төслийн 2, 3 дахь үеийн хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл хүлээн авах, хиймэл дагуулууд руу команд илгээх зэрэг үйл ажиллагааг явуулсаар байна. Зурагт 16 –д МУИС-ийн газрын станцаас BIRDS 3 төслийн Япон, Непаль, Шри Ланка улсын хиймэл дагуулууд руу зураг авах команд илгээн авсан зургуудыг харууллаа. Зураг 16 (a) –д дэлхийн зураг буусан байна. Мөн нарны цацрагийг уг зургаас харж болно. Зураг 16 (b) –д Монголын өмнөд хэсэг, говийн бүсийн зургийг байна. Зураг 16 (c) –д Монгол улс, нийслэл Улаанбаатар орчмын зураг буусан байна.



Зураг 16 (а) Газрын өгсөн командаар авсан зураг.



Зураг 16 (б) Газрын өгсөн командаар авсан зураг.



Зураг 16 (с) Газрын өгсөн командаар авсан зураг.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү ажлаар Монгол улсын анхны хиймэл дагуул Мазаалай, түүний бүтэц, дэд системүүд, хиймэл дагуулын газрын станц, мазаалай хиймэл дагуулын ажиллагааны төлөв байдал, үр дүнг танилцууллаа. Монгол Улсын Их Сургууль, Кюүшүгийн Технологийн Институт

болон бусад улсууд хамтран оролцсон BIRDS 1 төслийн үр дүнд Монгол улс өөрийн сансрын орон зайтай боллоо. Үүнээс гадна сансар судлал, сансрын технологи, инженерчлэлийн суурь боловсон хүчин бэлтгэх үндэс тавигдсан.

МУИС-ийн газрын станцын үйл ажиллагааны хувьд мазаалай хиймэл дагуулаас гадна BIRDS 2,3 төслийн хиймэл дагуулууд, NOAA цаг уурын хиймэл дагуул зэрэг бусад VHF/UHF сонирхогчийн радио давтамжийн зурвасыг ашигладаг хиймэл дагуулуудтай холбогдон ажиллах боломжтой.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлыг “Инженер Технологийн Дээд Боловсрол” төслийн хүрээнд МУИС-ийн “Сансрын инженерчлэлийн програм, түүний хэрэглээ” төслийн баг гүйцэтгэв. Мөн Кюүшүгийн Технологийн Институт, BIRDS төслийн баг, JSPS Core-to-core хөтөлбөр, Asia-Africa Science Platform –н хамт олон талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Д.Улам-Оргих, Р.Цолмон, П.Түвшинтөр, Д.Эрдэнэбаатар, Т.Төртогтох, Д.Амартүвшин, Т.Бэгзсүрэн, Mengu Cho, “Монгол Улсын Анхны Хиймэл Дагуул: Боломж, Ирээдүй”, МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №23 (455), х136-139, 2016.
- [2] G.Maeda, “BIRDS Project Newsletter”, Issue №41, 2019.
- [3] Mengu Cho, George Maeda, Sangkyun Kim, Hirokazu Masui болон BIRDS төслийн баг, “Lessons Learned from BIRDS-I Constellation Mission” in 4th IAA Conference on University Satellite Missions & CubeSat Workshop, Ром, Итали, 2017.
- [4] Mengu Cho, Apiwat Jirawattanaphol, Naomi Kurahara, “Global network operations of CubeSats constellation” in 1st IAA Latin American symposium on small satellites, 2017.
- [5] G.Maeda, T.Taiwo, M.Cho, “BIRDS Project Newsletter”, Issue №2, 2016.
- [6] Y.M.C. Ltd, “Instruction manual G-5500”, 2015.

Агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийн харьцуулсан судалгаа (2011, 2018 он)

Л.Энхцэцэг¹, Н.Төвжаргал^{2*}, Д.Шагжжамба¹, Ц.Амартайван^{1,2}, П.Зузаан¹

¹ Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол Улсын Их Сургууль,

Энхтайвны өргөн чөлөө-122, Улаанбаатар хот, Монгол улс

² Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх ухааны сургуулийн

Физикийн тэнхим, Улаанбаатар хот 14210, Монгол улс

Энэ ажлаар Улаанбаатар хотын агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын хэлбэр хэмжээний тархалтын өөрчлөлтийг 2011 болон 2017, 2018 оны өвөл, зуны дээжүүдэд электрон микроскопын аргаар харьцуулан судлав.

Тоосонцрын морфологийн судалгааны 2011 оны үр дүнг, 2017, 2018 оны үр дүнтэй харьцуулан үзвэл өвлийн улиралд 0.4-0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 13%-иар нэмэгдсэн бол зуны улиралд 0.8мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор 27.7%-иар нэмэгдэж, 0.8-1мкм хэмжээтэй тоосонцор 6 дахин, 1-1.8мкм хэмжээтэй тоосонцор 3 дахин буурсан байна. Хэлбэрийн тархалтын хувьд зуны улиралд бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцор 39%-иар буурч, тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцор 41.1%-иар нэмэгдсэн бол өвлийн улиралд бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцор 4.2%-иар нэмэгдэж, тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцор 5.2%-иар буурсныг үзүүлэв.

PACS numbers: 68.37.-d, 81.10.Aj, 78.70.En

I. УДИРТГАЛ

Хүн ам ихээр төвлөрсөн хот суурингуудын тулгамдаад буй асуудал болох тоосонцрын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судлахад тоосонцрын морфологи, химийн найрлагын судалгаа чухал үүрэгтэй. Бохирдуулагч хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр агаарт дэгдсэн бодисууд нь амьсгалын замаар хүний биед орж физик болон химийн нөлөөллийг үүсгэдэг[1–3]. Нэвтрэн орсон бодис химийн нэгдэл үүсгэх замаар өөрчлөлт үзүүлэхийг хими нөлөөлөл гэнэ. Тухайлбал, нүүрстөрөгчийн дутуу исэл эсэд хүчилтөрөгч зөвөрлөдөг гемоглобинтой урвалд орж “карбосигемоглобин”-ийг үүсгэснээр бие махбод хүчилтөрөгчийн дутагдалд ордог[4]. Харин ийм химийн найрлага бүхий бодис хүний биед нэвтрэн орох нь тэдгээрийн хэлбэр, хэмжээнээс хамаардаг. Мөхлөгийн хэмжээ бага байх тусмаа хамрын салстад шүүгдэлгүй, залгиур, мөгөөрсөн хоолойд хүрч, цаашлаад уушгинд хуримтлагдсаар амьсгал авах эзлэхүүнийг багасган бронхит, астма зэрэг өвчний шалтгаан болж дархлааны системийг дарангуйлдаг. Үүнийг бодисын физик нөлөөлөл гэх ба цаашлаад зүрх судас, тархины үйл ажиллагаанд нөлөөлж байгаа талаар судалгаа хийгдсээр байна[6]. Манай орны хувьд агаар дахь бохирдуулагч бодисуудын химийн найрлага, хэлбэр хэмжээг тогтмол судлах нь хүн амын эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судлах, агаарын чанараа үнэлэх, агаарын бохирдлын эсрэг авч хэрэгжүүлж байгаа арга хэмжээнүүдийн үр дүнг хянах зэрэгт чухал ач холбогдолтой.

Монгол улсын засгийн газраас Улаанбаатар хо-

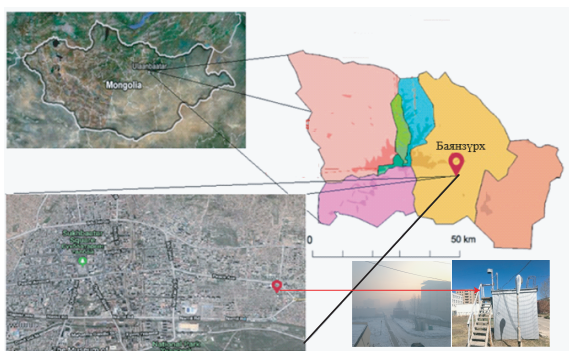
тын агаарын бохирдлыг бууруулах арга хэмжээнд 2008-2018 онуудад улсын төсвөөс 147.3 тэрбум төгрөг, 60.7 сая ам.доллартой тэнцэхүйц гадаадын буцалтгүй тусламжийг зарцуулсан байдаг. Эдгээрээс хамгийн өргөн хүрээг хамарсан ажил нь 2011-2016 оны хооронд гэр хорооллын өрхүүдэд 175,6 мянган сайжруулсан зуух суурилуулах төсөл бөгөөд хотын хийт гэр хорооллын нийт өрхийн 97,6 хувь нь сайжруулсан зуухтай болсон. Энэ хугацаанд $PM_{2.5}$ тоосонцрын жилийн дундаж агуулга 2011 онд $136\text{мкг}/\text{м}^3$ буюу МУ-ын стандартад заасан зөвшөөрөгдөх дундаж утгаас 5.2 дахин их байсан нь 2018 онд $70\text{мкг}/\text{м}^3$ болж буурсан хэдий ч зөвшөөрөгдөх дундаж утгаас 2.8 дахин их байсаар байна. Түүнчлэн хотын агаарын бохирдлын 80%-ийг гэр хорооллын айл өрхүүд үүсгэдэг гэсэн тоо баримт хэвээрээ[5] бөгөөд хөдөөнөөс хотыг чиглэсэн шилжилт хөдөлгөөн тасралтгүй үргэлжилж хотын хүн амын 58% нь буюу хагасаас илүү хувь гэр хорооллын бүсэд оршин суусаар байна[7, 8].

Иймээс бид Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг тогтооход шаардлагатай өгөгдлийн сан үүсгэх, агаарын чанарыг үнэлэх зорилгоор $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологи, химийн найрлагыг судалгааг тогтмол хийж байна[9–11]. Энэ ажлаар электрон микроскоп (SEM)-ын аргыг ашиглан Улаанбаатар хотын 2011 оны агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийг судалсан үр дүнг, 2017, 2018 онуудын судалгааны үр дүнтэй харьцуулан судалж, энэ хугацаанд тоосонцрын морфологид гарсан өөрчлөлтийг судлах зорилго тавилаа.

*E-mail: tuvjargal@num.edu.mn

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн 13 хорооны гэр хороолол дунд байрладаг МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн хэмжилтийн цэг дээр (зураг.1) агаарын тоосонцрын дээжийг авсан. Баянзүрх дүүрэг нь нийслэлийн хүн амын 24.4% оршин суудаг, 2018 оны жилийн эцсийн байдлаар дүүргийн нийт өрхийн 59.7% буюу 50556 өрх гэр хороололд амьдарч байна. 13-р хороо нь агаарын бохирдлын түвшингээр 2 дугаар бүсчлэлд харьяалагддаг, хөрсний элэгдэл болон түлш шаталтын процессоос үүсэлтэй агаарын бохирдол өндөртэй хороо юм.



Зураг 1: Дээж авсан хэмжилтийн цэгийн байршил

Энэхүү судалгаанд ашигласан агаарын нарийн ширхэгт тоосонцрын дээжийг 10мкм-ээс дээш хэмжээтэй тоос шорооны хаалт, PM_{10-2.5} фракцын тоосонцрыг шүүх 8мкм нүх бүхий шүүлтүүрээр шүүгээд, эцэст нь PM_{2.5} фракцын тоосонцрын дээжийг 0.4мкм нүхтэй поликарбонат материалтай, 47 мм диаметр хэмжээтэй шүүлтүүр дээр дээж авагч GENT төхөөрөмжөөр 7 хоногт 2 удаа, 24 цаг хүртэлх хугацаагаар дунджаар 14л/мин хурдтайгаар соруулж авдаг. Энэхүү судалгаанд 2017 оны 1, 8, 12 сарууд болон 2018 оны 8 сарын дээжийг ашигласан бөгөөд дээж авсан өдөр, бусад шаардлагатай мэдээллийг хүснэгт.1-д үзүүлэв.

Өмнөх судалгааны ажлаар боловсруулсан тоосонцрын ширхгийн морфологи, химийн найрлагыг судлах аргагүйн[10] дагуу тоосонцрын дээж бүхий поликарбонат шүүлтүүр тус бүрээс 5 жижиг хэсгийн зүслэг авч Hitachi, SU-8010 сканнин электрон микроскоп(SEM) ашиглан тоосонцрын ширхгийн хэмжээ, хэлбэрийг тодорхойлохдоо зүслэг тус бүр дээр 15 ширхэг 5000 дахин өсгөлттэй зураг авсан.

Зургийн тоон анализын Image-J® программыг ашиглан нэг дээжид 200-300 ширхэг тоосонцрын морфологийн параметр(хэлбэр, хэмжээ)-үүдийг тодорхойлов. Программ зургийн боловсруулалт

Хүснэгт I: Дээжийн мэдээлэл

Дээж	F914	F938	F971	F1010
Огноо	17.01.30	17.08.10	17.12.21	18.08.09
Агуулга [μг/м ²]	209.7	59.9	107.7	60.4
Температур [°C]	-31	23	-26	24
Агаарын чанарын индекс	Маш муу	Дунд	Муу	Дунд

хийхдээ тоосонцрын ширхгийн талбайг түүний хэлбэр хэмжээнээс үл хамааран түүнд агуулагдах пикселийн тоогоор шууд тодорхойлодог бөгөөд бид тоосонцрын хэмжээг эквивалент бөмбөрцгийн диаметр(ESD) гэх тэгш.(1)-ээр тодорхойлогдох хэмжигдэхүүнээр илэрхийлсэн[12].

$$ESD = 2\sqrt{\frac{\text{Талбай}}{\pi}} \quad (1)$$

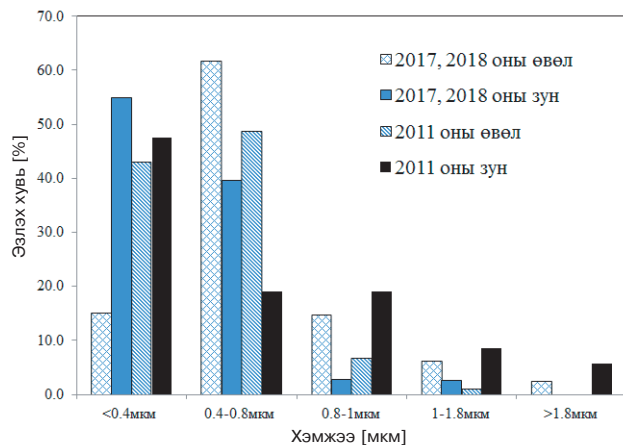
Тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтийг гаргахдаа бөөрөнхий, өнцөгтэй гэсэн үндсэн хоёр ангиллыг авч үзээд үлдсэн геометрийн зөв биш хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрыг тодорхойгүй гэсэн ангилалд оруулан хамгийн ерөнхий 3 ангилалд хуваан авч үзсэн[10].

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Агаарын PM_{2.5} тоосонцрын дээжийг авхын өмнөх болон дараах шүүлтүүрийн жингийн зөрүүгээр агаарын тоосонцрын агуулгыг тодорхойлно[9]. Энэхүү судалгаанд ашигласан зуны өдрийн дээжийн PM_{2.5} тоосонцрын агуулга ~60.1мкг/м³ байсан бол өвлийн улирлын дээжийн хувьд ~158.7мкг/м³ байсан бөгөөд манай улсын PM_{2.5} тоосонцрын зөвшөөрөгдөх дундаж утга нь 50мкг/м³ байдаг[13].

Зураг.2-т 2011, 2017 болон 2018 оны PM_{2.5} тоосонцрын дээжүүдэд ширхгийн хэмжээний түгэлтийг тэгш.(1)-ийг ашиглан тодорхойлсон дүнг өвөл, зуны улирлаар ялган харьцуулан үзүүлэв. Эндээс үзэхэд 2017, 2018 онуудын өвөл, зуны улирлын дээжид хэмжээний түгэлтийг тодорхойлсон дүнгээр өвлийн улирлын дээжид тоологдсон нийт 420 тоосонцрын 15% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 61.7% нь 0.4-0.8мкм, 14.8% нь 0.8-1мкм, 6.2% нь 1-1.8мкм, 2.4% нь 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй байна. Харин зуны улирлын дээжид тоологдсон нийт 564 тоосонцрын 55% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 39.5% нь 0.4-0.8мкм, 2.8% нь 0.8-1мкм, 2.7% нь 1-1.8мкм хэмжээтэй байсан бол 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг бараг бүртгэгдээгүй байна. 2017, 2018 онуудын

хувьд улирлаас үл хамааран 0.8мкм ба түүнээс бага хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг 76-94%ийг эзэлж байна. Өвлийн улиралд 0.4мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг зуны улирлаас 3.6 дахин бага бүртгэгдсэн дүн гарч байна.



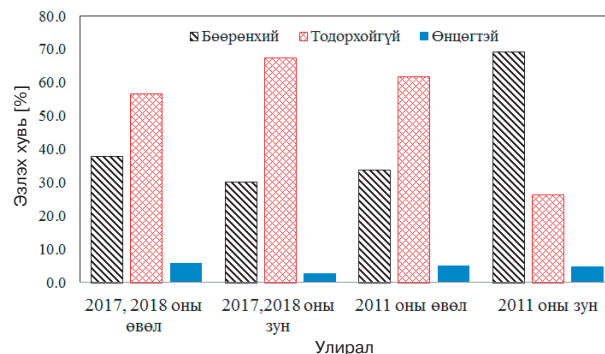
Зураг 2: 2011, 2017, 2018 онуудын PM_{2.5} тоосонцрын хэмжээний түгэлт, улирлын хамаарал

2011 оны дээжид хийсэн судалгааны дүнгээр тоосонцрын хэмжээ улирлын хамааралгүйгээр 45.2% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 34.2% нь 0.4-0.8мкм, 12.9% нь 0.8-1мкм, 4.8% нь 1-1.8мкм, 3% нь 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй байгаа бол 2017-2018 оны судалгааны дүнгээр 35% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 50.6% нь 0.4-0.8мкм, 8.8% нь 0.8-1мкм, 4.4% нь 1-1.8мкм, 1.2% нь 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй тус тус тодорхойлогдсон. Энэхүү үр дүнг 2011 оны тоосонцрын дээжүүдийн хэмжилтийн үр дүнтэй[10] харьцуулан үзвэл 0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг 2011 онд 92% байсан нь 76.7% болж буурсан өөрчлөлт харагдаж байна.

Өвлийн улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.4-0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 48.8%, 2017, 2018 онуудын өвлийн дээжид 61.7%-ийг эзэлж байна. Эндээс түлш шаталтын дүнд агаарт дэгдэх тоосонцрын бохирдолд 0.4-0.8мкм хэмжээ тоосонцор зонхилдог болох нь харагдаж байна. Зуны улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.8мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор 66.8% эзэлж байсан бол 2017, 2018 онуудад 94.5% хүртэл нэмэгдэж, 0.8-1мкм хэмжээтэй тоосонцор 6 дахин, 1-1.8мкм хэмжээтэй тоосонцор 3 дахин буурсан дүн гарлаа. Түүнчлэн 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг бүртгэгдээгүй байгаа нь зуны улиралд хотын агаарт дэгдэх тоосонцор илүү нарийн ширхэгт болж байгааг илтгэж байна.

Зураг.3-т 2011, 2017, 2018 онуудын тоосонцрын дээжид хэлбэрийн түгэлтийг тодорхойлсон дүнг харьцуулан үзүүлэв. Хэлбэрийн түгэлтийн дүнгээр зуны улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 69%-ийг бөөрөнхий, 26.3%-ийг

тодорхойгүй, 4.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж байсан бол 2017, 2018 оны хувьд 30%-ийг бөөрөнхий, 67.4%-ийг тодорхойгүй, 2.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор болж өөрчлөгдсөн байна.



Зураг 3: 2017, 2018 ба 2011 онуудын агаар дахь PM_{2.5} тоосонцрын хэлбэрийн түгэлт, улирлын хамаарал

Харин өвлийн улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 33.6%-ийг бөөрөнхий, 61.6%-ийг тодорхойгүй, 4.8%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж байсан бол 2017, 2018 оны хувьд 37.86%-ийг бөөрөнхий, 56.43%-ийг тодорхойгүй, 5.7%-ийг өнцөгт хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрын ширхэг эзэлж байна. 2011 онд өвлийн улиралд тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор, зуны улиралд бөөрөнхий хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор зонхилох хувийг эзэлж байсан бол 2017, 2018 онуудад улирал харгалзахгүй тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор дийлэнх хувийг эзэлж байна.

Сүүлийн жилүүдэд Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын бууруулах олон арга хэмжээ авч хэрэгжүүлж байгаа хэдий ч төдийлөн сайн үр дүнд хүрэхгүй байгаа нь энэхүү судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Мөн түлш шаталтын үр дүнд үүсэж байгаа өвлийн улирлын агаарын бохирдлоос гадна зуны улиралд тоосонцрын бохирдол тогтмол өндөр байгааг харж болно.

2018 оны статистикийн мэдээгээр 470,5мян.га талбай бүхий нийслэлийн нутаг дэвсгэрийн 55,136мян.га талбайг гэр хорооллын бүс эзэлж, тэнд ойролцоогоор 217,000 өрх амьдарч байна[13]. Өөрөөр хэлбэл, ийм хэмжээний яндан, хучилтгүй шороон зам бий гэсэн үг юм. 2011 онд Улаанбаатар хотод 10892мян.м² талбайг цэцэрлэгжүүлж, зүлгэжүүлсэн бол 2018 оны байдлаар 12352мян.м² болж нэмэгдсэн боловч нэг хүнд дунджаар 4-6м² ногоон байгууламж оногдож байгаа нь олон улсын дундаж стандартаас 6 дахин бага үзүүлэлт юм. Мөн сүүлийн 5 жилийн статистик мэдээгээр нийслэлийн автомашины тоо 2 дахин нэмэгдэж 410 мянга болсон нь тээврийн хэрэгслийн

хөдөлгөөнөөр хучилтгүй шороон зам нидрэгдэн, өнгөн хөрсийг эвдэлж сул шороо, тоосжилт нэмэгдэх гол хүчин зүйл болж байна. Үүнээс гадна 2016 онд хийгдсэн судалгаагаар Улаанбаатар хотын хөрсний 80-90% нянгийн бохирдолтой гэж тогтоогджээ[15]

Хүн ам ихээр төвлөрсөн, дэлхийн өндөр хөгжилтэй хотууд цэцэрлэгжүүлэлт, зүлэгжүүлэлт хийх, хатуу хучилттай зам, талбайн хэмжээг нэмэгдүүлэн сайжруулах арга хэмжээг ихээр авч хэрэгжүүлдэг. Иймд Улаанбаатар хотод энэ төрлийн арга хэмжээг өргөн авч хэрэгжүүлэхгүй бол агаарын чанар, тэр дундаа тоосонцрын бохирдлын хөнөөл утааны нэгэн адил тулгамдсан асуудал болсон байгаа нь харагдаж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэ ажилд Улаанбаатар хотын агаарын РМ_{2.5} тоосонцрын бохирдлын хэлбэр хэмжээний тархалтын өөрчлөлтийг 2011, 2017 болон 2018 оны өвөл, зуны дээжүүдэд электрон микроскопын аргаар харьцуулан судласан үр дүнг үзүүлэв.

Судалгааны дүнгээр РМ_{2.5} тоосонцрын бохирдлын хэмжээ өвлийн улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.4-0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 48.8%, 2017, 2018 онуудын дээжид 61.7%-ийг эзэлж байна. Эндээс түлш шаталтын дүнд агаарт дэгдэх тоосонцрын бохирдолд 0.4-0.8мкм хэмжээ тоосонцор зонхилдог болох нь харагдаж байна. Зуны улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.8мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор 66.8% эзэлж байсан бол 2017, 2018 онуудад 94.5% хүртэл нэмэгдэж, 0.8-1мкм хэмжээтэй тоосонцор 6 дахин, 1-1.8мкм хэмжээтэй тоосонцор 3 дахин буурсан

байна.

Хэлбэрийн хувьд зуны улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 69%-ийг бөөрөнхий, 26.3%-ийг тодорхойгүй, 4.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж байсан бол 2017, 2018 оны хувьд 30%-ийг бөөрөнхий, 67.4%-ийг тодорхойгүй, 2.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор болж өөрчлөгдсөн бол өвлийн улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 33.6%-ийг бөөрөнхий, 61.6%-ийг тодорхойгүй, 4.8%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж, 2017, 2018 оны хувьд 37.86%-ийг бөөрөнхий, 56.43%-ийг тодорхойгүй, 5.7%-ийг өнцөгт хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрын ширхэг эзэлж байна. Харин 2011 оны хувьд өвлийн улиралд тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор, зуны улиралд бөөрөнхий хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор зонхилох хувийг эзэлж байгаа бол 2017, 2018 дээжид улирал харгалзахгүй тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор дийлэнх хувийг эзэлж байгааг үзүүлэв.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийхэд дэмжлэг үзүүлсэн “Хотын агаарын тоосонцрын агаарын чанарт үзүүлэх нөлөөг үнэлэх” RAS7029 судалгааны төслийг хэрэгжүүлж буй ОУАЭА, Ази-Номхон дахайн бүсийн хэлэлцээрийн байгууллага, “Хүрээлэн буй орчин, биологийн объектыг шинжлэх цөмийн физикийн аргазүйн судалгаа” суурь судалгааны төслийг санхүүжүүлсэн ШУТС, БСШУС яам, SEM-ийн хэмжилт хийх боломж олгосон БНХАУ-ийн ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн Функционал материалын физик, химийн төв лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

- [1] Schwartz, J., 1994, Environmental Research, 64, 36-52.
- [2] Brüning, Thomas et al., BG Research Institute for Occupational Medicine. 2006, pp.
- [3] Dockery, D.W. and Pope., 1994, 15, 107-132, C.A.
- [4] Эрүүл мэндийн яам, Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв, Баримтын цомог: Агаарын бохирдол хүний эрүүл мэндэд, 2018 он
- [5] Дэлхийн банк, "Улаанбаатарын агаарын чанарын дүн шинжилгээ" хэлэлцүүлгийн баримт бичиг, 2011 он
- [6] НҮБ-ийн хүүхдийн сангийн "Аюулын харанга" агаарын бохирдол ба хүүхдийн эрүүл мэнд тайлан, <https://www.unicef.org/mongolia/mn>
- [7] Үндэсний статистикийн хороо, Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын бохирдол ба эрүүл мэнд, 2019 он
- [8] Зориг сан, Агаарын бохирдлын тухай товчхон, 2019 он
- [9] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжжамба, П.Зузаан., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 478, ФИЗИК сэтгүүл (25), х133, 2017
- [10] Л. Энхцэцэг, Н. Төвжаргал, П. Зузаан, Д. Шагжжамба, Ц.Амартайван., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 510, ФИЗИК сэтгүүл (28), х62, 2019
- [11] N Tuvjargal, L Enkhtsetseg, D Shagjjamba, P Zuzaan., 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 704 012012
- [12] P. G. Satsangi, S. Yadav., Int. J. Environ. Sci. Technol. (2014) 11:217-232
- [13] Стандартчилал хэмжилзүйн газар, Агаарын чанар, Техникийн ерөнхий шаардлага-Монгол Улсын стандарт MNS 4585:2016, 2016 он
- [14] Нийслэлийн статистикийн газар, <http://ubstat.mn>
- [15] Ч.Сономдагва, Ч.Бямбацэрэн, Д.Даваадорж., Шинжлэх Ухааны Академийн Мэдээ, №01 (217), 2016

Зөөлөн Рентген туяаны проекцлогч микроскопоор авсан биологийн объектын зургийг итерацын аргаар шинжлэх судалгаа

Б.Дүүрэнбуян^{1,2,*}, Ж.Эрдэнэтогтох¹, Ж.Ванчинхүү², Т.Шийна³, А.Ито⁴

¹ ШУА, Физик, технологийн хурээлэн, Материал судлалын салбар

² МУИС, Шинжлэх ухааны сургууль, Физикийн тэнхим

³ Япон улс, Чикаго Их Сургууль

⁴ Япон улс, Токай Их Сургууль

Зөөлөн Рентген туяаны проекцлогч микроскопыг ашиглан эс болон биомолекулын ерөнхий хэлбэр, дүрсийн зургийг авах боломжтой. Гэхдээ цахилгаан соронзон долгионы дифракцын улмаас объектын хэлбэр хэмжээг нарийвчлан тодорхойлоход хүндрэл учирдаг. Уг асуудлыг шийдэхээр бид дифракц бүхий зургийг шинжилж, дифракцыг арилгадаг итерацын аргыг боловсруулаад байна. Энэхүү ажлаараа бид уг итерацын аргын чадвар, үр дүнг судлах зорилгоор латекс бөөм, хромосом, хела эсийн зурагт шинжилгээ хийлээ. Латекс бөөмийн бүх өсгөлттэй тохиолдлын зургууд болон хромосом, хела эсийн нам өсгөлттэй зургууд дээрх шинжилгээ амжилттай хийгдлээ.

Түлхүүр үгс: Латекс бөөм, Хромосом, Хела эс, Френелийн дифракц, Фурье хувиргалт

PACS numbers: 02.30.Nw, 42.25.-p, 42.25.Fx, 42.25.Kb, 42.30.kq

ОРШИЛ

Электрон микроскоп өндөр ялгах чадвартай, оптик гүн ихтэй тул объектын олон дахин томорсон тод дүрсийг өгдөг. Гэвч энэ багажид хэрэглэдэг хурдассан электроны урсгал судалж байгаа объектыг мөргөх үедээ уг объектын гадаргууд гүн эвдрэл үүсгэж болдог. Үүний зэрэгцээ энэ аргад судалж байгаа объектыг тусгай вакуум орчин дотор оруулах бөгөөд уг объект өөрөө дамжуулагч чанартай, эсвэл түүнийг сайн дамжуулагчаар бүрэх шаардлагатай байдаг. Ийм учраас биологийн материалууд, эд зэрэг эмзэг материал, объектыг энэ аргаар судлахад нэн бэрхшээлтэй байдаг.

Рентген цацраг өндөр энергитэй, богино долгионы урттай учраас маш нэвтрэх чадвартай бөгөөд түүнийг дээр дурдсан эмзэг объектын бүтцийг судлахад ашиглах боломжтой. Микроскопын ялгах чадвар долгионы уртад урвуу пропорционал байх тул богино долгионы урттай цацрагийн өгч буй дүрс маш жижиг объектын хувьд ч илүү тод, сайн ялгагдаж харагдахуйц байх нь ойлгомжтой. Гэхдээ давтамж ихсэх тусам цахилгаан соронзон долгионы энерги ихсэж эвдлэх чадвар нь нэмэгдэх тул хэт өндөр давтамжтай (тухайлбал, хатуу рентген) цацрагаар объектыг судлах нь тохиромжгүй байдаг. Харин энэ судалгаанд зөөлөн рентген туяа илүү тохиромжтой байдаг.

Зөөлөн рентген туяаны 2.478-2.879нм мужид биологийн объектыг бүрдүүлэгч үндсэн материал болох ус шингээлтгүй байна. Харин биологийн объектын үндсэн материал болох хүчилтөрөгч, нүүрстөрөгч азот зэрэг элементүүд зөөлөн рентген туяаны мужид хүчтэй шингээлттэй байдаг. Эдгээр үндэслэлээр сүүлийн жилүүдэд бага энергитэй зөөлөн рентген туяаг ашиглаж биологийн объектын дүрсийг өндөр өсгөлт, тод ялгаралтайгаар гарган авч шинжлэх арга зүйг боловсруулах болон энэ технологийг хөгжүүлэх судалгаа эрчимтэй хийгдэж байна.

Үүний гол төлөөлөгч бол биомолекул болон эсийн шинжилгээний зориулалттай Япон улсын эрдэмтдийн хөгжүүлж буй зөөлөн Рентген туяаны микроскоп төхөөрөмж [1, 2] юм. Энэхүү төхөөрөмжөөр эс болон биомолекулын ерөнхий хэлбэр, дүрсийн зургийг авах боломжтой хэдий ч объектын хэмжээ багасахад (объектын жижиг хэсэгт ч адил) долгионы дифракцын улмаас объектын дүрс цагиргуудаар хүрээлэгдэж дүрсийн ялгарал муудаж эхэлдэг. Үүний дүнд объектын дүрс жинхэнэ дүрс хэлбэрээс өөр дүрс төрхтэй болсон байх бөгөөд энэ нь объектын үнэн дүрс, хэлбэр хэмжээг нь нарийвчлан тодорхойлоход хүндрэл учруулдаг [3]. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд дифракцын

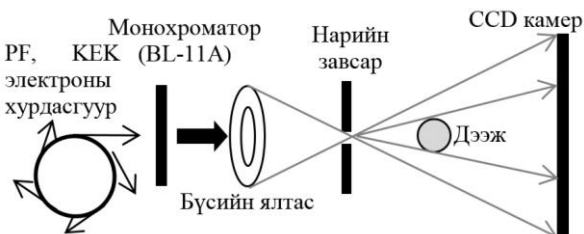
* Electronic address: Duurenbuyanb@mas.ac.mn

улмаас бий болж байгаа нэмэлт дүрсүүдийг шинжилж, объектын жинхэнэ дүрсийг дифракцын шугамаас алдаагүй зөв ялгаж тооцоолох шаардлагатай юм. Энэ зорилгоор бид Френелийн долгион тархалтын тэгшитгэлийг Фурье хувиргалтаар тооцож объектын дүрсийг дифракцын шугамаас ялгаж шинжлэх аргыг (цаашид итерацын арга гэх) боловсруулаад байна [4].

Энэхүү өгүүлэлд итерацын аргын чадвар, үр дүнг үнэлэх зорилгоор зөөлөн Рентген туяаны проекцлогч микроскопоор авсан хромосом болон хела эсийн зургийг шинжилж туршсан явц үр дүнг авч үзэх болно. Мөн стандарт дээж болох үйлдвэрт хэлбэр хэмжээг нарийвчлан бүтээсэн латекс бөөмийн зургийг аван, шинжилгээний үр дүнтэй харьцуулав.

МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Бид энэхүү судалгааны ажлаар биологийн судалгаа, шинжилгээний үндсэн объект болох эс болон молекулын зураг авах туршилтыг гүйцэтгэв. Үүний тулд хүний лимфоцит эсээс центрифугийн аргаар хромосомыг нь ялгаж бэлтгэв. Харин эсийн туршилтад амьдрах чадвар өндөртэй хела эсийг ашиглав. Мөн судалгааны үр дүнг бататгах зорилгоор стандарт дээж болгож 10μм-ийн голчтой, зөв бөмбөрцөг хэлбэртэй латекс бөөмийг ашиглав. Латекс бөөм нь элементийн найрлагаараа биологийн объектод нэгэн ижил бөгөөд харьцангуй өндөр нягттай тул илүү өндөр контрасттай зураг гарган авах боломжтой. Мөн бөөмийн хэлбэр хэмжээг өндөр нарийвчлалтайгаар тохируулж үйлдвэрлэсэн тул зургийн шинжилгээний үр дүнг бататгахад нэн тохиромжтой юм.



Зураг 1. Японы Атомын Энергийн Агентлагийн “PF, KEK” хурдасгуурт суурилсан Рентген микроскопын бүтэц.

Рентген микроскоп нь Японы Атомын Энергийн Агентлагийн “PF, KEK” хурдасгуурт суурилсан бөгөөд уг хурдасгуурын BL-11A бөөмийн шугамаас ирэх 700 эВ энергитэй рентген туяаг

үүсгүүр болгон ашигласан [5]. Объектуудын өсгөлтийг 47-658 мужид тохируулж нийт 19 зураг авав. “PF, KEK” хурдасгуурт суурилсан Рентген микроскопын ерөнхий схемийг Зураг 1-д үзүүлэв.

Үүний дараа Рентген микроскопоор авсан зургуудыг итерацын аргаар шинжилж зурагт буусан объектын хэлбэр дүрсийг дифракцын шугамаас ялгаж тооцоолов. Итерацын арга нь Френелийн долгион тархалтын тэгшитгэлийг ашиглаж объектын гадаргаас камерын дэлгэц хүртэл Рентген туяа тархах тархалт болон урвуу тархалтыг тооцоолох аргаар дэлгэц дээр интерференцийн шугам үүсэх үзэгдлийг тооцож, шинжилнэ. Тэгшитгэл нь Фурье хувиргалтын хэлбэрт орших тул итерацын тооцоонд шууд болон урвуу Фурье хувиргалтыг ашиглах боломжтой. Шууд (тэгшитгэл 1) болон урвуу (тэгшитгэл 2) тархалтын нэг хэмжээт тэгшитгэлийг доор харуулав.

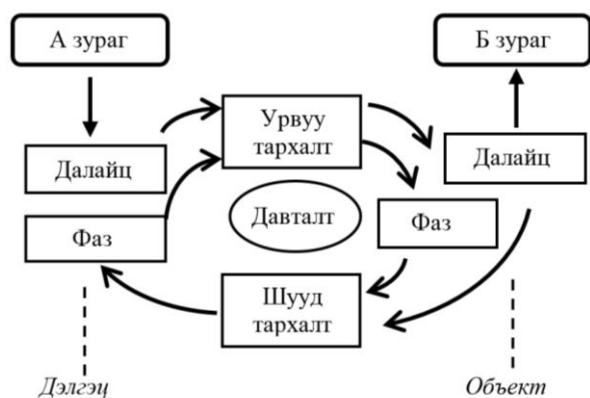
$$F(mT) = \sum_{n=0}^{N-1} f(nT_0) \exp\left\{\frac{i\pi}{\lambda R}(mT - nT_0)^2\right\} \quad (1)$$

$$f(nT_0) = \sum_{m=0}^{N-1} F(mT) \exp\left\{-\frac{i\pi}{\lambda R}(mT - nT_0)^2\right\} \quad (2)$$

Энд F-камерын дэлгэц дэх долгионы төлөвийн функц f-объектын гадаргуу дээрх долгионы төлөвийн функц, λ-долгионы урт, R-объект болон камерын дэлгэц хоорондох зай, N-нийт түүврийн тоо (N ≥ зургийн пикселийн тоо), T₀-объектын гадаргуу дээрх түүврийн интервал, T-камерын дэлгэц дээрх түүврийн интервал буюу зургийн пикселийн өргөн, n болон m-ээрэг бүхэл тоо.

Мөн огторгуйн дурын нэг байрлал дахь долгионы далайц болон фазын мэдээллийг мэдэж байвал өөр байрлалд үүсэх долгионы төлөвийг хялбархан тооцох боломжтой. Тиймээс итерацын аргаар тооцоо хийхдээ камераар авсан зураг буюу камерын дэлгэцийн байрлалд үүссэн Рентген туяаны далайцын түгэлтийг ашиглан объектын камер талаас харагдах гадаргуу дээрх Рентген туяаны далайцын түгэлтийг тооцоолно. Объектын гадаргуугийн хувьд Рентген туяаны дифракц үүсч амжаагүй байх тул объектын бодит дүрс, хэмжээг тооцож мэдэх боломжтой. Уг тооцоонд шаардлагатай фазын түгэлтийн мэдээлэл байхгүй тул эхлээд бөмбөлөг долгионы

фазыг ашиглан Френелийн шууд болон урвуу долгион тархалтын тэгшитгэлийг олон дахин давтаж тооцоолох аргаар фазын түгэлтийг ойролцоолж тооцно. Тооцооны алгоритмыг Зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2: Итерацын аргаар Рентген микроскопын зураг алгоритм. А зураг: Рентген микроскопоор авсан зураг (дифракцын шугам агуулна), Б-зураг: Итерацын аргаар шинжилсэн зураг (дифракцын шугамгүй), Шууд тархалт: Тэгшитгэл-(1), Урвуу тархалт: Тэгшитгэл-(2).

Итерацын аргаар зургуудыг шинжилсний дараа дараах шалгуур үзүүлэлтийн дагуу тооцоо амжилттай болсон эсэхийг үнэлэв. Үүнд:

1. Дифракцын шугам бүрэн арилсан эсэх
2. Объектын ерөнхий хэлбэр гажаагүй эсэх
3. Объектын хэмжээ бодит хэмжээтэй тохирсон эсэх (латекс бөөмийн хувьд).

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Итерацын аргаар латекс бөөм, хромосом, хела эсийн зургууд дээр шинжилгээ хийж гарсан үр дүнг хүснэгт 1-д нэгтгэлээ. Зураг амжилттай эсвэл амжилтгүй шинжлэгдсэнийг харьцуулан тусгай тэмдэглэгээгээр тэмдэглэв.

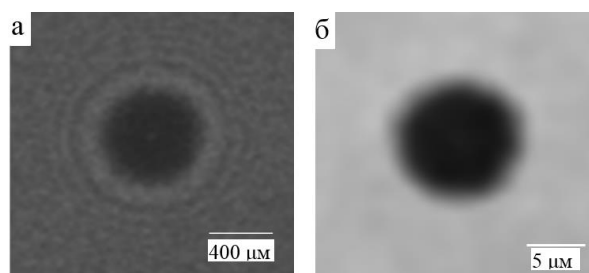
Хүснэгт 1. Итерацын аргаар шинжилсэн латекс бөөм, хромосом, хела эсийн шинжилгээний нэгдсэн мэдээлэл.

№	Объект	Өсгөлт	Үр дүн
1	Латекс бөөм	47	○
2		66	○
3		165	○
4		219	○
5		329	○
6		658	○
7	Хромосом	82	○
8		110	○
9		165	X
10		219	X
11		329	X
12		658	X

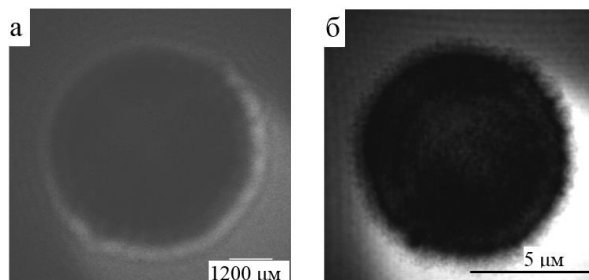
13	Хела эс	47	○
14		66	○
15		110	○
16		165	○
17		219	○
18		329	○
19		658	X

Тайлбар: 0-оор амжилттай болсон шинжилгээг тэмдэглэв, X-ээр амжилтгүй болсон шинжилгээг тэмдэглэв.

Латекс бөөмийн бүх зургийг итерацын аргаар амжилттай шинжилж дифракцийн шугамгүй үеийн объектын зургуудыг гаргалаа. Шинжилгээний дараа бөөмийг хэмжихэд ерөнхий хэмжээ өөрчлөгдөөгүй бөгөөд хэлбэр гажаагүй байсан ба дифракцын шугам бүрэн арилсан байв. Нийт шинжилсэн зургуудаас хамгийн бага болон хамгийн их өсгөлттэй зургуудыг жишээ болгон сонгож шинжилгээний өмнөх, дараах зургуудыг харьцуулан Зураг 3, 4-д үзүүлэв.



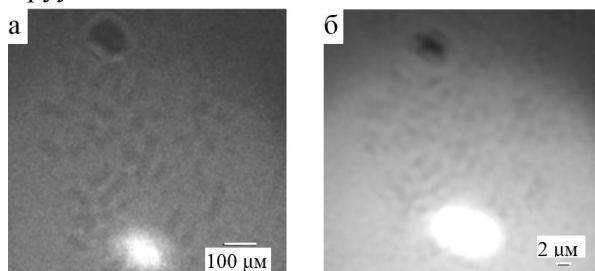
Зураг 3. 47 дахин өсгөлттэй 10 μm –ийн хэмжээтэй латекс бөөм. а) Рентген микроскопоор авсан өсгөлттэй зураг, б) итерацын аргаар шинжилсэн дифракцын шугамгүй үеийн зураг.



Зураг 4: 658 дахин өсгөлттэй 10 μm –ийн хэмжээтэй латекс бөөм. а) Рентген микроскопоор авсан өсгөлттэй зураг, б) итерацын аргаар шинжилсэн дифракцын шугамгүй үеийн зураг.

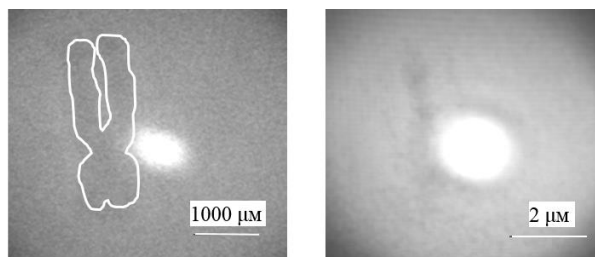
Харин хромосом болон хела эсийн нам өсгөлттэй зургуудын хувьд шинжилгээ амжилттай хийгдсэн бол өндөр өсгөлттэй зургууд дээр амжилттай болоогүй. Нийт шинжилсэн хромосом болон хела эсийн зургуудаас хамгийн бага, хамгийн их өсгөлттэй зургуудыг жишээ болгон сонгож шинжилгээний

өмнөх, дараах зургуудыг харьцуулан Зураг 5-8-д харуулав.

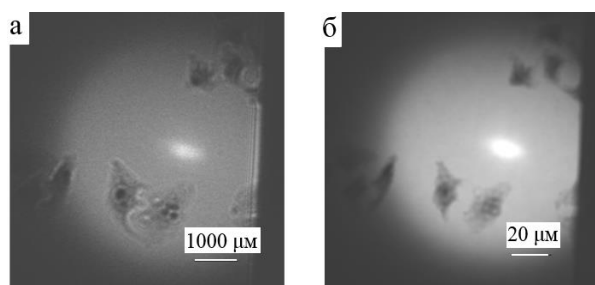


Зураг 5: 82 дахин өсгөлттэй хромосом. а) Рентген микроскопоор авсан өсгөлттэй зураг, б) итерацын аргаар шинжилсэн дифракцын шугамгүй үеийн зураг.

Зураг 5-д харуулсан ёсоор бага өсгөлттэй хромосомын рентген микроскопын зурагт объект бүдэг хэдий ч харьцангуй тод дифракцийн шугам үүссэн харагдаж байна. Энэ тохиолдолд хийсэн шинжилгээнүүд амжилттай болж дифракцын шугам арилсан. Харин Зураг 6-д харагдаж байгаачлан өндөр өсгөлттэй хромосомын зурагт объектын контраст хэт багассаны улмаас дифракцийн шугам ажиглагдахгүй байна. Иймээс програм объектын дүрсийг бүрэн таньж чадалгүй хромосомын зарим хэсэг устаж алга болсон гэж таамаглаж байна.

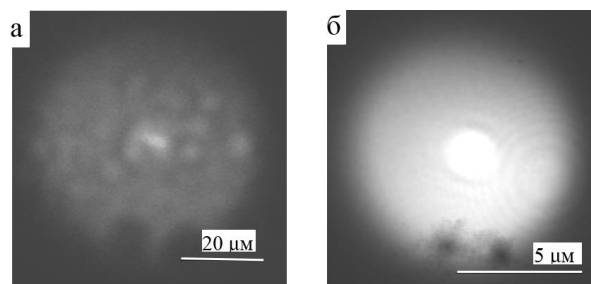


Зураг 6: 658 дахин өсгөлттэй хромосом. а) рентген микроскопоор авсан өсгөлттэй зураг, б) итерацын аргаар шинжилсэн дифракцын шугамгүй үеийн зураг.



Зураг 7: 66 дахин өсгөлттэй хела эс. а) Рентген микроскопоор авсан өсгөлттэй зураг, б) итерацын аргаар шинжилсэн дифракцын шугамгүй үеийн зураг.

Хела эсийн рентген микроскопоор авсан хамгийн өндөр өсгөлттэй зургаас бусад бүх тохиолдолд объектын контраст их, дифракцын шугамууд тод ялгарч Зураг 7-д харагдаж байгаатай ижил амжилттай шинжлэгдэв.



Зураг 8: 658 дахин өсгөлттэй хела эс. а) Рентген микроскопоор авсан өсгөлттэй зураг, б) итерацын аргаар шинжилсэн дифракцын шугамгүй үеийн зураг.

Харин Зураг 8-д харуулсан ёсоор хамгийн өндөр өсгөлттэй буюу 658 дахин өсгөлттэй зургийн хувьд объектын контраст бага бөгөөд зурагт дифракцын шугам үүсээгүй байна. Энэ тохиолдолд шинжилгээ амжилтгүй болж байв. Бид өндөр өсгөлттэй хромосом болон хела эсийн зургийг авах үед зургуудын контраст бага, дифракцын шугам тод ялгарч харагдахгүй бөгөөд итерацын шинжилгээ амжилтгүй болж байгаа нь дараах 2 шалтгаанаас үүдэлтэй гэж таамаглаж байна. Үүнд:

1. Итерац тооцоонд цэгэн үүсгэгчээс гарах бөмбөлөг долгионы тархалтыг загварчилж тооцно. Гэтэл Рентген микроскопын туршилтад 0.5μм-ийн голчтой нүхээр нэвтэрсэн Рентген туяаг үүсгүүр болгон ашиглаж байгаа. Тиймээс өндөр өсгөлттэй зураг авах үед объект үүсгүүрт илүү ойртох тул объектоос харахад үүсгүүрийн цэгэн чанар алдагдаж, объект дээр ирэх долгионы бөмбөлөг чанар алдагдана. Үүний дүнд Итерац тооцоо болон бодит туршилтын нөхцөл зөрж шинжилгээ амжилтгүй болоход нөлөөлөх магадлалтай.
2. Өндөр өсгөлттэй зургийн үед объект үүсгүүрт ойр байрлах тул объект дээр тусах Рентген туяа болон үүсгүүрээр сарнисан шуумны эрчим өндөр байна. Тиймээс Рентген туяаны объектыг нэвтрэх хэмжээ болон объект дээр сарнисан шуумны хэмжээ өсч зургийн контраст буурахад хүргэж байна. Үүний улмаас програм объектыг бүрэн таньж чадахгүйд хүрэх магадлалтай.

ДҮГНЭЛТ

Энэ судалгааны ажлаар бид итерацын аргын чадвар, үр дүнг үнэлэх зорилгыг тавьж латекс бөөм, хромосом, хела эсийн зургууд дээр шинжилгээ хийв. Нийт Рентген микроскопоор

авсан 19 зураг дээр шинжилгээ хийж гарсан үр дүнгээс доорх дүгнэлтэд хүрлээ. Үүнд:

1. Хела эс, хромосомын бага өсгөлттэй зургууд болон латекс бөөмийн зургуудад үүссэн дифракцын шугам нүдэнд ажиглагдахуйц өндөр контрасттай байсан ба эдгээр зургуудын хувьд итерацын шинжилгээ амжилттай болж байв.
2. Хромосом болон хела эсийн өндөр өсгөлттэй зургуудын хувьд контраст хэт бага бөгөөд итерац шинжилгээ амжилтгүй болсон. Үүний гол шалтгаан нь объект үүсгүүрт ойртоход үүсгүүрийн цэгэн чанар алдагдах болон объектоор нэвтэрч сарнисан долгионы хэмжээ өссөний улмаас зургийн контраст буурч итерац шинжилгээний үр дүнг бууруулсан гэж дүгнэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] K. Shinohara et al., Discrimination of DNA and RNA distribution in a mammalian cell by scanning transmission soft X-ray microscopy, J. X-Ray Sci. Technol. 26: 1-8, 2018.
- [2] A. Ito et al., Soft X-ray microscopy and spectromicroscopy of cells, Radioisotopes 47: 789-798, 1998.
- [3] T. Shiina et al., Fresnel diffraction correction by phase-considered iteration procedure in soft X-ray projection microscopy, Journal of Physics: Conference Series (IOP) 186: 12059-3, 2009.
- [4] E. Jamsranjav et al., Effectiveness of Noise Removal for Image Correction in Soft X-ray Projection Microscopy, Radioisotopes 66: 137-148, 2017.
- [5] PF Home page (BL-11A Soft X-ray Grazing Incidence Monochromator Station): <http://pfwww.kek.jp/sxspec/sx/bl11a/40223.html>.

Альфа+протон системийн резонанс төлөвүүдийг комплекс хувиргалтын арга ашиглан тодорхойлсон нь

А.Золбаяр^{1*}, Г.Хүүхэнхүү¹, А. Сарсембаева², М. Одсүрэн¹

¹ Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн сургууль болон Цөмийн Физикийн Судалгааны төв, МУИС, Улаанбаатар, Монгол Улс

² Аль-Фарабийн нэрэмжит Казахстаны Үндэсний их сургууль, Алмата, Казахстан Улс

Комплекс хувиргалтын аргад тулгуурлан Гаусс суурь функц ашиглан ⁵Li цөмийг $\alpha + p$ системээс тогтсон хоёр кластерын систем гэж загварчлан, бага өдөөгдсөн $1/2^-$, $3/2^-$ төлөвүүдийн энерги, түвшний өргөнийг онолоор тооцоолон бусад судлаачдын үр дүнтэй харьцуулав.

ОРШИЛ

Цөмийн бүтэц, шинж чанарыг микро ертөнцийн зүй тогтлыг тайлбарладаг квант онолоор илэрхийлдэг. Ихэнх цөм нэлээн олон нуклоноос тогтдог учир квант физикт олон биеийн харилцан үйлчлэлийг бодох хэрэгтэй болдог. Ийм тооцоо хийхэд зарчмын хувьд хэд хэдэн бэрхшээлүүд тулгардаг учир олон нуклоны системийг хялбарчлахын тулд цөмийн кластер загварыг оруулж ирсэн. Кластер гэдэг нь цөмийг бүрдүүлэгч нуклонууд нь хэсэг хэсгээрээ бүлэг болж цөм дотроо харьцангуй бие даасан систем үүсгэхийг хэлнэ.

1936 онд АНУ-ын эрдэмтэд Г. Бете, Р. Бахер, 1938 онд Л. Хафштадтер, Э. Теллер [1] нар зарим цөм кластер бүтэцтэй байж болох таамаглалыг дэвшүүлсэн бөгөөд 1968 онд Японы эрдэмтэн К. Икеда уг санааг өргөжүүлж хөнгөн цөмөөс бэсрэг масстай цөм хүртэлх массын өргөн мужид цөмийн кластер бүтцийн диаграммыг байгуулсан [2].

Бид энэ ажилд 5 нуклоноос тогтсон ⁵Li цөмийг ($\alpha + p$) гэсэн 2 кластерын систем болгон хялбарчилж, ⁵Li цөмийн бага өдөөгдсөн $J^\pi = 1/2^-$, $J^\pi = 3/2^-$ төлөвүүдийн энерги болон түүнд харгалзах түвшний өргөнийг онолоор тодорхойллоо.

АЛЬФА+ПРОТОН КЛАСТЕРЫН СИСТЕМ БА КОМПЛЕКС ХУВИРГАЛТЫН АРГА

1971 онд Ж.Агулиар, Ж.Комбес, Э.Балслев [3,4] нар Комплекс хувиргалтын аргыг (КХА)-г анх үндэслэж, Б.Симон энэ санааг өргөжүүлж ашигласан [5]. КХА-аар Шредингерийн тэгшитгэлд хувиргалт хийе. Үүний тулд радиал

координат r болон момент k -ийн хувьд дараах хувиргалт хийнэ:

$$U(\theta)rU^{-1}(\theta) = re^{i\theta}$$

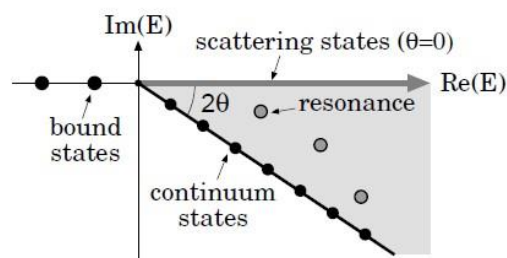
$$U(\theta)kU^{-1}(\theta) = ke^{-i\theta}, \quad (1)$$

энд θ -хувиргалтын өнцгөн параметр.

Комплекс хувиргалт хийгдсэн Шредингерийн тэгшитгэлийг бичвэл

$$H^\theta \Psi^\theta = E^\theta \Psi^\theta \quad (2)$$

болно.



Зураг 1. Комплекс энергийн хавтгай дээрх энергийн түгэлт.

Хувиргалтын өнцгөн параметр θ нь

$$\tan^{-1}(\Gamma/2E_r) < 2\theta \quad \text{үед}$$

$$E(\theta) = E_r - i\Gamma/2 \quad (3)$$

гэж олдоно.

Комплекс энергийн хавтгайд (3) илэрхийллийн шийдээр хувийн утгын түгэлтийг байгуулвал ерөнхий хэлбэр нь 1-р зурагт дүрслэгдсэн шиг олдоно. Энд $E(\theta)$ гэсэн тухайн комплекс хувийн утгын энерги E_r нь бодит утгад, харин нь Γ_r хуурмаг утгад тус тус харгалзана.

Хоёр кластераас тогтсон уг системийн хувьд Гамильтонианыг дараах хэлбэртэй бичье:

$$\hat{H} = T + V_{\alpha p}^{Nucl} + V_{\alpha p}^{Coul}, \quad (4)$$

энд T – Кинетик энергийн оператор, $V_{\alpha p}^{Nucl}$ – Гауссын потенциал, $V_{\alpha p}^{Coul}$ – Кулоны потенциал байна.

* Electronic address: zolbayar.a@num.edu.mn

Харин системийн долгион функц (Ψ)-ийг $\Psi = \sum_{n=1} c_n u_n$, (5)

гэж авах ба C_n , u_n нь харгалзан коэффициент, суурь функц болно. (5) илэрхийлэл дэх u_n суурь функцээр Гауссын суурь функцийг сонгон авсан:

$$u_i = r^l e^{-\frac{1}{2b_i^2}r^2}. \quad (6)$$

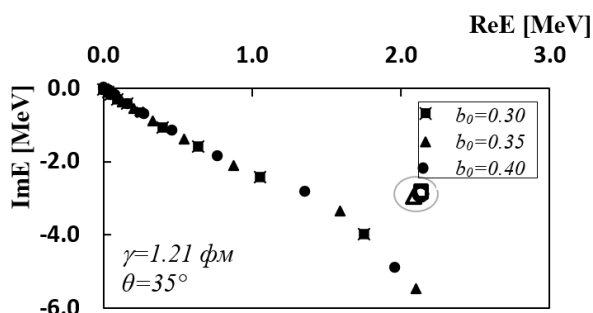
Дээрх (6) илэрхийлэл дэх Гаусс суурь функцийг $b_i = b_0 \gamma^{i-1}$ байна. Гаусс суурь функцийг параметрууд b_0 , γ – ийн тохиромжтой утгыг сонгон авч тооцоолол хийнэ. КХА-ийн хувиргалтын параметр θ нь бодит тоо байх бөгөөд уг хувьсах параметрийг $\theta = 15^\circ - 40^\circ$ өргөн мужид авч тооцоолол гүйцэтгэв. θ -ийн дурын утганд бидний хайж буй резонанс энергид “их” өөрчлөлт өгөх ёсгүй.

ҮР ДҮН

Энэ ажлаар альфа болон протон гэсэн хоёр кластераас тогтсон ${}^5\text{Li}$ цөмийн бага өдөөгдсөн $J^\pi = 1/2^-$, $J^\pi = 3/2^-$ төлөвүүдийн энерги болон түүнд харгалзах түвшний өргөнийг тооцоолов.

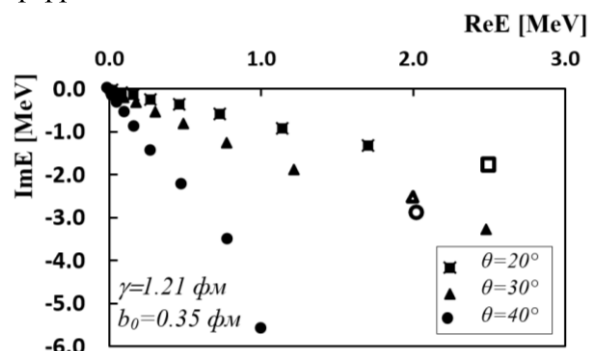
$J^\pi = 1/2^-$ төлөв

${}^5\text{Li}$ цөмийн $J^\pi = 1/2^-$ төлөвийн резонанс энерги болон түүнд харгалзах түвшний өргөнийг хувиргалтын өнцгөн параметрийн $\theta = 15^\circ - 40^\circ$ мужид $b_0 = 0.3 + 0.01k$ ($k = 0, 5, \dots, 10$) алхамтайгаар 11 өөр утганд, $\gamma = 1.19$ фм, 1.20 фм, 1.21 фм гэсэн 3 өөр утганд тус тус онолын тооцоог гүйцэтгэв. 2-р зурагт харуулснаар $b_0 = 0.3 - 0.4$ фм мужид $\theta = 35^\circ$, $\gamma = 1.21$ фм байх утганд резонансын энерги болон түвшний өргөнийг тодорхойлов. Гарган авсан үр дүнг комплекс энергийн хавтгайд дүрслэн харуулав.



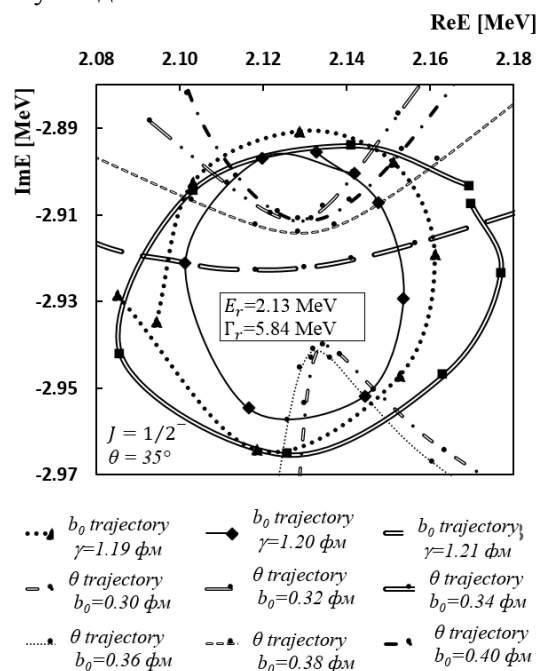
Зураг 2. $J^\pi = 1/2^-$ төлөвийн $b_0 = 0.30$ фм, 0.35 фм 0.40 фм гэсэн 3 өөр утганд авсан үр дүнг харуулав.

Бидний онолоор тооцоолон олсон резонансын энергийн утгууд b_0 параметрийн өөр өөр утганд хэдийгээр тогтвортой боловч таслалаас хойш зуутын орны нарийвчлалтайгаар өөрчлөгдөж байгаа нь ажиглагдав. Иймд резонансын энерги болон түвшний өргөнийг өндөр "нарийвчлал"-тай тодорхойлдог b_0 болон θ -мөрийн арга ашиглан тооцоог гүйцэтгэв. θ -мөрийн аргаар тооцоолол хийхдээ эхлээд θ -ийн хэд хэдэн өөр утганд онолын тооцоог явуулав. Үүнийг зураг 3-т үзүүлэв.



Зураг 3. θ -ийн 3 өөр утганд тооцоологдсон $J^\pi = 1/2^-$ төлөвийн комплекс энергийн хавтгай дахь энергийн түгээлт.

3-р зурагт дөрвөлжин дүрсээр $\theta = 20^\circ$, гурвалжин дүрсээр $\theta = 30^\circ$, дугуй дүрсээр $\theta = 40^\circ$ тус тус өнцгийн хувьд бодогдсон хувийн утгуудыг дүрслэн харуулсан. Бидний хайж байгаа резонанс энерги $\theta = 20^\circ$ үед $E_r = 2.51$ МэВ, $\theta = 30^\circ$ үед $E_r = 2.01$ МэВ, $\theta = 40^\circ$ үед $E_r = 2.03$ МэВ гэж тус тус олдсон.



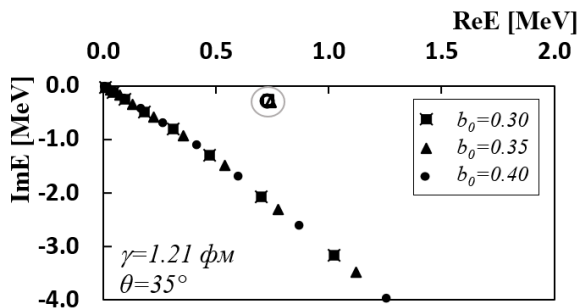
Зураг 4. θ болон b_0 - мөрийн аргаар тооцоологдсон үр дүн.

4-р зурагт b_0 болон θ -мөрийн арга ашиглан резонанс энерги болон түүнд харгалзах түвшний өргөнийг тодорхойлсон бөгөөд бидний хайж буй утга нэг талаас θ траекторуудын огтлолцлолын цэг дээр нөгөө талаас b_0 траекторын тойргийн төвд олдох ёстой. Иймд b_0 траекторийг $\gamma=1.19, 1.20, 1.21$ фм гэсэн 3 өөр утганд $\theta=35^\circ$ үед $b=0.30+0.01k$ ($k=0,1,\dots,10$) байхаар сонгож 6 давталт бүхий тооцоо хийсэн. 4-р зурагт b_0 траекторийг γ параметрийн 3 өөр утганд харгалзах үр дүнг тасралтгүй зураас дотор ромбо дүрс, давхар шулуун дотор дөрвөлжин дүрс, тасралттай бөөрөнхий дотор гурвалжин дүрс агуулсан тойргоор тус тус дүрслэв. Энэ төлөвийн θ болон b_0 мөрийн аргыг хангаж байгаа утга нь $E_r=2.13$ МэВ, $\Gamma_r=5.84$ МэВ гэж тус тус тодорхойлогдов.

$J^\pi = 3/2^-$ төлөв

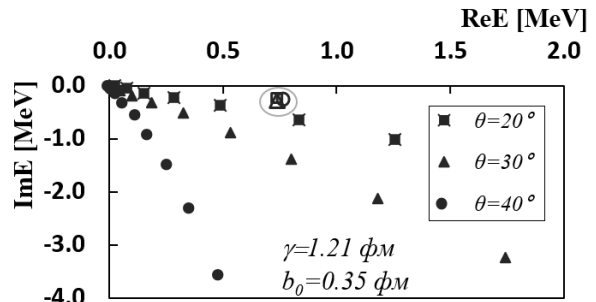
$J^\pi = 3/2^-$ төлөвийн резонансын энерги болон түвшний өргөнийг Гауссийн суурь функц ашиглан тооцоолол хийв. Энэ төлөв харьцангуй тогтвортой тул $J^\pi = 1/2^-$ үед тооцоололд ашигласан параметр болоод мөрийн аргуудыг ашиглан төлөвийн резонанс энергийн "нарийвчилсан" утга $E_r = 0.74$ МэВ, түвшний өргөн $\Gamma_r = 0.59$ МэВ гэж тодорхойлов.

5-р зурагт тухайн төлөвийн өөрчлөлтийн параметруудийг $\gamma=1.21$ фм $\theta=35^\circ$ үед b_0 параметрийг 3 өөр утганд авч онолын тооцоолол хийснийг комплекс энергийн хавтгайд буулган харуулав.



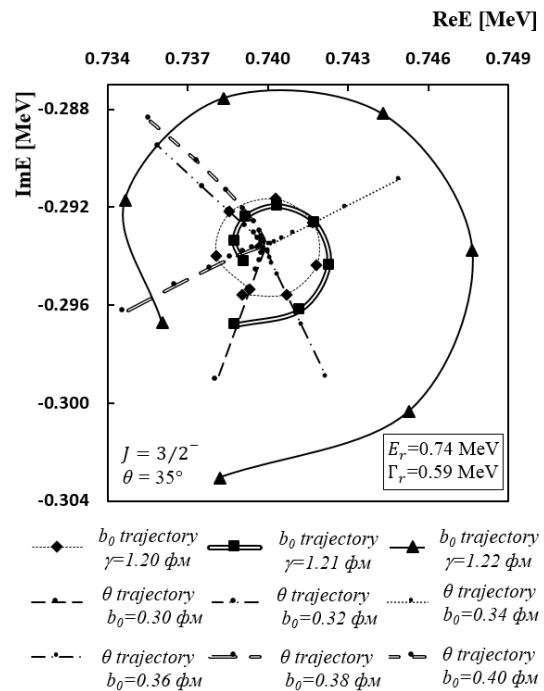
Зураг 5. $J^\pi = 3/2^-$ төлөвийн $b_0 = 0.30$ фм, 0.35 фм 0.40 фм гэсэн 3 өөр утганд авсан үр дүнг харуулав.

θ - мөрийн аргаар тооцоолол хийхдээ эхлээд θ -ийн хэд хэдэн өөр утганд онолын тооцоог явуулав. Үүнийг зураг 6-т үзүүлэв.



Зураг 6. θ -ийн 3 өөр утганд тооцоологдсон $J^\pi = 3/2^-$ төлөвийн комплекс энергийн хавтгай дахь энергийн түгээлт.

6-р зурагт харуулснаар дөрвөлжин дүрсээр $\theta=20^\circ$, гурвалжин дүрсээр $\theta=30^\circ$, дугуй дүрсээр $\theta=40^\circ$ тус тус дүрслэн харуулсан. Бидний хайж байгаа резонанс энерги $\theta=20^\circ$ үед $E_r=0.74$ МэВ, $\theta=30^\circ$ үед $E_r=0.74$ МэВ, $\theta=40^\circ$ үед $E_r=0.77$ МэВ гэж тус тус олдсон.



Зураг 7. θ болон b_0 - мөрийн аргаар тооцоологдсон үр дүн.

7-р зурагт $J^\pi = 3/2^-$ төлөвийн резонанс энерги түүнд харгалзах түвший өргөнийг b_0 болон θ мөрийн арга ашиглан тодорхойлов. 7-р зурагт үзүүлснээр b_0 траекторийг γ параметрийн 3 өөр утганд харгалзах үр дүнг тасралттай зураас дотор ромбо дүрс, давхар шулуун дотор дөрвөлжин дүрс, тасралтгүй зураас дотор гурвалжин дүрс агуулсан тойргоор тус тус дүрслэв.

Үр дүнгийн харьцуулалтыг 1-р хүснэгтэнд харуулав.

Хүснэгт 1. ${}^5\text{Li}$ цөмийн бага өдөөгдсөн төлөвүүдийн энерги болон түвшний өргөний харьцуулалт.

Цөмийн төлөв	Туршлагын утга [6] (МэВ)		Өмнөх ажил [7] (МэВ)		Энэ ажил (МэВ)	
	E_r	Γ_r	E_r	Γ_r	E_r	Γ_r
$1/2^-$	1.49	6.60	2.08	5.67	2.13	5.84
$3/2^-$	0.70	1.23	0.78	0.55	0.74	0.59

- [5] B. Simon, Commun. Math. Phys. v.27, (1972), pp.1-9
- [6] H. Kanada, T. Kaneko, S. Nagata, M. Nomoto, Prog. Theor. Phys. v.61, (1979), pp.1327-1341
- [7] S. Tatashi, Private communication: Master thesis of Hokkaido University, Japan, (2015), p.79.

ДҮГНЭЛТ

- ${}^5\text{Li}$ цөмийг альфа болон протоноос тогтсон хоёр кластерын систем гэж үзэн $J^\pi = 3/2^-$, $J^\pi = 1/2^-$ төлөвт харгалзах түвшний энерги болон өргөнийг Гауссын суурь функц болон комплекс хувиргалтын аргыг ашиглан тооцоолож олов.
- $J^\pi = 3/2^-$ төлөвийн энерги $E_r = 0.74$ МэВ, үүнд харгалзах түвшний өргөн $\Gamma_r = 0.59$ МэВ гэж онолоор олдсон нь бусад эрдэмтдийн өмнө нь гарган авсан онолын ажлын утгатай таарч байгаа боловч туршлагаар хэмжигдсэн утганаас бага зэрэг зөрж байна.
- $J^\pi = 1/2^-$ төлөвийн энерги $E_r = 2.12$ МэВ, үүнд харгалзах түвшний өргөн $\Gamma_r = 5.82$ МэВ гэж онолоос олдсон нь мөн өмнөх төлөвтэй адил өөр эрдэмтдийн онолын тооцооны үр дүнтэй таарч байгаа боловч туршлагын утгаас ялимгүй зөрж байна.

Эндээс харахад бидний гарган авсан томъёо, онолын тооцооллын аргазүй ${}^5\text{Li}$ цөмийн бага өдөөгдсөн төлөвүүдийн энерги болон түвшний өргөнийг тодорхойлож чадаж байгаа нь харагдаж байна.

ТАЛАРХАЛ

Онолын тооцооллыг 2019-2020 онд МУИС-ийн харьяа ЦФСТ-ийн “MINATO” серверт хийж гүйцэтгэв.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] L. R. Hafstad, and E. Teller, The Alpha-Particle Model of the Nucleus. Phys. Rev. v.54, (1938), p.681
- [2] K. Ikeda, N. Takigawa, H. Horiuchi, Prog. Theor. Phys. Suppl. v.68, (1968), pp.464-475
- [3] J. Aguilar, J. M. Combes, Commun. Math. Phys. v.22, (1971), pp.269-279
- [4] E. Balslev, J. M. Combes Commun. Math. Phys. v.22, (1971), pp.280-294

Монгол улсад анх удаа суурилагдсан “CLINAC iX” шугаман хурдасгуур аппаратын фотон цацрагийн комишонинг, түүний ач холбогдол

В.Энхцэцэг^{1*}, Ш.Мөнхбат¹, Ч.Болорчимэг¹, Ц.Болортуяа¹, С.Ариунсанаа¹, В.Эрдэнэбилэг¹, Г.Одонтуяа¹, Г.Навчаа^{1,2}, М.Минжмаа¹

¹ Туяа эмчилгээний тасаг, Хавдар судлалын үндэсний төв

² Гунмагийн Анагаах ухааны их сургууль

Туяа эмчилгээнд шугаман хурдасгуур аппарат нэвтэрсэнээр хорт хавдартай өвчтөнүүдэд илүү найдвартай, чанартай эмчилгээ хийлгэх боломжийг олгож байна. Шинээр суурилуулсан шугаман хурдасгуур аппаратад КОМИШИОНИНГ буюу цацрагийн тохируулга хийж баталгаажуулсанаар туяа эмчилгээ хийх нөхцөл бүрддэг. Энэхүү судалгааны ажлаар 2019 онд Монгол улсад анх удаа Хавдар судлалын үндэсний төвд суурилагдсан CLINAC iX шугаман хурдасгуур аппаратыг хүлээн авч баталгаажуулан, 6 болон 10 МВ энергитэй фотон цацрагийн дозиметрийн параметруудийг хэмжиж, үр дүнг боловсруулан физик төлөвлөлтийн системийг модельчлон, КОМИШИОНИНГ-ийн ач холбогдлыг үнэллээ.

Түлхүүр үгс: Түлхүүр үг: комишонинг, шугаман хурдасгуур

СУДАЛГААНЫ ҮНДЭСЛЭЛ

Туяа эмчилгээнд Шугаман хурдасгуур аппарат нэвтэрсэнээр хорт хавдартай өвчтөнүүдэд илүү найдвартай, чанартай эмчилгээ хийлгэх боломжийг олгож байна.

Шугаман хурдасгуур аппарат нь тунг тооцоолох алгоритм, физик храктеристик сайтай харьцангуй өндөр энергийн цацрагийн үүсгүүр, цацрагийг хэлбэржүүлэх цогц систем, дүрс зургийн хяналтын нэмэлт төхөөрөмж, эмчилгээний мэдээллийн цахим систем зэрэг технологийн дэвшилд суурилсан нийлмэл техник юм.

Шинээр суурилуулсан шугаман хурдасгуур аппаратад КОМИШИОНИНГ буюу цацрагийн дозиметрийн параметруудийг цуглуулж, физик төлөвлөлтийн системийг модельчлон баталгаажуулсанаар энэхүү төвөгтэй техникээр туяа эмчилгээ хийх нөхцөл бүрддэг. Мөн КОМИШИОНИНГ нь тухайн аппаратын ашиглалтын хугацаанд хийгдэх цацрагийн чанарын баталгаа, чанарын хяналтыг хангах үндсэн эталон болдог байна.

Эмнэлгийн физикч нарын хувьд мэргэжлийн ур чадвар, мэдлэг, дадлага туршлага, цаг хугацаа шаардсан Шугаман хурдасгуур аппаратын КОМИШИОНИНГ-ийг өндөр түвшинд хийснээр цацрагийн аюулгүй байдлыг хангах ба олон өвчтөнийг хамарсан болзошгүй цацрагийн ослоос сэргийлнэ.

Судалгааны зорилго:

Энэхүү судалгааны ажлаар CLINAC iX шугаман хурдасгуур аппаратын 6 болон 10 МВ энергитэй фотон цацрагийн КОМИШИОНИНГ буюу цацрагийн дозиметрийн параметруудийг хэмжиж, үр дүнг боловсруулан физик төлөвлөлтийн системийг модельчлон баталгаажуулах, чанарын хяналтын зааварчилгаа бэлтгэх, түүний ач холбогдлыг үнэлэх.

Зорилт:

1. 6 болон 10МВ энергитэй фотон цацрагийн дозиметрийн параметруудийг цуглуулах
2. Хэмжилтийн үр дүнг боловсруулж, харьцуулах
3. Дозиметрийн параметруудээр Eclipse 15.6 физик төлөвлөлтийн системийн ААА алгоритмыг модельчлох, баталгаажуулах
4. Модельчилсон алгоритмаар фотон цацрагийн тунгийн тооцоолыг хийх
5. КОМИШИОНИНГ-ийн ач холбогдлыг үнэлэх.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Зайн туяа эмчилгээний CLINAC iX шугаман хурдасгуур нь 6 болон 10МВ энергитэй фотон цацраг, цацрагийг хэлбэржүүлэх 120 ширхэг ялтас бүхий олон хятаст коллиматор, дүрс зургийн хяналтын ЭПИД (EPID) систем болон

* Electronic address: enkhee@cancer-center.gov.mn

15-600 хүртлэх хөдөлгөөнт клинтэй (EDW). Эмчилгээний хамгийн бага талбай $3 \times 3 \text{ см}^2$, хамгийн их талбай $40 \times 40 \text{ см}^2$, 100 см –ийн үүсгүүрээс төв тэнхлэг хүртэлх зайтай.

Хэмжилтэнд “Eclipse Beam Configuration Reference Guide 15.53, “Eclipse Photon and Electron Algorithms Reference Guide 15.5” зааварчилгаа, AAPM “TG-106”, Олон улсын атомын энергийн агентлагийн (ОУАЭА) TRS-397 “Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy”, Варианы “Acceptance Testing Protocol”, NCRP 151, ОУАЭА-ийн “Safety Report Series 47” зөвлөмжүүдийг удирдамж болгосон.

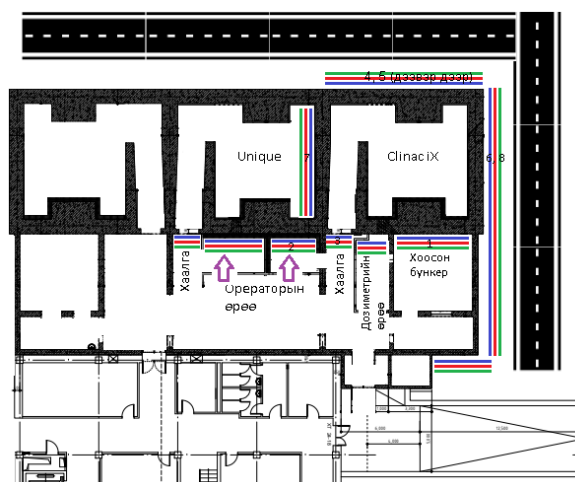
Цацрагийн дозиметрийн параметрууд буюу фотон цацрагийн төв тэнхлэгийн дагуу гүнд шингэсэн тун (PDD), хэвтээ (in-plane) болон хөндлөн (cross-plane) тэнхлэгийн дагуух профайлыг хэмжихэд 3 хэмжээст PTW MP3 усан пантом, камерын эффектив цэгийг тодорхойлох TRUFIX систем, Semiflex 0.125cc иончлолын камер, гаралтын факторыг хэмжихэд Semiflex 0.125cc иончлолын камер, цацрагийн абсолют тунг хэмжихэд тохируулга хийгсэн Farmer 0.6cc иончлолын камер ашигласан.

Хүлээн авах баталгаажуулах тест хийхэд механик хэмжилтийн багажууд, Fluke сурвэйметр, радиохромик хальс, ашиглав.

Гүнд шингэсэн тун болон профайлын үр дүнг MERHYSTO mc2 navigation программаар боловсруулж, Eclipse 15.6 төлөвлөлтийн системийн өргөтгөлд хөрвүүлэн AAA алгоритмыг модельчлоход ашигласан. Microsoft Excel программаар орчны цацрагийн аюулгүй байдал, гаралтын фактор, абсолют тунг тооцоолсон.

1. Орчны цацрагийн аюулгүй байдлыг шалгах тест

Clinac iX шугаман хурдасгуурын орчны цацрагийн хяналтыг Fluke сурвэйметрээр цацрагийн тусгалын анхдагч болон сарнисан чиглэлд мөн толгойн нэвчилтийг харгалзан хэмжиж тооцоолсон. Хэмжилтийн цэгүүдийг зураг 1- д үзүүлэв.



Зураг 1. Туяа эмчилгээний төвийн бүдүүвч. 1. Хоосон бункер, 2. Clinac iX операторын өрөө, 3. Clinac iX – ийн бункерийн хаалга, 4. Гадна хана, 5. Дээвэр, 6. Гадна хана, 7. Unique бункер дотор, 8. Дээвэр дээр.

Хэмжилтийг хамгийн их энерги буюу 10МВ-ийн фотоны хувьд анхдагч цацрагийн чиглэлд талбайн хэмжээ $40 \times 40 \text{ см}^2$, коллиматор 45° , сарнисан цацрагийн чиглэлд талбайн хэмжээ $40 \times 40 \text{ см}^2$, коллиматорийн өнцөг 0° үед сарниулагч материалтайгаар, толгойн нэвчилтийг х, у болон олон хавтаст коллиматорын бүрэн хааж хананаас 30см зайд, 0.5, 1.2, 2 метр өндөрт матрикс байдлаар хийж хэмжилтийн хамгийн их утгыг тооцоололд ашигласан. Тооцооллийг NCRP 151 болон IAEA Safety Report Series 47 протоколын дагуу дараах томъёогоор тооцолсон.

$$R_W = \frac{IDR W_{pri} U_{pri}}{\dot{D}_0} \quad (1)$$

$$R_W = \left(IDR_L \frac{W_L}{\dot{D}_0} \right) + \left(IDR_{ps} \frac{W_{ps} U_{ps}}{\dot{D}_0} \right)$$

Үүнд:

R_W – Долоо хоногийн шарсан тунг [Зв^{-1}]

IDR – Хэмжилтийн утга [$\text{Зв} \text{ h}^{-1}$]

\dot{D}_0 – Шингэсэн тунгийн чадал [$1 \text{ м} (\text{Гр} \text{ ц}^{-1})$]

W_{pri} – Долоо хоногийн ачаалал [$\text{Гр}/\text{долоо хоног}$]

U_{pri} – Ашиглалтын фактор

2. Механик тест

CLINAC iX шугаман хурдасгуурын лазер, гэрлэн талбай, оптик зай хэмжигч, толгой, коллиматорын болон ор, олон ялтаст коллиматорын хөдөлгөөний нарийвчлэлийг Вариан-ний “Acceptance Testing Protocol” зөвлөмжийн дагуу шалгасан. Уг протоколын

дагуу механик хэмжигдэхүүний алдаа 1.0 мм-ээс бага, эргэлтийн хэмжигдэхүүний алдаа 1°-аас бага байх шаардлагатай.

Хэмжилтэнд пронт пойнтер, миллиметрийн хуваарьтай цаас, тэгш ус, пендулан лазер зэргийг ашигласан.

Цацрагийн изоцентрыг шалгах "Spoke shot" тестийг радиоохмик хальс, Epson V800 сканнер ашиглан хийж, хэмжилтийн утгыг Film Pro программар боловсруулж анализ хийсэн.

Цацрагийн талбайг гэрлэн талбайтай харьцуулан шалгахдаа радиоохмик хальс ашигласан. Аппаратын гар болон орны удирдлага, ЭПИД-ийн удирдлагын аюулгүй ажиллагааг шалгасан.

3. Фотон цацрагийн шинж чанарыг тодорхойлох

а. Абсолют тун

Clinac iX шугаман хурдасгуурын 6 болон 10МВ фотон энергийн абсолют тунгийн хэмжээг Олон улсын атомын энергийн агентлагийн TRS-398 "Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy" протоколын дагуу хэмжиж тооцооллоо.

Хэмжилтийг PTW MP3 усан пантом, Farmer 0.6cc иончлолын камер, PTW webline детектор болон агаарын даралт, температур хэмжигч хэрэглэв. Farmer иончлолын камер нь БНСУ-ын КИРАМС эмнэлгийн цацрагийн хоёрдогч лабораторид 2017 онд баталгаажуулалт хийгдсэн болно.

Хэмжилтийн нөхцөл нь 6 болон 10МВ фотон энерги тус бүр дээр SSD 100 см, талбай хэмжээ 10x10 см², гүн 10 см, МЮ (MU) 100 байсан.

Абсолют тунг тодорхойлохдоо доорх томъёог ашиглав.

$$D_{w, Q_0} = M_Q N_{D, w, Q_0} K_{t, p} K_{Q, Q_0} K_{pol} K_{sat} \quad (2)$$

Үүнд:

D_{w, Q_0} – Усанд шингэсэн тун [Гр]

M_Q – Хэмжилтийн утга [нКл]

N_{D, w, Q_0} – Усанд шингэсэн тунгийн дүйцүүлэх коэффициент [Гр/нКл]

$K_{t, p}$ – Иончлолын камерийн даралт,

температурын засварын коэффициент

K_{Q, Q_0} – Цацрагийн чанарын коэффициент

K_{pol} – Туйлшралын коэффициент

K_{sat} – Цэнэгжилтийн коэффициент

Шингэсэн тунгын утгыг электрометрийн туйлшрал, иончлолын камерт хос үүсэх, даралт

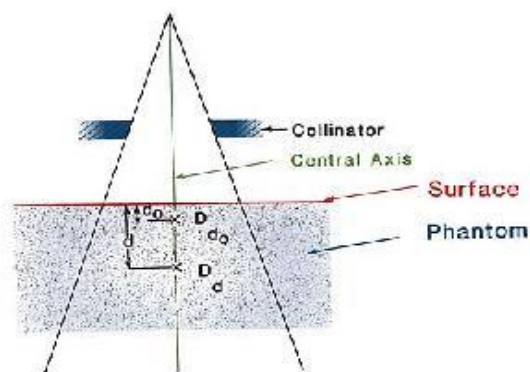
ба температурын болон хугацааны засварын факторуудаар засварласан. Хэмжилтийн дундаж утгыг тооцоололд ашигласан.

TRS-398 протоколд абсолют тунгийн утгын алдаа $\pm 1\%$ -аас хэтрэхгүй гэж заасан байдаг.

б. Гүнд шингэсэн тун (PDD), профайль

Фотон цацрагийн гүнд шингэсэн тун, профайлийг 3-40 см² талбайд, SSD 100 см нөхцөлд хэмжсэн. Профайлийг хэвтээ (in-plane) болон хөндлөн (cross-plane) тэнхлэгийн дагуу d_{max} -30 см гүнд хэмжсэн.

Хэмжилтэнд PTW MP3 усан фантом, TRUFIX систем, Semiflex 6412, 6413 иончлолын камерууд, TANDEM болон MERNHYSTO mc2 программ тус тус ашиглагдсан. Хэмжилтийн алхам 0,5-аас 1 мм, хурд 0,3 мм/с байхаар сонгов. ОУАЭА-ийн TRS-398 протоколыг ашигласан тооцоолсон ба ГШТ-г хэмжих нөхцлийг доорх зурагт харуулав.



Зураг 2. ГШТ-ийн хэмжилтийн нөхцөл.

ГШТ болон цацрагийн чанарын фактор Q_i -г тус бүр доорх томъёогоор тооцооллоо.

$$PDD = (D_d / D_{d_0}) \times 100 \quad (3)$$

$$Q_i = 1.2661 * (D_{200} / D_{100}) - 0.0595$$

Хэмжигдсэн профайль дээр MERNHYSTO mc2 программаар процесс хийсэн. Тэгшлэг чанар (flatness)-ыг $(100 \times D_{max}/D_{min})$, тэгш хэмт чанар (symmetry)-ыг $(100 \times D(x)/D(-x))_{max}$, тодорхойлсон.

в. Гаралтын фактор (OF)

Гаралтын факторыг МЮ 100, үүсгүүрээс гадарга хүртлэх зай (SSD) 100 см, гүн 10 см нөхцөлд 3-40 см² дөрвөлжин болон тэгш өнцөгт талбайд PTW MP3 усан пантом, semiflex 6412 иончлолын камер, TANDEM ашиглан хэмжсэн. Хэмжилтийн дундаж утгыг тооцоололд авч ашигласан. Үр дүнг өгөгдсөн буюу 10x10 см²

талбайд хэмжигдсэн утгын харьцаагаар тооцоолов.

$$OF_{ХХУ} = \frac{M_{Х*У}}{M_{10*10}} \quad (4)$$

Үүнд:

$OF_{ХХУ}$ – Цацрагийн гаралтын фактор

$M_{ХХУ}$ – ХХУ талбайд хэмжилтийн утга

M_{10x10} – $10x10$ см² талбайд хэмжилтийн утга

г. Олон ялтаст коллиматорын нэвтрэлтийн фактор (MLC transmission) болон Хавтас завсрын дозиметр (DLG)

Хэмжилтэнд хатуу усан пантом, PTW Semiflex детектор, PTW Unidos электрометр ашиглан, үүсгүүрээс гадарга хүртлэх зай 100см, гүн = 10см, тайлбайн хэмжээ $10x10$ см² нөхцөлд хэмжив.

Олон ялтаст коллиматорын нэвтрэлтийн факторыг олон хавтаст коллиматорын А болон В хавтас тус бүр хаалттай үед хэмжсэн дундаж утга $R_T = \frac{(R_{TA} + R_{TB})}{2}$ -г нээлттэй талбайд хэмжсэн R_{open} утгад харьцуулан дараат томъёогоор тооцоолов.

$$R_{trans} = \frac{R_T}{R_{open}} \quad (5)$$

ХЗД-г олон ялтаст коллиматорын 2, 4, 6, 10, 14, 16, 20 мм хэмжээтэй нээж хэмжсэн ба дараах томъёогоор тооцоолсон.

$$R_{gT} = R_T \left(1 - \frac{g(mm)}{120(mm)}\right) R'_g = R_g - R_{gT} \quad (6)$$

Үүнд: $g(mm)$ Нээлтийн хэмжээ

120 Нээлттэй олон ялтасны тоо

R_g Завсрын шилжсэн утга

R_{gT} Нэвтрэлтийн фактор

R_T коллиматорын А болон В хавтас тус бүр хаалттай үед хэмжсэн дундаж утга

4. Дүрс зургийн чанарын хяналтын тест

ЭПИД-ийн механик нарийвчлалыг 5 байрлалд P1: 0/0/0, P2: -30/0/0, P3: -40/0/0, P4: -50/0/0, P5: -60/0/0/ алдаа ± 1 мм байхаар, хөдөлгөөнийг орны уртын дагуу ≥ 40 см, хажуу тал руугаа $\geq 31,8$ см дотор байгаа эсэхийг мөн аппаратын толгойн эргэлттэй харьцуулахад 0° -т P1 байрлалд шалгав. Аюулгүй ажиллагааны хувьд мөргөлтийн эсрэг дохиололыг шалгав.

ЭПИД –ийн зургийн чанарыг Лас вегас пантом ашиглан, гарны утгыг -40.0/0.0/0.0см, МЮ 20 нөхцөлд 6 болон 10МВ энергитэй фотон цацраг тус бүрд хийсэн.

ҮР ДҮН

1. Орчны цацрагийн аюулгүй байдлыг шалгах тест

Хэмжилтийн утга 0.06-1.82 мЗв/ц байсан. Хэмжилтийн хамгийн өндөр утга нь толгойн өнцөг 90° үед машин зам дагуу 1.82мЗв/Ц байсан ба NCRP-151 ээр TADR-ийг тооцоолоход 0.25мкЗв/7хоног – 37.92мкЗв/7хоног байсан. Жилийн эквивалент тунгийн хэмжээ 0.05 мЗв/жил байсан.

Үүнээс хамгийн их утга нь хаалганы бариул, хоосон бункерийн зүүн дээд хэсэг, зам дагуух гэсэн байрлалууд байв. TADR болон эквивалент тунгийн хэмжээ тус бүр 1.06 5.7 1.82 0.72. Энэ нь 1.19 мЗв/жил байсан ба жилд авах дундаж тунгаас хэтрэхгүй хэмжээнд байв.

Хэмжилтээр Clinac iX шугаман хурдасгуур аппаратын бункерээс гарсан кабелийн оролтны гадна хэмжилтийн утга 50 мЗв/ц байсан тул нүхийг 10 см тугалган хаалгаар бөглөсөн. Үүний дараа хэмжилтийн утга ≤ 1 мЗв/ц болсон.



Зураг 3. Кабелийн оролт нэмэлт хамгаалалт хийхийн өмнөх (дээд) болон дараах (доод).

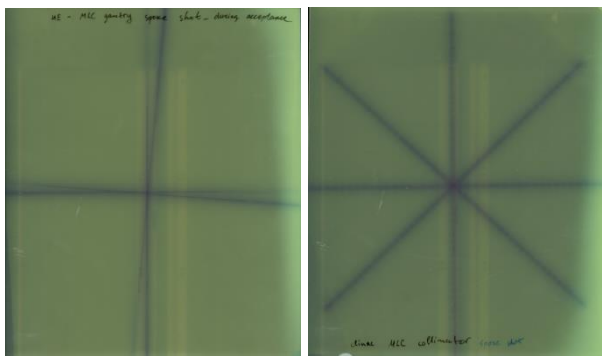
Цацрагийн аюулгүй байдлыг шалгах үүднээс ярианы болон хяналтын камер, түлхүүр,

хаалганы цоож, цацрагийн гэрлэн дохиоллын систем, цацрагийн тэмдэг тэмдэглэгээг шалгаж, ажиллагааг баталгаажуулсан. Хяналтын камерын байрлалын харах орчин хязгаарлагдмал байсан учир өөрчилж сайжруулсан.

2. Механик тест

Эргэлтийн хэмжигдэхүүний алдаа 0.2° буюу зөвшөөрөгдөх хязгаараас бага байсан. Механик хэмжигдэхүүн, орны хөдөлгөөний алдаа 1 мм-ээс бага байв. Лазер, оптик зай хэмжигч (ODI), гэрлэн талбайн утга 0.5 мм-ийн алдааны мужид байв.

"Spoke shot" тестийн үр дүнг зураг 4-т үзүүлэв. Алдаа 1 мм-ээс бага байсан. Харин зураг 5-д үзүүлсэн цацрагийн талбайн гэрлэн талбайн хэмжилтийн үр дүн 1 мм-с бага байв.



Зураг 4. Толгойн ба коллиматор "Spoke shot" тест.



Зураг 5. Цацрагийн талбайн.

3. Фотон цацрагийн шинж чанарыг тодорхойлох

а. Абсолют тун

Абсолют тунгийн тооцоолсон алдаа 6МВ энергийн хувьд 6.31%, 10 МВ энергийн хувьд 1.25% байсан тул цацрагийн гаралтын тохируулга хийгдсэн. Абсолют тунгийн

хэмжилтийн үр дүнг тооцоолсныг тохируулга хийхийн өмнөх болон дараах байдлаар харьцуулан хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Абсолют тунгийн утга

Фотоны энерги (МВ)	Тохируулга	Байх ёстой утга (Гр/МЮ)	Хэмжилтийн утга (Гр/МЮ)	Алдаа $\pm 1\%$
6	Өмнө	1	1.0631	6,31
	Дараа		1.007	0,7
10	Өмнө		1.0125	1,25
	Дараа		1.002	0.2

б. Гүнд шингэсэн тун (PDD), профайль

6 болон 10 МВ энергитэй фотоны гүнд шингэсэн тунг харьцуулсаныг график.1-д үзүүлэв.

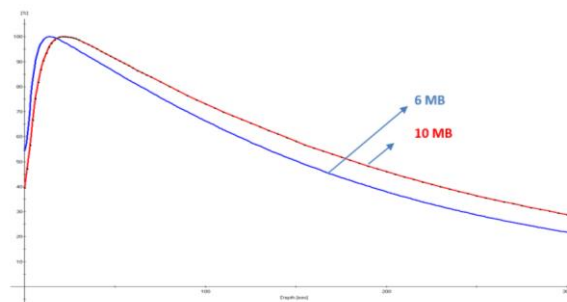


График 1. 6 болон 10МВ фотон цацрагийн гүнд шингэсэн тунгийн харьцаа, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ талбайд.

Графикаас R100 (mm) буюу 100%-ийн тун өгөх гүн, D100 (%) D200 (%) буюу 100мм, 200мм гүнд шингэх тун утгуудыг тооцоолсон. Энэ утгуудаараа цацрагийн чанарын факторыг (Q_i) гаргаж Британы Радиологийн сэтгүүлийн 25-р нэмэлтэд хэвлэгдсэн утгад (BJR supplement 25) харьцуулсныг доорх хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Гүнд шингэсэн тунгийн анализ.

Фотоны энерги(МВ)	6	10
Талбайн хэмжээ	10x10	10x10
R100 (мм)	13.5	22
D100 (%)	66.3	73.1
D200 (%)	37.9	46.0
Q_i	0.66	0.74
Q_{i10}/Q_{i6}	1.11	
Q_i (BJR25)	0.68	0.73
Diff.	1.65	-0.83

Хэмжилтийн цацрагийн чанарын факторыг (Q_i)-ийн алдаа Британы Радиологийн сэтгүүлийн BJR-25 утгаас 6 МВ энергитэй фотоны хувьд 1,6% их байхад 10МВ энергитэй фотоны хувьд 0,8% бага байна.

6 МВ энергитэй фотоны Dmax 13.51 мм, D100 66.25%, D 200 нь 37.96 % бол 10МВ энергитэй фотоны Dmax 22мм, D100 73.09%, D 200 нь 45.99% байгаа нь өндөр энергитэй фотон илүү гүнд тархдагийг харуулж байна.

График.2-д 6 болон 10 МВ энергитэй фотоны гүнд шингэсэн тунг 3, 10, 40 см² талбайд харьцуулсаныг үзүүлэв.

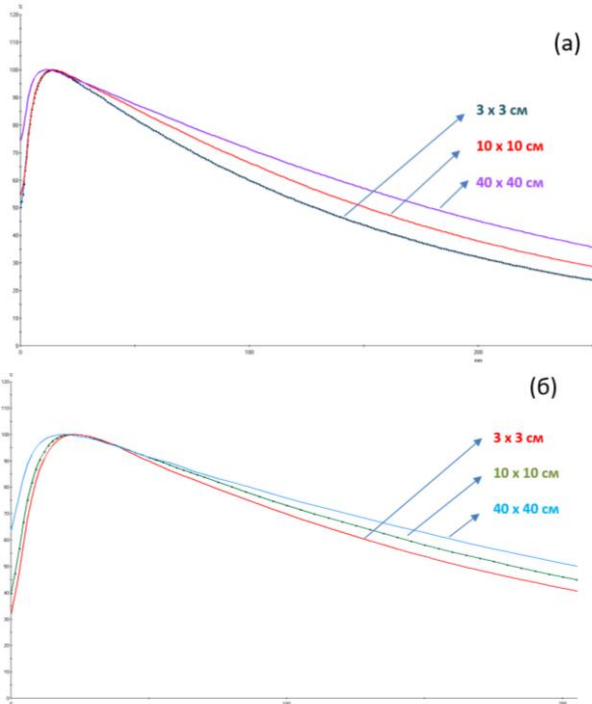


График 2. (а) 6 МВ ба (б) 10 МВ энергитэй фотон цацрагийн ГШТ-ийн харьцаа 3, 10, 40 см² талбайд.

Графикаас R100 (мм) буюу 100%-ийн тун өгөх гүнд, D100 (%) D200 (%) буюу 100мм, 200мм гүнд шингэх тун утгуудыг тооцоолж, цацрагийн чанарын фактор (Q_i)-ийг гаргасан.

Хүснэгт.3. Гүнд шингэсэн тунгийн анализ.

Фотоны энерги	6 МВ				10 МВ			
	Талбайн хэмжээ	R100 (мм)	D100 (%)	D200 (%)	Q _i	R100 (мм)	D100 (%)	D200 (%)
3x3	13.5	60.0	32.2	0.620	22.8	69.8	41.7	0.696
4x4	14.5	61.6	33.3	0.625	22.9	70.2	42.4	0.705
6x6	15.0	63.6	35.1	0.640	23.8	71.7	43.9	0.716
8x8	14.5	65.2	36.7	0.653	23.8	71.6	43.6	0.712
10x10	13.5	66.3	38.0	0.666	22.0	73.1	46.0	0.737
12x12	13.5	67.0	39.0	0.678	21.5	73.5	46.5	0.741
15x15	13.5	68.1	40.4	0.692	22.3	73.9	47.5	0.755
20x20	13.0	69.3	42.1	0.711	20.6	74.8	48.8	0.767
25x25	12.0	70.0	43.3	0.724	19.9	75.2	49.8	0.779
30x30	13.0	71.0	44.6	0.736	18.2	75.3	50.3	0.786
40x40	11.5	71.3	45.3	0.745	19.2	75.9	51.2	0.794

2-р хүснэгтэд 2 энергийн ГШТ-ийн 5см, 8 см, 10см гүнд дэх параметруудыг оруулав. Эндээс харахад Q_i хэмжигдэхүүн талбайн хэмжээтэй шууд хамааралтай өссөн байна. Мөн 10 МВ –ийг 6 МВ-ийн Q_i – тай харьцуулахад ижил талбайд ихэссэн байгаа нь харагдаж байна.

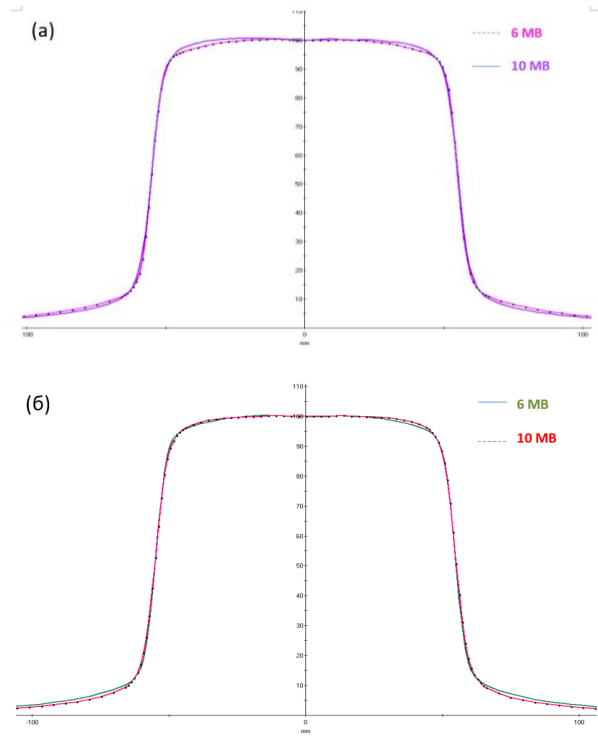


График 3. 6 ба 10МВ энергитэй фотоны 10 см гүнд 10x10 см² талбайн (а) хэвтээ болон (б) хөндлөн профайль.

Графикаас тэгшлэг (flatness), тэгш хэм (symmetry), пенумбраг тооцоолсон утгыг хүснэгт 4-д тус тус үзүүлэв.

Хүснэгт 4. Тэгшлэг, тэгш хэм, пенумбраг тооцоолсон утга.

Фотоны энерги		6 МВ	10 МВ
Тэгшлэг (%)	Хөндлөн	2.4	2.2
	Хэвтээ	2.4	2.2
Тэгш хэм (%)	Хөндлөн	0.4	0.9
	Хэвтээ	0.3	0.3
Талбайн хэмжээ (см)	Хөндлөн	11.1	11.1
	Хэвтээ	11.0	11.0
Пенумбра /зүүн	Хөндлөн	7.0	7.7
	Хэвтээ	7.3	7.9
Пенумбра /баруун	Хөндлөн	7.1	7.8
	Хэвтээ	7.3	7.8

Варианы протоколоор тооцоолсон бөгөөд тэгшлэг, тэгш хэм, пенумбраг харахад бүгд зөвшөөрөгдөх мужид байна.

6 болон 10МВ энергитэй фотоны 10 см гүнд хамгийн бага буюу 3x3, дунд 10x10, хамгийн том

40x40 см талбайн диагональ хэвтээ профайлийг 4, 5-р графикт харуулав.

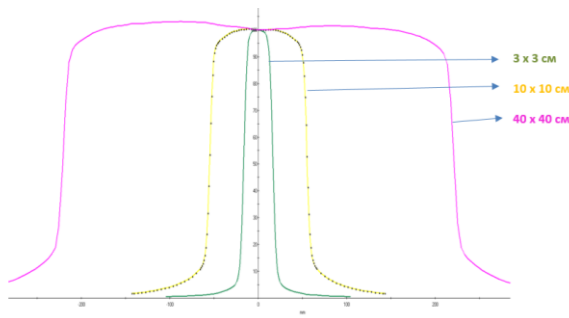


График 4. 6 МВ энергитэй фотоны 10 см гүнд 3, 10, см² талбайн хэвтээ, 40 см² талбайн диагональ хэвтээ профайль.

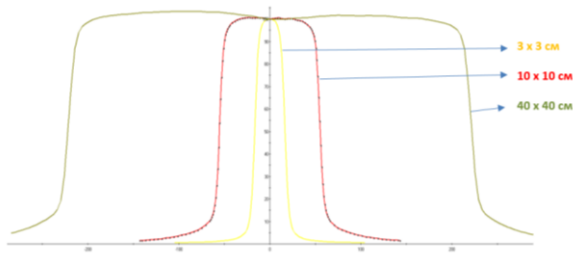


График 5. 10МВ энергитэй фотоны 10 см гүнд 3, 10, см² талбайн хэвтээ, 40 см² талбайн диагональ хэвтээ профайль.

Графикуудаас талбай тус бүрд профайлийн төв тэнхлэг, тэгшлэг, тэгш хэм, пенумбраг тооцоолсон утгыг хүснэгт 5-д тус тус үзүүлэв.

Хүснэгт 5. (а) 6 МВ ба (б) 10 МВ энергитэй фотоны 10 см гүнд 3-40 см² талбайн хэвтээ профайль.

Analyze Results
Protocol: Varian

Field Size Inpla. x Cross. [cm x cm]	Meas. Angle	Field Size [cm]	Pen. Left [mm]	Pen. Right [mm]	Flatness ± [%]	Symmetry [%]	Field Size at SID [cm]
3.0 x 3.0	0.00	3.343	5.58	5.59	7.39	0.40	3.039
4.0 x 4.0	0.00	4.457	5.77	5.80	4.68	0.47	4.052
6.0 x 6.0	0.00	6.665	6.32	6.37	2.69	0.57	6.059
8.0 x 8.0	0.00	8.869	6.74	6.81	2.49	0.62	8.063
10.0 x 10.0	0.00	11.061	7.02	7.08	2.45	0.42	10.055
12.0 x 12.0	0.00	13.288	7.50	7.62	2.26	0.61	12.080
15.0 x 15.0	0.00	16.535	7.88	7.99	2.27	0.62	15.032
20.0 x 20.0	0.00	22.026	8.20	8.32	2.18	0.95	20.024
25.0 x 25.0	0.00	27.516	8.96	9.08	2.34	1.02	25.015
30.0 x 30.0	Diagonal	33.204	12.33	12.62	2.70	1.77	30.185
40.0 x 40.0	Diagonal	44.270	12.96	13.04	2.45	1.98	40.246

(а)

Analyze Results
Protocol: Varian

Field Size Inpla. x Cross. [cm x cm]	Meas. Angle	Field Size [cm]	Pen. Left [mm]	Pen. Right [mm]	Flatness ± [%]	Symmetry [%]	Field Size at SID [cm]
3.0 x 3.0	0.00	3.348	6.46	6.52	9.24	0.46	3.043
4.0 x 4.0	0.00	4.470	6.73	6.81	6.56	0.58	4.064
6.0 x 6.0	0.00	6.667	7.14	7.20	3.83	0.42	6.061
8.0 x 8.0	0.00	8.875	7.74	7.84	2.71	0.88	8.068
10.0 x 10.0	0.00	11.084	7.68	7.79	2.22	0.88	10.076
12.0 x 12.0	0.00	13.284	8.13	8.23	2.08	0.94	12.076
15.0 x 15.0	0.00	16.554	8.42	8.56	1.77	0.78	15.049
20.0 x 20.0	0.00	22.041	8.82	8.92	1.85	0.83	20.037
25.0 x 25.0	0.00	27.561	9.16	9.26	1.69	0.93	25.055
30.0 x 30.0	Diagonal	33.265	13.41	13.59	2.35	2.04	30.241
40.0 x 40.0	Diagonal	44.360	13.63	13.74	1.97	2.00	40.327

(б)

в. Гаралтын фактор (OF)

6 болон 10МВ энергитэй фотоны ГФ-ыг 3x3 см² аас 40x40 см² хүртэлх талбайд хэмжиж 10x10

см² талбай дах хэмжилтийн утгад нормчилсоныг хүснэгт 6-д үзүүлэв.

Хүснэгт 6. (а) 6 МВ ба (б) 10 МВ энергитэй фотоны цацрагийн гаралтын фактор.

(а)

		3	4	6	8	10	12	15	20	25	30	40
γ	3	0.883	0.897	0.908	0.915	0.919	0.921	0.924	0.928	0.928	0.929	0.932
	4	0.897	0.912	0.928	0.935	0.941	0.944	0.946	0.949	0.952	0.952	0.927
	6	0.913	0.93	0.949	0.961	0.968	0.972	0.976	0.979	0.983	0.983	0.986
	8	0.921	0.941	0.965	0.979	0.986	0.992	0.997	1.001	1.005	1.006	1.009
	10	0.927	0.949	0.975	0.99	1	1.006	1.011	1.015	1.021	1.022	1.025
	12	0.933	0.955	0.982	0.999	1.01	1.017	1.023	1.029	1.034	1.037	1.04
	15	0.939	0.96	0.99	1.008	1.021	1.027	1.037	1.045	1.048	1.054	1.06
	20	0.945	0.967	0.997	1.018	1.03	1.04	1.05	1.057	1.063	1.07	1.076
	25	0.946	0.971	1.003	1.023	1.037	1.046	1.055	1.065	1.073	1.079	1.085
	30	0.948	0.976	1.008	0.991	1.043	1.053	1.065	1.077	1.083	1.09	1.098
	40	0.956	0.981	1.017	1.038	1.052	1.064	1.077	1.09	1.097	1.105	1.103

(б)

		3	4	6	8	10	12	15	20	25	30	40
γ	3	0.875	0.886	0.899	0.907	0.916	0.915	0.922	0.925	0.925	0.927	0.929
	4	0.886	0.901	0.918	0.928	0.934	0.937	0.941	0.944	0.95	0.948	0.95
	6	0.903	0.921	0.943	0.957	0.965	0.97	0.975	0.98	0.986	0.985	0.987
	8	0.912	0.933	0.96	0.976	0.986	0.992	0.999	1	1.011	1.011	1.014
	10	0.92	0.942	0.971	0.989	1	0.981	1.015	1.022	1.029	1.031	1.034
	12	0.925	0.948	0.979	0.998	1.011	1.02	1.028	1.036	1.044	1.046	1.05
	15	0.933	0.954	0.987	1.008	1.026	1.032	1.041	1.055	1.06	1.066	1.072
	20	0.938	0.961	0.996	1.019	1.038	1.045	1.059	1.068	1.078	1.085	1.092
	25	0.942	0.968	1.003	1.027	1.043	1.055	1.067	1.08	1.089	1.096	1.104
	30	0.945	0.968	1.006	1.031	1.05	1.06	1.076	1.09	1.099	1.105	1.117
	40	0.95	0.975	1.013	1.039	1.059	1.07	1.087	1.103	1.113	1.123	1.129

Үүнийг графикаар үзүүлбэл ГФ нь 10x10см² талбайд 1, үүнээс бага талбайд 1-ээс бага, их талбайд 1-ээс их байх нь харагдаж байна.

(а)

(б)

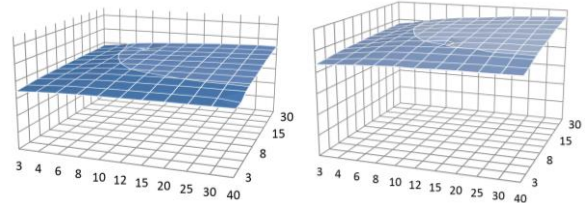


График 6. (а) 6 МВ ба (б) 10 МВ энергитэй фотоны гаралтын фактор.

г. Олон ялтас коллиматорын нэвтрэлтийн фактор (MLC transmission) болон ялтас завсрын дозиметр (DLG)

Олон ялтас коллиматорын нэвтрэлтийн фактор 6 МВ энергитэй фотоны хувьд 0.015, 10 МВ энергитэй фотоны хувьд 0.132 гарсан ба тооцооллийг хүснэгт 7-д үзүүлэв.

Хүснэгт 7. ОЯК-ийн нэвтрэлтийн фактор.

Хэмжилтийн утга	6 МВ (пКл)	10 МВ (пКл)
А банкны нэвтрүүлэлт	27.2	35,9
Б банкны нэвтрүүлэлт	28.4	36
Дундаж нэвтрүүлэлт	27.8	35,95
Нээлттэй талбай	1877	2087
ОЯК нэвтрүүлэлтийн фактор	0.015	0.017

DLG факторын утга нь 6МВ фотоны хувьд 1.31, 10 МВ фотон хувьд 1.56 гарсан байна. ОЯК-ийн нээлтийн хэмжээ ихсэхэд DLG мөн адил харьцангуйгаар ихэссэн нь графикт харагдаж байна.

Хүснэгт 8. Ялтас завсрын дозиметр.

ОЯК-ийн нээлт	ОЯК байрлал (мм)	6МВ (пКл)			10МВ (пКл)		
		Хэжилтийн утга	R_{gT}	R'_g	Хэжилтийн утга	R_{gT}	R'_g
	2	80.0	24.5	55.4	96,3	35,3	60,9
	4	110.7	24.1	86.5	130,4	34,7	95,6
	6	141.5	23.7	117.7	164,8	34,1	130,6
	10	202.9	22.9	179.9	232,6	32,9	199,6
	14	264.6	22.0	242.5	302,1	31,7	270,3
	16	295.7	21.6	274.0	335,5	31,1	304,3
	20	353.9	20.8	333.0	403,5	29,9	373,5
DLG			1,31			1,56	

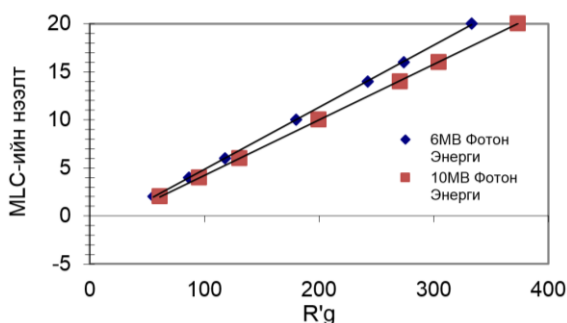
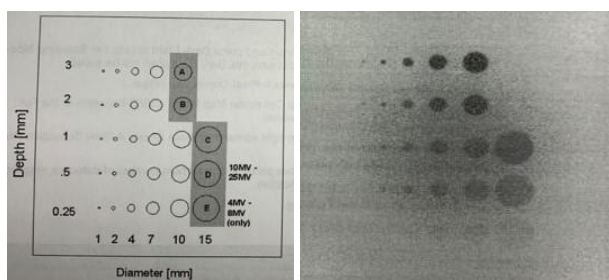


График 7. Ялтас завсрын дозиметр.

4. Дүрс зургийн чанарын хяналтын тест

Зургын чанарын хяналтын хэмжилт, үр дүнг үнэлэх аргачлалыг 6-р зураг, 9-р хүснэгтэд үзүүлэв.



Зураг 6. "Phantom hole" хэмжилтийн зураг, түүний үр дүн.

Лас вегас пантом ашиглан авсан зураг дээр хийгдсэн анализыг доорх хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 9. Зургийн чанарыг үнэлэх аргачлал.

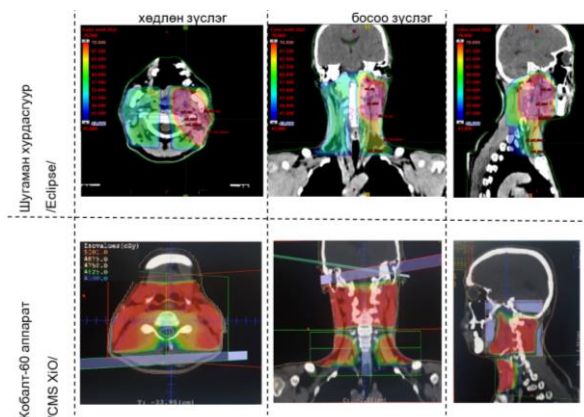
Энерги	Тодорхойлолт	√=Ok
Бага энерги /4-8 МВ/	Phantom hole A,B,C,D & E харагдахуйц	√
Өндөр энерги /10- 25МВ/	Phantom hole A,B,C & D харагдахуйц	√
Авсан зураг зургийн хавтаст хадгалагдсан эсэх		√

Эндээс харахад зургийн нягт болон тодрол зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байв.

АЧ ХОЛБОГДОЛ

1. Туяа эмчилгээний төлөвлөлт

Энэхүү КОММИШИОНИГ-ийн үр дүнд физик төлөвлөлтийг хийх боломжтой болсоноор туяа эмчилгээг шугаман хурдасгуур аппаратаар хийх нөхцөл бүрдсэн. Олон ялтаст коллиматор, илүү гүнд нэвтрэх өндөр энерги, хөдөлгөөнт клин, дэвшилтэт тооцооллын алгоритм ашигласанаар цацрагт өртөж болзошгүй эрүүл эд эрхтэний хамгаалалт сайжирч, хорт хавдрын байд илүү их тун өгч чаддаг болсон.



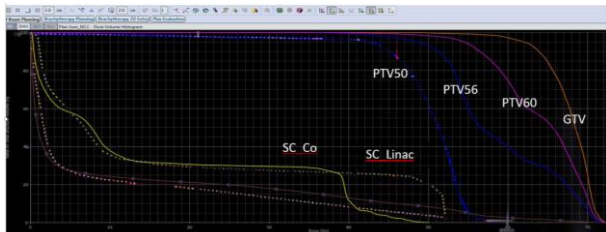
Зураг 7. Туяа эмчилгээний физик төлөвлөлт.

Толгой хүзүүний байрлалын хавдартай 54 настай эрэгтэй өвчтөнд хавдрын голомтонд 66Гр/33фракц тун өгч байгаа туяа эмчилгээний төлөвлөлтийг өмнөх Кобальт-60 болон шинээр нэвтрүүлсэн шугаман хурдасгуур аппаратаар хийгдэж байгаа эмчилгээний технологиор тооцоолсоныг харьцуулсан жишээг үзүүлэв.

Үүнээс шугаман хурдагуур дээр хийсэн тооцооллыг Кобальт-60 дээрх тооцоололтой харьцуулахад тунгийн тархалт илүү конформал, эмчилгээний талбайд нэг жигд биш, цацрагийг хэлбэржүүлэлт сайн, ойролцоох эрүүл эд эрхтэнийг тунгийн хягзаараас хэтрүүлэхгүйгээр хавдрын байд өгч байгаа тун өндөр байгаа нь харагдаж байна. Кобальт-60 дээрх тооцооллоор эрүүл эрхтэн болох нугасны тунгий зөвшөөрөгдөх хязгаараас шалтгаалан 50Гр тун өгөх боломжтой байгаа бол шугаман хурдасгуураар байд өгөх тунг 66 Гр хүртэл нэмэгдүүлж байгаа нь энэхүү өвчтөний хавдрын эдгэрэлт өндөр, эрүүл эрхтэнд үзүүлэх

цацрагийн нөлөөлөл бага байх тул амьдралын чанар сайн байх нь харагдаж байна.

Дэлгэрэхгүйгээр цацрагт өртөж болзошгүй эрүүл эрхтэний болон хавдрын байд өгч байгаа тунгийн хэмжээг харьцуулсныг доорх графикаар үзүүлэв.



Тун эзэлхүүний харьцаа	Эрхтэн	Тун	
		Шугаман хурдасгуур	Кобальт-60
	PTV50	96%	90%
	PTV56	96%	-
	PTV66	95%	-
	Spinal cord	50 гр	52.3 гр
	Global max	109%	116.4%

График 8. Тун болон эзэлхүүний харьцаа.

Хавдрын бай болон цацрагт өртөж болзошгүй эрүүл эд эрхтэний авч байгаа тунг эзэлхүүнээр тооцсон утгыг хүснэгт 10, 11-д үзүүлэв.

Хүснэгт 10. Эрүүл эрхтэний авах тун.

Эрүүл эрхтэн	Төлөвлөсөн тун /Гр/	Зөвшөөрөгдөх тун /Гр/
Баруун линз	Dmax / Гр=2.2	Dmax=10
Зүүн линз	Dmax / Гр =2.5	Dmax=10
Баруун нүдний мэдрэл	Dmean/ Гр =2.5	Dmean=50
Зүүн нүдний мэдрэл	Dmean/ Гр =2.5	Dmean=50
Нүдний мэдрэлийн зөрлөг	Dmean/ Гр =3.6	Dmean=50
Баруун нүд	Dmean/ Гр 2.4	Dmean=45
Зүүн нүд	Dmean/ Гр =1.8	Dmean=45
Brainstem	Dmean/ Гр =13.9	Dmean=50
Нугас	Dmax / Гр =50	Dmax=50

Хүснэгт 11. Хорт хавдрын байд өгсөн тун.

	V95 очих тун /%/	V90 очих тун /%/	Төлөвлөсөн тун /Гр/
PTV50	96	102	50
PTV56	96	101	56
PTV66	95	96.6	66

2. Цацрагийн чанарын хяналт

Энэхүү КОММИШИОНИГ-ийн үр дүнд Clinac iX шугаман хурдасгуур аппаратын ашиглалтын хугацаанд цацрагийн чанарын баталгааг хангах, чанарын хяналт хийх нөхцөл бүрдсэн. Жишээ болгон Clinac iX аппаратын өндөр хүчдэлд гарсан гэмтлийг засварласаны цацрагийн профайл анхны тохируулсан утгаас хэрхэн өөрчлөгдсөнийг доорх графикаар харуулав. Графикаас харахад цацрагийн тэгшлэг чанар 17,9%, тэгш хэм 33,9 % болж өөрчлөгдсөн байсан. Иймээс үүнийг анхны утгад хүргэн дахин тохируулга хийсэн. Тохируулга хийгээгүй тохиолдолд эмчилгээний тооцоолол буруу хийгдэж цацрагийн осол үүсэх аюултай байлаа.

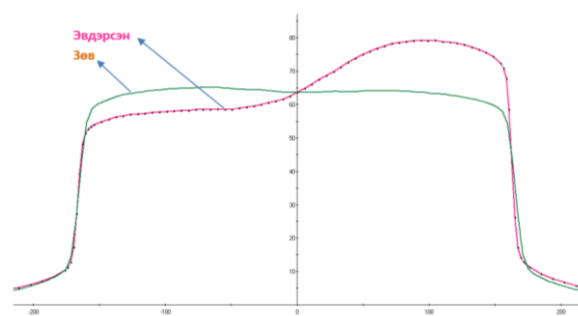


График 8. 6 МВ энергитэй фотоны 10 см гүнд 30 см² талбайн хэвтээ профайлыг засварын дараахтай харьцуулсан нь.

3. Абсолют тунгийн хяналт

Clinac iX шугаман хурдасгуурын энерги тус бүр дээрх сар бүр абсолют тунг хэмжин шаардлагатай тохиолдолд дахин тохируулга хийдэг. Хэмжилтийн үр дүн хүснэгт 12-д үзүүлэв.

Хүснэгт 12. Абсолют тунгийн хэмжилт.

Фотоны энерги	6 МВ		10 МВ	
	Өмнөх	Дараах	Өмнөх	Дараах
4-р сар	6.31%	0.7%	1.25%	0.2%
5-р сар	0.3%	0.3%	0.1%	0.1%
7-р сар	0.8%	0.8%	0.6%	0.6%
9-р сар	2.30%	0.8%	2.90%	0.1%

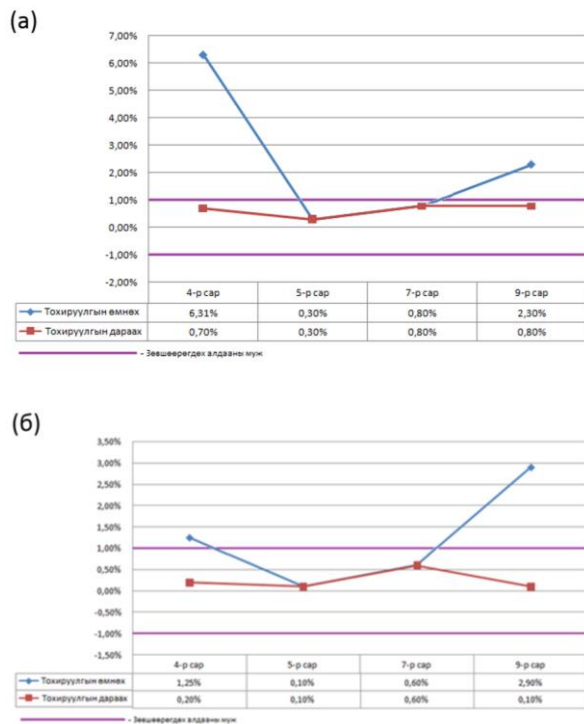


График 9. (а) 6 МВ ба (б) 10 МВ энергитэй фотоны абсолют тунгийн хэмжилт.

Туяа эмчилгээний физик төлөвлөлтөнд абсолют тунгийн утга 1 Гр/МЮ ± 1% байх ёстой. Шугаман хурдасгуурын цацрагийг үүсгэх механизмаас шалтгаалан тунгийн гаралт өөрчлөгдөж байдаг. Иймээс абсолют тунг тогтмол шалгаж, тохируулга хийснээр туяа эмчилгээг аюулгүй, үр дүнтэй хийж байна.

ДҮГНЭЛТ

Бид CLINAC iX шугаман хурдасгуурын КОМИШИОНИНГ-ийг хийснээр гүнд шингэсэн тун, профайль, цацрагийн гаралт болон бусад дозиметрийн параметруудийг оновчтой хэмжиж, үр дүнг боловсруулж, Eclipse 15.6 физик төлөвлөлтийн системийн AAA алгоритмыг модельчилж, баталгаажуулсанаар 6 болон 10МВ энергитэй фотон цацрагийн 3 хэмжээст туяа эмчилгээг конформал туяа эмчилгээг аюулгүй, чанарын баталгаатайгаар хийгдэж эхэлсэн.

CLINAC iX шугаман хурдасгуурын цаашдын цацрагийн чанарын хяналтын этолон утгыг гарган авлаа.

Мөн энэхүү судалгааны ажил нь шугаман хурдасуур аппаратын комишионинг, хүлээн авах техникийн зааварчилгааг бэлтгэн, эмнэлгийн

физикч нарыг чадавхижуулах чухал ач холбогдолдтой байсан.

Цаашид эрчимийг тохируулсан туяа эмчилгээ (Intensity Modulated Radiation Therapy), дүрслэлд суурилсан туяа эмчилгээ (Image Guided Radiation Therapy), эзэлхүүнд тохируулсан туяа эмчилгээ (Volumetric Modulated Arc Therapy), Стереотактик туяа эмчилгээ зэрэг дэвшилтэт технологид тохирсон КОМИШИОНИНГ-ийг үе шаттайгээр хийхээр төлөвлөж байна.

ХЭЛЦЭМЖ

- Туяа эмчилгээний Шугаман хурдасгуур аппаратын цацрагийн аюулгүй ажиллагааг хангахдаа чанарын хяналтыг шугаман хурдасгуураар эмчилгээ хийж байгаа тухайн технологид тохирсон тусгай, баталгаажсан дозиметрийн багажаар хийх шаардлагатай.
- Шугаман хурдасгуур аппаратын КОМИШИОНИНГ-ийг хийхэд эмнэлгийн физикчийг чадавхижуулах шаардлагатай.
- Шугаман хурдасгуурын КОМИШИОНИНГ-ийг зөвхөн 1 фотоны энергийн хувьд хийхэд 4-8 долоо хоног зарцуулагддаг цаг хугацаа шаардсан ажил юм.
- Шугаман хурдасгуурын КОМИШИОНИНГ хийх явцад аппаратын найдвартай тогтвортой ажиллагааг хангах нь чухал.
- Шугаман хурдасгуурын цацрагийн чанарын хяналтыг өдөрт, долоо хоног бүр, сар бүр, жилд гэх зэргээр тогтмол хийх нь гарч болзошгүй олон өвчтөнийг цацрагийн ослоос сэргийлж байна.

ТАЛАРХАЛ

Эмнэлгийн физикчийн хувьд өндөр хариуцлага, мэргэжлийн ур чадвар, мэдлэг, дадлага туршлага, цаг хугацаа шаардсан туяа эмчилгээний аппаратын КОМИШИОНИНГ-ийг хийхэд хамтран оролцсон Хавдар судлалын үндэсний төвийн Туяа эмчилгээний тасгийн эмнэлгийн физикч, дозиметристүүд, зөвлөх багш илгээж, КОМИШИОНИНГ-ийн үйл ажиллагаанд хяналт тавьж баталгаажуулсан байгууллагууд болох Олон улсын атомын энергийн агентлаг (ОУАЭА), Австралийн эмнэлгийн инженер, физикийн шинжлэх ухааны коллеж (ACPSEM), БНСУ-ийн “Солонгосын радиологи ба анагаах ухааны институт”

(KIRAMS), Австрали, Шинэ Зеландийн радиологийн коллеж (RANZCR), Япон улсын Хирошимагийн их сургуулийн эмнэлэг (HNU), Австрали улсын Засгийн газрын Австралийн сайн дурынхны олон улсын хөгжлийн хөтөлбөр (AVI), мөн бидэнд зааж зөвлөж, удирдаж ажилласан Австралийн "Иллаваара хавдрын эмнэлэг"-ийн эмнэлгийн физикч Авдурахман Цейлан, БНСУ-ын "Солонгосын радиологи ба анагаах ухааны институт"-ын ахлах эмнэлгийн физикч, зөвлөх судлаач Санг Хён Чой, БНЭУ-ийн "Тата Мемориал эмнэлэг"-ийн эмнэлгийн физикч Риту Раж, Австралийн "Сэйнт Жеорж эмнэлэг"-ийн туяа эмчилгээний техникч Тобу Лове, Япон улсын "Хирошимагийн их сургууль"-ийн эмнэлгийн ахлах эмнэлгийн физикч Накашима Такое, Австралийн "Ноён Чарлез Гайрднер эмнэлэг"-ийн туяа эмчилгээний зөвлөх эмнэлгийн физикч Алисон Скотт нарт, судалгаа хийх нөхцөл бололцоогоор хангаж өгсөн ХСҮТ-ийн төвийн удирдлагууд талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

[1] International Atomic Energy Agency, "Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beam Dose and Volume (TRS 277 and 398)". 1987

- [2] Вариан, Eclipse Beam Configuration Reference Guide 15.53
- [3] Вариан, "Eclipse Photon and Electron Algorithms Reference Guide 15.5"
- [4] Вариан, "Acceptance Testing Protocol"
- [5] NCRP 151, This Report was prepared through a joint effort of NCRP Scientific Committee 46-13 on Design of Facilities for Medical Radiation Therapy and AAPM Task Group 57.
- [6] IAEA Safety Report Series 47
- [7] Б.Далхсүрэн "Цөмийн цацраг бүртгэх аргууд", 2002.
- [8] AAPM Report NO 46, Comprehensive QA for Radiation Oncology
- [9] Das IJ, Cheng CW, Watts RJ, et al. Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM. Med Phys. 2008;35:4186–215.
- [10] Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators. Med Phys. 2009;36(9):4197–212.
- [11] Niroomand-Rad A, Blackwell CR, Coursey BM, et al. Radiochromic film dosimetry: recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 55. Med Phys. 1998;25(11):2093–115.

Зарим нэр томъёоллын орчуулга, товчлолын тайлбар

Товчлол	Олон улсын нэршил	Орчуулга
Комишониинг	Commissioning	Туяа эмчилгээний аппаратын цацрагийн дозиметрийн параметруудийг хэмжиж цуглуулан үүгээрээ физик төлөвлөлтийн системийн тооцооллийн алгаритмыг модельчлон, гарсан үр дүнг баталгаажуулан физик төлөвлөлт хийх нөхцөлийг бүрдүүлэх Тухайн аппаратын суурилуулалтын дараах хүлээн авах баталгаажуулах, цаашид ашиглалтын хугацаанд хийгдэх цацрагийн чанарын хяналтыг хангах үндсэн эталон.
АРТ	Acceptance test	Хүлээн авах баталгаажуулах тест
LINAC	Linear accelerator	Хорт хавдрын туяа эмчилгээний шугаман хурдасгуур аппарат
Clinac iX		Вариан компаний үйлдвэрлэсэн хорт хавдрын туяа эмчилгээний шугаман хурдасгуур аппарат
ЭПИД/ EPID	Electronic portal imaging device	Шугаман хурдагуур аппаратад нэмэлтээр суурилуулсан МВ энергитэй фотон цацрагаар зураг авах, дүрс зургын хяналтын элетрон төхөөрөмж
Хөдөлгөөнт клин/EDW	Enhanced dynamic wedge	Цацрагийн тархалтыг сайжруулах, шаантаг хэлбэртэйгээр материалд шингээх зориулалттай олон хавтаст коллиматорын системийг хөдөлгөөнжүүлж ашиглах нэмэлт функц
ОЯК/ MLC	Multi leaf collimator	Цацрагийг хэлбэржүүлэх олон ялтаст коллиматорын систем
QA	Quality Assurance	Чанарын баталгаа
QC	Quality Control	Чанарын хяналт
3DCRT	3 Dimensional Conformal Radiotherapy	3 хэмжээст конформал туяа эмчилгээ
IMRT	Intensity Modulated Radiotherapy	Эрчимээр засварласан туяа эмчилгээ
VIMAT	Volumetric Intensity Modulated Radiotherapy	Эзэлхүүнд эрчимээр засварласан туяа эмчилгээ

SRBT	Stereotactic Body Radiation therapy	Стереотактик биений мэс заслын туяа эмчилгээ
PTV	Planning Target Volume	Хавдрын бай
OARs	Organ at Risks	Цацрагт өртөж болзошгүй хавдрын ойр байрласан эрүүл эрхтэн
PDD	Percentage Depth Dose	Төв тэнхлэгийн дагуух гүнд шингэсэн тун
OF	Output factor	Цацрагийн гаралтын фактор буюу референс талбай дах цацрагийн гаралтыг тухайн талбай дах утганд харьцуулсан харьцаа
MLC transmission	Multi leaf collimator transmission	Олон ялтас коллиматорын нэвтрэлтийн фактор
Хавтас завсрын дозиметр/DLG	Dosimetric leaf gap	Олон ялтас коллиматороор нарийн завсар үүсгэхэд үүсэх нэвтрэлтийн фактор
SSD	Source-skin distance	Үүсгүүрээс гадрага хүртлэх зай
Dmax		Усанд хамгийн их тун хэмжигдэж байгаа гүн
ODI	Optic distance indicator	Үүсгүүрээс гадрага хүртлэх зайг тодорхойлох гэрлэн хэмжигдэхүүн
Spoke shot		Цацрагийн болон гэрлэх изоцентрийн давхцалыг шалгах тест
Radiation survey		Орчний цацрагийн хяналтын хэмжилт
TADR	Total absolute dose rate	Орчний цацрагийн хэмжилтын дүнг тунгийн чадал, дүүргэлт болон ажлын фактоороор засварлан тооцосон абсолют тунгийн чадал
DVH	Dose Volume Histogram	Тун эзэлхүүний харьцаа буюу цацрагт өртөж буй эрхтэн, хавдрын байн сонирхож байгаа эзэлхүүнд авч байгаа тунг харьцуулан график

Агаарын тоосонцорын олон улсын ур чадварын сорилтын шинжилгээнд оролцсон дүн

Н.Отгонпүрэв*, Д.Болортуяа, Д.Шагжжамба, П.Зузаан

Монгол Улсын Их Сургуулийн Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улс, Улаанбаатар 13330, Энхтайвны өргөн чөлөө -122

Бид энэ ажлаар агаарын бохирдлын судалгаа хийдэг лабораториудын дунд ОУАЭА-аас зохион байгуулсан ур чадварын сорилтод оролцож, Цөмийн физикийн судалгааны төвийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн спектрометр ашиглан элементийн анализ хийж, бусад орны лабораториудын үр дүнтэй харьцуулан үзүүлэв.

ОРШИЛ

Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлаг (ОУАЭА)-аас өөрийн гишүүн орнуудын рентген-анализын шинжилгээний лабораториудын дунд ур чадварыг шалгах, шинжилгээний ажлын чанар, аналитик арга зүй, үр дүнг сайжруулах, харилцан туршлага солилцох зорилгоор сорил хэмжилтийг 2002 оноос эхлэн хоёр жил тутамд зохион байгуулж ирсэн бөгөөд МУИС-ийн ЦФСТ-ийн рентген анализын лабораторийн хувьд PTXRFIAEA10 “Элсэрхэг хөрсний дээжинд үндсэн болон дагалдах элемент тодорхойлох”, PTXRFIAEA13 “Шаварлаг хөрсний дээжинд үндсэн болон дагалдах элемент тодорхойлох” ур чадварын сорил хэмжилтэнд тус тус оролцож байсан [1,2]. Олон улсын болон дотоодын сорил хэмжилтэд оролцсоноор өөрийн лабораторийн үйл ажиллагааны аргазүйн чанарыг баталгаажуулах, алдаа дутагдлаа үнэлэх, бусад лабораториудтай туршлага солилцох зэрэг олон талын ач холбогдолтой юм [3].

PTXRFIAEA14 ур чадварын сорил нь 2018 онд агаарын бохирдлын судалгаа явуулдаг аналитик лабораториудын дунд агаарын тоосонцрын фильтр дэх элементийн агуулгыг тодорхойлох зорилгоор зохион байгуулагдсан [4].

Бид энэхүү сорилд оролцон туршилт судалгааг МУИС-ийн ЦФСТ-ийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн SPECTRO-XEPOS спектрометр ашиглан хийж, шинжилгээний үр дүнг сорилтын нэгдсэн утгатай харьцуулан энэхүү ажилд нэгтгэн үзүүлээ.

СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ, ТУРШИЛТ

Судалгаанд ашигласан багаж төхөөрөмж, аргазүй, хэмжилтийн нөхцөлийн талаар авч үзэв. Судалгааны дээж: УЧС-ын дээжээр Цөмийн шинжлэх ухаан болон тоног төхөөрөмжийн лабораторид (NSIL) бэлтгэсэн, агаарын тоосонцрын дээжийг ирүүлсэн. Энэхүү дээж нь хот орчмын агаарын тоосонцрыг 47 мм диаметртэй поликарбонат фильтр дээр цуглуулсан дээж юм. Уг фильтрээ Петрийн аяганд хийж, оролцогч 59 орны лабораториудад хүргүүлсэн. Оролцогч тус бүрд нэг үл мэдэгдэх фильтр болон нэг бланк фильтр хүргүүлсэн. Фильтерүүдийн жингийн хувьд ялимгүй ялгаатай учир оролцогчдод нийт жин болон Петрийн аяга дээрх нийт талбайн мэдээллийн хамт ирүүлсэн болно. Элемент тус бүрийн хувьд зөвхөн нэг аналитик аргаар тооцоолсон үр дүнг илгээнэ. Үр дүн бүрийн стандарт хазайлт болон стандарт эргэлзээг дагалдуулна. Хэдэн ч элементийн үр дүнг тооцоолон илгээх боломжтой.

Хэмжилтийн төхөөрөмж: Судалгаанд агаарын тоосонцрын дээжид хэмжилт хийх зориулалттай вакуум системтэй найман төрлийн туйлширсан болон хоёрдогч бай, 5.9 кэВ энергид 155 эВ ялгах чадвартай Si-Drift (SDD) детектор, Пелтье хөргөлттэй, Pd анодтой рентген хоолой бүхий Герман улсын Аметек компанийн өндөр мэдрэх чадвартай, энергиэр ялгах SPECTRO XEPOS рентген-флуоресценцийн спектрометрийг ашигласан. Энэхүү систем нь вакуум нөхцөлд Мо (40кВ, 0.88 мА), Со (35кВ, 0.90 мА), Al₂O₃ (49.5кВ, 0.7мА), НОРГ (17.5кВ, 2мА) байнуудыг

* Electronic address: otgonpurev.n@gmail.com

сонгон хэрэглэж 0.03-3.4 ppm (1-100 нгр/см³) бүртгэх доод хязгаартайгаар Na-аас U хүртэлх элементүүдийг тодорхойлох боломжтой. Түүнчлэн Лукас-Тус, Прайс(Lukas-Tooth, Price)-ийн тэгшитгэлийн болон тулгуур параметрийн аргаар тоон анализ хийх X-labPro ED-XRF програм хангамжтай.

Гадаад стандартын шууд арга: Стандарт дээжүүдийн өгөгдөлийг ашиглан дээжинд байгаа сонирхсон элемент бүрийн хувьд харьцуулах дээж дэх тухайн элементийн хэмжигдсэн эрчим болон агуулгын хамаарал нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$I_i = aC_i + b \quad (1)$$

Энд: C_i – дээж ба стандартын i -элементийн агуулга, I_i -дээж ба стандартын i -элементийн спектрийн шугамын эрчим.

Уг шулууны тогтмол коэффициент a , b -г стандарт дээжийн тусламжтайгаар олсны дараа тухайн дээж дэх элементийн агуулгыг

$$C_a = \frac{I_i - b}{a} \quad (2)$$

томъёогоор тооцоолно.

Лукас-Тус, Прайс (Lukas-Tooth, Price)-ийн тэгшитгэлийн арга:

$$C_i = r_0 + I_i[r_i + r_{ii}I_i + r_{ij}I_j + r_{ik}I_k + \dots] \quad (3)$$

C_i бол i –р элементийн агуулга, j , k нь i элементийн шугамд нөлөөлөх элементүүдийг илэрхийлнэ. I_i нь тодорхойлох i -р элементийн эрчим, r бол матрицийн нөлөөг тооцож туршлагаар олсон тогтмол коэффициент.

$\sum \Delta_i^2$ –ийн утга хамгийн бага байхаар r_0 , r_i , r_{ii} , r_{ij} , ... утгуудыг сонгох нь чухал бөгөөд энэхүү утгыг стандарт дээжүүд ашиглан дараах аргаар тодорхойлдог.

$$\Delta_i = \frac{C_i - C_{ix}}{I_i} \quad (4)$$

Тэгшитгэлийн давуу тал нь үл мэдэгдэх дээжийн агуулгыг тодорхойлоход олон удаагын давтан хэмжилт шаардагдахгүй учраас дээжинд анализ хийхэд түргэн шуурхай, элементийн агуулгыг тодорхойлох энгийн тооцоонд өргөн хэрэглэгддэг алгоритм юм.

Хэмжилт, боловсруулалт: Агаарын тоосонцрын сорилын болон харьцуулах стандарт дээжийг дээрх рентген спектрометрээр тус бүр гурван удаа 300 сек хугацаагаар хэмжиж, спектрийг AXIL программаар боловсруулж, үр дүнг тооцоолов. Сорил хэмжилтэнд ирүүлсэн агаарын тоосонцрын дээжинд чанарын болон

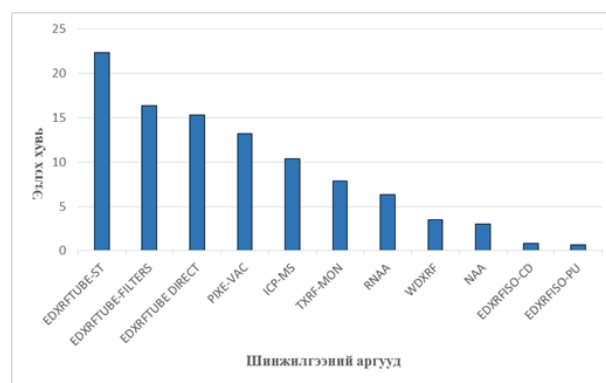
тоон анализ хийж Na-аас Cl хүртэлх элементийг HOPG байгаар, K-аас Cr хүртэлх элементийг Со байгаар, Mn-аас Zn хүртэлх элементийг Мо байгаар хэмжсэн хэмжилтээр тус бүр тодорхойлов. Агаарын тоосонцрын сорилтын дээжинд Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn зэрэг элементийн агуулгыг Лукас-Тус, Прайсийн математик модель (3-р тэгшитгэл) болон гадаад стандартын харьцангуй аргуудыг [5] ашиглан тодорхойлж хүргүүлсэн.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэхүү ур чадварын сорил нь 2018 онд ОУАЭА-аас агаарын бохирдлын судалгаа явуулдаг аналитик лабораториудын дунд зохион байгуулагдсан. Нийт 59 орны лабораторид хүргүүлснээс 43 нь оролцож, нийт 568 дан үр дүнгээр 45 элемент нэгдлийг тодорхойлсон байна.

Оролцогч лабораториуд нь өөрсдийн батлагдсан шинжилгээний аргазүйгээр ур чадварын сорилд оролцсон. Манай лаборатори нь ур чадварын сорилд оролцсон 43 лабораторийн нэг юм.

Оролцогчдын ашигласан шинжилгээний аргуудыг нэгтгэвэл багажит шинжилгээний аргыг зонхилон ашигласан байна. Нийт хэмжигдсэн үзүүлэлтүүдийн 22.36% нь энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн спектрометр (EDXRF), 3.5% нь долгионы уртаар ялгах спектрометр (WDXRF), 13% нь бөөмөөр өдөөгдсөн рентген цацаргалтын (PIXE), 9% нейтрон идэвхжилийн анализ (NAA), 10% индукцийн холбоост плазм масс спектрометрийн арга (ICP-MS) гэх мэт багажит шинжилгээний арга ашиглан шинжилгээг гүйцэтгэсэн байна.



Зураг 1. Оролцогчдын ашигласан шинжилгээний аргууд.

ЦФСТ-д хийсэн рентгенфлуоресценцийн шинжилгээний дүнг PTXRFIAEA14 сорилт хэмжилтийн дээжинд хийсэн элементийн анализын тогтоосон утгатай харьцуулан хүснэгт 1-д үзүүлэв. Стандарт дээжийн өгөгдөлөөс хамааран зэс, цайр, натри зэрэг элементүүд ур

чадварын сорилтын дээжийн тогтоосон утгаас бага зэрэг зөрүүтэй гарсан. Бусад элементийн агуулга алдааны мужид тохирч байгаа нь харагдаж байна.

Хүснэгт 1. ОУАЭА-ын ур чадварын сорилтын агаарын тоосонцрын дээжинд хийсэн элементийн анализын дүн.

Д/д	Элемент	УЧС-ын дээжийн стандарт утга	ЦФСТ, РФШ-ээр тодорхойлсон утга	Нэгж
1	Na	3360±158	2105±316	мг/кг
2	Mg	1.083±0.043	1.308±0.196	%
3	Al	3.410±0.113	3.894±0.584	%
4	Si	10.610±0.297	10.559±1.58	%
5	S	2930±141	2887±433	мг/кг
6	K	0.979±0.039	1.031±0.103	%
7	Ca	2.00±0.16	2.30±0.23	%
8	Ti	2600±127	2688±268	мг/кг
9	Cr	412±26.63	427±42.6	мг/кг
10	Mn	558±34.453	512±51.2	мг/кг
11	Fe	5.080±0.159	5.139±0.513	%
12	Ni	243±17.006	242±24.1	мг/кг

ДҮГНЭЛТ

PTXRFIAEA14: (Determination of elemental composition of a Urban Dust Loaded on Air Filter) сорил хэмжилтэд ирсэн агаарын тоосонцрын дээжид рентген-флуоресценцийн анализын аргаар агаарын тоосонцрын үүсгүүр тодорхойлдог үндсэн элементүүд болох Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni зэрэг 14 элементийн үр дүнг тооцоолж оролцсон.

Бидний шинжилгээний үр дүн нь энэхүү ур чадварын сорилтын дээжийн тогтоосон утгын z онооны шалгуураар тооцоход “хангалттай” үнэлэгдсэн нь бидний боловсруулсан аргын үнэмшлийг баталгаажуулав.

Энэхүү ур чадварын сорилтын дүнд үндэслэн агаарын тоосонцрын дээжид элементийн агуулгыг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн анализын аргачлалдаа зохих засвар оруулаад байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Worldwide Open Proficiency Test for Analytical Laboratories PTXRFIAEA 10 Determination of Major, Minor and Trace Elements in a Sandy Soil, Austria, December 2013.
- [2] Worldwide Open Proficiency Test for X-ray Fluorescence Laboratories PTXRFIAEA 13 Determination of Major, Minor and Trace

Elements in a Clay sample, Austria, November 2017.

- [3] Г.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, Н.Отгонпүрэв. “Сорил Хэмжилтийн Дээжид Нейтрон Идэвхжилийн Аргаар Хийсэн Элементийн Шинжилгээний Дүн” МУИС. ЭШБ ФИЗИК №23 (455), pp.48-51.2015.
- [4] Worldwide Open Proficiency Test for Analytical Laboratories involved in Air Pollution Studies PTXRFIAEA14 Determination of elemental composition of a Urban Dust Loaded on Air Filter, Austria, August 2018.
- [5] Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцорын (PM) бохирдолын төлөв байдлын судалгаа. Цөмийн цацрагийн хэрэглээ, Шинжлэх ухааны суурь судалгааны сэдэвт ажлын тайлан Улаанбаатар, 2014-2016.
- [6] П.Зузаан, С.Даваа, Д.Болортуяа “Рентгенфлуоресценцийн шинжилгээний онол, аргазүйн судалгаа” Улаанбаатар, 2012.
- [7] D.Shagjamba, S.Lodoysamba, G.Gerelmaa and P.Zuzaan “Some Review for Identification of Air Pollution Sources of Ulaanbaatar City using EDXRF Analysis” The 4th International Conference of X-Ray Analysis, Ulaanbaatar, Mongolia, pp.33, 8-12 June 2015.

- [8] Ур чадварын сорилтын хөтөлбөрийн тайлан- Геологийн төв лаборатори.
- [9] www.pt-nsil.com.
- [10] International Organization for standardization, Conformity assessment-General requirements for proficiency testing, ISO/IEC/DIS 17043:2008, ISO, Geneva, 2008.
- [11] Thompson, M.Wood, R., “The international harmonized protocol for the proficiency testing of (chemical) analytical laboratories”, Journal-Association of official Analytical Chemists.76, pp.926-940, 1993.

Газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн улирлын явцын тогтвортой хэсгийн загварчлал

С.Жамъян, Ж.Баттогтох, З.Болд, Д.Бямбажав, Э.Дамдинсүрэн, Ж.Нямжав*

Монгол Улсын Их Сургууль, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Электроник, холбооны инженерчлэлийн тэнхим

Радио хугарлын илтгэгч нь радио долгионы тархалт болон радио системийн төлөвлөлтөд чухал параметр болдог. Энэ судалгааны ажлаар газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн улирлын явцын загварыг Улаанбаатар хотын хувьд Гауссын функцийг ашиглан гаргасан. Бид радио хугарлын илтгэгчийн улирлын явцын загварыг сонгоход үндсэн хоёр шаардлага тавьсан. Нэгдүгээрт, загвар нь улирлын явцын ерөнхий шинж төрхтэй таарах ёстой. Хоёрдугаарт, загвар нь цөөн параметртэй байх ёстой. Ингэснээр загвар энгийн бөгөөд тооцоолол хялбар болно. Энэ үндсэн шаардлагуудаас гадна статистик хэмжүүрийг тохирох загвар сонгохдоо ашигласан. Үр дүнд нь есөн параметртэй Гауссын функцийг сонгож загварчилсан. Ингэж загварчилснаар тухайн жилийн аль ч өдрийн радио хугарлын илтгэгчийн утгыг таамаглах боломжтой болсон.

Түлхүүр үгс: Радио хугарлын илтгэгч, Гауссын функц, Радио долгион тархалт

УДИРТГАЛ

30 МГц-с өндөр давтамжтай радио долгионы энерги ионосферээс ойдоггүй [1] учир тархаж буй орны шинж чанарын өөрчлөлтөд агаар мандлын доод давхаргын нөлөө буюу радио хугарлын илтгэгчийн нөлөө их байдаг. Агаар мандлын доод давхарга ялангуяа тропосферийн мужид радио долгион тархахад радио хугарлын илтгэгч гол параметр болдог. Хэрвээ радио долгион чөлөөт огторгуйд тархах бол шулуун замаар тархдаг. Харин дэлхийн агаар мандалд тархсан радио долгион агаар мандлын хугарлын илтгэгчийн өөрчлөлтөөс хамаарч долгион тархах зам мурийдаг. Тархах замын мурийлт нь радио хугарлын илтгэгчийн босоо градиентээр тодорхойлогддог. Бидэнд радио хугарлын илтгэгчийн газрын гадаргуу орчмын өгөгдөл байгаа боловч босоо градиентийн өгөгдөл байхгүйн улмаас тооцоо хийх боломжгүй. Хэдий тийм ч газрын гадаргуу орчмын хугарлын илтгэгч газрын гадаргуугаас дээших хугарлын илтгэгчийн утгуудтай маш хүчтэй хамааралтай бөгөөд газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн утгаас босоо градиентийг таамаглах судалгаа хийгдсэн байдаг [3]-[5].

Хугарлын илтгэгчийн өөрчлөлтийн жигд бус тархалтаас үүдэлтэй радио долгионы мурийлт нь олон замын тархалт, интерференц, долгион тархаж буй орчны саад зэргээс үүссэн унтралт гэх мэт тааламжгүй үр нөлөөг авч ирдэг [2].

Эдгээр үр нөлөө нь радио холбоо, навигац, радарын системүүдэд муугаар нөлөөлдөг.

Радио хугарлын илтгэгчийг радио долгион чөлөөт огторгуйд тархах хурдыг тодорхой орчинд тархах хурдтай харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлдог:

$$n = \frac{V_{fs}}{V_m} \quad (1)$$

Үүнд: V_{fs} болон V_m нь долгион чөлөөт огторгуйд болон бусад орчинд тархах хурд.

Газрын гадарга орчим радио хугарлын илтгэгч (n) ойролцоогоор 1.0003 байдаг. Гэхдээ практикт радио хугарлын илтгэгчийн индекс (РХИИ) N , ($N - units$) гэсэн хэмжигдэхүүнийг ашигладаг ба энэ нь дараах илэрхийллээр тодорхойлогддог:

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (2)$$

Радио хугарлын илтгэгчийн индексийг шууд болон шууд бус аргаар тодорхойлж болдог. Шууд бус аргад цаг уурын параметрууд болох агаарын температур, даралт, харьцангуй чийгшлээс хамааруулж тодорхойлж болдог. Хэрвээ хэмжилтийн төхөөрөмж гэрлийн хурдыг хэмжиж чаддаг бол шууд аргаар тодорхойлох боломжтой. Шууд хэмждэг төхөөрөмж нь радио давтамжийн рефрактометр ба рефрактометр ашиглан шууд тодорхойлох нь агаарын температур, даралт, чийгшил гэсэн гурван

* Electronic address: nyamjav@num.edu.mn

параметрээс хамааруулж хугарлын илтгэгчийн тодорхойлохоос хялбар. Гэвч рефрактометрүүд нь нарийн төвөгтэй бүтэцтэйгээс гадна үнэ өртөг ихтэй байдаг. Иймд практикт радио хугарлын илтгэгчийн индексийг шууд бус аргаар тодорхойлдог.

Радио хугарлын илтгэгчийн индексийг Б.Р.Бийний тодорхойлсноор бичвэл [1]:

$$N = N_{dry} + N_{wet} = \frac{77.6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right) \quad (3)$$

Р-агаарын даралт (hPa), Т-абсолют температур (K), e-усны уурын даралт (hPa). Температур болон даралтыг цаг уурын станцын мэдээллээс шууд авч болох бөгөөд усны уурын даралтыг агаарын чийгшлээс тодорхойлбол:

$$e = \frac{H e_s}{100} \quad (4)$$

$$e_s = a \exp \left(\frac{bt}{t+c} \right) \quad (5)$$

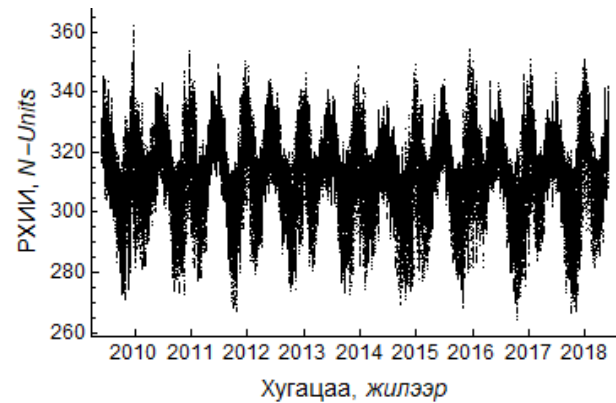
Үүнд: Н-харьцангуй чийгшил (%), t-Цельсийн температур (°C), e_s-ханасан уурын даралт (hPa), a, b, c- тогтмол утгууд ба усанд a = 6.1115, b = 17.502, c = 240.97, мөсөнд a = 6.1115, b = 22.452, c = 272.55 байна.

Бид Б.Р.Бийний тодорхойлсноор цаг уурын өгөгдөл дээр тулгуурлаж газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн индексийн утгуудыг тооцоолсон. Цаг уурын өгөгдөл улирлаас хамаарч өөрчлөгддөг учир радио хугарлын илтгэгчийн утгууд мөн улирлаас хамаарч өөрчлөгддөг. РХИИ-н утгуудаас улирлаас хамаарсан ерөнхий төрхийг олон жилийн дунджаар тодорхойлох боломжтой. Олон жилийн утгуудыг дундчилснаар улирлын явцын тогтвортой утгуудыг авна. Энэ судалгааны ажлаар Улаанбаатар хотын цаг уурын 9 жилийн өгөгдөл дээр тулгуурлаж газрын гадарга орчмын радио хугарлын илтгэгчийн индексийн улирлын явцыг загварчилсан. Энэ загварыг ашиглан РХИИ-н утгуудыг жилийн аль ч өдрийн хувьд таамаглах боломжтой болно.

ӨГӨГДӨЛ

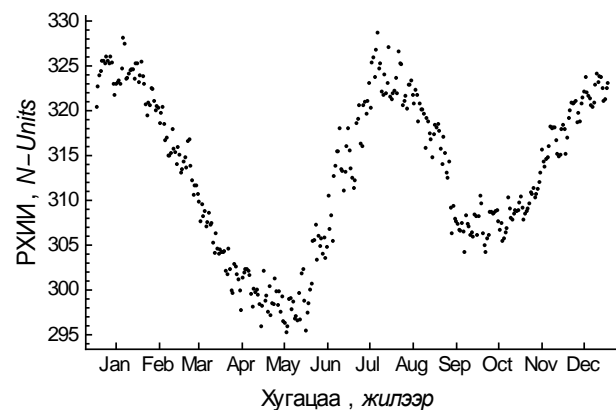
Улаанбаатар хотын WMO44292 дугаартай цаг уурын станцын 2010 оны 1 сараас 2019 оны 1 сар хүртэлх цаг уурын өгөгдлийг ашиглаж (3) илэрхийллийн дагуу РХИИ-г тодорхойлсон. Цаг уурын хэмжилт 30 минут тутамд хийгдсэн ба

хэмжилтийн утгуудыг SWOP [6] сангаас авч ашигласан. Цаг уурын өгөгдлийн 7% орчим хаягдсан байсан бөгөөд энэ хаягдсан утгуудыг шугаман интерполяцын аргаар тооцоолж өгөгдлийг нөхсөн. Есөн жилийн эдгээр РХИИ-н утгууд дээр тулгуурлаж улирлын явцыг загварчилсан. Зураг 1-д 9 жилийн РХИИ-н утгуудыг үзүүлсэн.



Зураг 1. 2010-2018 оны РХИИ-н утгууд.

Бидний зорилго РХИИ-н улирлын явцыг загварчлах бөгөөд Зураг 1-д үзүүлсэн утгууд улирлын явц болон өдрийн явцыг хамт агуулсан. Тиймээс өдөр болон жилээр РХИИ-н утгуудыг дундчилснаар өдрийн явцыг арилгаж олон жилийн тогтвортой утгуудыг гаргаж авна. Есөн жилийн РХИИ-н дундаж утгуудыг Зураг 2-д үзүүлэв.



Зураг 2. РХИИ-н жилийн дундаж утгууд.

РХИИ-н дундаж утгуудаас харахад өвөл, зуны улиралд өндөр, хавар, намар бага утгатай байна. Учир нь өвөл агаарын температур болон усны уурын даралт бага байх бөгөөд зун болоход энэ хоёр параметр ихсэж эсрэгээрээ агаарын даралт зун бага өвөл өндөр байдагтай холбоотой.

АРГА ЗҮЙ

Бид РХИИ-н улирлын явцын загварчлалд үндсэн хоёр шаардлагыг тавьсан. Нэгдүгээрт, улирлын

явцын загвар РХИИ-н жилийн дундаж утгуудын ерөнхий шинж төрхтэй таарах ёстой. Өөрөөр хэлбэл РХИИ-н утгуудыг хэт дагахгүй байх хэрэгтэй. Энэ шаардлагыг хангахын тулд сонгогдсон загвар жилийн дундаж утгууд болох Зураг 2-д үзүүлсэн утгуудтай графикийн хувьд таарах ёстой. Хоёрдугаарт, сонгогдсон загвар цөөн параметрүүдтэй байх ёстой. Ингэснээрээ загвар нь энгийн бөгөөд тооцоолоход хялбар болно. Мөн цөөн параметртэй загвар нь РХИИ-н утгуудыг хэт дагахгүй гэсэн бидний тавьсан эхний шаардлагыг биелүүлнэ.

Дээрх хоёр шаардлагаас гадна алдаануудын квадратуудын нийлбэр (SSE), бодит утгууд болон таамагласан утгуудын хоорондын хамаарлын квадрат (R^2), квадрат дундаж алдаа (RMSE) зэрэг статистик хэмжүүрүүд сайн загвар сонгоход тусална. Гэхдээ статистик хэмжүүрүүдээс илүү графикийн хэмжүүр нь илүү ач холбогдолтой. Учир нь график хэмжүүр загварчлал өгөгдөлд хир тохирч байгааг бүхэлд нь харах боломжийг бидэнд олгох ба загвар болон бодит РХИИ-н утгуудын хамаарлыг хялбар харуулдаг. Статистик хэмжүүрүүд нь хязгаарлагдмал хүрээнд өгөгдөлд үнэлгээ өгдөг бөгөөд өгөгдлийн мэдээллийг ганц тоогоор тодорхойлдог дутагдалтай. Практикт бодит өгөгдлөөс хамаараад сайн загвар сонгохдоо график хэмжүүр болон статистик хэмжүүрийг аль алийг нь хэрэглэж болдог.

Бид энэ судалгааны ажлаар Гауссын функцийг ашиглан РХИИ-н улирлын явцыг загварчлахыг зорьсон. Учир нь Зураг 2-с харахад РХИИ-н утгууд хэд хэдэн хонх хэлбэрийн муруйнуудаас тогтсон байна. Тухайлбал 1-р сараас 5-р сар хүртэлх утгууд хагас хонх хэлбэртэй, 5-р сараас 10-р сар хүртэлх утгууд бүтэн хонх хэлбэртэй мөн 8-р сараас 12-сар хүртэлх утгууд мөн хагас хонх хэлбэртэй байна. Гауссын функц бидэнд хонх хэлбэрийн муруйг өгч чадна. Хонх хэлбэрийн муруйг өгөх Гауссын функц дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ:

$$N(d) = \sum_{i=1}^m a_i e^{\left[-\left(\frac{d-b_i}{c_i}\right)^2\right]} \quad (6)$$

Энд: d нь тухайн өдрийг заах ба a нь хонхны амплитуд буюу өндөр, b хонхны байрлал, c хонхны өргөн, m нь хэчнээн хонх ашиглахыг заана. Эдгээр нь Гауссын функцийн параметрүүд ба эдгээр параметрүүдийг Улаанбаатар хотын РХИИ-н жилийн явцыг илэрхийлж чадахаар олно. Бид загвар сонгохдоо

цөөн параметртэй байх гэсэн шаардлага тавьсан бөгөөд (6) илэрхийллээс харахад Гауссын функцийн параметрийн тоо $m \times 3$ байна. Загварыг үнэлэх статистик хэмжүүрүүдийг дараах байдлаар тооцоолно:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (7)$$

Энд: y_i нь РХИИ-н бодит утга бол \hat{y}_i нь загварчлалаар олсон утга.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (8)$$

Квадратуудын нийлбэр (SST) нь дараах томъёогоор олдоно:

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (9)$$

Энд: \bar{y} нь РХИИ-н дундаж утга.

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (10)$$

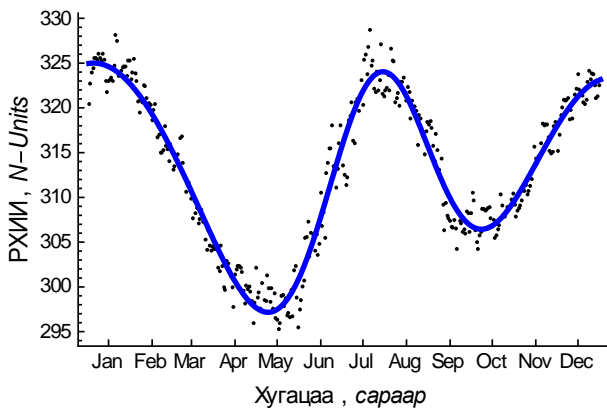
Үүнд: MSE нь дундаж квадрат алдаа.

SSE нь статистик загвар болон бодит утгын хоорондох зөрүүг хэмждэг. SSE-ийн утга бага байх тусмаа загвар өгөгдөлтэй сайн таарч байгааг илтгэдэг.

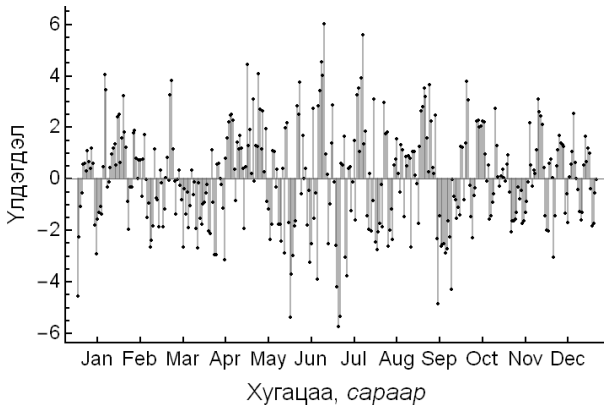
R^2 статистик нь загвараар олсон утгууд болон бодит утгуудын хоорондох хамаарлыг өгдөг. Авах утга нь 0-с 1-ийн хооронд байх ба 1-тэй ойролцоо бол бодит өгөгдөл дэх нийт вариацийг загварт агуулж чадсан байна гэдгийг илтгэдэг. RMSE нь статистик бодит утгууд болон загварын өгөх утгуудын хоорондох ялгааг хэмждэг. Иймд RMSE-ийн утга бага байх нь сайн загвар болсныг илэрхийлдэг.

ҮР ДҮН

Гауссын функцийн $m = 1$, $m = 2$ тохиолдолд буюу 3 болон 6-н параметртэй үед улирлын явцыг загварчлах боломжгүй. Учир нь Зураг 2-с харахад дор хаяж гурван хонх байна. Доорх зурагт $m = 3$ үед Гауссын функцээр жилийн дундаж утгуудыг МАТЛАБ программыг ашиглан дүйцүүлэлт (fitting) хийснийг үзүүлсэн. Зураг 3-с харахад Гауссын функцээр загварчилсан загвар жилийн дундаж утгуудын ерөнхий төрхтэй таарч байна. Энэ нь бидний нэгдүгээр шаардлагыг хангаж байна. Мөн $m = 3$ үед нийт параметрийн тоо 9 байна.



Зураг 3. РХИИ жилийн дундаж утгууд болон $m=3$ үеийн Гауссын функцийн загварчлал (тасралтгүй шугам).



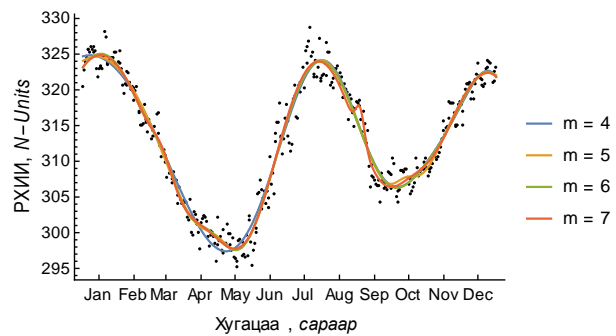
Зураг 4. Гауссын функцийн $m=3$ үеийн загвар болон РХИИ жилийн дундаж утгын ялгавар.

РХИИ-н жилийн дундаж утгуудаас $m = 3$ тохиолдолд Гауссын загварын утгуудыг хассан үлдэгдлийг Зураг 4-д үзүүлсэн. Үлдэгдлийн эдгээр утгууд тохирох загварыг сонгоход гол үүрэгтэй. Хэрвээ үлдэгдлийн утгууд тодорхой хэлбэртэй (pattern) байвал сонгосон загвараас сайн загвар байх боломжтой гэсэн үг бөгөөд хэрвээ үлдэгдлийн утгууд санамсаргүй төрхтэй бол сонгосон загвар өгөгдөлд тохирсон загвар гэж үздэг. Үлдэгдлүүдийн утгаас харахад тодорхой хэлбэр (pattern) харагдахгүй, санамсаргүй төрхтэй байна.

үлдэгдэл=өгөгдөл-загвар

Дээрх шалгууруудаас гадна статистик хэмжүүрүүд болох (7), (8), (10) томъёогоор илэрхийлэгдэх үр дүнг хүснэгт 1-д үзүүлсэн. SSE, RMSE утгууд 0-тэй ойролцоо, R^2 утга 1-тэй ойролцоо байвал загвар өгөгдөлтэй сайн таарсан гэж үздэг.

Зураг 5-д $m = 4, m = 5, m = 6, m = 7$ тохиолдолд Гауссын загваруудыг үзүүлсэн.



Зураг 5. Гауссын функцийн $m=4$ үеийн загвар болон дундаж утгын ялгавар.

Зураг 5-с харахад $m = 4$ үеийн Гауссын загвар $m = 3$ үеийн Гауссын загвартай маш ойролцоо байна.

Харин $m = 6$ болон $m = 7$ үеийн Гауссын загварууд РХИИ-н утгуудыг илүү дагасан байна. Гэвч $m = 6$ үед Гауссын загварын параметрийн тоо 18, $m = 7$ үед 21 бөгөөд энэ нь бидний тавьсан хоёр дахь шаардлагыг биелүүлэхгүй байна. Иймд бид $m = 3$ үеийн 9 параметртэй Гауссын загварыг Улаанбаатар хотын газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн индексийн улирлын явцын загвараар сонгосон. Хүснэгт 1-д $m = 3, 4, 5, 6, 7$ үеийн статистик хэмжүүрүүдийн утгуудыг үзүүлсэн. Хүснэгт 2-т бидний сонгосон $m = 3$ үеийн Гауссын загварын параметрүүдийг үзүүлсэн.

Хүснэгт 1. Гауссын загварын статистик хэмжүүрүүд.

Гауссын гишүүн	SSE	R^2	RMSE
$m = 3$	1.3334e+03	0.9520	1.9353
$m = 4$	1.3223e+03	0.9524	1.9354
$m = 5$	1.2012e+03	0.9568	1.8525
$m = 6$	1.2067e+03	0.9566	1.8648
$m = 7$	1.1319e+09	0.9593	1.8140

Хүснэгт 2. Гауссын загварын параметрүүд.

Гауссын функцийн параметрүүд								
a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2	a_3	b_3	c_3
46.48	206.8	57.58	319.4	-8.7	206.4	292	401.8	203.4

ДҮГНЭЛТ

Бид энэхүү судалгааны ажлаар Улаанбаатар хотын газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн индексийн улирлын явцыг Гауссын функцээр загварчиллаа. Олон параметртэй Гауссын функцийн загвар радио хугарлын илтгэгчийн индексийн улирлын явцтай илүү таарч байсан хэдий ч тооцооллын хувьд төвөгтэй, улирлын явцын утгуудыг хэт дагаж

байсан учраас 9 параметртэй загварыг сонгосон. Бидний сонгож загварчилсан энэ загвар цөөн параметртэйгээс гадна РХИИ-н улирлын явцын ерөнхий төрхийг бүрэн агуулсан. Гауссын функцээр тодорхойлсон улирлын явцын загварыг ашиглан Улаанбаатар хотын РХИИ-н утгуудыг бүрэн тодорхойлох боломжтой болсон.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Bean.B.R, Dutton.J.E (1966), “Radio Meteorology”, NBS Monograph no. 92, Superintendent of Documents, U.S.Government Print Office.
- [2] Lavergnat.J, Sylvain.M (2000), “Radio Wave Propagation: Principles and Techniques”, John Wiley & Sons., ISBN 0-471-49027-X, Chichester, UK.
- [3] Bean.B.R, Thayer.G.D, Cahoon.B.A, “Methods of Predicting the Atmospheric Bending of Radio Rays” Journal of research of the National Bureau of Standards2D. Radio Propagation, vol. 64, no. October, 1960.
- [4] Schiavone.J.A, “Prediction of Positive Refractivity Gradients for Line-of-Sight Microwave Radio Paths,” Bell Syst. Tech. J., vol. 60, no. 6, pp. 803–822, Jul. 1981.
- [5] Salamon.S.J, Hansen.H.J, D. Abbott.D, “Prediction of Surface Refractivity Gradient Distributions, from Weather Station Surface Data” The 8th European Conference on Angennas and Propagation, April, pp. 296–300, 2014.
- [6] Citizen Weather Observer Program, CWOP Database. [Online]. Available: www.wxqa.com.

ГАРЧИГ

1. Өндөр температурын хийн реакторын голомтын нейтроник анализд “SERPENT” кодыг ашиглах нь	
Т.Жамъянсүрэн, С.Одмаа, Б.Мөнхбат, Н.Норов	1
2. WSe₂-ийн гадаргуугийн скандагч туннелийн микроскопийн судалгаа	
Д.Отгонбаяр, Г.Мөнхсайхан, Б.Одонтуяа, Д.Наранчимэг	7
3. (Ca_xSr_{1-x})Si₅N₈:Eu²⁺-ийг гарган авах болон түүний гэрлийн цацаргалтын судалгаа	
С.Баасанжав, Н.Төвжаргал, Цогхүү, О.Төгс, Ж.Даваасамбуу	11
4. Структура и электрические свойства на переменном токе титан-фуллереновых пленок	
Шпилевский Э.М., Филатов С.А., Филатова О.С., Замковец А.Д, Шилагарди Г., Улам-Оргих Д, Тимур-Батор Д, Мунхцецег С., Тувшинтур П, Эрдэнэбатор Д	15
5. Зорчигчийн вагоны эд ангиудыг үл эвдэх сорилоор шалгах аргачлал	
Ц. Байгальмаа, Т. Шинэбаяр, О.Алтантуяа, Т.Жавзандулам	20
6. Монгол улсад тохиромжтой цөмийн сургалт, судалгааны реакторын дизайны судалгаа	
А.Цэндсүрэн, Г.Дамдинсүрэн, С.Даваа, Б.Мөнхбат	24
7. Будгаар идэвхжүүлсэн нарны элементийн үзүүлэлтийг TiO₂ электродын гадаргуун боловсруулалтаар сайжруулах судалгаа	
Ж.Түмэнхүслэн, Т.Угтахбаяр, Алтанбулаг, Н.Төвжаргал, Алата, Ж.Даваасамбуу, О.Төгс	31
8. Ялгаатай хэмжээтэй мөнгөний нанопартиклын химийн урвалын катализаторын идэвхийн судалгаа	
Б.Ихбаяр, Т.Анхбаяр, Н.Эрдэнэ, Х.Тэгшжаргал, Р.Галбадрах, Г.Эрдэнэ-Очир	36
9. Импортын зарим турмерик нунтгийн элементийн шинжилгээний урьдчилсан дүн	
Н.Отгонпүрэв, Д.Болортуяа, П.Зузаан	41
10. Антипротон устөрөгчийн атомын мөргөлдөөний иончлолын дан ба хоёрлосон дифференциал огтлолууд	
Г.Зоригт, Л.Хэнмэдэх, Ч.Алдармаа	45
11. Зарим хүнсний ногоонд макро, микро элемент тодорхойлох атом-цөмийн аргагүйн судалгаа	
Г.Дамдинсүрэн, А.Цогзолмаа, Ц.Амартайван, Д.Болортуяа, П.Зузаан	52
12. Мазаалай хиймэл дагуулын газрын станцын хөгжүүлэлт зарим үр дүн	
У.Төгөлдөр, Т.Ариунболд, М.Ананд, Э.Өсөхбаяр, Д.Амартүвшин, Т.Төртогтох, М.Алтансүх, Т.Бэгзсүрэн, Д.Улам-Оргих, Д.Эрдэнэбаатар	57
13. Агаарын PM_{2.5} тоосонцорын морфологийн харьцуулсан судалгаа (2011, 2018 он)	
Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, П.Зузаан, Д.Шагжжамба, Ц.Амартайван	65

14. **Зөөлөн Рентген туяаны проекцлогч микроскопоор авсан биологийн объектын зургийг итерацийн аргаар шинжлэх судалгаа**
Б. Дүүрэнбуян, Ж. Эрдэнэтогтох, Ж. Ванчинхүү, Т. Шийна, А. Ито 69
15. **Альфа+протон системийн резонанс төлөвүүдийг комплекс хувиргалтын арга ашиглан тодорхойлсон нь**
А.Золбаяр, Г.Хүүхэнхүү, А. Сарсембаева, М. Одсүрэн 74
16. **Монгол улсад анх удаа суурилагдсан “CLINAC iX” шугаман хурдасгуур аппаратын фотон цацрагийн комишонинг, түүний ач холбогдол**
В.Энхцэцэг, Ш.Мөнхбат, Ч.Болорчимэг, Ц.Болортуяа, С.Ариунсанаа, В.Эрдэнэбилэг, Г.Одонтуяа, Г.Навчаа, М.Минжмаа 78
17. **Агаарын тоосонцрын олон улсын ур чадварын сорилтын шинжилгээнд оролцсон дүн**
Н.Отгонпүрэв, Д.Болортуяа, Д.Шагжжамба, П.Зузаан 90
18. **Газрын гадаргуу орчмын радио хугарлын илтгэгчийн улирлын явцын тогтвортой хэсгийн загварчлал**
С.Жамъян, Ж.Баттогтох, З.Болд, Д.Бямбажав, Э.Дамдинсүрэн, Ж.Нямжав 94