

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ

МУИС-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг

ФИЗИК

№23 (455)



МУИС ПРЕСС ХЭВЛЭЛИЙН ГАЗАР
2016 он

Редакцийн зөвлөл:

Зөвлөлийн дарга:

Др, Проф. Х.Цоохүү
Монгол Улсын Их Сургууль

Гишүүд:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. Док. Проф. Б.Бурмаа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 2. Др. О.Чулуунбаатар | ЦШНИ, Дубна, ОХУ |
| 3. Док. дэд проф. Р.Галбадрах | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 4. Док. дэд проф. Ж.Ванчинхүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 5. Док. дэд проф. Ц.Баатарчулуун | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 6. Док. дэд проф. М.Цогбадрах | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 7. Док. П.Алтанцог | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 8. Док. Ж.Нямжав | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 9. Док. Н.Төвжаргал | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 10. Док. Б.Мөнхбат | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 11. Док. П.Мөнхбаатар | Монгол Улсын Их Сургууль |

Дугаарыг эмхтгэсэн:

Редакцын зөвлөлийн нарийн бичгийн дарга

Док. 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, 2016

ISSN 2311-1097

“ФИЗИК, ФИЗИК БОЛОВСРОЛЫН АСУУДАЛ”

Монголын физикийн нийгэмлэгийн

эрдэм шинжилгээний хурал

2016 оны 10-р сарын 28-29

Санхүүжүүлэгч байгууллага:



Боловсрол, Соёл, Шинжлэх
ухаан, спортын яам



Монголын Физикийн Нийгэмлэг



Монгол Улсын Их Сургууль



Физик, байгалийн ухааны
боловсролын төв

Хамтран зохион байгуулагч:

МУИС-ийн Шинжлэх ухааны сургуулийн Байгалийн ухааны салбар

ШУА-ийн Физик технологийн хүрээлэн

МУБИС-ийн Математик байгалийн ухааны сургууль

ШУТИС-ийн Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль

МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төв

Хурлын программын комисс:

Дарга: Акад. Х.Намсрай
Монголын физикийн нийгэмлэгийн удирдах
зөвлөлийн дарга

Гишүүд:

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Акад. Ц.Баатар | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 2. Акад. Т.Галбаатар | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 3. Акад. Р.Тогоо | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 4. Проф. Д.Сангаа | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 5. Док. П.Алтанцог | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 6. Проф. Х.Цоохүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 7. Проф. Г.Хүүхэнхүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 8. Проф. С.Даваа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 9. Проф. Л.Энхтөр | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 10. Проф. Д.Улам-Оргих | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 11. Проф. Ж.Ванчинхүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 12. Проф. П.Энхбаяр | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 13. Проф. Ц.Баатарчулуун | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 14. Проф. Ш.Чадраабал | Шинжлэх Ухаан, технологийн их сургууль |
| 15. Проф. Н.Алтангэрэл | Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль |

Хурал зохион байгуулах хороо:

Дарга: Проф. Ж.Даваасамбуу
Монголын физикийн нийгэмлэгийн ерөнхийлөгч

Гишүүд:

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Проф. Ц.Амартайван | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 2. Проф. Н.Цогбадрах | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 3. Проф. Р.Галбадрах | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 4. Док. Ц.Энхбат | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 5. Док. Н.Төвжаргал | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 6. Док. Г.Эрдэнэ-Очир | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 7. Док. Г.Сэвжидсүрэн | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 8. Док. Г.Мөнхсайхан | Шинжлэх Ухаан, технологийн их сургууль |
| 9. Я.Мөнхсайхан | Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль |

Хурлын хөтөлбөр

2016 оны 10-р сарын 28, Баасан гариг		
Цаг	Илтгэгч	Илтгэлийн сэдэв
13.00-14.00	Хурлын бүртгэл, МУИС-ийн 1-р байр, Дугуй заал	
14.00-14.15	Нээлт	МФН-ийн ерөнхийлөгч, Проф.Ж.Даваасамбуу ШУА-ийн ерөнхийлөгч Акад. Д.Рэгдэл МУИС-ийн захирал Док. Р.Бат-Эрдэнэ
14.15-15.00	Хурлын дарга	Проф. Ш.Чадраабал
	<u>А.В.Белушкин</u> , Д.П.Козленко	Синхротронные и нейтронные методы исследования вещества. Антагонисты, соперники или союзники?
15.00-15.15	<u>Ts.Baatar</u> , R.Togoo, A.I.Malakhov, B.Otgongerel, G.Sharkhuu, T.Tulгаа	The Hadron Production in π^- -C Interaction at 40 GeV/c and QCD Phase Transition
15.15-15.30	<u>Д.Дамбасүрэн</u> , Б.Борхүү, Н.Төвжаргал	Грасманы хувьсагчийг ашиглах каноник хувиргалтын тухайд
15.30-15.45	<u>Д.Сангаа</u> , Б.Тэмүүжин, Э.Баянжаргал, Б.Энхмэнд, Н.Цогбадрах, Х.Хиразава, Э.Уянга, И.А.Бобриков, Ш.Чу	Феррит нано соронзон материалын био-анагаахын хэрэглээ
15.45-16.00	<u>L.Enkhtor</u> , V.M.Silonov, Ts.Gantulga	Short Range Order and Static Displacements of Atoms in Polycrystalline Solid Solution of Fe-5 at. %Re
16.00-16.30	Цайны завсарлага	
	Хурлын дарга	Проф. Д. Сангаа
16.30-16.45	<u>Г.Мөнхсайхан</u> , С.Палл, Л.Оттавиано	Молибдений дисульфидын нимгэн үед атомын хүчний микроскопийн тусламжтай литографи явуулах аргачлал
16.45-17.00	<u>Г.Батдэмбэрэл</u>	Дулааны Цахилгаан Станцын Шатаасан Нүүрсний Үнсний Эрдсийн Найрлага, Кристалл Бүтцийн Судалгаа
17.00-17.15	<u>Н.Төвжаргал</u> , Ж.Даваасамбуу, У.Пьетч	Берлинитийн пьезо-цахилгаан эффектийн судалгаа
17.15-17.30	<u>П. Түвшинтөр</u> , Д.Төмөрбаатар, Г.Шилагарди, Х. Цоохүү нар	Холлын хувиргагч ба түүний хэрэглээ
17.30-17.45	<u>Д.Улам-Оргих</u> , Р.Цолмон, П.Түвшинтөр, Д.Эрдэнэбаатар, Т.Төртогтох, Д.Амартүвшин, Т.Бэгзсүрэн, Mengu Cho	Монголын анхны хиймэл дагуул: боломж, ирээдүй
18.00-21.00	Хүлээн авалт	

2016 оны 10-р сарын 29, Бямба гариг		
Цаг	Илтгэгч	Илтгэлийн сэдэв
09.00-09.15	Хурлын дарга	Проф. Г.Хүүхэнхүү
	<u>С.Одмаа</u> , Г.Энхбаатар, Н.Норов	Задралын дулаанаа идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай, төвдөө ойлгогчтой ба ойлгогчгүй өндөр температурын хийн хөргөлттэй реакторын дизайны параметруудийн харьцуулсан судалгаа
09.15-09.30	<u>Ц.Жавзандолгор</u> , Ч.Буянтогтох, Ц.Амартайван, Я.Ганболд	Бүрэн ойлтын рентгенфлуоресценцийн спектрометр ашиглан биологийн дээжинд хартугалга тодорхойлсон дүн
09.30-09.45	<u>Г.Дамдинсүрэн</u> , П.Зузаан, Н.Отгонпүрэв	Сорил Хэмжилтийн Дээжид Нейтрон Идэвхжилийн Аргаар Хийсэн Элементийн Шинжилгээний Дүн
09.45-10.00	<u>Н.Норов</u> , С.Одмаа, Т.Жамъянсүрэн, Г.Энхбаатар, М.Энхбаатар, О.Чимэдцэрэн	Устөрөгчийн эрчим хүчийг монголд хөгжүүлэх асуудалд
10.00-10.15	<u>Д.Отгонсүрэн</u>	Уранан "Квинта" төхөөрөмжийг релятив цөмөөр шарсан процесс дахь нейтрон-физикийн үзүүлэлтүүд
10.15-10.30	<u>Ц.Амартайван</u> , С.Одмаа, М.Чадраабал	Монголын цөмийн салбарын хүний нөөцийн төлөвлөгөө: 2009 ба 2016 он
10.30-11.00	Цайны завсарлага, Ханын илтгэл	
11.00-11.15	Хурлын дарга	Проф. П.Энхбаяр
	<u>Т. Гун-Аажав</u>	Биологи ба синергетик
11.15-11.30	<u>М.Цогбадрах</u> , Ж.Алтанчимэг, Г.Даваадулам, Т.Бадамхатан	GA-K4 пептидмембраны харилцан үйлчлэл
11.30-11.45	<u>Н.Ариунтуяа</u> , С.Дамдинсүрэн	Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар ислийн концентраци ба урсгал
11.45-12.00	<u>С.Дамдинсүрэн</u> , Н.Баатарбилэг	Шаталтын механизм ба утаагүй зуух
12.00-12.15	Хурлын дарга	М.Ганбат
	<u>Д.Номиндарь</u> , Б.Энхбаатар, Г.Цэндмаа, Э.Оролмаа	Их дээд сургуулийн суралцагсдын төлөвшилд сургалтын технологийг өөрчлөх замаар нөлөөлөх нь
12.15-12.30	<u>Г.Батсүх</u> , Р.Бавуудорж, С.Гэрэлмаа, Г.Баасанжав	Физикийн гүнзгийрүүлсэн сургалтын хөтөлбөр боловсруулах асуудалд
12.30-12.45	<u>Г. Мөнхсайхан</u> , До.Нямсүрэн, Д.Наранчимэг, Б.Одонтуяа, О.Сүх	ШУТИС-ийн физикийн хичээлийн үнэлгээний системийг боловсронгуй болгох аргачлал
12.45-13.00	<u>Р.Энхбат</u> , Х.Балт-Эрдэнэ, Я.Мөнхсайхан, А.Дулмаа, Б.Түвдэндорж, Б.Цогбадрах	Бүх нийтийн физик боловсролыг дэмжих багийн олимпиадын өнөөгийн байдал
13.00-13.15	<u>Я.Мөнхсайхан</u> , Х.Балт-Эрдэнэ, Б.Түвдэндорж, М.Эрдэнэсанаа, Б.Бурмаа	ЕБС-ийн сурагчдын физикийн мэдлэг чадварын төлөвшлийг судалсан дүнгээс
13.15-13.30	Хэлэлцүүлэг, Хаалт	
13.30-14.30	Үдийн хоол	

Ханын илтгэл

1. Ц.Амартайван, О.Сүх "Цөмийн цацраг ашиглан супер ус шингээгч гарган авах туршилтын үр дүн"
2. Ж.Далхсүрэн, "Лазерийн удирдлагат халуун цөмийн урвал явагдах нөхцөлийн онолын тооцоолол ба түүний үндсэн параметруудийн хамаарал"
3. Г.Оюунгэрэл, Г.Батдэмбэрэл "Өндөр энергийн бөмбөгөн тээрмээр гарган авсан ZnO нанобөөмийн судалгаа"
4. Г.Эрдэнэ-Очир, Жү Санг-Ү, "Мөнгөний нано партиклыг ашиглан охратоксин А-г Раман спектрометрээр бүртгэх"
5. М.Отгонбаатар "Cosmic Microwave Background Anisotropy Analysis"
6. Х.Намсрай, М.Пүрэвхүү, С.Саран, Б.Мөнхзаяа "Бутархай зэргийн уламжлал ба түүнийг Физикийн судалгаанд хэрэглэх нь"
7. Б.Хүрэлбаатар, Э.Номин-Эрдэнэ, Ц.Банзрагч "Preliminary result of the $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi(\phi\phi\omega)$ "
8. Д.Наранчимэг, Б.Одонтуяа, О.Сүх, Г.Мөнхсайхан "Оюутны бие даалтын ажлын зохион байгуулалт, үр дүнг дээшлүүлэх нь"
9. С.Дамдинсүрэн "Олон улсын сурагчдын шинжлэх ухааны олимпиад"
10. Я.Мөнхсайхан, М.Эрдэнэсанаа, Б.Гандөш, М.Мөнхболд, Д.Пүрэвдорж, Б.Бурмаа "Шинжлэх ухаанч судалгаанд суралцсан байдлыг ажлын дэвтэр хэрэглэн туршсан дүнгээс"
11. S.Munkhtsetseg, M.Turbold, G. Shilagardi "EPR study of coffee"
12. Э.М.Шпилевский, С.А.Филатов, Г.Шилагарди, П.Түвшинтөр "Получение новых материалов, содержащих углеродные наночастицы"
13. Г.Зоригт, Ч. Алдармаа, Г.Мөнхсайхан "ШУТИС-ийн физикийн сургалтанд нэвтрүүлж буй ажлын үр дүн"
14. T.Enkhtuya, G.Tsermaa, G.Batdemberel, P.Munkhbaatar, Sh.Chadraabal, N.Javkhlantugs "Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles"
15. Ц.Бямбасүрэн, Ц.Отгонтуул, Б.Энхзул, Шабанова Е.В., Васильева И.Е. Д.Цэдэнбалжир, Б.Хүүхэнхүү "Хөрсөн дэх химийн элементүүдийн агуулгыг тодорхойлох атомын спектроскопийн аргуудын харьцуулсан судалгааны үр дүнгээс"

ГАРЧИГ

1. Changes in the Concentration of Carbon Dioxide in the Air S.Damdinsuren, N.Ariuntuya.....	1-4
2. Синхротронные и Нейтронные Методы Вещества. Антагонисты, Соперники или Союзники? А.В.Белушкин, Д.П.Козленко.....	5-23
3. EPR Study of Coffee S.Munkhtsetseg, M.Turbold, G.Shilagardi.....	24-26
4. Preliminary Result of the $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi(\phi\phi\omega)$ E.Nomin-Erdene, Ts.Banzragch, B.Khurelbaatar.....	27-30
5. Получение Новых Материалов, Содержащих Углеродные Наночастицы Э.М.Шпилевский, С.А.Филатов, Г.Шилагарди, П.Тувшинтур.....	31-32
6. Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles T.Enkhtuya, G.Tsermaa, G.Batdemberel, P.Munkhbaatar, Sh.Chadraabal, N.Javkhlantugs.....	33-35
7. Феррит Нано Соронзон Материалын Био-Анагаахын Хэрэглээ Д.Сангаа, Б.Тэмүүжин, Э.Баянжаргал, Б.Энхмэнд, Н.Цогбадрах, Х.Хиризава, Э. Уянга, И.А.Бобриков, Ш.Чу (Chu).....	36-43
8. Шаталтын Механизм ба Утаагүй Зуух С.Дамдинсүрэн, Н.Баатарбилэг.....	44-47
9. Сорил Хэмжилтийн Дээжид Нейтрон Идэвхжилийн Аргаар Хийсэн Элементийн Шинжилгээний Дүн Г.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, Н.Отгонпүрэв.....	48-51
10. Уран Бүхий “Квинта” Төхөөрөмжийг Релятив Цөмөөр Шарсан Процесс Дахь Нейтрон-Физикийн Үзүүлэлтүүд Д.Отгонсүрэн.....	52-56
11. Их Дээд Сургуулийн Суралцагсдын Төлөвшилд Сургалтын Технологийг Өөрчлөх Замаар Нөлөөлөх нь Д.Номиндарь, Б.Энхбаатар, Г.Цэндмаа, Э.Оролмаа.....	57-63
12. Өндөр Энергийн Бөмбөгөн Тээрмээр Гарган Авсан ZnO Нанобөөмийн Судалгаа Г.Оюунгэрэл, Г.Батдэмбэрэл.....	64-67
13. Холлын Хувиргагч ба Түүний Хэрэглээ П.Түвшинтөр, Д.Төмөрбаатар, Г.Шилагарди, Х.Цоохүү, М.Отгонбаатар, В.И.Прокошин, А.П.Драпезо.....	68-72
14. Нүүрсний Үнсний Кристалл Бүтцийн Судалгаа Г.Батдэмбэрэл.....	73-76
15. Задралын Дулаанаа Идэвхгүйгээр Зайлуулах Чадвартай, Төвдөө Ойлгогчтой ба Ойлгогчгүй Өндөр Температурын Хийн Хөргөлттэй Реакторын Дизайны Параметруудийн Харьцуулсан Судалгаа С.Одмаа, Г.Энхбаатар, Н.Норов.....	77-84

16. Молибдений Дисульфидын Нимгэн Үед Атомын Хүчний Микроскопийн Тусламжтай Литографи Явуулах Аргачлал Г.Мөнхсайхан, С.Палл, Л.Оттавиано.....	85-87
17. Оюутны Бие Даалтын Ажлын Зохион Байгуулалт, Үр Дүнг Дээшлүүлэх нь Д.Наранчимэг, Б.Одонтуяа, О.Сүх, Г.Мөнхсайхан.....	88-90
18. ШУТИС-ийн Физикийн Хичээлийн Үнэлгээний Системийг Боловсронгуй Болгох Аргачлал Г. Мөнхсайхан, До.Нямсүрэн, Д.Наранчимэг, Б.Одонтуяа, О.Сүх.....	91-94
19. Лазерийн Удирдлагат Халуун Цөмийн Нэгдэл Явагдах Зайлшгүй Нөхцөлийн Онолын Тооцоолол ба Түүний Үндсэн Параметруудийн Хамаарал Ж.Далхсүрэн.....	95-99
20. Устөрөгчийн Эрчим Хүчийг Монголд Хөгжүүлэх Асуудалд Н.Норов, С.Одмаа, Т.Жамьянсүрэн, Г.Энхбаатар, М. Энхбаатар, О.Чимэдцэрэн.....	100-106
21. ШУТИС-ийн Физикийн Сургалтанд Нэвтрүүлж Буй Ажлын Үр Дүн Г.Зоригт, Ч.Алдармаа, Г.Мөнхсайхан.....	107-109
22. New Methods to Taking Fractional Derivatives and Its Applications Kh.Namsrai, M.Purevkhuu, S.Saran, B.Munkhzaya.....	110-119
23. Монголын Цөмийн Салбарын Хүний Нөөцийн Төлөвлөгөө: 2009 ба 2016 Он Ц.Амартайван, С.Одмаа, М.Чадраабал.....	120-123
24. Мөнгөний Нано Партиклыг Ашиглан Охратоксин А-г Раман Спектрометрээр Бүртгэх Г.Эрдэнэ-Очир, Жү Санг-Ү.....	124-126
25. Цацрагаар Боловсруулан Супер Ус Шингээгч Гарган Авсан Судалгааны Эхний Дүн О.Сүх, Ц.Амартайван.....	127-129
26. Шинжлэх Ухаанч Судалгаанд Суралцсан Байдлыг Ажлын Дэвтэр Хэрэглэн Туршсан Дүнгээс Я.Мөнхсайхан, М.Эрдэнэсанаа, Б.Гандөш, М.Мөнхболд, Д.Пүрэвдорж, Б.Бурмаа.....	130-135
27. Монголын Анхны Хиймэл Дагуул: Боломж, Ирээдүй Д.Улам-Оргих, Р.Цолмон, П.Түвшинтөр, Т.Бэгзсүрэн, Д.Эрдэнэбаатар, Т.Төртогтох, Д.Амартүвшин, Mengu Cho.....	136-139
28. Short Range Order and Static Displacements of Atoms in Polycrystalline Solid Solution of Fe-5 at. %Re L.Enkhtor, V.M.Silonov, Ts.Gantulga.....	140-141
29. Биологи ба Синергетик Т.Гун-Аажав.....	142
30. GA-K4 Пептид Мембраны Харилцан Үйлчлэл М.Цогбадрах, Ж.Алтанчимэг, Г.Даваадулам, Т.Бадамхатан.....	142

31. **Бүрэн Ойлтын Рентгенфлуоресценцийн Спектрометр Ашиглан
Биологийн Дээжинд Хартугалга Тодорхойлсон Дүн**
Ц.Жавзандолгор, Ч.Буянтогтох, Ц.Амартайван, Я.Ганболд.....143
32. **The Hadron Production in π --C Interaction at 40 GeV/c and QCD
Phase Transition**
Ts.Baatar, R.Togoo, A.I.Malakhov, B.Otgongerel, G.Sharkhuu, T.Tulgaa.....143
33. **Хөрсөн Дэх Химийн Элементүүдийн Агуулгыг Тодорхойлох
Атомын Спектроскопийн Аргуудын Харьцуулсан Судалгааны
Үр Дүнгээс**
Ц.Бямбасүрэн, Ц.Отгонтуул, Б.Энхзул, Шабанова Е.В., Васильева И.Е.,
Д.Цэдэнбалжир, Б.Хүүхэнхүү.....144
34. **Грассманы Хувьсагчийг Ашиглах Каноник Хувиргалтын Тухайд**
Д.Дамбасүрэн, Б.Борхүү, Н.Төвжаргал.....144
35. **Бүх Нийтийн Физик Боловсролыг Дэмжих Багийн Олимпиадын
Өнөөгийн Байдал**
Р.Энхбат, Х.Балт-Эрдэнэ, Я.Мөнхсайхан, А.Дулмаа, Б.Түвдэндорж,
Б.Цогбадрах.....145
36. **ЕБС-ийн Сурагчдын Физикийн Мэдлэг Чадварын Төлөвшлийг
Судалсан Дүнгээс**
Я.Мөнхсайхан, Х.Балт-Эрдэнэ, Б.Түвдэндорж, М.Эрдэнэсанаа, Б.Бурмаа...145

Changes in the Concentration of Carbon Dioxide in the Air

Damdinsuren Sodov,* Ariuntuya Nyamsambu

Laboratory of Biophysics, Department of Biology, School of Science and Arts, National University of Mongolia

We are measuring the diurnal and seasonal changes in the concentration of carbon dioxide in the air of different natural zones of Mongolia from 2009. The carbon dioxide in air decreased in the daytime and increased in the nighttime during the vegetation period. The changes in the concentration of carbon dioxide in the air were high in vegetation period, in steppe and in rainy summer. It was concluded and confirmed that the changes in the concentration of carbon dioxide in the air controlled by the balance between the photosynthetic uptake and respiratory emission of carbon dioxide.

PACS numbers: 89.60.Ec

Keywords: Diurnal and seasonal changes of carbon dioxide in the air, ecosystem photosynthesis, ecosystem respiration.

INTRODUCTION

The concentration of carbon dioxide in atmosphere is changing always (Figure 1). This picture adopted from Dlugokencky and Tans [1]. There are dramatic seasonal changes in the concentration of carbon dioxide in air of northern hemisphere, where located our country. The summer decrease related to the photosynthetic uptake and winter increase related to the respiratory emission of carbon dioxide. To build this three dimensional distribution of seasonal changes of carbon dioxide in atmosphere used data from various monitoring sites of carbon dioxide.

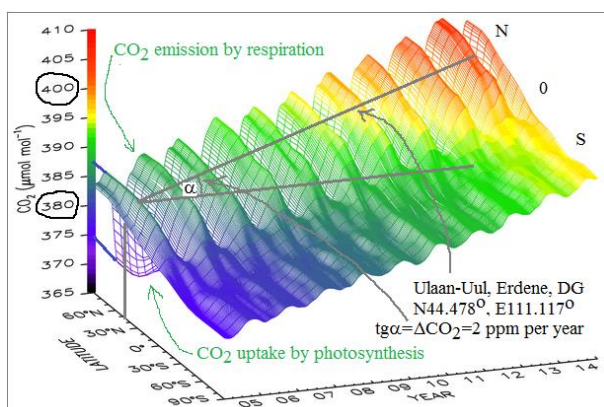


Figure 1. Carbon dioxide observations from 2004 to 2014 showing the seasonal variations and spatial distribution of the difference between northern and southern hemispheres.

There are three different monitoring sites of carbon dioxide in air: First one is continuous measurements of carbon dioxide in Earth's atmosphere in sites far as possible far from living things such as Mauna Loa Observatory in Hawaii Islands and South Pole Station in Antarctica, which was initiated and started by prof. Charles David Keeling from Scripps

Institution of Oceanography at UC San Diego in 1958. Second one is flask sites such as Ulaan-Uul near to the center of Erdene sum, Dornogovi aimag, Mongolia. Two flask of air samples taking ones for every week in the morning, which was started in 1992 [http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/noa2/ula-tre.htm]. The aim of these sites is to monitor mixing ratio of carbon dioxide in earth's atmosphere. The third one are CO₂ flux sites, such as Mungunmorit (2004) and Udleg (2009-) in forest at the south edge of Siberia and Herlen Bayan Ulaan (2006-) in pasture land of Mongolia. The aim of these sites is to monitor photosynthetic uptake and respiratory emission of carbon dioxide (CO₂ fluxes) to estimate selected site is CO₂ sink or CO₂ source [2-4].

The objective of our studies was to measure diurnal and seasonal changes in the concentration of carbon dioxide in the air of different natural zones of Mongolia and compare the results with results of CO₂ flux experiments.

METHODS OF MEASUREMENTS

The air sample took with DC pump from 1.5 m height to measure carbon dioxide in the flow through infrared gas analyzers (LI-840A, Qubit S151 and TIM10). The flow rate of air was 0.25 L min⁻¹. The air pressure and temperature were measured simultaneously.

The CO₂ fluxes (ecosystem photosynthesis and ecosystem respiration) was measured with closed chamber with 0.25 m² base area and 0.35 m height. The CO₂ flux between the air and plant-soil system was calculated as CO₂ changes per unit time and per unit area in the closed chamber using the following formula (1) for ideal gases:

* Electronic address: damdinsuren@num.edu.mn

$$CO_2 \text{ flux} = \frac{PH}{RT} \frac{dCO_2}{dt} \quad (1)$$

The CO_2 flux in the light is negative or less than zero showing CO_2 uptake by photosynthesis of plants, which we call as ecosystem photosynthesis. The CO_2 flux in the dark is positive or more than zero showing CO_2 emission by respiration of soil and plant system, which we call as ecosystem respiration.

SITES OF MEASUREMENTS

We selected following sites for measurements of carbon dioxide in air and carbon dioxide fluxes between the air and soil-plant system (Table 1 and Figure 2):

Table 1. Sites for measurements

#	Natural zone	Sites
1.	Forest steppe	Tujiin nars
2.		Tahiltiin davaa
3.		Udleg
4.	Steppe	Taliin shand
5.	Meadow steppe	Ugii nuur
6.		Elsen tasarhai
7.	Dry steppe	Sahiul
8.		Bayan tal
9.	Semi-desert	Ulaan-Uul
10.		Tsogt-Ovoo
11.	Desert	Tsogtsetsei
12.		Hanbogd

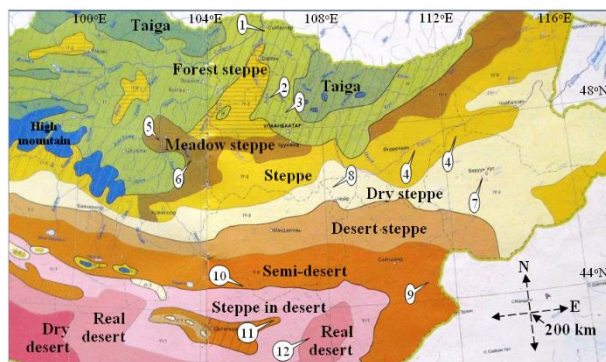


Figure 2. The sites of CO_2 concentration and flux measurements.

RESULTS AND CONCLUSIONS

We measured the diurnal changes of carbon dioxide concentration (CO_2) in air of different natural zones of Mongolia from 2009 [5-7]. During the vegetation period the CO_2 in air decreased from the morning and reached to a minimum steady state level in the daytime, which was donated as DCO_2 . And it increased from the evening and reached to a maximum steady state level in the nighttime, which was donated as NCO_2 . The relative increase of CO_2

($RI = 100 * (NCO_2 - DCO_2) / DCO_2$) was used as an indicator of diurnal changes of CO_2 in air (Figure 3).

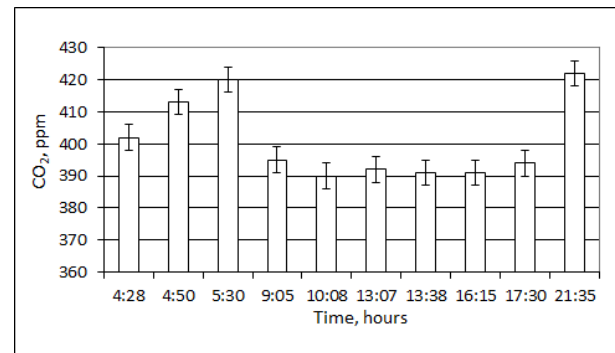


Figure 3. The diurnal changes of CO_2 in air of dry steppe in July 2009. The relative increase (RI) of CO_2 was 7.42%.

The seasonal changes of RI in air of forest steppe and steppe are shown in Figure 4. The RI was low in winter time and increased to a maximum level of 18% in the mid of July, because of the DCO_2 reached to the lowest and the NCO_2 reached to the highest value in the July.

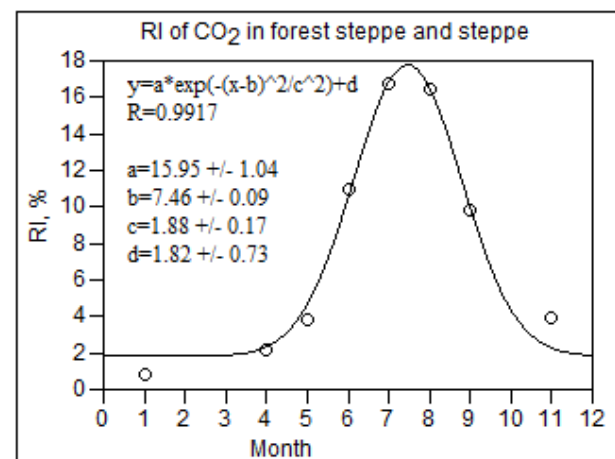


Figure 4. Seasonal changes of the relative increase of CO_2 in air (RI) of forest steppe and steppe. The solid line is Gaussian bell shaped curve fitted to the experimental values, which denoted as open circles.

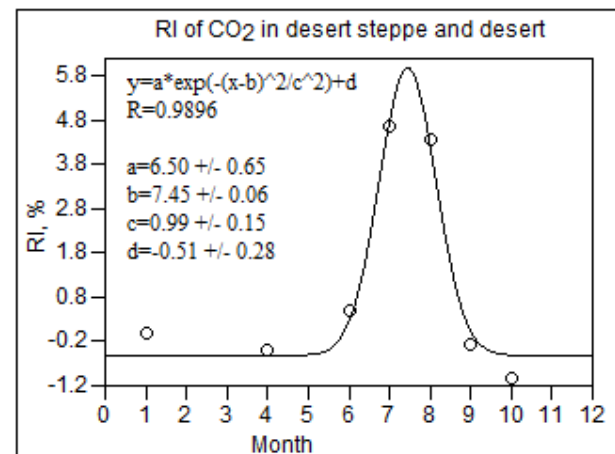


Figure 5. The seasonal changes of RI of CO₂ in air of dry steppe and desert. The solid line is Gaussian bell shaped curve fitted to the experimental values, which denoted as open circles.

The seasonal changes of RI in air of dry steppe and desert are shown in Figure 5. The RI was low in winter time and increased to a maximum of 5.8% in the mid of July, because of the DCO₂ reached to the lowest and the NCO₂ reached highest value in the July.

The annual changes of July RI are depicted in the Figure 6. The July RI was greater in the steppe (open circles) than that in the desert (closed circles). The July RI in steppe was high in 2013 and low in 2009-2010 and 2015. The July 2013 was more convenient for plant growth than July 2009-2010 and 2015 in steppe. The July RI in desert showed a tendency to decrease after 2009.

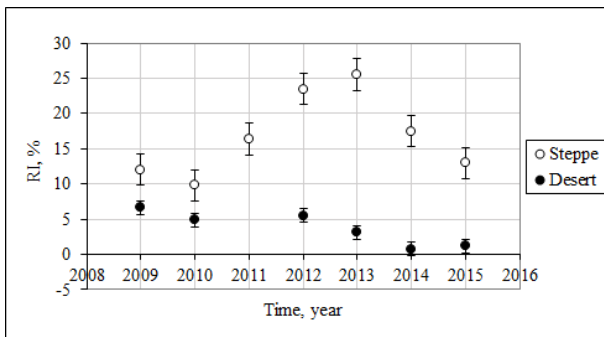


Figure 6. The annual changes of July RI in forest steppe, steppe (steppe) and dry steppe, desert (desert).

The diurnal, seasonal and annual changes of CO₂ in air led us to conclude that the RI should be related to the ecosystem photosynthesis and ecosystem respiration. This conclusion confirmed from the linear relation between the RI and ecosystem photosynthesis (Figure 7), and between the RI and ecosystem respiration (Figure 8).

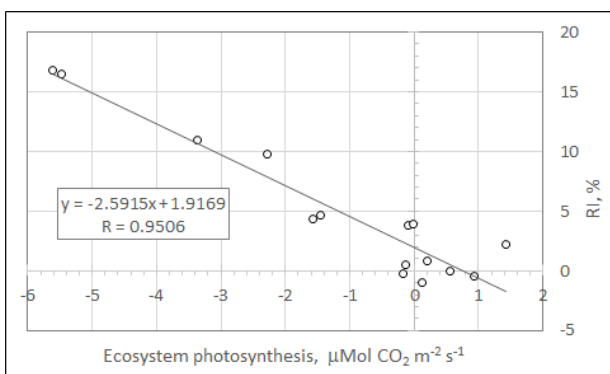


Figure 7. The linear relation between the diurnal changes of CO₂ in terms of the RI and ecosystem photosynthesis.

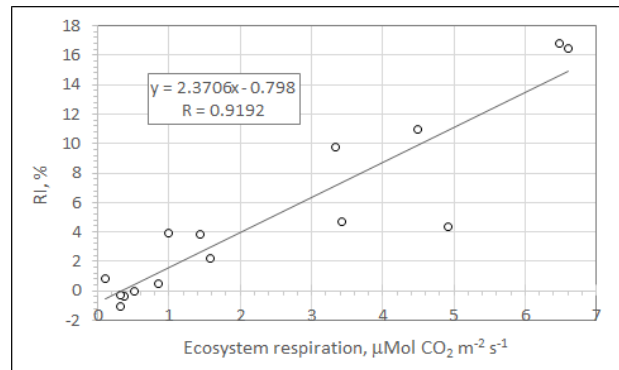


Figure 8. The linear relation between the diurnal changes of CO₂ in terms of the RI and ecosystem respiration.

The R_{crit} is 0.514 for $n=15$ and $p=0.05$, which was less than the calculated values of $R=0.9506$ and 0.9192 . Therefore, it was concluded that the changes in the concentration of carbon dioxide in the air strongly related to the ecosystem photosynthesis and ecosystem respiration.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the Fund of Science and Technology under Ministry of Education, Culture and Science of Mongolia, and Colleague of Asian Research Center at the National University of Mongolia for their support of our research.

REFERENCES

- [1] Dlugokencky, E; Tans, P (6 May 2015). "[ESRL Global Monitoring Division](#)". Earth System Research Laboratory. National Oceanic & Atmospheric Administration. Retrieved 7 May 2015.
- [2] Miyazaki S, Ishikawa M, Baatarbileg N, Damdinsuren S, Ariuntuya N and Jambaljav Y. Inter-annual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia. *Polar Science*, **8**, pp. 166-182, (2014).
- [3] Li, S.-G., Asanuma, J., Kotani, A., Eugster, W., Davaa, G., Oyunbaatar, D. & Sugita, M. Year-round measurements of net ecosystem CO₂ flux over a montane larch forest in Mongolia, *J. Geophys. Res.*, **110**, D09303, (2005). doi: 10.1029/2004JD005453.
- [4] Li, S. G., Asanuma, J., Eugster W., Kotani, A., Liu, J. J., Urano, T., Oikawa, T., Davaa, G., Oyunbaatar, D. & Sugita, M. Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology*, **11**, 1941-1955, (2005).

- [5] С. Дамдинсүрэн, Б. Урангоо, Н. Ариунтуяа, Д. Энхбат, Н. Баатарбилэг, Д. Суран. Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар ислийн мониторинг. МУИС-ийн БФ-ийн ЭШ-ний бичиг: Биологи, **14** (331), 123-132, (2009).
- [6] С. Дамдинсүрэн, Н. Баатарбилэг, Н. Билэгбаатар, Д. Мөнх-Очир, Ц. Амартайван, П. Энхбаяр, Д. Энхбат, Х. Хаяасака, Ш. Миязаки, М. Ишикава. Хөрс, ургамлын бүрхэвч ба агаарын найрлагын мониторинг. МУИС-ийн ББС-ийн ЭШ-ний бичиг. Биологи, **15** (346), хуудас 76-92, (2011).
- [7] Ariuntuya N., Damdinsuren S. Temporal variations and spatial distribution of CO₂ in air. In: Proceedings of the 18th International Joint Seminar on Regional Deposition Processes in the Atmosphere and Climate Change. Full papers: Part 1. Monitoring and modeling of air quality. Ulaanbaatar, pp. 56-62, (29-31 October, 2012).

Агаар Дахь Нүүрстөрөгчийн Давхар Ислийн Концентрацийн Өөрчлөлт

Содовын Дамдинсүрэн, Нямсамбуугийн Ариунтуяа

МУИС, ШУС, БУС, Биологийн тэнхим, Экологийн биофизикийн лаборатори

Товч утга

Бид говь ба хээрийн бүсийн агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар ислийн концентрацийн хоног, улирал ба жилийн өөрчлөлтийг 2009 оноос хойш хэмжиж байна. Ургамал ургаж байх үед агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар исэл өдөр багасаж, шөнө ихсэдэг. Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар ислийн өөрчлөлт зун их өвөл бага, хээрт их говьд бага, зунтай жил их гантай жил бага байсан. Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар ислийн өөрчлөлт нь фотосинтезд шингээгдэх ба амьсгалаар ялгарах нүүрстөрөгчийн давхар ислийн харьцаагаар тодорхойлогдоно гэсэн дүгнэлт гаргаад түүнийгээ батлав.

Синхротронные и Нейтронные Методы Вещества. Антагонисты, Соперники или Союзники?

ЧАСТЬ 1. Структурные исследования

А.В.Белушкин*, Д.П.Козленко

Лаборатория нейтронной физики им. И.М.Франка, Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Дубна

Viribus unitis
(В единстве-сила)

В обзоре проведен сравнительный анализ некоторых возможностей современных методов рассеяния синхротронного излучения и нейтронов для исследования атомной и магнитной структуры конденсированных сред, определения параметров объемных и слоистых наноструктур и коллективных возбуждений в твердых телах и жидкостях. Анализируются возможности методов неупругого рассеяния, дифракции, рефлектометрии и малоуглового рассеяния синхротронного излучения и нейтронов, а также упругого и неупругого резонансного рассеяния и поглощения синхротронного излучения. Рассматриваются границы применимости и взаимодополняемости данных методов в различных областях исследований.

I. ВВЕДЕНИЕ

Проведение многих экспериментальных исследований, еще недавно являвшихся прерогативой методов рассеяния нейтронов и казавшихся невозможными для реализации с использованием рентгеновских фотонов, сегодня стало обычным явлением на источниках СИ.

Исключительно высокая яркость и направленность излучения, широкие возможности его коллимации и поляризации, возможность варьировать энергию рентгеновских фотонов – вот неполный перечень главных преимуществ современных источников синхротронного излучения. Следует отметить, что потенциал развития источников СИ реализован далеко не полностью и в ближайшем будущем следует ожидать дальнейшего прогресса в развитии экспериментальных методов.

Главным, и судя по всему, непреодолимым недостатком нейтронных источников является низкая яркость, на много порядков меньшая по сравнению с источниками СИ, а также некогерентный характер нейтронных пучков. Последнее обстоятельство, однако, в ряде случаев служит преимуществом, как будет продемонстрировано ниже. Тем не менее, уникальные особенности нейтронов – отсутствие электрического заряда, возможность использования изотопного замещения и наличие магнитного момента, определяют круг задач, которые в настоящее время могут быть наиболее успешно решены за счет применения методов рассеяния нейтронов. Таким образом, возникает

естественный вопрос – существуют ли принципиальные ограничения для использования методов рассеяния СИ в тех областях исследований, где до недавнего времени традиционно применялись исключительно методы рассеяния нейтронов, и каковы дальнейшие перспективы развития – взаимодополняемость или постепенное вытеснение методов рассеяния нейтронов быстро развивающимися методами рассеяния СИ?

Имеется достаточно обширная библиография по применению синхротронного излучения в традиционных для нейтронного рассеяния областях (см. напр. E.Burkel, Rep. Prog. Phys. **63** (2000) 171–232, M.d'Astuto, M.Krisch, Collection SFN, **10** (2010) 487-503, A.Q.R. Baron, Journal of the Spectroscopical Society of Japan, Vol. 58, #5 (2009), pp 205-214 (In Japanese) / arXiv 0910.5764 (In English), M.Krisch, F.Sette “Inelastic X-ray scattering from phonons“, in M. Cardona, R. Merlin (Eds.): Light Scattering in Solid IX, Topics Appl. Physics **108**, 317–370 (2007), Springer-Verlag Berlin Heidelberg) По очевидным причинам авторы этих публикаций акцентируют внимание на преимуществах новых методов рассеяния СИ, оставляя за рамками их ограничения. В данном обзоре авторами сделана попытка анализа принципиальных ограничений методов синхротронного излучения в тех областях, где методы рассеяния нейтронов эффективно применяются и будут востребованы в будущем, а также области, где нейтронные и синхротронные методы существенно дополняют друг друга.

* Electronic address: belushk@nf.jinr.ru

II. ВЗАИМОДОПОЛНЯЕМОСТЬ МЕТОДОВ РАССЕЯНИЯ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И НЕЙТРОНОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ АТОМНОЙ И МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

А. Исследования атомной структуры кристаллических материалов

Упругое когерентное рассеяние (дифракция) рентгеновских лучей является классическим методом структурного анализа конденсированных сред с более чем вековой историей. В настоящее время определение симметрии и параметров атомной структуры практически любого вновь синтезируемого материала начинается с применения данного метода, и эта задача успешно решается при наличии образцов в виде монокристаллов, а в целом ряде случаев оказывается достаточно и поликристаллического образца.

Принципиальная схема эксперимента по дифракции одинакова для рентгеновского (синхротронного) излучения и нейтронов (рис. 1, показана для геометрии со сканированием по углу рассеяния).

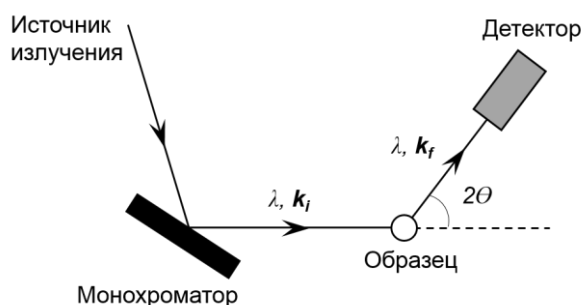


Рис. 1. Принципиальная схема дифракционного эксперимента.

С помощью отражения от монокристаллического монохроматора из полихроматического спектра от источника излучения выделяются нейтроны или рентгеновские фотоны с определенной длиной волны, которые затем рассеиваются образцом. Интенсивность рассеянного излучения регистрируется детектором в зависимости от угла рассеяния 2θ . Для кристаллической структуры дифракционные максимумы интенсивности наблюдаются при выполнении закона Вульфа-Брэгга

$$2d_{hkl}\sin\theta = \lambda,$$

где d_{hkl} – межплоскостное расстояние для семейства кристаллографических плоскостей с индексами Миллера (hkl).

Интенсивность дифракционных максимумов пропорциональна квадрату структурного фактора

$$I(hkl) \sim |F_{hkl}|^2,$$

$$F_{hkl} = \sum_j f_j \exp\{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)\} \exp(-W_j).$$

Здесь сумма берется по всем координатам атомов в элементарной ячейке (x_j, y_j, z_j). f_j – амплитуда когерентного рассеяния, W_j – тепловой фактор (в изотропном приближении) для j -го атома (И.И.Гуревич, Л.В.Тарасов. Физика нейтронов низких энергий. М. Наука, 1965, 607 с.). Амплитуда когерентного рассеяния излучения определяется природой его взаимодействия с веществом – рассеянием на электронных оболочках в случае рентгеновского (синхротронного излучения) и атомных ядрах в случае нейтронов в силу их электрической нейтральности. В результате для рентгеновского (синхротронного) излучения амплитуда рассеяния пропорциональна порядковому номеру элемента Z и атомному форм-фактору, что обуславливает ее сильную зависимость от абсолютной величины вектора рассеяния $q \sim \sin\theta/\lambda$ и не зависит от типа изотопа конкретного элемента. В случае нейтронов амплитуда когерентного рассеяния является величиной не зависящей от θ и λ , не демонстрирует пропорциональности с порядковым номером элемента, но имеет разные значения для различных изотопов одного и того же элемента.

Создание современных источников синхротронного излучения повлекло за собой существенное расширение возможностей дифракции СИ для структурных исследований материалов, как в виде монокристаллов, так и поликристаллов. Важными конкурентными преимуществами этого метода являются высокая светосила и возможность достижения очень высокого разрешения по межплоскостным расстояниям, $\Delta d/d \sim 10^{-4}$.

Высокая светосила синхротронных источников обусловила значительный прогресс в развитии белковой макромолекулярной кристаллографии (Z.Dauter, M. Jaskolski, A.Wlodawer, J. Synchrotron Rad. 17 (2010) 433). В настоящее время на основе данных дифракции СИ возможна расшифровка кристаллических структур белков с параметрами решетки свыше 1000 Å с пространственным разрешением 2-4 Å. В качестве примера можно привести расшифровку структуры рибосомы – молекулярной машины, ответственной за синтез белковых молекул в клетках (M. Selmer, C.M.

Dunham, F.V. Murphy, e.a., Science 313 (2006) 193). Были определены координаты 200 000 (!) атомов, входящих в структуру этого биологического нано объекта размером 20-30 нанометров и содержит примерно 1500 нуклеотидных единиц (рисунок 2). Аналогичные исследования с помощью нейтронов представляются абсолютно невозможными в обозримой перспективе.

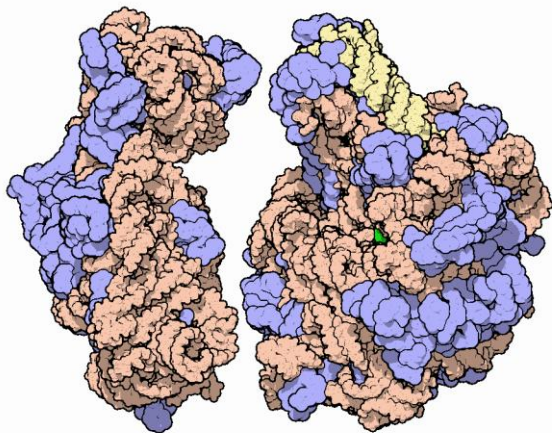


Рис. 2. Структура рибосомы с атомным разрешением, полученная с использованием дифракции синхротронного излучения.

Применение методов рассеяния нейтронов в белковой макромолекулярной кристаллографии и в целом до недавнего времени оставалось достаточно ограниченным. Однако развитие техники нейтронного эксперимента и создание новых нейтронных источников – SNS и J-PARC в последние годы позволило достичь заметных успехов в этой области (C.C.Wilson, D.A.Myles. Single crystal neutron diffraction and protein crystallography. In: Neutron Scattering in Biology, Techniques and applications. Ed. by J.Fitter, T.Gutberlet, J. Katsaras (Springer, 2006). Part I, p. 21)

Нейтроны позволяют получить уникальную информацию о положениях водородных атомов в структуре, положениях и ориентации молекул воды. Иными словами, идентифицируя водородные атомы внутри и около биомолекулы нейтронная белковая кристаллография позволяет получить дополнительную информацию о водородных связях, гидратировании и местах связи протонов воды с биомолекулами. В качестве примера (рис. 3) приведем результаты совместного использования дифракции синхротронного излучения и нейтронов для определения атомной структуры белка миоглобина (A.Ostermann e.a., Biophys. Chem. 95(3) (2002) 183, M. P. Blakeley, Crystallography Reviews 15 (2009) 157)

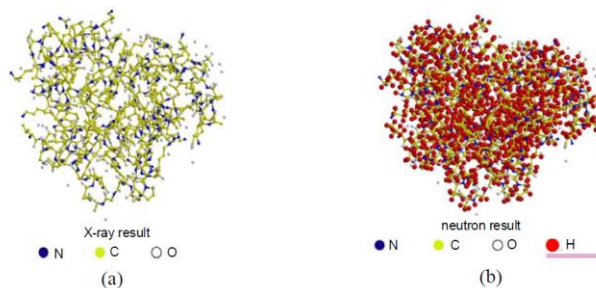


Рис. 3. (a) структура миоглобина, определенная с помощью рентгеновской дифракции на источнике синхротронного излучения (b) та же структура с учетом данных нейтронной протеиновой кристаллографии.

Как видно из рисунка, дополнительная информация, полученная с помощью нейтронов, существенно повышает объем информации об исследуемом объекте и позволяет изучать особенности структурной организации биомолекул, которые крайне важны для понимания их биологических функций. В качестве еще одного примера приведем ссылку на совместное использование дифракции синхротронного излучения и нейтронов для определения атомной структуры белка вируса иммунодефицита человека (Irene T. Weber, e.a., J Med Chem. 56 (2013) 13). Данная работа крайне важна для разработки эффективных лекарств против СПИДа.

Современная дифракция СИ даже на поликристаллах позволяет определять структуру веществ с очень большим количеством независимых атомов не связанных элементами симметрии кристалла. Так, на основе данных порошковой дифракции синхротронного излучения и дифракции электронов была определена кристаллическая структура сложного цеолита TNU-9 $[H_{9.3}[Al_{9.3}Si_{182.7}O_{384}]$ (рис. 4) (F.Gramm, C.Baerlocher, L.B.McCusker, S.J.Warrender, P.A.Wright, B.Han, S.B.Hong, Z.Liu, T.Ohsuna, and O.Terasaki, Nature 444 (2006) 79). Было установлено, что она имеет моноклинную симметрию C2/m, параметры решетки $a = 28.2219 \text{ \AA}$, $b = 20.0123 \text{ \AA}$, $c = 19.4926 \text{ \AA}$, $\beta = 92.33^\circ$. Включая в себя 24 кристаллографически и топологически различных атомов Si и Al, и 50 таких же различных атомов кислорода, структура каркаса TNU-9 может быть отнесена к наиболее сложным цеолитным структурам, известным сегодня. Нейтронная дифракция на поликристаллах не позволяет расшифровывать кристаллические структуры такого уровня сложности.

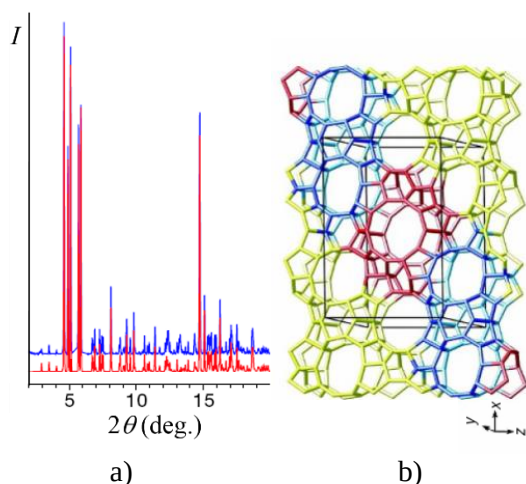


Рис. 4. Экспериментальный (вверху) и рассчитанный (внизу) спектры дифракции СИ для цеолита TNU-9 (а). Фрагмент кристаллической структуры цеолита, иллюстрирующий расположение атомов Si (б).

Высокая светосила синхротронных источников представляет широкие возможности для *in situ* исследований различных физических явлений и их кинетики, например, разнообразных химических реакций, включая гидратацию, окисление, твердофазные превращения в различных условиях – при изменении температуры, воздействии магнитного и электрического поля, приложении электрического напряжения и т.д. При этом характерное время измерений может быть порядка миллисекунд. В качестве примера рассмотрим исследование обратимой химической реакции поглощения (выделения) хлороводорода HCl в газообразном состоянии координационной солью $[\text{CuCl}_2(3\text{-Clpy})_2]$ (3-Clpy – трихлорпиридин) в диапазоне температур 100-370 К, проведенное на дифрактометре высокого разрешения ID31 источника СИ ESRF (G.M.Espallargas, M.Hippler, A.J.Florence, P.Fernandes, J. van de Streek, M.Bruneli, W.I.F.David, K.Shankland, and L.Brammer, J. Am. Chem. Soc. 129 (2007) 15606). Важной отличительной чертой этой реакции является то, что поглощение газа происходит микрокристаллическим непористым образцом соли. В результате поглощения образуется 3-хлорпиридинтетрахлоркупрат $(3\text{-ClpyH})_2[\text{CuCl}_4]$. Протекание химической реакции ясно наблюдалось по изменению дифракционных спектров (рис. 5). На основе полученных экспериментальных данных авторам удалось определить структурный механизм и скорость химической реакции. Было показано, что она протекает без образования промежуточных фаз. Также было проанализировано изменение

геометрии химических связей исходной и конечной кристаллической фазами.

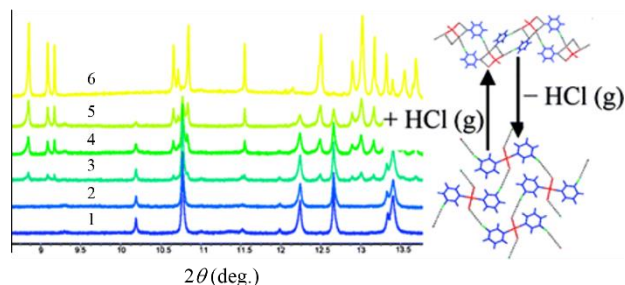


Рис. 5. Дифракционные спектры, измеренные в процессе обратимой химической реакции поглощения хлороводорода координационной солью $[\text{CuCl}_2(3\text{-Clpy})_2]$ (исходный спектр – 1), в результате которого образуется 3-хлорпиридинтетрахлоркупрат $(3\text{-ClpyH})_2[\text{CuCl}_4]$ (конечный спектр – 6).

Очень малый объем образцов, требуемый для измерений на современных источниках СИ (с линейными размерами порядка десятков мкм), дает возможность проводить эксперименты в широком диапазоне термодинамических параметров – давления в мегабарном диапазоне (до 200-300 ГПа) и температур 3 – 3000 К. Для создания сверхвысоких давлений в экспериментах используются камеры с алмазными наковальнями, высоких температур – системы лазерного нагрева. В то же время относительно высокая энергия синхротронного излучения, приводящая к нагреву исследуемого образца, создает большие трудности для измерений при низких температурах порядка 1 К и ниже.

Несмотря на описанные достоинства, дифракция синхротронного (рентгеновского) излучения не всегда позволяет получить необходимую информацию об атомной структуре материала с требуемой точностью. Данный метод не позволяет распознать положения атомов в структуре близко расположенных в таблице Менделеева. Для структур, содержащих легкие атомы (водород, кислород, литий) на фоне тяжелых (переходные металлы, редкоземельные элементы), в интенсивности дифракционных спектров доминирует вклад от тяжелых атомов, амплитуды когерентного рассеяния для которых могут превышать аналогичные величины для легких атомов более чем на два порядка. В результате определение координат легких атомов и их тепловых факторов может быть сделано недостаточно точно, и не всегда возможно, особенно в случае разупорядочения легких атомов. В соединениях с сильными химическими связями возможно смещение центров электронной плотности относительно

атомных ядер. Тогда дифракция синхротронного излучения позволит получить только информацию о центрах электронной плотности вокруг атомов, а не положениях их ядер. В синхротронном эксперименте по дифракции используется малый объем образца, содержащий небольшое количество микроскопических кристаллитов, в результате чего на структурные параметры могут повлиять возможные предпочтительная ориентация микрокристаллитов в образце и наличие микронапряжений на межзеренных границах.

Вышеперечисленные случаи и представляют тот основной круг задач, где дифракция нейтронов имеет неоспоримые преимущества по сравнению с дифракцией рентгеновского (синхротронного) излучения. Амплитуды когерентного рассеяния нейтронов имеют сравнимую величину для тяжелых и легких элементов, они различны для разных изотопов одного элемента. Электрическая нейтральность нейтронов обеспечивает большую глубину проникновения в материал, поэтому можно получать структурные характеристики, усредненные по объему исследуемого образца. В случае материалов, содержащих легкие элементы на фоне тяжелых, разупорядочение легких элементов, изотопы одного элемента, нейтронная дифракция позволяет прецизионно определить координаты и тепловые факторы всех атомов в структуре.

В качестве примера задач, которые не удастся решить с помощью дифракции синхротронного излучения, приведем исследования структур с динамическим беспорядком в водородной подрешетке кристаллов. Моделирование данных нейтронного рассеяния, так называемого полного структурного фактора с помощью обратного метода Монте Карло (McGreevy R.L., Nucl. Instr. and Meth. . A354 (1995) 1), дает возможность получить информацию о трансляционном и ориентационном разупорядочении атомов и молекулярных групп в материалах. Такой подход, например, позволил прояснить природу ориентационного разупорядочения в хлориде и иодиде аммония (Belushkin A.V., Kozlenko D.P., McGreevy R.L., Savenko B.N., Zetterström P., Physica B 269 (1999) 297; A.B.Белушкин, Д.П.Козленко “Мир ориентационного беспорядка в кристаллах”, Природа, 7 (2003) 53) а также получить информацию о структурных механизмах переноса заряда в суперионных проводниках (Zetterström P., Belushkin A.V., McGreevy R.L., Shuvalov L.A., Solid State Ionics

116 (1999) 321). На рис. 6. показано усредненное пространственное распределение плотности атомов дейтерия в элементарной ячейке разупорядоченной кубической фазы дейтерированного хлорида аммония.

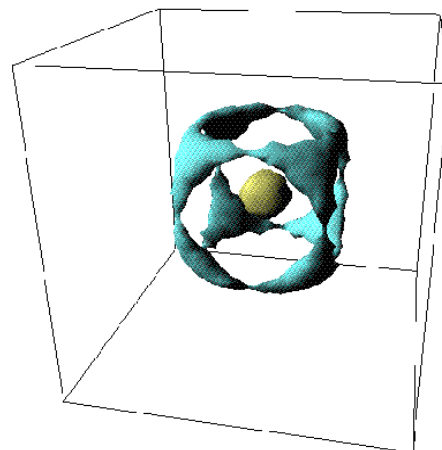


Рис. 6. Усредненное пространственное распределение плотности атомов дейтерия в элементарной ячейке разупорядоченной кубической фазы ND_4Cl .

В качестве примера исследования системы, состоящей из атомов близко расположенных в периодической таблице Менделеева приведем материал с магнитной памятью формы $\text{Ni}_{49.2}\text{Mn}_{30.5}\text{Ga}_{20.3}$ (J. M. Barandiarán, V. A. Chernenko, P. Lázpita, J. Gutiérrez, M. L. Fdez-Gubieda and A. Kimura Journal of Physics: Conference Series 663 (2015) 012014). Никель (атомный номер 28), марганец (атомный номер 25) и галлий (атомный номер 31) имеют довольно близкое число электронов на оболочках атомов. Поэтому их вклад в картину рентгеновской дифракции довольно трудно различим. В то же время длины когерентного рассеяния нейтронов у этих элементов значительно отличаются (никель 10.3 ферми, марганец -3.75 ферми и галлий 7.3 ферми). В результате картина нейтронной дифракции на такой системе оказывается гораздо более информативной по сравнению с рентгеновской, как проиллюстрировано на рисунке 7.

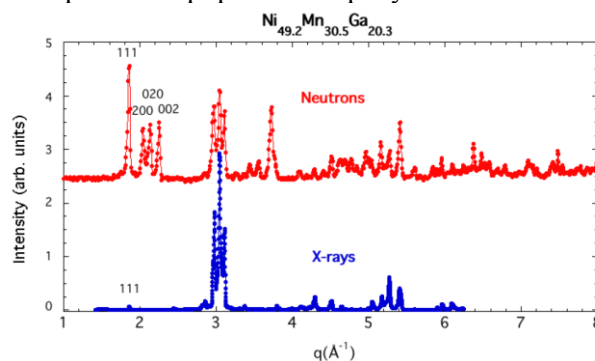
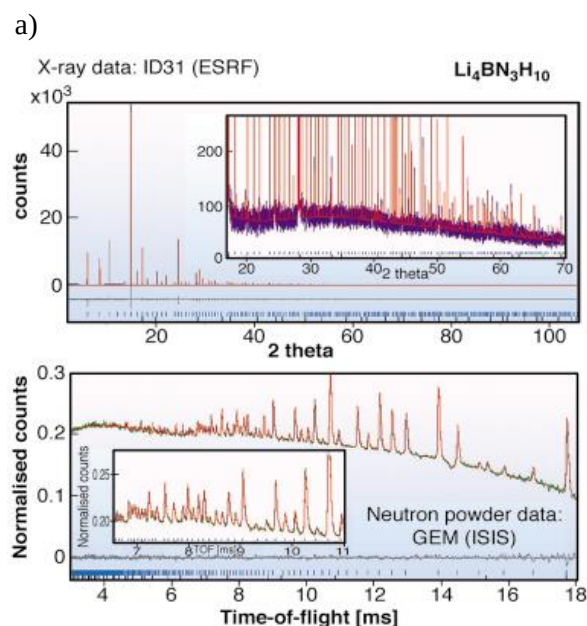


Рис. 7. Сравнение спектров нейтронной и рентгеновской дифракции на сплаве с магнитной памятью формы.

Сверхструктурные пики, отчетливо видные на нейтронном спектре отсутствуют в случае рентгеновской дифракции. Кроме того на больших углах рассеяния (правая часть рисунка) нейтронные данные гораздо более информативны.

Вместе с тем, наиболее правильным подходом следует считать совместное использование нейтронной и рентгеновской дифракции в тех случаях, когда каждый из методов взаимно дополняет другой. Например, с помощью порошковой дифракции высокого разрешения на синхротронном источнике ESRF было проведено исследование атомной структуры сложного водородосодержащего соединения $\text{Li}_4\text{BN}_3\text{H}_{10}$ (P.A.Chater, W.I.F.David, S.R.Johnson, P.P.Edwards, and P.A.Anderson, Chem. Commun., 23 (2006) 2439). Данное соединение является твердым раствором соединений LiNH_2 и LiBH_4 , перспективных в качестве материалов для хранения водорода и может быть получено лишь в поликристаллическом виде. На основе анализа дифракционных данных (рис. 8) была установлена кубическая симметрия $I2_13$ кристаллической структуры с параметром элементарной ячейки $a = 10.66445 \text{ \AA}$ и ее объемом $V = 1212.875 \text{ \AA}^3$, определены координаты атомов N, B и Li. А положения атомов водорода были определены из дополнительных экспериментов по нейтронной дифракции.



b)

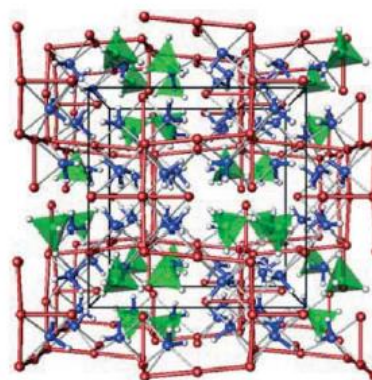


Рис. 8. Рентгеновский и нейтронный дифракционные спектры $\text{Li}_4\text{BN}_3\text{H}_{10}$ (a), и определенная на их основе кристаллическая структура (b).

В качестве другого примера, рассмотрим исследование атомной структуры сложного кислород-дефицитного перовскита $\text{Sr}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{CoO}_{2.62}$, перспективного для использования в качестве материала электродов твердотельных оксидных топливных элементов методами рассеяния синхротронного излучения и нейтронов (S.Ya.Istomin, J.Grins, G.Svensson, O.A.Drozhzhin, V.L.Kozhevnikov, E.V.Antipov, and J.P. Attfield, Chem. Mater. 15 (2004) 4012). Нейтронные данные позволили получить гораздо более точные значения координат атомов кислорода и выявить новый тип упорядочения кислородных вакансий в структуре.

В заключение раздела заметим, что традиционно, в силу не очень высокой светосилы нейтронных источников в экспериментах по рассеянию нейтронов требуются образцы достаточно большого объема, порядка 1 см^3 . Тем не менее, создание новых импульсных источников – SNS (США), J-PARC (Япония) и развитие техники нейтронного эксперимента на существующих источниках позволяет в некоторой степени сократить разрыв в главных конкурентных преимуществах методов рассеяния СИ над методами рассеяния нейтронов – светосиле и высоком разрешении. Уже сейчас на современных нейтронных дифрактометрах, например, GEM и WISH (ISIS RAL, Великобритания), D20 и VIVALDI (ILL, Франция), POWGEN (SNS, ORNL, США), ДН-12 (ЛНФ ОИЯИ, Россия) можно исследовать образцы объемом около 1 мм^3 . На большинстве этих дифрактометров, а также дифрактометре ДН-2 (ЛНФ ОИЯИ, Россия) можно проводить исследования физических и химических процессов в режиме реального времени, используя образцы объемом около 1 см^3 .

На нейтронном источнике J-PARC запущен дифрактометр SuperHRPD с высоким разрешением $\Delta d/d \sim 3 \cdot 10^{-4}$, приближающимся к разрешению дифрактометров на источниках СИ, $\Delta d/d \sim 1 \cdot 10^{-4}$. Несколько более низкое разрешение, $\Delta d/d \sim 5 \cdot 8 \cdot 10^{-4}$ имеют нейтронный дифрактометр HRPD (ISIS RAL, Великобритания) и ФДВР (ЛНФ ОИЯИ, Россия).

Хотя в данном разделе рассматривались кристаллические материалы, все описанные достоинства и недостатки методов рассеяния СИ и нейтронов в той же степени справедливы и для исследований структуры аморфных материалов и жидкостей.

В. Исследования магнитной структуры кристаллических материалов

Наличие у нейтрона магнитного момента и сравнимые величины амплитуд когерентного ядерного и магнитного рассеяния делают методы рассеяния нейтронов наиболее прямым и информативным способом для исследования магнитной структуры и динамики материалов, и именно эти методы остаются наиболее востребованными в данной области.

Следует отметить, что электромагнитная природа синхротронного излучения теоретически может позволить получить информацию о магнитной структуре материала. Однако, магнитный вклад в рассеяние ничтожен по сравнению с ядерным. Пионерские эксперименты по исследованию возможностей применения дифракции рентгеновских лучей для исследования магнитной структуры были проведены Де Бержевином и Брюнелем (F. de Bergevin and M. Brunel, Phys. Lett A 39 (1972) 141) в начале семидесятых. С помощью обычной рентгеновской трубки им удалось зафиксировать два сверхструктурных дифракционных пика $(1/2 \ 1/2 \ 1/2)$ и $(3/2 \ 3/2 \ 3/2)$ на монокристалле NiO, исчезающих при температуре выше температуры Нееля. Интенсивность магнитных пиков была в $4 \cdot 10^{-8}$ раз меньше по сравнению с интенсивностью пиков от атомной структуры. Измерения каждого пика занимали 3 дня.

Поэтому долгое время изучение магнитной структуры материалов было исключительной прерогативой нейтронной дифракции. И сегодня, если говорить о сложных магнитных структурах или необходимости получения данных на основе результатов порошковой дифракции, нейтронные методы остаются вне конкуренции. В качестве примера приведем недавние нейтронные исследования магнитных фазовых

переходов при воздействии давления на порошковых образцах (D.P.Kozlenko, e.a., Phys. Rev. B 92 (2015) 134409); D. P. Kozlenko, e.a., Scientific Reports 5, Article number: 8620 (2015); D. P. Kozlenko, e.a., Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 187207).

Остановимся более подробно на исследовании влияния высокого давления на магнитную структуру несобственного мультиферроика YMn_2O_5 с сильной магнитоэлектрической связью (D.P.Kozlenko, e.a., Phys. Rev. B 92 (2015) 134409), рис. 9. В данном соединении в области низких температур при нормальном давлении реализуется сложная последовательность фазовых переходов между модулированным АФМ структурами. С повышением давления в области $P > 1$ ГПа наблюдалось подавление соразмерной и несоразмерной антиферромагнитных (АФМ) фаз с вектором распространения $q = (\sim 1/2, 0, \sim 1/4)$ и появление новой соразмерной АФМ фазы с вектором распространения $q_p = (1/2 \ 0 \ 1/2)$. Оказалось, что такое поведение сильно контрастирует с другими системами RMn_2O_5 , в которых под давлением наблюдается противоположное поведение – стабилизация соразмерной АФМ фазы с вектором распространения $q = (1/2, 0, 1/4)$. Полученные данные также позволили проанализировать роль конкурирующих магнитных взаимодействий в формировании основного магнитного состояния мультиферроиков RMn_2O_5 .

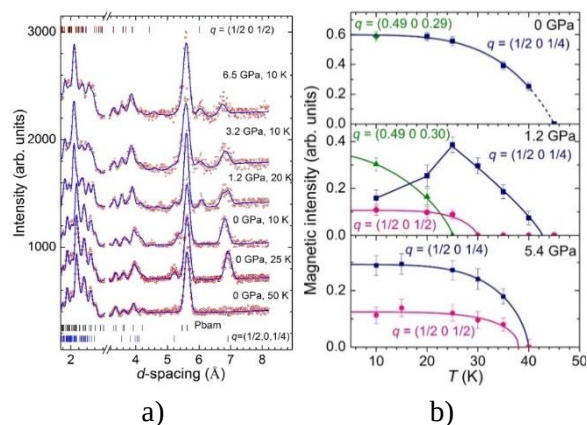


Рис. 9. Нейтронные дифракционные спектры YMn_2O_5 , измеренные при различных давлениях и температурах на дифрактометре ДН-12 и обработанные по методу Ритвельда (а). Температурные зависимости интегральной интенсивности пиков $(1-q_x, -1, -q_z)/(1-q_x, 1, -q_z)/(\pm q_x, 1, \pm q_z)$ соразмерной и несоразмерной АФМ фаз с вектором распространения $q = (\sim 1/2, 0, \sim 1/4)$ и пика $(-q_x, 1, 1-q_z)$ соразмерной АФМ фазы с вектором распространения $q_p = (1/2 \ 0 \ 1/2)$ при различных давлениях (b).

Следует отметить, что преимуществом экспериментов по нейтронной дифракции является возможность одновременного определения параметров атомной и магнитной структуры из одного набора экспериментальных данных. В то же время исследование магнитной структуры на источниках СИ требует применения специальных методик, поэтому исследования атомной и магнитной структур как правило проводятся отдельно, и иногда даже на разных установках.

За счет того, что нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов, а не их электронными оболочками, нейтронная дифракция позволяет изучать упорядочение магнитных моментов на ядрах атомов, что совершенно невозможно с использованием синхротронного излучения (см. напр. A. J. Annala, K. N. Clausen, A. S. Oja, J. T. Tuoriniemi, and H. Weinfurter, Neutron Diffraction Studies of the Nuclear Magnetic Phase Diagram of Copper, Phys. Rev. B45 (1992) 7772; J. T. Tuoriniemi, e.a., Neutron Experiments on Antiferromagnetic Nuclear Order in Silver at Picokelvin Temperatures, Phys. Rev. Lett. 75 (1995) 3744).

Вместе с тем, как будет показано ниже, исследования магнитной структуры материалов с помощью дифракции синхротронного излучения сегодня не просто возможны, но и в ряде случаев позволяют получать информацию, которая недоступна нейтронным методам.

В.1. Резонансное магнитное рентгеновское рассеяние

Открытие резонансного рентгеновского рассеяния (K.Namikawa, M.Ando, T.Nakajima, and H.Kawata, J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 4099) и поляризационной зависимости магнитного рассеяния (G.Schutz, W.Wagner, W.Wilhelm, P.Kienle, R.Zeller, R.Frahm, and G.Materlik, Phys. Rev. Lett. 58 (1987) 737) синхротронного излучения обусловило дальнейший прогресс в исследовании магнитных свойств материалов. Резонансное рентгеновское рассеяние наблюдается при энергиях фотонов, близких к энергиям краев внутриатомного поглощения и обусловлено мультипольным (дипольным, квадрупольным) вкладом в рассеяние. В процессе резонанса происходит виртуальное испускание электрона с внутренней атомной оболочки в валентную зону или свободное состояние на уровне Ферми, а при последующем переходе системы из промежуточного в исходное состояние происходит испускание

фотона. Амплитуда резонансного рассеяния определяется интегралами перекрытия мультиплетов исходного и промежуточного состояний, заполнением электронных оболочек, направлением магнитных моментов атомов материала и поляризацией излучения (A.Rogalev, F.Wilhelm, N.Jaouen, J.Goulon, and J.-P.Kappler, Lect. Notes Phys. 697 (2006) 71). Зависимость от магнитных свойств определяется спин-орбитальным расщеплением ядерных и возбужденных состояний, а также поляризацией состояний (S. Grenier and Y. Joly, Journal of Physics: Conference Series 519 (2014) 012001). Величина амплитуды резонансного рентгеновского рассеяния значительно больше амплитуды обычного, нерезонансного рассеяния на электронных оболочках (Томпсоновского рассеяния), их отношение достигает 100-1000 раз для редкоземельных атомов.

Основной вклад в резонансное магнитное рентгеновское рассеяние дают дипольные и квадрупольные переходы. Дипольные переходы (E1) соответствуют квантовому числу $L=1$ и изменению квантового числа $M=0, \pm 1$. Квадрупольные переходы (E2) соответствуют квантовому числу $L=2$ и изменению квантового числа $M=0, \pm 1, \pm 2$.

Важным преимуществом резонансного магнитного рентгеновского рассеяния является чувствительность к конкретным химическим элементам, поскольку разные элементы имеют отличные энергии края поглощения. Поляризационный анализ рассеяния позволяет определить, какие типы электронных состояний участвуют в формировании атомных магнитных моментов (p, d, f электроны). Данный метод также позволяет установить многоволновой характер магнитной структуры и может быть использован в случае малых значений магнитных моментов.

В качестве примера рассмотрим исследование магнитной структуры мультиферроика TbMnO_3 методом резонансного магнитного рентгеновского рассеяния (S.B.Wilkins, e.a. Phys. Rev. Lett. 103 (2009) 207602). Для измерений использовались монокристаллы с поверхностью, ориентированной под направлениями (010) и (0, 0.28, 1). Энергия падающего излучения была выбрана вблизи L_2 края поглощения Mn. При сканировании вдоль направления (010) в обратном пространстве наблюдались три сверхструктурных рефлекса (0 τ 0), (0 2 τ 0), (0 1-2 τ 0), $\tau=0.28$ магнитной природы (рис. 9), исчезающих при отклонении от условий

резонанса. Рефлекс $(0\ 1-2\tau\ 0)$ является второй гармоникой рефлекса $(0\ 1-\tau\ 0)$. При изменении энергии падающего пучка фотонов до значения, соответствующего краю поглощения M_4 Tb, наблюдался сверхструктурный рефлекс $(0\ \tau\ 1)$. Измерения азимутальных зависимостей интенсивности сверхструктурных рефлексов $(0\ \tau\ 0)$ и $(0\ 1-2\tau\ 0)$ позволили сделать выводы об ориентации Фурье-компонент магнитных моментов атомов Mn по отношению к кристаллографическим осям. На основании этой информации были уточнены модели магнитной структуры, полученные ранее из нейтронной дифракции. Согласно нейтронным данным, ниже точки магнитного упорядочения $T_{N1} = 42\text{ K}$ в $TbMnO_3$ возникает несоразмерная магнитная фаза с коллинеарным расположением магнитных моментов Mn по отношению друг к другу. При $T_{N2} = 28\text{ K}$, температуре появления сегнетоэлектрической фазы, наблюдалось изменение симметрии магнитной структуры, связанное с поворотом магнитных моментов Mn и формированием эллиптической циклоиды (M.Kenzelmann et al., Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 087206) (рис.10). Синхротронные данные позволили выявить неколлинеарное расположение магнитных моментов марганца в магнитной фазе выше T_{N1} .

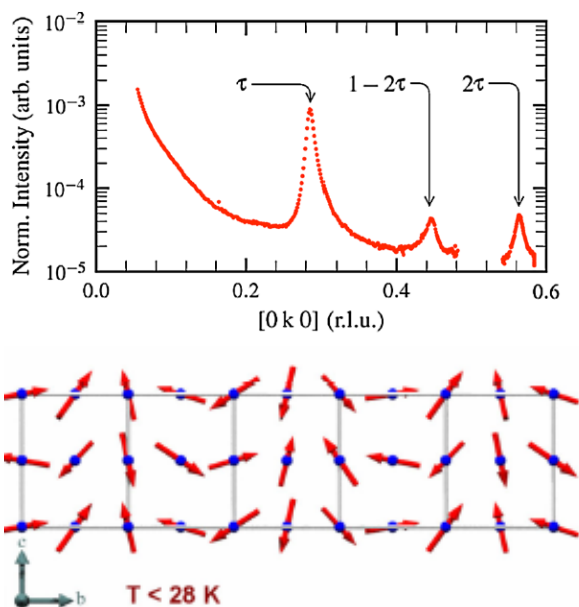


Рис. 10. Слева: Резонансные магнитные рефлексы, измеренные при сканировании образца $TbMnO_3$ вдоль направления (010) с использованием энергии падающего пучка фотонов, соответствующего L_2 краю поглощения Mn. Справа: магнитная структура $TbMnO_3$ при температурах ниже 28K, полученная на основе совместного анализа нейтронных и синхротронных данных.

Помимо магнитного упорядочения, резонансное рентгеновское рассеяние также позволяет изучать характеристики зарядового и орбитального упорядочения в сильнокоррелированных электронных системах. Для сравнения, из данных нейтронной дифракции информацию о зарядовом и орбитальном упорядочении можно получить только косвенно на основе анализа длин межатомных связей и их ориентации по отношению к кристаллографическим осям. В качестве примера рассмотрим исследование соединения $La_{0.5}Sr_{1.5}MnO_4$ (P.D.Hatton, S.B.Wilkins, T.A.W.Beale, T.Johal, P.Bencok, D.Prabhakaran, and A.T.Boothroyd, Adv. in Solid State Phys. 44 (2004) 467). При температуре $T = 140\text{ K}$ в спектрах резонансного рентгеновского рассеяния, измеренных вблизи края поглощения Mn L_{III} наблюдалось появление сверхструктурного рефлекса $(1/4\ 1/4\ 0)$, $E \approx 643\text{ эВ}$ (рис. 11A), связанного с возникновением дальнего порядка в расположении e_g орбиталей ионов Mn (рис. 12). Ниже температуры Нееля наблюдалось также появление сверхструктурного магнитного рефлекса, связанного с формированием антиферромагнитного основного состояния (рис. 11B).

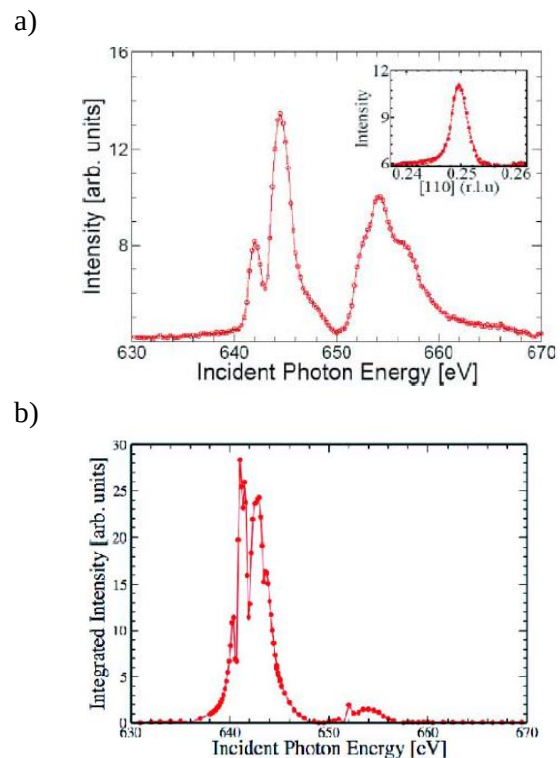


Рис. 11. Спектры резонансного рентгеновского рассеяния, измеренные для $La_{0.5}Sr_{1.5}MnO_4$ вблизи края поглощения Mn L_{III} при $T = 140\text{ K}$ (a) и 63 K (b).

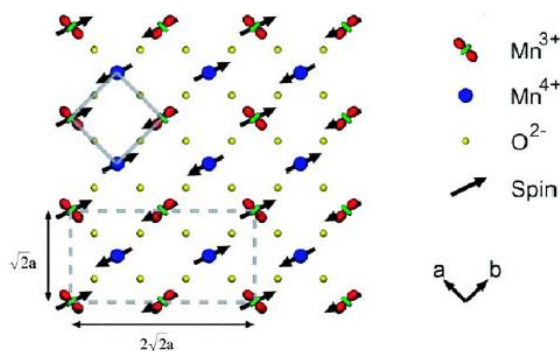


Рис. 12. Магнитное, орбитальное и зарядовое упорядочение в соединении $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{MnO}_4$.

Полученные экспериментальные данные позволили уточнить характер магнитного и орбитального упорядочения в $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{MnO}_4$ и взаимосвязь между ними.

В.2. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм.

Метод рентгеновского магнитного кругового дихроизма основан на поляризационной зависимости магнитного рассеяния (J. Stohr, e.a. Science 259 (1993) 65822; R.Boada, M.A.Laguna-Marco, J.A.Gallastegui, G.R.Castro, and J.Chaboy, J. Synchrotron Rad. 17 (2010) 308) синхротронного излучения. Для анализа этой зависимости проводится поочередное измерение сечения поглощения синхротронного излучения, имеющего левую и правую круговую поляризацию, при прохождении через материал, направления атомных магнитных моментов которого ориентированы параллельно или антипараллельно волновому вектору падающего пучка (J.Stohr, J. Magn. Magn. Mater. 200 (1999) 470). Принципиальная схема эксперимента по магнитному круговому дихроизму показана на рис. 13. Падающий пучок СИ монохроматизируется с помощью кристалла-монохроматора и имеет линейную поляризацию. Для создания круговой, правой или левой поляризации пучка, можно использовать разные способы, например отражение от монокристалла алмаза, ориентированного вдоль направления (111) в ассиметричной геометрии дифракции Лауэ. В эксперименте измеряется интенсивность падающего пучка СИ (I_0) и интенсивность пучка, прошедшего через образец (I_t), помещенный в продольное магнитное поле.

Энергия падающего излучения выбирается вблизи какого-либо края поглощения магнитных атомов. Интенсивность спектров поглощения определяется в основном процессами возбуждения электронов с внутренней 2p – оболочки на незаполненные состояния валентной 3d-оболочки (для случая 3d

элементов). Из-за наличия расщепления энергетических уровней с направлением спина вверх и вниз, а также спин-орбитального расщепления, разность сечений поглощения при правой и левой круговой поляризации излучения несет информацию о магнитных свойствах материала.

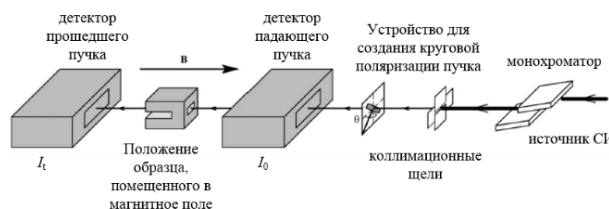


Рис. 13. Принципиальная схема эксперимента по магнитному круговому дихроизму.

С помощью рентгеновского магнитного кругового дихроизма можно получать информацию о спиновом и орбитальном вкладе в магнитный момент атома, а также природе электронных состояний, участвующих в формировании магнитных моментов и магнитокристаллической анизотропии материала. В качестве примера рассмотрим исследование мультиферроика LuFe_2O_4 (рис. 14) (К.-Т. Ко, e.a., Phys. Rev. Lett. 103 (2009) 207202). Спектр магнитного кругового дихроизма содержит отрицательный и положительный вклады относительно фонового значения в области пиков поглощения, соответствующих разновалентным ионам железа Fe^{2+} и Fe^{3+} . Это соответствует параллельной и антипараллельной ориентации магнитных моментов Fe^{2+} и Fe^{3+} относительно ориентации вектора полной намагниченности образца. Разная площадь этих вкладов связана с ферромагнитным характером основного магнитного состояния LuFe_2O_4 . По экспериментальным данным были определены значения орбитального и спинового вкладов в магнитный момент ионов Fe. Оказалось, что в данном соединении наблюдается аномально большая орбитальная составляющая магнитного момента, $m_o = 0.8 \mu_B/\text{f.u.}$ (f.u. – формульная единица), а спиновая составляющая имеет значение $2.3 \mu_B/\text{f.u.}$ Для сравнения, в большинстве магнитных оксидов величина магнитного момента атомов определяется преимущественно спиновым вкладом, а орбитальная составляющая как правило пренебрежимо мала. Большая орбитальная составляющая магнитного момента ионов Fe является причиной очень сильной магнитной анизотропии и гигантской коэрцитивности, наблюдаемой в LuFe_2O_4 .

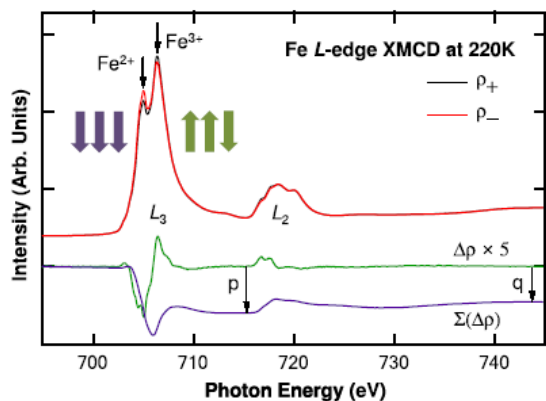


Рис. 14. Спектры рентгеновского поглощения LuFe_2O_4 , измеренные на краях поглощения Fe L_2 , L_3 для $T = 220$ K при параллельной (ρ_+) и антипараллельной (ρ_-) ориентации вектора намагниченности образца и вектора вращения поляризации пучка фотонов, и спектр магнитного кругового дихроизма $\Delta\rho = \rho_+ - \rho_-$.

Тем не менее, несмотря на значительный прогресс в развитии методов рассеяния СИ, пока они не составляют серьезной конкуренции методам рассеяния нейтронов в решении задачи по определению магнитной структуры конденсированных сред. В случае нерезонансного магнитного рассеяния СИ это обусловлено крайне низкой интенсивностью магнитного сигнала (в $\sim 10^{-7}$ раз меньше интенсивности Томпсоновского рассеяния). В случае резонансного рассеяния СИ зачастую возникают трудности в интерпретации экспериментальных данных, связанные с достаточно сложным математическим моделированием. В случае синхротронных исследований необходимо использовать монокристаллы для измерений, что не всегда позволяет измерить достаточное количество отражений чисто магнитной природы для определения магнитной структуры за разумное время, да и получение монокристаллов возможно далеко не для всех магнитных материалов.

В то же время, методы резонансного магнитного рентгеновского рассеяния и магнитного кругового дихроизма позволяют получить дополнительную информацию, которую невозможно получить с помощью методов рассеяния нейтронов – определить орбитальный и спиновый вклады в атомный магнитный момент с высокой точностью и даже в случае парамагнитных материалов, природу электронных состояний, участвующих в формировании магнитных моментов и магнитокристаллической анизотропии материала. Селективная чувствительность резонансного магнитного рентгеновского рассеяния позволяет эффективно использовать

этот метод для уточнения моделей сложных магнитных структур, включающих магнитное упорядочение нескольких типов атомов. Для соединений, содержащих магнитные атомы с большим сечениями поглощения нейтронов – Gd, Eu, Sm, данный метод является важным дополнением к нейтронной дифракции для исследования характера магнитного упорядочения таких атомов в структуре.

III. ВЗАИМОДОПОЛНЯЮЩЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ И МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ И СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСИСТЕМ

A. Нейтронная и рентгеновская рефлектометрия слоистых наноструктур

Схема эксперимента по рассеянию нейтронов от границы раздела сред показана на рис. 15. Принципиально данная схема справедлива и для рентгеновского излучения. Основные положения теории и эксперимента по рентгеновской и нейтронной рефлектометрии можно найти в (Daillant, J., Gibaud, A. (Eds.), *X-ray and Neutron Reflectivity: Principles and Applications*, Lect. Notes Phys. 770 (Springer, Berlin Heidelberg 2009), DOI 10.1007/978-3-540-88588-7). Анализ экспериментально измеренной зависимости интенсивности нейтронов, зеркально отраженных от границы раздела сред, от значения вектора рассеяния позволяет получить информацию о распределении плотности длин когерентного рассеяния нейтронов по глубине образца, вдоль оси, перпендикулярной границе раздела сред. В последние годы все больший интерес исследователей привлекает анализ сигнала незеркально рассеянных нейтронов. Это связано с тем, что данный канал рассеяния несет информацию о неоднородностях границ раздела сред в латеральной плоскости. Эти неоднородности могут быть связаны с атомной шероховатостью, наличием структурных или магнитных доменов на поверхности, включая магнитную шероховатость, а также с наличием трехмерно упорядоченных микро- или наноструктур на поверхности образца или в его приповерхностном слое (см. напр. Yohko F. Yano, e.a. *Journal of Synchrotron Radiation* 17 [4] (2010) 511; P. Gutfreund, e.a. *Langmuir*, 32 [35] (2016) 9091).

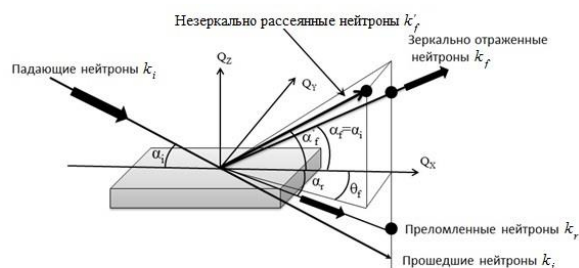


Рис. 15. Схема эксперимента по рассеянию нейтронов (или рентгеновских фотонов) от границы раздела сред в скользящей геометрии. Падающие нейтроны характеризуются волновым вектором k_i и углом скольжения α_i . Показаны зеркально отраженная нейтронная волна ($\alpha_r = \alpha_i$) и незеркально отраженные нейтроны, для которых угол рассеяния отличается от значения угла скольжения падения ($\alpha_r \neq \alpha_i$ или $\theta_r \neq 0$, или оба условия выполнены). Также приведены нейтронная волна, прошедшая через образец без взаимодействия с ним, и преломленная нейтронная волна, характеризуемая углом преломления α_t .

Как рентгеновская, так и нейтронная рефлектометрия имеют специфические преимущества и недостатки. К преимуществам рентгеновского метода относятся высокая светосила, возможность измерения очень малых значений коэффициента отражения (до 10^{-10}), высокая разрешающая способность, чувствительность к химическому составу образца, возможность изучать динамику быстротекущих процессов. Вместе с тем, метод имеет и недостатки, к которым можно отнести трудности при исследованиях требующих сложных систем создания необходимых условий на образце, нетривиальная теоретическая интерпретация данных по отражению рентгеновских фотонов от магнитных слоистых наноструктур, трудности при исследовании скрытых границ раздела и невозможность реализации эксперимента по трехмерной магнитной рефлектометрии. Нейтронный метод непосредственно количественно измеряет намагниченность, интерпретация данных достаточно проста и дает количественные характеристики, возможно количественно определить значение и направление намагниченности в различных слоях многослойной наносистемы. С помощью нейтронов легко изучать скрытые границы раздела, при необходимости можно наносить на поверхность изучаемого образца буферные защитные слои, зачастую можно исследовать реальные, а не специально подготовленные для эксперимента объекты. Возможно использовать изотопное замещение для увеличения контраста при измерениях. Но при этом нейтронные

методы обладают малой светосилой, и каждое измерение занимает до нескольких часов. В стробоскопическом режиме можно изучать процессы длительностью только около 10 микросекунд и более, что существенно уступает возможностям синхротронного метода. Разрешающая способность метода и минимальный измеряемый коэффициент отражения (до 10^{-7}) существенно уступают рентгеновскому методу. Также нейтроны не позволяют реализовать резонансные и спектроскопические методики, чувствительные к различным типам атомов в исследуемом образце, что легко реализуется для рентгеновского метода. Как и в случае с магнитной дифракцией, нейтроны не позволяют различить спиновые и орбитальные магнитные моменты. Проиллюстрируем отмеченные особенности на некоторых примерах.

В работе (M. Mezger, e.a. PNAS 103 [49] (2006) 18401) методом рефлектометрии высокоэнергетичного синхротронного излучения исследовалась самоорганизация монослоев поверхностно-активного вещества (ПАВ) октадецил-трихлорсилана (ОТС) на кремниевых подложках и взаимодействие воды с этими сильно гидрофобными подложками с разрешением на уровне Ангстрема. На рисунке 16 показаны результаты измерений и обработки данных для сухого слоя ПАВ.

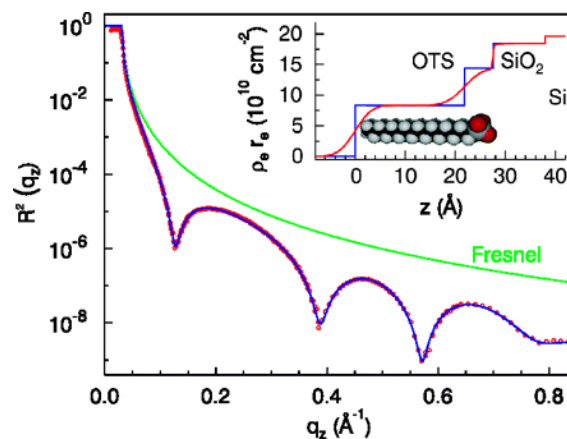


Рис.16. Коэффициент отражения рентгеновского излучения от сухого монослоя ОТС на кремниевой подложке. Для сравнения приведена зависимость коэффициента отражения для чистой кремниевой подложки (зеленая линия). Теоретическая модель, предполагающая расположение головных частей молекул ОТС на поверхности подложки и хвостов молекул, ориентированных перпендикулярно поверхности идеально описывает экспериментальные данные (синяя линия). На вставке показан профиль электронной плотности полученный на основе экспериментальных данных (синяя линия — идеальный профиль, красная линия — реальный профиль электронной плотности, учитывающий шероховатость границ раздел слоев).

Нейтронные исследования с такой разрешающей способностью и в таком широком диапазоне передач импульса проводить не представляется возможным. На рисунке 17 (D.J.Menzies, e.a., J. R. Soc. Interface 9 (2012) 1008) показано сравнение рентгеновских и нейтронных рефлектометрических экспериментальных данных, полученных на трех различных полимерных пленках, нанесенных на кремниевую подложку. Легко заметить, что и диапазон переданных импульсов и разрешающая способность нейтронного эксперимента существенно уступает рентгеновскому.

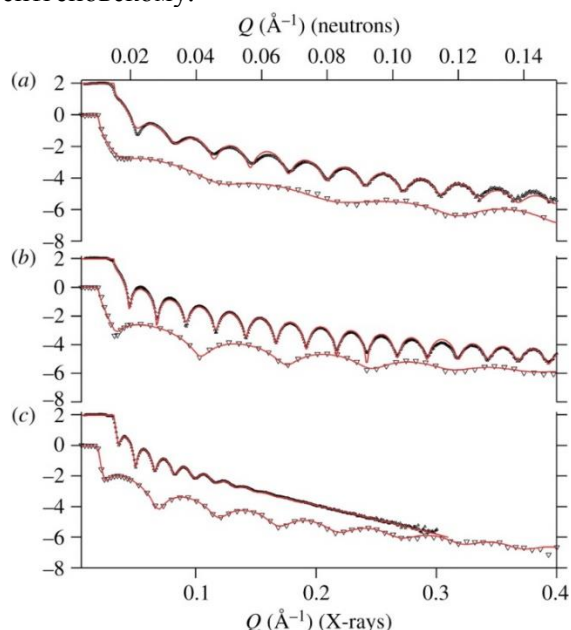


Рис.17. Коэффициенты отражения рентгеновского излучения (верхние кривые на рисунках (a), (b) и (c)) и нейтронов (нижние кривые на тех же рисунках) для трех различных по технологии нанесения полимерных пленок на поверхности кремния. Рентгеновские данные сдвинуты по вертикали относительно нейтронных на 10^2 для наглядности.

Чувствительность к типу элемента (за счет разницы в энергии края поглощения) позволяет использовать метод магнитного кругового дихроизма в прецизионных исследованиях распределения магнитного момента в магнитных слоистых наноструктурах. Интересным объектом являются слоистые структуры, образованные ферромагнитными 3d металлами и немагнитными (в обычном состоянии) 5d металлами, например, Ni_n/Pt_m , являющимися прототипами материалов для записи и хранения информации нового поколения (F.Wilhelm, e.a., Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 413). Исследования методом магнитного кругового дихроизма позволили послойно определить величину намагниченности в

исследуемых образцах (рис. 18) и подтвердить существование ферромагнитной поляризации, возникающей в слоях Pt за счет эффектов близости от слоев Ni. Величина наведенного магнитного момента оказалась достаточно значительной, около 0.3 мВ.

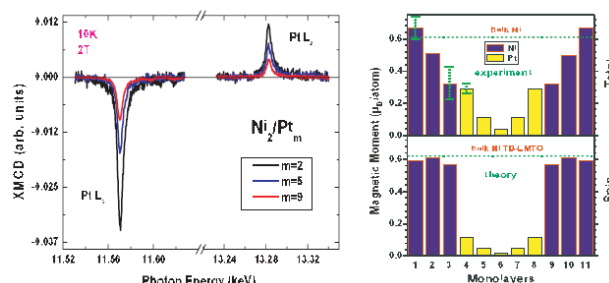


Рис. 18. Слева: Экспериментальные спектры магнитного кругового дихроизма от образцов Ni_2/Pt_m . Справа: экспериментальный и рассчитанный профиль намагниченности в многослойной структуре Ni_6/Pt_5 . Показаны только спиновые составляющие магнитного момента.

Но наряду с отмеченными уникальными возможностями, рентгеновские методы зачастую оказываются менее эффективными или вообще не позволяют получить информацию, доступную на основе анализа нейтронных рефлектометрических данных. Для изучения биологических объектов и систем часто необходимо использовать системы для создания необходимых условий (влажности, pH, температуры, состава атмосферы и т.д.). Тогда бывает необходимо проводить эксперимент таким образом, что падающий и отраженный пучки излучения проходят сквозь подложку, на которую нанесен изучаемый объект. В случае с рентгеновским излучением такие эксперименты невозможны, так как излучение поглощается в толстой подложке, а для нейтронной рефлектометрии данная проблема отсутствует благодаря высокой проникающей способности нейтронов. Так, например в работе (A. Mashaghi, e.a., Chem. Soc. Rev., 43 (2014) 887) приведены исследования структуры биологических мембран на подложке TiO_2 . Над поверхностью мембраны находился растворитель, обеспечивающий соблюдение необходимых биологических условий для мембраны. Нейтроны проходили сквозь подложку и отражались от био-мембраны, как показано на рисунке 19.

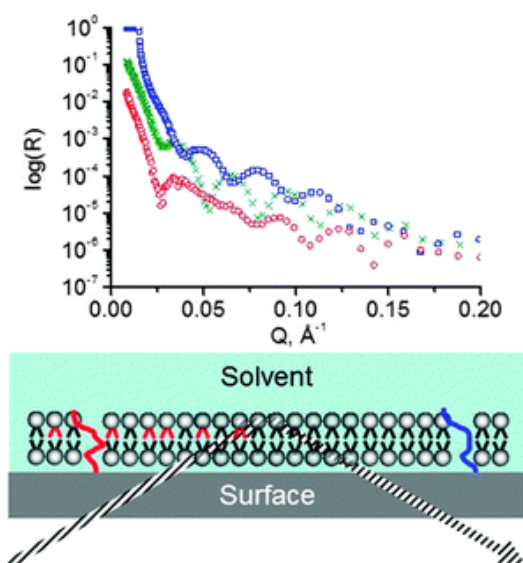


Рис. 19. Схема нейтронного рефлектометрического эксперимента. Нейтронный пучок проходит сквозь подложку и отражается от границ раздела подложка – био-мембрана и био-мембрана – растворитель. Сверху показаны коэффициенты отражения нейтронов для различных модификаций изотопного состава био-мембран.

Уникальная особенность нейтронной рефлектометрии состоит и в том, что за счет вариации изотопного состава объекта можно выделять в спектрах сигналы от отдельных компонент сложной системы. Так в работе (V. Rondelli, e.a., Scientific Reports | 6:20997 | (2016) DOI: 10.1038/srep20997) изучалось взаимодействие амилоидов с биологическими мембранами. Амилоиды – специфические белки, агрегация которых считается ответственной за возникновение такого неизлечимого сегодня заболевания как болезнь Альцгеймера. Нейтронная рефлектометрия позволила на микроскопическом уровне исследовать специфическую упаковку различных биологических молекул, входящих в состав теста на беременность женщин и определить причины ограниченной достоверности таких тестов (J.R.Lu et al. Langmuir 30 (2014) 5880). Возможность вариации изотопического состава изучаемого объекта позволяет в случае нейтронной рефлектометрии реализовать исследование структуры нано систем в зависимости от расстояния от поверхности подложки, на которую объект нанесен (M.Kerscher et al. Phys. Rev. E 83 (2011) 030401(R)). Обзор широких возможностей нейтронной рефлектометрии для характеристики технологически важных многослойных металлических покрытий, включая и ядерные материалы можно найти в (Michael J. Demkowicz and Jaroslaw Majewski

Metals 2016, 6, 20). Аналогичные эксперименты с использованием синхротронного излучения практически не реализуемы.

И, наконец, когда речь идет о расшифровке сложного трехмерного упорядочения магнитных моментов в слоистых наноструктурах, нейтроны оказываются незаменимы (C. H. Marrows, L. C. Chapon, S. Langridge ‘Spintronics and functional materials’ Materials Today 12, 7-8 (2009) 70; M. R. Fitzsimmons, Ivan K. Schuller ‘Neutron scattering - The key characterization tool for nanostructured magnetic materials’ Journal of Magnetism and Magnetic Materials 350 (2014) 199).

В качестве примера рассмотрим недавнюю работу по наблюдению магнито-электрического эффекта в гибридной слоистой наноструктуре (F.Katmis, V.Lauter, F.S.Nogueira, et al. Nature 533 (2016) 513). Топологические изоляторы (см. обзор Y.Ando, J. Phys. Soc. Jpn. 82 (2013) 102001) относятся к материалам с проводящими состояниями на своей поверхности (в объеме они – изоляторы) с необычными свойствами, обусловленными топологическими эффектами. Такие вещества представляют особый интерес для приложений в области спинтроники, поскольку спины электронов на поверхности оказываются связанными с их импульсами. Этот факт можно использовать в практических применениях. В рассматриваемой работе показано, что связь на границе раздела между ферромагнитным изолятором (сульфидом европия, EuS) и топологическим изолятором (селенид висмута, Bi₂Se₃) индуцирует возникновение ферромагнитного упорядочения магнитных моментов на границе раздела уже при комнатной температуре, тогда как EuS становится ферромагнетиком только при температурах ниже 17 К. Наблюдавшийся магнито-электрический отклик в этой гибридной структуре открывает новые возможности контроля намагниченности с помощью электрического поля, что является основной проблемой в области спинтроники. На рисунке 20 приведена структура и схема упорядочения магнитных моментов в гибридной наноструктуре, полученная с помощью рефлектометрии поляризованных нейтронов. Вместе с тем имеется множество примеров, когда две методики удачно взаимно дополняют друг друга, позволяя изучить различные аспекты одной и той же проблемы (см. напр. S.J. Callori, et al., Metals 2016, 6, 125; Emanuel Schneck et al., PNAS 113 [34] (2016) 9521).

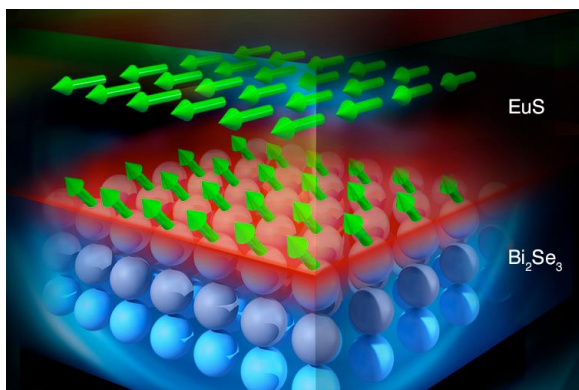


Рис. 20 Структура Bi_2Se_3 -EuS бислойной пленки. Для верхнего слоя распределение направления вектора намагниченности атомов по Eu показано зелеными стрелками. Синие сферы представляют Bi_2Se_3 слои вблизи интерфейса, которые намагничиваются в непосредственной близости к ферромагнитному изолятору EuS.

В. Малоугловое рассеяние нейтронов и синхротронного излучения для исследования наносистем

Малоугловое рассеяние рентгеновского (синхротронного) излучения и нейтронов относится к методам структурного анализа низкого пространственного разрешения (L. A. Feigin and D. I. Svergun, Structure Analysis by Small-Angle X-Ray and Neutron Scattering, Plenum Press/Springer, New York, 1987; O. Glatter, Journal of Applied Crystallography 10 (1977) 415). Метод широко используется для получения информации о характеристиках надатомной структуры вещества в диапазоне 1-100 нм. Принципиальная схема эксперимента по малоугловому рассеянию показана на рис. 21. В эксперименте анализируется зависимость интенсивности излучения, упруго когерентно рассеянного на образце, от вектора рассеяния при малых углах рассеяния, абсолютная величина которого связана с длиной волны и углом рассеяния как $q = 4\pi\sin(\theta/2)/\lambda$.

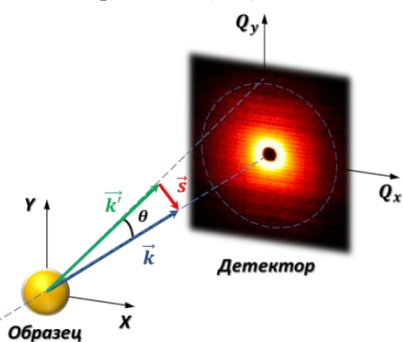


Рис. 21. Принципиальная схема эксперимента по малоугловому рассеянию.

Интенсивность упругого когерентного рассеяния с учетом усреднения относительно вектора рассеяния $\vec{q}$ можно записать в виде

$$I(q) = \left| \int_V \rho(\vec{r}) \frac{\sin(qr)}{qr} dV \right|,$$

где $\rho(\vec{r})$ - пространственное распределение плотности когерентной амплитуды рассеяния образца, интегрирование проводится по всему объему исследуемого образца V . Представленная формула представляет собой Фурье - преобразование, создающее «изображение» исследуемой системы в q - пространстве. Задача структурных малоугловых исследований - по измеренной интенсивности $I(q)$ восстановить пространственное распределение плотности $\rho(\vec{r})$ в исследуемом объекте.

С помощью метода малоуглового рассеяния можно получать информацию о структурных характеристиках широкого круга наносистем и наноструктурированных материалов в различных агрегатных состояниях, включая растворы, коллоидные системы, полимеры, гели, биологические макромолекулярные комплексы, мембраны, вирусы, сплавы, порошки, стекла и др. Типичный профиль кривой малоуглового рассеяния показан на рис. 22.

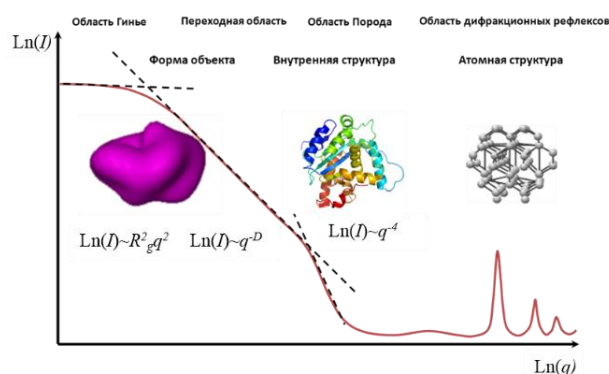


Рис. 22. Типичный профиль кривой малоуглового рассеяния и участки, характеризующие определенный вклад компонентов и структуры исследуемой системы.

Объекты, исследуемые с помощью малоуглового рассеяния рентгеновского (синхротронного) излучения и нейтронов, в общем виде можно описать как ансамбль частиц, помещенных в однородную среду - твердую матрицу или растворитель, характеризующую пространственным распределением плотности когерентной амплитуды рассеяния ρ_s . Разность между средним значением $\bar{\rho}$ и ρ_s называется контрастом, $\Delta\rho = \bar{\rho} - \rho_s$. Контраст является важной величиной, характеризующей

эффективность применения метода малоуглового рассеяния для получения структурной информации об исследуемом объекте.

В случае приближения однородных частиц, формула интенсивности малоуглового рассеяния трансформируется к виду

$$I(q) = (\bar{\rho} - \rho_s)^2 \left\langle \left| \int_V e^{iqr} dV \right|^2 \right\rangle = (\Delta\rho)^2 V^2 F^2(q)$$

где $F(q)$ – формфактор, зависящий от формы и размеров изучаемой частицы, для которого в ряде частных случаев может быть получено аналитическое выражение.

В общем случае неоднородных частиц распределение плотности когерентной амплитуды рассеяния исследуемых частиц можно представить в виде суперпозиции однородного вклада и дополнительного флуктуирующего вклада. Тогда формулу интенсивности можно представить в виде

$$I(q) = (\Delta\rho)^2 I_c(q) + 2\Delta\rho I_{cf}(q) + I_f(q),$$

где первый член соответствует рассеянию на однородном вкладе в плотность когерентной амплитуды рассеяния исследуемых частиц и определяется формой и объемом частицы, третий член определяется рассеянием на неоднородностях плотности когерентной амплитуды рассеяния, второй член – перекрестный. Определение всех трех вкладов в интенсивность малоуглового рассеяния дает возможность получения наиболее полного представления о структуре исследуемой системы. Это достигается за счет вариации значения $\Delta\rho$ путем изменения плотности когерентной амплитуды рассеяния с помощью изотопного замещения. Основанный на таком подходе метод называется метод вариации контраста (Н. Stuhmann, *Acta Crystallographica Section A* 26 (1970) 297; Н. Stuhmann, *Acta Crystallographica Section A* 64 (2008) 181).

Использование метода вариации контраста в малоугловом рассеянии рентгеновского излучения показывает, что изменить рассеивающие свойства частицы по отношению к рассеивающим свойствам растворителя, то есть изменить контраст в рассеянии рентгеновских лучей, на практике крайне трудно. Для этого в раствор исследуемых молекул необходимо добавить вещество, электронная плотность которого больше таковой у воды. Круг этих веществ очень ограничен (сахароза, глицерин), к тому же интервал изменения контраста невелик (М. Н. J. Koch and Н. В.

Stuhmann, in *Methods in Enzymology*, Vol. Volume 59 (L. G. Kivie Moldave, ed.), Academic Press, 1979, p. 670). При этом, изменение свойств растворителя может оказывать влияние на конформационные свойства высокомолекулярных соединений и особенности взаимодействия между растворителем и диспергированным веществом. Указанные особенности можно отнести к существенным недостаткам рентгеновского излучения применительно к малоугловому рассеянию.

С другой стороны, вариацию контраста возможно использовать в малоугловом рассеянии рентгеновских лучей, изменяя не плотности матрицы, а плотность отдельных участков исследуемого объекта. Для этого присоединяют к частице тяжелые атомные метки – вводят в молекулы тяжёлые атомы – и, анализируя изменения в кривой рассеяния, находят расстояние между этими участками. Примеры использования данного подхода можно найти в (J. Lipfert and S. Doniach, *Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure* 36 (2007) 307). Но на практике подобные изменения структуры являются довольно трудоемкими, и часто могут повлечь за собой изменение физико-химических свойств изучаемых систем.

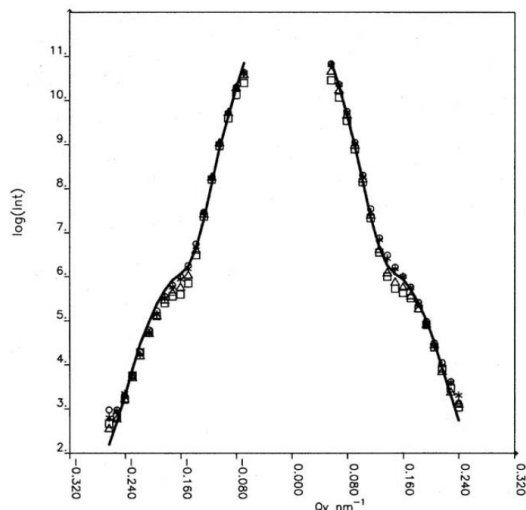
Малоугловое рассеяние нейтронов, напротив, дает гораздо более широкие возможности вариации контраста за счет изотопного замещения. Это связано с тем, что многие растворители содержат водород, а длины когерентного рассеяния нейтронов водорода и дейтерия имеют разные знаки, $b_H = -3.74$ фм и $b_D = 6.67$ фм. В результате, например, если растворитель – вода, то частичное замещение H_2O на D_2O позволяет вообще убрать рассеяние на растворителе ($\rho_s=0$) и исследовать только рассеяние на интересующих частицах, присутствующих в его среде

К преимуществам использования синхротронного излучения для малоугловых экспериментов можно отнести высокое разрешение, достигаемое за счет высокой степени коллимации, и очень высокую светосилу современных источников СИ. На рис. 23 продемонстрированы кривые малоуглового рассеяния, от образца трековых мембран, полученные с использованием малоуглового рассеяния нейтронов (а) (G. Pépy and A. Kuklin, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 185 (2001) 198) и

рентгеновских лучей (б) G. Pery, Journal of Applied Crystallography 40 (2007) 433). Сравнение картин рассеяния в одном диапазоне значений векторов рассеяния показывает существенно более высокое разрешение данных, полученных на синхротронном источнике по сравнению с нейтронными данными.

Разрешение спектрометров, использующих в качестве источника излучения синхротрон, таких как ID2, ID14-3 (ESRF, Гренобль, Франция) составляет $\Delta Q/Q \sim 1\%$, для нейтронных малоугловых спектрометров, например D11, D22 (ILL, Гренобль Франция), ЮМО (ОИЯИ, Дубна, Россия), отношение составляет $\Delta Q/Q \sim 10\%$. Наличие высокого разрешения в ряде случаев является необходимым для корректного анализа экспериментальных результатов.

а)



б)

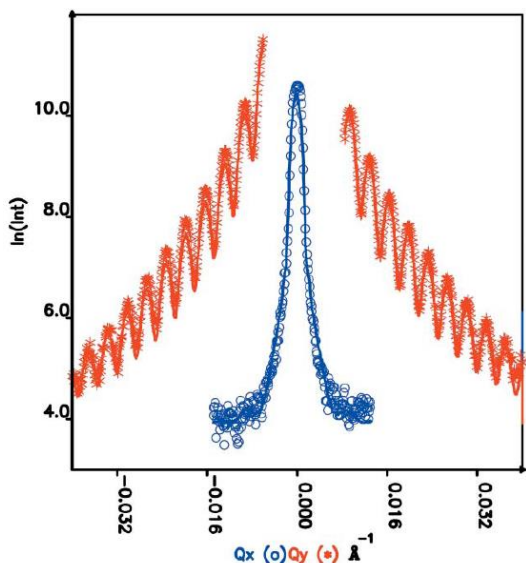


Рис. 23. Кривые малоуглового рассеяния от трековых мембран, полученных с использованием нейтронов (а) и

рентгеновского излучения от синхротронного источника (б).

Неоспоримым преимуществом использования нейтронов в малоугловом рассеянии является возможность изучения магнитных объектов, благодаря наличию у нейтрона магнитного момента, и использование метода вариации контраста, в основе которого положена описанная выше возможность изотопного замещения в исследуемых системах.

Представленные преимущества и недостатки использования нейтронов или рентгеновского излучения в малоугловом эксперименте, не дают однозначного выбора в пользу одного из них. Как правило, конечный выбор средства диагностики исследуемых систем методом малоуглового рассеяния определяется кругом задач, на решение которых направлено исследование. Идеальным является взаимодополняющее использование обоих видов излучения, что значительно расширяет и дополняет информативность малоугловых данных. Это подтверждается большим количеством публикаций в области исследования биологических, полимерных, высокодисперсных объектов, демонстрирующих взаимную дополнительность методов.

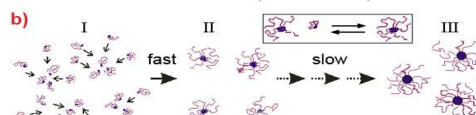
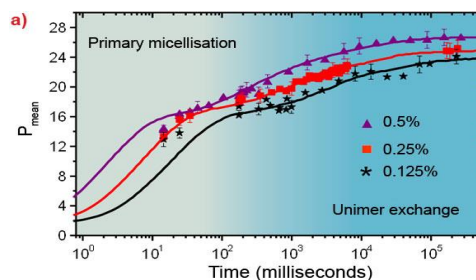
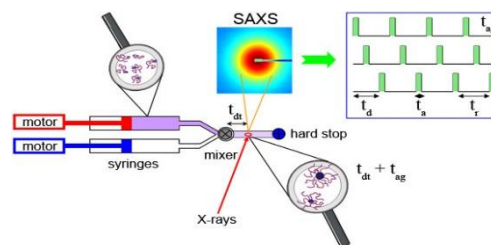


Рис. 24. Схема эксперимента (слева) по малоугловому рассеянию синхротронного излучения в реальном времени. Справа: а) Временная зависимость среднего числа молекул сополимера в мицелле (P_{mean}) для трех различных концентраций молекул блок сополимера в растворе. Сплошные линии соответствуют модельному описанию данных с использованием моделей нуклеации и кластеризации. б) Схематическое представление процесса

формирования мицелл, состоящего из быстрой фазы нуклеации, когда резко падает концентрация индивидуальных полимерных молекул в растворе и медленной фазы роста больших мицелл в растворе вплоть до достижения равновесной концентрации мицелл и отдельных полимерных молекул.

Высокая светосила в сочетании с высоким пространственным разрешением позволяют изучать с помощью малоуглового рассеяния синхротронного излучения динамику быстро протекающих процессов. В работе (P. Panine, S. Finet, T. Weiss, and T. Narayanan, *Adv. Colloid Interf. Sci.* **127** (2006) 9; G.V. Jensen e.a., *J. Am. Chem. Soc.* **135** (2013) 7214). Исследовалось спонтанное формирование мицеллярных агрегатов молекул блочных сополимеров в растворе в режиме реального времени с использованием малоуглового рассеяния синхротронного излучения. Впервые удалось наблюдать кинетику образования мицелл, что позволяет проводить моделирование с использованием моделей нуклеации и кластеризации. Схема эксперимента и полученные результаты показаны на рисунке 24.

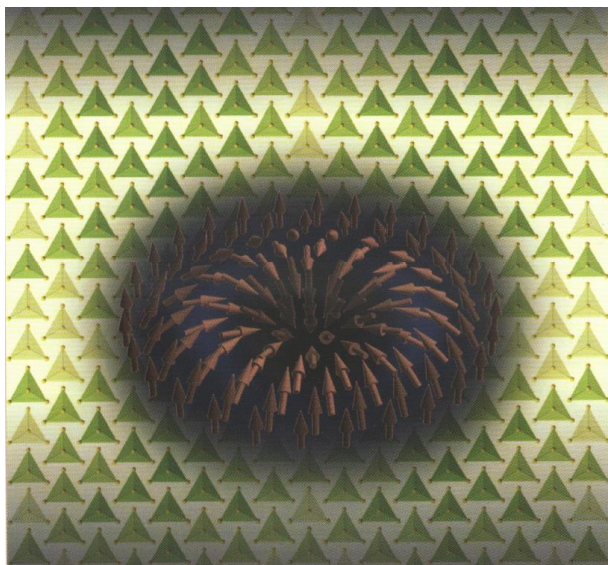


Рис.25. Схематическое изображение Неелевского скирмиона наложенного на фоновое изображение кристаллической решетки кристалла GaV_4S_8 , в котором он был обнаружен. Стрелки изображают индивидуальные спины, направление которых вращается в радиальном направлении при движении от периферии объекта к его центру.

Уникальные возможности нейтронного рассеяния для изучения магнетизма были использованы в работе (I.Kezsmarki e.a., *Nature Materials* **14** (2015) 116). С помощью малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов удалось впервые наблюдать скирмионы Неелевского типа в GaV_4S_8 . Скирмионы представляют собой спиновые вихревые структуры нанометрового диапазона

размеров. Изначально они возникли как абстрактные объекты в теориях элементарных частиц. Интерес к скирмионам сильно возрос в последние годы, поскольку оказалось возможным их экспериментальное наблюдение в киральных (то есть обладающих право-левой асимметрией) магнетиках. Предполагается, что такие необычные образования могут привести к новой революции в области спинтроники и систем хранения информации. На рисунке 25 показано схематичное изображение Неелевского скирмиона, построенного на основе анализа экспериментальных данных.

Как и в ранее рассмотренных разделах, зачастую именно совместное использование рентгеновского (синхротронного) и нейтронного малоуглового рассеяния позволяет получить наиболее достоверную и всеобъемлющую информацию об исследуемой системе. В этом смысле совершенно справедливо утверждение, что чем более широкий спектр экспериментальных методик и теоретических подходов используется, тем надежнее и полнее получаемые результаты. В качестве иллюстрации приведем исследование конденсации белка FKBP39 (C. Edlich-Muth, e.a, *J Mol Biol.* **427**(10) (2015) 1949). Данный белок присутствует в клетках некоторых насекомых. Его роль заключается в том, чтобы контролировать процесс упаковки и частичной распаковки молекул ДНК в хромосомах в процессах синтеза белковых молекул в клетках.

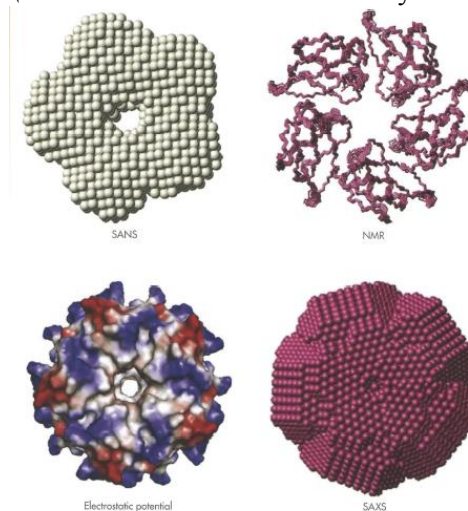


Рис. 26. Структура белка насекомых FKBP39, установленная на основе результатов исследований методами ЯМР, синхротронного и нейтронного малоуглового рассеяния и теоретического моделирования.

Исследования проведены с использованием метода ядерного магнитного резонанса, малоуглового рассеяния синхротронного излучения и нейтронов, а также теоретического

моделирования. Результаты показаны на рисунке 26. Комбинация всех указанных методик позволила получить достоверную информацию о структурной организации белка в виде пятигранного бублика с отверстием в центре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы синхротронных исследований конденсированных сред продемонстрировали впечатляющее развитие за довольно короткий промежуток времени. В тех вышеописанных научных областях, где еще недавно полностью доминировали нейтронные методики, на сегодняшний день методы рассеяния синхротронного излучения стали важным дополняющим методом исследований. Вместе с тем, проведенный в данной статье анализ показывает, что в ближайшем будущем методы рассеяния синхротронного излучения не смогут стать заменой методов рассеяния нейтронов, и

их развитие будет иметь взаимодополняющий, а не конкурирующий характер. Это связано с принципиальными физическими ограничениями, обусловленными различным характером взаимодействия нейтронов и фотонов с веществом, а также различиями в технической реализации экспериментальных методов и разницей в теоретических моделях, лежащих в основе методов обработки экспериментальных данных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражает искреннюю признательность доктору А.В.Рогачеву (ЛНФ ОИЯИ) за обсуждения сравнительных возможностей нейтронного и рентгеновского малоуглового рассеяния и написание вводной части раздела 3.2 и проф. Р.Пинн (Университет Калифорнии в Санта Барбаре) за обсуждения методов рентгеновской и нейтронной рефлектометрии.

EPR Study of Coffee

S. Munkhtsetseg,* M. Turbold, G. Shilagardi

Department of Physics, Natural Sciences Division, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia

Six medium and dark roast coffees and its grounds and one non-roast coffee samples in solid state from the one of coffee shops in Ulaanbaatar city were studied by the EPR spectroscopy. Singlet, low intensity but broad (16-17 Gs) EPR spectrum was registered near the 3400 Gs magnetic field from the all samples. Free radical concentration was evaluated about 10^{16} spin which can be a measure of antioxidative property.

PACS numbers: 07.57.Pt, 75.50.Kj

I. INTRODUCTION

It is just very few years that in Ulaanbaatar city there were opening coffee shops and coffee cafes as a new business trend, but nowadays in every street has its own coffee drinking places which are busy and crowd with hours working.

So it is interesting for us what are we interested in drinking, how healthful is this coffee actually or the formulation would be correct if we learned to prepare the coffee in its right way, since coffee has its many years useful use by people in the world.

Looking in the researching of coffee in agricultural and food chemistry field it was recognizable that coffee could be as a source of antioxidant. The property of antioxidant in coffee components was studied in many ways such as using powerful oxidant for reactions with coffee components or roasting degree dependence and its condition and etc [1-3].

Antioxidant activity can be successfully studied by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy because in coffee as a soluble and a non-soluble it was found a carbon and oxygen centered free radical singlet EPR line [1-6].

Therefore, in the present work an EPR spectroscopy is applied to study coffees as a raw, a prepared (roasted under certain condition) and its grounds (as a coffee brew quality prepared under certain condition) taken from one of Ulaanbaatar coffee shops for the characterization.

II. EXPERIMENTALS, DISCUSSION AND RESULTS

Six medium and dark (it is also called a full city) roast coffees and its grounds and one non-roast coffee samples in solid state from one of the Ulaanbaatar coffee shops, but originally from Mexico, Indonesia, Colombia, Brazil, Honduras grown pure Arabica sort coffees were studied by EPR spectroscopy.

Arabica coffee is hand grown plant that milder by its flavor and taste than the wild sort of Robusta and

prepared as hand pick-up from the coffee tree and machine-sorted seeds by their sizes. These seeds then are dried before use. Drying step of the coffee seeds is different in every country according to the continental and climate conditions.

In our case the imported coffee raw seeds were roasted before use. The roasting condition was the following: The seed was heated continuously by its all side in the temperature from the 30°C up to 180°C by constant increase of the temperature. When the temperature reaches 180°C there is the first crack sound and it is ready the medium roast coffee. Further 210°C there is the second crack sound and the dark roast coffee in which seed oil was emerged outside of the seed skin.

These roasted samples of coffee were then crushed in a coffee breaker to a size as small particle as of up to 0.2 mm or less and bigger size particle up to 0.7 mm or less, and later these both sizes separately were applied for the spectroscopic analysis.

Further, for the coffee brew spectroscopic analysis means a consumer use, a part of roasted coffees were distilled at the temperature of 93-96°C and the pressure of 1-2 bar for the time interval of 18-35 seconds for the 20-40 mg coffee brew (coffee brew-I) whose caffeine component content is low as an espresso coffee; other part of roasted coffees were cracked first and paper filtered by the 93-96°C degree heated water for about 4 to 5 mins like a hand extraction process (coffee brew-II) whose caffeine component content is high. They are as a drip coffee. Coffee brew property was examined from the coffee grounds samples.

Sample mass is measured on the analytical balance Sartorius for weighing up to 520 g maximum with 0.1 or 0.01 mg resolution.

Powder samples then were sealed in transparent tubes with diameter less than 3 mm. For the EPR spectrometer measurement it was used 5 mm diameter quartz tube for the samples.

EPR was measurement done on the SEPR-12 Radio-Spectrometer at the Department of Physics, National University of Mongolia.

* Electronic address: munkhtsetseg_s@num.edu.mn

The spectrometer was operated at a frequency of near 9.0 GHz, with a 100 KHz modulation frequency, 0.01 Gs modulation amplitude, a thousand times gain and 100 s time constant.

Experimental results are summarized in the following table 1. In every sample it was registered singlet, low intensity but broad EPR spectrum with g-factor of approximately 2.00 near the 3400 Gs central magnetic field at room temperature (300 K) in a presence of air. EPR spectra parameters as the linewidth (ΔH_{pp}) determined as the difference of field positions of maximum and minimum of the first derivative EPR spectrum, the integral intensity

(I_{pp}) as the distance between maximum and minimum of the first derivative EPR spectrum and as well as paramagnetic species concentration as

$$N_{sam} = \frac{N_{ref} \cdot S_{sam}}{S_{ref}}, \text{ where } S = I_{pp} / 2 \cdot H_{pp}^2 \text{ or}$$

S_{sam} and S_{ref} are the area of the EPR spectrum, were determined. For the determination of the spin concentration it is measured coal sample EPR spectrum as a reference sample. The concentration of the reference sample is given as $N_{ref} = 4.5 \cdot 10^{17}$ spin.

Table 1. EPR spectra parameters of the studied coffee samples. Coffee samples named by its grown plant country and differ from their roasting degree and grind size (particle size: s – 0.15-0.2 mm; b – 0.5-0.7 mm).

Coffees	Roasting degree	Grind size	$m_{sam} \cdot 10^{-3}$, gram	EPR spectra parameters	
				ΔH_{pp} , Gs	$N_{sam} \cdot 10^{16}$, spin/gram
Mexico	medium	s	7.00	16.94	21.29
Colombia I			9.60	16.66	21.75
Indonesia			6.60	16.87	21.29
Honduras	medium	b	7.40	16.45	17.35
Colombia II			5.20	17.29	20.24
Brazil			8.50	16.87	18.25
Coffee grounds					
Mexico	medium	s	6.40	17.29	17.37
Colombia I			5.60	16.45	19.17
Indonesia			8.30	17.29	16.87
Honduras	medium	b	12.50	8.22	18.11
Colombia II			15.10	17.08	2.65*
Brazil			8.20	17.08	17.67
Coffee bean	non-roast	b	12.20	16.94	16.63

* may be an experimental error

EPR spectra of studied coffees and the coffee grounds are from the carbon centered free radicals as a single line centered around 3400 Gs.

According to the references [3] free radicals can act prooxidative as well as antioxidative, therefore it was evaluated a free radical content as an antioxidant activity of the studied sample.

Grind size was the main dependence factor of the amount of radical concentration, as shown in the fig.1 the free radical concentrations of the first three samples are definitely more than those of bigger particle size samples which are latter three coffee samples.

However, grind size, roasting degree and the coffee brew preparation condition (coffee brew I and II) of the coffee brew has no relation to the free radical concentration.

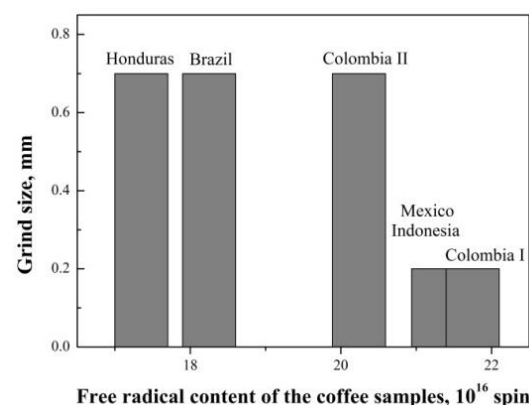


Fig.1 Dependence of coffee grind size on the free radical concentration

There is a well drawn free radical concentration relation between good grind (particle size - s) coffees (Mexico, Colombia I, and Indonesia coffees) and their grounds prepared under the

condition of coffee brew-I. The content of free radical is decreasing after (fig.2) distillation in water at the temperature of around 90°C. However this correlation has no meaning in poor grind samples (fig.3).

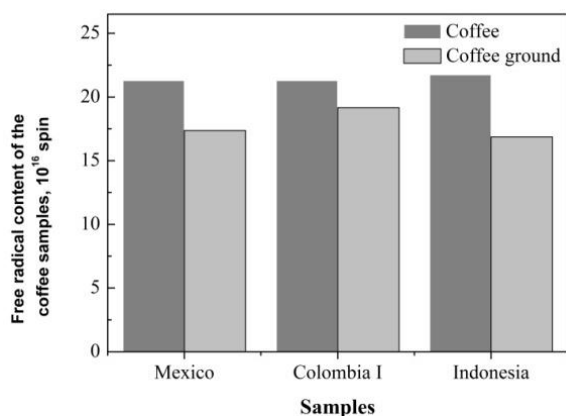


Fig.2 Free radical concentration in well grind (particle size - s) coffee and its ground

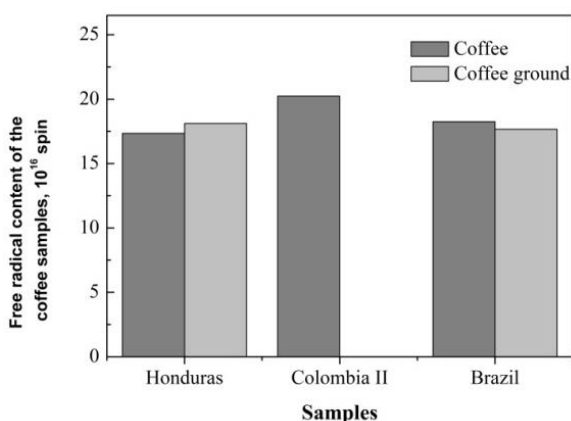


Fig.3 Free radical concentration in poor grind (particle size - b) coffee and its ground

EPR measurement results show that comparing to those of coffee and coffee ground samples roasted at the same degree (medium and dark) in [1-6] and the coal reference sample, the free radical concentration in our samples were significantly low (one order lower than the reference sample radical concentration). Experimental results show that roasting process produces free radicals definitely which is confirmed by the measurement and the evaluation of free radical concentration of only one raw sample as coffee bean, non-roasted. Linewidth of the EPR spectra of the studied samples were significantly broad between 16 to 17 Gs. There is no visible difference between samples EPR spectrum linewidth.

ACKNOWLEDGE

Authors are very thankful to EPR spectroscopy laboratory at the Department of Physics, NUM.

REFERENCE

- [1] Ederlinda C. Pascual, Bernard A. Goodman, Chanan Yeretzian J.Agric.Food.Chem, 2002, 50:6114-6122
- [2] Vlasta Brezova, Anna Slebodova, Andrej Stasko Food.Chem, 2009, 114:859-868
- [3] Bettina Cammerer Lothar W. Kroh EurFoodResTechnol, 2006, 223:469-474
- [4] J. P. OMeara, F. K. Triby, T. M. Shaw Food.Res. 1957, 22:96-101
- [5] J. D. Santanilla, G. Fritsch, W. Muller-Warmuth Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. 1981, 172:81-86
- [6] B.A. Goodman, S. M. Glidewell, N. Deighton, A.E. Morrice Food.Chem. 1994, 51:399-403

Preliminary Result of the $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi(\phi\phi\omega)$

Nomin-Erdene Erdenebat*, Banzragch Tsednee, Khurelbaatar Begzsuren

Institute of Physics and Technology, Mongolian Academy of Sciences

Using a sample of $441 \cdot 10^6 \psi(3686)$ events produced in e^+e^- collisions at $\sqrt{s} = 3.686 \text{ GeV}$ and collected with the BESIII detector at the BEPCII collider, we present studies of the decays $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$. We observe the ϕ and ω signals, around 780 MeV and 1020 MeV with significances of 3.19σ and 2.74σ , respectively. The branching fractions of $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ with subsequent decay $\phi \rightarrow K^+K^-$ are measured for the first time.

PACS numbers: 12.15.-y

INTRODUCTION

The quark model, an outstanding achievement of the last century, provides a rather good description of the hadron spectrum. However, baryon spectroscopy is far from complete, since many of the states expected in the SU(3) multiplets are either undiscovered or not well established [1]. At present, only 7 ($s\bar{s}$) states have been experimentally established. Further investigation of their properties, e.g. mass, width and spin-parity, is important to the understanding of ϕ states. In e^+e^- annihilation, double charmonium production may help establish the $\eta_c(2S)$ state and observed cross section of $J/\psi(c\bar{c}) \sim 10$ times larger than the NRQCD theoretical predictions. Start of $e^+e^- \rightarrow (s\bar{s})(s\bar{s})$ may help explore new ($s\bar{s}$) states and understand $(c\bar{c})(c\bar{c})$ puzzle.

Furthermore, our knowledge of charmonium decays into hadrons, especially to $\phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ decays, is limited. The precise measurements of the branching fractions of charmonium decays may help provide a better understanding of the decay mechanism. The large $\psi(3686)$ data sample collected with the BESIII detector provides a good opportunity to study to $\phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ decays.

In this paper, we report on a study of the decays $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ based on a sample of $1.06 \cdot 10^6 \psi(3686)$ events collected with the BESIII detector.

DETECTOR AND MONTE-CARLO SIMULATION

BESIII is a major upgrade of the BESII experiment at the BEPCII accelerator for studies of hadron spectroscopy as well as τ -charm physics [2]. BEPCII is a two-ring collider designed for a luminosity of $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at the ψ' resonance with a beam current of 0.93 A . The BESIII detector has a geometrical acceptance of 93% of 4π , and consists of a helium-gas-based drift chamber (MDC), a plastic scintillator time-of-flight system

(TOF), a CsI(Tl) electromagnetic calorimeter (EMC), a superconducting solenoid magnet providing 1.0 T magnetic field, and a resistive plate chamber-based muon chamber (MUC). The momentum resolution of charged particles at $1 \text{ GeV}/c$ is 0.5% . The time resolution of the TOF is 80 ps in the barrel detector and 110 ps in the end cap detectors. The photon energy resolution at 1 GeV is 2.5% (5%) in the barrel (end caps) of the EMC. The trigger system is designed to accommodate data taking at high luminosity. A comprehensive description of the BEPCII collider and the BESIII detector is given in Ref. [3].

A GEANT4-based [4] MC simulation software BOOST [5], which includes geometric and material description of the BESIII detector, detector response and digitization models as well as tracking of the detector running condition and performance, is used to generate MC samples. A series of exclusive MC samples, $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ with subsequent decay $\phi \rightarrow K^+K^-$ are generated to optimize the selection criteria and estimate the corresponding detection efficiencies. The production of ψ' is simulated by the generator KKMC [6, 7]. The subsequent decays are generated with BesEvtGen [8] with a uniform distribution in phase space. An inclusive MC sample, consisting of $441 \cdot 10^6 \psi'$ events, is used to study potential backgrounds, where the known decay modes of $\psi(3686)$ are generated by BesEvtGen with branching fractions at world average values [9], and the remaining unknown decay modes are modeled by LUNDCHARM [10].

EVENT SELECTION

The decays $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ are reconstructed from the decays $\phi \rightarrow K^+K^-$. At least four charged tracks are required and their polar angles θ must satisfy $\cos\theta < 0.93$. The combined TOF and dE/dx information is used to form particle identification (PID) confidence levels for pion, kaon

* Electronic address: e_nomin@ipt.ac.mn

and proton hypotheses. Each track is assigned to the particle hypothesis type with the highest confidence level. Candidate events are required to have one kaon. If more than one kaon candidate is identified, only the kaon with highest confidence level is kept, and the others are assumed to be pions. The final identified charged kaon is further required to originate from the interaction point (IP), i.e., the point of its closest approach to the beam is within 1 cm in the plane perpendicular to beam and within $\pm 10\text{ cm}$ along the beam direction. In the analysis, two ϕ particles are reconstructed and the K^+K^- combination with the minimum $|M(K^+K^-) - M(\phi)|$ is selected, where $M(K^+K^-)$ is the invariant mass of the ϕ

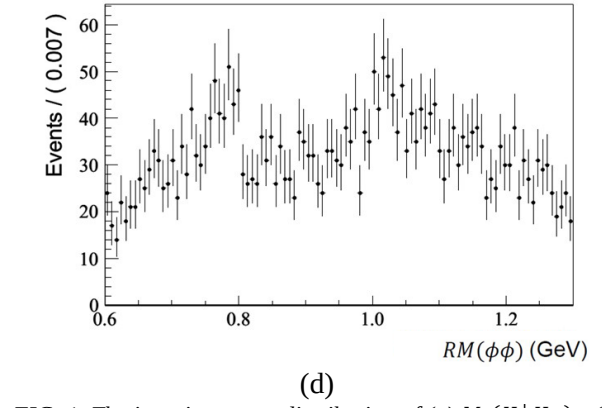
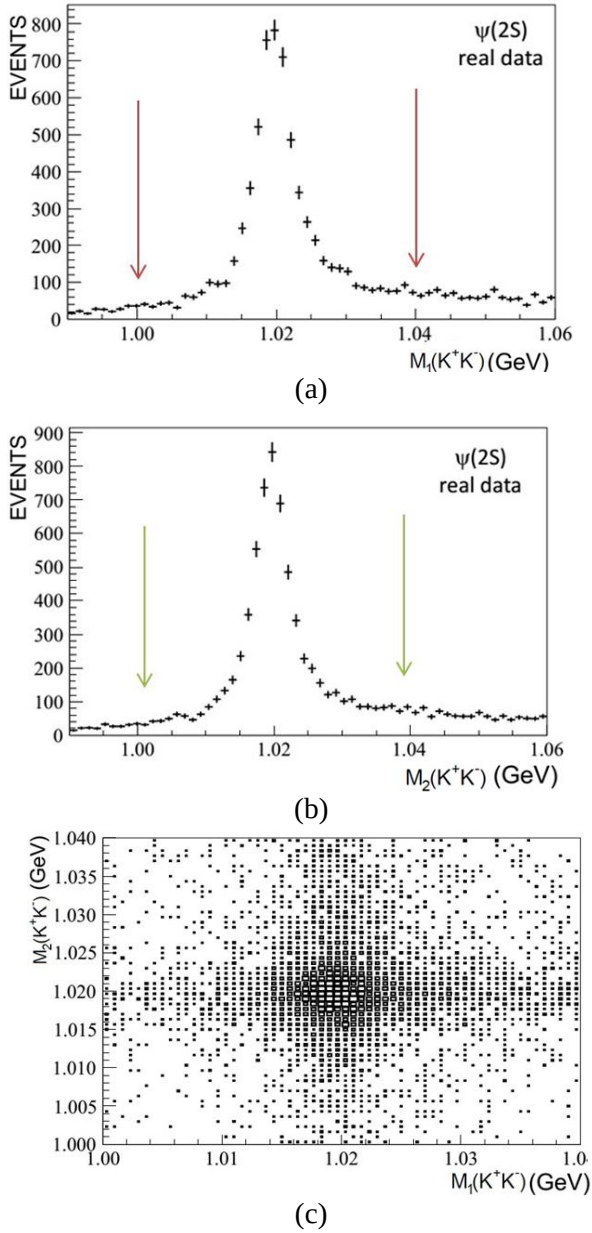


FIG. 1. The invariant mass distribution of (a) $M_1(K^+K^-)$, (b) $M_2(K^+K^-)$. Dots with error bars are data and the arrows indicate the selection requirements used in the analysis (see text). (c) The scatter plot of $M_1(K^+K^-)$ versus $M_2(K^+K^-)$ for data and the recoiling mass distribution of (d) $RM(\phi\phi)$ where significant ϕ and ω signals are observed in the data.

SIGNAL EXTRACTION

Signal yields are extracted using unbinned maximum likelihood fits to the observed distribution of the mass recoiling against $RM(\phi\phi)$ is shown in Figure 1(d). The following formula has been used for the fit:

$$\sum_{i=0}^2 BW(m; M_i; \Gamma_i) \otimes G(m, \sigma_i) + BG \quad (1)$$

where $BW(m; M_i; \Gamma_i)$ is the Breit-Wigner function for the natural line shape of the ϕ and ω resonances, BG represents the background shape and is described by a second order Chebychev polynomial, and $G(m; \sigma_i)$ is a modified Gaussian function parameterizing the instrumental mass resolution, which was used by ZEUS Collaboration in ref [10] and expressed by:

$$G(m; \sigma_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\left(\frac{m}{\sigma_i}\right)^{1+\left(\frac{1}{1+\frac{1}{\sigma_i}}\right)}} \quad (2)$$

In the fit, the natural widths of the ϕ and ω signals are fixed to the PDG [9] values, while their masses and corresponding instrumental resolutions are floated.

The overall fit result and the background components from the fit are shown as the solid and dashed curves in Figure. 2, respectively. The resulting signal yields, upper limits of signal yields, detection efficiency as well as the corresponding significances of the ϕ and ω signals, are summarized in Table I, where the significance is evaluated by comparing the difference of log-likelihood values with and without the ϕ and ω signals included in the fit and taking the change of the number of degrees of freedom into

consideration. The resonance parameters from the PDG [9] are also listed in Table I for comparison. The exclusive MC samples of $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ with subsequent decay $\phi \rightarrow K^+K^-$ used to determine the detection efficiencies. The detection efficiencies of the ϕ and ω signals are calculated by $\varepsilon = N^{fit}/N^{gen}$, where N^{fit} is the number of signals extracted from the fit, and N^{gen} is the number of generated signals.

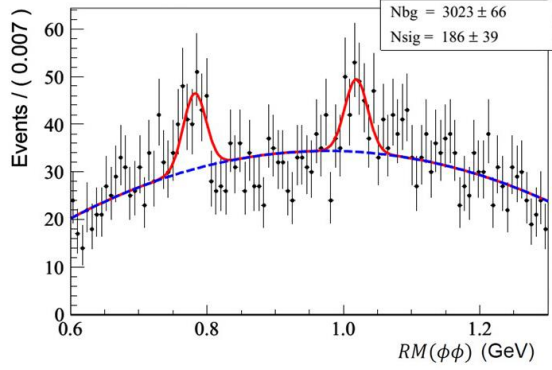


FIG. 2. Fit results projected to the recoiling mass distribution $RM(\phi\phi)$. Dots with error bars are data. The solid line is the total fit results, and the dashed line is the background contribution, respectively.

BRANCHING FRACTIONS

The branching fractions of $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ are calculated according to:

$$Br = \frac{N_{\psi'}}{(1 - \sigma_{sys}) \cdot N_{\psi'} \cdot \varepsilon \cdot Br(\phi \rightarrow K^+K^-) \cdot Br(\phi \rightarrow K^+K^-)}$$

where $N_{\psi'} = 441 \cdot 10^6$ is the number of ψ' events determined with inclusive hadronic events [12], N_{up} is the upper limit of signal events, $Br(\phi \rightarrow K^+K^-)$ is the branching fraction of $\phi \rightarrow K^+K^-$ as quoted in the PDG, and ε is the detection efficiency, evaluated from the exclusive MC sample in phase-space. The uncertainty is statistical only. The results are summarized in Table I.

TABLE I. The ϕ and ω signals fit results, where the uncertainty is statistical only. The Br denotes the branching fraction ($\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$) and $Br(\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\omega)$.

	ϕ	ω
Signal yields	93 ± 34	69 ± 23
Upper limits	148	113
Significance (σ)	2.74	3.19
Efficiency (%)	10.89 ± 0.089	20.13 ± 0.127
$Br(10^{-5})$	0.765 ± 0.063	1.096 ± 0.103
$M_{PDG}(\text{MeV})$	1019.45 ± 0.02	782.65 ± 0.12
$\Gamma_{PDG}(\text{MeV})$	4.26 ± 0.04	8.49 ± 0.08

SYSTEMATIC UNCERTAINTY

Several sources of systematic uncertainties are considered in the measurement of the branching

fractions. These include differences between data and the MC simulation for the tracking algorithm, the particle identification (PID), the fitting procedure, and mass window requirement.

a. Tracking efficiency and PID

In the analysis, according to existing results in Charm group, we assign 1.0 % as the uncertainty in tracking efficiency and PID to be conservative. Therefore, a 4% uncertainty is taken as the systematic uncertainty for the final states including $K^+K^-K^+K^-$.

b. The fitting procedure

As described above, the yields of the ϕ and ω signals are derived from fits to the mass recoiling distribution of $RM(\phi\phi)$. The fit uncertainties in the $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ decays are determined by changing the fit range and background shapes. *Mass resolution*: To evaluate the systematic effects associated with this aspect, the mass recoiling distribution of $RM(\phi\phi)$ in the MC samples are smeared with a Gaussian function, where the width of this Gaussian is zero. The uncertainty is estimated from difference between mass resolution determined from fit to MC and is a value of range within (0.001,0.1). *Background shape*: To estimate the uncertainties due to the background parameterizations, a second order instead of a third order Chebychev polynomial is applied in the fitting. Again, the difference between the two cases is used as an estimate of the systematic uncertainty.

c. Mass window requirement

The uncertainty due to the phi mass window is estimated with a control sample of $J/\psi \rightarrow \eta\phi$ and is studied by comparing the phi selection efficiency obtained in the inclusive MC and the data. The uncertainty is 2.1%.

In Table II a summary of all contributions to the systematic error is shown. In each case, the total systematic uncertainty is obtained by adding the individual contributions.

SUMMARY

Using $441 \cdot 10^6$ $\psi(3686)$ events collected with the BESIII detector, the process of $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$ are studied for the first time. In the decays $\psi(3686) \rightarrow \phi\phi\phi$ and $\phi\phi\omega$, the branching fractions measured and two signals, around 780MeV and 1020MeV are observed in the recoiling mass distribution $RM(\phi\phi)$ with significances of 3.19σ and 2.74σ , respectively. The fitted resonance parameters are consistent with those of ϕ and ω in the PDG [9] within one standard deviation. The results are summarized in Table III, where for each

branching fraction the first error is statistical and the second error is systematic. The measurements improve the existing knowledge of the ϕ and ω states and may help in the understanding of the charmonium decay mechanism.

TABLE II. Summary of all systematic errors (%) .

Items	$\phi\phi\phi$	$\phi\phi\omega$
Tracking	4.0	4.0
PID	4.0	4.0
Fitting method	0.16	0.49
Mass window requirement	2.1	2.1
Total	6.03	6.05

TABLE III. The branching fraction with statistical and systematic errors.

Items	$\phi\phi\phi$	$\phi\phi\omega$
$Br(10^{-5})$	0.765 ± 0.063	1.096 ± 0.103
	± 0.046	± 0.066

REFERENCES

- [1] R. Horgan, Nucl. Phys. B **71**, 514 (1974); M. Jones, R.H. Dalitz, R. Horgan, Nucl. Phys. B **129**, 45 (1977).
- [2] D. M. Asner et al., Int. J. Mod. Phys. A **24**, No. 1, 499 (2009).
- [3] M. Ablikim et al. (BESIII Collaboration), Nucl. Instrum. Meth. A **614**, 345 (2010).
- [4] S. Agostinelli et al. (GEANT4 Collaboration), Nucl. Instrum. Meth. A **506**, 250 (2003).
- [5] Z. Y. Deng et al. Chin. Phys. C **30**, **371** (2006).
- [6] S. Jadach, B. F. L. Ward and Z. Was, Comput. Phys. Commun. **130**, 260 (2000).
- [7] S. Jadach, B. F. L. Ward and Z. Was, Phys. Rev. D **63**, 113009 (2001).
- [8] D. J. Lange, Nucl. Instrum. Meth. A **462**, 152 (2001); R. G. Ping, Chin. Phys. C **32**, 599 (2008).
- [9] K. A. Olive et al., Chin. Phys. C **38**, 1 (2014).
- [10] J. C. Chen, G. S. Huang, X. R. Qi, D. H. Zhang and Y. S. Zhu, Phys. Rev. D **62**, 034003 (2000).
- [11] S. Chekanov et al. (ZEUS Collaboration), Eur. Phys. J. C **44**, 351-366 (2005).
- [12] M. Ablikim et al. (BESIII Collaboration), Chin. Phys. C **37**, 063001 (2013).

Получение Новых Материалов, Содержащих Углеродные Наночастицы

Э.М. Шпилевский¹, С.А. Филатов¹, Г. Шилагарди^{2,*}, П. Тувшинтур²

¹Институт тепло- и массообмена им. А.А. Лыкова НАН Беларуси, 220072, Минск, ул. П.Бровки, д.15, Беларусь, eshpilevsky@rambler.ru

²Монгольский национальный университет, Улан-Батор

В докладе рассмотрены физическо-химические принципы получения углеродных наночастиц: фуллеренов C_{60} и C_{70} , углеродных нанотрубок (УНТ), молекул экзофуллеридов Cu_6C_{60} и Sn_nC_{60} и эндофуллеридов HnC_{60} и $D_n@C_{60}$, ультрадисперсных агрегатов углерода (УДАУ), даны технологические основы получения новых материалов, содержащих углеродные наночастицы, приведены их важнейшие свойства. Для получения материалов использованы вакуумные, радиационные, технологии.

Обнаружение углеродных наночастиц (среди которых наиболее известны фуллерены и углеродные нанотрубки) повлекло бурное изучение как самих этих уникальных частиц, так и разработку способов их получения. Удивительные свойства этих частиц позволили рассматривать их как основу перспективных материалов [1]. В докладе рассмотрены физическо-химические принципы получения углеродных наночастиц: фуллеренов C_{60} и C_{70} , углеродных нанотрубок (УНТ), молекул экзофуллеридов Cu_6C_{60} и Sn_nC_{60} и эндофуллеридов HnC_{60} и $D_n@C_{60}$, ультрадисперсных агрегатов углерода (УДАУ), даны технологические основы получения новых материалов, содержащих углеродные наночастицы, приведены их важнейшие свойства. Для получения материалов использованы вакуумные, радиационные, технологии.

В наших исследованиях молекулы фуллеренов, ультрадисперсные агрегаты углерода (УДАУ), углеродные нанотрубки получали на автоматизированном технологическом комплексе, разработанном с участием одного из авторов [2]. Технологический процесс базируется на деструкции графита электрическим дуговым разрядом, происходящем в разреженной атмосфере гелия, заполняющим предварительно вакуумированную камеру.

Оптимизация технологии на деструкции графита обеспечивается выбором и автоматической стабилизацией режима дугового разряда, расстояния между электродами, давления инертного газа и режима его циркуляции. Получаемый деструкцией графита продукт содержит большое разнообразие УДАУ и молекулы фуллеренов как адсорбированных на

углеродных агрегатах, так и в виде мельчайших агрегатов и кристалликов из фуллереновых молекул. Этот продукт называют фуллеренсодержащей сажей или фуллеренсодержащей чернью и используется как наполнитель, модифицирующий различные материалы.

Способность фуллеренов растворяться в неполярных растворителях используется для выделения их из фуллеренсодержащей черни путём экстракции (в наших работах использовался толуол или бензол) [3]. Однако в растворе содержатся фуллерены с различным числом атомов углерода. При электродуговом способе получения фуллеренов экспериментально установлены примерные соотношения $C_{60} : C_{70} : C_{78} = 1 : 0,1 : 0,01$ при массовой доле фуллеренов C_{60} в фуллеренсодержащей саже 10...20 %. Смеси фуллеренов, как обычно, разделяли хроматографическим методом, изменяя состав наполнителя, тип элюента, способ введения смеси.

Одностенные углеродные нанотрубки получали на тот же технологическом комплексе, что и фуллерены. Однако, в сравнении с синтезом фуллеренов, образование углеродных нанотрубок происходит в существенно отличающихся условиях. Для зарождения и роста углеродных нанотрубок необходим катализатор (обычно переходной металл). Кроме того, давление газовой среды в реакторной зоне для получения углеродных нанотрубок должно составлять 400-600 торр. Углеродные нанотрубки, как и фуллерены, окутаны УДАУ. Выделение углеродных нанотрубок осуществляли кипячением в азотной кислоте (удаление каталитического металла) и

* Electronic address: gshilagardi@yahoo.com

прокаливанием на воздухе при $T=500^{\circ}\text{C}$ (удаление УДАУ). Долевой состав углеродных нанотрубок в продуктах электродуговой деструкции графита сильно зависит от давления гелия в реакторной камере.

Композиционные материалы металл – углеродные наночастицы получали в дуговом разряде в гелиевой среде при давлении $(13 - 65) \cdot 10^3$ Па на той же установке, на которой синтезировали фуллерены и УНТ. В процессе дугового разряда происходит интенсивная деструкция анода, при этом наряду с образованием наночастиц на охлаждаемой поверхности катода образуется осадок, который, содержит: графит, фуллерены и ультрадисперсные агрегаты углерода. Катодный осадок (депозит) в виде пористого гриба с переменной плотностью вырастает всегда при электродуговом синтезе фуллеренов или углеродных нанотрубок. В процессе получения композиционных материалов металл – углеродные наночастицы варьировались как материал катода, так и технологические условия: давление гелия в реакционной камере, расстояние между электродами, значение тока дуги, тепловой режим при осаждении и последующем охлаждении материала.

Изменение давления гелия изменяет соотношение количеств синтезируемых фуллеренов, углеродных нанотрубок, ультрадисперсных агрегатов углерода, ибо молекулы гелия при столкновении с элементами деструкции графита изменяют их энергию и свободный пробег, обеспечивая, таким образом, при разных давлениях более благоприятные условия синтеза того или другого продукта.

Проведенные исследования структуры и свойств композиционных материалов, полученных при разных режимах, позволили выявить технологические условия, обеспечивающие получение плотных, однородных (без кратеров и наростов) материалов, имеющих высокую электропроводность, характерную для металлов. Совокупность свойств такого материала обеспечивает его применение для изготовления функциональных покрытий [3].

Таким образом, установлено, что используя электродуговым методом можно получать сплавы на основе металлов и углеродных наночастиц с высоким твёрдостью и электропроводностью, характерной для металлов.

Другой тип композиционных материалов был получен методом испарения и

совместной конденсации фуллеренов и металлов в вакууме на различных подложках. Металл-фуллереновые пленки при некоторых долевых соотношениях атомов металла и молекул C_{60} структурно представляют собой систему электропроводящих частиц металла, разделенных небольшими промежутками из полупроводниковых наночастиц. Электрически такие структуры эквивалентны серии подключенных конденсаторов и, следовательно, их полное сопротивление уменьшается при увеличении частоты переменного тока [4].

Установлено, что допирование металлов фуллеренами приводит к значительному повышению прочности материала, снижению коэффициента трения, изменению электрических, оптических и других свойств материала. Для систем Cu-C_{60} и Sn-C_{60} при некоторых соотношениях числа молекул C_{60} и числа атомов металла на дифрактограммах наблюдаются рефлексы, которые не принадлежат ни металлу, ни фуллериту.

Таким образом, вакуумными, радиационными технологиями получены материалы, уникальные свойства которых указывают на широкие возможности использования этих материалов в приборостроении, биомедицине, оптоэлектронике, других областях хозяйственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шпилевский, М. Э. Фуллерены и фуллереноподобные структуры — основа перспективных материалов // Шпилевский М. Э., Шпилевский Э. М., Стельмах В. Ф. ИФЖ.-2001. Т. 74. № 6. С. 106—112.
- [2] Патент РФ, МПК 6 В 01J 19/00. Устройство для получения фуллеренов // С. В. Адашкевич, К. В. Войтик, А. С. Дрозд, В. Е. Матюшков, И. А. Самарин, В. Ф. Стельмах, Э. М. Шпилевский.
- [3] Шпилевский Э.М., Горох Г.Г., Шпилевский М.Э. Функциональные покрытия, содержащие фуллерены. //Высокие технологии в промышленности России. Наноинженерия. Москва. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. С. 82-90.
- [4] Витязь, П.А.Фуллерены в матрицах различных веществ // Витязь П.А., Шпилевский Э.М. ИФЖ. -2012.-Т.85, №4. С. 718-724.

Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles

T.Enkhtuya^{1,*}, G.Tsermaa¹, G.Batdemberel¹, P.Munkhbaatar¹, Sh.Chadraabal¹, N.Javkhlantugs²

¹ School of Applied Science, Mongolian University of Science and Technology, Baga toiruu 34, Sukhbaatar district, Ulaanbaatar, 14191, Mongolia,

² Laboratory of Nanotechnology, School of Engineering and Applied Sciences, National University of Mongolia. University Street 1, Sukhbaatar district, Ulaanbaatar, 14201, Mongolia.

This study is focused on hydrothermal synthesis method of zinc oxide nanoparticles by using ammonia and zinc chloride. Synthesized nanoparticles have been characterized by using X-ray Diffraction, UV-vis and Photon Cross Correlation (PCCS) spectroscopies, TEM analysis. ZnO thin films were prepared by spin coating method from the solution of ZnO nanoparticles. XRD peak corresponds to hexagonal structure with cell parameter $a=0.326$ nm and $c=0.522$ nm. The grain size of zinc oxide nanoparticles has been determined 43.3 nm using the Scherrer formula. As a result of PCCS measurement, synthesized zinc oxide nanoparticles have the mean diameter of ~96 nm of main particles with particle size distribution range of from ~90 nm to ~99 nm. As the result of TEM, the respective size of nanoparticles was around ~96 nm. ZnO nanoparticles were coated on glass and indium-tin oxide (ITO) substrates. The photocatalytic activities were studied ITO substrates with ZnO thin film. ZnO thin films were used as catalyst for reaction Cr(VI) into Cr(III).

Keywords: zinc oxide, hydrothermal method, particle size, photocatalysis.

INTRODUCTION

Zinc oxide (ZnO) is one of the multifunctional inorganic has drawn increasing attention in recent years due to its prominent physical and chemical properties, such as chemical stability, low dielectric constant, high luminous transmittance, high catalysis activity, effective antibacterial and bactericide, intensive ultraviolet and infrared absorption [1]. The optoelectronic properties of ZnO nanoparticles depend on particle sizes, which can be controlled by reaction conditions during their preparation and by attachment of organic compounds onto the surfaces. ZnO has many nanostructures among all one-dimensional. ZnO nanocrystals with various shapes included one-dimensional (rod, tube, wire and nail), two-dimensional (sheet, hexagon, tower and comb) and multi-dimensional (flower), have been successfully demonstrated [2].

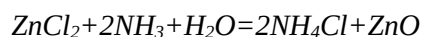
ZnO nanoparticles can be prepared on a large scale at low cost by simple solution-based synthesis methods, such as chemical precipitation ([3-5]) sol-gel synthesis ([6-7]), and solvothermal/hydrothermal reaction [8]. However, agglomeration and secondary growth often occur in these ZnO nanoparticles when we dry the wet particles separated from the reaction solution. This is because large numbers of hydroxyl groups exist on the wet particle surface. Hydrothermal technique is promising alternative synthetic method because of the low process temperature and very easy to control the particle size. The hydrothermal process have several advantage over other growth processes such

as use of simple equipment, catalyst-free growth, low cost, large area uniform production, environmental friendliness and less hazardous. The low reaction temperatures make this method an attractive one for microelectronics and plastic electronics. This method has also been successfully employed to prepare nanoscale ZnO and other luminescent materials. The particle properties such as morphology and size can be controlled via the hydrothermal process by adjusting the reaction temperature, time and concentration of precursors [9].

Zinc oxide crystallizes in two main forms, hexagonal wurtzite and cubic zincblende. The wurtzite structure is most stable at ambient conditions and thus most common. The zincblende form can be stabilized by growing ZnO on substrates with cubic lattice structure. In both cases, the zinc and oxide centers are tetrahedral, the most characteristic geometry for Zn [10]. Under conventional conditions, ZnO has the wurtzite structure, which has a hexagonal unit cell with space group $C6mc$ and lattice parameters $a=0.3296$, and $c=0.52065$ nm. The oxygen anions and Zn cations form a tetrahedral unit.

MATERIALS AND METHODS

In order to synthesize the ZnO nanoparticles we used raw materials zinc chloride $ZnCl_2$ (0.1M) and ammonia NH_3 (25%). Samples were calculated using the following equation:



* Electronic address: enkhtuya@must.edu.mn

Zinc chloride, 1.083 g (0.1 mol), was dissolved in 80 ml distilled water, then the solution was kept under constant stirring using magnetic stirrer for half an hour to completely dissolve the zinc chloride. After complete dissolution of zinc chloride, 4ml of ammonia solution (25%) was added under constant stirring, drop by drop. The reaction was allowed to proceed for 24 hours. After the completion of reaction the solution was poured into the crystallization vessel, then this vessel was heated to 90°C in an ordinary laboratory oven, and kept in it for specific times. Subsequently, cooled down to the room temperature normally (using magnetic stirrer).

The resultant solution has been thoroughly washed with distilled water more than five times, washing carried out to remove the unwanted particles and to ensure that we got just ZnO nanoparticles. After that it was dried in the 90°C in laboratory oven, and then a white powder was obtained, then grinded for uniformities of the powder.

X-ray diffraction data for sample prepared was recorded by using (Cu, K α) radiation of wavelength (1.5419 Å). We used the the X-Ray powder diffractometer.

Samples of ZnO for PCCS analysis and TEM (JEM-2100F) were put into ethanol (99.5%) and prepared suspension.

The reduction of Cr(VI) was carried out by three different catalysts. For the catalysis three samples were prepared. First, ZnO nanoparticle were put into Cr(VI) solution. Also, ZnO thin film on ITO (indium-tin) surface, and ZnO thin film on glass substrates were produced. Absorbance was measured by UV-vis (UV-1650PC).

RESULTS AND DISCUSSION

A. XRD Result

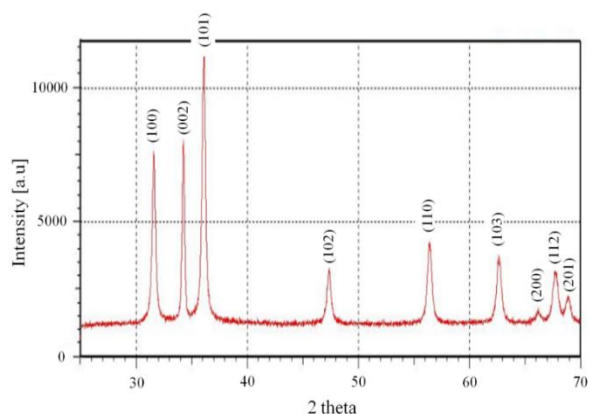


Fig 1. XRD patterns of ZnO nanoparticles.

Figure 1 shows that XRD image of ZnO nanoparticles. X-ray diffraction peaks agreed with the reported JCPDS data (JCPDS Card No. 36-

1451) and compared this results with data published in many articles get the sample position of the peaks and all the samples polycrystalline and correspond to hexagonal structure with lattice spacing $a = 0.325\text{nm}$ and $c = 0.521\text{nm}$ (Laudise, R.A, 1986).

XRD peak corresponds to hexagonal structure with cell parameter $a=0.326\text{ nm}$ and $c=0.522\text{ nm}$. The grain size of zinc oxide nanoparticles has been determined 43.3 nm from the full width at half maximum (FWHM) of (101) diffraction peak using the Scherrer formula.

$$D = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos \theta}$$

Where λ the wavelength (Cu, K α), β is the (FWHM), θ is the diffraction angle.

B. TEM Studies of ZnO nanoparticles

TEM images of the synthesized ZnO nanopartiles is shown in Fig 2. As can be seen from Fig.2, ZnO nanoparticles have average particle sizes as ~96 nm.

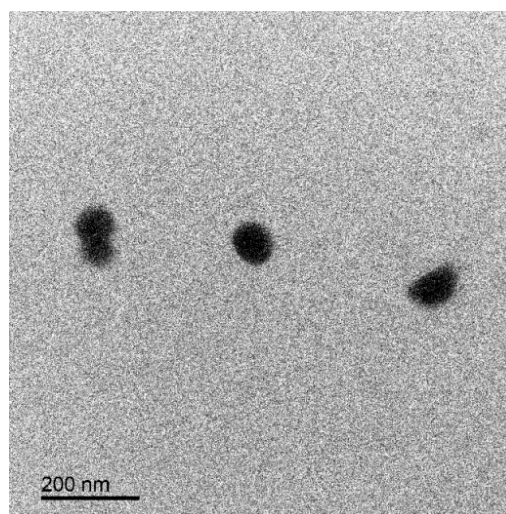
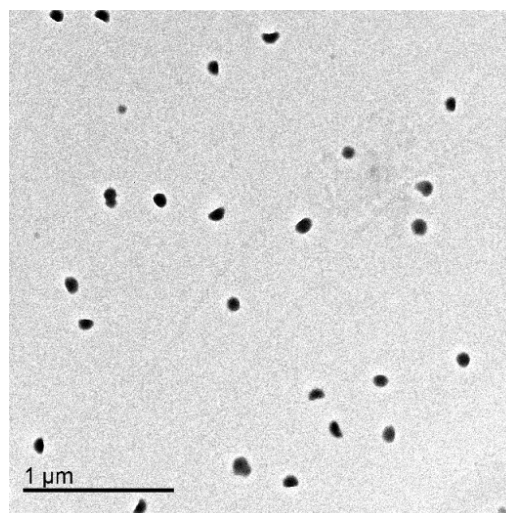


Fig 2. TEM images of ZnO nanoparticles

C. PCCS Analysis

The data of PCCS analysis was calculated by WINDOX 5. Particle size and cumulative distribution of ZnO are depicted in Fig.3

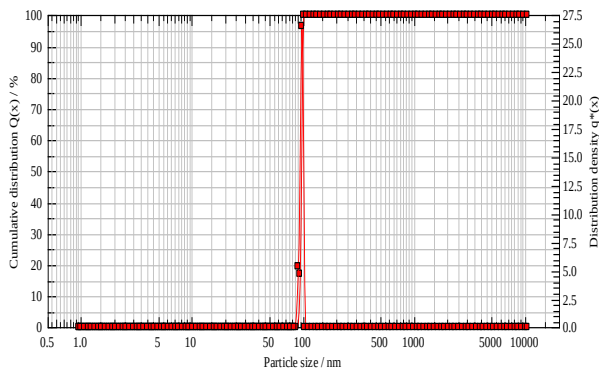


Fig 3. Cumulative and density distribution of ZnO nanoparticles

As a result of PCCS measurement, synthesized zinc oxide nanoparticles have the mean diameter of ~96 nm of main particles with particle size distribution range of from ~90 nm to ~99 nm.

D. UV-vis measurement

The photocatalytic activities of these ITO substrate with ZnO thin film were studied.

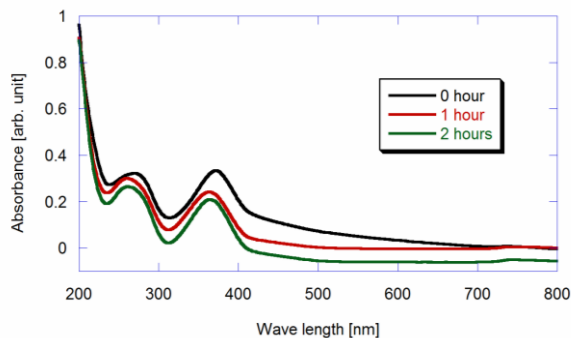


Figure 4. UV spectrum of $K_2Cr_2O_7$ solution in ZnO thin film on ITO substrate for 0 hour (black), 1 hour (red), and 2 hours (green) later the exposure of sun light.

ZnO thin films were used as catalyst for reaction Cr(VI) into Cr(III). From our results UV absorption intensity at 375 nm peak of ZnO/ITO.

CONCLUSION

ZnO nanoparticles have been prepared by using hydrothermal method.

XRD measurement indicate that the prepared ZnO nanoparticles have a crystallite structure which is a characteristic band for the hexagonal structure.

The mean particle size was determined with ~96nm for both of TEM and PCCS analysis.

ZnO thin film on ITO substrate was observed with high catalytic activity.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Mongolian Foundation for science and technology for Advanced Studies within the framework of the project #30(2015-2017).

REFERENCES

- [1] Erjun T., Guoxiang C., and Xiaolu M. "Preparation of nano-ZnO/PMMA composite particles via grafting of the copolymer onto the surface of zinc oxide nanoparticles", Powder Technology 161, (2006):209-214.
- [2] Zhang H., Feng J., Wang J., and Zhang M. "Preparation of ZnO nanorods through wet chemical method", Materials Letters 61, (2007):5202-5205.
- [3] Klingshirn C. "ZnO: Material, Physics and Applications", Chem Phys Chem 8(6), (2007):782-803.
- [4] Wiberg E., Holleman A. F. "Inorganic Chemistry", San Diego, CA: Academic Press, (2001).
- [5] Greenwood N. N., Earnshaw A. "Chemistry of the Elements", 2nd ed., Burlington, MA: Butterworth-Heinemann, (1997).
- [6] Spero J. M., Devito B., Theodore L. "Regulatory Chemical Handbook", Boca Raton, FL: CRC Press, (2008).
- [7] Nicholsan J. W., "The chemistry of cements formed between zinc oxide and aqueous zinc chloride", Jour. Of Materials Science (1998).
- [8] Ferracane, Jack L. "Materials in Dentistry: Principles and Applications", Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, (2001).
- [9] Elhadi M., Marwa M. "Zinc oxide nanoparticles synthesis by hydrothermal methods", Asian Jour. Of Natural & Applied Sciences 4(1), (2015).
- [10] Hlaing Oo W. M., McCluskey M. D., Lalonde A. D., Norton M. G. "Infrared spectroscopy of ZnO nanoparticles containing CO₂ impurities", Applied physics Letters 86(7), 073111, (2005).

Феррит Нано Соронзон Материалын Био-Анагаахын Хэрэглээ

Д. Сангаа^{1,*}, Б. Тэмүүжин¹, Э. Баянжаргал¹, Б. Энхмэнд¹, Н. Цогбадрах²,
Х. Хиразава (Hirazawa)³, Э. Уянга^{4,5}, И.А. Бобриков⁴, Ш. Чу (Chu)⁵

¹ ШУА, Физик технологийн Хүрээлэн, Улаанбаатар–13330

² МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим, Улаанбаатар–14201

³ Технологийн Үндэсний Хүрээлэн, Ехима хот, 792 – 8580, Япон

⁴ ЦШНИ, Нейтрон физикийн Лаборатори, Дубна хот, 141980, ОХУ

⁵ Хятадын ШУА, Их Энергийн физикийн Хүрээлэн, Бээжин, 100049, Хятад

Хувьсах соронзон оронд дулаан ялгаруулдаг шпинел бүтэцтэй феррит төрлийн соронзон нано материалыг хавдрын эсрэг халуун (hyperthermia) эмчилгээнд хэрэглэх зорилгоор судалж байна. Дулаан ялгаруулдаг шинж чанар нь материалын химийн найрлага, ионуудын тархалт, спины чиглэл болон бэлтгэх аргаас шууд хамаардаг. Хатуу төлвийн урвалын арга ашиглан гарган авсан $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ феррит нунтаг материалын хувьсах соронзон оронд дулаан ялгаруулдаг учир шалтгаан, механизм болон соронзон шинж чанарыг рентген дифракц, нейтрон дифракц, синхротрон цацрагийн сарнилын аргаар судлав. Соронзон материалын дулаан ялгаруулдаг механизмыг тайлбарлах үүднээс $MgFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$, $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ болон $MgFe_2O_4$, $Mg(Fe_xAl_{2-x})O_4$ нэгдлүүдийн электрон, соронзон төлвийг квант механикийн тулгуур зарчмын онолоор тооцоолж бодсон үр дүнг тусгав.

Түлхүүр үг: Шпинел, феррит, дулаан ялгаруулалт, халуун (hyperthermia) эмчилгээ, хавдрын эмчилгээ, рентген дифракц, нейтрон дифракц, синхротрон цацрагийн сарнилын спектроскоп, квант механик, тулгуур зарчим

I. ОРШИЛ

Нано соронзон бодисыг анх 1960 онд АНУ-ын Сансар судлалын төв (NASA)-д хэрэглэж эхэлсэн байна. Соронзон шинж чанартай нано материалыг анагаах ухаанд дараах чиглэлээр ашиглаж байна: Хавдрын халуун эмчилгээ, соронзон резонанс зураг (MRI) оношлогоо, эмийн эмчилгээ, Дезоксирибонуклейны хүчил (ДНХ) болон эсийн нарийвчилсан ялгах шинжилгээ зэрэгт өргөнөөр ашиглаж байна[1]. Анагаахын салбарт өргөн хэрэглэгдэж байгаа нано соронзон материалын төрөлд ферритүүд: MFe_2O_4 $M = Mn, Ni, Co, Cu, Mg, Zn, Fe$ болон төмрийн исэл $\gamma - Fe_2O_3$, зарим хайлшууд багтана.

Fe_3O_4 нэгдэлд Mn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} зэрэг ионуудыг дангаар болон хольж нэмснээр соронзон шинж чанарыг нь өөрчилж, удирдаж болдог учир био-анагаах ухаанд, тухайлбал хавдрын халуун эмчилгээ (hyperthermia)-д өргөн хэрэглэх боломж нээгдэж байна[2].

ШУА-ийн Физик, технологийн хүрээлэнгийн Материал судлалын салбарт орчин үед электроникт болон био-анагаах ухаанд өргөн хэрэглэгдэх боломжтой феррит төрлийн материалын кристалл болон соронзон бүтэц, нейтрон синхротрон дифракцын судалгаа явагдаж байна. Тухайлбал, хавдрын халуун эмчилгээний гол материал болох феррит $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлүүдийн соронзон шинж

чанар [3-6], кристалл болон соронзон бүтцийн рентген [7], нейтрон дифракц [8], синхротрон цацрагийн шингээлт [9]-ийн туршлагын судалгаа, кристалл тор дахь ионуудын спин, электроны энергийн түгэлтийн (DFT) онолын судалгааны [9-10] ажлууд хийгджээ.

Феррит төрлийн материалын соронзон оронд дулаан ялгаруулах үзэгдлийн физик мөн чанар нь кристаллын фазын шилжилт, кристалл торын атомуудын түгэлт, соронзон моментын түгэлт, нано бөөмийн соронзон моментын релакс зэрэг зэрэг хатуу биеийн физикийн суурь ойлголтуудтай холбоотой гэж үзэж байна. Ийм ч учраас нейтрон болон синхротрон цацрагийн сарнилын аргууд уг үзэгдлийн мөн чанарыг тайлах гол түлхүүр болоод байна [11].

Зэсийн феррит $CuFe_2O_4$ нь тодорхой температурт удаан хугацааны турш тетрагональ болон куб фазууд тэнцвэртэй шинж чанартайгаар зэрэгцэн оршин байдгийг уг судалгааны үр дүн харууллаа. Хөргөх процессын явцад үүссэн тетрагональ фаз нь тетрагональ гажилтын сонгомол утга ($\gamma = 1.06$)-тай боловч инверсийн параметр нь куб фазаас тетрагональ фаз руу шилжих шилжилтэнд бараг өөрчлөгдөхгүй байгаа нь фазын шилжилтийн загварыг эргэн харахад хүргэж байна. Үүнээс гадна бүтцийн параметруудийн температурын өөрчлөлтийн зүй тогтол нь фазын шилжилтийн гол шалтгаан нь төмөр ба зэсийн атомуудын харилцан шилжилт (миграция) биш, харин VO_6 -

* Electronic address: sangaa@ipt.ac.mn

октаэдруудын Ян-Теллер-ийн гажилттай холбоотой болохыг харуулж байна[3].

II. ФЕРРИТ НАНО МАТЕРИАЛД ДУЛААН ЯЛГАРАХ ҮЗЭГДЭЛ

Дулаан ялгарах үзэгдэл нь бага хэмжээтэй соронзон бөөм доторх соронзон моментын чиглэл өөрчлөгдөж эргэн сэргэх Неел (Néel relaxation) процесс болон уг бөөм өөрийн тэнхлэгээ тойрон эргэх Броун (Brownian relaxation) процесстэй уялдан үүснэ. Хувьсах соронзон оронд байгаа соронзон бөөмийн хувьд гадны соронзон орон, мөн өөрийн дотоод соронзон орны харилцан үйлчлэлийн үр дүнд энерги (дулаан) ялгарна[12]. Гадны хувьсах орны өөрчлөгдөх хугацаа нь давтамжаар тодорхойлогдох ба соронзон бөөмийн дотоод орны эргэн сэргэх хугацаа (relaxation time)-аас бага байна. Нано бөөмийн соронзон релаксийн Неел -ийн (τ_N) болон Броуны (τ_B) эффектив (τ_{eff}) хугацаа дараах тэгшитгэлүүдээр тодорхойлогдоно[12]:

$$\tau_N = \tau_0 \exp(KV_M/k_B T) \quad (1)$$

$$\tau_B = \frac{3V_{hyd}}{k_B T} \eta \quad (2)$$

$$\tau_{eff} = \frac{\tau_B \tau_N}{\tau_B + \tau_N} \quad (3)$$

Энд, τ_0 - тогтмол хэмжигдэхүүн ,ойролцоогоор 10^{-9} сек, K – анизотроп тогтмол, V_M - бөөмийн эзлэхүүн, k_B - Больцманы тогтмол, T – температур, η - зуурамтгайн коэффициент, V_{hyd} - бөөмийн гидродинамик эзлэхүүн.

Хувьсах соронзон оронд феррит нано бөөмийг оруулахад ялгарах чадал (дулааны хэмжээ) P дараах илэрхийллээр тодорхойлогдоно[13]:

$$P = \frac{(mH\omega\tau_{eff})^2}{[2\tau_{eff}k_B T \rho V(1+\omega^2\tau_{eff}^2)]} \quad (4)$$

Энд, m - бөөмийн соронзон момент, H - соронзон орны хүчлэг, ω - орны өнцөг давтамж, ρ - нано материалын нягт.

Туршлагын аргаар температурын градиентийн харьцаа ($dT/dt = K \cdot s^{-1}$) –г ашиглан хэмжилтийн эхний 5 минутын хугацаанд дулаан ялгаруулах чадвар ($W \cdot g^{-1}$) –ыг дараах харьцаагаар тооцоолдог арга байна[14]:

$$W \cdot g^{-1} = C \frac{dT}{dt} / M \quad (5)$$

Энд M – дээжийн масс (г), C – дээжийн нийт дулаан багтаамж.

III. НАНО МАТЕРИАЛЫГ ХАВДРЫН ХАЛУУН ЭМЧИЛГЭЭНД ХЭРЭГЛЭХ БОЛОМЖ

Хавдрын эмчилгээг дотор нь мэс засал, хими эмчилгээ, цацрагийн эмчилгээ, халуун эмчилгээ (hyperthermia) гэж хуваана. Хүний биеийн хавдартай хэсгийн эс, хавдартай эрхтэнг $41-46^\circ\text{C}$ градус хүртэл тусгай аргаар халааж эмчлэхийг халуун эмчилгээ гэж нэрлэнэ. Энэ аргаар цахилгаан соронзон долгион болон лазерыг ашиглан хүний биеийн хавдартай хэсэгт өндөр температур үүсгэж хавдрын өсөлтийг зогсоож, эсийн үхжүүлж хавдрыг эмчилнэ. Халуун эмчилгээний аргыг элэгний хавдрын эмчилгээнд хэрэглэх ерөнхий зарчмыг (Зур. 1)-д үзүүлэв. Нано соронзон төмөр агуулсан бодисыг элэгний хавдартай хэсэгт тариурын тусламжтай оруулна. Өвчтний уг бодис бүхий хэсгийг хувьсах соронзон оронд оруулахад (давтамж 500 кГц) энэхүү бодис дулаан ялгаруулж тэр хэсгийн температур 42.5 (Цельсийн градус) –аас дээш температуртай болоход хавдрын эсийн өсөлт буурч тодорхой хугацааны эмчилгээ үр дүнтэй болно [15].



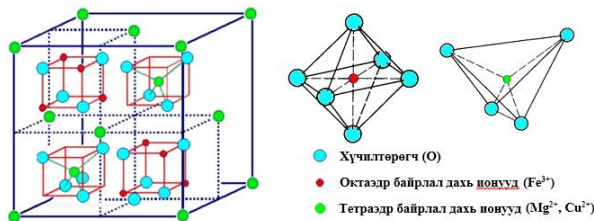
Зур. 1. Соронзон оронд элэгний хавдрын халуун эмчилгээний зарчим

Хавдрын эдүүд нь судас багатай, эрүүл эдтэй харьцуулахад халууныг эсэргүүцэх чадвар багаас гадна эрүүл эстэй харьцуулахад метаболизм (бодисын солилцоо) өндөр байдаг учир халууныг мэдрэх чанар мөн өндөр байдаг чанар нь халуун эмчилгээ үр дүнтэй байх үндэс болдог.

IV. ШПИНЕЛ БҮТЭЦТЭЙ ФЕРРИТ НАНО МАТЕРИАЛУУД

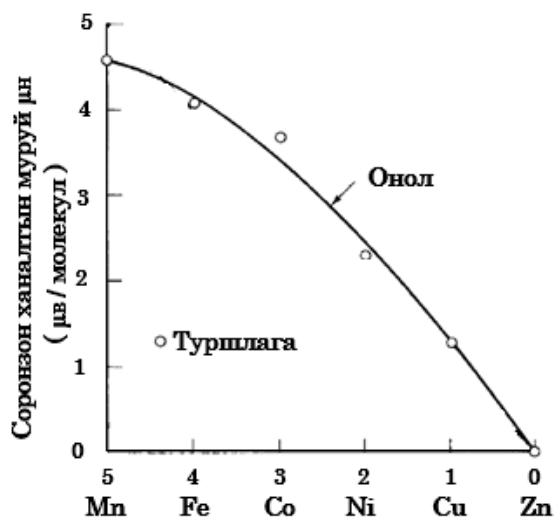
Ерөнхий AB_2O_4 томъёо бүхий соронзон MFe_2O_4 ($M = Mn, Ni, Co, Cu, Mg, Zn, Fe$) феррит нэгдлүүд куб кристалл бүтэцтэй агаад нэг эгэл торд нийт 56 ион (атом) оршино (Зур.

2а). Хүчилтөрөгчийн ионы радиус $\sim 0.13\text{нм}$, металл ионы радиус $\sim 0.08\text{нм}$ хэмжээтэй. Тетраэдр байрлалын төвд А – атом, зангилгаа бүрт О- хүчилтөрөгчийн 4-ион байрладаг бол октаэдр байрлалын төвд В- атом, октаэдрын зангилгаа бүрт О- хүчилтөрөгчийн 6-ион байрлана (Зур. 26).



Зур. 2 Шпинел бүтэцтэй феррит нэгдлийн кристалл бүтэц

Феррит шпинел нэгдлийн соронзон шинж чанар нь ион бүрийн соронзон момент, А, В байрлал дахь ионуудын түгэлт, харилцан үйлчлэлээс хамаарна.



Зур. 3 $M\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($M = \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Zn}$) феррит нэгдлүүдийн соронзон ханалтын утга [16]

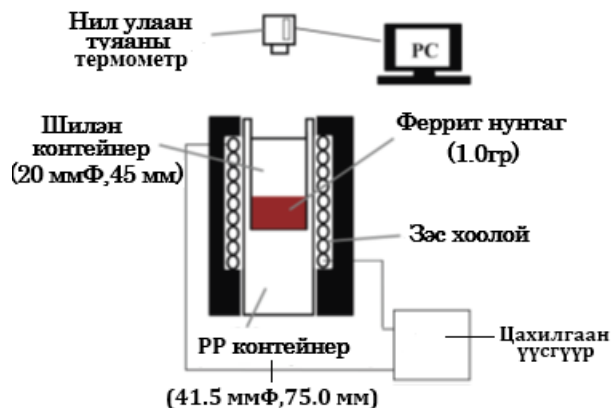
Манганы феррит MnFe_2O_4 -ийн бүх Mn^{2+} ионууд А байрлалд биш харин 80% нь А байрлалд, үлдсэн 20 % нь В байрлалд байдаг бол магнийн феррит MgFe_2O_4 -ийн Mg^{2+} -ын 90% нь В байрлалд, 10% нь А байрлалд байрлана. Ийнхүү феррит шпинел нэгдлийн ионууд тетраэдр ба октаэдр байрлалд холилдон байрласнаас хамаарч соронзон шинж чанар өвөрмөц байдлаар илэрнэ (Зур. 3).

Ийнхүү холимог кристалл бүтэц бүхий $(\text{Mg}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Fe}_2\text{O}_4$ нэгдлийн соронзон шинж чанар нь MgFe_2O_4 ба CuFe_2O_4 нэг төрлийн шпинел бүтэц бүхий нэгдлээс эрс ялгаатай байдаг.

V. ФЕРРИТ НАНО МАТЕРИАЛЫН СУДАЛГАА

A. Соронзон шинж чанарын судалгаа

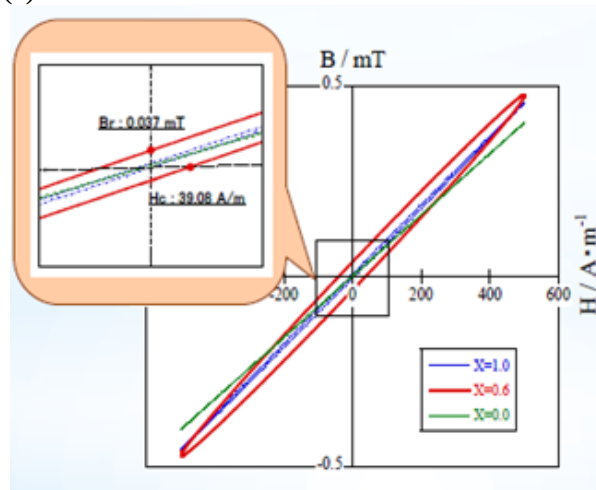
Хувьсах соронзон (АС) оронд феррит буюу төмөр агуулсан нунтаг бодисоос хамгийн их дулаан ялгаруулах чадвартай нь $(\text{Mg}_{x-1}\text{Cu}_x)\text{Fe}_2\text{O}_4$ төрлийн материал гэж туршлагаас тогтоосон юм (Зур.4).



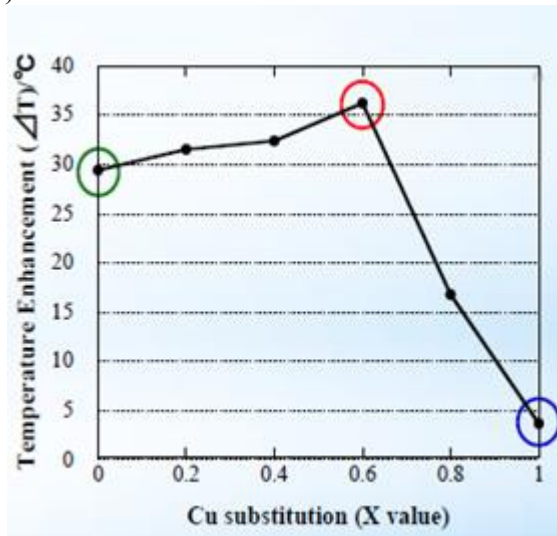
Зур.4. Дулаан ялгаруулалтыг хэмжих төхөөрөмж [5]

Дулаан ялгарах процесс нь соронзон материалын В-Н соронзон шинж чанарын гистересийн алдагдалтай холбоотой төдийгүй энэ төрлийн бодисын кристалл бүтэцтэй, өөрөөр хэлбэл, торын куб бүтэц гажих тутам гистересийн алдагдал ихэсч улмаар дулаан ялгаралтын хэмжээ ихэсдэг.

(a)



(б)



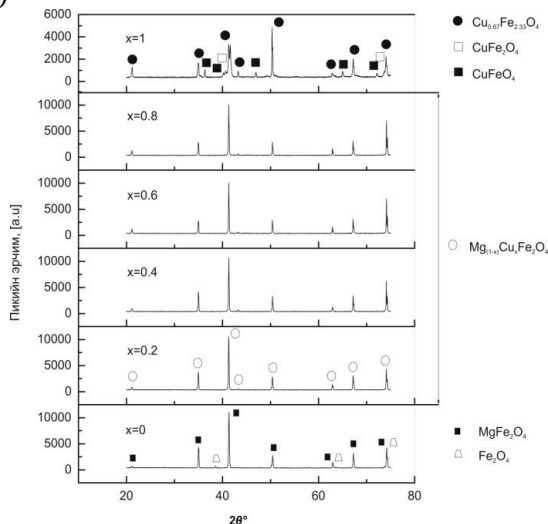
Зур.5. (а) $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн гистерезисийн муруй. (б) $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нунтаг нэгдлийн хувьсах соронзон оронд ($H=370$ кГц, $I=1.77$ кА/м) ялгаруулах дулааны хэмжээ эс (Cu)-ийн орцоос хамаарах зүй тогтол.

Холимог бүтэц бүхий энэ бодисыг соронзон оронд оруулахад ($H=370$ кГц, $I=1.77$ кА/м) ялгаруулах дулаан нь $x=0$ байх үед $\Delta T=30$ градус, $x=0.6$ үед $\Delta T=37$ градус байна (Зур.5).

В. Рентген дифракцын судалгаа

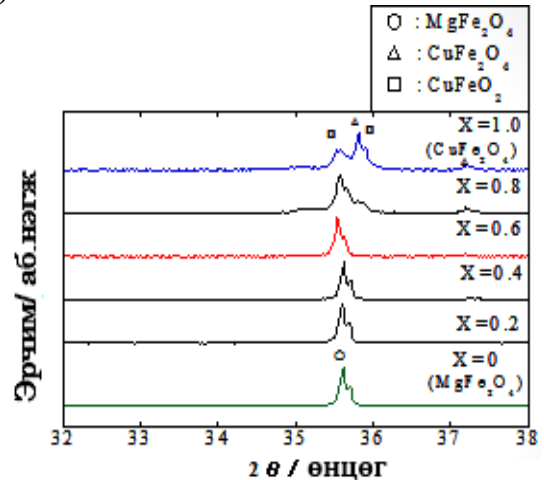
Феррит төрлийн бүтэцтэй куб кристалл $MgFe_2O_4$ нэгдэлд Cu-ийн атомыг нэмж, орцын хэмжээг өөрчилсөөр $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ холимог бүтэцтэй нэгдлүүд гарган авч, эцэст нь нэг фазтай тетрагонал кристалл $CuFe_2O_4$, гарган авсан 6 төрлийн дээжийн рентген дифракцын өөрчлөлтийг (Зур.6а)-д үзүүлэв. Cu-ийн хэмжээ $x=0.6, 0.8$ утгатай болсон үед дифракцын пик ($2\theta = 35.6$ град.) хуваагдаж байгаа нь шинэ төрлийн $CuFe_2O_4$ фаз үүсч байгааг батална (Зур. 6б).

(а)



Ref.ICDD-PDF2

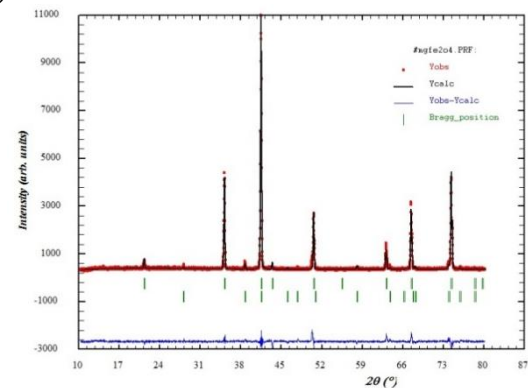
(б)



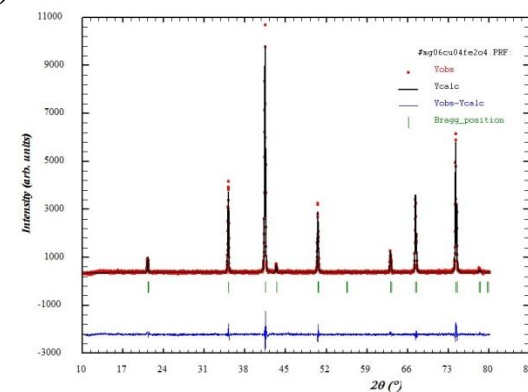
Зур.6. (а) $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн рентген дифрактограмм. (б) $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн дифракцын пикийн өөрчлөлт

Одоо үед өргөнөөр ашиглагдаж байгаа рентген болон нейтроны дифракцын хэмжилтийн өгөгдлийг боловсруулах программууд тухайлбал, FULLPROF программ тухайн кристалл нэгдлийг бүрдүүлэгч атом (ион) бүрийн кристалл тор дахь байрлалыг төдийгүй ижил байрлалд орших ялгаатай атомууд ($\frac{Mg_y}{Cu_x}$)-ын харьцааг нарийвчлан тодорхойлдог (Зур.7).

(а)



(б)



Зур.7. $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн Ритвельдийн аргаар боловсруулсан рентген дифрактограмм. (а) $x=0.0$; (б) $x=0.4$

С. Нейтрон дифракцын судалгаа

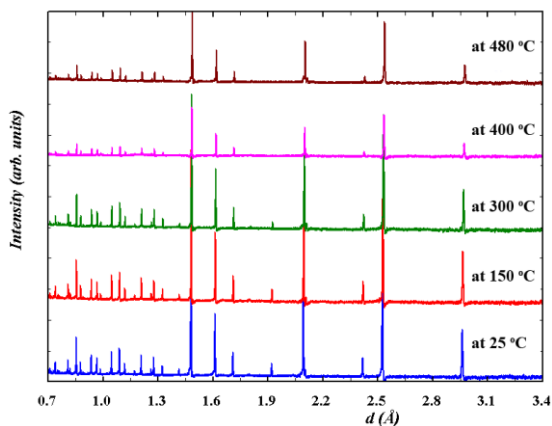
Холимог $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ системийн нейтрон дифракцын судалгаа нь соронзон бус Mg^{2+} ион болон соронзон Cu^{2+} , Fe^{3+} ионууд $MgFe_2O_4$ куб фазад, мөн тетрагонал $CuFe_2O_4$ фазын А-болон В- байршилд хэрхэн түгэн байрлахыг тодруулах боломжтой. Хатуу урвалын аргаар гарган авсан холимог $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн кристалл болон соронзон бүтцийг ОХУ-ын Дубна хот дать Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн Институтын

ИБР-2 реакторын өндөр ялгах чадварын Фурье нейтрон дифрактометр дээр $T = 25, 150, 300, 400, 480$ °C температурын орчинд судлав [7]. Цэвэр $MgFe_2O_4$ нэгдэл куб кристалл бүтэцтэй (Огт.групп Fd-3m), агаад тасалгааны температурт бүрэн инверс шпинел (инверс параметр $x \approx 1$) ферри-соронзон бүтэцтэй. Торын тогтмол температураас шугаман хамаарахад харин А-О болон В-О холбоо тогтмол утгатай байсан нь өндөр температур нь октаэдр болон тетра-эдрийн хоорондох зайд нөлөөлж байгааг үзүүлж байна (Хүснэгт.1).

Хүснэгт.1 Феррит $MgFe_2O_4$ нэгдлийн хэд хэдэн температур дахь нейтрон дифракцын хэмжилтийн Ритвельд боловсруулалтын үр дүн. R_{exp} – энгийн туршилагын R- фактор, R_{wp} –жигнэсэн R- фактор, a , Å – торын параметр, $x(O)$ -хүчилтөрөгч байрлал, изотроп дулааны фактор(B), катион байрлал, холбоосын урт, μ_A , μ_B –A ба B байрлал дахь соронзон момент.

Параметрууд	Температур, °C				
	25	150	300	400	480
R_{exp}	2.48	2.22	4.63	7.96	6.76
R_{wp}	6.39	4.38	7.17	11.2	13.3
a , Å	8.3781(1)	8.3868(7)	8.3993(6)	8.4091(9)	8.4193(1)
B_A , Å	0.07(4)	0.41(3)	0.47(3)	0.32(4)	0.99(5)
B_B , Å	0.32(5)	0.54(3)	0.74(3)	0.61(5)	1.370(6)
$x(O)$	0.2567(1)	0.2565(9)	0.2561(9)	0.2563(1)	0.2561(1)
B_O , Å	0.63(4)	0.86(3)	1.21(3)	0.97(3)	1.68 (1)
$n_A(Fe)$	0.99(1)	0.99(2)	0.99(1)	0.89(9)	0.97(2)
A-O, Å	1.912(11)	1.910(8)	1.908(8)	1.912(10)	1.912(13)
B-O, Å	2.039(11)	2.044(8)	2.049(8)	2.051(10)	2.055(13)
Fe_A-Fe_B , Å	3.473(3)	3.477(5)	3.482(4)	3.486(3)	3.490(5)
μ_A	5.2(1)	4.9(1)	3.9(1)	2.9(2)	-
μ_B	3.7(1)	3.4(1)	2.8(1)	0	-

Нейтрон дифракцын зургаас үзэхэд температур ихсэх тутам соронзон пикийн хэмжээ багасч байв (Зур.8).

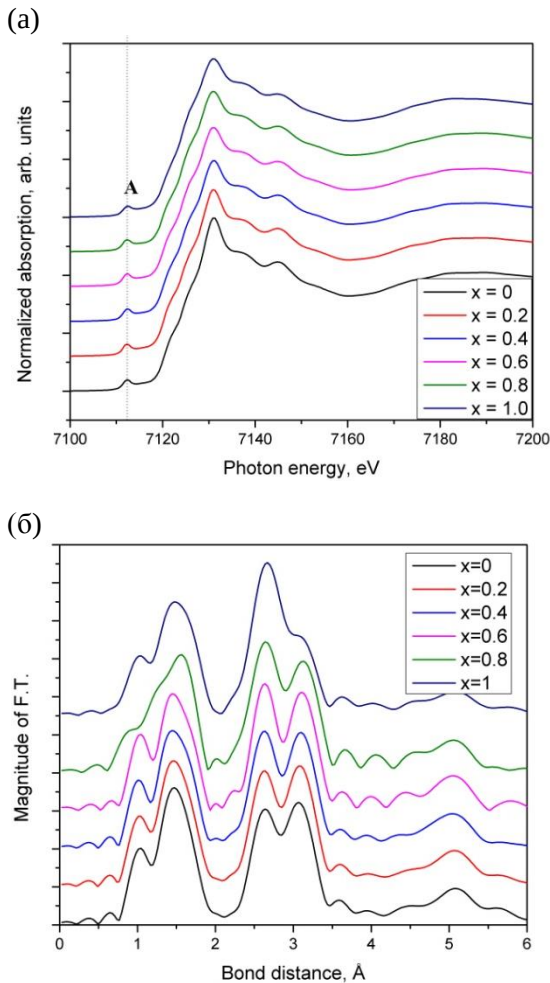


Зур.8. $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн кристалл болон соронзон бүтцийн төрөл бүрийн температур дахь нейтрон дифракцын зураг.

Д. Синхротрон шингээлтийн судалгаа

Нано хэмжээст шпинел феррит $(Mg_{1-x}Cu_x)Fe_2O_4$ ($x=0,0.2,0.4,0.6,0.8,1$) нунтаг материалыг Бээжингийн Синхротрон цацрагийн судалгааны төвийн рентген-синхротрон шингээлтийн туршилтын суваг (1W1B-hard X-ray Absorption Fine Structure)-ийг ашиглан судлав[8]. Синхротрон цацрагийн шингээлтийн (XAS) хэмжилтээс $(Mg_{1-x}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн кристалл бүтцэнд Fe ба Cu –ийн ионы байршилт, исэлдэлтийн хэмжээг тодорхойлсон төдийгүй үндсэн исэл дэх тухайн метал кластерийн орц, хэмжээг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлдог шингээлтийн (XANES) аргаар уг нэгдэл дэх Fe^{3+} ионд харгалзах $1s \rightarrow 3d$ шилжилтийн шингээлт (А –тэмдэглэсэн) энергийн ~ 7112 эВ утганд харгалзаж байгааг тогтоов (Зур.9. зүүн). Энэ хэмжилтийн эрчим ихтэй EXAFS спектрууд Fe –ионууд тетрагонал төдийгүй мөн октаэдр

байршилд байгааг баталж байна (Зур.9, баруун). Зэсийн агууламж ихсэхэд Fe ион нь октаэдр байршилд шилжсэнээр инверсээс нормал шпинел бүтэц үүсгэж эхлэж байна.



Зур.9. $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ бүтцийн Fe-ийн K-хязгаарын XANES спектр (а) болон түүний EXAFS спектр (б).

Е. Электрон бүтэц болоод соронзон төлөвийн онолын судалгаа

Феррит бүтэцтэй $MgFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$, $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ болон $Mg(Fe_xAl_{2-x})O_4$ нэгдлийн электрон бүтэц болоод соронзон төлөвийн судалгааг квант механикийн үндсэн зарчимд (first-principles) үндэслэгдсэн нягтын функционал онол (DFT)-ыг ашиглан тооцоолж, зарим таамаглалыг дэвшүүлэв [9-11]. $CuFe_2O_4$ нэгдлийн хувьд куб кристалл бүтцээс тетрагональ бүтэц рүү Ян-Теллерийн эффектийн улмаас фазын шинжилт хийдэг. Ян-Теллерийн системийн нэг онцлог нь түүний кристалл бүтцийн болон соронзон шинж чанарууд харилцан уялдаа, хамааралтай байдагт оршино. Түүнээс гадна ян-теллерийн ионуудын хооронд электрон-хэлбэлзлэлийн, квадруполийн, солилцлын гэсэн гурван төрлийн харилцан

үйлчлэл явагдана. Электрон-хэлбэлзлэлийн харилцан үйлчлэл нь тухайн ионы орчим дахь деформацийн холбоотой, кристаллд төрөл бүрийн катионтой холбогдон үүсэх деформациуд өөр хоорондоо харилцан үйлчилнэ. Нөгөө квадруполь-квадруполийн шууд харилцан үйлчлэл нь эцсийн дүндээ орбиталь эрэмбэлэлд хүргэдэг бол гурав дахь харилцан үйлчлэл болох орбиталиудын эрэмбэлэлтийн солилцлын механизм нь зарим тохиолдолд зөв орбиталь бүтцийг буй болгодог. Бодит тохиолдолд эдгээр гурван үйлчлэл нэгэн зэрэг явагдах учир аль нь давамгайлж байгааг тогтоох тун түвэгтэй асуудал юм [17].

Төлвийн нягт (Density of state)-ын квант механикийн компьютер тооцоог WIEN2K багц программын шугаман өргөтгөлтэй хавтгай долгионы аргаар спины туйлшрал, тооцон локаль спин нягтын ойролцоолол (Local Spin Density Approximation), ерөнхий градиентийн ойролцоолол (Generalized Gradient Approximation) зэрэг хувилбаруудыг ашиглан $CuFe_2O_4$ нэгдлийн куб болон тетрагональ фазуудын хувьд гүйцэтгэв [10]. Цаашид рентген бүтцийн судалгаа (XRD)-ийн нарийвчилсан үр дүнг ашиглан $MgFe_2O_4$ материалын хувьд соронзон шинж чанар нь инверсийн зэргээс хамаардаг тухай таамаглалыг батлах шаардлага тавигдаж байна.

VI. ДҮГНЭЛТ

- Феррит кристаллууд хувьсах соронзон оронд дулаан ялгаруулдаг өвөрмөц шинж чанартай бодис учир хавдрын эмчилгээнд хэрэглэх боломжтой. $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ нэгдлийн хувьд $x=0.6$ утганд хамгийн их дулаан ялгаруулна.
- Кристалл тор дахь атомуудын байршил, кристаллын бүтцийн фазын шилжилт нь дулаан ялгаруулдаг шинж чанартай холбоотой, уг нэгдлийн хувьд фазын шилжилтийн гол шалтгаан нь төмөр ба магни-зэсийн атомуудын харилцан шилжилт, Ян-Теллер-ийн гажилт гэдгийг тогтоосон байна
- Соронзон шинж чанарыг тодорхойлогч соронзон момент, спин түгэлтийн зүй тогтлыг нейтрон дифракцын нарийвчилсан аргаар судалж тайлбарлагдах боломжтой.
- Кристалл тор дахь ионуудын харилцан байршил, тэдгээрийн түгэлт, фазын шилжилтийг рентген, нейтрон дифракц болон синхротрон цацрагийн сарнилын аргаар судалж болно.

- Кристалл тор дахь ионуудын спин, электроны энергийн түгэлтийг квант механикийн үндсэн зарчимд үндэслэгдсэн нягтын функционал онолын тусламжтай тайлбарлах боломжтой.

VII. ТАЛАРХАЛ

Тус ажлыг ШУТС-ийн №: SST-006/2015 суурь судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв. Нейтрон дифракцын хэмжилтийг ОХУ-ын Дубна хот дахь ЦШНИ-д, Синхротрон сарнилын хэмжилтийг Бээжингийн Синхротрон цацрагийн судалгаан ы төвд гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж зөвлөгөө өгсөн профессор А.М. Балагуров (ЦШНИ), профессор Ж. Занг (Jing Zhang, BSRF) нарт талархал илэрхийлье.

VIII. НОМ ЗҮЙ

- [1] I. Sharifi, H. Shokrollahi, S. Amiri, "Ferrite-based magnetic nano fluids used in hyperthermia applications", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 324 (2012) 903–915.
- [2] M. Faraji, Y. Yamini, M. Rezaee. Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Functionalization, Characterization, and Applications., *J. Iran. Chem. Soc.*, Vol. 7, No. 1, March 2010, pp. 1-37.
- [3] A.M. Balagurov, I. A. Bobrikov, M. S. Maschenko, D. Sangaa, and V. G. Simkin, "Structural Phase Transition in CuFe_2O_4 Spinel", *Crystallography Reports*, 2013, Vol. 58, No. 5, pp. 710–717.
- [4] Hideyuki Hirazawa, Yoshiki Ito, Deleq Sangaa, Namsrai Tsogbadrakh, Hiromichi Aono, Takashi Naohara. "Heat Generation Ability in AC magnetic Field of $\text{MgAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ Ferrite Powder Prepared by Sol-Gel method", *AIP Conference Proceedings*, 1763, 020009 (2016); doi: 10.1063/1.4961342.
- [5] T. Shiraishi, H. Hirazawa, D. Sangaa, N. Tsogbadrakh, H. Aono. "Heat generation ability of $\text{Mg}(1-x)\text{Cu}(x)\text{Fe}_2\text{O}_4$ ferrite in AC magnetic field", 25th Conference on Materials Science Society of Japan, Shikoku section, National Institute of Technology, NIIHAMA College, 2016, Ehima, Japan
- [6] Y. Ito, H. Hirazawa, D. Sangaa, N. Tsogbadrakh, H. Aono. "Heat generation ability in AC magnetic field of Al substituted MgFe_2O_4 ", 25th Conference on Materials Science Society of Japan, Shikoku section, National Institute of Technology, NIIHAMA College, 2016, Ehima, Japan
- [7] E. Uyanga, I. A. Bobrikov, D. Sangaa, H. Hirazawa, A. M. Balagurov. "Neutron diffraction study of crystal and magnetic structures of MgFe_2O_4 ferrite", *ICCP-6 International Conference Proceeding*, Ulaanbaatar, 2016.
- [8] D. Sangaa, Sh. Chu, E. Uyanga, B. Enkhmend., X-ray absorption study of magnetic powder materials $(\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x)\text{Fe}_2\text{O}_4$. Submitted to The Annual Report of Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, 2016.
- [9] N. Tsogbadrakh, D. Sangaa, H. Hirazawa, V. Yu Yushankhai, Chunfeng, B. Enkhmend. "Magnetic phase transitions in $(\text{Cu}/\text{Mg})\text{Al}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ ($x = 0, 1$ and 2) alloys: First-principles method", *ICCP-6 International Conference Proceeding*, Ulaanbaatar, 2016.
- [10] Б. Тэмүүжин, Н.Цогбадрах, Д.Сангаа Феррит CuFe_2O_4 нэгдлийн куб ба тетрагональ фазуудын тогтворжилт ба электрон бүтцийн AB INITIO квант механикийн судалгаа, *Физик, Технологийн Хүрээлэнгийн Бүтээл*, №4-, Хууд. 96-102.
- [11] B. Temuujin, D. Sangaa, I. Hishigdemberel, B. Enkhmend., "AB-INITIO STUDY OF ELECTRONIC STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF FERRITES" p.308-311, *Nanomaterials and Nanotechnologies-VI, International Scientific Conference*, 22-26 August, 2016, Ulan-Ude, Russia.
- [12] Balagurov A M, Bobrikov I A, Pomjakushin V Yu, Sheptyakov D V and Yushankhai V Yu 2015 *J. Magn. Magn. Matter.* 374 591
- [13] M. Suto, Y. Hirota, H. Mamiya, A. Fujita, R. Kasuya, K. Tohji, B. Jeyadevan, Heat dissipation mechanism of magnetite nanoparticles in magnetic fluid hyperthermia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 321 (2009), 1493–1496.
- [14] D.H. Kim, D.E. Nikles, C.S. Brazel, "Synthesis and characterization of multi-functional chitosan- MnFe_2O_4 nanoparticles for magnetic hyperthermia and drug delivery", *Materials* 3 (2010) 4051–4065.
- [15] N. Tran, T.J. Webster, "Magnetic nanoparticles: biomedical applications and challenges", *Journal of Materials Chemistry* 20 (2010) 8760–8767.
- [16] B.D. Culity, C.D. Graham *Introduction to Magnetic materials*, Second Edition, 2009.
- [17] К.И. Кугель, Д.И. Хомский. *УФН* 136, 621 (1982).

Ferrite Magnetic Nanomaterials for Biomedical Applications

D. Sangaa¹, B. Temuujin¹, E. Bayanjargal¹, B. Enkhmend¹, N. Tsogbadrakh², H. Hirazawa³, I.A. Bobrikov⁴, E. Uyanga^{1,4}, Sh. Chu⁵

¹*Institute of Physics and Technology, Mongolian Academy of Science, Ulaanbaatar – 13330, Mongolia*

²*Department of Physics, National University of Mongolia, Ulaanbaatar -14201, Mongolia*

³*Department of Environment Materials Engineering, National Institute of Technology, Niihama College, Ehima, 792 – 8580, Japan*

⁴*Frank Laboratory of Neutron Physics JINR, 141980, Dubna, Russia*

⁵*Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China*

The magnetic material such as spinel ferrite powder samples having high heat generation ability in AC magnetic field was studied for application to hyperthermia treatment of cancer tumor. These properties of ferrites are strongly depending on their chemical composition, ion distribution, spin orientation and method of preparation in general and crystal structure in particular nature of material. The $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ type ferrite powders that have high heat generation ability in AC magnetic field were prepared by solid reaction method and the mixture phase of cubic and tetragonal structures were obtained from XRD result. In this study the reasons for this high heat generation mechanism and their magnetic properties of the ferrite powders in AC magnetic field using XRD, neutron diffraction and X-Ray synchrotron absorption spectroscopy were investigated. To explain the mechanism to occurs the heat generation ability in the magnetic materials and the electronic and magnetic states of $MgFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$, $(Mg_{x-1}Cu_x)Fe_2O_4$ and $MgFe_2O_4$, $Mg(Fe_xAl_{2-x})O_4$ were theoretically defined by First-principles method.

Keywords: spinel, ferrite, heat generation, hyperthermia, cancer treatment, X-Ray diffraction, neutron diffraction, X-Ray absorption spectroscopy, quantum mechanics, first-principles method.

Шаталтын Механизм ба Утаагүй Зуух

С.Дамдинсүрэн^{1,*}, Н.Баатарбилэг²

¹МУИС-ийн ШУС-ийн БУС-ийн биологийн тэнхим, экологийн биофизикийн лаборатори

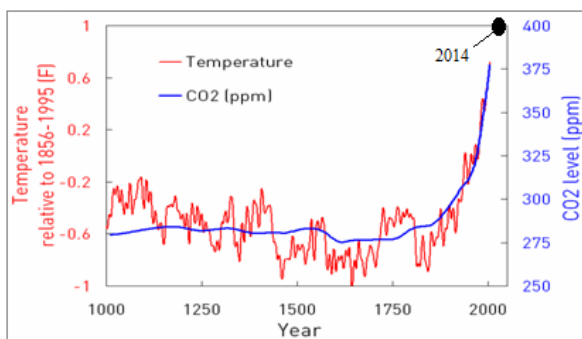
²МУИС-ийн ХШУИС-ийн Байгаль орчин, ойн инженерийн тэнхим

Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар ислийн концентраци хэдэн мянган жил тогтмол 280 ppm орчим байснаа аж үйлдвэр хөгжиж эхэлснээс хойш ихэссээр 2014 онд 400 ppm-ийн шугамыг огтолсон байна. Энэхүү ихсэлт хүний үйл ажиллагаатай холбоотой тул түүнийг зохицуулж болох учиртай. Бид энэ өгүүлэлдээ шаталтын механизм ба ойн хаягдал биомассын ялзралаас болж ялгарах нүүрстөрөгчийн давхар ислийн хэмжээг 2 дахин бууруулах бионүүрсний утаагүй зуухны хийц ба ажиллагааг танилцуулна.

Түлхүүр үг: Түлш, биомасс, уугих, утаа, асах, дөл, унтрах, цог, нүүрс, утаагүй зуух.

УДИРТГАЛ

Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар исэл хэдэн мянган жилийн турш дундажаар 280 ppm байснаа үйлдвэрлэл хөгжиж эхэлсэн 1750-иад оноос эрс ихсэж 2014 онд 400 ppm-ийн босгыг алхсан байна. Үүний гол шалтгаан нь түлш их хэмжээгээр шатаасантай холбоотой гэж үздэг. Нүүрстөрөгчийн давхар ислийг дагаад агаарын температур нэмэгдэж байгаа (Зураг 1).



Зураг 1. Агаар дахь нүүрстөрөгчийн давхар исэл ба агаарын температур зэрэг ихсэж байгаа байдал.

Дэлхийн дулаарлын шалтгаан болсон CO₂-ын ихсэлтийг сааруулахын тулд тэртэй тэргүй дуусах гэж байгаа түлшийг шатаахын оронд өөр энергийн эх үүсгэвэрийг хайж байна. Энэ бол яахын аргагүй шийдвэрлэх асуудал мөн боловч амьд биеийн гаралтай байгалийн хаягдал, дагавар бүтээгдэхүүнүүд (биомасс) хөрсний бактериудын амьсгалаар хүчилтөрөгчөөр бүрэн исэлдэж CO₂ болон агаарт гарахаас нь өмнө хүчилтөрөгчгүй орчинд халааж дутуу шатаагаад (нэрээд) хөрсөнд удаан хугацаагаар хадгалагдах нүүрстөрөгчийн хэлбэрт (бионүүрс) шилжүүлэх арга дэлгэрээд байна [1]. Бионүүрс хөндий нүх сүв ихтэй тул хөрсний усыг шингээж хадгалдаг,

бичил биетэн амьдрах сайхан оромж болдог бас эрдэс давстай [2] учраас тарьцны өсөлтөнд сайнаар нөлөөлдөг [3].

Бид түлш шатах механизм ба ойн хаягдал биомассаас бионүүрс гарган авах утаагүй зуухны хийцийг танилцуулах зорилгоор энэ өгүүлэлийг бичлээ.

ТҮЛШ ШАТАХ МЕХАНИЗМ

Аливаа үзэгдлийн, ялангуяа шатах мэтийн физик-химийн урвалын механизм гэдэг нь түүний үе шатуудыг хэлдэг. Тэгэхлээр түлш шатах механизмийг дараах байдлаар томъёолж болно: Уугих → асах → цогших → унтрах.

Уугих үе: Түлш эсвэл биомассыг халаах шат. Энэ үе шат барагцаагаар 150°C-ээс эхлээд 350°C хүртэл температурт явагддаг ба бүтээгдэхүүн нь утаа юм (Зураг 2b). Утаа нь дортог (soot), давирхай (tar) ба тос (oil) зэрэг голдуу нүүрс-устөрөгчөөс тогтсон хатуу жижиг хэсгүүд, усны уур, дэгдэмхий органик бодисууд, угаарын зэрэг хийнүүд агуулдаг бөгөөд тэдгээр нь дангаараа нүдэнд үзэгдэхгүй боловч бүгд нийлээд “утаа” гэгдэх хөх өнгөтэй зүйл болон харагдана. Тэгэхээр утаа гэдэг маань түлшийг халаахад ууршиж байгаа дэгдэмхий, хортой хоргүй органик бодисууд ба хийнүүд юм.

Асах үе: Түлш буюу биомассын температур ойролцоогоор 350°C-ээс дээш гарах үед шатдаг хий ялгарч утаа тэр чигээрээ бүрэн шатаж (хүчилтөрөгчөөр бүрэн исэлдэж) усны уур ба нүүрстөрөгчийн давхар исэл үүсгэх тул утаа үл үүснэ. Асалтын эцсийн бүтээгдэхүүн нь усны уур ба нүүрстөрөгчийн давхар исэл юм. Асах байгаа шатдаг хий ба утааг бид гал гэж нэрлэдэг.

* Electronic address: damdinsuren@num.edu.mn

Түлш асах үед их хэмжээний дулаан ялгарч, дөлний температур 1000°C -ээс дээш гарна. Жишээ нь, лааны дөлний температур 1170°C хүрэх бөгөөд харгалзах цацаргалтын хамгийн их эрчимд харгалзах долгионы урт 2070 нм байх боловч цацаргалтын богино долгионы урттай хэсэг үзэгдэх гэрлийн улаан мужид ортол үргэлжилдэг тул лааны дөл бидний нүдэнд улаан (hot red) харагдаж байгаа юм [Hyper physics: Heat radiation].

Цогших үе: Түлшнээс шатдаг хий ба дэгдэмхий органик бодисууд ялгарч дуусахад дөл унтарч түлш цог болон үлдэнэ. Цог нь халуун нүүрс (charcoal) бөгөөд цэвэр нүүрстөрөгч ба минералаас тогтоно. Цогны температур үзэгдэх гэрэл цацрахад хүрэлцэхүйц өндөр байна. Цогийг битүүлж агаараас бүрэн тусгаарлах эсвэл ус хийж хүчилтөрөгчөөр исэлдэхээс нь өмнө хөргөвөл цог буюу халуун нүүрс үнс бололгүй нүүрс чигээрээ үлдэнэ. Модны хөргөсөн цогийг модны нүүрс, хүрэн нүүрсний хөргөсөн цогийг кокс эсвэл коксжуулсан нүүрс, биомассын хөргөсөн цогийг бионүүрс гэж нэрэлдэг.

Унтрах үе: Хэрэв цог буюу халуун нүүрс зуухандаа удвал агаарын хүчилтөрөгчөөр бүрэн исэлдэж усны уур, нүүрстөрөгчийн давхар исэл ба үнс үүссэнээр гал унтрана. Үнсэнд түлшинд байсан үл шатах эрдэс давс үлдэх ба ургамал түүгээр хоололдог тул ургамлын бордоо болно.



Зураг 2. Модны үртэс (a) шатах механизм: (b) уугих, (c) асах, (d) бионүүрс үүсэх үе шат.

БИОНҮҮРСНИЙ ЗУУХ

Бид ажиллах зарчмын хувьд ялгаатай хэд хэдэн янзын бионүүрсний зуух хийж туршиж үзсэн. Ер нь бионүүрс гэдэг нь “хуурай биомассыг хүчилтөрөгчгүй орчинд 350°C -ээс дээш

температурт халааж, шатдаг хий болон дэгдэмхий органик бодисыг нь ууршуулсны дараа үлдсэн зүйл” юм. Тийм учраас бионүүрс гарган авахыг англиар “dry distillation” буюу монголоор “хуурай нэрэх” ч гэж хэлдэг тал бий. Бионүүрс гарган авах энэхүү зарчмын тодорхойлолттой нийцсэн, биомасс халахад ялгарах шатдаг хий асахад үүсэх дулаанаар өөрөө бионүүрс болон хувирдаг давуу талтай давхар торхтой бионүүрсний зуухыг 2011 онд хийж, туршиж үзсэн (Зураг 3): (a) Дотор талын торхонд биомассыг нягтруулан хийж таглаад том торхонд доош нь харуулан тавиад гаднаас нь халаахад бэлдсэн байдал. (b) Хоёр торхны хоорондох хуурай мөчрийг асаагаад том торхыг яндантай тагаар тагласан байдал. (c) Хоёр торхны хоорондох хуурай мөчир астал утаа гарах боловч ассаны дараа утаа гарахаа больж жижиг торхон доторх биомассаас шатдаг хий ба утаа гарах боловч тэр нь хоёр торхны хооронд асах ба ялгарах дулаанаар нь жижиг торхон доторх биомасс бүрэн цогшиж бионүүрс болон хувирна.



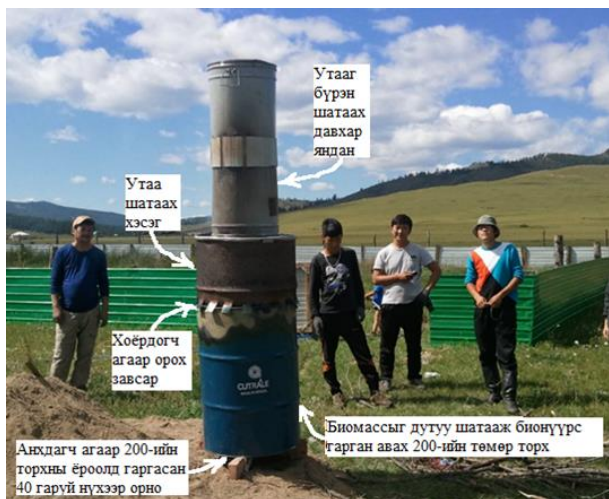
Зураг 3. Давхар торхтой бионүүрсний зуух.

(d) Үүссэн бионүүрс буюу халуун цогны температур 605°C байх ба түүнийг битүү хонуулж хөргөсөн аргалын бионүүрс (e). Модны

үртэсний бионүүрс эрдэс бордоо багатай аргалын бионүүрс эрдэс ихтэй байсан [3].

Хоёр торхтой бионүүрсний зуух бионүүрс гарган авах зарчимтай нийцэх боловч хуурай нэрэлтийг (pyrolysis) эхлүүлэхийн тулд илүү биомасс шатаадаг, шатаахад нь эхний үед утаа гардаг хоёр дутагдалтай байсан.

Бид энэ хоёр дутагдлаас ангид бионүүрсний утаагүй зуухыг 2016 онд ой цэвэрлэхэд гарсан биомассаас бионүүрс гарган авч мод тарих хөрсний чанарыг сайжруулах, нүүрстөрөгчийн давхар ислийн ялгаралтыг бууруулах зорилгоор хийж, Төв аймгийн Мөнгөнморьт сумын Байгаль хамгаалах албатай хамтран туршиж, туршилт амжилттай болсон юм (Зураг 4). Хуурай биомассыг ёроолдоо нүхтэй 200-ийн торхонд нягт өрөөд 3 тоосгоор ёроолыг нь газраас хөндийрүүлэн тавьж, амсар дээр нь гал авалцуулаад дээрээс нь утаа шатаах хэсэг ба янданг тавьсан байгаа. 200-ийн торхонд байгаа биомасс (ойгоос түүж ирсэн хуурай мөчир) дээрээсээ асаж байгаа. Асаж байгаа хэсгийн дор уугиж байгаа хэсгээс гарсан утаа бүрэн шатаж байгаа тул яндангаар утаа огт гарахгүй байна. Хэсэг хугацааны дараа асаж байгаа хэсэг цог болж, дор нь уугиж байсан хэсэг асах замаар нэг цагийн дотор торхонд байсан бүх биомасс бионүүрс болон хувирна.



Зураг 4. Ой цэвэрлэхэд гарсан биомассаас бионүүрс гарган авах утаагүй зуухыг ажиллуулж байгаа байдал.

Торхны аль хэсэгт биомасс асаж байгаа ба уугиж байгаа хэсгүүдийн зааг байгааг торхны гаднах температурыг зайнаас IR (infrared) термотетрээр хэмжиж мэднэ. Торхон доторх биомасс асаж байгаа хэсгийн тоорхны гаднах температур 400-

550°C, ууриж байгаа хэсгийнх 100-180°C орчим байдаг. IR термометр байхгүй бол торхонд байгаа бүх биомасс бионүүрс болж байгааг дөлний багасалт, яндангаар гарах үл мэдэг утаагаар мэдэж болно. Ингээд, торхон доторх бүх биомасс бионүүрс болж дуусмагц зуухыг усаар шүршиж хөргөөд яндан ба утаа шатаах хэсгийг (гүхээ) авч, торхон доторх бионүүрсийг усаар шүршиж хөргөөд торхны ёроолд ивсэн тоосгыг авч ёроолыг нь шороогоор манаад сайтар таглаж хонуулна. Ингэж битүүлэхгүй бол халуун цог агаарын хүчилтөрөгчөөр исэлдэн үнс болно. Маргааш нь торхыг онгойлогож үзвэл барагцаараар торхны дундуураар нэг бионүүрс байх болно (Зураг 5).



Зураг 5. Нэг 200-ийн торх хуурай мөчрөөс ойролцоогоор хагас торх бионүүрс гарсан.

Гарган авсан бионүүрсийг нунтаглаад хөрсөнд хийхэд чанар нь сайжирч ус хадгалах чадвар нь нэмэгдэхээс гадна хөрсөнд мянган жилээр ч задрахгүй хэвээр хадгалагддаг [2]. Тэгэхээр, биомассын 50% нь бионүүрс болно гэдэг чинь биомасс ялзарснаас болж ялгарах байсан нүүрстөрөгчийн давхар ислийн хэмжээ 50%-иар буурна гэсэн үг.

ТАЛАРХАЛ

Бидний хийсэн бионүүрс гарган авах утаагүй зуухыг хамтран туршиж, ойн аж ахуйг зохистой эрхлэх үйлсэд хэрэглэж байгаа Төв аймгийн Мөнгөнморьт сумын ойн инженер С.Бямбацэрэн болон түүний хамт олонд гүн талархлаа илэрхийлэе.

НУЛТЭЛ

- [1] Damdinsuren S., Muncktsetseg S., Buyankhishig D., Batzaya P., Munckgerel N., and Baatarbileg N. (2011). Biochar kiln. The AFOB-regional symposium on the “Natural resources biotechnology”, p. 87.
- [2] Damdinsuren S., Baatarbileg N. (2011). Structure and properties of biochar. Nanotechnology Symposium 2011, pp. 11-13.
- [3] Munhtsetseg S, Damdinsuren S., Baatarbileg N. (2014). Some results of research on the effect of biochar on the development of pine and larch seedlings. Agricultural Engineering and Technology. Number 1, Feb. 2014., pp. 32-33 (in Mongolian)

Combustion Mechanism and Smokeless Stove

Damdinsuren Sodov^{1,*}, Baatarbileg Nachin²

¹Laboratory of Ecological Biophysics, Department of Biology, Division of Natural Sciences, School of Science and Arts, National University of Mongolia

²Department of Environment and Forest Engineering, School of Applied Science and Chemical Engineering, National University of Mongolia

Abstract

Concentration of carbon dioxide in the atmosphere was about 280 ppm during the thousands of years. But, it began to increase after industrialization and came over 400 ppm level in 2014. The increase of carbon dioxide in the air can be controlled, because it depends on the human activities. We introduced in this paper the mechanism of biomass combustion and smokeless stove for making the biochar, which can be decrease 2 times the carbon dioxide emission by oxidation of waste biomass in forest.

Сорил Хэмжилтийн Дээжид Нейтрон Идэвхжилийн Аргаар Хийсэн Элементийн Шинжилгээний Дүн

Г. Дамдинсүрэн^{1,2,*}, П. Зузаан², Н. Отгонпүрэв²

¹МУИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль

²МУИС, Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв

Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний лабораториудын дунд явуулсан ур чадварыг шалгах сорил хэмжилтийн дээжүүдийг ЦСТ-ийн электроны цикл хурдасгуур MT-22 микротроны удаан нейтроны суваг дээр Na, Mn, K, Sb, As, Eu зэрэг элементүүдийг идэвхжилийн аргаар шинжлэн тодорхойлж, бусад орны лабораториудын дүнтэй харьцуулан үзүүлэв.

I. ОРШИЛ

Азийн Цөмийн Хамтын Ажиллагааны Форум (FNCA) нь азийн улс орнуудын цөмийн технологийн үйл ажиллагааг идэвхжүүлэх, хамтран ажиллах, туршлага солилцох зорилготой 2001 онд байгуулагдсан ба одоогоор 12 гишүүн орны бүрэлдэхүүнтэй үйл ажиллагаа явуулж байна. Манай улсын хувьд 2011 оноос гишүүнээр элсэн Био бордоо, Мутацийн селекц ба тогтвортой хөгжил, Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээ, Электрон хурдасгуур ашиглан байгалийн полимер боловсруулах, Цацраг изотопыг туяа эмчилгээнд ашиглах нь гэх зэрэг 10 дэд төсөлд хамтран ажиллаж байна [1].

Гишүүн орнуудын нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний лабораториудын дунд ур чадварыг шалгах, харилцан туршлага солилцох сорил хэмжилтийг 2009 оноос эхлэн хоёр жил тутамд зохион байгуулж эхэлсэн байна.

Олон улсын болон дотоодын сорил хэмжилтэнд оролцсоноор өөрийн лабораторийн

үйл ажиллагааны аргазүйн чанарыг баталгаажуулах, алдаа дутагдлаа үнэлэх, бусад лабораториудтай туршлага солилцох зэрэг олон ач холбогдолтой юм.

Сорил хэмжилтийн дээжийг Австрали улсын Үндэсний хэмжил зүйн хүрээлэнд тусгайлан бэлтгэж, АЦХАФ-ын гишүүн орнуудын нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний лабораториудад явуулсан [2,3].

Бид сорил хэмжилтэнд ирсэн дээжүүдэд элементийн шинжилгээг МУИС – ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн электроны цикл хурдасгуур MT-22 микротрон дээр нейтрон идэвхжилийн аргаар хийж, тодорхойлсон элементүүдийн үр дүнг бусад орны лабораторийн шинжилгээний утгатай харьцуулан энэхүү ажилд нэгтгэн үзүүллээ. Ур чадварыг шалгах сорил хэмжилтэнд оролцсон улсын нэр, лабораторийн дугаар болон хэрэглэсэн аргуудын жагсаалтуудыг хүснэгт 1. – д нэгтгэв.

Хүснэгт 1. Ур чадварыг шалгах сорилд оролцсон улсын нэр, лабораторийн дугаар [2]

Дэс дугаар	Улсын нэр	Лабораторийн дугаар	Тодорхойлох арга
1	Австрали	10	K ₀ – арга (абсолют)
2	Бангладеш	14	Харьцангуй арга
3	Индонез	03	Харьцангуй арга
4	Индонез	07	Харьцангуй арга
5	Индонез	11	Харьцангуй арга
6	Индонез	41	Харьцангуй арга
7	Индонез	42	K ₀ – арга (абсолют)
8	Япон	12	Харьцангуй арга
9	Япон	15	Харьцангуй арга
10	Казакстан	01	Харьцангуй арга
11	Малайз	09	Харьцангуй арга
12	Тайланд	02	Харьцангуй арга
13	Вьетнам	06	K ₀ – арга (абсолют)
14	Монгол	13	Харьцангуй арга

* Electronic address: g.damdinsuren@gmail.com

II. НЕЙТРОН ИДЭВХЖИЛИЙН ШИНЖИЛГЭЭ

МУИС-ийн ЦФСТ-ийн электроны цикл хурдасгуур MT-22 микротрон дээр цөмийн урвалаар судалгаа хийхэд зориулсан гамма, нейтрон идэвхжилийн гэсэн хоёр суваг байдаг. Бид нейтроноор идэвхжүүлэх сувгийг ашиглан шинжилгээг гүйцэтгэсэн. Энэ суваг нь $1.2 \times 1.2 \times 1.2$ м³ эзэлхүүн бүхий графитан удаашруулагчтай, зөвхөн удаан нейтроноор шинжилгээ хийхэд зориулагдсан бөгөөд дулааны нейтроны урсгалын нягт $\sim 10^8$ нейтрон/см²сек байдаг [4]. Гамма болон нейтроны урсгалыг ашиглан цөмийн урвал явуулах байдлаар дээжид агуулагдах химийн элементүүдэд тоон болон чанарын шинжилгээ хийдэг.

Дулааны нейтроноор идэвхжүүлсэн үл мэдэгдэх болон харьцуулах стандарт дээжүүдийн цацраг идэвхийг 50 см³ эзэлхүүнтэй цэвэр хагас дамжуулагч герман детектор бүхий гамма-спектрометрээр ижил нөхцөлд хэмжин харьцуулах замаар тухайн элементийн агуулгыг тодорхойлно [4]:

$$C_{\text{дээж}} = C_{\text{стан}} \frac{S_{\text{дээж}} M_{\text{стан}} \Phi_{\text{стан}}}{S_{\text{стан}} M_{\text{дээж}} \Phi_{\text{дээж}}} \quad (1)$$

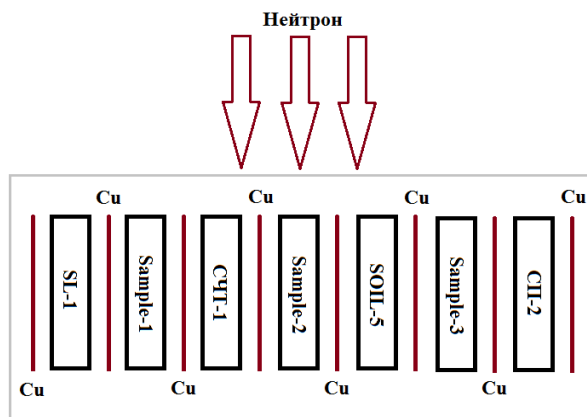
$C_{\text{стан}}$ – стандарт дээжийн агуулга; $S_{\text{дээж}}$, $S_{\text{стан}}$ – стандарт ба дээжийн гамма шугамын хэмжсэн цэвэр эрчим; $M_{\text{стан}}$, $M_{\text{дээж}}$ – стандарт, дээжийн масс; $\Phi_{\text{стан}}$, $\Phi_{\text{дээж}}$ – стандарт, дээж дэх нейтроны урсгалын засвар.

III. ТУРШИЛТ, ҮР ДҮНГИЙН ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Сорил хэмжилтэнд ирүүлсэн судлах болон харьцуулах стандарт дээж тус бүрээс ~ 2 граммыг 20 мм диаметр, 10 мм өндөр бүхий полимер саванд хийж, туршилтанд бэлтгэв. Харьцуулах дээжид олон улсын SL-1, ОХУ-ын СЧТ-1, Soil-5, СП-2 стандарт дээжүүдийг ашигласан.

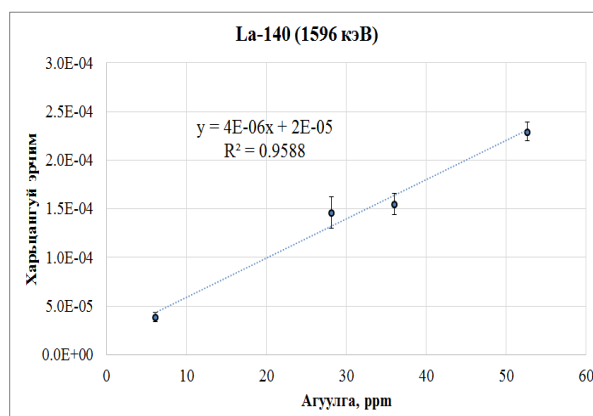
Микротрон MT-22 дээр судлах болон харьцуулах дээжүүдийг электроны гүйдэл ~ 8 мкА байхад 5 цаг шарсны дараа эхний дээжийг хэмжих хүртэл 10 цаг хүлээж, дараагаар дээж тус бүрийг 1 цагийн хугацаанд хэмжив. Судлах болон харьцуулах стандарт дээж дэх нейтроны урсгалын нягтыг ~ 0.2 грамм зэс мониторууд дээр явагдах $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ урвалаар үүссэн $T_{1/2}=12.7$ цаг хагас задралын үе бүхий изотопын 511(37), 1346(0.5) кэВ гамма шугамыг ашиглан

тодорхойлсон ба дээжийг шарсан геометрийг зураг 1. – д үзүүлэв [5,6].



Зураг 1. MT-22 хурдасгуурын нейтроны сувагт дээжийг шарсан геометр

Үр дүнг тооцоолохдоо стандарт дээжүүдийн өгөгдлийг ашиглан элемент бүрийн хувьд харьцуулах дээж дэх тухайн элементийн агуулга, харьцангуй эрчмийн хамаарлын муруйг байгуулж, судлах дээж дэх элементийн агуулгыг тодорхойлсон ба лантаний хувьд байгуулсан хамаарлын муруйг зураг 2. – т үзүүлэв.



Зураг 2. Стандарт дээжийн агуулга, харьцангуй эрчмийн хамаарлын муруй (La).

Нейтрон идэвхжилийн аргаар Na, Mn, K, Sb, As, Eu зэрэг элементүүдийг тодорхойлж, бусад орны лабораторийн утгатай харьцуулан хүснэгт 2. – т үзүүлэв.

Хүснэгт 2. – оос харахад нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргаар бидний тодорхойлсон элементийн агуулга нь бусад орны лабораторийн утгатай алдааны мужид маш сайн тохирч байна. Манай улсын хувьд цөөн элемент тодорхойлсон нь бидний шарах төхөөрөмжийн хүчин чадал, нейтроны урсгалтай холбоотой боловч энэхүү харьцуулсан хэмжилт нь манай улсын идэвхжилийн шинжилгээний аргазүйн чанарыг олон улсад батлан харуулсан үзүүлэлт болов.

Хүснэгт 2. Сорил хэмжилтийн дээжүүд дэх зарим элементийн агуулгыг НИА-аар тодорхойлж, бусад орны лабораторийн утгатай харьцуулсан дүн [3,7]

Элемент								
Д/д	Лаб/код	Na	Mn	Eu	La	K	Sb	As
№1 Дээж	1	7190±320		0.90±0.08	22.7±1.5	9540±730	9.8±1.5	18.6±1.2
	2	6430±280	249±2		21.1±3.1	8220±460	11.5±0.6	20.7±1.3
	3	8260±20	300±8		23.2±1.5	10224±367	12.0±0.2	20.9±1.8
	6	7800±280	269±13	0.81±0.07	25.2±2.3	9600±3098	11.1±0.4	21.0±1.1
	7	7680±90	292±5		23.1±1.4	9826±99	10.1±0.7	20.4±1.1
	9	7230±470	251±21	0.80±0.20	28.0±6.8	9728±768	10.9±0.2	18.0±1.6
	10	7580±620	258±18	0.69±0.05	20.8±1.5	9130±760	10.0±0.7	19.1±1.6
	11	7100±360		0.92±0.14	25.3±3.6	8420±420	12.9±1.6	22.0±2.6
	12	7700±300	273±20		22.4±2.6	9440±920	10.4±0.7	19.8±1.3
	13	8125±120	308±14	0.81±0.06	23±2	10247±640	14.2±2.3	16.3±1.8
	14	6850±50	247±17		24.9±0.5	8984±268	10.4±0.3	19.5±0.3
	15	7080±80	264±24	0.81±0.05	34.6±0.6	2340±500	10.7±2.0	34.9±4.8
	41	7495±250	266±13	0.88±0.04	31.5±1.5	7881±240	10.4±0.2	20.1±0.4
	42	6568±190		0.66±0.04	23.1±1.2	8042±310	9.8±0.5	18.2±0.9
№2 Дээж	1	2240±100		0.99±0.09	25.8±1.7	9400±600	1.6±0.3	4.6±0.3
	2	2420±220	554.3±14.7		24.5±2.5	8800±1060	2.0±0.1	4.8±0.7
	3	2619±8	549.3±7.7		31.6±1.2	10737±162	2.1±0.3	5.5±1.1
	6	2290±112	585±84.4	0.92±0.07	28.3±2.0	9500±1200	2.0±0.6	5.0±1.1
	7	2392±10	605.9±6.9	0.90±0.06	30±1.0	10817±25	1.6±0.2	6.2±0.7
	9	2197±146	442.1±80.2	0.86±0.10	29±4.1	9273±274	1.7±0.1	4.4±0.2
	10	2334±184	524±38	0.82±0.06	33.5±2.4	9270±720	1.8±0.2	4.8±0.5
	11	2380±160		0.94±0.12	24.9±3.2	9660±680	2.2±0.4	3.3±1.0
	12	2340±200	525±16.2		29.3±2.8	10200±720	2.0±0.3	5.0±0.6
	13	2422±75	397±58	0.76±0.09	32.4±2.5	9945±330	2.7±0.5	4.6±0.4
	14	2200±18	495.9±32.2		28.1±0.4	9836±280	2.0±0.1	4.6±0.1
	15	2100±20	535±40	0.90±0.05	25.1±0.4	2480±520	1.7±0.3	8.1±1.1
	41	2646±105	620.2±13.2	0.92±0.04	25.5±0.2	8942±308	1.5±0.1	4.4±0.1
	42	1941±113		0.74±0.05	22.6±0.9	8678±467		3.8±0.3
№3 Дээж	1	17750±800		1.06±0.09	11.1±0.7	8660±670	10.7±1.6	38.7±2.5
	2	14800±1620	817.6±26.4		9.4±1.1	7970±460	10.8±0.4	37.3±1.4
	3	17331±42	928.3±12.02		10.0±2.2	9246±735	11.5±0.4	38.4±2.4
	6	17900±540	943±21.6	0.82±0.12	11.1±0.4	9700±3038	12.2±2.7	39.0±1.3
	7	32347±895	1002±8.5		15.3±1.1	18868±520	12.6±0.6	45.3±1.1
	9	18184±904	879.1±14.2	0.83±0.10	10.6±1.2	9727±1230	10.8±1.3	37.6±8.6
	10	18300±1360	945.7±68	0.80±0.06	11.0±0.1	9500±1800	11.1±0.9	38.6±2.8
	11	19100±1200		0.92±0.10		10400±400	11.8±0.8	39.8±5.2
	12	17900±600	923±34		11.3±2.8	9370±780	11.3±0.8	38.9±2.0
	13	19814±520	992±43	0.75±0.11	13.8±3.1	10735±925	11.4±1.1	45.2±2.8
	14	15783±106	823.5±51.6		10.6±0.3	8298±252	10.0±0.3	37.4±0.4
	15	17300±200	960±62	0.83±0.05	10.7±0.2	8430±2600	15.5±3.0	74.6±9.8
	41	15211±283	894.9±27.7	0.83±0.03	10.9±0.1	8073±209	10.4±0.2	37.3±0.7
	42	15809±314		0.65±0.05	9.0±0.5	8202±337		35.1±1.3

IV. ДҮГНЭЛТ

Сорил хэмжилтэнд ирсэн дээжүүдийг ЦФСТ-ийн МТ-22 микротроныг ашиглан нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргаар элементүүдийн агуулгыг тодорхойлох туршилтыг гүйцэтгэв. Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээгээр Na, Mn, K, Sb, As, Eu зэрэг элементийн агуулгыг тодорхойлж, бусад орны итгэмжлэгдсэн лабораторийн дүнтэй

харьцуулан үр дүнг баталгаажуулав. Туршилтын дүнгүүдээс харахад МУИС-ийн ЦФСТ-ийн МТ-22 микротрон дээр НИА-аар хийсэн шинжилгээний утгууд нь бусад орны лабораторид хийгдсэн шинжилгээний дүнтэй алдааны мужид сайн тохирч байгаа нь ЦФСТ-д боловсруулсан нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргазүйн боломжийг харуулсан жишээ юм.

V. НОМЗҮЙ

- [1] Г.Дамдинсүрэн, Б.Отгоолой, П.Зузаан. Азийн цөмийн хамтын ажиллагааны форум (FNCA) – ийн сорилын дээжүүдэд нейтрон идэвхжилийн аргаар хийсэн зарим элементийн шинжилгээний дүн. Цөмийн Аналитик Арга, Шинжлэх ухааны суурь судалгааны сэдэвт ажлын тайлан 2011-2013, Улаанбаатар, 2013он.
- [2] John Bennett, “Proficiency Testing in the Asia-Pacific Region coordinated through the Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA)”, IAEA Workshop on Inter-Comparison Feedback of NAA and other Analytical Techniques PT Performed in 2012-2013, 27-31 May 2013, Vienna
- [3] National Measurement Institute, “PROFICIENCY STUDY AQA-13-99 NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS”, May 2013, Australia
- [4] Б.Отгоолой, П.Зузаан, Г.Дамдинсүрэн. Микротрон дээр гамма нейтроны холимог орноор шарах төхөөрөмж. МУИС. ЭШБ. ФИЗИК. №355(16). Хууд. 76-82.
- [5] И.В.Меднис. “Гамма-излучение радионуклидов, применяемых в нейтронно-активационном анализе” РИГА <ЗИНАТНЕ>, 1987
- [6] Handbook on Nuclear Activation Data №273 Vienna.1987.
- [7] John W. Bennett, Mitsuru Ebihara, others “A trial proficiency test of eight NAA laboratories in Asia using stream sediments” Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry, 10 July 2011.

Уран Бүхий “Квинта” Төхөөрөмжийг Релятив Цөмөөр Шарсан Процесс Дахь Нейтрон-Физикийн Үзүүлэлтүүд

Д. Отгонсүрэн*

ШУА, Физик Технологийн хүрээлэн, Энхтайваны өргөн чөлөө-546, Баянзүрх Дүүрэг, Улаанбаатар, Монгол Улс

(“E&T-Цөмийн хаягдлыг хоргүйжүүлэх” коллаборацийн нэрийн өмнөөс)

Орчин үед цөмийн хэрэглэж дууссан түлш, шатахууны нийлүүлэлт болон хаягдлыг хоргүйжүүлэх асуудал нь цөмийн эрчим хүчний өргөн хэрэглээг хязгаарлах хоёр гол шалтгаан болоод байгаа юм. Энэ асуудлыг шийдэх арга замуудын нэг нь релятив цөмийн технологийг ашиглах бөгөөд түүний зорилго нь байгалийн болон баяжуулаагүй ураны байг $2 \div 10$ ГэВ-ийн их энергийн цацрагаар бөмбөгдөж аль болох их хэмжээний нейтроны тархацын спектрийг үүсгэхэд оршино. Энэ ажилд Нуклотрон хурдасгуураас (ЦШНИ, Дубна) гарах 2 ба 4 АГэВ релятив энергитэй дейтроны болон нүүрстөрөгчийн ионы цацрагаар бөмбөгдөж, их хэмжээний ураны бай ($m_U \sim 500$ кг жинтэй “Квинта” төхөөрөмж) дотор нейтроны үүсэлтийн тухай асуудал хөндөгдөнө. Үүнд идэвхжүүлэх арга техникийг ашиглаж байгалийн $U(n,f)$, $^{238}U(n,\gamma)$ болон $^{59}Co(n,x)$ урвалуудын судалгааг явуулсан. Туршилтын үр дүнгийн харьцуулалт нь сум болон бөөмсийн төрлөөс энергийн хамаарлыг судлан тогтоов.

PACS numbers: 28.41. Kw, 28.50. Ft

УДИРТГАЛ

Өнгөрсөн хоёр арван жилд критикээс доогуурх горимын хурдасгуурын системээр хавсарга судалгааны асуудлуудыг шийдэх зорилгоор ашиглах сонирхол өсөж байгаа нь энэ чиглэлд цөмийн судалгааны томоохон онолын ба туршилтын тэргүүлэх төвүүдийг татан оруулаад байна. Орчин үеийн олон зорилготойгоор хүчтэй хурдасгуурын төвүүд, тухайлбал, SNS, USA (~ 1.3 MW чадал) [1], J-PARC, Japan (~ 1 MW) [2], the PSI, Switzerland (~ 0.75 MW) [3] ажиллаж байгаа юм. Тэдгээр нь янз бүрийн салбарын бүтэцтэйгээр материал судлал, цацраг идэвхт хаягдлыг хоргүйжүүлэх, анагаах ухааны цацраг идэвхт изотопыг үүсгэх г.м. судалгааг явуулж байна. Эдгээр төвүүд нь ~ 1 ГэВ (эсвэл бага) протоны хурдасгууруудыг ашиглаж нейтрон үүсгэхэд хэрэглэдэг. Одоогийн байдлаар хэд хэдэн туршилтууд зузаан байн дээр нейтрон үүсгэх судалгаа явуулж байгаагаас гадна, (JINR, LANL, KEK, ITER) нейтроныг үүсгэхэд илүү үр дүнтэйгээр их энергийн хурдасгуур шаардлагатай болохыг тогтоосон. В.Юревич [4,5] (ЦШНИ, Дубна) туршилтын судалгааны цуврал ажлуудыг гүйцэтгэж, зузаан байн дотор үүссэн нейтроны энергийн спектрийн өгөгдлүүдээр анализ хийсэн. Зузаан байнуудын хувьд байн дээрх хоёрдогч харилцан үйлчлэл нь нейтроны цацаргалтад нэмэлт хувь нэмэр нөлөө оруулж байгааг харуулсан юм. Нейтроны өсөх үржилт нь цэнэгтэй бөөмс зузаан байнаас сугарч гарах үед ялангуяа байг нейтроны үүсгэгч болгоно. Нейтроныг үүсгэхэд зарцуулсан бүтэн энергийг

анхдагч багц цацрагийн энергид харьцуулахад сул өсөлт нь ажиглагдаж, багцын энергийн өсөлтөөс сул хамаарч байгаагаас гадна анхдагч бөөмсийн багцын төрлөөс хамаарахгүй болохыг харуулсан. Энд тэмдэглэхэд, багцын нэгжид ноогдох нейтроны дундаж энергийн өсөлт нь багц энерги өсөхөд дагах нь ажиглагдсан. Энэ нь цаашид квази-хязгааргүй байнд нейтроныг үржүүлэхэд хэрэглэх боломжтойг харуулсан болно. Энэ талаасаа бол нейтроныг үүсгэх багцын энергийг илүү эрчимтэй хэрэглэх нь бөөмсийн цацрагийн энергийн тохиромжтой хэмжээгээр өсгөж болно. Сүүлийн 5 жилд Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институтийн (Дубна хот) дахь хамтын ажиллагааны хүрээнд “Энерги ба трансмутац- RAW” хөтөлбөрийн дагуу $1 \div 8$ ГэВ энергийн багцын цацрагаар ураны зузаан байнд үүсэх нейтроны орон зайн цөмийн физик үзүүлэлтүүдийг боловсруулсан. Хамтын ажиллагааны гол зорилго бол ураны байнд нейтроны үүсэлтийг түүнийг буудсан анхдагч цацрагийн энергийн багцаас хамаарах хамаарлыг судлах асуудал юм. Энэ ажилд тугалгаар хүрээлэгдсэн ураны (“Квинта”) төхөөрөмжид 2 ба 4 АГэВ энергитэй дейтроны болон нүүрстөрөгч (^{12}C) цөмийн ионы цацрагаар бөмбөгдсөн туршилтын тухай тайлбарлав. Энэ ажлын зорилго нь:

1. ^{12}C болон дейтроны багц цацрагийн судалгаа шинжилгээ хийх.
2. Идэвхжүүлэх аргыг ашиглан цацрагийн $^{238}U(n,\gamma)$ залгих урвал, байгалийн $U(n,f)$ хуваагдлын болон $^{59}Co(n,x)$ задрах урвалуудын орон зайн тархацын нягтаршлыг

* Electronic address: otgonsurenhep@yahoo.com

тогтоох, спектрийн индексийг болон залгих ба задрах урвалын нийт тоог гаргаж авах.

- Тусч байгаа анхдагч багцын энерги болон хурдасгагдсан бөөмсийн төрлөөс хамааруулсан туршилтын өгөгдлүүдэд харьцуулалтын судалгаа хийх.

ТУРШИЛТ БА АРГУУД

Туршилтын "Квинта" [6, 7] төхөөрөмж нь ураны бай (^{238}U , түүний жин $m = 512$ кг) болон гадна талдаа 10 см зузаан тугалгаар хүрээлэгдсэн бай юм. Ураны бай нь 5 тасалгаатай. Цацрагаар бөмбөгдөхийн өмнө идэвхжүүлэх хэмжигч детектор, хавтан буюу ялтас ба мөрдөх хэмжигчийг тасалгааны хоорондох зайнд нь, мөн байн өмнө ба хойно байрлуулсан. Тусч байгаа цацрагийн багц төхөөрөмж дотор өмнөх тугалган хаалтийн 150x150 мм хэмжээний нүхээр орно. Түүнээс гадна эхний нэгдүгээр тасалгаа нь оролтын 80 мм хэмжээний цонхтой хийгдсэн. Байгалийн ураныг идэвхжүүлэх 1 мм зузаан 8 мм диаметрын детекторууд туршилтанд хэрэглэгдсэн бөгөөд ^{238}U –ны нейтроныг залгих болон байгалийн ^{238}U –ны задрах урвалуудын орон зайн тархацыг тогтооход зориулагдсан. Шарх детекторуудыг хэвтээ чиглэлд ($Z = 0, 123, 254, 385, 516, 647$ мм) 6 хавтангуудад бэхлээд, хоорондох зайд байрлуулсан. Хавтан болгон нь эхнийхээс бусад нь босоо чиглэлд төвөөсөө $R = 0, -40, -80, -120, +80$ мм тус тус зайтай 5 детектортой.

γ -спектрийн хэмжилтийг цэвэр германийн (HPGE) детектор дээр хэмжсэн. Детекторын эрчмийн ба энергийн тохируулгыг анхдагч цацрагийн гамма-шугамын үүсгэсэн багцаар гүйцэтгэсэн. Нейтрон цацрагийг шингээх урвалын тоог 277.6 кэВ гамма-туяаны гаралт, түүний дагалдах ^{239}Np -ыг ($^{238}\text{U}(n, \gamma)^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Pu}$) задралаар тодорхойлно. Задралын тоог түүний бүтээгдэхүүний гаралтаар тодорхойлогддог. Энэхүү кумулятив гаралт нейтроны энергийн өргөн мужид (нейтроны задралын спектрээс 100 МэВ энергийн нейтрон хүртэл) бараг тогтмол хэвээр үлддэг. ^{97}Zr (5.7%), ^{131}I (3.6%), ^{133}I (6.3%), ^{143}Ce (4.3%) задралын, хэлтэрхийнүүдийн гаралтыг тодорхойлоход, 743.36 кэВ, 364.49 кэВ, 529.9 кэВ ба 293.3 кэВ-д харгалзах гамма-шугамуудаар тогтоосон. Кумулятив гаралт нь хуваагдлын тоог тодорхойлоход ашигласныг хаалтуудад харуулсан.

Мөн нэмж 3 мм зузаан болон 15 мм диаметртэй Со детекторыг хэрэглэж, нейтроны спектрийн судалгаа явуулсан. Зургаан ширхэг детекторыг төвөөсөө $R = +40$ мм зайнд хавтан тус бүрт байрлуулж, туяагаар шарах болгонд судалгааг гүйцэтгэсэн. Эндээс тэмдэглэхэд, ~ 1 МэВ -ээс ~ 100 МэВ хүртэлх өргөн хүрээнд хамрагдах босгын энерги E_{th} бүхий $^{59}\text{Co}(n, x)$ босго урвалуудын бүтээгдэхүүнүүдийг кобальтийн детекторын γ -спектрээр ажигласан. Тогтоосон орон зайн тархацын урвалын нягтаршлыг "Квинта" төхөөрөмжийн уран байд үүссэн нейтроны спектрийн анализ хийхэд ашигласан.

$^{27}\text{Al}(d, x)^{24}\text{Na}$, $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, x)^{24}\text{Na}$, $^{64}\text{Cu}(d, x)^{24}\text{Na}$ ба $^{64}\text{Cu}(^{12}\text{C}, x)^{24}\text{Na}$ урвалуудад дейтрон ба ^{12}C цөмийн багцыг хянахад стандарт техникийн хөнгөн цагаан болон зэс ялтас хэрэглэсэн. Энэ арга барилыг [8] ажилд дэлгэрэнгүй бичигдсэн болно. Урвалын хөндлөн огтлолыг өгөгдсөн цацрагийн туяаны багцын хувьд энергийг сонгохдоо мэдэж байсан туршилтын [8-10] утгуудаар экстраполяци хийж олсон. Анхдагч бөөмсийн эрчим болон хөндлөн огтлолыг хүснэгт 1 харуулав.

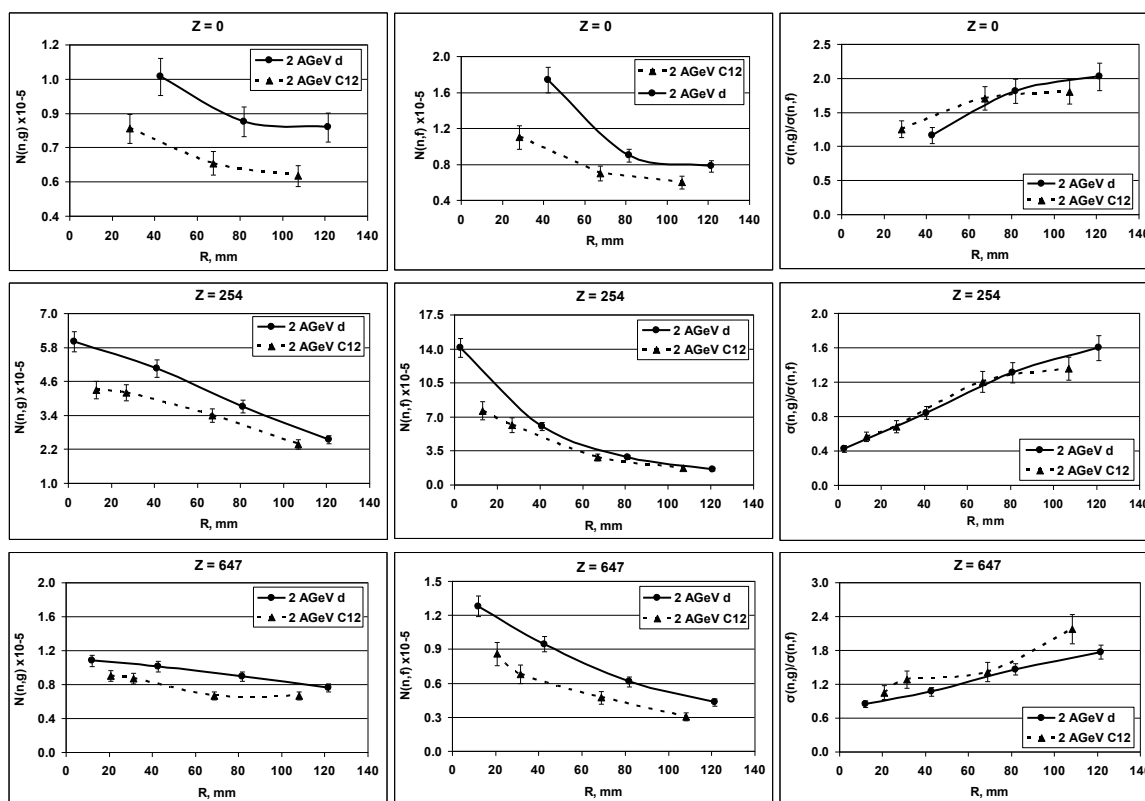
Хүснэгт 1. $^{27}\text{Al}(d, x)^{24}\text{Na}$, $^{27}\text{Al}(^{12}\text{C}, x)^{24}\text{Na}$, $^{64}\text{Cu}(d, x)^{24}\text{Na}$, $^{64}\text{Cu}(^{12}\text{C}, x)^{24}\text{Na}$ урвалуудын хөндлөн огтлолууд ба анхдагч бөөмсийн бүтэн эрчим

Изото-пууд	Энерг и АГЭВ	Хөндлөн огтлол (Al) мб	Хөндлөн огтлол (Cu) мб	Нийт эрчим
d	2	14.6	6.0	$2.16 \cdot 10^{13}$
	4	14.0	6.3	$6.11 \cdot 10^{12}$
^{12}C	2	19.4	9.5	$2.14 \cdot 10^{11}$
	4	19.0	9.5	$6.18 \cdot 10^{10}$

Хөнгөн цагаан болон зэс ялтасын технологи нь тогтоогдсон эрчмийн утгуудын хувьд хоорондоо 7% алдааны хэмжээнд ижилхэн гарсныг тэмдэглэх хэрэгтэй.

ҮР ДҮН, ХЭЛЦЭЛ

Жишээ болгож зураг 1 дээр нейтроны шингээх урвалууд, байгалийн ^{238}U задралууд мөн $\bar{\sigma}_{^{238}\text{U}} / \bar{\sigma}_f$ индексийн спектрийг детекторын ($Z = 0, 254, 647$ мм) ялтасуудад дейтрон ба ^{12}C цөмийн 2 АГЭВ энергитэй үед тогтоосон нягтаршлын тархацыг радиусын дагуу харуулсан. Энэ өгөгдлүүд 1 граммд, хурдасгагдсан нэг бөөмс болон 1 ГэВ энергид ноогдохоор өгсөн.



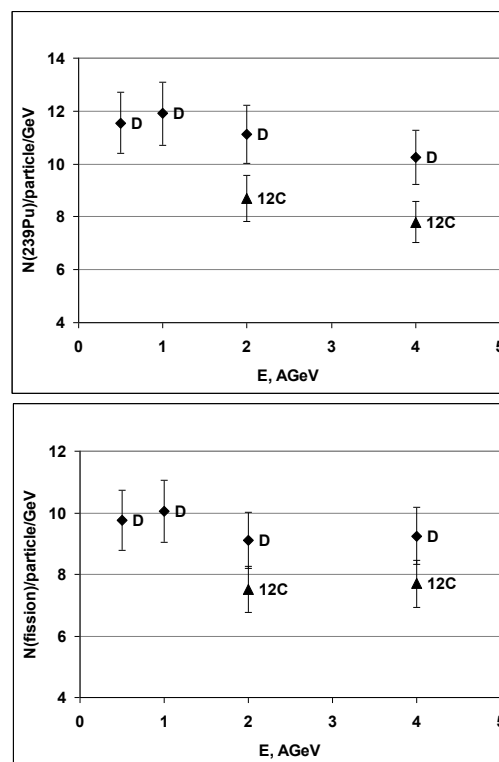
Зураг 1. Дейтрон ба ^{12}C цөмийн хувьд 2 АГэВ энергитэй нейтроны шингээх урвалууд байгалийн $U(n,f)$ (дунд талд), $^{238}\text{U}(n,\gamma)$ задралууд (зүүн талд) болон $\bar{\sigma}_{\text{capt}}^{238\text{U}} / \bar{\sigma}_f^{238\text{U}}$ индексийн спектр детекторын ($Z = 0, 254, 647$ мм) ялтасуудад оногдсон нягтаршлын радиус дагуух тархац.

Шингээх ба задралын урвалын гаралт нь детекторын ялтасууд $Z = 0$ үед ойролцоогоор дейтроны 25% харьцангуй ^{12}C цөмөөс дээш илүү тохиолдолд харуулсан. Детекторын $Z = 254, 647$ мм хавтангуудад гаралтын ялгаа бууралттай байсан, харин дейтроны гаралтын тохиолдолд өндөр. Радиус дагуух спектрийн индексийн хамаарал нь бүгд детекторын ялтасуудад дейтрон ба ^{12}C цөмийн аль алинд нь ойролцоогоор ижилхэн. Спектрийн индексийн утгын өөрчлөлт нь ~ 0.5 –аас ~ 2 хооронд хэлбэлзэнэ. Эндээс харахад, нэгдүгээрт, Z өсөх тутам нейтроны спектрийн түгэлт нь “зөөлөрч”, хоёрдугаарт бүх детекторын хувьд нейтроны спектр нь тусч байгаа бөөмийн 2 цацрагийн хувьд ойролцоогоор адилхан байна.

"Квинта" төхөөрөмжийн байгалийн ураны байнд ^{238}U –ны нейтроныг шингээх урвал ба байгалийн ^{238}U задралын тогтоосон орон зайн тархац дээр үндэслэн ^{239}Pu үүсгэх тоо хэмжээ болон байгалийн ^{238}U задралын нийлбэр тоог ураны эзлэх зай хэмжээгээр тодорхойлсон.

(0.5, 1, 2 ба 4 АГэВ) [6] дейтроноор мөн хоёр энергийн мужид (2 ба 4 АГэВ) ^{12}C цөмөөр бөгөөд нийтдээ таван туршилтыг "Квинта" төхөөрөмжийн ураны байн нейтрон-физикийн үзүүлэлтийн судалгааг явуулж зураг 2 дээр үүссэн ^{239}Pu цөмийн ба задралын нийт тоог

дөрвөн өөр энергитэй дейтроны энергийн горимд болон ^{12}C цөмийн хурдатгасан нэгж бөөмс ба 1 ГэВ энергид харуулсан.



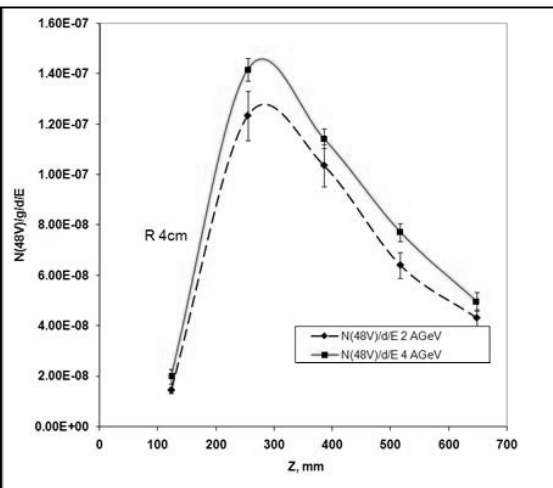
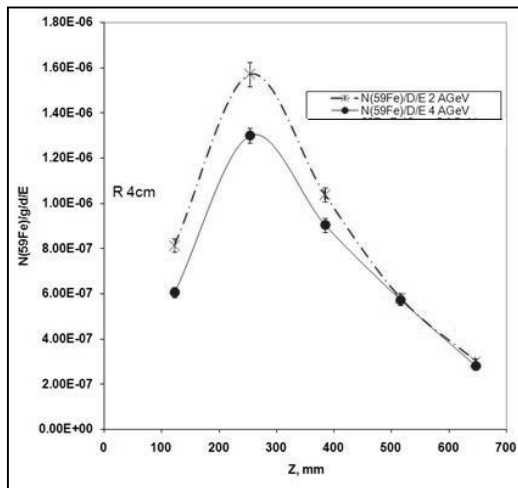
Зураг 2. «Квинта» төхөөрөмжийн ураны байнд дейтроны энерги $E_d = 0.55, 1, 2, 4$ АГэВ болон

$E^{12}_C = 2$ ба 4 АГэВ бүхий ^{12}C цөмийн энергид ^{239}Pu цөмийн нийт тоо (дээд талынх) мөн задралын нийт тоо (доод талынх).

Дейтроны өгөдлүүдийг хэд хэдэн үр дүнд гарсан гаралтаас дундчилсан. Анхдагч тусч байгаа бөөмийн энергийн хэмжээ өсөлтөд цацраг шингээх болон задрах урвалын тоо дейтрон ба ^{12}C цөмийн хувьд тодорхой алдаанд хамааралгүй болохыг харж болно. ^{12}C цөмийн тохиолдолд нийт задралын тоо хэмжээ болон ялангуяа шингээлтийн нийт тоо нь дейтроны цацрагийн

тохиолдлоос доогуур болохыг тэмдэглэгдсэн. Гэхдээ энэ нь урвалын мониторинг хөндлөн огтлолын утгыг ^{12}C цөмийн хувьд доогуур үнэлсэнтэй холбоотой.

Ингэснээр бид нейтроны гаралтын өсөлтийг тусч байгаа бөөмсөөс В.Юревичийн таамагласан хурдасгагдсан бөөмс хамааралгүй болохыг авч үзлээ. Энэ нь ураны байн хэмжээ нь хэт бага учраас болсон гэж үзсэн болно.



Зураг 3. Дейтроны $E_d = 2$ ба 4 АГэВ хоёр өөр энергийн хувьд $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$ (зүүн талд) болон $^{59}\text{Co}(n,x)^{48}\text{V}$ (баруун талд) урвалын харьцаануудын тархац.

Кобальт идэвхжилттэй детекторуудын туяаны ү-спектрын боловсруулалтын үр дүнд янз бүрийн $^{59}\text{Co}(n,x)$ урвалуудыг гаргаж авсан. Жишээ нь Зураг 3 дээр $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$ болон $^{59}\text{Co}(n,x)^{48}\text{V}$ урвалын хурдны радиус дагуух тархацыг дейтроны $E_d = 2$ ба 4 АГэВ энергийн хувьд харуулсан. ^{59}Fe үүсэлтийн хөндлөн огтлолын хамгийн их утга бол $E_{\text{max}} \sim 13$ МэВ [10]. ^{48}V үүсэх урвалын огтлолын максимум нь $E_{\text{max}} = 160$ МэВ [11]. 100 МэВ-ээс их энергитэй нейтроны тоо нь дейтроны 2 ба 4 АГэВ энерги өсөхөд дагаж өсөхийг харуулах бөгөөд хамтдаа нейтроны тоо < 30 МэВ энергид буурна. Энэ баримтаас шууд бус хэлбэрээр харахад, "Квинта" төхөөрөмжийн ураны байн дейтроны энергийн өсөлтөд нейтроны спектр хатуу болж байгааг нотолно. Ижил үр дүнгүүд өмнө нь дейтроны гурван 1, 2, 4 АГэВ энергитэй байг шарахад илэрч байсан.

ДҮГНЭЛТ

Цацрагийн нейтроныг шингээх болон задрах урвалын хэмжсэн орон зайн тархацын нягтаршил дээр үндэслэж "Квинта" төхөөрөмжийн ураны байн эзэлхүүнд дээрх урвалуудын нийт тоог гаргаж авсан. Туршилтын алдааны хэмжээнд $^{238}\text{U}(n,\gamma)$ урвалуудын нийт тоо болон байгалийн $^{238}\text{U}(n,f)$

урвалуудын нийт тоо дейтроны (энерги 1-ээс 8 ГэВ хооронд) ба ^{12}C цөм (24 ба 48 ГэВ) хувьд хоёулаа өөрчлөгдөхгүй. Тийм учраас дулааны нейтроноос төдийгүй 1 МэВ-ээс дээш энергийн нейтроноос үүсэх нейтроны гаралт нь өсөхгүй болохыг ажиглаагүй. Магадгүй энэ нь цацрагийн туяанд ураны байн нь квази-хязгааргүй биш ($R \sim 15$ см ба дундаж нягтаршил ~ 12 гр/см³) байгаатай холбоотой. Идэвхжилтийн кобальт детектор хэрэглэж "Квинта" төхөөрөмжийн ураны байнд нейтроны спектр хатуу болох нь ажиглагдсан. Энэ төрлийн бөөмсүүд болон түүний энергийн хүрээнд ийм туршилтууд анх удаа явагдсан болно.

ТАЛАРХАЛ

Энэ хамтын ажлыг гүйцэтгэхэд гүн туслалцаа үзүүлсэн проф. В.Воронко болон "Е&Т-Цөмийн хаягдлыг хоргүйжүүлэх" коллаборацийн хамт олонд талархал илэрхийлье.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Web site of ORNL. <http://neutrons.ornl.gov/facilities/SNS/works.shtml>
- [2] Web site of J-PARC. <http://j-parc.jp/index-e.html>

- [3] Y. Kadi, A. Herrera-Martinez. Multi-MW target development for EURISOL & EUROTRANS European Organization for Nuclear Research // *BENE Week*, CERN, Switzerland, March 16-19, 2005.
- [4] V.I. Yurevich, R.M. Yakovlev, V.G. Lyapin. The study of neutron emission in the interaction of nuclei ^1H , ^2H , ^4He , ^{12}C , with energy of 1 - 2 AGeV with lead nuclei // *Nuclear Physics*. 2006, v. 69, № 9, p.1531-1543. (in Russian)
- [5] V.I. Yurevich, R.M. Yakovlev, R.G. Vassilkov et al. Production and multiplication of neutrons in lead targets induced by protons above 1 GeV // *Nucl. Instr & Meth in Phys. Research, A*. 2006, № 562. p.747-749.
- [6] M.Yu. Artiushenko, V.A. Voronko, K.V. Husak et al. Investigation of the spatial and energy distributions of neutrons in the massive uranium target irradiated by deuterons with energy of 1...8 GeV // *Problems of Atomic Science and Technology. Series: Nuclear Physics Investigation* (88). 2013, v. 6, p.170-174.
- [7] L. Zavorka, J. Adam, V.V. Sotnikov et al. Neutron-induced transmutation reactions in ^{237}Np , ^{238}Pu , and ^{239}Pu at the massive natural uranium spallation target // *Nucl. Instr & Meth in Phys. Research, B*. 2015, № 349. p.31-38.
- [8] M. Artiushenko, V. Voronko, Yu. Petrusenko, et al. Monitoring of high energy deuteron beams in the experiments with massive targets // *Problems of Atomic Science and Technology. Series: Nuclear Physics Investigation* (91). 2014, v. 3, p.186-189.
- [9] A.A. Safronava, A.A. Patapenka, V.V. Sotnikov, et al. Monitoring of GeV Deuteron Beam Parameters in ADS Experiments at the Nuclotron (JINR, Dubna) // *Proceedings of DIPAC2011*, Hamburg, Germany, May 2011, pp.530-532.
- [10] Web site of Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR). <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>
- [11] Web site of TENDL-2014: TALYS-based evaluated nuclear data library. <ftp://ftp.nrg.eu/pub/www/talys/tendl2014/tendl2014.html>

Neutron-Physical Characteristics of Assembly “Quinta” Irradiated By Relativistic Nuclei

D.Otgonsuren

MAS, Institute of Physics and Technology Institute, Enkhtaivan Ave.54b, Bayanzurkh District, Ulaanbaator, Mongolia

(On behalf of “Energy&Transmutation of RAW”collaboration)

At the present time disposal of spent nuclear fuel and fuel supply problem are two main reasons preventing wide distribution of nuclear power. One of the ways to solve this problem is using Nuclear Relativistic Technologies aimed at forming of maximum hard neutron spectrum in natural or depleted massive uranium targets irradiated by high energy (2-10 GeV) beams of relativistic particles. This paper describes the neutron generation in massive natural uranium target (assembly “QUINTA”, $m_U \sim 500$ kg) irradiated by beams of relativistic deuterons and ^{12}C ions with energies of 2 and 4 AGeV at the accelerator Nuclotron (JINR, Dubna). The reactions $^{nat}\text{U}(n,f)$, $^{238}\text{U}(n,\gamma)$, and $^{59}\text{Co}(n,x)$ were investigated using activation technique. Comparison of obtained experimental results in dependence on energy of incident beam and type of particles was carried out.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my thanks to prof. V.Voronko and to other researchers of our collaboration “Energy&Transmutation of RAW”.

Их Дээд Сургуулийн Суралцагсдын Төлөвшилд Сургалтын Технологийг Өөрчлөх Замаар Нөлөөлөх нь

Д.Номиндарь^{1,*}, Б.Энхбаатар², Г.Цэндмаа³, Э.Оролмаа³

¹ШУТИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны сургууль

²Өсвөрийн зохион бүтээгчдийн лаборатори ахлах сургууль

³Дарханы Технологийн сургууль

Их сургуулийн ерөнхий суурь хичээлүүд нь иргэн-бие хүний төлөвшлийг хангаж, тэдний нийгэмшин амьдрах ерөнхий суурийг тавьдаг. Өнөө үеийн техник, технологийн хөгжил, шаардлагад нийцсэн сургалтын бодлог остратегийг боловсруулах хэрэгцээ зайлшгүй гарч байна. Иргэн болоод мэргэжилтэн бие хүний төлөвшилд сургалтын агуулга, арга /технологи/ хоёрын аль нь илүү нөлөөлж байна вэ гэдэг нь сонирхолтой юм. Орчин үед боловсролын чанарыг харилцан адилгүй ойлгож тодорхойлж байгаа ч олон улсад нэгэнт тодорхой болсон зүйл бол боловсролын чанарыг суралцагчдыг сурлагын амжилтаар хэмжиж буй явдал юм. Сургуульд суурилсан үнэлгээний өнөөгийн байдлыг авч үзвэл багшийн тавьсан дүн, сургуулиас авсан шалгалтын дүнгийн хооронд хамаарал бага, хэлбэлзэл, зөрүү ихтэй байгаа нь манай үнэлгээний систем оновчтой бус, суралцагчдын мэдлэг, чадвар, төлөвшлийг бодитойгоор үнэн зөв, шударга үнэлж чадахгүй байгааг харуулж байна. Суралцагчдыг амжилттай сайн суралцахад гэр бүл, сургууль, сургалтын болон нийгэм эдийн засгийн орчны олон зүйлс нөлөөлдөг төдийгүй эдгээр өөрчлөлт нь харилцан адилгүй ялгаатай байдаг. Хамгийн их нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг тодорхойлох нь боловсролын чанарт хүрэх арга замаа оновчтой тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой юм. Энэ бол сургалтын арга технологийг өөрчлөх явдал юм.

PACS numbers: 01.40.Fk

Түлхүүр үг: Сургалтын технологи, үйлийн явцад суралцаж хүншихүй, STEM боловсрол.

ОРШИЛ

Бидний гэрт компьютер, хөргөгч, тоос сорогч, телевизор, ухаалаг гар утас гээд маш олон шинжлэх ухаан технологийн бүтээлүүд байгаа боловч бид хэрхэн бүтдэгийг үл хайхран яаж засаж болох, юу нь эвдэрсэн талаар ч мэдэхгүй бөгөөд шинэ технологийн бүтээгдэхүүнийг өндөр үнээр худалдан авч нэг төрлөөр гангарч байгаа юм. Энэ нь биднийг нэг талаараа мэдлэггүйгээсээ болоод шинэ технологи бүхнийг сайн гэж тайлбарлавал итгэх хүлцэнгүй дорой, бидэнтэй ижил хүний оюунаар загварчлагдаж, робот бүтээсэн хэрэгсэлийн хэрэглэгч ухамсарыг төлөвшиж байгаа нь маш эмзэглүүштэй байгаа юм. Тиймээс нийгмийн хөгжилөө дагаад бүх нийтийн боловсролын чиг хандлага өөрчлөгдөх нь нийгмийн зүй тогтол юм. Бидний үр хүүхдүүдэд ирээдүйд амьдрах, ажиллах, тасралтгүй суралцах үндэс суурийг тавьж өгөх, тэр хэрээрээ амьдралын баталгаа нь болж байх энэ бүтээлч хандлагыг STEM боловсрол төлөвшүүлэхэд чухал үүрэгтэй юм. Боловсрол бол улс орны хөгжлийн түлхүүр, хөгжингүй орон болё гэвэл чадварлаг боловсон хүчин бэлтгэх хэрэгтэй юм. [1]

Дээрх асуудлуудыг даван гарахын тулд дэлхийн ихэнх улс орнууд STEM боловсролын шинэчлэлийг хийж байна. Энэ нь шинжлэх ухаан, технологи, инженерчилэл, математик гэсэн үгний товчлол бөгөөд цэцэрлэгийн наснаас их дээд сургуулийн түвшин хүртэл системтэйгээр нэвтрүүлэн хөгжүүлж байна. Тухайлбал японы Токио хотын дэргэдэх SSHS, Солонгосын ЕБС-ууд, Америкийн STEM 5 жилийн боловсролын стратегийн төлөвлөгөө болон хэрэгжүүлэлт, Франц, Герман, Австрали, Итали гэх мэт дэлхийн 100 гаруй улс орнууд боловсролын тогтолцоондоо реформ хийж байна.

Эндээс авч үзвэл Уламжлалт сургалтын үед мэдээлэл хомс зөвхөн багш боловсруулан суралцагчдад хүргэж байсан байна. Гэтэл орчин үе буюу өнөөгийн нөхцөл мэдээлэл их хэмжээтэй харин түүнийг хэрхэн зөв боловсруулан ашиглах технологи дутагдалтай байна. Энэ байдлаас гарах арга зам бол технологийн шинэчлэл хийх явдал юм.

Мэдлэг бүтээхүйн бүтэц тогтолцооноос түүний явцын аргын арга нь үйл агаад тэр нь түүний эрч буюу хөдөлгөгч хүч юм. Ийнхүү мэдлэг бүтээхүй үйлээс эхэлдэг учраас түүнийг заримдаа үйлийн явцад суралцаж хүншихүй гэж

* Electronic address: nomin_1369@yahoo.com, b_ekuba@yahoo.com

нэрлэдэг [1] Хүмүүний оршин амьдрахуйн үндэс болох үйлдвэрлэлийн анхдагч тал нь багажаар багаж, мэдлэгээр мэдлэг сэтгэцийг багажаар сэтгэцийн багаж үйлдвэрлэх явдал

юм. Сэтгэцийг багаж гэдэг нь хүн болж төлөвшихүйн гол хөдөлгөгч хүч өөрөөр хэлбэл үйлдвэрлэлийн аргын арга нь юм.

Багш суралцагсдын үүргийг харьцуулсан байдал / хүснэгт №1/

Субъект	Үүргүүд	Хуучин үзэл баримтлал	Шинэ үзэл баримтлал
Суралцагч	Сурах	Ертөнцийг танин мэдэх мэдлэг, чадвар эзэмших	Ертөнцийн зүй тогтлыг танин мэдэж, өөрийн үйл ажиллагааг зохицуулах чадвартай болох зорилготой
	Сургалтыг төлөвлөх	Сургалтын төлөвлөлтөнд бараг оролцдоггүй байсан	Өөрийн хэрэгцээ сонирхолд зохицуулж, сурах арга хэлбэрээ сонгон ажиллах боломжтой
	Сургалтыг зохион байгуулах	Бүх төлөвлөсөн үйл ажиллагаанд заавал оролцох	Өөрийн нөөц, нөхцөл боломждоо зохицуулж суралцах арга хэлбэрээ сонгон ажиллах боломжтой
	Сургалтыг үнэлэх	Зөвхөн багшаар үнэлүүлнэ.	Өөрийн ахиц, хөгжлийг өөрөө мэдэрч, алдаа онооноосоо суралцах боломжтой
Багш	Сурах	Хичээл заах, суралцагчдад мэдлэг чадвар эзэмшүүлэхэд чиглэнэ	Суралцагчийн сурч танин мэдэх үйл ажиллагааг хөтөлж жолоодох, зөвлөн тусалж дэмжих
	Сургалтыг төлөвлөх	Нийгмийн захиалгад тулгуурласан төлөвлөгөөг хэрэгжүүлэхэд чиглэнэ.	Нийгмийн захиалга болон суралцагчийн хэрэгцээтэй уялдуулан өөрсдөө төлөвлөнө.
	Сургалтыг зохион байгуулах	Зөвхөн өөрийнхөөрөө төлөвлөж, зохион байгуулна	Суралцагчдын онцлог, хэрэгцээ сонирхолтой уялдуулан хамтарч ажиллана.
	Сургалтыг үнэлэх	Суралцагчийн голлоно.	Суралцагчдын мэдлэг чадвар төлөвшлийг үнэлэхийн хамтад сургалтын хөтөлбөрөө үнэлнэ

Үйлийн явцад суралцахуйн онолын үндэс нь Л.С.Выготскийн үйл ажиллагааны онол бол үйлийн явцдаа суралцахуйн үндэс нь бодгаль ертөнцийн хандлага болон Монголчуудын билгийн сэтгэлгээ, түүний үр болох “ажил хийж хүн болдог” аж үзэлтэй яв цав тохирч байна [2]

Үйлийн явцад суралцахуйн схем:



STEM боловсрол: (science, technology, engineering, math)

STEM сургалтын онцлог:

- Насан туршийн боловсролын үндэс болсон мэдлэг бүтээх, суралцах арга

барилд сургана. Өнөөдөр боловсролын систем бүхэлдээ хамгийн энгийн түвшний (1-р) буюу сэргээн санах үйлд сургаж байна. Энгийнээр тайлбарлахад өгөгдсөн томьёонд тоо орлуулж, 1 зөв хариу гаргах эсвэл сонгох аргачлал зонхилж байна. Харин STEM сургалтаар 1-6-р түвшний буюу сэргээн санах, ойлгох (тухайлбал томьёоны логикийг ойлгох, тайлбарлах), задлан шинжлэх, мэдлэгээ хэрэглэх (судлах, туршилт хийх, шийдвэр гаргах, асуудал шийдвэрлэх), сурах үйлээ төлөвлөж үнэлэх, сурах мотивоо удирдах (өөрийгөө удирдах) чадварт сургана.

- STEM сургалтын гол онцлог нь академик мэдлэгээ ашиглан амьдрал дээрх асуудал шийдвэрлэх чадварт сургадаг. Боловсролын системийн сул тал нь бүх хичээлүүд салангид, хоорондоо уялдаагүй байдаг. Гэтэл амьдрал дээр ямар нэг асуудлыг шийдэхийн тулд олон талын мэдлэг чадвар, багийн ажиллагаа шаардлагатай. STEM сургалтаар бодит амьдралын асуудлыг шийдвэрлэхдээ шинжлэх ухаан, математикийн мэдлэгээ ашиглаж, технологи хэрэглэж, технологи зохион бүтээхэд оршино. Ингэснээр ажлын байранд бүтээлчээр асуудал шийдвэрлэх чадвартай,

багааражилладаг, технологи ашигладаг, мэдлэг бүтээх 21-р зууны мэдлэг, чадварт суралцана.

Дэлхий нийтийн сургалтын технологид шинэчлэл хийх аргачлал нь STEM боловсролын тогтолцоо болоод байна. Америкийн нэгдсэн улс гэхэд 1983 оноос STEM боловсролын шуурга дэгдэж 2007 оноос сургалтын байгууллагууд үйл ажиллагаандаа нэвтрүүлэн ажиллаж байна. Энэ талаар Америкийн үндэсний шинжлэх ухааны академи /NAP 2007/ даяарчлалын өрсөлдөөнд ажиллах хүчний гол өрсөлдөөний зарчим бол STEM болсон гэж үзэж, дунд сургууль дахь STEM-ийн боловсролын чиг хандлагыг урамшуулах, идэвхижүүлэх тодорхой тогтолцоо хэрэгжсээр байна. Мөн АНУ-д ерөнхий боловсролын дунд сургуулийг K-12 хөтөлбөр нь STEM-ийг хэрэгжүүлэх гол хөтөлбөр болж байна. STEM боловсролын хөтөлбөрийг хэрэгжүүлэхдээ ихэнх сургалтын байгууллагууд Үндэсний шинжлэх ухааны боловсролын стандарт, Олон улсын Технологи болон Инженерингийн нийгэмлэг /ITEEA/ Технологийн хэллэг, нэр томъёо ойлголтын стандарт, Технологийн Боловсролын Олон Улсын Нийгэмлэг /ISTE/ Үндэсний боловсролын технологийн стандарт зэрэг стандартуудыг ашиглаж байна. Япон улс нь дотроо технологийн тэргүүлэх улс болоход зориулан технологийн инновацийг идэвхижүүлдэг. Японы боловсролын систем 6; 3; 3; 4 бөгөөд бага боловсролоо төгссөн сурагчдын 97% нь дунд ангийг сонгон суралцдаг бол үүнээс 54 хувь нь ахлах ангийг сонгон суралцдаг байна.

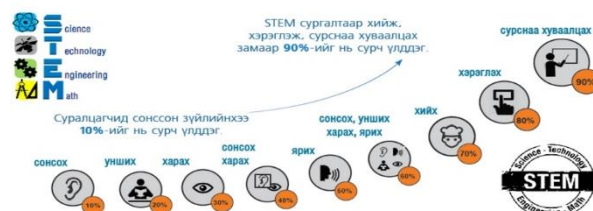
Манай оронд “STEM Brainy Teach” компани нь энэ чиглэлээр 2013 оноос үйл ажиллагаагаа явуулж эхэлсэн байна. Сургалтын хэрэглэгдэхүүн нь бүгд монгол хэл дээр хэвлэгдсэн. Боловсролын хүрээлэн, МУИС, МУБИС-ийн багш нараар хянуулаад бэлэн болгосон байгаа. Дээрээс нь багш нарт яаж STEAM боловсрол олгох вэ. МУБИС-ийг төгсөөд гарч буй багш болгон яаж STEAM боловсролыг хүүхэд бүрт заах чадвартай болох вэ гэдэг төслийг МУБИС-ийн багш нар боловсруулаад ажиллаж байна. Мөн МУБИС лицей сургуульдаа энэ сургалтыг туршиж байгаа. Хот, хөдөөд Өмнөговь, Дархан-Уулаймаг, Багануур дүүрэг, нийслэлийн “Монгени” цогцолбор сургууль дээр энэ сургалтыг хэрэгжүүлж байна.

STEM боловсролын тогтолцоо:

Шинжлэх ухаан, технологи, инженерчлэл, математикийн ухааныг нэгтгэн амьдрал дээр

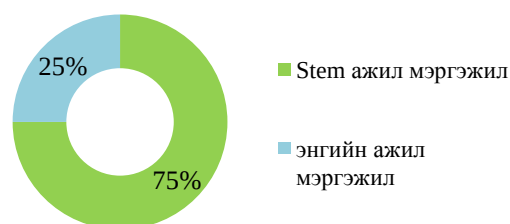
хэрэглэхэд зориулсан боловсролын систем юм. STEM боловсролын нийтлэг тодорхойлолт бол сурагчдад шинжлэх ухаан, технологи, инженеринг, математикийн онолыг бодитоор турших болон дунд сургууль, мэргэжлийн байгууллагууд тэдгээрийн хоорондын уялдаа холбоог сайжруулах, техник, технологийн мэдлэгийг дунд сургуульд түгээх, шинэ технологи дахь гүйцэтгэлийн чанарыг сайруулах зэрэг зорилготой хөтөлбөр юм. (Tsupros, 2009)[2]

STEM сургалт гэж юу вэ ?



Florida дахь шинжлэх ухаан технологийн инженерүүдийн арга хэмжээ дээр larsen STEM-ийн нөхцөл байдлын талаар ярьсан. Ажил мэргэжлийн 75%- нь хурдацтай өсөж шинжлэх ухаан, математик шаардлагатай болж байгаа бол нийт ажил мэргэжил эргэн тойронд 51%-иар шинжлэх ухаан, инженер техникийн мэргэжил нэмэгдлээ. 2018 он гэхэд 2,4 сая STEM ажилчид шаардлагатай бол одоогоор АНУ-д 19%-ийн STEM –хамааралтай ажил мэргэжлээр төгссөн бол 10 жилийн дараа гэхэд зөвхөн үүний 8% нь ажиллаж байна. 2018 он гэхэд АНУ 1,2 сая stem ажилчид дутагдалтай болох бол 2030 он гэхэд Хятад улс 200 сая гаруй Stem ажилчдыг бэлтгэхээр төлөвлөөд байгаа билээ. Тиймээс улс орон бүр хүний хөгжилтэй хамт Stem боловсролыг авч үзэх болжээ. Сүүлийн жилүүдэд 2010-2018 оны хооронд зөвхөн АНУ-д гэхэд STEM ажилчдын цалин хамгийн өндөр байгаа бөгөөд STEM биш ажилчдаас 26%-иар илүү цалин авч мөн цаашид өсөх хандлагатай байна.

Нийт ажил мэргэжилд STEM ажил мэргэжлийн эзлэх хувь



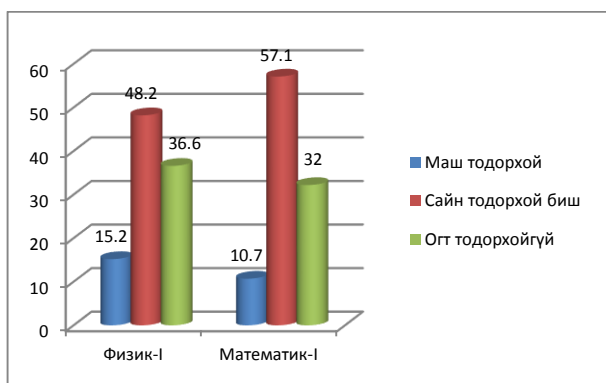
2018 он гэхэд АНУ 1,2 сая STEM ажилчид дутагдалтай болох бол 2030 он гэхэд Хятад улс 200 сая гаруй STEMAжилчдыг бэлтгэхээр төлөвлөөд байгаа билээ. Тиймээс улс орон бүр

хүний хөгжилтэй хамт Stem боловсролыг авч үзэх болжээ. Сүүлийн жилүүдэд 2010-2018 оны хооронд зөвхөн АНУ-д гэхэд STEM ажилчдын цалин хамгийн өндөр байгаа бөгөөд STEM биш ажилчдаас 26%-иар илүү цалин авч мөн цаашид өсөх хандлагатай байна. Хичээлийн хөтөлбөрийг өнөөдөр дөрвөн зорилгын хүрээнд үнэлдэг. Сонирхол болон хандлага, Шинэ санаа болон эрэгцүүлэл, Чадвар болон илэрхийлэл, Мэдлэг болон ойлголт гэсэн үзүүлэлтийн хүрээнд үнэлж байна. Эдгээр үнэлгээг бодитой үнэлэхийн тулд сургалтын технологт өөрчлөлт хийх зайлшгүй шаардлага гарч байна.

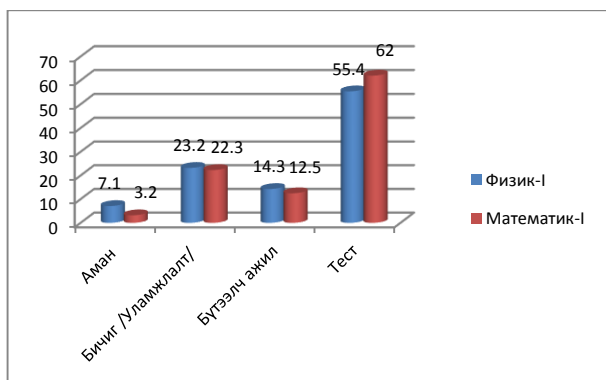
СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Судалгаанд ШУТИС-ын салбар сургуулиудын Математик-I, Физик-I хичээлийг судалсан оюутнуудаас санамсаргүй түүврийн аргаар сонгож авсан 107 оюутан хамрагдсан болно. Тэдгээр оюутнуудаас Математик-I, Физик-I хичээлийн үнэлгээний тухай 4 чиглэлээр, амжилттай сайн суралцахад хамгийн их нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг тодорхойлох чиглэлээр судалгаа авч боловсруулсан болно.

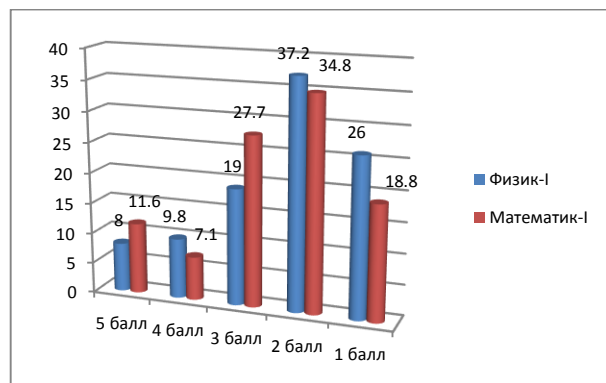
1. Хичээлийн үнэлгээний шалгуур нь үнэлүүлэхээс өмнө хэр тодорхой байдаг вэ?



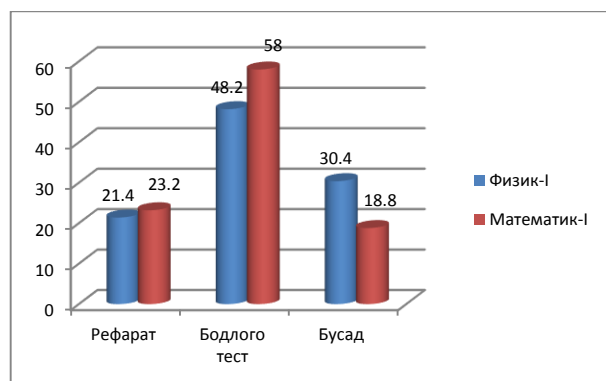
2. Та ямар хэлбэрийн үнэлгээгээр илүү үнэлүүлдэг вэ?



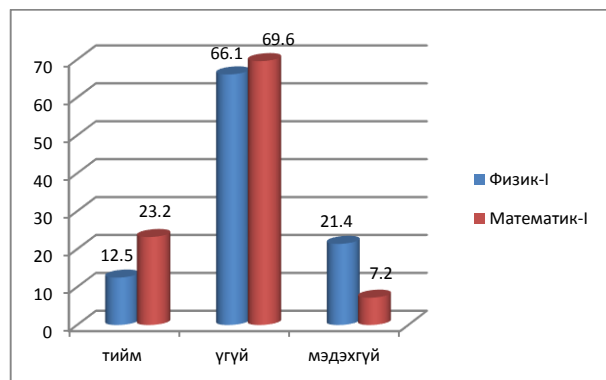
3. Та сурлагын үнэлгээндээ хэр зэрэг сэтгэл хангалуун байдаг вэ? /1-5 баллаар үнэлэнэ үү /



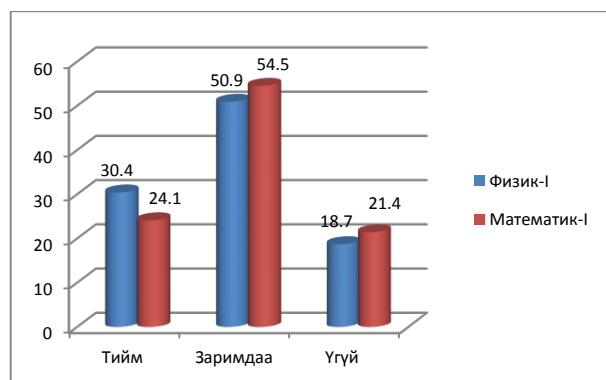
4. Бие дааж ямар бүтээлч даалгаврыг илүү хийдэг вэ?



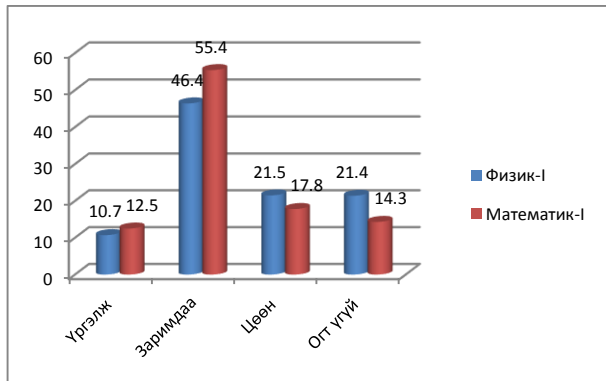
5. Багш үнэлгээний шалгууртаа оюутны саналыг тусгадаг уу?



6. Багшийн оюутанд тавьсан үнэлгээ нээлттэй байдаг уу?



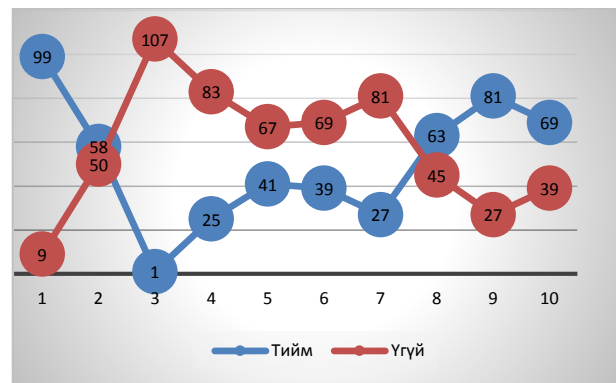
7.Хичээл дээр багшаас хэр зэрэг урмыг үг сонсож хүлээж авдаг вэ? /болж байна, сайн байна, толгой дохиx, инээмсэглэх гэх мэт/



8. Амжилттай сайн суралцахад хамгийн их нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг тодорхойлох судалгаа

1. Та сайн хүн болохын тулд суралцдаг уу ? / Хүсэл мөрөөдөл/
2. Та эцэг эхийнхээ шаардлагаар суралцдаг уу? / Гадаад хүчин зүйл /
3. Та найз нөхдөөсөө хоцрохгүйн тулд суралцдаг уу ? / Өрсөлдөөн/
4. Танд хичээлүүд сонирхолтой байдаг тул суралцдаг уу?/Сонирхол /

5. Та Онц буюу А үнэлгээ авахын тулд суралцдаг уу ?/ Хариуцлага /
6. Танд багшийн заах арга барил таалагддаг учраас суралцдаг уу ?/ Багшийн нөлөө арга барил/
7. Та хүмүүст туслахын тулд суралцаг уу ?/ Хэрэгцээ /
8. Та эх орондоо тустай хүн болохын тулд суралцдаг уу ?/ Эх оронч үзэл /
9. Та мэргэжил эзэмшээд ажлын байраа өөрөө бэлдэж ажилд орох уу ? эсвэл бэлэн ажлын байранд шууд ажилд орох уу ?/ Бодит зорилго /



Хүснэгт №3

Тийм	99	58	1	25	41	39	27	63	81	69
Үгүй	9	50	107	83	67	69	81	45	27	39
	Мэдээлэлээр хэрхэн хангагдаж байна	Хүсэл мөрөөдөл	Гадаад хүчин зүйл	Өрсөлдөөн	Сонирхол	Хариуцлага	Багшийн нөлөө арга барил	Хэрэгцээ	Эх оронч үзэл	Бодит зорилго

ДҮГНЭЛТ

Үнэлгээнд суралцагчдийн оролцоог хангасан байдал.

Үнэлгээ бол зөвхөн багшийн зүгээс оюутныг стандартаар эзэмшсэн байх цогц чадамжийг шалган дүгнэж буй хэрэг биш харин суралцагчийн оролцоог хангах хэрэгтэй. Учир нь үнэлгээнд оюутныг татан оролцуулах нь түүнийг идэвхижүүлэх, суралцахуйн, үндсэн зорилго, ач холбогдлоо ухамсарлаж, бие даан суралцах чадварыг эзэмшихэд ихээхэн нөлөөтэй. Үнэлгээн дэх суралцагчийн оролцоо нь

- Өөрөө өөрийнхөө юу сурч мэдэж, чадаж буйг үнэлэн хангалтгүй үнэлгээ авч буй зүйлээ шамдан суралцана.
- Ямар арга зүй, ямар хэлбэрээр үнэлүүлэх вэ гэдгээ сонгоно.

Ер нь үнэлгээний арга хэлбэр, шалгуур зэрэг нь суралцагчдад нээлттэй тэдгээрийн саналыг тусгасан байх нь ихээхэн чухал. Учир нь суралцагчийн эрхийг хүндэтгэж буй хэрэг бөгөөд үнэлгээний талаархи эерэг зөв ойлголт, хандлага төлөвшихэд ач холбогдолтой.[3]Багшийн оюутанд тавьсан үнэлгээ нээлттэй байдаг уу? гэсэн асуултанд судалгаанд хамрагсдын 30.4 % /физик-101/, 24.1% /математик-101/ тийм гэж хариулжээ. Үнэлгээ дүгнэлт суралцагчдад хаалттай, тэдний саналыг харгалзахгүй байх нь суралцагчдын нийгэмшилд сөрөг нөлөөтэй юм. [4]Түүнчлэн энэ нь багш-суралцагчийн хооронд тэгш бус засаглалын харилцаа оршин буйг харуулах юм. Багш үнэлгээний шалгууртаа оюутны саналыг тусгадаг уу гэсэн асуултанд 12.5% /PH101/ 23.2% /MT101/тийм, 66.1% /PH101/ 69.6% /MT101/ үгүй, 21.4% /PH101/ 7.2% /MT101/ нь

мэдэхгүй гэж хариулжээ. Үнэлгээ нь суралцагчийн хөгжил, сэтгэл, хувийн онцлогийг харгалзан үзсэн байх бөгөөд суралцагчийг харьцуулахаас аль болох татгалзах нь зүйтэй юм. Энэ нь хангалтгүй үнэлгээ авч буй суралцагчийн өөртөө итгэх итгэлийг мохоодог тал бий. Тэгвэл судалгаанд хамрагдсан оюутнуудын 18.7% /физик-101/, 21.4%/математик-101/ багшийн үнэлгээ хаалттай байдаг гэж хариулжээ.

Үнэлгээний олон хэлбэр аргуудыг хослуулсан байдал.

Нэг хэлбэрээр байнга үнэлэх нь суралцагчдыг идэвхижүүлж чаддаггүй, залхааж, хөгжлийн ерөнхий түвшин, ямар зүйлд ололттой хийгээд алдаж байгааг тогтоож чаддаггүй. Түүнчлэн энэ нь зөвхөн дүн тавих зорилго тавьж буй хэрэг болж байгаагаас бус хөгжүүлэх, хичээнгүйлэн шамдан суралцах сэдлийг төрүүлж чадахгүй юм. [6] Иймд үнэлгээ нь олон янзын хувилбар, арга хэлбэрүүдийг хослуулан ашигласанаар суралцагчийн олон талт оюуны чадамжийг тодорхойлж, аль чадамжийг цаашид анхааран хөгжүүлбэл зүйтэй болохыг тодруулж өгнө. Та ямар хэлбэрийн үнэлгээгээр илүү үнэлүүлдэг вэ? гэсэн судалгаанд 7.1% /PH101/ 3.2% /MT101/аман, 23.2% /PH101/ 22.3% /MT101/ уламжлалт, 14.3% /PH101/ 12.5% /MT101/ бүтээлч ажил, 55.4% /PH101/62% /MT101/нь тест гэж хариулжээ. Багш нар хичээлд зөвхөн сонгох хэлбэрийн тестийг хэрэглэснээр сурагчдыг бэлэн хариу бөглүүлэх, хуулах, сонирхолгүй болгох зэрэг сөрөг талтай. Мөн олон хувилбаруудыг зэрэгцүүлэн ашиглаж байгаа нь суралцагчдын бүтээлч үйлийг дэмжих чухал хэрэгсэл болдог. Бие дааж ямар бүтээлч даалгаврыг илүү хийдэг вэ? гэсэн судалгаанд 21.4% /PH101/23.2% /MT101/реферат, 48.2% /PH101/ 58% /MT101/ бодлого тест, 30.4% /PH101/ 18.8% /MT101/ бусад хариултуудыг өгчээ. Ийнхүү багш сурган хүмүүжүүлэгчид бид үнэлгээ нь суралцах үйлийн үр дүнг тодорхойлоход чиглэхээс гадна суралцах үйлийн нэг хэсэг гэдгийг хүлээн зөвшөөрч анхааран ажиллах нь зүйтэй.

Үнэлгээ нь хөгжүүлэх цогц үйл явц болох нь
Үнэлгээний олон хувилбаруудыгхолбогдох багш нарын мэдэж байх нэг чухал зүйл бол хичээлийн явцад л үнэлэх биш харин тухайн суралцах үйлийн өмнө нь хийгээд дараа нь хийгдэх үйлүүд ,танхимаас гадуур суралцагсдын хийх үйлүүдийг бүгдийг нь багтаадагийг анхаарах хэрэгтэй. [7] Нөгөө талаас суралцагсад үнэлгээндээ сэтгэл хангалуун байх нь өөрийн хүчиндээ итгэх, тэднийг хөгжүүлэх хамгийн

чухал хөдөлгөгч хүч болно. Та сурлагын үнэлгээндээ хэр зэрэг сэтгэл хангалуун байдаг вэ? /1-5 баллаар үнэлэнэ үү / гэсэн судалгаанд 17.8% /PH101/, 18.7% /MT101/ 4-5 балл буюу хангалуун , 19% /PH101/, 27.7% /MT101/ 3 балл буюу сэтгэл дундуур, 63.2% /PH101/, 53.6% /MT101/ 1-2 балл буюу сэтгэл гонсгор байна гэжээ.

Стандарт ба стандарт үнэлгээг хослуулсан байдал.

Стандарт үнэлгээ нь боловсролын стандарттай жишсэн үнэлгээ бөгөөд бүлэг сэдвийн, анги дэвших, сургууль төгсөх үед хэрэглэгддэг үнэлгээ юм. Харин стандарт бус үнэлгээ нь суралцагчийг илүү идэвхижүүлсэн байдаг бөгөөд чухамхүү юуг шинээр хэрхэн мэдэж сурч байгааг илүү тодорхойлж чадна.[8] Хичээл дээр багшаас хэр зэрэг урмыг үг сонсож хүлээж авдаг вэ? гэсэн судалгаанд 10.7% /PH101/, 12.5% /MT101/ үргэлж, 46.4% /PH101/, 55.4% /MT101/ заримдаа, 21.5% /PH101/, 17.8% /MT101/ цөөн, 21.4% /PH101/, 14.3% /MT101/огт үгүй гэжээ. Тэгэхээр стандарт үнэлгээг багш нар сургалтандаа өргөнөөр ашиглах шаардлагатай байна.

Үнэлгээний шалгуур тодорхой байдал.

Үнэлгээний шалгуур тодорхой байх нь ардчилсан, шударга байхын гол шалгуур болдог. Учир нь шалгуур тодорхой байснаар суралцагч өөрийн үнэлгээ хийх боломж бүрддэг. Ямар шалгуураар үнэлэх нь болсноор яаж гүйцэтгэх вэ гэдгийн удирдамж нь болдог [9]. Ер нь аливаа шалгуур, шаардлагыг багш урьдчилан боловсруулсаны дараагаар суралцагчдадаа танилцуулж, тэдгээрийн саналыг тусгах нь илүү үр дүнтэй. Хичээлийн үнэлгээний шалгуур нь үнэлүүлэхээс өмнө хэр тодорхой байдаг вэ? гэсэн судалгаанд 15.2% /PH101/, 10.7% /MT101/ маш тодорхой , 48.2% /PH101/, 57.1% /MT101/ сайн тодорхойгүй, 36.6% /PH101/, 32% /MT101/ огт тодорхой биш гэсэн дүгнэлт гарчээ. Сургуулийн удирдлагуудаас сургалтанд хяналт тавих ажлыг төлөвлөх, зохион байгуулах, үр дүнг тооцох, түүнд хяналт-шинжилгээ, үнэлгээ хийн сурлагын чанарыг дээшлүүлэх зэрэг ажлын менежментийн чадвар мөн сул байна.

Үнэлгээнд нөлөөлж буй гадаад ба дотоод хүчин зүйлс

Суралцагчдын өрсөлдөх чадвар, сонирхол, хариуцлагатай байдал,багшийн нөлөөлөл сул байна.Өөрөөр хэлбэл сургалтын үндсэн элементүүд бүрэн хэрэгжихгүй байна. Иймээс сургалтын технологийг шинэчлэх зайлшгүй шаардлага гарсанг илэрхийлж

байна.Шийдвэрлэх арга зам нь үйл хийх замаар төлөвшил, чадамжийг зэрэг олгох явдал юм.Энэхүү системтэй сургалтанд хамрагдсанаар суралцагчдын төлөвшилд ихээхэн нөлөөлөх болно.

НОМ ЗҮЙ

- [1]Б.Жадамбаа Ц.Чимэдлхам “Судалгааны арга зүй” 2012 он
- [2]С.Батхуяг “ Боловсролын сургалтын уламжлалт арга барилын шинэчлэл” 2012 он
- [3]Ш. Ичинхорлоо, Г. Долингор “ Сургалт” 2005 он
- [4]Пак Гынхе, БНСУ-ын анхны эмэгтэй ерөнхийлөгчийн намтар, Цөхрөл намайг хатуужуулж найдвар намайг урагшлуулдаг, Nipko publishing, 2016, УБ, 219 ху
- [5]Х. Цагаан “ Математик статистик” 2012 он

- [6]Ч.Авадай, Д.Энхтуяа “Судалгаа шинжилгээний ажил гүйцэтгэх арга зүй” 2010 он
- [7]Б.Жадамбаа “ Үйлийн явцад суралцахуй “ 2010 он
- [8]Б.Энхбаатар "Суралцагчдын сурлагын чанар хөгжлийн түвшинг бодитой үнэлж дүгнэх асуудал" 2008он
- [9]Современный студент и гуманитарная наука" 2015 года
- [10] "A multi-case study of student interactions with educational robots and impact on Science,Technology, Engineering, and Math (STEM)learning and attitudes"
- [11] <http://www.floridatoday.com/story/money/business/2016/03/20/gaining-stem-steam-economic-future>
- [12] www.nsta.org/publications/news/story

Өндөр Энергийн Бөмбөгөн Тээрмээр Гарган Авсан ZnO Нанобөөмийн Судалгаа

Г.Оюунгэрэл^{1,*}, Г.Батдэмбэрэл²

¹Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль, Математик, БУ Сургууль. Физикийн Тэнхим

²Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль Физикийн тэнхим

Өндөр энергийн бөмбөгөн тээрмийн (HEBM) аргаар 1.4 микрон хэмжээтэй цайрын исэл (ZnO)-ийг 1, 5, 8 цагийн хугацаатай тээрэмдэж, тээрэмдэх хугацааг ихэсгэхэд талстын хэмжээ 46.64нм-ээс 3.44 нм хэмжээтэй цайрын ислийн нунтгийг амжилттай гарган авсан. Цайрын ислийн нанохэмжээт бүтцийг рентген дифракцийн аргаар судалсан. Рентген фазын анализын дүнд анхдагч дээж болох гексогональ тэгш хэмтэй (ZnO) цайрын исэлийн фазын хажуугаар цэвэр цайр (Zn), куб тэгш хэмтэй цайрын исэл (ZnO) гэсэн 2 фаз үүсч байв. Дээж тус бүрийн рентген фазын талстын хэмжээг Шеррерийн тэгшитгэлийг ашиглан тодорхойлсон. Мөн Nanophox (PCCS) –ийг ашиглан дээж тус бүрийн бөөмийн дундаж хэмжээ, бөөмүүдийн хэмжээсийн тархалтын муж, хувийн гадаргуугийн талбай зэрэг хэмжигдэхүүнүүдийн утгуудыг тодорхойлов.

Түлхүүр үг: Өндөр энергийн бөмбөгөн тээрэм, XRD, PCCS, талстын хэмжээ, бөөмийн хэмжээ, Ритвельдийн арга.

ОРШИЛ

Цайрын оксид (ZnO)-ыг хийн мэдрүүр, богино долгионы уртын гэрэл цацруулагч төхөөрөмж, хөх лазер, хавтгай дэлгэцийн тунгалаг дамжуулагч бүрээс, нарны зайн үүсгүүр, гадаргуугийн акустик долгионы төхөөрөмж зэрэг олон зүйлд хэрэглэдэг. Энэхүү металын оксидын онцгой физик шинж чанар нь фотокатализийн, химийн ба биологийн төрөл зүйлийн эсрэг фото исэлдэгч шинж чанар болно. Иймээс ZnO-ийг биологийн хэрэглээнд бактерийн эсрэг материал болгон ашигладаг [1].

Өндөр энергийн бөмбөлөгт тээрмийг нанокристалл ба аморф материал болох металын нунтгийн хайлш, композит, металын хольц ба керамикийг гаргах зорилгоор сүүлийн 30 жилд ашиглаж ирсэн [2].

Энэхүү ажлын зорилго нь өндөр энергийн бөмбөгөн тээрмээр микрон хэмжээтэй цайрын исэл (ZnO)-ийг нунтаглахад үүсэх бүтцийн өөрчлөлт, бөөмийн ба талстын хэмжээс зэргийг рентген дифрактометр, фотоны хөндлөн корреляцийн спекроскоп (PCCS) зэрэг багажуудаар судлахад оршино.

ТУРШИЛТ

Судалгааны дээж болгож 99.0% найрлагатай цэвэр цайрын ислийг сонгож авсан (Union Lab). Дээжүүдийг тээрэмдэхэд АНУ-д үйлдвэрлсэн Across International VQ-N High Speed High Energy Ball Mill (220V)-ийг ашигласан. Тээрэмдэх процессийг 1, 5, 8 цагийн туршид дараахь нөхцөлтэйгээр гүйцэтгэсэн: эргэлтийн

хурд 1200rpm, бөмбөг ба нунтагийн массын харьцаа 1:30, 20мм-ийн диаметртэй гурван бөмбөг ашигласан. Нунтаглах процессийг агаарт 80мл-ийн ган болд саванд гүйцэтгэсэн.

Нэгэн төрлийн суспензийг Хэт авианы үүсгүүр KS-900F–аар 10 минутын турш үйлчилж бэлтгэсэн. Бэлтгэсэн суспензийн бөөмийн хэмжээ ба хэмжээсийн түгэлтийг Фотоны хөндлөн корреляцийн спектроскопоор (Sympatec GmbH, Germany) тодорхойлов. Эхлээд 2 мл дээжийг (uvette) үвэтэд хийж түүнийг термостаттай 0,2 мкм шүүлтүүрээр шүүсэн цэвэр устай ваннанд хийсэн. Энэ дээжээ 632,8 нм долгионы урттай лазерын цацрагийн замд ортогональ байхаар байрлуулна. Усны түвшин ванны өндрийн $\frac{3}{4}$ байх ёстой. Үр дүнг WINDOX 5 програмаар боловсруулав [3].

Рентген дифракцийн спектруудийг боловсруулахад олон улсын стандарт <Crystal Impact Match!> болон FullProf. 2012 зэрэг программ хангамжуудыг ашигласан [4].

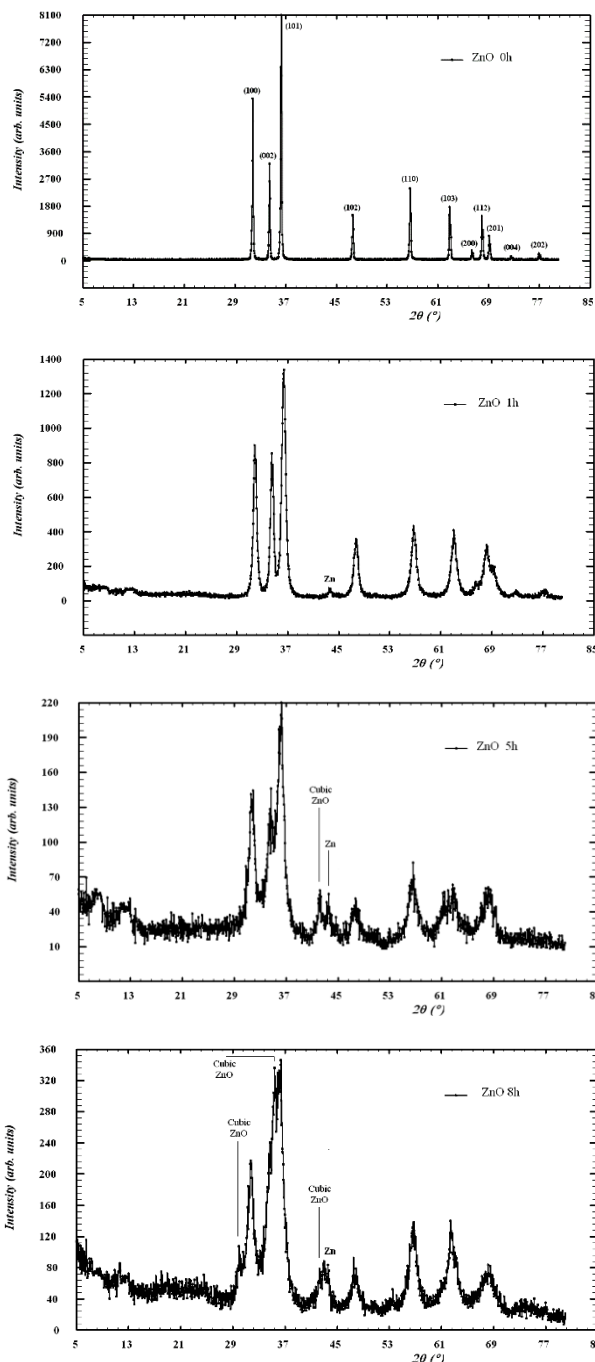
ҮР ДҮН

Тээрэмдээгүй эх дээж болон 1, 3, 8 цагийн туршид тээрэмдсэн дээжүүдийн рентген дифракцийн спектрийг 1-р зураг дээр үзүүлэв.

Рентген фазын анализын дүнд анхдагч дээж (ZnO for 0h) нь гексагональ тэгш хэмтэй байсан. Тус дээжийг 1 цагийн турш бөмбөгөн тээрмээр тээрэмдэхэд үндсэн фазын хажуугаар цэвэр цайр үүсч байсан. Энэхүү дээжийг 5 цагийн турш бөмбөгөн тээрмээр нунтаглахад дээрх хоёр фазын

* Electronic address: gerel0124@yahoo.com

зэрэгцээгээр куб тэгш хэмтэй цайрын исэл үүсч байв.



1-р зураг. Эх дээж болон 1, 5, 8 цагийн тушид тээрэмдсэн дээжүүдийн харьцуулсан рентген дифрактограмм.

Дээжийг улмаар цааш нь 8 цаг хүртэл тээрэмдэхэд дээрх 3 фаз ажиглагдахын зэрэгцээгээр куб тэгш хэмтэй фазын үүсэх тоо хэмжээ нэмэгдэж байсан. Туршлагаар хэмжсэн дээжүүдийн рентген дифрактограмаас харахад дифракцийн пикүүдийн эрчим буурч, пикүүдийн өргөн нэмэгдэж байсан. Тээрэмдэх хугацаа нэмэгдэх тусам рентген дифрактограммын фонын хэмжээ ихэсч байсан. Энэ нь дээж тус бүрийн кристалл фазын

тодорхой хувь хэмжээ аморф фаз руу хувирч байгааг илтгэнэ[5].

Дээж тус бүрийн рентген дифрактограмм дээр орших (101) гэсэн Миллерийн индекс бүхий өндөр эрчимтэй пикийн өргөнөөс талстын хэмжээг Шеррерийн тэгшитгэлийг ашиглан тодорхойлсон. Шеррерийн тэгшитгэлийг дараахь байдлаар бичиж болно:

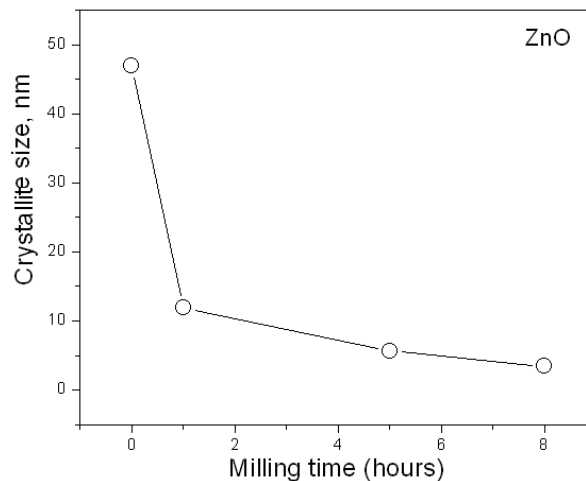
$$D_c = \frac{K \cdot \lambda}{\cos(\Theta_0) \cdot B(2\Theta_0)} \quad (1)$$

Үүнд: K -тогтмол тоо бөгөөд бөмбөлөг тэгш хэмтэй бөөмийн хувьд 0.94 гэсэн утга авдаг. λ – рентген цацрагийн долгионы урт (0.154нм), Θ_0 – Брэггийн өнцөг, B – дифракцийн пикийн өндрийн хагас дээрх харгалзах өргөний хэмжээ. Дээж тус бүрийн хувьд (1) тэгшитгэлээр талстын хэмжээг бодож 1-р хүснэгт дээр үзүүлэв.

1-р хүснэгт. Дээжийг тээрэмдсэн хугацаа ба талстын хэмжээ.

Дээж (ZnO)	Талстын хэмжээ D_c , нм
0h	46.64
1h	11.96
5h	5.66
8h	3.44

Талстын хэмжээг тээрэмдэх хугацаанаас хамааруулж 2-р зураг үзүүлэв.



2-р зураг. ZnO-ийн талстын хэмжээ тээрэмдэх хугацаанаас хамаарах нь.

1-р хүснэгтээс харахад дээжийг тээрэмдсэн хугацаа ихсэхэд талстын хэмжээ 46.64 нм-ээс 3.44 нм хүртэл буурч байгаа нь ажиглагдаж байна. Ритвельдийн аргаар дээж тус бүрийн үндсэн фаз болох гексагональ тэгш хэмтэй цайрын ислийн хувьд кристалл торын параметруудийг тооцоолсон. Торын a , c

параметрууд 0 цагаас 1 цаг хүртэл буураад, 5 цаг хүртэл тээрэмдэхэд ихэсч байсан ба 5 цагаас 8 цаг хүртэл тээрэмдэхэд a , c параметрууд буурч байсан. Тус хамаарлыг 2-р хүснэгт дээр харуулав.

Цааш нь Фотоны хөндлөн корреляцийн спектроскопийн аргаар дээж тус бүрийн бөөмийн дундаж хэмжээ (x_{50} , nm), бөөмүүдийн хэмжээсийн тархалтын муж (PSD, nm), хувийн гадаргуугийн талбай (S_v , m^2/cm^3) зэрэг хэмжигдэхүүнүүдийн утгуудыг тодорхойлсон.

2-р хүснэгт. Дээжийг тээрэмдсэн хугацаа ба кристалл торын параметр.

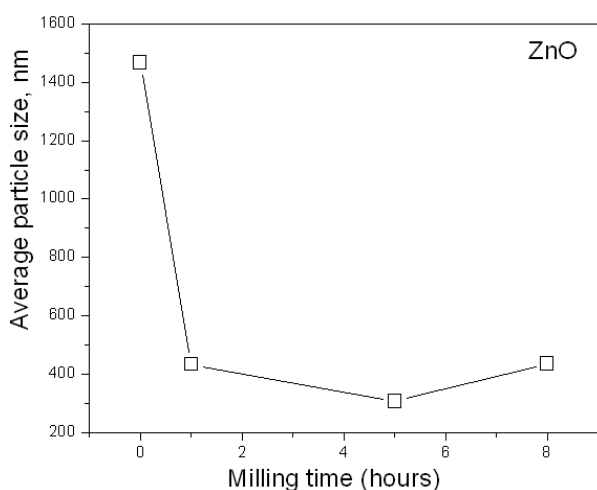
Дээж (ZnO)	a , Å	c , Å
0h	3.24960	5.20660
1h	3.24387	5.19580
5h	3.25864	5.21566
8h	3.25009	5.20613

Эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийн утгуудыг 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.

3-р хүснэгт. Дээжийг тээрэмдсэн хугацаа ба бөөмийн дундаж хэмжээ, бөөмийн хэмжээсийн тархалт, хувийн гадаргуугийн талбай.

Дээж (ZnO)	Бөөмийн дундаж хэмжээ x_{50} , nm	Бөөмийн хэмжээсийн тархалт (PSD), nm	Хувийн гадаргуугийн талбай, m^2/cm^3
0h	1468	107—2431	4.14
1h	433	319—612	13.94
5h	306	60—426	19.70
8h	435	343—612	13.84

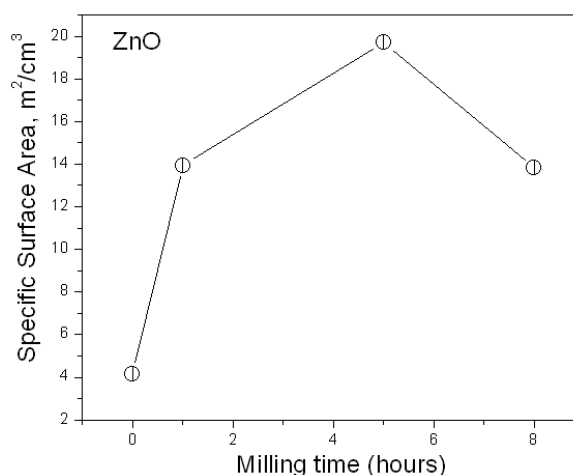
3-р хүснэгтээс ZnO-ийн нунтгийг 5 цаг хүртэл тээрэмдэхэд бөөмийн дундаж хэмжээ 306 nm хүртэл буураад 8 цаг хүртэл бөөмийн дундаж хэмжээ 435 nm хүрч томорч байсан. Өөрөөр хэлбэл, 5 цагаас эхлэн агломерацийн процесс явагдаж эхэлсэн. Харин энэ үед дээж тус бүрийн хувьд талстын хэмжээ 46 nm-ээс 3 nm хүртэл багасч байв (3-р зураг).



3-р зураг. ZnO-ийн бөөмийн дундаж хэмжээ тээрэмдэх хугацаанаас хамаарах нь.

Нунтаглах хугацаанаас хамаарч бөөмийн хэмжээсийн тархалтын муж 5 цаг хүртэл буураад 8 цаг хүртэл өсч байв. 1 ба 8 цаг дээр бөөмийн хэмжээсийн тархалтийн доод хязгаар ~

300 nm байсан бол 5 цаг дээр энэ доод хязгаар 60 nm хүрч байв. Харин 60 nm хэмжээтэй бөөмийн эзлэх хувь 0.01%-ийг эзэлж байсан. 0 цагаас 5 цаг хүртэл хувийн гадаргуугийн талбай 4.14 m^2/cm^3 -ээс 19.70 m^2/cm^3 хүртэл өсөөд 8 цаг хүртэл 13.84 m^2/cm^3 хүртэл буурч байсан (4-р зураг). Тээрэмдэх хугацаа удаан байх тусам эвдэрсэн бөөмс (агломерацид орж) бөөмнөрдөг. Энэ нь бөөмийн хэмжээ ихэсч гадаргуугийн талбай багасах шалтгаан болно (Li et al., 2008; Welham and Llewellyn, 1998).



4-р зураг. ZnO-ийн хувийн гадаргуугийн талбай тээрэмдэх хугацаанаас нь.

Дээрх зургаас харахад тээрэмдэх хугацаа ихсэхэд хувийн гадаргуугийн талбай ихсэж оргил цэгтээ хүрээд бөөмнөрөл явагдахад буурч байна.

ДҮГНЭЛТ

- Өндөр энергийн бөмбөгөн тээрэм нь цайрын ислийн нунтгийн кристалл бүтцийг өөрчлөгдөхөд хүргэсэн: анхдагч гексагональ тэгш хэмтэй цайрын ислийн хажуугаар цэвэр цайр (Zn) ба куб тэгш хэмтэй цайрын исэл (ZnO) үүсч байсан.
- Өндөр энергийн тээрмийн аргаар микрон хэмжээтэй цайрын ислийн нунтгаас 3.44 нм-ийн талстуудтай нанохэмжээт цайрын ислийн нунтгийг амжилттай гарган авсан. Харин бөөмийн хэмжээсийн хувьд нанохэмжээт бөөмүүдийг гарган авч чадаагүй. Гэсэн ч бид бөөмийн хэмжээсийн тархалтийн доод хязгаарийг 60 нм хүртэл бууруулж чадсан ч дээжийн эзэлхүүний процентийн дөнгөж 0.01%-ийг эзэлж байв.
- Механик идэвхжүүлэлтийн нөлөөгөөр дээжүүдийн хувийн гадаргуугийн талбай тодорхой хэмжээ хүртэл өсөөд буурдаг хандлага ажиглагдсан.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Numah Salah, Sami Habib, Zishan., et al. *High-energy ball milling technique for ZnO nanoparticles as antibacterial material*. Inter. Journal of Nanomedicine. 2011; 6: 863–869.
- [2] Edval G. Araújo, Ricardo M. Leal Neto, Marina F. Pillis, Francisco Ambrózio Filho, *High-Energy Ball Mill Processing*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CNEN-SP, Travessa R, n.400, Cidade Universitária - São Paulo-SP, 05508-900, Brasil.
- [3] *Nanophox Operating Instructions*. © 2008, Sympatec GmbH, System-Partikel-Technik, Am Pulverhuas 1, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, Deutschland.
- [4] Rietveld, *Profile Matching & Integrated Intensities Refinement of x-ray and /or Neutron Data (powder and/or single-crystal)*. Version 3.5d Oct98-LLB-JRC. Juan Rodriguez-Carvajal, Laboratories Leon Brillouin (CEA-CNRS).
- [5] T. Sreckovic, N. Labus, N. Obradovic, Lj. Zivkovic, *Mat. Sci. Forum* 453-454, 435 (2004)

Холлын Хувиргагч ба Түүний Хэрэглээ

П.Түвшинтөр^{1,*}, Д.Төмөрбаатар¹, Г.Шилагарди¹, Х.Цоохүү¹, М.Отгонбаатар¹
В.И.Прокошин², А.П.Драпезо²

¹National University of Mongolia, Ulan Bator, Mongolia,

²Институт тепло- и массообмена им. А.А. Лыкова НАН Беларуси, 220072, Минск, ул. П.Бровки, д.15, Беларусь,

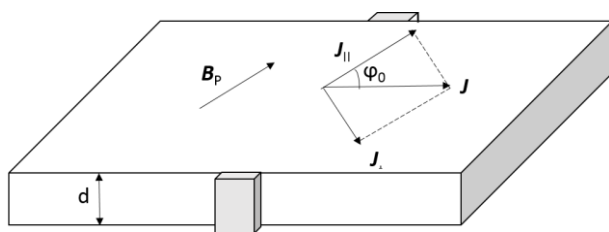
$n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ бүтэцтэй гетерозепитаксиаль нимгэн хальсыг Те-ээр чанаржуулахад түүний гүйдэл зөөгчдийн концентрац ихсэж, температурын тогтвор сайжрав. Bi -ийн атом зангилгаа хооронд байхад хаалттай зонд донорын түвшинг үүсгэж байв. Теллураар чанаржсан гетерозепитаксиаль нимгэн хальсаар үйлдсэн холлын хувирагчийн мэдрэмж бараг нэг эрэмбээр нэмэгдэхийг ажиглав.

ОРШИЛ

Дамжуулагч ба хагас дамжуулагчид цахилгаан ба соронзон орон нэгэн зэрэг үйлчлэхэд үүсэх кинетик эффектүүдийг гальваномангнетик үзэгдэл гэнэ. Холлын эффект энэ үзэгдлийн нэг юм. $\mathbf{B}$ индукцтэй соронзон оронд байгаа d зузаантай хагас дамжуулагчаар ρ нягттай гүйдэл гүйж байвал түүнд перпендикуляр чиглэлд үүсэх потенциал ялгавар буюу хүчдэл:

$$V = R_H I B_n d^{-1} + R_p I B_p^2 \sin(2\phi_0/2d) \quad (1)$$

Үүний $\mathbf{B}_n$ - соронзон индукцийн векторын нормаль байгуулагч, $\mathbf{B}_p$ - соронзон индукцийн векторын ялтсын хавтгай дээрх байгуулагч, ϕ_0 - гүйдлийн нягтын вектор $\mathbf{J}$ ба $\mathbf{B}_p$ хоёрын хоорондох өнцөг ϕ_0 , R_p - холлын планар эффектүүдийн коэффициент болно. Холлын планар эффект хагас дамжуулагчийн хувийн эсэргүүцэл хөндлөн соронзон оронд өөрчлөгдсөнөөс үүсдэг (1-р зураг).



1-р зураг. Холлын планар эффект.

Энд $J_{||} = J \cos \phi_0$ ба $J_{\perp} = J \sin \phi_0$ нь соронзон орон $\mathbf{B}_p$ -д параллель ба перпендикуляр чиглэсэн гүйдлийн байгуулагч юм. (1) томъёоноос харвал анхны дөхөлтөд (планар эффектүүдийг тооцохгүй бол) холлын хүчдэл дээжийн зузаанд урвуу пропорционал ажээ. Иймээс орчин үед холлын

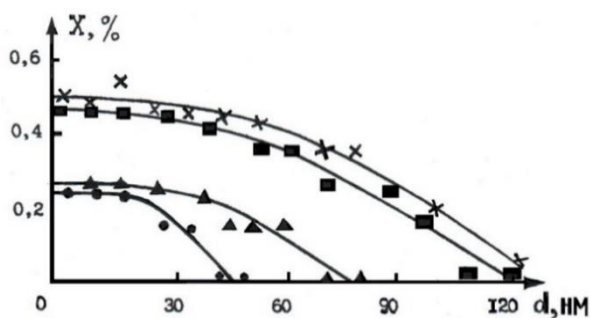
хүчдэлийг ихэсгэхийн тулд эпитаксиаль нимгэн хальсыг хэрэглэдэг болжээ [1].

1. ЭПИТАКСИАЛЬ НИМГЭН ХАЛЬС

Кристалл торынх нь тогтмол бараг адилхан нэг кристалл дээр нөгөө кристаллын нимгэн үеийг хатуу төлөвтэй бодисыг вакуумд ууршуулах, эсвэл хий буюу шингэн төлвөөс тундасжуулах замаар үйлдсэн нимгэн хальсыг гомозепитаксиаль хальс гэнэ. Хэрэв хоёр бодисын кристалл торын бүтэц өөр байвал гетерозепитаксиаль нимгэн хальс гэнэ. Эдгээр гетерозепитаксиаль нимгэн хальсны зузаан 1-2 мкм орчим, ууршуулж байгаа бодис ба түүнийг өөр дээрээ тундасжуулан суулгах суурь бодис хоёрын кристалл торын тогтмолуудын ялгаа 10% иас хэтэрч болохгүй.

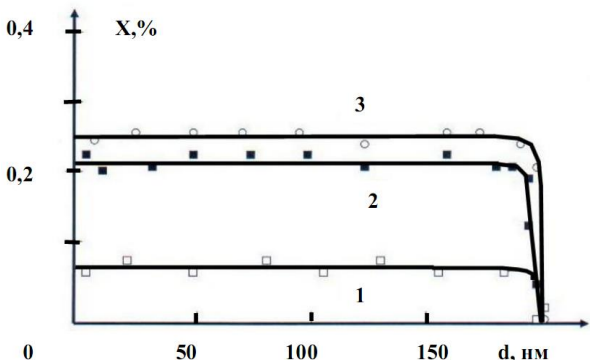
Мөн суулгах бодисын молекулуудын урсгалаар суурь бодисоо буудуулж ч болно [2]. Жишээлбэл, хагас хөндийрүүлэгч арсенид галийн (GaAs) гадаргууг 5 дугаар бүлгийн элементээр буудуулдаг [3]. Бид энэ аргыг арай хялбарчилсан. Эхний шатанд өндөр температурт вакуумд ууршуулах аргаар $n\text{-InSb-i-GaAs}$ бүтэцтэй гетерозепитаксиаль нимгэн хальсыг гарган авсан. Хоёрдох шатанд энэ хальсаа бага хэмжээний висмутын хамт кварцан ампулд хийгээд дулаан боловсруулалтад оруулахад диффузийн процесс явагдаж сэндвич маягийн бүтэцтэй $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x \dots n\text{-InSb-i-GaAs}$ -ийн нимгэн хальс үүсэв. Энэ нимгэн дээжийн гүнээр висмут жигд биш тархсан байв (2-р зураг). Висмутын тархалтыг 1.4МэВ энергитэй гелийн ионы резерфордын урвуу сарнилын спектрийг ашиглан тодорхойллоо. Бүх туршилт ба хэмжилтийг $5 \cdot 10^{-4}$ Па даралттай орчинд гүйцэтгэв.

* Electronic address: tuvshintur@num.edu.mn



2-р зураг. 290°C, 370°, 400°C-ийн температурт гүн дагуух висмутийн тархалт. Ханалт болох хугацаа 2 цаг.

Гуравдугаар шатанд сэндвичээ $3 \cdot 10^{-4}$ Па даралттай стандарт вакуумын камерт удаан хугацааны турш изотермээр халааж дараа нь аажуухан хөргөсөн. Дулаан боловсруулалтын улмаас висмут InSb -ийн гүн дагуу диффузлэн тархсаар суурь бодис GaAs-д хүрсэн байв (3-р зураг). Энд висмут $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ стехометрийн бүтэцтэй, n төрлийн дамжиц бүхий хатуу уусмалыг үүсгэх замаар нимгэн хальсны гүнээр бараг жигд тархсан байв. Харин x-ын хэмжээ дулаан боловсруулалтын температураас хамаарч байлаа.



3-р зураг. 6 цагийн турш халаасны дараа нимгэн хальсны гүнээр висмут тархсан байдал. Ханалтын температур : 1-330°C, 2-370°C, 3-400°C.

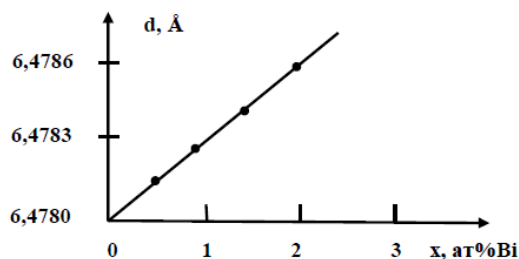
Хоёрдугаар шатанд эпитаксиаль нимгэн хальс $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ үүсэх процесс дараах маягаар явагдана. Диффузийн улмаас эпитаксиаль хальсны гадаргууд залгигдсан висмут цаашаа InSb -ийн нимгэн хальсны гүн рүү диффузээр нэвчин орно. Энэ үед сурьмагийн атомыг висмутийн атомаар халахад зузаарч байгаа нимгэн үе тэлэлтэд орно. Тооцооноос үзвэл, гетероген хилийг үүсгэх материалуудын торын үе харилцан адилгүйгээс болж хуримтлагдах хүчлэг, висмутийн концентрац ихсэхэд шугаман хуулиар өснө. Хүчлэгийн хэмжээ бага бөгөөд висмутын концентрац 1.2% байхад харьцангуй деформаци 0.06%-иас хэтрэхгүй. Суурь бодис GaAs, мөн InSb ба $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ -ийн холимгоос тогтох нимгэн эпитаксиаль үеийн дулаан тэлэлтийн коэффициентийн харилцан адилгүйгээс үүсэх хоёрдох төрлийн

хүчлэг тасалгааны температураас ханалтын температур хүртэлх өргөн хязгаарын дотор дулаан тэлэлтийн коэффициентийн ялгавард пропорционал байх ажээ. Харьцангуй деформацид өгөх түүний нэмэр висмутийн концентрац 1.2% байхад 0.05% орчим байна. Энэ хоёр деформацийн нийлбэр эффект 0.11% байгаа нь InSb - $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ -ийн хатуу уусмал үүсэхэд буй болох нэмэлт дислокацийг үүсгэх критик деформациас бараг 2 дахин бага байна. Энэ бол нимгэн хальсанд дурьдсан температурын мужид висмутийн уурыг ханах хэмжээнд нь хүртэл диффузийн замаар нэмэгдүүлэхэд торын тогтмолын зөрөөгөөс болж шинээр дислокаци үүсэхгүйгээр үл барам висмутаар баяжуулснаас үүсэх торын эвдрэл харимхай деформацийн мужаас халихгүй байв.

2. ТЕЛЛУРААР ЧАНАРЖУУЛСАН ЭПИТАКСИАЛЬ НИМГЭН ХАЛЬС

Туршлагын үр дүнгээс харвал вакуумд ууршуулах аргаар үйлдсэн бидний эпитаксиаль нимгэн хальсны доторх гүйдэл зөөгчийн хөдлөх чадварыг өсгөж, мөн хугацаа ба температурын тогтворыг сайжруулах шаардлагатай билээ. Хэрэв энэ асуудлыг шийдэж чадвал холлын хувиргагчийн хэмжээг багасгахын хамт геомагнитийн орон ба тогтмол соронзон орон хир зэрэг нэгэн төрөл болохыг шалгах чадвартай болтол мэдрэмжийг нь сайжруулж болох хэт ирээдүй харагдаж байв. Энэ зорилгоор бид гарган авсан гетероэпитаксиаль нимгэн хальсаа теллурээр чанаржуулав. $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ төрлийн нэгдлийн B^{V} -ийг B^{VI} -аар солиход n-төрлийн дамжуулалттай болно. Ингэснээр бид гүйдэл зөөгчдийн тоог нэмэгдүүлж чадна. Эхлээд вакуумд ууршуулах аргаар $(1 \cdot 10^{18} - 9 \cdot 10^{18}) \text{cm}^{-3}$ хэмжээний гүйдэл зөөгчдийг агуулсан теллурээр чанаржсан гетероэпитаксиаль бүтэцтэй n-InSb-i-GaAs-ийн нимгэн хальсыг гарган авлаа. Дараа нь теллурээр чанаржсан n-InSb-i-GaAs-ийн эпитаксиаль нимгэн хальсаа бага хэмжээний висмуттэй хамт вакуумжуулсан ампулд хийгээд дулаан боловсруулалтад оруулж диффузийн процесс явуулахад висмутээр ханасан теллурээр чанаржсан сэндвич маягийн бүтэцтэй n-InSb1-xBix ... n-InSb -i-GaAs -ийн гетероэпитаксиаль бүтэц үүсэв. Эцэст нь сэндвичээ $3 \cdot 10^{-4}$ Па даралттай вакуумын стандарт камерт байрлуулаад удаан хугацааны турш изотермээр халааж байснаа аажуухан хөргөлөө. Дулаан боловсруулалтад оруулсны дараа стехометрийн бүтэц нь дулаан боловсруулалтын температур ба x-ээс хамааран өөрчлөгдөх, бүх эзэлхүүнээр нь висмут жигд тархан байрласан n-төрлийн дамжицтай n-

$\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ хатуу уусмалын нимгэн хальс бүрэлдсэн байв. 4-р зурагт диффрактограммын үр дүнгээс тооцон олсон кристалл торын тогтмол d ба висмутийн концентрац хоёрын хамаарлын график үзүүлээ.

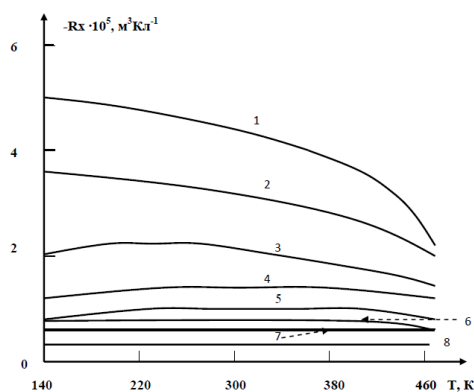


4-р зураг. $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ хатуу уусмалын торын параметр висмутын концентрац x -ээс хамаарах.

3. ТЕЛЛУРААР ЧАНАРЖСАН ЭПИТАКСИАЛЬ НИМГЭН ХАЛЬСНЫ ФИЗИК ШИНЖ ЧАНАР

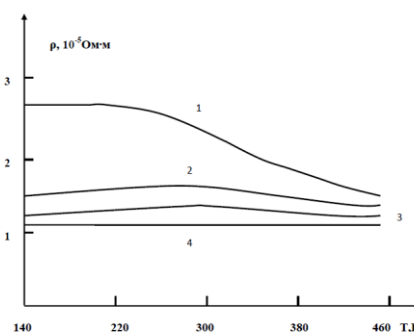
Аливаа хагас дамжуулагчийн физик шинж чанар юуны өмнө холлын коэффициент, цахилгаан эсэргүүцэл ба дифференциал термо-цахилгаан хөдөлгөгч хүчний (термо-цхх) температурын хамаарлаар тодорхойлогдоно. Одоо бид гаргаж авсан теллурээр чанаржсан гетероэпитаксиаль нимгэн хальсныхаа эдгээр шинж чанарыг судлая. 5-р зурагт $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs/Te}$ дээжийн холлын коэффициент R_x -ын температурын хамаарлыг харуулжээ. Теллураар чанаржуулсан дээжийн бага температур дэх холлын коэффициент бараг тогтмол бөгөөд температур өсөхөд бага зэрэг өөрчлөгдөж байгаа нь хувийн дамжицын гүйдэл зөөгчдийн өгсөн нэмэртэй холбоотой юм (6-р зураг). Чанаржуулалтын түвшин өсөхөд гүйдэл зөөгчдийн концентрац бүх температурын мужид тогтмол байна (7 ба 8-р шугам). Цэвэр InSb -ийг бодвол висмутийг агуулсан дээжийн холлын коэффициентийн температурын хамаарал арай нарийн бүтэцтэй $x=0.2\text{ ат. \% Bi}$ байхад температур ихсэхийн хамт холлын коэффициент өсөх ба висмутийн концентрац ихсэхэд энэ хамаарал хадгалагдсаар байна. Энэ нь зангилаа хооронд орших висмутийн атомууд донорын шинжтэй байдгийг харуулах ажээ. Харин температур ихсэхэд тэдгээр нь кристалл торын зангилаан дээр очиж суувал сурьматай изовалент учир хаалттай зонд донорын түвшин үүсгэхгүй. Үүнээс болж цэнэг зөөгчдийн концентрац багасахад холлын коэффициент өснө. 100°C -аас их температурт холлын коэффициент модулиараа багасч байгаа нь дулааны энергиэр хувийн гүйдэл зөөгчид

дамжуулалтын ба валентын зонд гарч ирсэнтэй холбоотой ажээ.



5-р зураг. Теллураар чанаржуулсан, ба чанаржуулаагүй $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ -ийн нимгэн хальсны холлын коэффициентын температурын хамаарал.

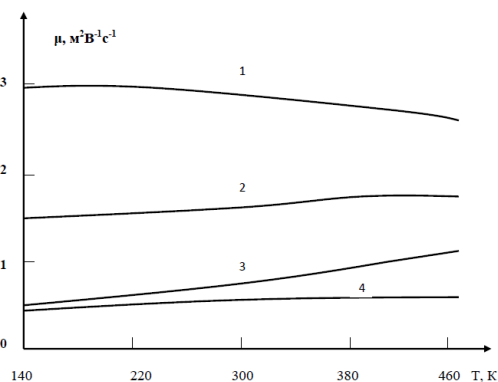
Хувийн эсэргүүцэл ρ -ын температурын хамаарал электронуудын концентрац $n=-(eR_x)^{-1}$ ба тэдгээрийн хөдлөх чадвар хоёрын аль алины температураас хамааран өөрчлөгдөхөөс шалтгаалах тул нилээд нарийн бүтэцтэй юм. Температур өсөхөд цэнэг зөөгчдийн хөдлөх чадвар электронууд фононоос сарниснаас болж багасна (6-р зураг). Висмутийн концентраци ихсэхэд эсэргүүцэл өсч байгаа нь (1 ба 2-р муруй) голцуу электронуудын хөдлөх чадвар багассанаас болохоос биш цэнэг зөөгчдийн концентрац өссөнтэй холбоогүй. Теллураар чанаржсан дээжийн эсэргүүцэл донорын теллурын атомын үүсгэх гүйдэл зөөгчдийн концентрац өссөнөөс болж багасжээ (3 ба 4-р муруй).



6-р зураг. $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ бүтэцтэй нимгэн хальс ба мөн теллурээр чанаржсан уул нимгэн хальсны хувийн эсэргүүцлийн температурын хамаарал. 1- $x=1.2\text{ ат. \% Bi}$, 2- $x=0.2\text{ ат. \% Bi}$, 3- $n_{\text{Te}}=7.68 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$, 4- $n_{\text{Te}}=1.02 \cdot 10^{18}\text{ см}^{-3}$.

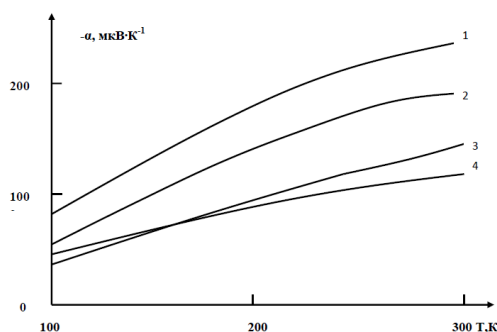
Нэгэнт хувийн хувийн эсэргүүцэл $\rho=(en\mu)^{-1}$ тул концентрац n ба хөдлөх чадвар μ шинж төрх ρ температураас хамаарах хамааралд тусгалаа олно. 7-р зурагт электроны хөдлөх чадвар μ -ын температурын хамаарлыг үзүүлжээ. Висмутийн концентрац ихсэхэд хөдлөх чадвар багасч байгаа нь висмутийн атом InSb -

ийн торыг сунгаж гаргасан торын эвдрэлээс электронууд сарних эффект нэмэгдсэнтэй холбоотой юм. $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ бүтэцтэй эпитаксиаль нимгэн хальсны доторх электронуудын хөдлөх чадвар температур ихсэхэд бага зэрэг өсч байгаа үзүүлэлт тэдгээр нь ионжсон хольцийн атомуудаас сарниснаас болжээ. Эдгээр хольцийн атомууд InSb -ийн хоосон зайд суусан висмутийн ионууд буюу эсвэл донорын түвшингүүдийг үүсгэдэг залгилаа хооронд суусан эдгээр ионууд юм. Теллураар чанаржуулсан дээжийн гүйдэл зөөгчдийн хөдлөх чадвар температураас бараг хамаарахгүй байгаа нь ионжсон хольцийн атом ба торын фононоос сарних хэмээх хөдлөх чадварыг ихэсгэдэг ба багасгадаг хоёр сарнилын механизм нэгэн зэрэг үйлчилснээс болжээ. Температур өсөхөд халаалтын улмаас үүсэх хувийн дамжицийн цэнэг зөөгчдийн концентрац тийм их биш тул теллураар чанаржсан дээжүүдийн хувийн цахилгаан эсэргүүцэл температураас хамаарч бараг өөрчлөгдөхгүй.



7-р зураг. $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ нимгэн хальс ба теллураар чанаржуулсан уул хальсны электроны хөдлөх чадварын температурын хамаарал. 1- $x=0.1\text{at.}\% \text{Bi}$, 2- $x=0.2\text{at.}\% \text{Bi}$, 3- $x=1.2\text{at.}\% \text{Bi}$, 4- $n_{\text{Te}}=1.02 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$

Бидний гарган авсан $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ -ийн гетероэпитаксиаль нимгэн хальсны дифференциал термо-цхх ба түүний температурын хамаарлыг 8-р зурагт харууллаа.

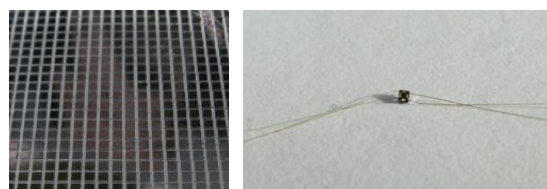


8-р зураг. $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ нимгэн хальс ба теллураар чанаржуулсан уул хальсны дифференциал термо-цхх ба түүний температурын хамаарал.

Графикаас харвал, (77-220)K температурын мужид манай дээжийн дифференциал термо-цхх температураас бараг шугаман хамааралтай бөгөөд температурын 300K хүртэл нэмэгдүүлэхэд $\alpha(T)$ бараг ханах утгадаа ойртож байна. Энэ нь температур ихсэхэд дулааны энергиэр үүсгэсэн электронууд шинээр буй болсонтой холбоотой ажээ. Висмутийн концентрац ихсэхэд шинээр донорын төвшнүүд үүссэнээс дифференциал термо-цхх модулиараа багасна.

4. ТЕЛЛУРААР ЧАНАРЖУУЛСАН ЭПИТАКСИАЛЬ НИМГЭН ХАЛЬСНЫ ХЭРЭГЛЭЭ

Дээр дурьдсан судалгааны үр дүнгээс үзвэл, теллураар чанаржсан гетероэпитаксиаль бүтэц $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ -ийн физик үзүүлэлт мэдэгдэхүйц сайжирч гүйдэл зөөгчийн концентрац 10^{18}cm^{-3} хүртэл өсч тэдгээрийн хөдлөх чадвар висмутийн ионжсон атомаас сарниснаас болж нэмэгджээ [4]. Теллураар чанаржуулаагүй байхад хөдлөх чадварыг нэмэгдүүлэх ийм үзэгдэл ажиглагдахгүй байв [5]. Мөн гүйдэл зөөгчдийн концентрац n нэмэгдсэнээс холлын коэффициент багасч, дээжийн эсэргүүцэл ρ илэрхий буурав. Ялангуяа гетероэпитаксиаль нимгэн хальсны зузаан бараг нэг эрэмбээр багассанаас гадны соронзон орон дахь холлын потенциал ялгавар хэдэн арав дахин нэмэгдэж, түүний мэдрэх чадвар сайжирч, бэсрэг холлын хувиргагчийг хэрэглэн ахуй ба эрдэм шинжилгээний судалгаанд хэрэглэдэг тогтмол соронзон орны нэгэн төрөл чанарыг бараг цэг бүхэн дээр шалгах боломжтой боллоо. 9-р зургийн а,б-д гетероэпитаксиаль нимгэн хальсыг ургуулах суурь бодис, (GaAs) мөн төгсгөлүүдэд нь гүйдэл ба потенциалыг хэмжихэд зориулсан алтан утас гагнасан холлын бэсрэг хувиргагчийн зургийг харуулав.



(а) (б)

9-р зураг. Эпитаксиаль нимгэн хальсыг ургуулах суурь бодис (а), холлын бэсрэг хувиргагч (б).

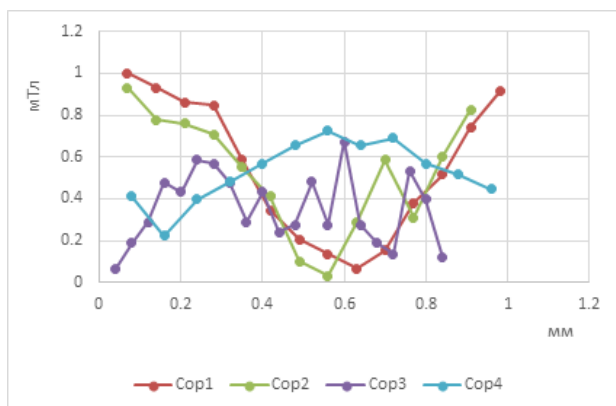
Холлын бэсрэг хувиргагч бүхий магнетометрийг хэрэглэн ахуйд хэрэглэдэг тогтмол соронзонгуудын нэгэн төрөл чанарыг

шалгасан үр дүнг графикаар дүрслэн үзүүлэв. Графикаас үзвэл ахуйд хэрэглэдэг тогтмол соронзонгуудын соронзон оронг нэгэн төрөл байлгах онцын шаардлагагүй ажээ.

ДҮГНЭЛТ

1. Теллураар чанаржсан гетероэпитаксиаль нимгэн хальс $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs/Te}$ -ийн гүйдэл зөөгчдийн концентрац нэмэгдэж, эсэргүүцэл багассанаас холлын потенциал ялгавар ихэссэн.
2. Эпитаксиаль бүтцийн доторх висмут зангилаа InSb -ийн зангилаа хооронд байхдаа донорын шинжтэй зангилаа дээр суувал сурьматай изовалент тул донорын түвшин үүсэхгүй.
3. Теллураар чанаржсан $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ -ээр үйлдсэн гетероэпитаксиаль нимгэн хальсаар үйлдсэн холлын хувиргагчийн мэдрэх чадвар теллураар чанаржаагүй нимгэн хальсыг бодвол бараг нэг эрэмбээр илүү байна.
4. Теллураар чанаржсан гетероэпитаксиаль нимгэн хальсаар үйлдсэн магнетометрээр соронзон орны нэгэн төрөл чанарыг бараг цэг бүхэн дээр тодорхойлж болно.

ҮР ДҮН



10-р зураг. Янз бүрийн тогтмол соронзоны нэгэн төрөл чанарын үзүүлэлт.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Прокошин В.И., Шепелевич В.Г, Ярмолович В.А., Устройство автоматика и робототехника на эффекте Холла. Минск, 1991.
- [2] T. Fujii, H. Suzuki, S. Hiyamiru. S_n -doped GaAs films grown by molecular beam epitaxy. Kujitsu Sci and Techn.J., 1979. Vol.15, pp.121-130.
- [3] Прокошин В.И., Драпезо А.П., Шилагарди Г., Х. Цооху, Ярмолович В.А. Синтез и исследование свойств полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, перспективных для изготовления миниатюрных элементов Холла

повышенной стабильности // Наноструктуры в конденсированных средах. Сборник научных статей, Минск, Изд. Центр БГУ, 2011, С. 141-146.

- [4] Прокошин В.И., Ярмолович В.А. Драпезо А.П., Шилагарди Г. Синтез и исследование свойств полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных теллуридом, перспективных для изготовления высокостабильных миниатюрных элементов Холла // Сборник докладов Международной научн. конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела», 18-21 октября 2011 г., Минск, в трех том. А.Н. Вркисин, Том 3, С.208-210.
- [5] Прокошин В.И., Шепелевич В.Г, Ярмолович В.А., Игнатенко Е.А. Распределение висмута в пленках InSb-InBi // Доклады АН БССР 1989 . Т. 32, №12. С. 1090–1092.

Нүүрсний Үнсний Кристалл Бүтцийн Судалгаа

Г.Батдэмбэрэл*

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

Рентген флуоресценцийн аргаар дулаан цахилгаан станцын шатаасан нүүрсний дэгдэмтгий үнсэнд цахиур, хөнгөн цагаан, кальци, төмөр, калий, магни, натрий, титан, манган, фосфорын ислүүд болон дагалдах зарим элементүүдийн тоо хэмжээг тус тус тодорхойлсон. Үнсэн дэх хүнд металлуудын нийт концентрац $Pb > Zn > Cu > Cr > Ni$ эрэмбэтэйгээр дараалж байсан. Рентген туяаны дифракцийн аргаар үнсний кристалл фазыг бүрдүүлэгч үндсэн эрдсүүдийг дараахь байдлаар тодорхойлов: кварц, альбит, анортит, гематит.

PACS numbers: 61.05.-a, 61.05.C

Түлхүүр үг: нүүрсний үнс, төмөрт бөөм, кристалл бүтэц, фазын анализ, электрон микроскоп.

ОРШИЛ

Анх 1930 онд дэгдэмтгий үнсийг хар зам тавихад эрдэс дүүргэгч материалаар ашигласан байна. 1937 онд “дэгдэмтгий” үнс гэдэг нэр Америкийн Бетоны Институтын эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд нийтлэгдэж эхэлжээ. Өнөөдөр АНУ-д цахилгаан үйлдвэрлэхийн тулд жил тутамд миллиард тонн нүүрс шатааж, үр дүнд нь 100 гаруй сая тонн шатсан нүүрсийг бий болгодог. Шатсан нүүрсний дөрвөний нэгийг ашиглаж байгаа бөгөөд үлдсэн нь газар доор булаастай байдаг. Шатсан нүүрсийг ашигласанаар дараахь үр дүнг өгдөг. Үүнд: 1. газрын эвдрэлийг бууруулна, 2. байгалийн нөөцийг хадгална, 3. хүрээлэн буй орчинд хор хөнөөл учруулахгүй, цэвэрлэнэ, 4. нүүрстөрөгчийн давхар исэлдэлтийг бууруулна, 5. хэрэглэгчдэд хэмнэлттэй, 6. цахилгаан үйлдвэрлэлийн үнийг бууруулна гэх мэт. Эдгээр үр дүн нь үндсэндээ шатсан нүүрсний үнс, шааргыг ашиглах дэлхийн нийтийн хандлага юм [1]. Мөн шатаасан нүүрсний үнсэн доторхи химийн элемент, эрдсийн найрлага, янз бүрийн хэмжээтэй бөөмүүдийн үүсэх нөхцөл болон тэдгээрийн зарим физик ба химийн шинж чанар (хэлбэр, хэмжээ, найрлага)-уудыг электрон микроскоп (SEM)-ын аргаар судалсан байсан [2, 3]. Улаанбаатар хотын III дулааны цахилгаан станцын үнсэн сан ойрын жилд дүүрэх тул цаашид хуучин үнсэн сангийн үнсийг зам, барилгын материал, хөдөө ахуйн чиглэлээр түүхий эд болгон ашиглах боломжийг судлах, мөн тус станц нь ажиллах хугацаандаа шатаалтын горимоо өөрчилсөн зэрэг шалтгааны улмаас станцаас гарах үнсийг нарийн судлах шаардлагатай. Мөн тус цахилгаан станц нь Багануурын хүрэн нүүрсийг шатаадаг. Багануурын нүүрсний ерөнхий үзүүлэлт: чийглэг 28-33%, үнслэг 15-20%, илчлэг 3300-

4200 ккал/кг, хүхрийн агууламж 0.7-0.8%. Багануурын нүүрс нь өөрийн физик, хими шинж чанараараа зөвхөн эрчим хүчний зориулалтаар ашиглагдах төдийгүй дахин боловсруулалт хийгдэн шатдаг хий, түлш, шингэн ба шахмал түлш, бусад химийн үйлдвэрлэлийн түүхий эд болох бүрэн боломжтой нь судалгаагаар батлагдсан. Мөн тус нүүрсний үнс нь C ангилалын буюу лигнит нүүрсний үнс болох нь тогтоогдсон байна. Дэгдэмтгий үнсний шинж чанар нь нүүрсний орд, станцын ажиллах горим зэрэг бусад параметруудээс ихээхэн хамаардаг.

Энэхүү ажлын зорилго нь Улаанбаатар хотын III цахилгаан станцын үнсэн сангийн үнсний найрлага ба кристалл бүтцийг рентген флуоресценц, электрон микроскоп, рентген дифракцийн аргуудаар судлахад оршино.

ТУРШИЛТ БА ҮР ДҮН

А. Рентген флуоресценцын шинжилгээ (XRF)

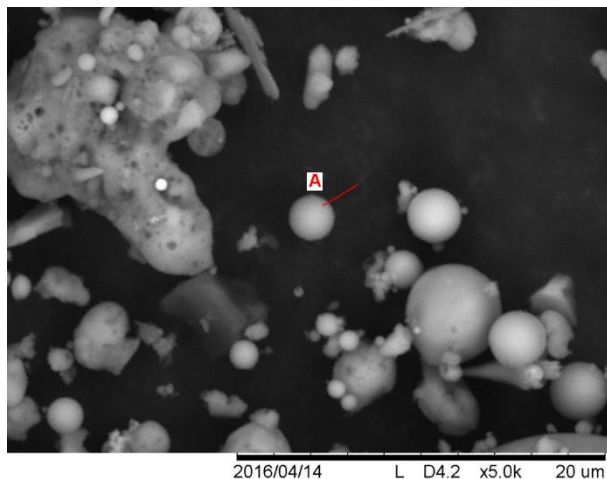
Тус дээжийг рентген флуоресценцийн спектроскоп (Rigaku, ZXS Primus II) багаж дээр хэмжсэн. XRF анализын дүнд цахиурын исэл (62.53%), хөнгөн цагааны исэл (15.36%), кальцийн исэл (8.84), төмрийн исэл (5.84%), калийн исэл (2.26%), магнизын исэл (1.33%), натрийн исэл (1.04%), титанийн исэл (0.61%), манганийн исэл (0.11%), фосфорын исэл (0.08%) зэрэг химийн нэгдлүүдийг их хэмжээтэйгээр агүүлдэг байна. Мөн эдгээр нэгдлүүдийн хажуугаар дагалдах Sr, Ba, Zr, Pb, Rb, Zn, Cu, Cr, Y, Ni, Co, Th, Ga, Nb зэрэг 15 элементүүд бага хэмжээтэй (ppm) байдаг нь ажиглагдсан. Эдгээрээс Pb, Zn, Cu, Cr, Co, Ni зэргийг чухалчлан үздэг. Мөн цахиур, хөнгөн цагаан, төмрийн ислийн агуулга жингийн процентийн 70%-иас их байгаа учраас тус үнсний дээж нь C ангилалд багтах бөгөөд ийм ангилалын үнс нь

* Electronic address: gdembee@must.edu.mn

лигнит болон битум ба хагас битумын нүүрсийг шатаах үед үүсдэг байна [4].

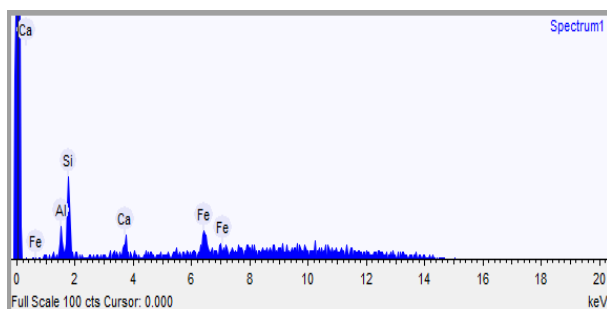
В. Электрон микроскопийн судалгаа (SEM)

Судалгааны дээжийг электрон микроскоп (Energy dispersive x-ray spectroscopy(EDX)) багаж дээр хэмжсэн. Хэмжилтийн үр дүнгүүдийг 1, 2, 3-р зургууд дээр үзүүлэв.



1-р зураг. Электрон микроскоп (SEM)-оор авсан үнсний микро-зураг (20мкм хүртэл өсгөсөн дүрс)

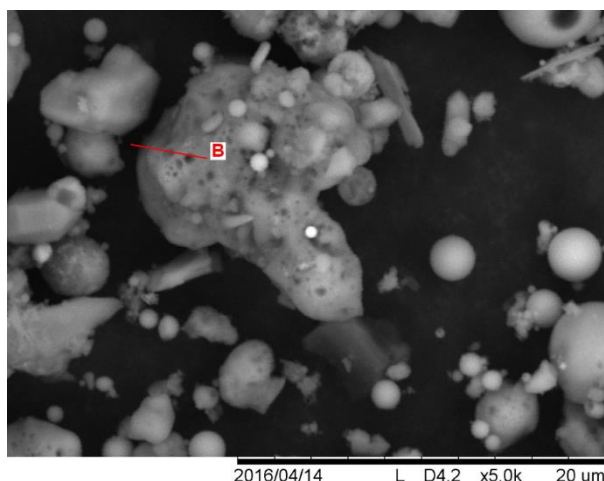
1-р зураг дээр сүвэрхэг хэлбэртэй том бөөмөөс гадна бие даасан том ба жижиг хэмжээтэй микробөмбөрцгүүд ажиглагдсан. 1-р зургийн А үсгээр тэмдэглэсэн микробөмбөрцгийн улаан шугамаар тэмдэглэсэн хэсэгт шинжилгээ хийхэд дараахь химийн элементүүд илэрсэн. Үр дүнг 2-р зураг дээр үзүүлэв.



2-р зураг. Бие даасан микро бөмбөрцөг (А) дээр гүйцэтгэсэн элементийн шинжилгээний үр дүн.

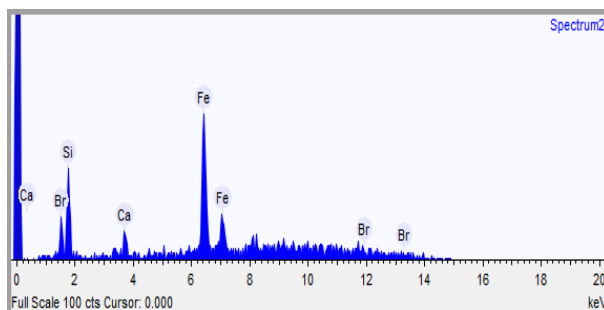
2-р зургаас харахад тус бие даасан микро бөмбөрцөг (А үсгээр тэмдэглэсэн) Ca (11.5 жин.%), Si (34.8 жин.%), Al (10.3 жин.%), Fe (43.4 жин. %) -ийн элементүүдийг агуулаж байна. Иймд тус бөөмийг төмөрт бөмбөрцөг (ferrospheres) гэж нэрлэж болно.

3-р зураг дээр сүвэрхэг хэлбэртэй том бөөмөөс гадна бие даасан том ба жижиг хэмжээтэй микробөмбөрцгүүд, бас дотроо хоосон хөндий микробөмбөрцөг тус тус ажиглагдсан.



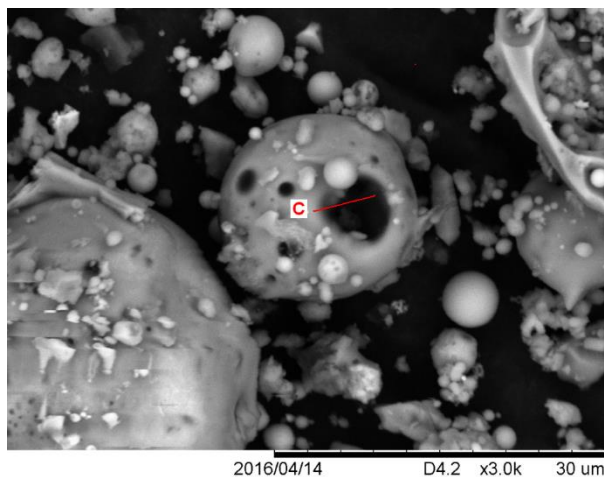
3-р зураг. Электрон микроскоп (SEM)-оор авсан үнсний микро-зураг (20мкм хүртэл өсгөсөн дүрс).

Тус зургийн В үсгээр тэмдэглэсэн сүвэрхэг хэлбэртэй том бөөмийн улаан шугамаар тэмдэглэсэн хэсэгт шинжилгээ хийхэд дараахь химийн элементүүд ажиглагдсан. Үр дүнг 4-р зураг дээр үзүүлэв.



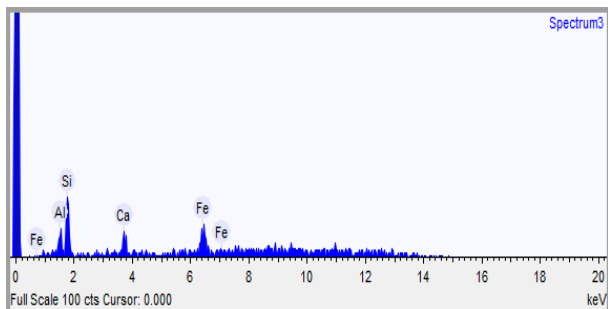
4-р зураг. Сүвэрхэг том бөөм(В) дээр гүйцэтгэсэн элементийн шинжилгээний үр дүн.

4-р зургаас үзэхэд сүвэрхэг хэлбэртэй том бөөм (В үсгээр тэмдэглэсэн) нь Fe (75.3 жин.%), Si (11.1 жин.%), Ca (4.1 жин.%), Br (9.4 жин.%) зэрэг элементүүдийг агуулдаг болох нь харагдана. Тус бөөм нь мөн дээрхтэй адил төмөрт бөөмийн ангилалд багтана.



5-р зураг. Электрон микроскопоор (SEM)-оор авсан үнсний микро-зураг (30 мкм хүртэл өсгөсөн дүрс).

5-р зураг дээр хөндий нүхтэй том бөөмөөс гадна бие даасан том ба жижиг хэмжээтэй микробөмбөрцгүүд тус тус ажиглагдсан. Уг зургийн С үсгээр тэмдэглэсэн хөндий нүхтэй бөөмийн улаан шугамаар тэмдэглэсэн хэсэгт шинжилгээ хийхэд дараахь химийн элементүүд илэрсэн. Үр дүнг 6-р зураг дээр үзүүлэв.

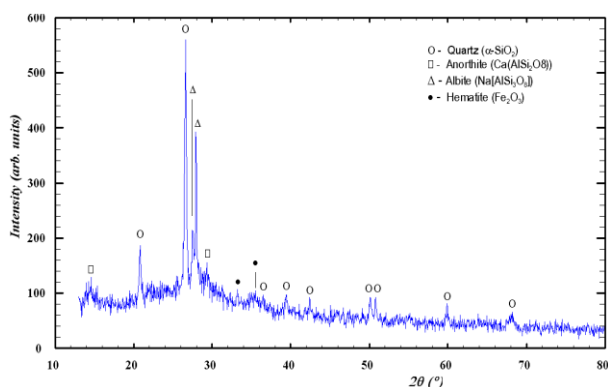


6-р зураг. Хөндий нүхтэй бөөм (C) дээр гүйцэтгэсэн элементийн шинжилгээний үр дүн.

6-р зургаас харахад хөндий нүхтэй бөөм (C үсгээр тэмдэглэсэн) нь Fe (47.1 жин%), Si (30.3 жин%), Ca (13.6 жин%), Al (9.0 жин%) зэрэг элементүүдийг агуулдаг болох нь харагдана. Тус бөөм нь мөн дээрхтэй адил төмөрт бөөм (ferrospheres)-ийн ангилалд багтаж байв. Бидний ажиглаж чадсан микробөмбөрцгүүдийн найрлага дахь ерөнхий компонент нь төмөр болно (Fe=43-75 жин%). Бусад дагалдах компонентууд нь Ca (4-13 жин%), Si (11-35 жин%), Al (9-10 жин%). Тус дээжид ажиглагдсан төрөл бүрийн бөөмүүдийг [2, 3] ажлуудад сайн судалсан байсан.

С. Үнсний рентген фазын шинжилгээ (XRD):

XRD-ийн хэмжилтийг нунтгийн рентген дифрактометр <Enraf Nonius Delft Diffractis 583> дээр $\text{CuK}\alpha=1.54\text{\AA}$ анодын тусламжтайгаар сарнилын өнцгийн $2\theta_0=13\div 80^\circ$ мужид 0.05° -ийн өнцөг шилжилттэйгээр, шилжилт тус бүр дээр 2 секундын зогсолттойгоор тасалгааны температурт гүйцэтгэв.



7-р зураг. Шатаасан нүүрсний үнсний рентген дифрактограмм.

Хэмжилтээр гарган авсан рентген дифракцийн спектрт фазын анализ хийхдээ <Match! Crystal Impact> программ [5]-ыг ашиглаж боловсруулалтын үр дүнг 7-р зураг дээр үзүүлэв. Туршилтаар хэмжсэн рентген дифрактограммаас $2d\sin\theta=n\lambda$ томьёо ашиглан атомын хавтгай хоорондын зай (d, Å) олж улмаар олон улсын багц өгөгдөл (ICSD, PDF-2) дахь d-ийн утгуудтай харьцуулж эрсдийн төрөл, тоо хэмжээг тодорхойлов. Үнсний дээжийн кристалл фаз нь гексагон тэгш хэмтэй 54.74%-ийн α-кварц SiO_2 , моноклин тэгш хэмтэй 27.55%-ийн альбит ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$), моноклин тэгш хэмтэй 9.21%-ийн анортит $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$, ромбоэдр тэгш хэмтэй 8.49%-ийн гематит (Fe_2O_3) эрдсүүдийг тус тус агуулна. Энд төмрийн исэл нь гематитын байдлаар илэрч байна. K, Mg, Ti, Mn, P, Sr, Ba, Zr, Pb, Rb, Zn, Cu, Y, Ni, Co, Th, Ga, Nb зэрэг элементүүд XRF шинжилгээгээр үнсэнд бага хэмжээгээр илэрсэн боловч рентген фазын анализын үр дүнгээс үзэхэд тэдгээр нь уг аргын ялгах чадварын дотор илрэх хэмжээний кристалл фаз үүсэхгүй байгаа нь харагдана. Рентген дифракцийн судалгааны үр дүн химийн шинжилгээний дүнтэй тохирч байна.

ДҮГНЭЛТ

1. Дулааны цахилгаан станцын шатаасан нүүрсний үнс нь цахиур, хөнгөн цагаан, кальци, төмөр, кали, магни, натрий, титан, манган, фосфор зэрэг $\delta\epsilon\epsilon\epsilon\epsilon$ элементүүдийг их хэмжээтэй (жин %), мөн Sr, Ba, Zr, Pb, Rb, Zn, Cu, Cr, Y, Ni, Co, Th, Ga, Nb зэрэг элементүүдийг харьцангуй бага хэмжээтэй (ppm) агуулж байв.
2. Электрон микроскопын судалгаагаар үнсний дээжид сүвэрхэг, хөндий хэлбэртэй бөөмүүдээс гадна бие даасан том ба жижиг хэмжээтэй микробөмбөрцгүүдийг амжилттай ажиглаж чадсан нь бусад судлаачдын үр дүнтэй тохирч байсан. Микробөмбөрцгүүдийн найрлага дахь ерөнхий компонент нь төмөр болно (Fe, 43-75 жин%).
3. Рентген туяаны дифракцийн аргаар үнсний кристалл фазыг бүрдүүлэгч үндсэн эрдсүүдийг дараахь байдлаар тодорхойлов: α-кварц (SiO_2), альбит ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$), анортит $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$, гематит (Fe_2O_3). Альбит ба анортитын фазууд нь хээрийн жонш (plagioclase feldspars)-ны ангилалд багтдаг эрдсүүд юм.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Susane C.Openshaw, W.Lamar Miller, W.Emmett Bolch, David Bloomquist., Utilization of Coal Fly Ash, State University System of Florida, Florida Center for solid and hazardous management. 2207 nw 13 Street, Suite D, Gainesville, FL 3209, Report#92-3. September 1992.
- [2] E.V.Sokol, N.V.Maksimova, N.I.Volkova, E.N.Nigmatulina, A.E.Frenkel., Hollow silicate microspheres from fly ashes of the Chelyabinsk brown coals (South Urals, Russia). Fuel Processing Technology 67 (2000) 35-52.
- [3] E.V.Sokol, V.M.Kalugin, E.N.Nigmatulina, N.I.Volkova, A.E.Frenkel, N.V.Maksimova., Ferrosphers from fly ashes of Chelyabinsk coals: chemical composition, morphology and formation conditions.Fuel 81 (2002) 867-876.
- [4] John Schert, Timothy Townsend, Chang-Yu Wu., Identification of Potential Concerns Associated with FDOT Use of Ammoniated Fly Ash. Hinkley Center for Solid and Hazardous Waste Management. Gainesville, FL. 2012.
- [5] Dr. Holger Putz and Dr. K.Brandenburg GbR. Phase Indentification form Powder Diffraction (Match!). Version 1.11. Copyright © 2003-2013 by Crystal Impact. Kreuzherrenstr. 102. D-53227 Bonn. Germany.

Crystal Structural Study of Coal Fly Ash**G.Batdemberel***Department of Physics, School of Applied Sciences, Mongolian University of Science and Technology***Abstract**

By the SEM and Energy Dispersive X-ray Analysis method have been determined the contents of Si, Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Ti, Mn and P in coal fly ash sample of the III Ulaanbaatar thermal power station. Also, by the X-ray diffraction method the main minerals in this coal fly ash established as the next: α -quartz (SiO_2), albite ($\text{K[AlSi}_3\text{]O}_8$), anorthite ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$) and hematite (Fe_2O_3).

Задралын Дулаанаа Идэвхгүйгээр Зайлуулах Чадвартай, Төвдөө Ойлгогчтой ба Ойлгогчгүй Өндөр Температурын Хийн Хөргөлттэй Реакторын Дизайны Параметруудийн Харьцуулсан Судалгаа

С.Одмаа^{1,2}, * Г.Энхбаатар², Н.Норов^{1,2}

¹Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Монгол улсын их сургууль

²Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улсын их сургууль

Энэ ажилд задралын дулаанаа идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай, төвдөө ойлгогчтой, өндөр температурын хийн реакторын дизайны параметруудийн хоорондын хамааралт нөхцлийг гарган авч, үүнийг төвдөө ойлгогчгүй реакторынхтай харьцуулав.

I. ОРШИЛ

Өндөр температурын, хийн хөргөлттэй реактор (ӨТХР) нь өндөр температурыг даах чадвар өндөртэй керамик давхаргууд бүхий TRISO түлш, дулаан багтаамж өндөртэй бал чулуун голомт, гелий инертийн хийн хөргүүртэй учраас ердийн бус ажиллагааны үед голомт болон хөргүүрийн температур хурдан ихэсэхгүй тул осолд хүргэх магадлал багатай байдгаараа IV-р үеийн реакторын нэг төрөл болон судлагдаж байна [1]. ӨТХР нь TRISO түлш хэрэглэдэг учраас цөмийн зэвсгийг дэлгэрүүлэхгүй шинж чанар өндөртөйд тооцогддог, уг түлшийг үр ашигтай шатааж эрчим хүч үйлдвэрлэдэг тул цацраг идэвхт хаягдлын хэмжээ багасч, эдийн засгийн хувьд ач холбогдолтой юм [2-4].

ӨТХР-ийн TRISO түлш аюулгүй байх дизайны температурын дээд хязгаар нь 1873 K [3] байх ба түлшний температур энэ хязгаарт хүрэхгүй тохиолдолд цацраг идэвхт хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүд түлшнээс, голомтоос, реактораас гадагш алдагдахгүй байх нөхцөл бүрдэнэ. Бидний өмнөх судалгааны ажлуудад реактор унтарсны дараа голомтод хуримтлагдсан хуваагдлын бүтээгдэхүүнүүдийн цөмийн задралын улмаас үүсэх задралын дулааныг идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай хатуу цилиндр голомттой, призман блокон төрлийн ӨТХР-ийн дизайны параметруудийн хамаарлыг гарган авсан [5-8]. Ер нь, цөмийн реакторын голомтод үүссэн дулааныг гадны ямар нэг хүчний тусламжтайгаар ажиллах идэвхтэй системүүд (жнь, хөргүүрийн системийн шахуургууд), байгалийн хуулинд тулгуурласан идэвхгүй системүүд (жнь, агаарын конвекцоор хөргөх хоолойнууд) ашиглах болон дулаан дамжих байгалийн үндсэн механизмуудад (дулаан дамжуулал, дулаан

цацаргалт, байгалийн конвекц) тулгуурлан голомтоос зайлуулдаг.

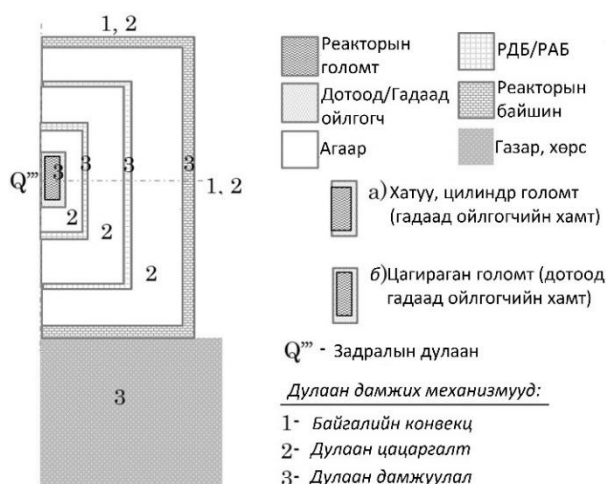
Призман блок төрлийн ӨТХР-ийн голомтоорх чадал түгэлт радиал чиглэлд Бессел функцээр, аксиал чиглэлд косинус функцээр түгсэн байдаг. Гэтэл голомтоорх чадлын түгэлтийг шатдаг хорлолт материал хэрэглэх юмуу удирдлагын саваа оруулах замаар жигдлэх шаардлагатай байдаг.

Энэ ажилд дулаан зайлуулах эхний хоёр төрлийн системүүд ямар нэгэн осол юмуу байгалийн гамшгийн улмаас ажиллагаагүй болсон тохиолдолд зөвхөн байгалийн хуулиар дулаанаа зайлуулах чадвар бүхий төвдөө ойлгогчтой, цагираган хийцтэй, призмэн блок төрлийн ӨТХР-ийн дизайны параметруудийн хамаарлыг реакторын голомтоорх чадлын түгэлтийн жигд ба жигд бус байх хоёр хувилбарт гарган авч үнэлэх үндсэн зорилго тавив. Мөн гарган авсан хамаарлыг төвдөө ойлгогчгүй, хатуу цилиндр голомттой, призмэн блок төрлийн ӨТХР-ийн дизайны параметруудийн хамааралтай харьцуулж, төвийн ойлгогчийн нөлөөг авч хэлэлцэв.

II. ДИЗАЙНЫ ТУХАЙД

ӨТХР-ийн идэвхтэй болон идэвхгүй хөргүүрийн систем ажиллахгүй ч тэрээр задралын дулаанаа зайлуулах чадвартай гэж үздэг. Японы Атомын Энергийн Агентлагт ажиллаж буй 30 кВт чадалтай, зургаан өнцөгт призман блок төрлийн өндөр температурын тест реактор (HTTR) нь аюулгүй ажиллагааны найдвар өндөртэй, дэвшилтэт технологи ашигладаг [9-12]. Иймд бидний өмнөх ажлуудын реакторын голомтын дизайнд ч, энэ ажлын дизайнд ч Японы HTTR реакторын голомтыг бүрдүүлэгч зургаан өнцөгт призмэн блокуудыг ашиглав.

* Electronic address: sodmaa1@yahoo.com



Зураг 1. Реакторын үндсэн хэсгүүд болон дулаан дамжих механизмууд. а) хатуу цилиндр голомт, б) цагираган голомт.

Реакторын дизайны тооцооллын загварын ерөнхий зураглалыг зураг 1-д үзүүлэв. Зураг 1а нь төвдөө ойлгогчгүй, хатуу цилиндр голомт; зураг 1б нь төвдөө ойлгогчтой, цагираган голомтын бүтцийг харуулжээ. Уг хоёр төрлийн реакторын хийцийн бусад хэсгүүд нь адилхан болно. Голомт нь гадуураа гадаад ойлгогчоор

хүрээлэгдсэн байх ба энэ хоёр хийц реакторын даралтат байгууламж (РДБ)-д байрлана. РДБ нь реакторын агуулах байгууламж (РАБ) улмаар реакторын байшин (РБ)-д байрлана.

Тооцооллоор консерватив үр дүн гарган авахын тулд эдгээр байгууламж, барилга дэх том жижиг хоолой, бусад төрлийн хийцийг үл тооцов. Хэрэв эдгээрийг тооцсон бол дулаан дамжуулах чадвар нь агаарынхаас их тул дулааныг харьцангуйгаар хурдан хугацаанд зайлуулах болно.

Хүснэгт 1-д 30 МВт чадалтай Японы НТТР болон 200 МВт чадалтай, 0.82 Вт/см^3 дундаж чадлын нягттай призмэн блок төрлийн хатуу цилиндр ба цагираган голомттой ӨТХР-ийн хэмжээсүүдийг харьцуулан харуулав. Сүүлийн хоёр реакторын голомтын радиус ба өндрийн харьцааг 0.4 байхаар тооцов. Энэ 0.4 гэсэн харьцаа нь реакторын аюулгүй ажиллагааны шинж чанарт хамгийн оновчтой болохыг өмнөх ажилд үнэлж гаргасан [5].

Реакторын мужуудын материалын физик шинж чанарыг хүснэгт 2-д харуулав.

Хүснэгт 1. Реакторын хэмжээсийн харьцуулалт

Реакторын муж	НТТР, 30 МВт [9-12]	Хатуу цилиндр ӨТХР, 200 МВт, 0.82 Вт/см^3 [5-7]	Цагираган ӨТХР, 200 МВт, 0.82 Вт/см^3
Дотоод ойлгогч (радиус × өндөр, м)	-	-	0.36×7.89
Голомт (радиус × өндөр, м)	1.15×2.9	3.14×7.84	3.16×7.89
Ойлгогч_гадаад (радиус × өндөр, м)	2.125×5.25	3.5×9.0	3.52×9.05
РДБ_дотоод (радиус × өндөр, м)	2.75×13.2	5.5×19.0	5.52×19.05
РДБ-ийн хананы зузаан	12.2 -16 см	26 см	26 см
РАБ_дотоод (радиус × өндөр, м)	9.25×30.3	14.76×39.52	14.78×39.57
РАБ-ийн хананы зузаан	3 см	6 см	6 см
РБ_дотоод	$48 \times 50 \times 55$ (өргөн×урт×өндөр,м)	39.82×89.64 (радиус×өндөр, м)	39.84×89.7 (радиус×өндөр,м)
РБ-ийн хананы зузаан	Өгөгдөл байхгүй	25 см	25 см

Хүснэгт 2. Материалуудын физик финж чанарууд

Реакторын муж	Голомт	Ойлгогч	РДБ/РАБ	РБ	Зай	Хүрээлэн буй орчин
Материал	Шарагдсан IG-110 бал чулуу		Хүчлэг ихтэй хайлш	Бетон	Агаар [13]	Хөрс
Дулаан дамжуулах чадвар, Вт м ⁻¹ К ⁻¹	10 [14]	$k_{IG}(T)$ [16]	44.5 [13]	1.8 [13]	k(T)	1 [15]
Хувийн дулаан багтаамж, Дж кг ⁻¹ К ⁻¹	$C_{pIG}(T)$ [16]		475 [13]	750 [13]	C _p (T)	1840 [15]
Нягт, кг м ⁻³	1800 [16]		7850 [13]	2300 [13]	ρ(T)	1500 [15]
Цацаргах чадвар	0.8 [17]		0.9 [17]	0.85 [17]	-	0.38 [17]

III. ЦАГИРАГАН ГОЛОМТТОЙ РЕАКТОРЫН ГОЛОМТ ДЭХ ЗАДРАЛЫН ДУЛААНЫГ ИДЭВХГҮЙГЭЭР ЗАЙЛУУЛАХ АНАЛИЗИЙН АРГА ЗҮЙ

Цагираган голомттой реакторын голомт дэх задралын дулааныг идэвхгүйгээр зайлуулах анализийн арга зүй нь бидний өмнөх ажлуудад COMSOL программыг [13] ашиглан хатуу цилиндр голомттой ӨТХР-т хэрэглэсэн аргатай үндсэндээ ижил. Энд реактор амжилттай унтарсны дараа түүний голомтод үүсэх задралын дулаан идэвхтэй болон идэвхгүй системээр бус зөвхөн дулаан дамжих байгалийн үндсэн гурван механизм болох дулаан дамжуулал, дулаан цацаргалт, байгалийн конвекцид үндэслэн голомтоос ойлгогч болон хийцийн бусад материал руу, эцэстээ агаар луу дамжих тооцооллыг гүйцэтгэсэн. ӨТХР-ийн голомт дэх дулаан дамжих механизмд гелийн хийн хөргүүрийн байгалийн конвекцтэй харьцуулбал голомтын дамжуулал хувь нэмэр ихтэй гэдгийг зарим судлаачдын ажилд [14] харуулсан байна.

Түүнчлэн ийм төрлийн реакторт даралт унасан, хөргүүр тасалдсан томоохон ослын үед (жнь, DLOCA, PLOCA) хийцийн ханануудын хооронд дулааны цацаргалтын замаар дулаан дамжих нь конвекцоор дамжихаас илүүтэй гэдгийг мөн харуулсан байна [18]. Иймд хийцийн ханануудын хоорондох агаар орчинд дулаан дамжих гол механизмыг дулаан цацаргалт гэж үзсэн. Зураг 1-д анализд авч үзсэн реакторын үндсэн хэсгүүдээрх дулаан дамжих механизмуудыг бас харуулав.

Реактор амжилттай унтарсны дараа голомтод үүсэх задралын дулаан голомт, ойлгогч, болон бусад үндсэн хэсгүүдээр дамжих ба энэ нь дулаан дамжууллын дараах үндсэн тэгшитгэлээр тодорхойлогдоно:

$$C_p^V \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k \nabla T) = Q''' \quad (1)$$

Энд, C_p^V нь реакторын мужийн эзэлхүүнээрх дулаан багтаамж [Дж/К], T нь реакторын мужийн температур [К], t нь реактор унтарснаас хойших хугацаа [сек], k нь реакторын мужийн дулаан дамжуулах чадвар [Вт/(м К)], Q''' нь голомтын эзэлхүүнээрх дулааны нягт [МВт/м³]. Задралын дулаан дамжих тооцооллыг дээрх дулаан дамжууллын үндсэн тэгшитгэлийг цацаргалтын хилийн нөхцлүүд (тэг. (2) ба (3)) болон байгалийн конвекцийн хилийн нөхцөл (тэг. (4))-ийн тусламжтайгаар физикийн олон тооцооллыг хамааралтайгаар гүйцэтгэх чадвартай COMSOL программын хатуу болон

шингэн орчинд дулаан дамжих моделиор гүйцэтгэв [13].

Реактор дотор хийцийн нэг хананаас нөгөө хана руу (тэг.(2)) болон реакторын байшингийн хананаас гадаад агаар орчин руу (тэг.(3)) дулаан цацаргалтаар дамжихыг цацаргалтын хилийн нөхцлөөр тооцсон:

$$k \nabla T = \varepsilon (G_m + F_{amb} \sigma T_{amb}^4 - \sigma T_s^4) \quad (2)$$

$$(k \nabla T)|_{os} = \varepsilon_{os} \sigma (T_{ext}^4 - T_{os}^4) \quad (3)$$

Энд, ε нь хананы гадаргуун цацаргах чадвар, G_m нь нэг хана руу бусад хананаас цацарч очихыг тооцох фактор, F_{amb} нь хана хоорондын геометрийн фактор, σ нь Стефан-Больцманы тогтмол [$5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$], T_{amb} нь орчны температур [К], T_s нь хананы гадаргуун температур [К], ε_{os} нь реакторын гадаад хана (РБ)-ны гадаргуун цацаргах чадвар, T_{ext} нь гадаад орчны агаарын температур [К], T_{os} нь реакторын гадаад хананы гадаргуун температур [К].

Анализийн тооцоололд цагираган голомтоорх чадлын түгэлтийг хоёр хувилбараар авч үзсэн. Эхнийх нь, голомтоорх чадлын түгэлт радиал чиглэлд Бессел функцээр, аксиал чиглэлд косинус функцээр илэрхийлэгдэнэ гэж таамагласан:

$$P(r, z) = P^{\max} \cdot J_0 \left(2.4046 \frac{r - r_{inref}}{R_{core} - r_{inref}} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi z}{H_{core}} \right) \quad (5)$$

Энд, $P^{\max}$ нь чадлын нягтын хамгийн их (ХИ) утга [Вт/см³], H_{core} нь голомтын өндөр [м], R_{core} нь голомтын радиус [м], r_{inref} нь дотоод ойлгогчийн радиус [м]. Энэ тэгшитгэлээс харвал голомтын төв хэсэгт ХИ чадал үүсч байна. Чадлын ийм жигд бус түгэлтийг жигдлэх уламжлалт арга нь шатдаг хорлол материал болон удирдлагын савааг голомтод оруулж өгдөг. Ингэж оновчтой байдлаар голомтын дизайныг хийсний дараа чадлын түгэлт жигд болсон гэвэл үүнийг дараах байдлаар илэрхийлнэ:

$$P = P^{ave} \cdot V_{core} = P^{ave} \cdot \pi (R_{core}^2 - r_{inref}^2) \cdot H_{core} \quad (6)$$

Энд, P^{ave} нь чадлын дундаж нягт [Вт/см³], V_{core} нь голомтын эзэлхүүн [см³].

Эдгээр чадлын нягтын түгэлтийг ашиглан голомтын эзэлхүүнээрх дулааны нягтыг олбол:

$$Q'''(r, z, t) = 5 \cdot 10^{-3} \cdot H_{tab}(t) \cdot P^{\max} \cdot J_0 \left(2.4046 \frac{r - r_{inref}}{R_{core} - r_{inref}} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi z}{H_{core}} \right) \quad (7)$$

$$Q'''(t) = 5 \cdot 10^{-3} \cdot H_{tab}(t) \cdot \frac{P^{ave}}{P(R_{core}^2 - r_{inref}^2)} \cdot H_{core} \quad (8)$$

Энд, $H_{tab}(t)$ нь реактор унтарсны дараа голомтод үүсэх задралын дулааны хүснэгтэлсэн утга [МэВ/хуваагдал], $5 \cdot 10^{-3}$ нь МэВ/хуваагдал нэгжээс Вт нэгж рүү хувиргах хувиргалтын коэффициент.

^{235}U түлштэй дулааны нейтроны цөмийн реакторыг хязгааргүй (10^{13} сек) хугацаанд ажиллуулаад унтраасан тохиолдолд голомтод үүсэх задралын дулааны чадлыг Японы Атомын Энергийн Агентлаг тооцоолон гаргасаныг задралын дулааны хүснэгтэлсэн утгад ашиглав [19].

Бидний өмнөх ажлуудад хатуу цилиндр реакторын голомтоорх чадлын түгэлтийг жигдлээгүй тохиолдолд доорх илэрхийллийг ашигласан [5-7]:

$$P(r, z) = P^{max} \cdot J_0 \left(2.4046 \frac{r}{R_{core}} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi z}{H_{core}} \right) \quad (9)$$

IV. РЕАКТОРЫГ УНТРААСНЫ ДАРАА ГОЛОМТЫН ХИ ТЕМПЕРАТУРТ ТӨВИЙН ОЙЛГОГЧИЙН НӨЛӨӨ

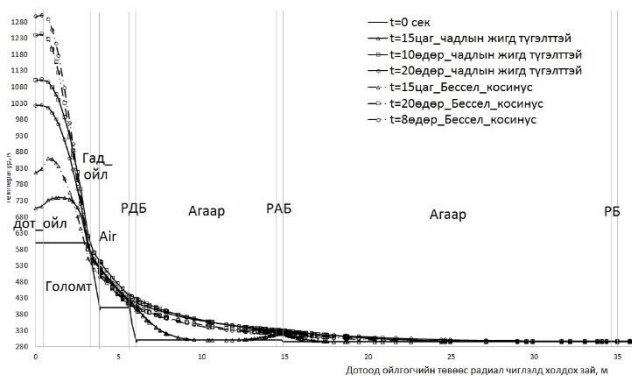
Хүснэгт 1-д харуулсан хэмжээс бүхий 200 МВт чадалтай, 0.82 Вт/см^3 чадлын дундаж нягттай цагираган реакторыг унтраасны дараа голомтын ХИ температурт төвийн ойлгогчийн нөлөөг үзэх урьдчилсан анализ хийв. Реактор унтрахаас өмнө голомт дэх чадлын түгэлтийг жигд бус ба жигд байсан хоёр хувилбарыг авч үзэн чадлын түгэлт уг температурт хэрхэн нөлөөлөхийг бас хэлэлцэв. Реактор унтрахад

түүний үндсэн хэсэг тус бүрийн температур жигд байсан гэж таамаглав. Голомтыг бүрдүүлэгч түлш, графитан матарц, гелий хийн хөргүүрийг бүгдийг нь ижил температуртай байсан гэж үзэн “реактор унтрах үеийн голомтын температур” гэдэг нэршлээр төлөөлүүлэв. Энэ таамаглалыг бидний өмнөх ажлуудад ч мөн таамагласан.

Хүснэгт 3-д энэхүү урьдчилсан анализын цагираган реакторын тооцооллын дүнг хатуу цилиндр реакторынхтой харьцуулан харуулав. Үр дүнгээс харвал, голомтоорх чадлын нягтыг жигдэлж нэгэн төрөл болгоход реактор унтарсны дараах голомтын ХИ температур нилээд багасч байна. Өөрөөр хэлбэл, голомтоорх чадлын түгэлтийг нэгэн төрөл болгосноор уг реакторын аюулгүй байдал сайжирч байна. Шалтгаан нь чадлын түгэлт жигд бус байхад (тэг. (5) ба (9)) задралын дулаан төвдөө их үүсч байгаатай холбоотой ба хатуу цилиндр реакторын хувьд чадлын түгэлтийн энэ нөлөөг өмнөх ажилд судлан тайлбарласан [8]. Энэ шинж чанар хоёр төрлийн реакторт ижил байна. Түүнчлэн унтраасны дараа 0.36 м радиустай төвийн ойлгогчтой цагираган реакторын голомтын чадлын түгэлт нэгэн төрөл бус ба нэгэн төрөл байхад түүний ХИ температурыг хатуу цилиндр голомтынхтой харьцуулахад харгалзан 500 К ба 160 К -ээр бага байна. Төвийн ойлгогчийн материал нь графит бөгөөд дулаан багтаамж өндөртэй, тэнд дулааны үүсгүүр байхгүй тул голомтод үүсэх задралын дулааны зарим нь дотоод болон гадаад ойлгогчид дамжин, хуримтлагдах нь голомтын температурыг бууруулахад гол нөлөө үзүүлж байна. Иймд төвдөө ойлгогчтой реакторын аюулгүй байдал сайжирч байна.

Хүснэгт 3. Реактор унтарсны дараа голомтын ХИ температурт төвийн ойлгогч, чадлын нягтын түгэлтийн нөлөө

Реакторын голомтын төрөл	Хатуу цилиндр [8]		Цагираган	
Чадлын нягтын түгэлт	Жигд бус	Жигд	Жигд бус	Жигд
Төвийн ойлгогчийн радиус (R_{inref}), м		0		0.36
Голомтын зузаан (t_{core}), м		3.137		2.797
$R_{core}=R_{inref}+t_{core}$, м		3.137		3.157
Голомтын өндөр, м		7.843		7.893
Голомтын эзэлхүүн, м^3			243.9	
Чадлын дундаж нягт, Вт/см^3			0.82	
Реакторын чадал, МВт			200	
Реактор унтрах үед голомт/ойлгогчийн температур, К			600	
Реактор унтрах үед бусад мужийн температур, К				
Агаар1/ РДБ/ Агаар2/ РАБ/ Агаар3/ РБ/ Хөрс			400/ 400/ 300/ 300/ 295/ 295/ 280	
Реактор унтарсны дараа голомтын ХИ температур, К	1810	1168	1301	1102
Реактор унтарсны дараа голомтын температур ХИ утганд хүрэх хугацаа, өдөр	10.4	10.4	8.1	10.1

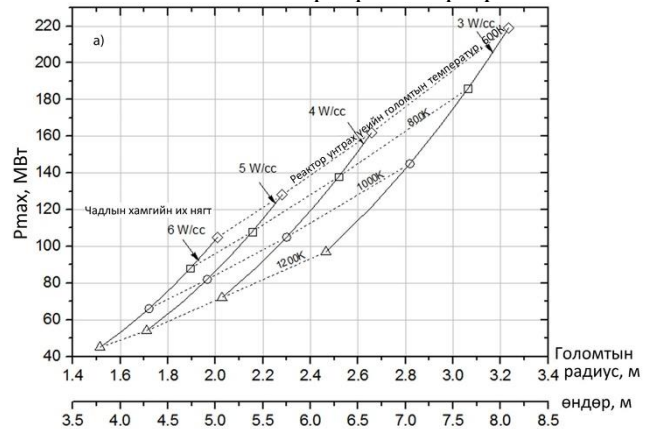


Зураг 2. Жигд ба жигд бус чадлын түгэлттэй ажиллаж байсан цагираган реакторыг унтраагаад янз бүрийн хугацааны дараа төвийн тэнхлэгийн дагуу радиал чиглэлээрх температурын түгэлтийн харьцуулалт.

Зураг 2-т жигд ба жигд бус чадлын түгэлттэй ажиллаж байсан цагираган реакторыг унтраасны дараа хугацааны өөр өөр моментод төвийн тэнхлэгийн дагуу радиал чиглэлээрх температурын түгэлтийг харьцуулан харуулав. Энд, үргэлжилсэн шугамаар чадлын жигд түгэлттэй реакторыг унтрааснаас хойш янз бүрийн хугацаан дэх температурын радиал түгэлтийг, тасархай шугамаар жигд бус түгэлт (Бессел ба косинус функц)-тэй реакторынхыг тус тус харуулав. Реактор унтарсны дараа тодорхой хугацаанд задралын дулааны үүсэх хурд нь дамжих хурдаас их байгаа нь ажиглагдаж байна. Улмаар хугацаа өнгөрөх тусам голомтын температур өссөөр ХИ утганд хүрэх хүртэл энэ байдал хэвээр байх бөгөөд энэ мөчөөс хойш задралын дулаан үүсэх хурд нь дамжих хурдаас басасч байна. Энэ байдал голомтын чадлын түгэлтийн хэлбэрээс үл хамааран төстэй байна. Цагираган реакторт дулаан багтаамж өндөртэй, дулааны үүсгүүргүй төвийн ойлгогч байгаа тул голомтод үүсэх задралын дулааны зарим хэсэг нь түүнд дамжин хуримтлагдах тул голомтын температур ихээр багасч байна. Голомтоорх чадлын нягт жигд бус үед түүний төв хэсэгт их дулаан үүсч хуримтлагдах тул голомтын ХИ температур огцом ихэсч байна. Хугацаа өнгөрөх тусам голомтын төвөөс зах руугаа дулаан дамжууллаар дамжих боловч төвийн хэсэгт харьцангуй их хэмжээгээр дулаан үүссээр байх тул голомтын ХИ температур нь чадлын жигд түгэлттэй реакторынхаас их хэвээр байсаар байна.

V. ЗАДРАЛЫН ДУЛААНАА ИДЭВХГҮЙГЭЭР ЗАЙЛУУЛАХ ЧАДВАРТАЙ ЦАГИРАГАН РЕАКТОРЫН ДИЗАЙНЫ ПАРАМЕТРУУДИЙН ХАМААРАЛ

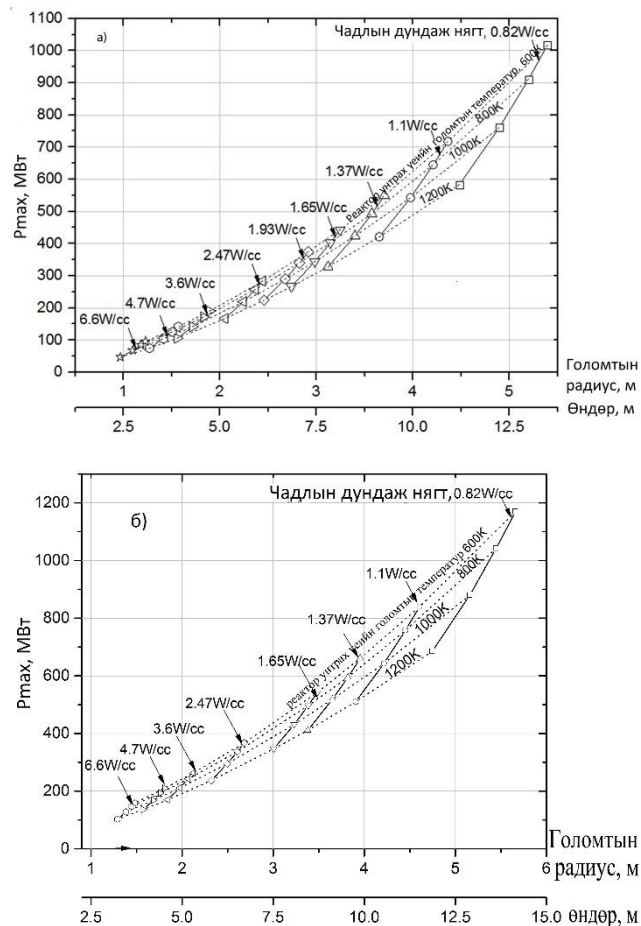
Задралын дулаанаа идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай цагираган реакторын дизайны параметруудийн хамаарлыг голомтоорх чадлын түгэлтийн хоёр хувилбарын үед гарган авахын тулд бидний өмнөх ажилд хатуу цилиндр реакторт гүйцэтгэж байсантай ижил процедураар задралын дулаан дамжих тооцооллыг COMSOL программаар гүйцэтгэнэ.



тооцоолох ба энд чадлын дундаж нягтыг 0.82 Вт/см^3 -аас 6.6 Вт/см^3 гэж авсан. Харин чадлын жигд бус түгэлтийн үед тэг. (7)-аар задралын дулааныг тооцоолох ба энд ХИ чадлын нягтыг 3 Вт/см^3 -аас 12 Вт/см^3 гэж авсан. Чадлын дундаж нягт нь 0.82 Вт/см^3 (эсвэл 6.6 Вт/см^3) байх жигд чадлын түгэлттэй реакторын чадал ба голомтын хэмжээ нь харгалзан 3 Вт/см^3 (эсвэл 12 Вт/см^3) чадлын ХИ нягттай, жигд бус чадлын түгэлттэй (Бессел ба косинус функц) реакторын чадал болон голомтын хэмжээтэй адил болно.

Дулаан дамжууллын тооцооллоор олсон голомтын ХИ температурыг түлшний температурын зөвшөөрөгдөх дээд хязгаар болох 1873 К [3]-аар хязгаарлан реакторын зөвшөөрөгдөх ХИ чадлын утгыг бусад параметрийн (чадлын дундаж/ХИ нягт, голомтын температур) хослол бүрд олно. Бусад хийцийн ХИ температур дизайныхаа зөвшөөрөгдөх хязгаараас бага байсан. Дараа нь зөвшөөрөгдөх чадлын утга, чадлын дундаж/ХИ нягт болон $R_{\text{core}}/H_{\text{core}}=0.4$ харьцааг ашиглан уг реакторын голомтын хэмжээг олно.

Голомтоорх чадлын түгэлт жигд бус байх үед тооцооллоор олсон дизайны параметруудийг хамаарал байдлаар зураг 3-т харуулав. Зураг 3а-т бидний өмнөх ажилд [5-7] гарган авсан хатуу цилиндр голомттой, чадлын жигд бус түгэлттэй, задралын дулаанаа идэвхгүйгээр зайлуулах чадвартай ӨХТР-ийн дизайны параметруудийн хамаарлыг, зураг 3б-т цагираган голомттой харгалзах реакторынхыг харьцуулан харуулав. Зураг 3а, 3б-д хэвтээ тэнхлэгт голомтын радиус ба өндөр, босоо тэнхлэгт реакторын зөвшөөрөгдөх ХИ чадлыг харуулсан. Зөвшөөрөгдөх чадал болон голомтын хэмжээ нь реактор унтрах үеийн голомтын температурын янз бүрийн утгаас хэрхэн хамаарахыг тасархай шугамаар, чадлын нягтын ХИ утгаас хэрхэн хамаарахыг тасралтгүй шугамаар харуулав. Энэ хамаарал төвөгтэй мэт харагдавч дизайны үндсэн параметруудийн холбоог нэг дор харуулсан чухал үр дүн болно. Эдгээр хамаарлыг хэрхэн ашиглахыг жишээ дээр тайлбарлая. Жишээлбэл, реакторын дизайнар 150 МВт чадалтай 1200 К голомтын температуртай цагираган хийцтэй, чадлын жигд бус түгэлттэй ӨТХР зохион бүтээе гэвэл бусад параметрийн утгуудаа голомтын радиус 2 м , өндөр 5 м , чадлын ХИ нягт 5.1 Вт/см^3 болохыг зураг 3б-ээс хялбархан олох боломжтой. Ийм параметртэй реактор унтарсны дараа задралын дулаанаа идэвхгүйгээр, амжилттай зайлуулж, аюулгүй болж чадна гэсэн үг юм.



Зураг 4. Чадлын жигд түгэлттэй үед дизайны параметруудийн хамаарал, а) хатуу цилиндр ӨТХР [8], б) цагираган ӨТХР, $R_{\text{dom.oil}}=0.36 \text{ м}$.

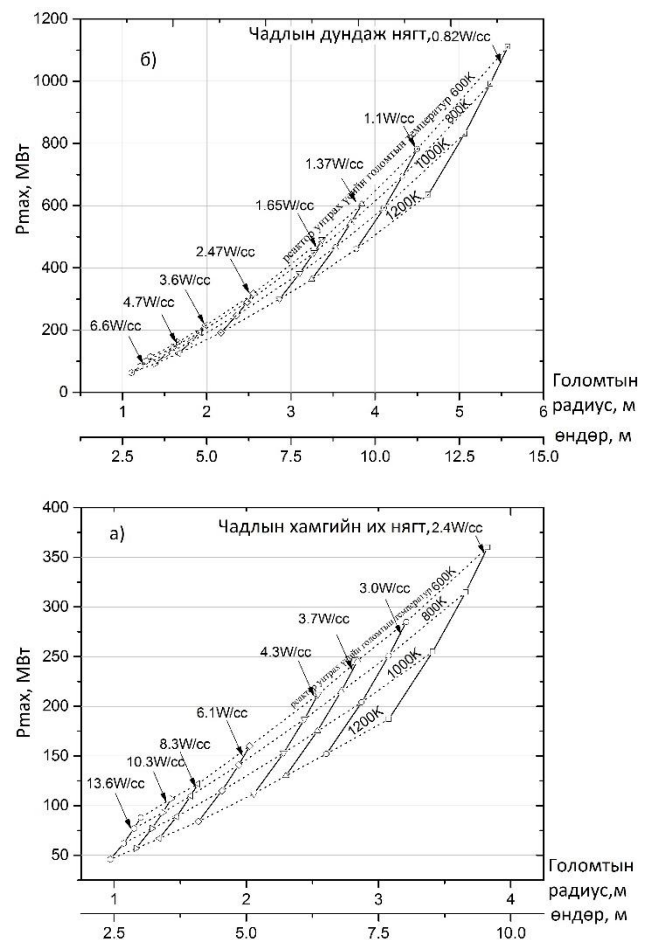
Хэрэв ийм чадал, голомтын температуртай хатуу цилиндр, чадлын жигд бус түгэлттэй ӨТХР зохион бүтээе гэвэл голомтын хэмжээг ихэсгэх эсвэл голомтын температурыг бууруулах шаардлагатай байгаа нь Зураг 3а-аас харагдана. Энэ нь дотоод ойлгогчтой реакторын аюулгүй ажиллагаа ижил хэмжээ, параметртэй хатуу цилиндр голомтынхоос сайжирч байгааг харуулна. Хэрэв ижил хэмжээтэй голомт (радиус 2 м , өндөр 5 м), ижил температурт ажиллуулна (1200 К) гэвэл хатуу цилиндр голомттой реакторын зөвшөөрөгдөх чадлын хэмжээ 70 МВт (чадлын нягтын ХИ утга 4 Вт/см^3) байх болно. Энэ нь эдийн засгийн хувьд ашиггүй хувилбар юм. Тэгэхээр нэг бол аюулгүй ажиллагааны ижил түвшинтэй, голомтын ижил хэмжээтэй, арай өндөр чадлын цагираган реакторыг сонгох эсвэл аюулгүй ажиллагааны түвшин илүү өндөртэй, голомтын хэмжээ болон чадлын түвшин ижил байх цагираган реакторыг сонгох боломжтой болж байна.

Голомтоорх чадлын түгэлт жигд байх үед тооцооллоор олсон дизайны параметруудийг хамаарал байдлаар зураг 4-д харуулав. Зураг 4а-д бидний өмнөх ажлаар [8] гарган авсан хатуу

цилиндр голомттой, чадлын жигд түгэлттэй реакторынх, зураг 4б-д энэ ажлаар гарган авсан цагираган реакторын параметруудийн хамаарлыг харуулав. Зураг 4-ийн тэнхлэг, шугамуудын утга нь зураг 3-ийнхтэй ижил. Өмнөх зураг 3-т үндэслэн дүгнэсэнтэй адилаар цагираган реакторын аюулгүй ажиллагааны шинж чанар нь хатуу цилиндр реактортай харьцуулахад сайжирсан байна. Хэрэв зураг 3 ба 4-ийг харьцуулбал ижил хэмжээтэй голомттой реакторын зөвшөөрөгдөх ХИ чадлын хэмжээ нь жигд түгэлттэй реакторын хувьд ихээр нэмэгдсэн байна.

Зураг 3 ба 4-өөс дүгнэвэл, дотоод ойлгогч хэрэглэн реакторын аюулгүй ажиллагааг муутгахгүйгээр, арай өндөр чадлын реакторын дизайн хийх бололцоотой ба энэ нь голомтоорх чадлын нягтын хэлбэрээс үл хамаарч байна. Түүнчлэн чадлын нягтыг жигдрүүлж чадвал уг реакторын аюулгүй ажиллагаа улам сайжирч байна. Дотоод ойлгогчтой цагираган реакторын голомтоорх чадлын түгэлт жигд бол аюулгүй ажиллагааны шинж чанар нь хатуу цилиндр реактортай харьцуулбал маш ихээр сайжирч байна.

Дээрхтэй ижил тооцооллыг арай бага радиустай (0.18 м) дотоод ойлгогчтой, цагираган реакторт гүйцэтгэсэн. Учир нь дизайны үндэс болох Японы HTTR реакторын зургаан өнцөгт призмэн блокын параллел хоёр талын хоорондох хэмжээ 0.36 м хэмжээтэй байдаг [9-12]. Зураг 5а-д 0.18 м радиустай дотоод ойлгогчтой цагираган реакторын голомтоорх чадлын нягт жигд бус үед гаргасан дизайны параметруудийн хамаарлыг, зураг 5б-д жигд чадлын үеийнхийг харгалзан харуулав. Зураг 5а ба 5б-ийг харьцуулбал зураг 3-ийг зураг 4-тэй харьцуулсантай ижил дүгнэлт буюу чадлын түгэлтийг жигдлэн, аюулгүй ажиллах шинж чанарыг муутгахгүйгээр арай өндөр чадлын реакторын дизайн хийх боломжтой байна. Харин зураг 5а, 5б-ийг харгалзан зураг 3б, 4б-тэй харьцуулбал дотоод ойлгогчийн хэмжээ багасахад зөвшөөрөгдөх чадлын хэмжээ буурч байна, эсвэл ижил хэмжээтэй, ижил чадлын реакторыг арай бага температурт ажиллуулах шаардлагатай болж байна. Дотоод ойлгогчийн радиус хоёр дахин багасахад голомтоос түүн рүү дамжин ирж, хуримтлагдах дулааны хэмжээ бараг зургаа дахин багасч байгаа тул энэ нь арай бага дотоод ойлгогчтой голомтын температурыг ихэсэхэд хүргэж байна.



Зураг 5. $R_{дот.ойл}=0.18$ м үед цагираган ӨТХР дизайны параметруудийн хамаарал, а) Чадлын жигд бус түгэлттэй, б) Чадлын жигд түгэлттэй.

ДҮГНЭЛТ

1. Энэ ажилд дотоод ойлгогчтой, цагираган ӨТХР-ийг унтраасны дараа голомтын ХИ температур дотоод ойлгогчгүй реакторынхтой харьцуулбал багасч байгааг харуулав.
2. Дотоод ойлгогчтой, цагираган реакторын аюулгүй ажиллагааны шинж чанарт голомтоорх чадлын нягтын нөлөө нь хатуу цилиндр реакторынхтой адил байна.
3. Дотоод ойлгогчтой, цагираган ӨТХР-ийн голомтоорх чадлын түгэлт жигд үед аюулгүй ажиллагааны шинж чанар нь маш ихээр сайжирч болохыг харуулав.
4. Голомтоорх чадлын түгэлт нь жигд, дотоод ойлгогчийн хэмжээ их байх тусам аюулгүй ажиллагааны шинж чанар нь ижил түвшний, арай өндөр чадлын ӨТХР зохион бүтээх боломжтой байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

- [1] The Generation IV International Forum. Very-High Temperature Reactor (VHTR), [Cited

- 2016 October] Available from: https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_42153/very-high-temperature-reactor-vhtr; 2000.
- [2] Hicks T.E et al. Modular HTGR safety basis and approach. INL/EXT-11-22708. USA: Idaho National Laboratory; 2011.
- [3] Kroeger P.G. Safety evaluations of accident scenarios in HTGRs. Nucl. Eng. and Design 1990; 122: 443-452.
- [4] Hayashi K et al. Assessment of fuel integrity of HTTR and its permissible design limit. JAERI-M-89-162. Japan: JAERI; 1989.
- [5] Odmaa S, Obara T. Possible design in long-life small prismatic HTGR for passive decay heat removal. J. of Nucl. Sci. Eng 2014; 177: 97-109.
- [6] Odmaa S, Obara T. Above-ground HTGR design for passive decay heat removal. J. Nucl. Sci. Technol 2015; (52) 6: 857-871.
- [7] Odmaa S, Obara T. Comparative study on HTGR design for passive decay heat removal. Progress in Nucl. Energy 2015; 82: 37-45.
- [8] Odmaa S, Obara T. Impact of power density profile on passive heat removal in prismatic HTGR. Annals of Nucl. Energy 2016; 87: 23-29.
- [9] Saito S et al. Design and safety consideration in the HTTR. Energy 1991; 16(1/2): 449-458.
- [10] Saito S et al. Design of HTTR. JAERI-1332. Japan: Japan Atomic Energy Research Institute; 1994.
- [11] Shiozawa S et al. Overview of HTTR design features. Nucl. Eng. and Design 2004; 233: 11-21.
- [12] Evaluation of HTGR Performance: Benchmark Analysis Related to Initial Testing of the HTTR and HTR-10, IAEA-TECDOC 1382. IAEA: Vienna; 2003.
- [13] COMSOL AB, COMSOL-5.0. Multiphysics modeling, finite element analysis, and engineering simulation software, [Cited 2015 November] Available from: <http://www.comsol.com/>; 2013.
- [14] Kunitomi K et al. Passive heat removal by vessel cooling system of HTTR during no forced cooling accidents. Nucl. Eng. and Design 1996; 166: 179-190.
- [15] Lienhard JH IV, Lienhard JH V. A heat transfer textbook. 4th ed. Cambridge (MA): Phlogiston Press; 2011.
- [16] Maruyama T, Kaito T, Onose S, Shibahara I. Change in physical properties of high density isotropic graphites irradiated in the "JOYO" fast reactor. J Nucl Mater. 1995;225:267-272.
- [17] Engineering Toolbox. Emissivity coefficients of some common materials. Resources, tools and basic information for engineering and design of technical applications [Internet]; 2012 [cited 2014 May]. Available from: <http://www.engineeringtoolbox.com/>.
- [18] Heat transport and afterheat removal for gas cooled reactors under accident conditions. IAEA-TECDOC-1163. IAEA: Vienna; 2000.
- [19] Decay heat tables. Nuclear Data Center, JAEA: http://www.ndc.jaea.go.jp/DHTable/Table_11.html [Cited 2014 May]

ТАЛАРХАЛ

Энэ ажил нь Солонгосын Ахисан түвшний судалгааны Солонгос сан болон МУИС-ийн Азийн судалгааны төвийн санхүүжилтээр хэрэгжиж буй “Бага чадлын эрчим хүч, дулааны дэвшилтэт цөмийн реакторын судалгаа” төслийн хүрээнд хийгдсэн болно.

Comparative Study on Design Parameters in Both an Annular and Solid Cylinder, Prismatic HTGR for Passive Decay Heat Removal

S.Odmaa, G.Enkhbaatar, N.Norov

In this study we obtained the design parameters relationship of an annular, prismatic HTGR with passive decay heat removal and compared them with those for solid cylinder one.

Молибдений Дисульфидын Нимгэн Үед Атомын Хүчний Микроскопийн Тусламжтай Литографи Явуулах Аргачлал

Г.Мөнхсайхан^{1,*}, С. Палл², Л.Оттавиано²

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

²Италийн Лаквилагийн Их Сургууль, Физик Химийн салбар

Энэхүү ажилд нанохэмжээст MoS₂-ийн гадаргууд литографи явуулах судалгааны үр дүнг үзүүлэв. Механик хуулалтын аргаар гарган авсан MoS₂-ийн “ширхэг”-ийн гадаргууд атомын хүчний микроскопийн зүүний тусламжтай литографи явуулж химийн идүүлэлтээр литографийн ул мөрийг цэвэрлэсэн болно. Литографи явагдсан мужид атомын хүчний микроскопийн хэмжилт явуулж литографийн дараа ширхэгийн үеийг хуулах боломжтойг харуулсан болно.

PACS numbers: 82.37.Gk, 81.16.Nd, 81.65.Cf

I. ОРШИЛ

Графенийг нээсэн цагаас хойш хоёр хэмжээст материалд суурилсан электроникийн төхөөрөмжийн судалгаа шинжилгээний ажлын цар хүрээ улам өргөжин тэлсээр байна [1]. Графенд хориотой бүсийн өргөн байдаггүй нь үндсэн цэнэг зөөгчдийн хөдлөцийг үлэмж хэмжээгээр нэмэгдүүлдэг ч ($200000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) нөгөө талаас энэ материалыг электроникийн тоног төхөөрөмжид хэрэглэх хэрэглээг хязгаарладаг байна. Сүүлийн жилүүдэд графений хориотой бүсийн өргөнийг нэмэгдүүлэх чиглэлээр олон тооны ажил хийгдэж байгаагийн ихэнх нь дан үе гарган авах судалгаанд суурилсан болно. Атомын хүчний микроскопийн зүүгээр цахиур болон титаны гадаргад Анодын Хэсэгчилсэн Исэлдүүлэлт (АХИ) [2-4] явуулах арга нь графений “нанотууз” [5-6] гарган авах нанолитографийн хамгийн үр дүнтэй аргад тооцогддог. Ийм байдлаар графений хориотой бүсийн өргөнийг графен нанотуузын өргөний урвуутай тэнцүү хэмжээгээр нээх боломж бүрддэг [7-9]. Гэвч хориотой бүсийн өргөн нь графенд суурилсан төхөөрөмжийн “on/off” шилжүүлгэд хэт бага байдаг. Дээрх асуудлыг шийдэх зорилгоор дэлхийн маш олон судалгааны багууд шинэ хоёр хэмжээст хагас дамжуулагч материалын судалгааг хийж эхэлсэн байна.

Молибденит буюу MoS₂ нь ван-дер-ваальсын сул хүчээр холбогдсон (S-Mo-S) үеүдээс тогтдог тул балк молибденитээс дан үеийг хялбархан хуулах бололцоог бүрдүүлдэг. Үүний сацуу MoS₂ нь балк хэлбэртээ 1.2 эВ, дан үе хэлбэртээ 1.8 эВ хориотой бүсийн өргөнтэй байдаг нь хоёр хэмжээст материалд суурилсан наноэлектроникийн үйлдвэрлэлийн шаардлагад нийцэж байна.

MoS₂ ирмэгийн механик болон дамжуулах онцгой шинж чанаруудыг харуулсан олон тооны судалгааны ажлууд хийгдсэн [10-11] бөгөөд “хуурмаг ирмэг”-ийг (механик хуулалтын аргаар гаргахад нэн төвөгтэй) гарган авах судалгаа нь хоёр хэмжээст материалд суурилсан нанотөхөөрөмжид нэн чухал болох нь нэгэнт тодорхой болсон билээ. Хосоки болон бусад судлаачид MoS₂ гадаргууд литографи явуулах боломжтойг [12] харуулсан хэдий ч энэ процесс нь өндөр вакуум нөхцөлд туннелийн микроскоп доор явагддаг юм. Одоогийн байдлаар MoS₂-ийн гадаргуугийн нанолитографийг агаарт явуулсан туршилтууд хийгдээгүй байсан бөгөөд энэхүү судалгааны ажилд атомын хүчний микроскопийн зүүгээр агаарт молибденитийн цөөн үеийн гадаргууд нанолитографи явуулах шинэ аргачлалын талаар танилцуулж байна.

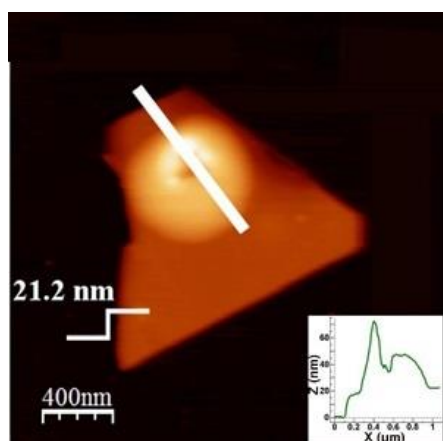
II. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

Өндөр цэвэршилт бүхий MoS₂ кристаллыг механик хуулалтын аргаар скоч тууз ашиглан хуулж нимгэн үедийг гаргадаг. Хуулсан нимгэн үеийг 0.01 Ом · см хувийн эсэргүүцэлтэй цахиур суурь дээр буулгана. Тунадасжсан MoS₂-ийн ширхэгийн бүтцийг атомын хүчний микроскопийн (AFM Digital D5000, Veeco) тусламжтай судалсан бөгөөд уг микроскопийн контактын горимд литографийн процессийг явуулсан болно. Энэхүү литографийн процесс нь анодын хэсэгчилсэн идүүлэлтийн аргатай төстэй байсан. Атомын хүчний микроскопийн цахилгаан дамжуулагч зүүнд (зүүний хувийн эсэргүүцэл 0.01 – 0.025 Ом · см, антимолийн п-төрлийн холцтой цахиур материалтай, зүүний радиус ойролцоогоор 10 нм) сөрөг хүчдэл өгч (-6 В -оос -12 В), цахиур суурийг газардуулна. Микроскопийн зүүг MoS₂-ийн гадаргаас 10 нм өндөрт байрлуулж литографийн процессийг

* Electronic address: munerd@yahoo.com

агаарт (харьцангуй чийгшил 50% орчим, температур 20°C орчим) явуулахад зүүний үзүүр болон дээжний хооронд усны менискус үүсдэг. Хүчдлийн нөлөөгөөр усны H^+ ионууд дамжуулагч зүүнд, OH^- ионууд MoS_2 гадаргууд наалдана. Улмаар зүү автомат системийн тусламжтай литографи явуулах хэсэгт скан хийдэг. Литографийн процессийг амжилттай явуулахын тулд зүүний шилжих хурд, зүүний гадаргаас дээш байрлах өндөр, зүү болон дээжний хооронд өгөгдөх хүчдлийн утга болон орчны харьцангуй чийгшил гэсэн үндсэн дөрвөн параметруудийг тохируулдаг. Эдгээр параметруудийг зөв сонгосноор литографи нарийвчлал сайтай явагддаг.

Зураг 1-д литографи явуулсан үр дүнг үзүүлжээ. Литографийн процессийн дараа дээжийг 0.1 М HCl усан уусмалаар зайлах байдлаар литографийн ул мөрийг цэвэрлэдэг.



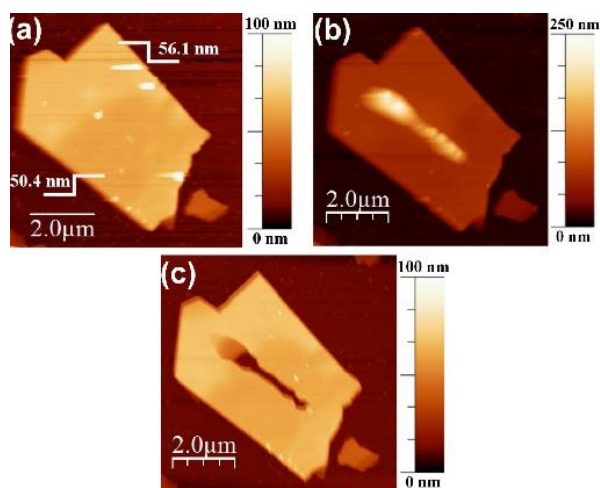
Зураг 1. Литографи явагдсан MoS_2 ширхэгийн атомын хүчний микроскопийн зураг. Литографид орсон мужийн өндөр болон хэлбрийг доод буланд харуулав.

III. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Зураг 1-д MoS_2 ширхэгийн атомын хүчний микроскопийн шинжилгээний дүнг үзүүлэв. Зураг дээрх цайвар мужид литографид орсон бүтцийн зураглалыг харуулсан байна. Молибденитийн ширхэгт литограф хийхийн тулд дээж болон микроскопийн зүүний хооронд -12 В хүчдэл олгосон ба дээжийг цагаан шугамын дагуу 0.1 мкм/с хурдтайгаар шинжилсэн байна. Литографид орсон хэсгийн 70 нм орчим жигд бус өндөртэй байсан болно. Хэмжилтээр дээжний зузаан (литографид ороогүй хэсгийн зузаан) 21.2 нм буюу 30 MoS_2 үетэй болох нь тогтоогдсон байна.

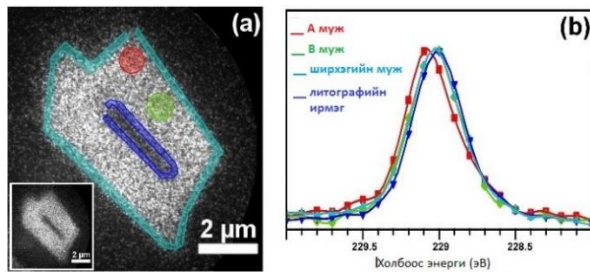
Зураг 2-т цахиур суурин дээр буулгасан молибденит (Зураг 2а), литографи явуулсан болон химийн идүүлэлт хийсний дараахь молибденитын ширхэгийн (Зураг 2с) атомын хүчний микроскопийн судалгааны үр дүнг үзүүлэв. MoS_2 -ийн ширхэг дээр литографийн

процессийг нарийвчлал сайтай явуулах үүднээс дамжуулагч зүүний үзүүрт $V=-10V$ хүчдэл олгож, зүүг 0.1 мкм/с хурдтай шилжүүлсэн бөгөөд 550 нм-ээс 900 нм мужид 160 нм орчим өндөртэй OH^- үе гаргасан. Литографийн процессийн төгсгөлд дээжинд 0.1М HCl усан уусмалаар 20 секундын туршид идүүлэлт хийж литографийн мужийг цэвэрлэж нүх үүсгэсэн (Зураг 2с). Туршилтын үр дүнгээс үзвэл литографид орсон нүх нь сууриндаа хүртэл бүрэн хуулагдаагүй буюу MoS_2 ширхэгийн зөвхөн дээд хэсэг нь хуулагдсан байна (Зураг 2с дээр үзүүлсэн нүх нь сууриндаа тултал идэгдээгүй байна).



Зураг 2. (а) Литографи хийхийн өмнөх MoS_2 ширхэг. (b) Литографи хийсний дараахь MoS_2 ширхэг ($V_{зүү} = -10V$, $v_{зүү} = 0.1$ мкм/с). (с) 0.1М HCl уусмалаар идүүлсний дараахь бүтэц.

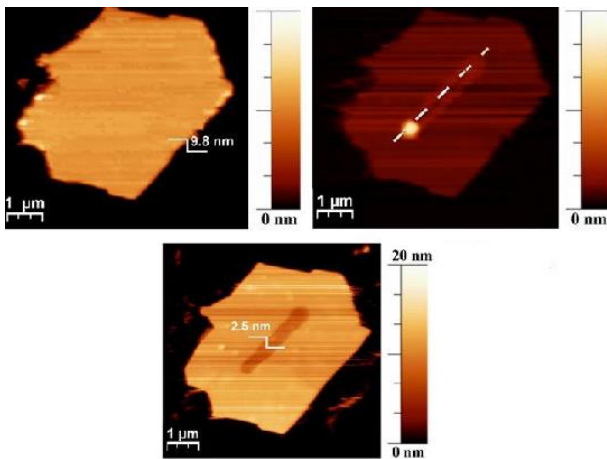
Литографид орсон болон идүүлэлт хийгдсэн дээжний электрон бүтцийг фотоэмиссийн спектроскопийн судалгаагаар шинжилсэн болно. Зураг 3а-д өмнө нь үзүүлсэн ширхэгийн наноспектроскопийн зураглалыг үзүүлэв. Шинжилгээг MoS_2 бүтцийн молибдений 3d5/2 төлөвт харгалзах холбоос энергийн утга болон 229.1 эВ-д явуулсан бөгөөд фотоны тусгалын энергийг 350 эВ байхаар сонгосон. Фотоэмиссийн спектроскопийн судалгааг молибденитийн бүтцийн дөрвөн өөр байрлалд явуулсан бөгөөд нормчлогдсон спектрүүдийг өнгөөр ялгаж үзүүлсэн болно (зураг 3б). Зургаас үзвэл спектрүүдийн хэлбрийн хувьд онцгой ялгаа илрээгүй ч холбоос энергийн утга бага зэрэг зөрүүтэйгээр тодорхойлогдсон байна. Спектроскопийн судалгаанаас үзвэл ногооноор тэмдэглэсэн мужид спектрийн муруй 30 мэВ, литографийн хуурмаг ирмэг дээр хийсэн спектрийн муруй нь 50 мэВ хэмжээгээр шилжсэн байна.



Зураг 3. (a) Молибденитийн ширхэгийн нано спектроскопийн зураглал. Холбоос энергийн 229.1 эВ-т бүртгэгдсэн зураг (туссан фотоны энерги 350 эВ). (b) Дөрвөн өөр байрлалд хэмжигдсэн нормчлогдсон спектрийн зураглал.

Энэхүү шилжилт нь MoS_2 ширхэгт үүссэн хүхрийн атомуудын вакансийн ул мөртэй холбоотой талаар зарим судалгааны ажлуудад харуулсан байдаг [13-14]. Үүний зэрэгцээ ногооноор тэмдэглэсэн байрлал буюу “бодит” ирмэг дээрх өөрчлөлт нь нанолитографийн техникийн улмаас гадаргууд гажиг үүсдэг болохыг харуулж байна. Энэ гажгийн улмаас молибденитийн ширхэгийн зарим үеүд хуурч байгааг дараачийн ажлын үр дүнгээс харж болно.

Зураг 4-т 9.8 нм зузаантай дээжинд хийсэн литографийн судалгааны үр дүнг үзүүлсэн болно. Энэ дээжинд литографи явуулах үед микроскопийн зүүний хурдыг зөв тохируулсанаар жигд бөгөөд нарийн зурвас гаргах боломжтой нь харагдсан бөгөөд зүүний хурд 1 мкм/с байхад 3 нм орчим өргөнтэй хуурмаг ирмэгийг гарган авсан байна. Үүний сацуу MoS_2 ширхэгийн зузаан 1.4 нм хэмжээгээр нимгэрсэн бөгөөд энэ нь өмнө дурдагдсан наноспектроскопийн үр дүнг баталж байна.



Зураг 4. Зүүнээс баруун тийш: өөрчлөлт ороогүй MoS_2 ширхэг; литографийн процессийн дараахь MoS_2 ширхэг (цагаан зураасаар литографи явуулсан замыг үзүүлэв); HCl уусмалаар идүүлэл хийсний дараахь MoS_2 . Зүүний хүчдэл -8 В; зүүний хурд $= 0.1$ мкм/с. Идүүлэлтийн параметрууд: 0.05 М HCl уусмалд 10 с. Химийн идүүлэлтийн дараа бүтцэд нүх үүссэн.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажилд нанометрийн түвшинд MoS_2 ширхэгүүдэд литографи хийх шинэ аргачлалыг үзүүлсэн болно. Энэ аргачлал нь атомын хүчний микроскопийн хэмжилтээр баталгааждаг байна. Туршилтын төхөөрөмж нь хэсэгчилсэн анодын исэлдүүлэлтийн аргатай төсөөтэй боловч вакуум орчин шаарддаггүй онцлогтой. Хэмжилтийн үр дүнгээс үзвэл OH^- ионууд нь молибденитийн гадаргуугаас хүхрийн атомуудыг “бөмбөгдөж” байж болзошгүй байна. Энэ технологийг ашиглан MoS_2 -ийн цөөн үеийн “хиймэл” ирмэгийг гаргах боломжтой нь харагдсан болно. Энэ аргачлалаар MoS_2 ширхэгийг дахин хуулах боломжтой нь харагдсан.

V. НОМЗҮЙ

- [1] K.S. Novoselov, D. Jiang, F. Schedin, T.J. Booth, V.V. Khotkevich, S.V. Morozov and A.K. Geim, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2005, 102, 10451.
- [2] R.V. Martínez, J. Martínez and R. Garcia, Nanotechnology, 2010, 21, 245301.
- [3] P. Avouris, T. Hertel and R. Martel, Appl. Phys. Lett., 1997, 71, 285.
- [4] R. García, M. Calleja and F. Pérez-Murano, Appl. Phys. Lett., 1998, 72, 2295.
- [5] S. Masubuchi, M. Ono, K. Yoshida, K. Hirakawa and T. Machida, Appl. Phys. Lett., 2009, 94, 082107.
- [6] V. Barone, O. Hod and G.E. Scuseria, Nano Lett., 2006, 6, 2748.
- [7] Y.-W. Son, M.L. Cohen, S.G. Louie, Phys. Rev. Lett., 2006, 97, 216803.
- [8] J. Jung, T. Pereg-Barnea and A.H. MacDonald, Phys. Rev. Lett., 2009, 102, 227205.
- [9] M.V. Bollinger, J.V. Lauritsen, K.W. Jacobsen, J.K. Nørskov, S. Helveg and F. Besenbacher, Phys. Rev. Lett., 2001, 87, 196803.
- [10] T.F. Jaramillo, K.P. Jørgensen, J. Bonde, J.H. Nielsen, S. Horch and I. Chorkendorff, Science, 2007, 317, 100.
- [11] J.V. Lauritsen, M. Nyberg, R.T. Vang, M.V. Bollinger, B.S. Clausen, H. Topsøe, K.W. Jacobsen, E. Lægsgaard and J.K. Nørskov, F. Besenbacher, Nanotechnology, 2003, 14, 385.
- [12] S. Hosoki, S. Hosaka and T. Hasegawa, Appl. Surf. Sci., 1992, 60-61, 643.
- [13] M. Donarelli, F. Bisti, F. Perrozzi and L. Ottaviano, Chem. Phys. Lett., 2013, 588, 198.
- [14] S.K. Mahatha and K.S.R. Menon, J. Phys.: Condens. Matt., 2012, 24, 305502.

Оюутны Бие Даалтын Ажлын Зохион Байгуулалт, Үр Дүнг Дээшлүүлэх нь

Д.Наранчимэг,* Б.Одонтуяа, О.Сүх, Г.Мөнхсайхан

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

ШУТИС-ийн инженерийн мэргэжлээр суралцагч оюутнуудын физикийн хичээлийн үр өгөөжийг дээшлүүлэх, оюутнуудын сурах үйл ажиллагааг идэвхжүүлэх зорилгоор бие даалтын хичээлийн үр дүнг дээшлүүлэх чиглэлийн судалгааг хийсэн болно. Энэхүү ажилд сургалтын ажлын чухал хэсгийн нэг болох бие даалтыг цахим хэлбэрт шилжүүлсэнтэй холбоотойгоор гарч буй эерэг өөрчлөлтүүдийг тусгасан болно.

I. ОРШИЛ

Оюутны бие даалтын ажил нь сургалтын стандарт, хөтөлбөрт тодорхой харьцаагаар тусгагддаг бөгөөд оюутны сонирхол, чадавхи зэргийг багтаасан үйл ажиллагаа юм. Оюутан бие даалтын ажлыг танхимын болон танхимын бус цагаар багшийн шууд бус удирдлага дор бие дааж, бүтээлчээр явуулдаг.

ШУТИС-ийн хичээлийн хөтөлбөрт 3 кредиттэй хичээлийн долоо хоногт хичээллэх лекц, семинар, лаборатори болон бие даалтын цагийн харьцааг 2:1:1:5 гэж тодорхойлсон байдаг[1]. Эндээс үзвэл оюутан долоо хоногт 5 цаг бие даалтын ажил хийх шаардлагатай бөгөөд үүнээс танхимд 2 цагийг, танхимын бусаар 3цагийг зарцуулдаг байна. Бидний хувьд идэвхтэй цөөн хэсэгт чиглэсэн урамшуулал бага байдаг нь тэдний суралцах идэвхийг өрнүүлж чаддаггүй [2]

Бодит байдал дээр оюутан танхимд хичээллэх бие даалтын хичээлд маш хойрго ханддагаас үзвэл үлдсэн танхимын бус 3 цагийг ашигладаггүй нь тодорхой юм. Энэ нь нэг талаас оюутны хичээлд хандах хандлага сул байгаатай, нөгөө талаас багшийн зүгээс бие даалтын хичээлийн зохион байгуулалтыг оновчтой хийдэггүй, энэ цагийг оюутанд үр өгөөж олгох талаас ашигладаггүй байдалтай холбоотой. Үүний сацуу оюутанд өгөх бие даалтын ажлын цар хүрээ, хэмжээ болон агуулгыг сайн тооцдоггүйгээс улбаалан оюутан тухайн ажлыг цаг тухайд нь чанартай гүйцэтгэх боломжгүй болдог. Энэ тохиолдолд оюутан бие даалтын цаг дээр ирдэггүй, бие даалтын даалгаврыг цаг тухайд нь тооцуулдаггүй байдал нь тэдний сурлагын үнэлгээнд сөргөөр нөлөөлнө.

Оюутны бие даалтын даалгавар нь бие даан гүйцэтгэх бодлого, эсээ, төсөл, тайлан бичиж хамгаалах, ярилцлага, хэлэлцүүлэг, мэтгэлцээн, илтгэл, реферат зэрэг олон төрлийн хэлбэртэй байна. Эдгээрээс багш тухайн хичээлийн онцлогт тохируулан сонгож оюутанд өгдөг.

Инженерийн ангийн оюутнуудад ордог суурь хичээлүүдийн хувьд нэг багш 80-100 оюутанд хичээл ордог бөгөөд улмаар багшийн оюутан нэг бүрт хандаж, ажиллах цаг хязгаарлагдмал байна. Мөн ихэнх хичээлүүдийн хувьд бие даалтанд нэгэн төрлийн гарын авлага, материал ашигладаг байдал нь оюутан бүтээлчээр сэтгэх байдалд нөлөөлж, бие даан хийхийн оронд бусдаас хуулах хандлагад хүргэж байна. Үүний эсрэгээр олон төрөл зүйл бүхий бие даалтын ажлыг оюутанд давхцуулалгүй өгөх боломж байгаа ч оюутны тоо хэт их байгаа тул багш суралцагч тус бүрт хандаж туслах, зөвлөх, бие даалтыг засах боломж нь хомсддог.

Энэ байдалд үндэслэн бид ШУТИС-ийн физикийн хичээлийн бие даалтын цагийг үр өгөөжтэй болгох, бие даалт нь оюутанд мэдлэг болж үлдэх боломжуудыг бүрдүүлэх ажлын үндэс суурийг тавилаа.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

ШУТИС-ийн сургалт явуулах хөтөлбөрүүдийг инженерийн боловсролын шинэчлэлийн CDIO санаачлага, хөтөлбөрийн магадлан итгэмжлэлийн олон улсын нэр хүндтэй, мэргэжлийн байгууллагуудын шаардлагуудад нийцүүлж, гадаадын тэргүүлэх их дээд сургуулиудын түвшинд ойртуулан шинэчлэх, дэвшилтэт арга технологиудыг сургалтанд нэвтрүүлэхэд чиглэгдэнэ. Уг загвар CDIO нь олон улсад ашиглагдаж байгаа нийтлэг загвар бөгөөд хичээлийн багц цаг, залгамж холбоо, товч агуулга, оюутны эзэмших мэдлэг, чадвар, оюутны мэдлэгийг үнэлэх аргачлал, лекц, семинар, лабораторийн хичээлийн сэдэвчилсэн төлөвлөгөө, хичээлд ашиглах үндсэн сурах бичиг, нэмэлтээр судлах материал зэргийг тусгасан байдаг.

2014-2015 оны хичээлийн жилээс ШУТИС нь сургалтын шинэ арга технологи болох CDIO аргачлалаар хичээлийг явуулж эхэллээ. Энэ арга технологи нь дэлхийн тэргүүлэх их дээд сургуулиудын инженерийн боловсролд шинэлэг

* Electronic address: naraa_davgii@yahoo.com

технологи болон хэрэгжиж байгаа тул ХШУС-ийн багш нар энэ саначлагад нэгдэж, физик, математик, химийн хичээлүүдэд CDIO стандартыг хэрэгжүүлж эхэлсэн.

CDIO-ийн суралцах үйл ажиллагаа нь оюутан төвтэй, тэдний оролцоог дэмжсэн, үйлээр дамжуулан сурах, төсөлд суурилсан идэвхтэй арга хэлбэрийг зохистойгоор хослуулсан, мэдээлэл харилцааны дэвшилтэт технологи ашиглах, бодит ажлын байранд хүлээгдэж буй шаардлагын дагуу дадлагажих, нийтийн сайн сайхны төлөө үйлчлэх замаар хамтдаа ажиллаж, амьдрах, суралцахад боломж олгосон цогц арга технологи юм.

CDIO-ийн шаардлагын дагуу оюутанд бие дааж суралцах арга барил, чадвар, дадал эзэмшүүлэх, оюутан бүтээлчээр сэтгэж, гараар бүтээх чадвар эзэмшүүлэх нь энэ санаачлагын гол зорилго юм. Энэхүү зорилт нь оюутны бие даалтын ажлын үндсэн зорилт болж оюутанд сурах олон үйл, үйлдлийг бие дааж хийх арга барил эзэмшүүлэх хэрэгтэйг харуулдаг.

Оюутны бие даалт нь лекц, семинарын хичээлээр олж авсан мэдлэгээ бататган өөрийн болгох, мэдлэгээ гүнзгийрүүлэх, мөн хувь хүн талаасаа бие дааж оновчтой шийдвэр гаргах, хариуцлагатай байх, бусадтай хамтрах, цаг барих зэрэг олон талын арга барил эзэмших давуу талтай.

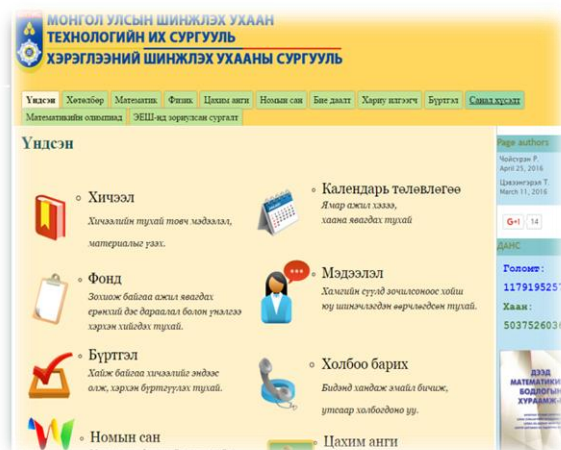
Багш бид заадаг хичээлийнхээ хүрээнд бие даалтын ажлын зорилго, тоо, төрлийг урьдчилан боловсруулж тэдэнд танилцуулан яаж хийх заавар зөвлөгөө өгөх, бие даалт өгөх хугацаа, оюутны бие даалтын ажлын явц, гүйцэтгэл зэргийг хянан туслах талаар дэлгэрэнгүй мэдээлэл өгнө. Оюутан бие даалтын ажлыг хичээлийн бус цагаар хийж гүйцэтгэхэд цаг хугацаа их шаардагдах тул оюутны бие дааж хийсэн зарим зүйлийг семинарын хичээл дээр хэлэлцэхээр төлөвлөх нь зүйтэй. Ингэхдээ оюутны ачаалал улирлын турш жигд байхаар төлөвлөн зохион байгуулах хэрэгтэй.

III. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Оюутны бие даалтын ажлыг үр өгөөжтэй болгох, багш оюутанд хүртээмжтэй байх, оюутны идэвхи, оролцоог сайжруулах зорилгоор ХШУС-ийн багш нар “Цахим” бие даалтын сан бүхий платформ бүрдүүлж физик, математикийн хичээлийн бие даалтын хичээлийг онлайнаар явуулах боломж бүрдүүлж физикийн хичээл дээр туршсан болно.

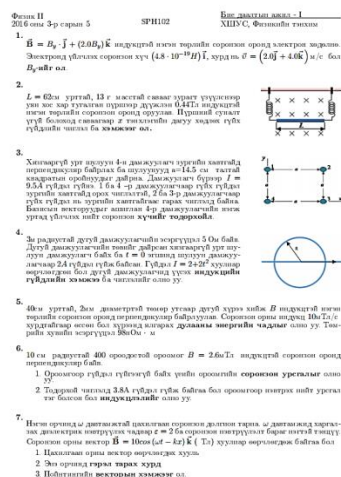
Судалгааг S.PH102 кодтой Физик II хичээл дээр явуулсан бөгөөд оюутан болон багш нарт www.mymust.net веб хуудсанд байрлах “Цахим

анги” үүсгэж “энэ ангид” багш оюутнууд бие даалтын хичээлийг явуулсан (Зураг 1).



Зураг 1. www.mymust.net веб хуудасны харагдах байдал.

Оюутанд бие даалтын ажлыг өгөхдөө нэг оюутанд давхцалгүй 12+12 бодлогыг 2 удаагийн бие даалтаар хийж гүйцэтгэхээр бэлтгэсэн. Физик II хичээлийн хувьд семинарын 8 бүлэг сэдвийн 900 гаруй бодлого бүхий бие даалтын сан бүрдүүлсэн байна (Зураг 2). Бие даалтын хүртээмжийг боловсронгуй болгох зорилгоор багш тухайн бүлэг сэдвийн жишиг бодлогуудыг бодож “Цахим анги” болон “Бодит анги”-д бие даалтын цаг дээр тайлбарлах бөгөөд оюутнууд жишиг бодлоготой төсөөтэй бодлогуудыг ганцаарчлан гүйцэтгэх боломж бүрддэг.



8. Эргэлт үзүүлсэн дутуу хоёр хантгайн хоорондох цахилгаан орон $E = (4 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^4) \frac{B}{m}$ гэж өгөгдсөн. $t = 0$ үед соронзон орон нэг дөрвөн чиглэлд. Ягтаны талбай $410^{-2} m^2$, $0 < t < 3$ секунд
1. Ягтанд хоорондох индукцэлийн гүйдлийн хэмжээ ба чиглэлийг ол.
 2. Индукцэлийн соронзон орны чиглэл цагийн хувиар дагуу юу жигж үү?
 3. Дутуу хантгайн энхлэгээ 15 см зайд индукцэлийн соронзон орны хэмжээг ол.
9. 10 мГн индукцэлтэй ороомог болон 5 мФ ба 2 мФ батламжтай хоёр конденсатор байв.
1. Батламжуудыг цуваа холбосон үед хүрээний хувийн дагтамжийг ол.
 2. Батламжуудыг зэрэгцээ холбосон үед хүрээний хувийн дагтамжийг ол.
10. Цэвэр гурав үзүүр усны гадаргаас 80 см дээр байрлана. Усан дээр харагдах гэрлийн диаметр нь?
11. О бие биеэсээ тооны гол тэнхлэг дээр байрлана. Фокусан зайд 20 см, тооны хэлбэр нь хүлээр, тооны өсгөлт $+0.1$ бол
1. тооны нуруулагын радиус
 2. тооныг дүр хуртжээ эхлэжээ тийш хуртжээ эхлэжээ гэдгийг ол.
12. О бие нэгэн линийн гол тэнхлэг дээр байрлана. Биеэс нэг хуртжээ зайд $+4.0$ см, хувиар нэгтгэл нь 1.70, линийн гадаргын өөр талын радиус $+10$ см, линийн гадаргын гол талын радиус -10 см бол шугаман өсгөлтийг ол.



Зураг 2. Цахим бие даалтын материал

Үүний дараа оюутан өөрт оногдсон бодолтуудын зөв хариултыг багшийн заасан хугацаанд багтаан цахим санд оруулах бөгөөд бодолтын хариулт түүн дотор буруу зөв хариултын тухай мэдээлэл багшид электрон шуудангаар ирнэ (Зураг 3). Үүний зэрэгцээ оюутан заагдсан хугацааны туршид алдаагаа засах оролдлого хийх боломжтой бөгөөд багшид тухайн оюутан даалгаврыг хэдэн удаа зассан, зөв бодолт хийсэн, бодолт тус бүрийн оноо зэрэг мэдээллүүд ирнэ. Энэ мэдээллийг ашиглан багш оюутнуудын бие даалтын ажилд үнэлгээ өгөхийн зэрэгцээ нийт оюутнуудын хэдэн хувь нь ямар сэдвийг дутуу ойлгосон болох тал дээр дүн шинжилгээ хийж энэ сэдвийг дахин тайлбарлах боломж бүрддэг.

Хариулт	Оноо	Тайлбар
1. 10.00	10.00	10.00
2. 10.00	10.00	10.00
3. 10.00	10.00	10.00
4. 10.00	10.00	10.00
5. 10.00	10.00	10.00
6. 10.00	10.00	10.00
7. 10.00	10.00	10.00
8. 10.00	10.00	10.00
9. 10.00	10.00	10.00
10. 10.00	10.00	10.00
11. 10.00	10.00	10.00
12. 10.00	10.00	10.00
13. 10.00	10.00	10.00
14. 10.00	10.00	10.00
15. 10.00	10.00	10.00
16. 10.00	10.00	10.00
17. 10.00	10.00	10.00
18. 10.00	10.00	10.00
19. 10.00	10.00	10.00
20. 10.00	10.00	10.00
21. 10.00	10.00	10.00
22. 10.00	10.00	10.00
23. 10.00	10.00	10.00
24. 10.00	10.00	10.00
25. 10.00	10.00	10.00
26. 10.00	10.00	10.00
27. 10.00	10.00	10.00
28. 10.00	10.00	10.00
29. 10.00	10.00	10.00
30. 10.00	10.00	10.00
31. 10.00	10.00	10.00
32. 10.00	10.00	10.00
33. 10.00	10.00	10.00
34. 10.00	10.00	10.00
35. 10.00	10.00	10.00
36. 10.00	10.00	10.00
37. 10.00	10.00	10.00
38. 10.00	10.00	10.00
39. 10.00	10.00	10.00
40. 10.00	10.00	10.00
41. 10.00	10.00	10.00
42. 10.00	10.00	10.00
43. 10.00	10.00	10.00
44. 10.00	10.00	10.00
45. 10.00	10.00	10.00
46. 10.00	10.00	10.00
47. 10.00	10.00	10.00
48. 10.00	10.00	10.00
49. 10.00	10.00	10.00
50. 10.00	10.00	10.00

Зураг 3. Цахим бие даалтын гүйцэтгэлийн мэдээлэл.

Цахим бие даалтыг туршиж эхэлсэн эхэн үед оюутнуудын үнэлгээ өмнөх үеийнхтэй харьцуулбал доогуур гарсан нь оюутнууд нэгж шилжүүлэх, тоон утгыг тэгшитгэлд орлуулах зэрэг үйлдлүүдийг хайнга гүйцэтгэж байсантай холбоотой. Эхний үнэлгээ доогуур үнэлэгдсэний дараа оюутнууд дээрх алдаа дутагдлыг засаж буруу хариу санд оруулсан тохиолдолд бодолтоо удаа дараа шалгах, хариугаа засах байдлаар оюутны нягт нямбай ажиллагаа, хариуцлага дээшилсэн байна.

Мөн цахим ангийн зэрэгцээ бие даалтын ажлыг багийн системээр илтгэл хэлэлцүүлэх, маргаан мэтгэлцээн өрнүүлэх зэргээр явуулсан (Зураг 4). Энэ аргад багийн бүх гишүүдийн оролцоог нэн чухалчилсан бөгөөд багийн илтгэл хэлэлцүүлгийн төгсгөлд тухайн багийн гишүүний оролцоог бусад гишүүдээр үнэлүүлж оноог олгосон. Оюутнууд илтгэл хэлэлцүүлснээр ярих чадвар болон өөрийгөө илэрхийлэх чадвар сайжирч, бусад багийн гишүүдийн асуултанд хариулах зэргээр мэдлэгээ бататгах боломж бүрдсэн болно.

IV. ДҮГНЭЛТ

CDIO санаачлагыг хэрэгжүүлэхэд бидний хэрэгжүүлж буй бие даалтын хичээлийн арга нь ач холбогдолтой болох нь харагдсан.

Цахим анги нь хэдэн арван мянган оюутан зэрэг хандаж бие даалт, цаашилбал сорилын шалгалтыг өгөх боломжтойгоор давуу талтай. Бие даалтын энэхүү аргачлал нь оюутны сурах идэвхийг дэмжиж, бие даалтын цагийг үр өгөөжтэй болгох боломжийг бүрдүүлсэн. Энэ арга нь багшийн ажлыг хөнгөвчлөхийн зэрэгцээ оюутан бүрийн сурлагын явцын талаар үнэлэлт дүгнэлт өгөх боломжийг бүрдүүлсэн. Багшийн өгч буй бие даалт нь оюутанд мэдлэг болж үлдэх, сурах идэвхийг өрнүүлэх өгөөжтэй болсон.

V. АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] <http://www.unimis.edu.mn/download/>
- [2] Болд.Ц. Дээд боловсролын нийгмийн үнэ цэнээ алдаж байгаа шалтгаан нь <http://www.bugdeeree.mn/>
- [3] Ичинхорлоо.Ш. Багшийн ном. УБ.: 2004.
- [4] Пүрэвдорж.Ч. Багшийн сургалтын ажлын арга барилыг судлах менежментийн ухааны аргазүйн үндэс. УБ.: 2006.

ШУТИС-ийн Физикийн Хичээлийн Үнэлгээний Системийг Боловсронгуй Болгох Аргачлал

Г. Мөнхсайхан,* До.Нямсүрэн, Д.Наранчимэг, Б.Одонтуяа, О.Сүх

ШУТИС, ХШУС, Физикийн тэнхимийн

ШУТИС-ийн ерөнхий суурь хичээлүүдийн сургалтын үр өгөөжийг дээшлүүлэх, оюутнуудын сурах үйл ажиллагааг бүтээлч байдлаар идэвхжүүлэх зорилгоор ШУТИС-ийн физикийн хичээлийн үнэлгээний системийг боловсронгуй болгох судалгааг хийсэн болно. Судалгааг явуулахдаа дэлхийн шилдэг их дээд сургуулиудын үнэлгээний системийн талаар судалж, улмаар дээрх сургуулиуд дээр хэрэгждэг дэвшилтэт аргуудыг ШУТИС-ийн физикийн хичээл дээр хэрэгжүүлсэн үр дүнг тусгасан болно.

PACS numbers: 01.40.G-, 01.40.-d, 01.10.Hx

Түлхүүр үг: үнэлгээний систем, хичээлийн үр өгөөж, CDIO санаачлага.

I. ОРШИЛ

Оюутныг үнэлэх үнэлгээ нь суралцагсдын тухайн хичээлийг судлах явцад эзэмшсэн мэдлэг, олж авсан дадал дүн шинжилгээ хийх процесс болно. Энэ нь тухайн хичээлийн явц, үр өгөөжийн талаарх мэдээлэл цуглуулж, дүн шилжилгээ хийх боломжийг бүрдүүлэх бөгөөд улмаар хичээлийн үр дүнг сайжруулах, суралцагсдад цэгцтэй мэдлэг олгох бололцоог дээшлүүлэхэд чиглэгддэг [1].

Үнэлгээ нь явцын болон нэгтгэн дүгнэх гэсэн хэсгүүдэд хуваагддаг. Явцын үнэлгээ нь оюутан

тухайн хичээлийг судлах 16 долоо хоногийн туршид хийгддэг бөгөөд оюутанд өмнөө тавьсан зорилгодоо хүрэх болон өөрийгөө хөгжүүлэхэд тус дэм болдог. Оюутан тухайн хичээлийг судалж дууссаны дараа ямар үр дүнд хүрсэн болохыг нэгтгэн дүгнэх үнэлгээгээр баталгаажуулдаг байна.

АНУ-ын судлаач Росси явцын болон нэгтгэн дүгнэх ангилалд үнэлгээг дарах төрлүүдэд ангилдаг бөгөөд сургалтын үе шатнаас хамааран аль төрлийг сонгохыг шийддэг талаар дурдсан байдаг (Хүснэгт 1) [2].

Хүснэгт 1. Үнэлгээний төрлүүд

Үнэлгээний төрөл	Зорилго
Явцын	
Хэрэгцээ шаардлагын үнэлгээ	Тухайн суралцагчдад шаардлагатай байгаа мэдлэг болон энэхүү шаардлагыг хангахын тулд юуг хэрхэн хийхийг тодорхойлоход чиглэгддэг.
Үнэлгээг хэрэгжүүлэх үе шат	Тухайн сургалтын явцыг дүгнэж тавьсан зорилгодоо хүрч байгаа эсэхийг нягтлахад оршдог.
Нэгтгэн дүгнэх	
Үр дүнгийн үнэлгээ	Тухайн хичээлийн хүрээнд тавигдсан зорилтын хэдэн хувьд хүрсэн болохыг харуулдаг. Энэ үр дүн нь суралцагсдын мэдлэг дээшилсэн байдал, дадал, эзэмшсэн ур чадварыг үнэлэхэд тусалдаг.
Нөлөөллийн үнэлгээ	Хичээлийг судалсны дүнд ямар өөрчлөлт гарсаныг тогтоох бөгөөд эдгээр нь тухайн суралцагчийн мэдлэг болон сурлагын байдалд ямар нөлөөлөл үзүүлснийг тодорхойлно.

Дээрх хүснэгтээс үзвэл тухайн хичээлийн үр дүнг сайжруулах, оюутанд олгох мэдлэгийг үр өгөөжтэй болгоход үнэлгээний системийг боловсронгуй болгох шаардлагатай нь нэгэнт тодорхой юм. Ийм ч учраас дэлхийн шилдэг их дээд сургуулиуд сургалтын төлөвлөгөөг хийхдээ үнэлгээний системийн талаар нарийвчилсан судалгаа явуулж, үнэлгээний системийг

боловсронгуй болгох байдлаар сургалтын чанар, үр өгөөжийг тодорхой хувиар дээшлүүлдэг байна.

Энэ байдлыг харгалзан үзэж ШУТИС-ийн нийт оюутнуудын судалдаг ерөнхий суурь хичээлүүдийн нэг болох физикийн хичээлийн үнэлгээг боловсронгуй болгох чиглэлийн судалгааг хийж үнэлгээний системийн шинэ

* Electronic address: munerd@yahoo.com

хувилбарыг туршиж, тодорхой үр дүнд хүрч байна.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

ШУТИС нь эрхэм зорилгын хүрээнд дэлхий нийтэд хүлээн зөвшөөрөгдсөн сургалтын систем болох кредитийн тогтолцоонд шилжээд 20 гаруй жилийн нүүрийг үзэж байна. Тус системийг бүрэн утгаар нь хэрэгжүүлснээр оюутнууд өөрийн хичээллэх цаг, хичээл заалгах багшаа өөрсдөө сонгон, ангийн систем үгүй болж улмаар оюутнууд өөрсдийн цаг заваа тооцоолон бие даан суралцаж, хичээлийн хажуугаар хөдөлмөр эрхлэх болон судалгааны ажил түлхүү хийх боломжтой болсон давуу талтай.

ШУТИС-ийн 2021 он хүртэлх хөгжлийн стратегийн замын зураглалд “Олон улсын инженерийн боловсролын шинэчлэлийн “CDIO”-ын санаачилгад нэгдэн орж стандартуудыг нэвтрүүлнэ” гэсэн зорилтыг тодорхойлсон байдаг. Үүний дагуу 2014-2015 оны хичээлийн жилээс ШУТИС-ийн 3 хөтөлбөрт CDIO-ийн стандарт арга зүйг туршин нэвтрүүлж эхэлсэн бөгөөд 2016-2017 оны хичээлийн жилээс салбар тэнхим бүр хамгийн багадаа 1 хөтөлбөрт CDIO-ийн стандарт арга зүйг хэрэгжүүлж эхлэх болсон [3].

2014-2015 онуудад ШУТИС нь бакалавр, магистр, докторын хөтөлбөрийн шинэчлэл хийж улмаар ШУТИС-ийн зарим хөтөлбөрүүд олон улсын магадлан итгэмжлэлд орж эхэлсэн. Мөн өндөр мэргэжлийн 1000 инженер, судлаач инженерүүдийг Япон улсад ойрын есөн жилийн хугацаанд бэлтгэх төсөл өнгөрсөн оноос эхлэн хэрэгжиж байгаа ба энэ төслийн ихэнх ажил нь ШУТИС дээр түшиглэн хэрэгжиж байна. Энэ утгаараа ерөнхий суурь хичээлүүдийг зааж байгаа багш нарт тавигдах шаардлага өндөрсөж байна.

Дээрх үндэслэлүүдээс ерөнхий суурь хичээлүүдийн агуулгын шинэчлэлийг хийж, оюутанд олгох ерөнхий мэдлэг ур чадвар, чадамжуудыг илүү шинэлэг талаас нь олгох, оюутны мэдлэгийг оновчтой зөв үнэлэх шаардлага гарч байна

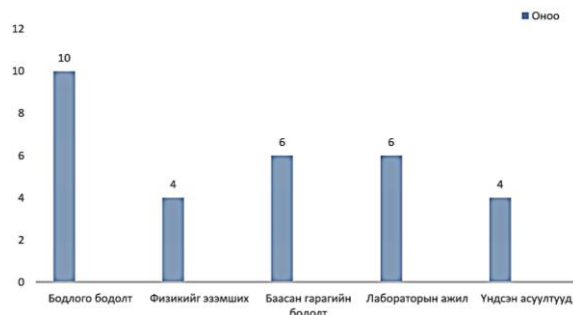
III. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

А. Дэлхийн тэргүүлэх их сургуулиудын физикийн хичээлийн үнэлгээний талаар

Бид дэлхийн тэргүүлэх 20 гаруй их сургуулиудын үнэлгээний системд судалгааг хийсэн бөгөөд сургууль бүрийн хувьд физикийн хичээлийг харилцан адилгүй үнэлдэг болох нь харагдсан. Эдгээрээс жишээ болгон дэлхийн тэргүүлэх их сургуулиудын нэг болох АНУ-ын

Массачутсын технологийн дээд сургууль (МТДС) болон Их Британийн Кэмбрижийн Их сургуулийн (КИС) физикийн хичээлийн үнэлгээний системд судалгаа хийсэн.

Жишээ 1 - МТДС. Энэ сургуулийн хувьд үнэлгээний харьцаа 30:70 байх бөгөөд оюутан хичээлийг судлах явцад 30 оноо (Зураг 1), шалгалтаар 70 оноо авдаг байна. Оюутан улирлын туршид бие дааж ганцаарчилсан бодлого бодохын зэрэгцээ физикийн мэдлэгийг хэрхэн эзэмшсэнийг харуулах бичгийн ажлууд гүйцэтгэдэг байна. Үүний зэрэгцээ “Баасан гарагийн бодолт” нэртэйгээр багийн ажиллагааг харуулах бодлого бодолтын тэмцээнд оролцдог ба багууд ижил бодлогыг бодож хоорондоо мэтгэлцэх байдлаар оноо цуглуулдаг. Мөн улирлын туршид онолын мэдлэгийг бататгах дадлага ажил хийх бөгөөд дадлага бүрийн төгсгөлд тайлан бичиж хамгаалдаг байна. Энэ байдлаар явцын 30 онооны 75%-иас доошгүй хувийн гүйцэтгэлтэй оюутнууд улирлын эцсийн шалгалтанд ордог болно [4].



Зураг 1. МТДС-ийн физикийн хичээл судалж буй оюутнуудын явцын үнэлгээний задаргаа

Шалгалтыг улирлын төгсгөлд хоёр удаа авах бөгөөд эхний шалгалт нь олон хувилбарт тестүүд бүхий 25 онооны шалгалт байдаг. Хоёрдугаар шалгалт 45 оноогоор үнэлэгдэх бичгийн шалгалт байх ба энэ шалгалт нь асуултанд хариулж бичих даалгавар болон бодолт хийх хэсгүүдээс бүрддэг.

Жишээ 2 – КИС. Энэ сургуулийн хувьд 0:100 гэсэн харьцаагаар оюутны мэдлэгийг үнэлэх бөгөөд оюутан хичээлийн явцад мэдлэг олгох хичээлүүд (Лекц), мэдээлэл боловсруулж, бодлого бодох (Семинар) болон туршилт судалгааны ажлууд (Лаборатори) гэсэн хичээлүүдийг судалдаг байна. Багш улирлын туршид ирцийн бүртгэл хөтлөх бөгөөд хичээлийн 80%-иас багагүй ирцтэй оюутан шалгалт өгөх эрх нээгдэнэ. Улирлын төгсгөлд шалгалтанд орох шаардлага хангасан оюутнууд мэргэжлийн онцлогоос хамааран I ба II түвшний 100 оноогоор үнэлэгдэх 3 үе шат бүхий шалгалтыг өгдөг. Шалгалтын агуулга нь олон хувилбарт тестүүд, бичгийн ажил болон

лабораторын ажлын үр дүнг шалгах бичгийн шалгалтуудаас тогтдог байна (Хүснэгт 2) [5].

Хүснэгт 2. КИС-ийн улирлын төгсгөлийн шалгалтын үнэлгээ

I түвшин	II түвшин
1-р шалгалт- 30 оноо (45 минут) Физикийн энгийн ойлголтуудыг агуулсан тус бүр 4 сонголттой – 40 асуултуудаас бүрддэг	1-р шалгалт- 30 оноо (45 минут) Физикийн гүнзгийрүүлсэн ойлголтуудыг агуулсан тус бүр 4 сонголттой – 40 асуултуудаас бүрддэг
2-р шалгалт- 50 оноо (1 цаг 15 минут) Энгийн түвшний асуултанд хариулах дасгал бүхий бичгийн шалгалт	2-р шалгалт- 50 оноо (1 цаг 15 минут) Гүнзгийрүүлсэн түвшний асуултанд хариулах дасгал бүхий бичгийн шалгалт
3-р шалгалт- 20 оноо (1 цаг 15 минут) Лабораторын ажилтай холбоотой асуултанд хариулах бичгийн шалгалт	3-р шалгалт- 20 оноо (1 цаг 15 минут) Лабораторын ажилтай холбоотой асуултанд хариулах бичгийн шалгалт

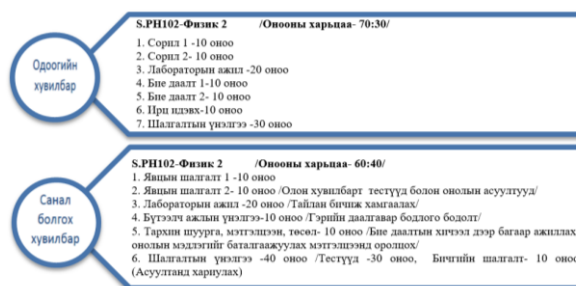
Дэлхийн бусад их дээд сургуулиудын үнэлгээний харьцааг авч үзвэл дийлэнх сургуулиуд оюутны мэдлэгийг 60:40 харьцаагаар үнэлдэг болох нь харагдсан.

Дээрх судалгаанаас үзвэл оюутан улирлын туршид тасралтгүй суралцах шаардлагатай нь харагдаж байгаа болно. Энд оюутны мэдлэгийг үнэлэхэд шалгалтын оноо голлох (тэргүүлэх) үүрэгтэй байгаа тул оюутан бусдад найдалгүйгээр зөвхөн өөрийн хүчин чармайлтаар мэдлэгийг олж авах, тууштай шаргуу байх, хөдөлмөрлөх, ажлыг цаг тухайд нь хийж гүйцэтгэх зэргээр өндөр мэргэжилтэй боловсон хүчинг бэлтгэх бүхий л шаардлагуудыг хичээлийг судлах явцад олж эзэмшиж буй нь харагдаж байна.

Хичээлийн явцад оюутнууд мэдлэгээ бататгаажуулах зорилгоор мэтгэлцээн зохион байгуулах, илтгэл хэлэлцүүлэх, багаар даалгавар гүйцэтгэдэг байна. Үүний зэрэгцээ оюутнуудын бичгийн чадварыг сайжруулах үүднээс дадлага ажил бүрт тохирсон тайлан бичих зэргээр хувь хүний төлөвшил, багаар ажиллах, бие дааж ажиллах, өөрийгөө илэрхийлэх зэрэг бүхий л дадал чадваруудыг олгодог байна.

Б. ШУТИС-ийн физикийн хичээлийн үнэлгээний талаар

Манай улсын хувьд үнэлгээний кредит системийг хэрэгжүүлж эхлэхээс өмнө тухайн хичээлийн үнэлгээг хичээл зааж буй багш тогтоодог байсан бөгөөд оюутны мэдлэгийг явцын шалгалт болон төгсгөлийн шалгалтын онооны нийлбэрээр үнэлдэг байжээ. Энэ үед багш бүр өөрийн гэсэн үнэлгээний системийг баримталж, оюутныг харилцан адилгүй байдлаар үнэлдэг байсан нь зарим талаар оюутны үнэлгээнд сөрөг байдлыг авчирсан талтай.



Зураг 2. ШУТИС-д одоо хэрэгжиж буй болон санал болгож буй үнэлгээний систем.

Тухайн хичээлийг судалж буй оюутныг үнэлэх үнэлгээний систем нь кредитийн тогтолцооны тулгуур хэсгүүдийн нэг бөгөөд ШУТИС-ийн хувьд бүх хичээлийн үнэлгээ нь явцын 70 (Зураг 2), шалгалтын 30 хувийн гэсэн харьцаатай байдаг. Үүний зэрэгцээ оюутан 61-ээс дээш хувийн үнэлгээ авсан тохиолдолд тухайн хичээлд тэнцдэг тул сүүлийн үед оюутнуудын багагүй хувь нь багшаас өндөр оноо авч тухайн хичээлд тэнцэх босго оноог давах сонирхол давамгайлдаг болсон байна. Энэ нь нэг талаас оюутны хичээлд оролцох оролцоог сайжруулж байгаа ч нөгөө талаас багшаас өндөр оноо авсан тохиолдолд улирлын шалгалтанд хандуулах ач холбогдлыг бууруулж, улмаар сургалтын чанарт сөргөөр нөлөөлсөн нь нэгэнт тодорхой болжээ.

Энэхүү харьцуулсан судалгааны үр дүнг үндэслэн физикийн хичээлийн үнэлгээний шинэ хувилбар боловсруулж, ШУТИС-ийн физикийн 21 багш болон физикийн хичээл судалж буй 919 оюутанаас 70:30 харьцаа хир тохиромжтой болох талаар цаасан болон онлайн санал асуулга авсан болно. Санал асуулгад оролцсон оюутнууд болон багш нар 70:30 харьцааг тохиромжгүй гэж хариулсан болно. Оюутнуудын хувьд багшаас авах үнэлгээг нэмэгдүүлэх сонирхолтой байсан бол, багш нар эсрэгээрээ 50:50, 60:40 болгож багшийн оноог бууруулах саналыг өгсөн. Энэ

байдлыг харгалзан үзэж Зураг 2-т үзүүлсэн 60:40 харьцаа бүхий үнэлгээний шинэ хувилбарыг санал болгож ИТДБ төслийн 2,5+2 хөтөлбөр, МТС-ийн CDIO, МТС-ийн ердийн ангийн оюутнуудад туршсан болно.

Энэхүү туршилтанд оюутнууд уламжлалт байдлаар бие даалтын ажил гүйцэтгэхийн сацуу бие даалтын бодлогыг тайлбарлах, сонгогдсон бодлогын бодолтыг дэлгэрэнгүй ТАЙЛБАРТАЙ хийж гүйцэтгэх, бичгийн ажил хийх, илтгэл хэлэлцүүлэх, мэтгэлцэх зэргээр бие даалтын ажлаа үнэлүүлсэн байна. Явцын шалгалтыг тест болон бичгийн ажил хосолсон даалгавартайгаар авсан бөгөөд шалгалтын дундаж дүн өмнөх жилийнхээс буурсан хэдий оюутнууд бодлого бие дааж бодох оролдлого хийдэг болсон нь шалгалтын материал дээрх бодолтын үр дүнгээс харагдсан болно. Дадлага хичээлийн хувьд оюутнууд багт хуваагдаж багаараа хэмжилтийг авч, тооцоо хийн, үр дүнг багшид шалгуулж, хамгаалах байдлаар явагддаг. Үүний үр дүнд оюутнууд онолын мэдлэгээ бататгахын зэрэгцээ багаар ажиллах чадвартай болдог. Бидний хувьд лабораторийн хичээлийн үр өгөөжийг нэмэгдүүлэх үүднээс 9-р долоо хоногоос лабораторийн хичээлд оюутан бүр хамгийн багадаа 1 нүүр тайлан бичиж эхэлсэн. Тайлан бичсэнээр оюутны бичгийн чадвар, дүгнэлт хийх чадвар дээшилж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

1. Багш бүр 60:40 гэсэн задаргааг хичээлийн бүрийн онцлогоос хамааран шинэчлэх бүрэн боломжтой байна.
2. Оюутныг үнэлэх шинэ системийг туршихдаа хамгийн гол нь оюутны идэвхийг өрнүүлэх зорилгоор идэвхитэй сургалтын аргыг хэрэглэсэн нь илүү үр дүн өгч байна. Ингэснээр оюутны идэвхи болон бие даан суралцах чадварыг дээшлүүлэхээс гадна тэдний мэдлэгийг бодитойгоор үнэлэх чухал ач холбогдолтой юм.
3. Багшийн 60 оноог тооцохдоо оюутан заавал хийж байж оноогоо авдаг механизмуудыг суулгаж өгснөөр хичээл тасалдаг, идэвхигүй оюутнуудын тоо буурч, оюутнуудын хичээлд хандах хандлага, оролцоо, идэвхи илүү нэмэгдэх хандлага ажиглагдсан. Өөрөөр хэлбэл оюутан улирлын турш тасралтгүй хөдөлмөрлөж байж багшийн 60 оноо авч, цаашид шалгалтандаа амжилттай үнэлгээ авах нөхцөл бүрдэх юм.
4. Улирлын шалгалтыг 40 оноогоор үнэлэхэд оюутны хариуцлага илүү өндөрсөж, хичээлд байнгын бэлтгэлтэй оролцдог, мэдлэгээ цэгцэлдэг, уншдаг, бие дааж хөдөлмөрлөдөг, шалгалтанд бэлтгэдэг болно.
5. 60:40 харьцаагаар оюутныг үнэлэхэд багшаас бэлтгэл ажил ихийг шаардаж байгаа тул багшийн ажлын ачаалал нэмэгдэж байгаа хэдий ч тухайн хичээлийн үр дүнд сайнаар нөлөөлнө.

V. АШИГЛАСАН НОМ ХЭВЛЭЛ, ЦАХИМ ХУУДАС

- [1] M.Q.Patton. How to Use Qualitative Methods in Evaluation. SAGE Publications, 176, 1987.
- [2] Rossi R H., Lipsey, M. W., & Freeman. H. E. (2004). Evaluation: a systematic approach Thousand Oaks. Call.: Sage Publications.
- [3] <http://www.must.edu.mn/mn/pdf/2090.pdf>
- [4] <http://tl.mit.edu/help/course-evaluations>
- [5] <http://www.cambridgeassessment.org.uk/our-research/areas-of-expertise/evaluation-of-assessment/>

Лазерийн Удирдлагат Халуун Цөмийн Нэгдэл Явагдах Зайлшгүй Нөхцөлийн Онолын Тооцоолол ба Түүний Үндсэн Параметруудийн Хамаарал

Ж.Далхсүрэн*

ШУТИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль

Лазерийн удирдлагат халуун цөмийн нэгдэх урвалын хурд температураас хамаарах хамаарал, лазерийн үйлчлэлээр плазмын температур, ионуудын хурд, концентраци зэрэг физик хэмжигдэхүүнүүд лазерийн цацрагийн энерги, чадал, эрчимээс хэрхэн хамаарч байгааг онолын тооцоолол, загварчлалын аргаар судлаж үзлээ. Хөнгөн элементийн цөмүүд $10^8 - 10^9\text{K}$ температуртай плазмд хувирсан үед тэдний нэгдэх урвал маш бага хугацаанд эрчимтэй явагдах нөхцөл нь бүрддэг. Судалгааны тооцооллоор бол лазерийн цацрагийн импульсын энерги нь $1-8\text{МЖ}$, чадал нь $10^{15} - 10^{18}\text{Вт}$, эрчим нь $10^{19}-10^{22}\text{Вт/см}^2$ байхад дээр дурдсан өндөр температуртай плазмыг гарган авч болохоор байна. Ийм температурын үед даралт хэдэн зуун мегабараас хэдэн арван гигабарт хүрч плазм дотор байгаа цөмийн түлшийг өөрөөр хэлбэл дейтери ба тритийн холимогийг $90-300\text{г/см}^3$ нягттай болтол адиабатаар шахаж агшаах боломжтой болж байна. Ийм даралтын үйлчлэлээр $1\text{нс}-10\text{пс}$ хугацаанд адиабатаар агшсан хийн холимогийн (цөмийн түлшний) температур $10^8 - 10^9\text{K}$ хүрэх агшинд хөнгөн элементийн халуун цөмүүд цөмийн түлхэх хүчийг ялан давж хоорондоо нэгдэх урвал эрчимтэй явагдах нөхцөл бүрдэж байна.

Түлхүүр үг: даралт, температур, нягт, энерги, чадал.

УДИРТГАЛ

Хүн төрөлхтөн шинжлэх ухааны шинэ, дэвшилтэт техник, технологийг ашиглан хөнгөн элементүүд буюу халуун цөмүүд нэгдэх процессыг удирдаж чаддаг болчихвол эрчим хүч, энергийн асар их нөөцийг ашиглах боломж нээгдэнэ гэж үздэг. Хэрэв халуун цөмүүд нэгдэх үед ялгарах асар их хэмжээний энергийг ашиглаж эхэлбэл хатуу түлш (нүүрс, мазут гэх мэт) хэрэглэх шаардлагагүй болно.

Өнөөдөр лазерийн техник, технологийн дэвшилийг ашиглан халуун цөмийн нэгдлийг удирдан жолоодох цаг тун ойрхон байна. Лазерийг бүтээж, лазерийн цацрагийг гарган авсан тэр цагаас хойш өндөр нягтралын энергитэй, чадлын их нягтралтай цацрагийн импульсыг гарган авах чиглэл дээр эрдэмтэд уйгагүй ажиллаж ирсэний дүнд 1.8МЖ хүртэл энергитэй 10^{17}Вт чадалтай, 10^{21}Вт/см^2 эрчимтэй, $1\text{нс}-10\text{пс}$ хүртэл үргэлжлэх хугацаатай цацрагийн импульс гаргадаг орчин үеийн лазерийг бүтээгээд байна.

Үүнтэй нэгэн зэрэг дээр дурдсан чадлын өндөр нягтралтай импульсээр халуун цөмийн нэгдлийг удирдан явуулах боломжийн талаар өнөөг хүртэл тасралтгүй эрэл хайгуул, судалгаа хийсээр ирлээ. Энэ чиглэлээр хийгдсэн судалгааны дүнгүүд энергийн өндөр нягтралтай лазерийн импульсыг гарган авч чадвал халуун цөмийн нэгдэл явагдах нөхцлийг бүрдүүлээд

зогсохгүй халуун цөмийн урвалыг удирдан явуулах боломжтой гэдгийг харуулаад байна.

Хөнгөн элементийн цөмүүд нэгдэх гол нөхцөл нь 10^6-10^7K температуртай орчин буюу плазм байдаг. Энэ орчинг бүрдүүлэхийн тулд лабораторын нөхцөлд 10^6-10^7K температуртай халуун плазмыг үүсгэх явдал юм. Байгаль дээрхи үүний тод жишээ бол нар юм. Ийм плазмыг үүсгэх, зогсоох, температурыг тохируулах зэрэг үйл ажиллагааг удирдан явуулж чадвал халуун цөмийн нэгдэлийг удирдах бүрэн боломжтой болно гэсэн үг. Энэхүү боломжийг зөвхөн өндөр чадлын лазерийн цацрагийн импульсээр $10^{-9}-10^{-12}\text{с}$ хугацаанд тусгай бодист үйлчлэх замаар бүрдүүлж боломжтой гэдгийг олон тооны туршилтууд нотлон харуулж байна. Лазерийн 10^{22}Вт/см^2 эрчимтэй $1\text{нс}-20\text{пс}$ үргэлжлэх хугацаатай импульсээр бодист үйлчлэхэд 10^6-10^7K температуртай $100\text{Мбар}-200\text{Гбар}$ даралттай, $10^{16}-10^{17}\text{Ж/см}^3$ энергийн нягттай халуун плазм үүсдэг. Ийм халуун плазм дотор байрлаж буй цөмийн түлш буюу хатуу ба хийн төлөвт байгаа хөнгөн элементүүдийн холимог (дейтери+тритий) $100\text{Мбар}-20\text{Гбар}$ даралттай болтлоо адиабатаар шахагдан агшиж температур нь $10^8 - 10^9\text{K}$ —д хүрч улмаар халуун цөмийн нэгдэх урвал маш идэвхитэй явагдана.

* Electronic address: jdalkhsuren@yahoo.com

ҮНДСЭН ХЭСЭГ

I. Плазмын төлөв болон энергийн балансыг тодорхойлогч хэмжигдэхүүнүүд температураас хамаарах хамаарал

Халуун цөмийн нэгдлийн хувьд энергийн балансын нөхцөл болох Лоусоны критери нөхцөл:

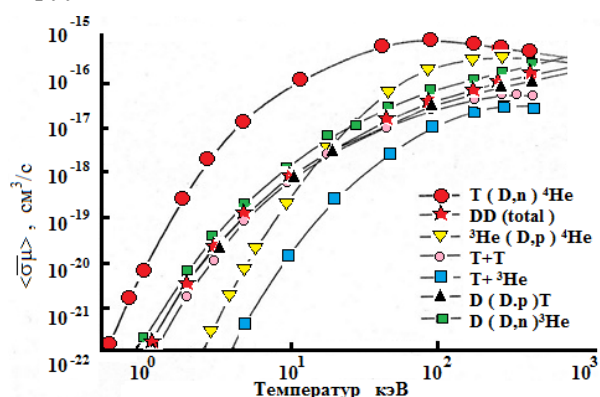
$$n \cdot \tau \approx \frac{\rho \cdot r}{4 \cdot c \cdot m} \approx 2 \cdot 10^{14} \frac{c}{\text{см}^3} \quad (1)$$

$$10^8 \text{ К үед } n\tau > 10^{14} \frac{c}{\text{см}^3} \quad \text{ба}$$

$$10^9 \text{ К үед } n\tau > 10^{16} \frac{c}{\text{см}^3} \quad (2)$$

томъёонуудаар тодорхойлогдоно.

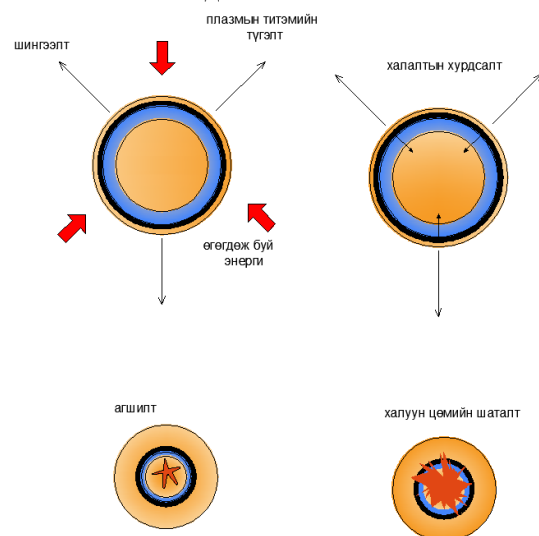
Плазм нь (1) томъёоны нөхцөлийг хангаж байгаа тохиолдолд түүн дотор байгаа халуун цөмүүд нэгдэх нөхцөл бүрдэнэ. Харин халуун цөмүүд (2) томъёоны нөхцөлийг хангаж байвал тэд цөмийн түлхэх хүчийг давж хоорондоо нэгдэж чадна. Ийнхүү халуун цөмийн урвалийн хурд нь температураас хамаарах хамаарал дейтерий трититэй нэгдэх урвалыг бодитой болгох гол нөхцөл нь болж байгаа юм. Энэхүү урвалыг идэвхитэй явуулахын тулд 2-10 кэВ энерги шаардагдана гэсэн тооцоо гарч байгаа юм. Халуун цөмийн плазмын гүйдлын (нисэлтийн) хурд нь ойролцоогоор 10^8 м/с байна. Үүний тулд 10^{-1} см диаметртэй бөмбөлөг биет-цөмийн түлшний хувьд тодорхойлогч хугацаа нь 1нс байна. Ийм халуун цөмийн урвалын хувьд энергийн балансын нөхцөл нь Лоусоны эгзэгт нөхцөлийг хангаж байгаа бөгөөд $\rho r \approx 0.1 + 3g/\text{см}^2$ байх нь тодорхой болж байна. Халуун цөмийн нэгдэх урвалын хурд температураас хамаарах хамаарлыг (зураг 1)- д харуулав.



1 дүгээр зураг. Хөнгөн цөмүүдийн нэгдлийн хурд температураас хамаарах график.

Энэ нөхцлөөр бол цөмийн түлшний нягт хэдэн зуун г/см³ болтлоо шахагдаж агших шаардлагатай болно. 10кэВ температурын үед 100-200Гбар хэмжээний асар их даралт үүснэ. Халуун цөмийн нэгдэх урвалын дүнд 500Мж энерги ялгаруулахын тулд 3мг дейтери ба

тритийн холимог түлш шахагдах ба түүний диаметр ойролцоогоор 300мкм байна. Лазерийн цацрагаар үйлчлэх үед түлшний төв хэсэгт түүний нягт 90г/см^3 болж энэ үед түлшийг шахааж агшаах плазмын даралт нь 13.5Гбар, энерги нь 30кЖ болно. Имплэзын хурд $1.4 \cdot 10^7$ см/с хүрсэн байна. Байны бүтэц, драйверын сонголтоос хамаарч эдгээр параметрууд мэдэгдэхүйц өөрчлөгдөж болно. Халуун цөмийн бай дээр явагдах ажлын процессын схемийг (зураг 2.-д харуулав. Драйвераас гарсан буюу өгч буй энергийн урсгалын үйлчлэлээр түлшний гадаад гадарга халж улмаар плазм үүсч, түүний титэм хална. Титмийн хөдөлгөөний өөрчлөлтийн хурд, ионуудын (урсгалын) хөдөлгөөний чиглэл байруу чиглэсэн энергийг зөөгч цацрагийн эсрэг байна. Энэ хоёр чиглэлийн харилцан үйлчлэлийн дүнд үүссэн шахалтийн импульс бай дотор агшилтын буюу шахалтын долгионыг хэлбэршүүлнэ. Энэ долгион байны төвд фукуслагдана. Түлшний агшилт максимум утгандаа хүрэх тэр агшинд түүний төвд халуун цөмийн шаталт явагдаж эхэлнэ. Энэхүү шаталт (цөмийн урвал) долгион хэлбэрээр гадагш өрнөнө. Энэ үед цөмийн түлшний температур 10^8 - 10^9 К, даралт хамгийн их утга буюу хэдэн арван гигабар болно. Энэ нь халуун цөмийн нэгдэл явагдах нөхцөл бүрэн биелэсэн байна гэдгийг нотлож байгаа юм.



2 дугаар зураг. Халуун цөмүүд нэгдэх процессын шатлалын схем.

Инерцийн тогтоолтой лазерийн удирдлагат халуун цөмийн урвалын ийм схемийг “шууд үйлчлэл”-ийн арга гэж нэрлэдэг. Түлшний адиабат агшилт, шаталт нь $P=100\text{Мбар}$ даралт, $T=10^6\text{К}$ температуртай плазмын үйлчлэл дор явагдаж байна. Энэхүү плазм нь байны гадарга дээр фукуслагдсан лазерын цацрагийн шууд үйлчлэлээр үүсгэгддэг. Өнөө үед судлаачид шууд үйлчлэлийн халуун цөмийн түлшний

(байны) олон тооны бүтцийг санал болгож байна. Тэдгээрийн гаргах энергийн нягт нь 10^{16} - 10^{17} Ж/см³ хүрч байгаа нь астрофизик нөхцөлтэй дүйцэхүйц байна.

II. А. Ойролцоогоор 2,5 мм диаметр бүхий бөмбөлөг хэлбэрийн 3мг дейтери ба тритийн холимогийг 300мкм диаметртэй бөмбөлөг болтол агшаах үед тэдгээрийн халуун цөмүүд нэгдэх урвалын онолын тооцоолол.

Ойролцоогоор 2.5мм диаметр бүхий бөмбөлөг хэлбэртэй 3мг дейтери ба тритийн холимоогоос тогтсон цөмийн түлшийг 25480 Ж энергийн үйлчиллээр 14Гбар даралттай, 93 Г/см^3 нягттай, $d \approx 300 \text{ мкм}$ диаметртэй, 1.8

$\cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ эзэлхүүнтэй болтол шахан агшаах үед цөмийн түлшний температур, даралт, нягт, концентраци, ионуудын хурд зэрэг параметруудийг тодорхойлж тэдгээрийн харилцан хамаарал, уялдаа холбоог нарийвчлан тогтооход судалгааны зорилго оршино. Гадаад плазм ба цөмийн түлшний бүтцийг загварчилж, бүх эзэлхүүнд даралтыг тогтмолоор авч харин муж тус бүрт энергийн хувиарлалт хийх аргаар муж тус бүрийн үндсэн параметруудийг тодорхойллоо. Онолын тооцооллоор гарч ирсэн физик хэмжигдхүүнүүд туршилтын өгөгдлүүдтэй ойролцоо байна. Цөмийн түлшний эзэлхүүнийг 3 мужид (бүсэд) хувааж, муж тус бүрийн үндсэн параметруудийг онолын тооцооллоор тодорхойлсон ба тооцооны дүнг хүснэгт 1-д харууллаа.

Хүснэгт 1.

$P_1 = 14 \cdot 10^{14} = 14 \text{ Гбар}$	$V_1 = 2.5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3$	$N_1 = 75 \cdot 10^{16}$
$P_2 = 14 \text{ Гбар}$	$V_2 = 5.2 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3$	$N_2 = 53 \cdot 10^{18}$
$P_3 = 14.3 \text{ Гбар}$	$V_3 = 10.28 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3$	$N_3 = 6.66 \cdot 10^{20}$
$n_1 = 3 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3} = 3 \cdot 10^{25} \text{ см}^{-3}$	$\rho_1 = 1.25 \text{ Г/см}^3$	$T_1 = 3.4 \cdot 10^8 \text{ К}$
$n_2 = 1.02 \cdot 10^{31} \text{ м}^{-3} = 1.02 \cdot 10^{25} \text{ см}^{-3}$	$\rho_2 = 41.5 \text{ Г/см}^3$	$T_2 = 10^7 \text{ К}$
$n_3 = 6 \cdot 10^{31} \text{ м}^{-3} = 6 \cdot 10^{25} \text{ см}^{-3}$	$\rho_3 = 250 \text{ Г/см}^3$	$T_3 = 1.6 \cdot 10^6 \text{ К}$
	$\bar{\rho} = 93 \text{ Г/см}^3$	

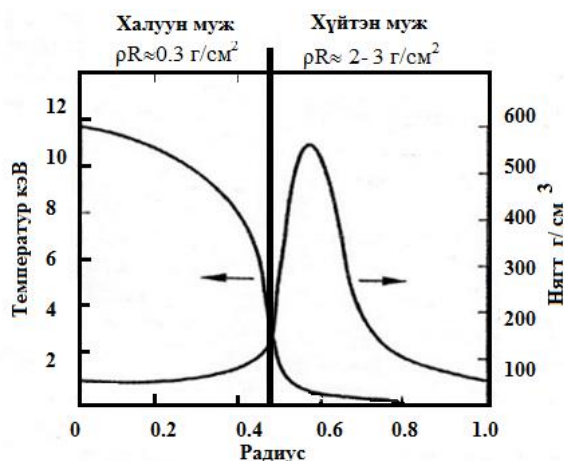
Хүснэгтэнд бичигдсэн онолын тооцооны өгөгдлүүдээс анализ хийж үзвэл цөмийн түлшний эзэлхүүнийг температураас нь хамааруулан халуун ба хүйтэн гэсэн хоёр мужид ангилж болохоор байна. Энэ хоёр мужид температураас гадна холимогийн нягт түүний радиусаас хамааралтайгаар огцом өөрчлөгдөж байна. Тэдгээрийн хамаарлыг (зураг 3.)-д харуулав. Графикаас харахад бөмбөлөгийн төвөөс гадагшлах тутам температур хамгийн их утгаасаа огцом буурч радиусын тодорхой утганд бууралт тогтворжсон тэр мужаас цөмийн плазмын нягт огцом нэмэгдэж улмаар радиусын тодорхой утганд огцом буурч байна. Нягтын огцом бууралт зогссон тэр үеээс цааш төгсгөл хүртэл нягт тогтворжиж, температур бас тогтворжиж байна. Температур огцом буурах мужид нягтын огцом өсөлт эхлэж цааш температур аажмаар буурах мужид нягтын огцом өсөлт үргэлжилж улмаар температурын тодорхой утганд огцом бууралт явагдаад температурын тодорхой утганд огцом бууралт зогсож цаашдаа тогтворжиж байна. Өөрөөр хэлбэл температурын хамгийн бага утга тогтмолжсон мужид нягт бага утгаа авч тогтмолжиж байна. Эндээс дүгнэж үзвэл, цөмийн түлшний нягт зарим мужид

температураас огцом харин тодорхой мужид аажим хамааралтай байна.

В. Энэхүү лазерийн удирдлагат халуун цөмийн урвалыг явуулахад зайлшгүй шаардагдах лазерийн цацрагийн энерги, чадал, ба эрчимын тооцоолол:

Түлшний 1-р мужид лазерийн цацрагийн өгсөн эрчим $42 \cdot 10^{18} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ харин нэг импульсийн эрчим $10^{18} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ байх тул байд үйлчилсэн импульсийн тоо 42 ширхэг байна. Түлшинд өгсөн лазерийн цацрагийн нийт энерги $W = 25452 \text{ Ж}$ учираас нэг импульсийн энерги нь $W_{\text{имп}} = \frac{25490 \text{ Ж}}{42} = 606 \text{ Ж}$ тул нэг импульсын чадал $N_{\text{имп}} = I_{\text{имп}} \cdot S = 5 \cdot 10^{14} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ харин нэг импульсийн үргэлжлэх хугацаа 1.2пс байна. Нэгдүгээр мужид цөмийн ионуудыг тогтоон барих хугацааг халуун цөмийн урвал зайлшгүй явагдах $T = 3.8 \cdot 10^8 \text{ К}$ үед $n_1 \tau_1 > 10^{14} \frac{\text{с}}{\text{см}^3}$ байх ёстой гэсэн нөхцлөөс олбол: $\tau > 3.3 \cdot 10^{-10} \text{ с} = 0.33 \text{ нс}$ болно. Энэ нь нэгдүгээр мужийн ионуудыг буюу цөмүүдийг 0,33нс – ээс дээш хугацаанд тогтоон барих шаардлагатай гэсэн үг юм. Ингэхийн тулд 1,2 пс хугацаатай 42ш импульсээр 275-аас доошгүй удаа үйлчилнэ. Ингэснээр 3мг цөмийн түлшийг нэгдэх урвалд оруулахад нийтдээ 7МЖ лазерийн цацрагийн

энерги зарцуулна гэсэн тооцоо гарч байна. Энэ үедгадаад плазмын ионууд цохилтот долгионы болон лазерийн цацрагийн гэрлийн даралтын үйлчлэлээр $14 \cdot 10^{14}$ Па даралтанд байна. Энэ даралтын үйлчлэлээр цөмийн плазм 300 мкм диаметртэй бөмбөлөг болтлоо шахагдаж агшсан байна. Энэ үед цохилтот долгионы (рентген туяаны) энерги цөмийн плазмын төвд (фокуслагдаж) төвлөрөх үед цөмийн түлшний температур $3.2 \cdot 10^8$ К болж цөмийн нэгдэл буюу урвал явагдана. Плазмыг шахаж агшаах цохилтот долгионы энергийн зарим хэсэг нь гадаад, дотоод плазмыг шахаж агшаахад зарцуулагдах ба тодорхой хэсэг нь плазмыг нэвтэрч улмаар байны төвд төвлөрч, цөмийн түлшний энергийг нэмэгдүүлэн халуун цөмийн урвал явагдах нөхцөлийг бүрдүүлж өгнө. Лазерийн цацрагийн нийт энерги нь хатуу бодисыг буюу байг атом, молекулын түвшинд ууршуулах, хайлуулах, уурын атом, молекулуудыг иончлох, ионууд, электронуудад релятив хурд, энерги өгөх, цохилтот долгион үүсгэх, байг шахаж агшаах, гадаад, дотоод плазмыг өндөр даралтанд тогтоон барих зэрэгт зарцуулагдана.



3 дугаар зураг. Цөмийн түлшин доторхи температур ба нягтын түгэлт.

ДҮГНЭЛТ

1. Халуун цөмийн түлшийг температураас нь хамааруулж халуун ба хүйтэн гэсэн 2 мужид хуваан авч үзэж муж тус бүрд явагдах процессуудыг нарийвчлан судлах боломжтой. Халуун мужид температур 2 кэВ - 10 кэВ, хүйтэн мужид 0.125 кэВ – 2 кэВ температур тус тус харгалзаж байна.
2. 10 кэВ температуртай $3 \cdot 10^{23}$ см⁻³ концентрацитай цөмийн түлшний ионуудын нэгдэх урвалыг 0.33 нс хугацаанд тогтоон барихын тулд 7 Мж энерги зарцуулагдана гэсэн тооцоо гарч байна. Лазерийн цацрагийн

импульсийн эрчим энэ үед 10^{18} Вт/см² - аас багагүй байна.

3. Цөмийн түлшний нягт ба концентраци нэгдүгээр мужид хамгийн баг, хоёрдугаар мужид хамгийн их, гуравдугаар мужид нэгдүгээр мужаас арай их өөрөөр хэлбэл ойролцоо байна. Эндээс харахад цөмийн түлшний ионуудын дийлэнх хэсэг нь хоёрдугаар мужид төвлөрдөг байна.
4. Онолын тооцоолол ёсоор халуун плазмын температур 10 кэВ, даралт 100 Мбараас багагүй, ионуудын концентраци 10^{23} см⁻³, ионуудын плазмд байх хугацаа 1 нс орчим байх үед хөнгөн элементийн цөмүүд нэгдэх хамгийн боломжит нөхцөл бүрдэж байна. Ийм параметруудтай халуун плазмыг үүсгэхэд нийтдээ 356 Мж энерги шаардагдана. Хамгийн сүүлийн үеийн өндөр чадалтай лазерийн цацрагийн импульсын энерги 1.8 Ж, хугацаа нь 1 нс байгааг тооцож үзвэл 199 лазерийн цацрагийн импульсээр ионжигч бодист нэгэн зэрэг үйлчлэх хэрэгтэй гэж үзэж байна.
5. Цөмийн түлшийг адиабатаар агшаах гадаад халуун плазмын даралт нь түлшийг халуун цөмийн нэгдэлд идэвхтэй орох хэмжээний нягт, температуртай болтол үйлчилэхэд хүрэлцэхүйц хэмжээтэй байхаас гадна цөмийн урвал өрнөх хугацаанаас багагүй хугацаанд үйлчлэх зайлшгүй шаардлагатай гэдэг нь судалгааны дүнгээс тодорхой харагдаж байна. Халуун цөмийн урвалд оролцогч цөмийн массуудын нэгж эзэлхүүн дэх тоо хэдий чинээ их байна тэдгээрийг тогтоон барих хугацаа төдий чинээ багасана гэсэн дүгнэлт гарч байна.
6. Цөмийн түлшний нягт температураас хамаарах хамаарал муж бүрт эрс өөр өөр байна. Тодруулбал, температурын утгын зарим мужид огцом өөрчлөгдөж зарим утганд маш бага өөрчлөлттэй байна. Температур огцом буурах мужид нягтын огцом өсөлт эхлэж цааш температур аажмаар буурах мужид нягтын огцом өсөлт үргэлжилж улмаар температурын тодорхой утганд огцом бууралт явагдаад температурын тодорхой утганд огцом бууралт зогсож цаашдаа тогтворжиж байна. Өөрөөр хэлбэл температурын хамгийн бага утга тогтмолжсон мужид нягт бага утга авч тогтмолжиж байна. Эндээс дүгнэж үзвэл, цөмийн түлшний нягт зарим мужид температураас огцом харин тодорхой мужид аажим хамааралтай байна.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] Гаранин С.Г. Мощные лазеры их применение в исследованиях физики высоких плотностей энергии. УФН. 2011.
- [2] Фортов В.Е. Шарков Б.Ю. Введение в релятивистскую ядерную физику. Физматлит. 2011.
- [3] Беляев Б.С. Крайнов В.П. Генерация быстрых заряженных частиц и сверхсильных магнитных полей при взаимодействии сверхкоротких интенсивных лазерных импульсов с твердотельными мишенями. УФН. 2008.

Устөрөгчийн Эрчим Хүчийг Монголд Хөгжүүлэх Асуудалд

Н.Норов,* С.Одмаа, Т.Жамьянсүрэн, Г.Энхбаатар, М. Энхбаатар, О.Чимэдцэрэн

МУИС, Цөмийн физикийн судалгааны төв

Манай улсад харьцангуй цэвэр байгалийн хийн нөөц илрээгүй, эрчим хүчний үндсэн нөөц нь нүүрс, уран тул цөмийн эрчим хүчний өндөр температурын хийн реактор ашиглан цахилгаан эрчим хүч болон нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэж экологийн үнэмлэхүй цэвэр устөрөгчийн эрчим хүчийг ойрын ирээдүйд хөгжүүлэх асуудлыг энэхүү ажлаар дэвшүүлэн тавив.

Түлхүүр үг: Устөрөгчийн эрчим хүч, түлшний элемент, өндөр температурын хийн хөргүүрт реактор.

I. УДИРТГАЛ

Франц улсын нийслэл Парис хотод 2015 оны 11-р сарын сүүлчээр болсон хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг багасгах, дэлхийн цаг уурын өөрчлөлтийг сааруулах олон улсын хурлаар дэлхийн 195 улс уур амьсгалын өөрчлөлттэй тэмцэх “Парисын хэлэлцээр” байгуулж, хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг бууруулж, дэлхийн дулаарлын хэмжээг цельсийн 2 хэмээс доош түвшинд хязгаарлахад бүх улс орон бүхий л хүчин чармайлтаа дайчлах талаар онцлон тусгажээ. Өндөр хөгжилтэй АНУ, Япон хоёр гадаадын нүүрсээр ажилладаг цахилгаан станцыг санхүүжүүлэхгүй гэдэг шийдвэр гаргалаа. Дэлхий дахины хүлэмжийн хийн татвар буй болгох хандлагатай байна [1].

Дэлхий дахиныг хамарсан дулаарлаас шалтгаалж АНУ, БНХАУ зэрэг нүүрсний нөөц ихтэй улсууд нүүрс шууд шатаадаг цахилгаан станцууд барихаас татгалзаж эхлээд байна. Манай хойд хөрш ОХУ Европ, Ойрх Дорнод, Ази-Номхон далайн 12 оронд цөмийн 30 реактор барихаар захиалга аваад байна. Урд хөрш БНХАУ 2030 он гэхэд 110 реактор барихаар төлөвлөн ажиллаж байна [2].

Хөгжилтэй болон хөгжиж буй орнууд дэлхий дахиныг хамарсан дулаарлыг бий болгодог хүлэмжийн нүүрсхүчлийн хий CO_2 -г ялгаруулдаггүй, зөвхөн усны уур гаргах экологийн үнэмлэхүй цэвэр устөрөгчийн эрчим хүчийг хөгжүүлэх үндэсний хөтөлбөр боловсруулан эрчимтэй хэрэгжүүлж байна. АНУ 2003 онд “Устөрөгчийн ирээдүйн тухай” хууль баталсан, Япон улс 2020 он хүртэл 4 миллиард доллар зарцуулах устөрөгчийн хөтөлбөр амжилттай хэрэгжүүлж устөрөгчийн хөдөлгүүртэй 10 мянган автомашин зах зээлд гаргаж байна. Японы “Тоёота”, “Хонда”, “Ниссан”, “Мицубиши моторс”, “Судзуки” болон АНУ-ын “Женерал моторс”, “Даймлер Крайслер” зэрэг томоохон автомашин үйлдэрлэгчид устөрөгчийг гарган авах янз

бүрийн арга ашигласан шатахууны станцын төсөлд хамтран ажиллаж байна [3]. Өмнөд солонгос улсын худалдаа, аж үйлдвэр, эдийн засгийн яам 2040 он хүртэл устөрөгчийн эдийн засаг байгуулах төлөвлөгөө 2005 онд баталж, 2040 онд ДНБ-ийн 8%-ийг устөрөгчийн технологийн тусламжтай үйлдвэрлэхээр тусгажээ. Энэтхэг улс 2005 онд “Устөрөгчийн эрчим хүчний үндэсний төлөвлөгөө” боловсруулж 2020 он хүртэл 5.6 тэрбум долларын хөрөнгө оруулалт хийхээр төлөвлөсөн бөгөөд 2020 он гэхэд 1 сая автотээврийн хэрэгсэл замд гарч, 1000 МВт чадалтай устөрөгчийн цахилгаан станц байгуулах ажээ. Ийнхүү устөрөгчийн эрчим хүчний дэлхийн хөгжлийн хандлага нь [4, 5]:

- 2020 онд өрсөлдөх чадвартай устөрөгчийн автомашин, 2030 онд устөрөгчийн удаан хадгалах төхөөрөмж гарч, гэрийн түлшний элементээр цахилгаан үйлдвэрлэх болно.
- 2040 онд устөрөгчийн эрчим хүч зонхилох,
- 2050 онд устөрөгчийн нисэх онгоц бий болох төлөвтэй байна.

Манай улс ч гэсэн эрчим хүчний энэ альтернатив чиглэлийг сонгон хөгжүүлж, дэлхийн тэргүүлэх орнуудын хөгжлийг угтаж гүйцэх боломжтой.

Манай улс байгалийн хийн нөөцгүй тул нүүрсээ гүн боловсруулан устөрөгч үйлдвэрлэж эрчим хүч, автомашин, газрын тос боловсруулах, хими, хүнсний үйлдвэрийг хангах болон ураны нөөцөө ашигласан ногоон хөгжлийн бодлогыг төгс шийдэх шаардлага гарч байна. Дэлхий нийтээр устөрөгчийн эрчим хүч буюу устөрөгчийн эдийн засагт шилжиж байгаа үйл явдалтай мөр зэрэгцэн орох нь цаг хугацаа хэмнэж, эдийн засгийн алдагдалтай, экологийн хортой, түүхий нүүрсний эдийн засгаас устөрөгчийн эдийн засагт шилжих боломж олдох юм. Устөрөгчийн түлшний элемент бүхий автомашины цэнэглэх станц болон цахилгаан, дулаан хангамжийн зориулалттай станцийг хангах устөрөгчийн үйлдвэрлэл, тээвэрлэлт,

* Electronic address: norov@num.edu.mn

хадгалалт, хэрэглээний дэд бүтцийг хөгжүүлэх шаардлага гарч байна.

Цөмийн энерги ашиглан үйлдвэрлэх 1 кг устөрөгчийн үнэ 2.3 \$ байхад цахилгаан эрчим хүчний сүлжээний цахилгаан ашиглан усны электролизийн аргаар үйлдвэрлэх 1 кг устөрөгчийн үнэ 6-7 \$, ирээдүйд 4 \$ болж буурах, нарны цахилгаан станц ашиглан үйлдвэрлэх 1 кг устөрөгчийн үнэ 10-30 \$, ирээдүйд 3-4 \$ болж буурах төлөвтэй байна.

Цахилгаан эрчим хүч ашиглан усыг электролизийн аргаар задалж устөрөгч үйлдвэрлэхийг бодвол нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэх нь хямд байна. Иймээс нүүрсний нөөцтэй манай улс цөмийн реактороос их температуртай гарах гелийн хийгээр нүүрсний уурын хувиргалт хийж устөрөгч үйлдвэрлэх нь чухал.

II. УСТӨРӨГЧИЙН ЭРЧИМ ХҮЧ

Устөрөгчийн эрчим хүч нь цөмийн болон нарны энергийг ашиглан ус, нүүрс зэрэг устөрөгч агуулсан байгалийн түүхий эдээс устөрөгч гарган авах, түүнийг хадгалах, түлш болгон ашиглах, энерги дамжуулах технологиудын цогцолбор юм. Монгол улсын хувьд устөрөгчийн эрчим хүчийг хөгжүүлэх дараах үндэслэлүүд байна. Үүнд:

- Нэгдүгээрт, өнөөдөр даян дэлхий шинэ технологийн хэв маягийн босго дээр байна. Одоогийн эдийн засаг, техникийн тэргүүлэгч орнууд устөрөгчийн эрчим хүч хөгжүүлэх үндэсний хөтөлбөр боловсруулан ажиллаж байна. Манай улс ч гэсэн эрчим хүчний энэ альтернатив чиглэлийг сонгон хөгжүүлж, дэлхийн тэргүүлэх орнуудын хөгжлийг утгаж гүйцэх боломж;
- Хоёрдугаарт, бидэнд өөр сонголт байхгүй. Өнөөдрийн манай улсын эдийн засгийн алдагдалтай, экологийн хор хөнөөлтэй түүхий нүүрсний эдийн засгийг газрын тос, хийн импортын хамаарлыг бууруулах устөрөгчийн технологи ашигласан экологийн үнэмлэхүй цэвэр устөрөгчийн эдийн засагт ойрын ирээдүйд шилжүүлэх шаардлага;
- Манай улсад устөрөгчийн түлшний элементийн гол түүхий эд болох паллади (Pd), цагаан алт (Pt)-ын нөөц илрэх магадлалтай.

Устөрөгч альтернатив энерги зөөгч, түгээмэл түлш болох нь дараах учир шалтгаантай. Үүнд:

- **Нэгдүгээрт**, устөрөгч дулаан ялгаруулах чадамж ихтэй: 1 кг устөрөгчийг шатаахад 120 МЖ дулааны энерги гарган авах бол харин 1 кг бензин шатаахад зөвхөн 47 МЖ,

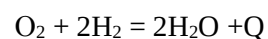
1кг Багануурын нүүрс шатаахад 14 МЖ дулааны энерги ялгарна;

- **Хоёрдугаарт**, түлшний элементийн АҮК цахилгааны энерги үйлдвэрлэхэд 75% хүрнэ. Мөн дулаан ялгарахыг тооцвол түлшний элементтэй системийн нийт АҮК 90-95 % болно. Дулааны цахилгаан станцын АҮК - 40%, цөмийн цахилгаан станцын АҮК - 33% байдаг;
- **Гуравдугаарт**, устөрөгч орчлон ертөнц, Дэлхий дээр хамгийн их тархсан элемент;
- **Дөрөвдүгээрт**, устөрөгчийн түлшний элемент экологийн цэвэр. Устөрөгч шатах үед цэвэр ус ялгарах ба ямар нэг хортой хаягдал агаар мандалд хаягдахгүй.
- **Тавдугаарт**, устөрөгчийг дамжуулах хоолойгоор харьцангуй хялбар тээвэрлэх, мөн хадгалах, хуримтлуулах (хий буюу шингэн төлөвт) боломжтой. Устөрөгчийг дамжуулах үндсэн хоолойгоор тээвэрлэх нь цахилгаан дамжуулахаас 3-5 дахин бага зардалтай.
- **Зургадугаарт**, Түлшний элементийг өргөн ашиглах нь өндөр өртөгтэй цахилгаан дамжуулах шугамаас хамааралгүй болгоно.
- **Долоодугаарт**, устөрөгчийг эрчим хүчинд зөвхөн энерги зөөгчөөр ашиглагдах биш металлурги, химийн болон нефть-химийн үйлдвэр зэрэг үйлдвэрийн бусад салбарт өргөн хэрэглэгдэнэ.

Устөрөгч нь ашиглалтын дутагдалтай талуудтай. Ердийн нөхцөлд устөрөгчийн нягт маш бага – 0.09 кг/м³. Энэ нь байгалийн хийн нягтаас 8 дахин бага, шингэн устөрөгчийн нягт бага 70 кг/м³, буцлах температур бас бага 20 °К байдаг. Устөрөгчийн агуулалтын маш өргөн мужид агаартай тэсрэх аюултай хольц (хольц дахь устөрөгчийн эзлэхүүний агуулалт 4 %-оос 75 % хүртэл) үүснэ. Агаарын даралтын үед устөрөгчийг шингэрүүлэхэд маш нам температур (-252 °С) шаардлагатай. Иймд устөрөгчийг шингэрүүлэхийн тулд энерги их зарцуулагдах ба харин түүнийг үнэтэй, нарийн хийцтэй криостатад хадгална.

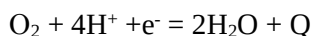
Устөрөгчийг дотоод шаталтат хөдөлгүүр, дулааны цахилгаан станцын зууханд шууд шатааж болох ба мөн түлшний элементийн тусламжтай шатаана.

Устөрөгчийг шууд шатаах үед шатах химийн урвалын үр дүнд ус үүснэ:



Түлшний элемент нь цахилгаан химийн урвалын энергийг цахилгаан энергид шууд хувиргадаг төхөөрөмж юм. Түлшний элементийн катод дээр

гаднаас өгөх хүчилтөрөгч ба мембранаар нэвтрэх протоноос ус үүсэх урвалыг катод дээр катализаторын оролцоотой гүйдэл үүсгэх электронууд явуулах боломжийг олгоно:



Үүнд: Q-урвалын дулааны эффект.

Ийнхүү устөрөгчийг шууд шатаасан ч, устөрөгчийн түлшний элементэд ашигласан ч агаар мандалд ус л хаягдах учраас устөрөгчийн эрчим хүч байгаль орчинд үнэмлэхүй цэвэр эрчим хүч юм.

III. ЦӨМИЙН ЭНЕРГИ АШИГЛАСАН УСТӨРӨГЧИЙН ҮЙЛДВЭРЛЭЛ

Өнөөдөр дэлхий даяар эцсийн эцэст газрын тос, байгалийн хийг халах альтернатив түлшийг хайх ажил хийгдэж байна. Эрчим хүчний салбарт энэ нь уран, тори, бага хаягдал гарах шинэ аргаар шатаах нүүрс, био түлш байж болох юм. Гэвч эдгээр түлшийг ашигласан тээврийн хэрэгслийн хөдөлгүүр харьцангуй том хэмжээтэй болдог нь тэдгээр түлшийг тээвэрт ашиглахад хүндрэл учруулна. Иймээс автобензин, дизелийн түлшийг орлох хамгийн ирээдүйтэй түлш бол машины яндангаар зөвхөн усны уур гарах устөрөгчийн түлш байж болох юм. Устөрөгчийн илчлэг бензиныхээс бараг 4 дахин их байдаг. Одоо устөрөгчийг ихэвчлэн химийн, нефть-химийн аж үйлдвэрийн хэрэгцээнд зориулж усны электролизийн аргаар үйлдвэрлэж байна. Энэ аргаар үйлдвэрлэсэн устөрөгч маш үнэтэй байдаг. Харин өндөр температурын цөмийн реакторын дулааны энергийг ашиглан аж үйлдвэрийн цар хэмжээтэй устөрөгч үйлдвэрлэж болно. Ийм реакторын орчин үеийн төсөл нь устөрөгчийн түлшний өөрийн өртгийг бензиний үнэ, магадгүй түүнээс доод түвшинд хүргэхээр зорьж байна. Цөмийн энерги ашиглан устөрөгч үйлдвэрлэх бүдүүвчийг 1-р зурагт харуулав.

Өндөр температуртай гелийн хөргүүртэй реактор нь байгаль орчинд ээлтэй, түгээмэл хэрэглээтэй цөмийн эрчим хүчний цоо шинэ эх үүсвэр болох юм. Түүний хосгүй онцлог нь 1000 °C хүртэл температуртай дулаан үйлдвэрлэх чадамж, мөн аюулгүй байдлыг өндөр түвшинд хангасан нь химийн, нефтийн, төмөрлөгийн үйлдвэрийн янз бүрийн салбарт үйлдвэрлэлийн технологийг дулаанаар хангах, цахилгаан эрчим хүч өндөр АҮК-той үйлдвэрлэх, устөрөгчийн түлшийг эдийн засгийн үр ашигтай үйлдвэрлэх зэрэгт зориулж энэ реакторыг ашиглах өргөн боломжоор тодорхойлогдоно.



Зураг 1. Цөмийн энерги ашиглаж устөрөгч үйлдвэрлэх бүдүүвч.

Өндөр температурын хийн хөргүүртэй реактор нь цөмийн эрчим хүчийг ашиглах хүрээг өргөжүүлж байна. Үүнд:

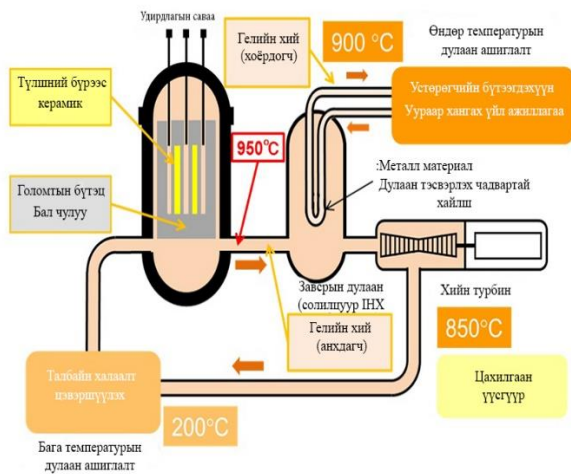
- цахилгаан эрчим хүч ба ахуйн хэрэглээний дулаан, газрын тос боловсруулах,
- нефть-химийн үйлдвэрлэл, нүүрснээс синтетик шингэн түлшний үйлдвэрлэл,
- устөрөгчийн үйлдвэрлэл,
- баяжуулсан уран, эрчим хүчний буюу зэвсгийн плутони ашиглах МОХ түлш, уран,
- торийн түлш бүхий голомтын хийц өөрчлөхгүй түлшний циклийн уян хатан байдал;
- реакторын модуль үзэл баримтлал нь эрчим хүчний эх үүсвэрийг хэрэглэгчид ойр байрлуулах боломж олгоно;
- реакторын төхөөрөмж, цөмийн станцын аюулгүйн байдлын системийн тоо хамгийн бага байдаг нь хөрөнгө оруулалт, ашиглалтын зардлыг бууруулах урьдчилсан нөхцөл бий болгоно;
- түлшийг гүн шатаах нь реактороос гарах ашигласан түлшийг дахин боловсруулалт хийлгүй булшлах боломжтой;
- реакторын дулааны энергийг ашиглах коэффициент өндөртэй учраас хүрээлэн буй орчинд дулааны нөлөө багатай.

Эдгээр онцлогууд нь реакторын хийцийн технологийн дараах шийдлүүдтэй холбоотой. Үүнд:

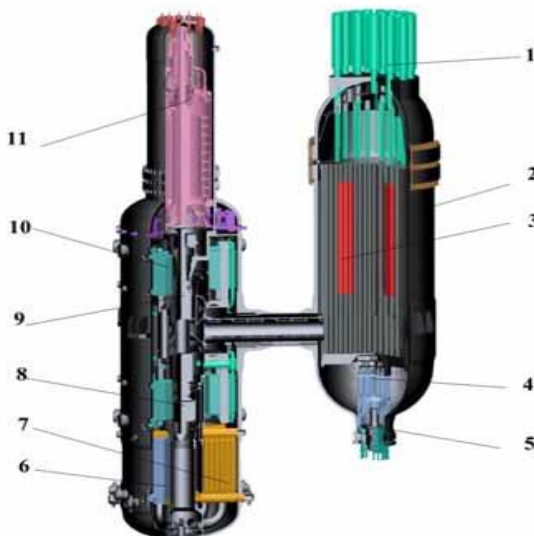
- ✓ керамик микробөөм дээр суурилагдсан халуунд тэсвэртэй призм болон үрлэн түлшний тусгай хийц;
- ✓ бүтээц материалаар балчулуу, нүүрстөрөгч, нүүрстөрөгчийн зохиомж ашигласан;
- ✓ дулаан зөөгчөөр идэвхгүй инертийн хий гелий ашигласан;
- ✓ ямар нэг ослын үед тогтвортой реакторын тусгай бүтээцтэй гэх мэт.

Гелий хийн хөргүүртэй GT-MHR (GasTurbine-Modular Helium Reactor) реактораас гарах 900 °C температуртай гелийн хийг завсрын дулаан солилцуураас устөрөгч үйлдвэрлэхэд

ашиглах бүдүүвчийг 2- р зурагт, ийм реакторын хийцийг 3-р зурагт, цөмийн түлшний технологийг 4-р зурагт тус тус харуулав [6, 7].



Зураг 2. Өндөр температурын призм түлштэй реакторын хөргүүрийн систем.

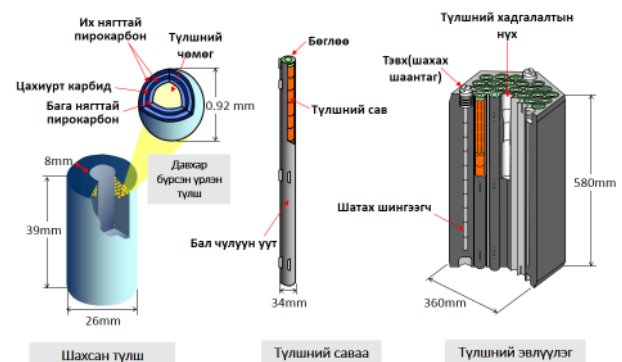


Зураг 3. Өндөр температурын хийн хөргүүртэй, призм түлштэй GT-MHR реактор: 1-удирдлага, хамгаалалтын систем, 2-реакторын их бие, 3-реакторын голомт, 4-унтраасан реакторын хөргүүрийн дулаан солилцуур, 5-унтраасан реакторын хөргүүрийн системийн хий үлээгч, 6-завсрын хөргүүр, 7-урьдчилсан хөргүүр, 8-өндөр даралтын компрессор, 9-турбин, 10-рекуператор, 11-генератор.

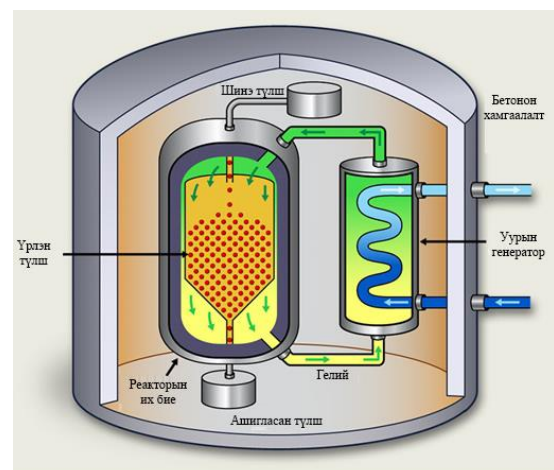
Хэдийгээр бидний авч үзсэн призм түлштэй өндөр температурын хийн реактор гэх мэт өөр загварууд байдаг ч гэлээ PBMR (Pebble-bed modular reactor) нь өнөөдрийн байдлаар дэлхий түвшинд хүлээн зөвшөөрөгдөөд байгаа дэвшилтэт өндөр температурын реактор юм. Герман улсын Засгийн газар 1990 онд өндөр температурын реакторыг хөгжүүлэх хөтөлбөр (Siemens, ABB)-ийг зогсоох шийдвэр гаргасан нь Өмнөд Африкийн (Eskom, PBMR Co компани) хувьд түүхэн боломж нээгджээ. Техникийн лицензийг Areva (Siemens-т зориулж), Westinghouse (ABB-д зориулж) эзэмшдэг.

Үрлэн түлштэй PBMR реакторын өрсөлдөх давуу талууд:

- Дотоод аюулгүй байдал (реакторын голомт хайлах осол гарах боломжгүй),
- Бага талбай эзэлдэг,
- Өндөр бүтээмж ($> 44\%$ АҮК),
- Реакторыг зогсоохгүй дахин цэнэглэх,
- Байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөлөл бага,
- Угсралтын хугацаа богино,
- Угсралтын үеийн өртөг бага,
- Бага овортой тул тараан байршуулах боломжтой,
- Модуль нэмэх замаар хүчин чадлыг өсгөх боломжтой,
- PBMR нь чадлаа сэлгэх горим (маневэрлэх)-д ажиллана,
- PBMR-г өндөр температурын дулаан үйлдвэрлэхэд хэрэглэнэ,
- PBMR нь ердийн ашиглалтын үед харьцангуй бага хэмжээний ус шаардагдана,
- PBMR реакторын системийг хэрэглэгчийн ойр байрлуулах боломжтой.



Зураг 4. Гелийн хийн хөргүүртэй реакторын призм түлшний хийц



Зураг 5. PBMR реакторын системийн бүдүүвч.

IV. МОНГОЛ УЛСЫН УСТӨРӨГЧИЙН ХЭРЭГЦЭЭ

Дэлхийн устөрөгчийн үйлдвэрлэлийн 77% (ОХУ-д 90%)-ийг байгалийн хий, газрын тосны бүтээгдэхүүний уурын катализын хувиргалтаар, 18%-ийг нүүрсийг уурын риформингээр, 4%-ийг усан уусмалын электролизээр, 1%-ийг өөр эх үүсвэрээс гарган авч байна. АНУ өнөөдөр $6.5 \cdot 10^{10}$ м³ буюу 5.4 сая тонн устөрөгч үйлдвэрлэж байна.

Ийнхүү өнөө үед устөрөгчийн дэлхийн үйлдвэрлэл гол төлөв байгалийн хийг уураар хувиргахад (конверси) үндэслэж байгаа бөгөөд мөн устөрөгчийг гарган авахад байгалийн хий, газрын тосноос гадна нүүрсийг өргөн ашиглах болж байна (уурын риформинг). Байгалийн хийн нөөцгүй манай орны хувьд нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэх асуудал урган гарч байгаа бөгөөд устөрөгч үйлдвэрлэхэд нүүрс ашиглах хэд хэдэн шинэ технологийн процесс байна. Үүнд:

- Катализаторын оролцоотой уурын риформинг;
- Төмөр, металлын исэлдэх завсрын үе шатыг багтаасан дараа нь ислийг нүүрсээр ангижруулах процесс;
- Ионны(О⁻) дамжуулалттай мембран-электролитууд (жишээ нь $ZrO_2 \cdot M_xO_y$)-ыг хэрэглэх өндөр температурын процесс гэх мэт.

Хүрэн нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэх энергийн эх үүсвэрт цөмийн станцаас гарах 850 °C температуртай гарах гелийн хийг ашиглана. Энэ процесс хоёр үе шаттай явагдана. Эхлээд нүүрсийг хийжүүлнэ (исэлдүүлнэ): $C + 1/2O_2 = CO$, дараа нь нүүрстөрөгчийн оксидыг нүүрстөрөгчийн диоксид хүртэл усаар исэлдүүлж $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ устөрөгч гарган авна. Жишээ нь Багануурын нүүрснээс үйлдвэрлэсэн устөрөгчийг дулаан дамжуулах хоолойгоор тээвэрлэн Улаанбаатар хотын дулаан хангамжийг шийдэх, устөрөгчийн түлшний элемент бүхий автомашиныг цэнэглэх станцуудыг устөрөгчөөр хангах болно.

Монгол улс өнөөдөр боловсруулаагүй нүүрс ашиглан эрчим хүч үйлдвэрлэж байгаа учир хотын агаарын бохирдолтын асуудал гамшгийн хэмжээнд яригдаж байна. Иймээс манай орны хүрэн нүүрсийг хийжүүлэх, шингэрүүлэх технологийг хөгжүүлэн гэр ахуй, үйлдвэрлэлийн хэрэгцээнд болон эрчим хүч үйлдвэрлэлд нүүрсний хийг, улмаар устөрөгчийг ашиглах нь агаарыг бохирдуулахгүй байхад онцгой ач холбогдолтой юм. 2030, 2050 онд эрчим хүчний төрөл бүрийн эх үүсвэрийн хөрөнгө оруулалт, өөрийн өртгийг 1-р хүснэгтэд харьцуулж үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Эрчим хүчний төхөөрөмжүүдийн хөрөнгө оруулалт, өөрийн өртөг

Үйлдвэрлэлийн технологи	Хувийн хөрөнгө оруулалт, долл/кВт			Үйлдвэрлэлийн өөрийн өртөг, цент/кВт·цаг		
	2005 он	2030 он	2050 он	2005 он	2030 он	2050 он
Түлшний элемент бүхий эрчим хүчний төхөөрөмж	3000-10000	500-1000	300-500	2-3(4-5)	2-3(4-5)	2-3(4-5)
Нүүрсний дулааны цахилгаан станц	1500-2500	1000-1150	-/-	-/-	3.5-4(8-12)	3.5-4(8-12)
Цөмийн цахилгаан станц	1500-2500	1500-2500	-/-	-/-	4-5(8-12)	4-5(8-12)
Биомасс	1000-2500	950-1900	900-1800	3.1-11	3-9.6	2.9-9.4
Геотермаль цахилгаан станц	1700-5700	1500-5000	1400-4900	3-9.7	3-8.7	2.9-8.4
Бага оврын усан цахилгаан станц	2500	2200	2000	5.6	5.2	4.9
Нарны фотоцахилгаан	3750-3850	1400-1500	1000-1100	17.8-54.2	7-32.5	6-29
Нарны термоцахилгаан	2000-2300	1700-1900	1600-1800	10.5-23	8.7-19	6-17.5
Эх дэлхийн салхин станц	900-1100	800-900	750-900	4.2-2.2	3.6-2.1	3.5-2.1
Далайн салхин станц	1500-2500	1500-1900	1400-1800	6.6-21.7	6.2-18.4	6-18

Монгол улсын цахилгаан эрчим хүч, Улаанбаатар хотын дулаан хангамж, устөрөгчийн түлшний элементтэй автомашины хэрэгцээнд 2030 оны түвшинд шаардагдах устөрөгчийн хэмжээ, энэ хэрэгцээг хангах өндөр температурын гелийн хөргүүртэй реакторын тоо, хөрөнгө оруулалтыг тооцож үзье. Үүнд:

Цахилгаан эрчим хүч: $0.7 \cdot 10^9$

кВт·цаг/33.5 кВт·цаг/кг = $2.0 \cdot 10^8$ кг ≈ 200

мян.тонн

Устөрөгчийг шууд шатааж

Улаанбаатарын дулааныг хангахад:

$5.9 \cdot 10^6$ Гкал х 4.8 = $2.8 \cdot 10^7$ ГЖ/120,6

МЖ/кг H_2 .0.9 ≈ 26 мян.тонн

Автомашинд: 500 мянга ≈ 150 мян. тонн

Ийнхүү манай улсын цахилгаан, дулааны эрчим хүч, автомашины түлшинд шаардагдах нийт 376 мян.тонн H_2 үйлдвэрлэхэд 4 ширхэг GT-MHR реактор шаардлагатай бөгөөд ийм реакторын цахилгааны нэгж чадал 285 МВт, хувийн хөрөнгө оруулалт 1528 \$ /кВт(цах) гэвэл тэдгээрийн хөрөнгө оруулалт $4 \times 436 \cdot 10^6$ \$ = $1.7 \cdot 10^9$ \$ болно.

Ийнхүү цөмийн энерги ашиглан нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэх нь ойрын ирээдүйд манай улсад түүхий нүүрсний хэрэглээг халж, устөрөгчийн түлшний элементийн технологи бүхий хүрээлэн буй орчинд зөвхөн ус ялгарах экологийн үнэмлэхүй цэвэр альтернатив устөрөгчийн эрчим хүч буюу устөрөгчийн эдийн засгийг хөгжүүлэх асуудлыг хөндөж тавив.

V. ДҮГНЭЛТ

1. Монгол улс байгалийн хийн нөөцгүй тул ураны нөөцөөр ажиллах өндөр температурын реактор бүхий цөмийн станцаас цахилгаан эрчим хүчээ хангах, мөн түүнээс гарах өндөр температуртай гелий хийг ашиглан нүүрсээ гүн боловсруулан устөрөгч үйлдвэрлэж, түүгээр зарим хот, аймаг, сумын төвүүдийн цахилгаан, дулааны эрчим хүчийг түлшний элементийн станцаар хангах, устөрөгчийн түлшний элементтэй автомашины устөрөгчийн станцийг цэнэглэх, газрын тос боловсруулах, хими, хүнсний үйлдвэрийг хангах устөрөгчийн технологид суурилсан ногоон хөгжлийн бодлогыг дэвшүүлж тавив.
2. Цахилгаан, дулааны эрчим хүч, устөрөгч үйлдвэрлэх зорилготой зохион бүтээгдэж байгаа хийн хөргүүртэй GT-MHR, PBMR реакторуудаас сонгон хүрэн нүүрснээс устөрөгч үйлдвэрлэж дулаан дамжуулах

хоолойгоор дамжуулан Улаанбаатар хотын дулаан хангамжийг шийдэж, устөрөгчийн түлшний элемент бүхий автомашиныг цэнэглэх станцуудыг устөрөгчөөр хангаж, манай улсын ойрын ирээдүйн хөгжлийн үндэс болох эдийн засаг, экологи, энергийн хэрэгцээгээ цогцоор шийдвэрлэх боломж байгааг харуулав.

3. GT-MHR реактор бүхий станцад үйлдвэрлэх 1 кВт·цаг цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх өөрийн өртөг 1.3 цент байгаа нь ойрын болон дунд хугацаанд эрчим хүчний үнийг тогтвортой барих баталгаа болохын зэрэгцээ ийм 4 реактортой станц нь манай улсын устөрөгчийн хэрэгцээг 2030 хүртэл хангах бөгөөд түүний хөрөнгө оруулалт 1.7 тэрбум ам.доллар, 1 м³ устөрөгчийн өөрийн өртөг 5 центээс хэтрэхгүй болно.
4. Манай улсын эдийн засгийн хувьд алдагдалтай, экологийн хувьд хор хөнөөлтэй түүхий нүүрсний зах зээлийг импортын хараат бус, дэлхийн дулаарлын эх үүсвэр нүүрстөрөгч ялгаруулахгүй экологийн үнэмлэхүй цэвэр устөрөгчийн түлшний элемент бүхий устөрөгчийн зах зээлд ойрын ирээдүйд шилжих нь хот суурин газрын агаарын бохирдол утааны асуудлыг бүрэн шийдвэрлэж, монгол хүн экологийн тэнцвэртэй аюулгүй орчинд амьдарч, ажиллах нөхцлийг бүрдүүлнэ.

VI. АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

- [1] COP21/CMP11 United nations conference on climate change in Paris, France. Nov 30 - Dec11, 2015. <http://www.cop21.gouv.fr/en/>
- [2] World Nuclear Association (WNA) Outlook Century Data, 2011.
- [3] S. Sugawara, A. Ohma, Y. Tabuchi and K. Shinohara. Fundamental approaches to fuel cell technology. ISJAEЕ №9 (89), 2010, pp 89-105.
- [4] Ohta T. Some thoughts about the hydrogen civilization and the culture development // Intern. J. Hydrogen Energy. 2006. Vol. 31. P. 161-166.
- [5] Goltsov V.A., Veziroglu T.N., Goltsova L.F. Hydrogen civilization concept: historical and allplanetary aspects // Intern. J. Nucl. Hydrogen Prod. & Appl. 2006. Vol. 1. No. 4. P. 112-133.
- [6] IAEA. Advances in small modular reactor technology developments. A Supplements to IAEA advanced reactors information system (ARIS), IAEA, Vienna, 2014.

- [7]IAEA. Advances in High Temperature Gas Cooled Reactor Fuel Technology. IAEA TECDOC Series No. 1674, Vienna, 2012.

Problem on Hydrogen Energy Development in Mongolia

N.Norov, S.Odmaa, T.Jamyansuren, G.Enkhbaatar, M.Enkhbaatar, O.Chimedtseren

In this work, we proposed problem on hydrogen energy development to produce electricity and hydrogen from the coal using high temperature gas cooled nuclear reactor since it has not revealed the pure natural gas resources yet and primary resources for energy are both of coal and uranium in Mongolia.

ШУТИС-ийн Физикийн Сургалтанд Нэвтрүүлж Буй Ажлын Үр Дүн

Г.Зоригт,* Ч.Алдармаа, Г.Мөнхсайхан

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

This paper is based on results of new methodology of organizing general physics course that have been taught at the MUST. The results are based on last 9 years' experiences on effective way seminar and self-assignment for engineering students of SICT, MUST. The research shows that regular testing method in every seminar classes has affected on increase of study activities of students corresponding to increase of the quality. The distribution curve of the 70 and 30 points shows that the number of students with high grading has increased within the years.

PACS numbers: 01.40.J-, 01.40.gb

I. ОРШИЛ

ШУТИС-ийн инженерийн ангиудад Физик-1, Физик-2 хичээлүүдийг судалж байна. Физикийн тэнхимийн хамт олон сургалтын чанарыг дээшлүүлэхэд чиглэсэн олон ажлуудыг хэрэгжүүлж ирлээ. Бие даалтын цагуудаар багш нар оюутнуудад нэмэлт давтлага зөвлөгөө өгөхийн зэрэгцээ физикийн өдөрлөгийг улирал бүр зохион байгуулж, лаборатори, семинарын дутуугаа гүйцээж нөхөн шалгуулах боломжийг олгож тойм лекцүүд уншиж байна.

Үүнээс гадна 10 гаруй жилийн өмнөөс семинар бие даалтын ажлыг оюутан бүрийг жигд гүйцэтгүүлэх зорилгоор шинэчилсэн гарын авлага гаргаж ашиглаж эхлүүлсэн [1,2]. Энэ хугацаанд семинар бүрээр олон хувилбарт тестийн санг бүрдүүлэн семинар бүрээр тестийн шалгалт авдаг боллоо. ШУТИС-ийн оюутнуудын Физикийн сургалтанд нэвтрүүлж байгаа ажлын үр дүнг дүгнэх зорилгоор МХТС-ийн оюутнуудын сургалтын үнэлгээнд [3] хийсэн дүн шинжилгээг танилцуулж байна.

II. СЕМИНАРЫН ХИЧЭЭЛИЙГ ЯВУУЛАХ БҮТЭЦ ХЭЛБЭР

Бидний бэлтгэсэн семинарын гарын авлага нь стандартын дагуу судлах физик ухагдахуун ойлголтуудыг тайлбарласан томъёо тодорхойлолтууд, тухайн семинарын хичээлээр судлах жишээ бодлогуудыг бодолт тайлбартайгаар оруулж, сэдвийн дагуу ажиллах тестүүд, улирлын шалгалтын жишээ түүний тайлбар, хичээлийн бүрэн агуулгаар бэлтгэсэн хувилбарт тестүүдийг агуулна. Ингэснээр оюутнууд тухайн семинарын хичээлээр юуг судлах ямар мэдлэг эзэмших ёстойг урьдчилан харах боломжтой болж семинарын хичээлд бэлтгэх бие даан суралцахад нь гол баримжаа болж өгсөн.

Гарын авлагыг оюутан бүрт хүргэснээр семинаруудын сэдэв агуулга нь семинараас өмнө болон дараа нь оюутанд өөрт нь байх учир оюутан тухайн сэдвээр дахин давтан судлах боломж бүрдэж байгаа юм.

Семинарын хичээлээр жишээ бодлогуудыг оюутанд физик үзэгдлийн шинж чанар, ялгааг харуулах бодлого бодох арга барилд суралцуулах, практик ач холбогдолтой байх талаас нь анхаарч сонгосон болно. Хэдийгээр бодлогын бодолтуудыг номонд оруулсан боловч инженерийн ангийн оюутнуудын хувьд бодолтыг судалж ойлгох нь тийм ч хялбар биш юм. Ийм учраас багш семинарын хичээлээр тэрхүү бодолтыг тайлбарлах практик жишээ онолын ойлголтуудтай холбож дэлгэрэнгүй тайлбарлаж харилцан ярилцах хэлбэрээр семинарын хичээлийг явуулж байна.

Семинарын хичээлийн үр өгөөжийг нэмэгдүүлэх гол хүчин зүйл нь оюутныг бие даан ажиллуулах, хичээлд оролцох идэвхи чармайлтыг нэмэгдүүлэхэд оршино. Энэ зорилгын үүднээс семинар бүр дээр оюутны мэдлэг шалгах арван асуулт бүхий 100 хувирбалтай тестээр шалгалт авах болсон.

Тестийн олон хувилбарыг ижилхэн түвшинд бэлтгэж хасах оноотойгоор дүгнэх ба оюутан бүр өөр өөр хувилбартай тест ажиллах учир хариултыг бусдаас хуулах боломж байхгүй болж, гарын авлага номыг ашиглах, өөртөө итгэх, хариуцлагатай байх нөхцөл бүрдсэн. Үүнийг сүүлийн 5 жилийн хугацаанд сургалтанд нэвтрүүлснээр оюутнуудын идэвхи чармайлт эрс нэмэгдэж семинарын хичээл үр дүнтэй болж оюутны хариуцлага дээшилж байгаа нь сургалтын явцаас ажиглагдаж байна.

Энэ хугацаанд физикийн багш нар хамтран ажиллаж

1.Физик-1 хичээлийн гарын авлага номыг 12 удаа, Физик-2 хичээлийн гарын авлага

* Electronic address: aldaraa2004@yahoo.com

номыг 9 удаа шинэчлэн боловсруулж зохиогчийн эрхийн гэрчилгээг авсан байна.

2. Физик-1, Физик-2 хичээлийн семинарын тестийн иж бүрэн санг бүрдүүлсэн.
3. 2013/2014 оны хичээлийн жилээс МХТС-н багш Г.Баяр, МТС-н багш Г.Зоригт нарын Word –н тестийг хольж, хувилбарт тест үүсгэх програмыг ашиглан семинар бүрээр 100-н хувилбартай тестийг үүсгэн сургалтанд бүх багш нар ашиглах боллоо.
4. Мөн семинар бүрээр авсан олон хувилбарт тестийг машинаар засах МХТС-н багш Г.Баяр, МТС-н багш Г.Зоригт нарын №5446 тоот зохиогчийн эрхийн гэрчилгээтэй програм хангамжийн тусламжтайгаар тестийг хянаж үр дүнг тухай бүр багшид нь гаргаж өгөх ажлыг амжилттай туршин нэвтрүүллээ.

Үүний үр дүнд багш нарын нөр их ажлыг хөнгөвчилж, ажлын цагийг хэмнэхийн зэрэгцээ оюутаны үнэлгээг хурдан шуурхай гаргаж оюутнууд тухай бүр түвшинээ мэдэж шалгалтаа дахин өгөх замаар сурлагын чанараа дээшлүүлэх бодит боломж бүрдлээ.

1-р хүснэгт

	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016
Оноо	Оюутны тоо (Багшийн 70 оноо)								
0-30	16	24	35	6	54	42	44	86	55
30-40	34	67	41	126	47	65	49	53	87
40-50	75	77	59	115	37	101	62	120	56
50-60	273	163	150	161	87	117	122	145	117
60-70	116	177	252	197	225	162	279	283	179
дундаж	56	55.6	58.8	52.27	52.8	50.15	54.72	56.71	49.26
нийт	514	508	537	605	455	487	556	687	494

2-р хүснэгт

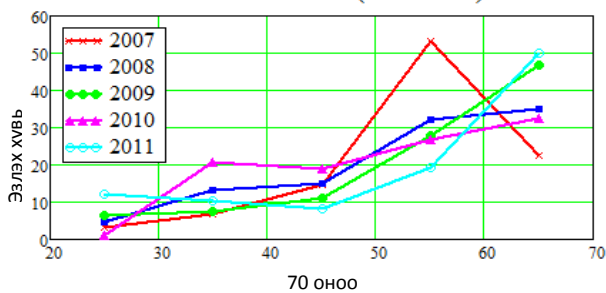
	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016
Оноо	Оюутны тоо (Шалгалтын 30 оноо)								
0-5	74	66	38	2	34	16	21	18	28
6-10	133	124	55	34	64	48	109	67	94
11-15	116	109	94	109	102	90	130	136	138
16-20	71	71	131	140	104	92	96	142	78
21-25	32	49	86	101	51	73	56	88	35
26-30	31	41	69	116	43	83	56	119	14
дундаж	12.49	13.2	17.2	19.7	15.65	18.29	15.46	18	13.36
ороогүй	41	24	29	97	24	43	44	31	52
нийт	498	484	502	599	422	445	512	601	387

Зураг 1-д түгэлтийн муруй гүдгэр хэлбэрээс хотгор хэлбэрлүү шилжиж 60-70 онооны оюутнуудын эзлэх хувь ихсэж байна. Зураг 2-д сүүлийн 4 жилд 70 онооны түгэлтийн хэлбэр

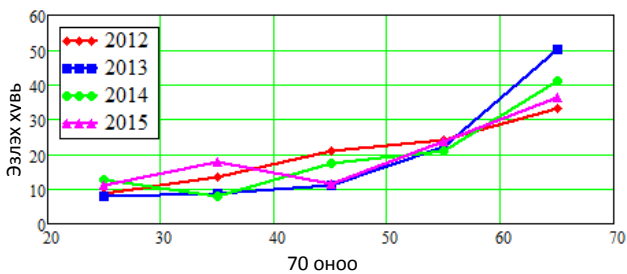
III. СУДАЛГАА

Дээрх сургалтын шинэ арга ажиллагааг МХТС-ын оюутнуудын сургалтанд нэвтрүүлснээр гарч байгаа үр дүнг сүүлийн 9 жилийн сурлагын дүнд харьцуулсан шинжилгээнээс авч үзье. ШУТИС-ын сургалтын үнэлгээний журамын дагуу оюутны сурлагын дүн нь улирлын туршид ажилласан идэвхи чармайлт бие даалтын ажлын гүйцэтгэл, явцын сорил тестийн үнэлгээ, лабораторийн ажлын үнэлгээнүүдийн нийлбэрээр багшийн 70 оноо, оюутны эзэмшсэн мэдлэгийн түвшинг тогтоох улирлын шалгалтын 30 онооны нийлбэрээр тодорхойлогдоно. Бид сургалтанд семинарын гарын авлагыг 2005 оноос хэрэглэж эхэлсэн ба 2016 онд сурлагийн дүнд анализ хийлээ. Хүснэгт 1 ба зураг 1 ба 2 -оос оюутны идэвхи чармайлт дээшилж байгаа нь харагдаж байна. Харин хүснэгт 2 ба зураг 3 ба 4 –өөс сурлагын чанар өсөж байгаа нь харагдаж байгаа юм. Энэ нь бидний оюутны сургалтанд хэрэгжүүлсэн ажлууд эерэг үр дүн өгч байгааг баталж байна.

ерөнхийдөө хэлбэрээ хадгалж, 50-60 оноотой оюутнуудад 20-25%, харин 60-70 оноотой оюутны эзлэх хувь 30-50 хувийг эзэлж байгаа нь сургалтын чанар дээшилж оюутнуудын идэвхи чармайлт нэмэгдэж байгааг харуулж байна.

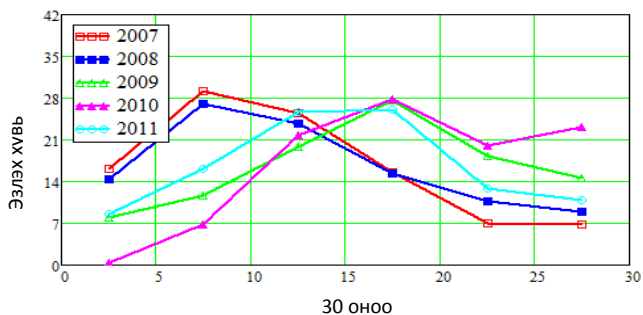


Зураг 1. 2007-2011 онд 70 онооны түгэлт.

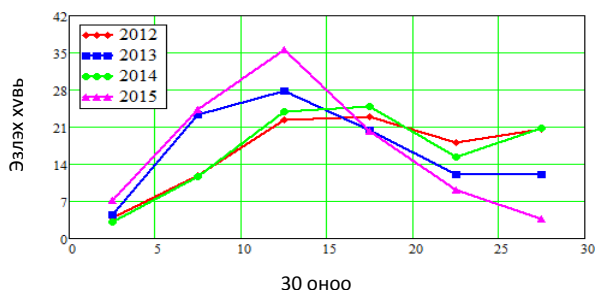


Зураг 2. 2007-2011 онд 70 онооны түгэлт

Зураг 3 ба 4 –д 30 онооны түгэлтийг (0-5), (6-10).....(25-30) онооны интервалуудад эзлэх хувийг харуулжээ. Энд 2007, 2008 онд 5-10 оноотой оюутнууд хамгийн их буюу 26-29% байснаа түгэлтийн максимум жил ирэх тусам баруун талруугаа шилжиж байна. Энэ нь сурлагын чанар сайжирч байгааг харуулж байна.



Зураг 3. 2007-2011 онд 30 онооны түгэлт.



Зураг 4. 2007-2011 онд 30 онооны түгэлт.

IV. ДҮГНЭЛТ

Сургалтын чанарыг сайжруулах нь олон зүйлээс хамаарах учир шууд дүгнэлт хийх нь тийм ч зохимжтой бус юм. Сургалтын чанарын өөрчлөлтөд, багшийн ур чадвар, оюутны суурь түвшин, идэвхи чармайлтаас хамаарах нь

ойлгомжтой. Иймд бид сургалтын үйл ажиллагааг тодорхой хүрээнд буюу МХТС-ийн оюутнуудын хувьд авч үзэв. Тус сургуулийн хувьд цөөн тооны багш бүх оюутнуудын хувьд ижилхэн стандартаар сургалтыг явуулж ирсэн. 2015 онд 70 ба 30 онооны дундаж зэрэг буурсан ба энэ нь ШУТИС-ийн нийт дундаж ч мөн адил буурсан явдал нь цөөн элсэгчтэй нийт оюутнуудын түвшин доогуур байсантай холбоотой.

V. НОМ ЗҮЙ

- [1] Г.Зоригт, Ч.Даваасүрэн, О.Сүх, Ш.Альгирмаа, Ч.Алдармаа, Л.Хэнмэдэх, Г.Мөнхсайхан, Н.Насанбат Физик -1 хичээлийн гарын авлага 2016.
- [2] Г.Зоригт, О.Сүх, Ч.Алдармаа, Л.Хэнмэдэх, Г.Мөнхсайхан, Н.Насанбат Физик -2 хичээлийн гарын авлага 2015
- [3] ШУТИС-ийн UNIMIS систем МХТС-ийн 2007-2015 оны намрын улирлын Физик хичээлийн оюутны үнэлгээний бааз.

New Methods to Taking Fractional Derivatives and Its Applications

Kh. Namsrai, M. Purevkhoo*, S. Saran, B. Munkhzaya

*Institute of Physics and Technology,
Peace avenue 54b, Bayanzurkh district,
Ulaanbaatar 13330, Mongolia*

Abstract

Recently, interest in fractional calculus has been encouraged by its applications in the different fields of science. The applications of fractional calculus include stochastic processes, anomalous diffusion and rheology. In this paper we present new formulas for taking fractional derivatives and some considerations of its applications for the harmonic oscillator.

Keywords: Fractional calculus, fractional differential equations

PACS numbers: 02.30.-f, 45.20.D-

I. INTRODUCTION

In the 17th century S.I.Newton and G.W.Leibnitz were developing integral and differential calculations which are Mathematical forms that define motions and patterns of nature. In the 1695 the derivative of order $\alpha = \frac{1}{2}$ was described by Leibnitz in his letter to L'hospital [6, 7, 8, 9]. Recently fractional derivatives have played an important role in mathematical methods and their physical and chemical applications [4, 5, 6]. Various type of fractional derivatives were studied: Riemann-Liouville, Caputo, Hadamard, Erdélyi-Kober, Grünwald-Letnikov, Marchand and Riesz are just a few to name [6, 10, 11, 12, 13, 14]. The most usual formula for taking fractional derivatives is the Riemann-Liouville formula

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\nu F(x) = \frac{1}{\Gamma(-\nu)} \int_0^\infty dt F(t) (x-t)^{-1-\nu}.$$

Here

$$Re \nu < 0.$$

It is possible to find a solution of fractional derivatives, but there are some problems. Because Gamma function $\Gamma(x)$ takes infinity value at the point $(0, -1, -2, \dots)$. So we study fractional derivatives by means of infinite integer-order differentials which allow us to derive some universal formulas for taking fractional derivatives for wide classes of functions.

We used two general formulas to derive new universal formulas.

The first general formula [1]

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} F(x) = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \int_0^\infty dt \cdot e^{-t^\nu \frac{d}{dx}} \cdot F(x). \quad (1)$$

The second general formula [1]

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot F(x) = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times \sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) F(x). \quad (2)$$

II. USEFUL FORMULAS

The following formulas were used:

$$\exp\left[-t^\nu \frac{d}{dx}\right] = 1 - t^\nu \frac{d}{dx} + \frac{1}{2!} t^{2\nu} \frac{d^2}{dx^2} - \dots, \quad (3)$$

$$\sin\left(t \frac{d}{dx}\right) = t \frac{d}{dx} - \frac{1}{3!} t^3 \frac{d^3}{dx^3} + \frac{1}{5!} t^5 \frac{d^5}{dx^5} \dots, \quad (4)$$

$$\cos\left(t \frac{d}{dx}\right) = 1 - \frac{1}{2!} t^2 \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{4!} t^4 \frac{d^4}{dx^4} \dots, \quad (5)$$

the following formulas (6, 7) adopted from [2]

$$\int_0^\infty \cos t^\nu dt = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)}{\nu} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2\nu}\right), \quad (6)$$

$$\int_0^\infty \sin t^\nu dt = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)}{\nu} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2\nu}\right), \quad (7)$$

$$e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \dots = \sum_{n=0}^\infty (-1)^n \frac{x^n}{n!}. \quad (8)$$

*Electronic address: purevhuu@yahoo.com

Formula (8) was transformed to the complex plane ζ in the integral form [2] as shown:

$$e^{-x} = \frac{1}{2i} \int_{-\beta+i\infty}^{-\beta-i\infty} d\zeta \frac{x^\zeta}{\sin(\pi\zeta) \cdot \Gamma(1+\zeta)} \quad (9)$$

here $-1 < \beta < 0$.

III. DERIVATION OF THE NEW FORMULAS

A. $F(x) = \sin x$

Let $F(x) = \sin x$, using the first general formula (1) given as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin x = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \int_0^\infty dt \cdot e^{-t^\nu \frac{d}{dx}} \cdot \sin x. \quad (10)$$

By using above formula (3) and simple calculations given as

$$e^{-t^\nu \frac{d}{dx}} = 1 - t^\nu \frac{d}{dx} + t^{2\nu} \frac{d^2}{dx^2 \cdot 2!} - t^{3\nu} \frac{d^3}{dx^3 \cdot 3!} + t^{4\nu} \frac{d^4}{dx^4 \cdot 4!} - \dots$$

Substituting above decomposition in equation (10) is the following form

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin x &= \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \int_0^\infty dt \times \\ \sin x \left(1 - t^\nu \frac{d}{dx} + t^{2\nu} \frac{d^2}{dx^2 \cdot 2!} - t^{3\nu} \frac{d^3}{dx^3 \cdot 3!} + \right. \\ &\quad \left. t^{4\nu} \frac{d^4}{dx^4 \cdot 4!} - t^{5\nu} \frac{d^5}{dx^5 \cdot 5!} + \dots \right). \quad (11) \end{aligned}$$

Let's calculate the derivatives of $\sin x$ function as shown as

$$\begin{aligned} \sin' x &= \cos x & \sin'' x &= -\sin x & \sin''' x &= -\cos x \\ \sin'''' x &= \sin x & \sin''''' x &= \cos x & \dots \end{aligned}$$

Now substituting above derivatives of $\sin x$ function in formula (4) given as

$$\begin{aligned} \sin x - t^\nu \cos x + t^{2\nu} \sin x \cdot \frac{1}{2!} - t^{3\nu} \cos x \cdot \frac{1}{3!} + \\ t^{4\nu} \sin x \cdot \frac{1}{4!} - t^{5\nu} \cos x \cdot \frac{1}{5!} + \dots \end{aligned}$$

Let's do some reaggregation for $\sin x, \cos x$ given as the following form

$$\begin{aligned} \sin x \left(1 - t^{2\nu} \cdot \frac{1}{2!} + t^{4\nu} \cdot \frac{1}{4!} - \dots \right) - \\ \cos x \left(t^\nu - t^{3\nu} \cdot \frac{1}{3!} + t^{5\nu} \cdot \frac{1}{5!} - \dots \right). \end{aligned}$$

Here

$$\left(1 - t^{2\nu} \cdot \frac{1}{2!} + t^{4\nu} \cdot \frac{1}{4!} - \dots \right) = \cos t^\nu$$

and

$$\left(t^\nu - t^{3\nu} \cdot \frac{1}{3!} + t^{5\nu} \cdot \frac{1}{5!} - \dots \right) = \sin t^\nu$$

after some transformations and calculations, equation (11) as shown below

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin x &= \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \left[\sin x \int_0^\infty \cos t^\nu dt - \right. \\ &\quad \left. \cos x \int_0^\infty \sin t^\nu dt \right]. \quad (12) \end{aligned}$$

By using above formula (6) and (7) simplifies to

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin x &= \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \left[\sin x \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)}{\nu} \times \right. \\ &\quad \left. \cos\left(\frac{\pi}{2\nu}\right) - \cos x \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)}{\nu} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2\nu}\right) \right] \quad (13) \end{aligned}$$

and let's eliminate operations given as the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin x = \sin x \cdot \cos \frac{\pi}{2\nu} - \cos x \cdot \sin \frac{\pi}{2\nu}. \quad (14)$$

From the equation (10) we obtain a universal formula as show in (15)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \sin x = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\rho\right)} \quad (15)$$

here ρ - is arbitrary order.

B. $F(x) = \cos x$

Note that $F(x) = \cos x$, then using the first general formula (1) and to calculate same as (A) shown as

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cos x &= \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \int_0^{\infty} dt \cdot e^{-t^{\frac{1}{\nu}} \frac{d}{dx}} \cdot \cos x \\ &= \cos\left(x - \frac{\pi}{2\nu}\right). \end{aligned} \quad (16)$$

From equation (16) we obtain a universal formula as show in (17)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} \cos x = \cos\left(x + \frac{\pi}{2}\rho\right)} \quad (17)$$

here ρ -is arbitrary order.

C. Examples

$$1. \quad \nu = 1$$

$$\frac{d}{dx} \sin x = \cos x$$

$$\frac{d}{dx} \cos x = -\sin x$$

$$2. \quad \nu = -1$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-1} \sin x = -\cos x = \int \sin(x) dx$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-1} \cos x = \sin x = \int \cos(x) dx$$

$$3. \quad \nu = \frac{1}{2}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{2}} \sin x = \frac{\sqrt{2}}{2} (\sin x + \cos x)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{2}} \cos x = \frac{\sqrt{2}}{2} (\cos x - \sin x)$$

$$4. \quad \nu = -\frac{1}{2}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{2}} \sin x = \frac{\sqrt{2}}{2} (\sin x - \cos x)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{2}} \cos x = \frac{\sqrt{2}}{2} (\cos x + \sin x)$$

$$5. \quad \nu = \frac{3}{2}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{3}{2}} \sin x = \frac{\sqrt{2}}{2} (\cos x - \sin x)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{3}{2}} \cos x = \frac{\sqrt{2}}{2} (-\cos x - \sin x)$$

$$6. \quad \nu = -\frac{3}{2}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{3}{2}} \sin x = -\frac{\sqrt{2}}{2} (\sin x + \cos x)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{3}{2}} \cos x = \frac{\sqrt{2}}{2} (\sin x - \cos x)$$

$$7. \quad \nu = \frac{1}{4}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{4}} \sin x = \sin x \cdot \cos \frac{\pi}{8} + \cos x \cdot \sin \frac{\pi}{8}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{4}} \cos x = \cos x \cdot \cos \frac{\pi}{8} - \sin x \cdot \sin \frac{\pi}{8}$$

$$8. \quad \nu = -\frac{1}{4}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{4}} \sin x = \sin x \cdot \cos \frac{\pi}{8} - \cos x \cdot \sin \frac{\pi}{8}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{4}} \cos x = \cos x \cdot \cos \frac{\pi}{8} + \sin x \cdot \sin \frac{\pi}{8}$$

D. Properties of the Fractional Derivatives

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{d}{dx}\right)^{-1} \equiv \left(\frac{d}{dx}\right)^{-1} \left[\frac{d}{dx}\right]$$

$$\frac{d}{dx} \cdot \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{2}} \equiv \left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \sin x \equiv \left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{2}} \sin x$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \cos x \equiv \left(\frac{d}{dx}\right)^{\frac{1}{2}} \cos x$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{4}} \cdot \sin x \equiv \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{2}} \sin x$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{4}} \cdot \cos x \equiv \left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{2}} \cos x$$

E. $F(x) = \sin ax$

Note that $F(x) = \sin ax$, then using the first general formula (1) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin ax = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \int_0^{\infty} dt \cdot e^{-t^{\frac{1}{\nu}} \frac{d}{dx}} \cdot \sin ax. \quad (18)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sin ax = a^{-\frac{1}{\nu}} \sin\left(ax - \frac{\pi}{2\nu}\right).$$

From equation (18) we obtain a universal formula as show in (19)

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} \sin ax = a^{\rho} \sin\left(ax + \frac{\pi}{2}\rho\right) \quad (19)$$

here ρ -is arbitrary order.

F. $F(x) = \cos ax$

Note that $F(x) = \cos ax$, then using the first general formula (1) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cos ax = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right)} \int_0^{\infty} dt \cdot e^{-t^{\nu} \frac{d}{dx}} \cdot \cos ax. \quad (20)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cos ax = a^{-\frac{1}{\nu}} \cos\left(ax - \frac{\pi}{2\nu}\right).$$

From equation (20) we obtain a universal formula as show in (21)

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} \sin ax = a^{\rho} \cos\left(ax + \frac{\pi}{2}\rho\right) \quad (21)$$

here ρ -is arbitrary order.

G. $F(x) = e^{ax}$

Note that $F(x) = e^{ax}$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot e^{ax} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^{\infty} dt \sin\left(t^{\nu} \frac{d}{dx}\right) e^{ax}. \quad (22)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot e^{ax} = a^{-\frac{1}{\nu}} e^{ax}.$$

From equation (22) we obtain a universal formula as show in (23)

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} e^{ax} = a^{\rho} e^{ax} \quad (23)$$

here ρ -is arbitrary order.

H. $F(x) = e^{-ax}$

Note that $F(x) = e^{-ax}$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot e^{-ax} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^{\infty} dt \sin\left(t^{\nu} \frac{d}{dx}\right) e^{-ax}. \quad (24)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot e^{-ax} = -a^{-\frac{1}{\nu}} e^{-ax}.$$

From equation (24) we obtain a universal formula as show in (25)

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} e^{-ax} = -a^{\rho} e^{-ax} \quad (25)$$

here ρ -is arbitrary order.

I. $F(x) = a^x$

Note that $F(x) = a^x$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot a^x = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^{\infty} dt \cdot \sin\left(t^{\nu} \frac{d}{dx}\right) a^x. \quad (26)$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot a^x = (\ln a)^{-\frac{1}{\nu}} a^x, \quad a > 1.$$

From equation (26) we obtain a universal formula as show in (27)

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} a^x = (\ln a)^{\rho} a^x, \quad a > 1 \quad (27)$$

here ρ -is arbitrary order.

J. $F(x) = \operatorname{sh} ax$

Note that $F(x) = \operatorname{sh} ax$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \operatorname{sh} ax = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^{\infty} dt \times$$

$$\sin\left(t^{\nu} \frac{d}{dx}\right) \operatorname{sh} ax = a^{-\frac{1}{\nu}} \operatorname{ch} ax. \quad (28)$$

From equation (28) we obtain a universal formula as show in (29)

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{\rho} \operatorname{sh} ax = a^{\rho} \operatorname{ch} ax \quad (29)$$

here ρ -is arbitrary order.

K. $F(x) = \text{ch } ax$

Note that $F(x) = \text{ch } ax$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (A) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \text{ch } ax = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times$$

$$\sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) \text{ch } ax = a^{-\frac{1}{\nu}} \text{sh } ax. \quad (30)$$

From equation (30) we obtain a universal formula as show in (31)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \text{ch } ax = a^\rho \text{sh } ax} \quad (31)$$

here ρ -is arbitrary order.

L. $F(x) = \frac{1}{x}$

Note that $F(x) = \frac{1}{x}$, substituting in formula (2) is the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) \frac{1}{x}. \quad (32)$$

By using above formula (4) and simple calculations gives

$$\sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) = t^\nu \frac{d}{dx} - t^{3\nu} \cdot \frac{1}{3!} \cdot \frac{d^3}{dx^3} +$$

$$t^{5\nu} \cdot \frac{1}{5!} \cdot \frac{d^5}{dx^5} - \dots$$

Now let's calculate the derivatives of $\frac{1}{x}$ and it takes the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)' \frac{1}{x} = -\frac{1}{x^2}, \quad \left(\frac{d}{dx}\right)'' \frac{1}{x} = \frac{2}{x^3},$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)''' \frac{1}{x} = -\frac{6}{x^4},$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)'''' \frac{1}{x} = \frac{24}{x^5}, \quad \left(\frac{d}{dx}\right)''''' \frac{1}{x} = -\frac{120}{x^6} \dots$$

Now let's substituting derivatives of $\frac{1}{x}$ in equation (33) and it takes the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times$$

$$\frac{1}{x} \left(t^\nu \frac{d}{dx} - t^{3\nu} \cdot \frac{1}{3!} \cdot \frac{d^3}{dx^3} + t^{5\nu} \cdot \frac{1}{5!} \cdot \frac{d^5}{dx^5} - \dots \right) \quad (33)$$

and let's do some transformations

$$\frac{1}{x} \left(t^\nu \frac{d}{dx} - t^{3\nu} \cdot \frac{1}{3!} \cdot \frac{d^3}{dx^3} + t^{5\nu} \cdot \frac{1}{5!} \cdot \frac{d^5}{dx^5} - \dots \right) =$$

$$-t^\nu \cdot \frac{1}{x^2} + t^{3\nu} \cdot \frac{1}{3!} \cdot \frac{3!}{x^4} - t^{5\nu} \cdot \frac{1}{5!} \cdot \frac{5!}{x^6} + \dots =$$

$$-\frac{1}{x^2} \sum_{n=0}^\infty \frac{(-1)^n \cdot t^{2n\nu+\nu}}{x^{2n}}. \quad (34)$$

Substituting equation (34) in equation (33) is the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times$$

$$\left(-\frac{1}{x^2} \sum_{n=0}^\infty \frac{(-1)^n \cdot t^{2n\nu+\nu}}{x^{2n}} \right). \quad (35)$$

If denote $N(G) = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}}$ and go to the complex plane ξ and to present equation (34) in the integral form:

$$-\frac{1}{x^2} \sum_{n=0}^\infty \frac{(-1)^n \cdot t^{2n\nu+\nu}}{x^{2n}} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_\epsilon^\infty dt \cdot t^{2\nu\xi+\nu}$$

and substituting above equation in (33) is the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = -\frac{N(G)}{x^2} \cdot \frac{1}{2i} \int_{-\beta+i\infty}^{-\beta-i\infty} d\xi \times$$

$$\frac{1}{\sin \pi\xi} \cdot x^{-2\xi} \cdot \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_\epsilon^\infty dt \cdot t^{2\nu\xi+\nu}. \quad (36)$$

Here

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_\epsilon^\infty dt \cdot t^{2\nu\xi+\nu} = -\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\epsilon^{2\nu\xi+\nu+1}}{2\nu\xi+\nu+1},$$

substituting above equation in (36) is the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{N(G)}{x^2} \cdot \frac{1}{2i} \int_{-\beta+i\infty}^{-\beta-i\infty} d\xi \times$$

$$\frac{1}{\sin \pi\xi} \cdot x^{-2\xi} \cdot \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{t^{2\nu\xi+\nu+1}}{2\nu\xi+\nu+1}. \quad (37)$$

Further, we calculate residue at the point

$$\xi = -\frac{(\nu+1)}{2\nu},$$

and here

$$\int_{\beta+i\infty}^{\beta-i\infty} d\xi = 2\pi i.$$

Substituting above equation in (37) is the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{N(G)}{x^2} \cdot \frac{1}{2i} 2\pi i \frac{1}{\sin \pi \xi} \cdot x^{-2\xi} \times$$

$$\frac{1}{2\nu} \left(\xi + \frac{\nu+1}{2\nu}\right) = \frac{N(G)}{x^2} \cdot \frac{\pi}{\sin \pi \xi} \cdot x^{-2\xi} \cdot \frac{1}{2\nu}. \quad (38)$$

Lets do some calculations

$$x^{-2\xi} = x^{-2\left(-\frac{(\nu+1)}{2\nu}\right)} = x^{\frac{\nu+1}{\nu}},$$

$$\sin \pi \xi = \sin \pi \cdot \left(-\frac{(\nu+1)}{2\nu}\right) = -\cos \frac{\pi}{2\nu}.$$

Lets back that notation $N(G) = \frac{\nu}{\Gamma(\frac{1}{\nu}) \sin \frac{\pi}{2\nu}}$ it takes the following form

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2\nu}} \frac{\nu}{\Gamma(\frac{1}{\nu})} \times$$

$$\frac{1}{x^2} \cdot \frac{\pi}{-\cos \frac{\pi}{2\nu}} \cdot \frac{1}{2\nu} \cdot x^{\frac{\nu+1}{\nu}}. \quad (39)$$

Here

$$-\left(\sin \frac{\pi}{2\nu} \cdot \cos \frac{\pi}{2\nu}\right) = -\frac{1}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{\nu}$$

and after some transformations equation (39) as shown below

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = \frac{\pi}{-\frac{1}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{\nu}} \cdot \frac{1}{\Gamma(\frac{1}{\nu})} \cdot \frac{1}{2} \cdot x^{\frac{\nu+1}{\nu}-2}.$$

Here [2]

$$-\sin \frac{\pi}{\nu} \Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) = -\frac{\pi}{\Gamma\left(1-\frac{1}{\nu}\right)},$$

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x} = -\frac{\pi \cdot \Gamma\left(1-\frac{1}{\nu}\right)}{\pi} \cdot x^{\frac{1-\nu}{\nu}} \quad (40)$$

From equation (32) we obtain a universal formula as shown in (41)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \left(\frac{1}{x}\right) = -\Gamma\left(1-\frac{1}{\nu}\right) \cdot x^{\frac{1-\nu}{\nu}}} \quad (41)$$

here ν -is arbitrary order.

$$\mathbf{M.} \quad F(x) = \frac{1}{x^2}$$

Note that $F(x) = \frac{1}{x^2}$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (L) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{x^2} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times$$

$$\sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) \frac{1}{x^2} = \Gamma\left(2-\frac{1}{\nu}\right) x^{\frac{1}{\nu}-2}. \quad (42)$$

From the equation (42) we obtain a universal formula as shown in (43)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \left(\frac{1}{x^2}\right) = \Gamma\left(2-\frac{1}{\nu}\right) x^{\frac{1}{\nu}-2}} \quad (43)$$

here ν -is arbitrary order.

$$\mathbf{N.} \quad F(x) = \ln x$$

Note that $F(x) = \ln x$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (L) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \ln x = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times$$

$$\sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) \ln x = \Gamma\left(-\frac{1}{\nu}\right) x^{\frac{1}{\nu}}. \quad (44)$$

From the equation (44) we obtain a universal formula as shown in (45)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \ln x = \Gamma\left(-\frac{1}{\nu}\right) x^{\frac{1}{\nu}}} \quad (45)$$

here ν -is arbitrary order.

$$\mathbf{O.} \quad F(x) = \sqrt{x}$$

Note that $F(x) = \sqrt{x}$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (L) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \sqrt{x} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^\infty dt \times$$

$$\sin\left(t^\nu \frac{d}{dx}\right) \sqrt{x} = 2^{\frac{1}{\nu}} \cdot x^{\frac{2+\nu}{2\nu}} \left[-\frac{2+2\nu}{\nu} - 1\right] !! \quad (46)$$

From the equation (46) we obtain a universal formula as shown in (47)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sqrt{x} = 2^{\frac{1}{\nu}} \cdot x^{\frac{2+\nu}{2\nu}} \left[-\frac{2+2\nu}{\nu} - 1\right] !!} \quad (47)$$

here ν -is arbitrary order.

P. $F(x) = \frac{1}{\sqrt{x}}$

Note that $F(x) = \frac{1}{\sqrt{x}}$, then using the second general formula (2) and to calculate same as (L) shown as

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x}} = \frac{\nu}{\Gamma\left(\frac{1}{\nu}\right) \sin \frac{\pi}{2\nu}} \int_0^{\infty} dt \times$$

$$\sin\left(t^{\nu} \frac{d}{dx}\right) \frac{1}{\sqrt{x}} = -2^{\frac{1}{\nu}} \cdot x^{\frac{2-\nu}{2\nu}} \left[-\frac{2+2\nu}{\nu} + 1\right]!! \quad (48)$$

From the equation (48) we obtain a universal formula as show in (49)

$$\boxed{\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \frac{1}{\sqrt{x}} = -2^{\frac{1}{\nu}} \cdot x^{\frac{2-\nu}{2\nu}} \left[-\frac{2+2\nu}{\nu} + 1\right]!!} \quad (49)$$

here ν -is arbitrary order.

IV. APPLICATIONS OF THE NEW FORMULAS

Newton's second law tells us that

$$F = ma = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = m\ddot{a} = -kx, \quad (50)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0. \quad (51)$$

Here

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (52)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0. \quad (53)$$

This is Newton's equation for the harmonic oscillation.

In a previous sections we obtained new formulas for taking fractional derivatives(15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 41, 43, 45, 47, 49). These formulas allow us to construct many different fractional differential equations describing concrete physical processes like the harmonic oscillation, left-and right-moving waves and so on. These particular equivalent equations are:

$$\frac{d^{\rho_1}}{dt^{\rho_1}} a(\omega t) + \omega^2 \frac{d^{\rho_2}}{dt^{\rho_2}} a(\omega t) = 0. \quad (54)$$

1. If $\rho_1 = 2$, $\rho_2 = 0$ we have

$$\frac{d^2}{dt^2} a(\omega t) + \omega^2 a(\omega t) = 0. \quad (55)$$

Here $a(\omega t) = \sin(\omega t)$

$$\frac{d^2}{dt^2} \sin(\omega t) = -\omega^2 \sin \omega t,$$

$$-\omega^2 \sin \omega t + \omega^2 \sin \omega t = 0.$$

This equation showed to materialise when integer derivatives give harmonic oscillator solution like

$$a_1(\omega t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

$$a_2(\omega t) = A \cos(\omega t + \varphi).$$

Now we consider fractional derivatives.

2.

$$\left(\frac{d}{dt}\right)^{\frac{1}{2}} c_i(\omega t) + \omega \left(\frac{d}{dt}\right)^{-\frac{1}{2}} c_i(\omega t) = \sqrt{2\omega} c_i(\omega t) \quad (56)$$

Here $c_i(\omega t) = \sin(\omega t)$.

Firstly let's calculate derivatives of $\sin(\omega t)^{\frac{1}{2}}$ and $\sin(\omega t)^{-\frac{1}{2}}$ functions were the following forms

$$\left(\frac{d}{dt}\right)^{\frac{1}{2}} \sin(\omega t) = \omega^{\frac{1}{2}} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right) =$$

$$\sqrt{\omega} \left(\sin \omega t \cdot \cos \frac{\pi}{4} + \cos \omega t \cdot \sin \frac{\pi}{4}\right).$$

$$\left(\frac{d}{dt}\right)^{\frac{1}{2}} \sin(\omega t) = \frac{\sqrt{2\omega}}{2} (\sin \omega t + \cos \omega t)$$

and

$$\left(\frac{d}{dt}\right)^{-\frac{1}{2}} \sin(\omega t) = \omega^{-\frac{1}{2}} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) =$$

$$\frac{1}{\sqrt{\omega}} \left(\sin \omega t \cdot \cos \frac{\pi}{4} - \cos \omega t \cdot \sin \frac{\pi}{4}\right).$$

$$\left(\frac{d}{dt}\right)^{-\frac{1}{2}} \sin(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{\omega}} (\sin \omega t - \cos \omega t).$$

Substituting above equations in (56) is the following form

$$\frac{\sqrt{2\omega}}{2} (\sin \omega t + \cos \omega t) +$$

$$\omega \left(\frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{\omega}} (\sin \omega t - \cos \omega t)\right) = \sin \omega t \sqrt{2\omega}. \quad (57)$$

Here $\sqrt{2\omega}$ - coefficient depends on derivatives order.

Now, let's check fractional derivatives of $\sin \omega t$ satisfying equation (54)

$$\frac{\sqrt{2\omega}}{2} (\sin \omega t + \cos \omega t) +$$

$$\omega \left(\frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{\omega}} (\sin \omega t - \cos \omega t) \right) = \sqrt{2\omega} \sin \omega t. \quad (58)$$

Let's do elementary calculations

$$\frac{\sqrt{2\omega} \sin \omega t + \sqrt{2\omega} \cos \omega t}{2} + \frac{\omega \sqrt{2} \sin \omega t - \omega \sqrt{2} \cos \omega t}{2\sqrt{\omega}} = \sqrt{2\omega} \sin \omega t.$$

After some elementary calculations as shown as

$$2\omega \sqrt{2} \sin \omega t - 2\omega \sqrt{2} \sin \omega t = 0.$$

It showed us when calculate fractional derivatives it satisfying Newton's equations, harmonic oscillator solution like

$$c_1(\omega t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

$$c_2(\omega t) = A \cos(\omega t + \varphi).$$

Now we consider other fractional derivatives .

3.

$$\left(\frac{d}{dt} \right)^{\frac{3}{2}} d_i(\omega t) + \omega^3 \left(\frac{d}{dt} \right)^{-\frac{3}{2}} d_i(\omega t) = -\omega \sqrt{2\omega} d_i(\omega t) \quad (59)$$

let's repeat the calculations

$$d_1(\omega t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

$$d_1(\omega t) = A \cos(\omega t + \varphi).$$

Now we consider other fractional derivatives.

4.

$$\left(\frac{d}{dt} \right)^{\frac{1}{4}} e_i(\omega t) + \sqrt{\omega} \left(\frac{d}{dt} \right)^{-\frac{1}{4}} e_i(\omega t) = 2\omega^{\frac{1}{4}} \cos \frac{\pi}{8} e_i(\omega t) \quad (60)$$

let's repeat the calculations

$$e_1(\omega t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

$$e_1(\omega t) = A \cos(\omega t + \varphi).$$

Now we consider other fractional derivatives.

5.

$$\sqrt{2\omega} \left(\frac{d}{dt} \right)^{-\frac{1}{2}} k_i(\omega t) - \omega \left(\frac{d}{dt} \right)^{-1} k_i(\omega t) = k_i(\omega t) \quad (61)$$

let's repeat the calculations

$$k_1(\omega t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

$$k_1(\omega t) = A \cos(\omega t + \varphi).$$

We see that equations (54)-(61) describe the harmonic oscillation process. In the usual traditional case this oscillation satisfies Newton's equation

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -kx(t) \Rightarrow \ddot{x}(t) + \omega^2 x(t) = 0$$

solution of which is

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi).$$

For left- and right- moving waves $f(x - vt)$ and $f(x + vt)$ one can change notation in previous formulas:

$$t \rightarrow x, \quad \omega \rightarrow 1, \quad \omega t \rightarrow x - vt \quad \text{or} \quad x + vt,$$

$$a(\omega t) \Rightarrow f(x - vt), \quad f(x + vt) \\ \text{or} \quad F = A_1 f(x - vt) + A_2 f(x + vt),$$

Then all equations (54)-(61) have solutions

$$\begin{matrix} A_i \sin(x - vt) & \text{and} & A_j \cos(x - vt) \\ \text{or} & A_k \sin(x + vt) & \text{and} & A_n \cos(x + vt) \end{matrix}$$

and their linear combinations like

$$A_i \sin(x - vt) + A_k \sin(x + vt)$$

or

$$A_j \cos(x - vt) + A_n \cos(x + vt)$$

so on.

V. RESULTS

Finally we found universal formulas for taking fractional derivatives.

1.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \sin x = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\rho\right)$$

here ρ -is any arbitrary number.

2.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \cos x = \cos\left(x + \frac{\pi}{2}\rho\right)$$

3.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \sin ax = a^\rho \sin\left(ax + \frac{\pi}{2}\rho\right)$$

4.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \cos ax = a^\rho \cos\left(ax + \frac{\pi}{2}\rho\right)$$

5.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho e^{ax} = a^\rho e^{ax}$$

6.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho a^x = (\ln a)^\rho a^x, \quad a > 1$$

7.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho e^{-ax} = -a^\rho e^{-ax}$$

8.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \operatorname{sh} ax = a^\rho \operatorname{ch} ax$$

9.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^\rho \operatorname{ch} ax = a^\rho \operatorname{sh} ax$$

10.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \left(\frac{1}{x}\right) = -\Gamma\left(1 - \frac{1}{\nu}\right) \cdot x^{\frac{1-\nu}{\nu}}$$

here ν -is any arbitrary number.

11.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \ln x = \Gamma\left(-\frac{1}{\nu}\right) x^{\frac{1}{\nu}}$$

12.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \left(\frac{1}{x^2}\right) = \Gamma\left(2 - \frac{1}{\nu}\right) x^{\frac{1}{\nu}-2}$$

13.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \sqrt{x} = 2^{\frac{1}{\nu}} \cdot x^{\frac{2+\nu}{2\nu}} \left[-\frac{2+2\nu}{\nu} - 1\right] !!$$

14.

$$\left(\frac{d}{dx}\right)^{-\frac{1}{\nu}} \frac{1}{\sqrt{x}} = -2^{\frac{1}{\nu}} \cdot x^{\frac{2-\nu}{2\nu}} \left[-\frac{2+2\nu}{\nu} + 1\right] !!$$

VI. CONCLUSION

We studied Newton's equations for the harmonic oscillations using newly generated formula derived in our study and we conclude that Newton's equations are not limited to integers, but can be well presented using fractional derivatives.

REFERENCES

- [1] Gradshteyn, I.S. and Ryzhik, I.M (1980). Table of Integrals, Series and Product, Academic Press, New York.
- [2] Namsrai, Kh. (2013). Derivation of Universal Formulas for Calculation of Some Definite Integrals by Hand, Ekimto Press, Ulaanbaatar.
- [3] Dzrbashan, M.M., (1996). Integer transformations and representations of function in the complex plane, Moscow (in Russian)
- [4] Samko, S.G, Kilbas, A.A., Marichev, O.I. (1993). Fractional integrals and derivatives. Theory and applications, Gordon and Breach, Amsterdam.
- [5] Hilfer, R. (ed) (2000). Applications of fractional calculus in physics. World Scientific, Singapore.
- [6] Utida N. Katugampola. A New Approach to Generalized Fractional Derivatives. Bulletin of Mathematical Analysis and Applications, Volume 6, Issue 4, 2014, Page 1-15.
- [7] G. W. Leibniz. "Letter from Hanover, Germany to G.F.A. L'Hospital, September 30, 1695", *Leibniz Mathematische Schriften*. Olms-Verlag, Hildesheim, Germany, 1962. p.301-302, First published in 1849.
- [8] G. W. Leibniz. "Letter from Hanover, Germany to Johann Bernoulli, December 28, 1695", *Leibniz Mathematische Schriften*. Olms-Verlag, Hildesheim, Germany, 1962. p.226, First published in 1849.
- [9] G. W. Leibniz. "Letter from Hanover, Germany to John Wallis, May 28, 1697", *Leibniz Mathematische Schriften*. Olms-Verlag, Hildesheim, Germany, 1962. p.25, First published in 1849.
- [10] A. A. Kilbas, H. M. Srivastava, and J. J. Trujillo. Theory and Applications of Fractional Differential Equations. Elsevier, Amsterdam, 2006.

- [11] K. S. Miller and B. Ross. An introduction to the fractional calculus and fractional differential equations. Wiley, New York, 1993.
- [12] K. B. Oldham and J. Spanier. The fractional calculus. Academic Press, New York, 1974.
- [13] I. Podlubny. Fractional Differential Equations. Academic Press, San Diego, California, 1999.
- [14] S. G. Samko, A. A. Kilbas, and O. I. Marichev. Fractional Integrals and Derivatives: Theory and Applications. Gordon and Breach, Yverdon, 1993.

Монголын Цөмийн Салбарын Хүний Нөөцийн Төлөвлөгөө: 2009 ба 2016 Он

Ц.Амартайван^{1,*}, С.Одмаа^{2,3}, М.Чадраабал⁴

¹МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

²МУИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн сургууль, Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим

³МУИС, Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв

⁴Монгол улсын Цөмийн Энергийн Комиссийн Ажлын алба

Бид энэ ажлаар 2009 онд боловсруулагдсан “цөмийн салбарын хүний нөөцийн төлөвлөгөө”-ний хэрэгжилтэд үнэлгээ өгөн цаашид боловсронгуй болгох талаар санал дэвшүүллээ.

PACS numbers: 01.78.+p

Түлхүүр үг: цөмийн салбар, хүний нөөц, замын зураглал

УДИРТГАЛ

Монгол улсын хэмжээнд цөмийн салбарын хүний нөөцийг албан ёсоор 1967 оноос тухайн үед физикийн мэргэжлийн оюутнуудыг цөмийн физикээр мэргэшүүлэн бэлтгэж эхэлжээ[1]. Цөмийн мэргэжлээр боловсон хүчин бэлтгэх асуудал нь 1956 онд байгуулагдсан Засгийн газрын хоорондын байгууллага болох ОХУ-ын Дубна хот дахь Цөмийн Шинжилгээний Нэгдсэн Институт, Олон улсын атомын энергийн агентлагаас хэрэгжүүлдэг төсөл хөтөлбөр томоохон үүрэг гүйцэтгэсэн байна. ОУАЭА-ийн санхүүжилтээр Монгол улсад хэрэгжүүлсэн болон хэрэгжиж буй төсөл нь цөмийн физикийн суурь судалгаа, цөмийн технологи, цацрагийн хамгаалалтын чиглэлээр буюу эрчим хүчний бус чиглэлийнх зонхилж байна [2]. Монгол улсад цөмийн эрчим хүчийг ашиглаж эхлэх талаарх анхны баримт бичиг болох “Монгол улсын төрөөс цацраг идэвхт ашигт малтмал болон цөмийн энергийн талаар баримтлах бодлого” 2009 онд Улсын их хурлын тогтоолоор батлагдсаны дараа “Цөмийн Энергийн тухай хууль”, “Монгол улсын төрөөс цацраг идэвхт ашигт малтмал болон цөмийн энергийн талаар баримтлах бодлогыг хэрэгжүүлэх хөтөлбөр” батлагдсан юм. “Монгол улсын төрөөс цацраг идэвхт ашигт малтмал болон цөмийн энергийн талаар баримтлах бодлогыг хэрэгжүүлэх хөтөлбөр”-т заасны дагуу Монгол улс 2021 он гэхэд цөмийн эрчим хүч ашиглаж эхлэхээр заасан байдаг [3]. Үүнтэй уялдуулан 2010 онд МУИС-ийн Цөмийн судалгааны төвийн (тухайн үеийн нэршил) судлаачдын баг “Монгол улсад цөмийн эрчим хүч болон цацраг идэвхт ашигт малтмал ашиглахад шаардагдах замын

зураглал”-ыг Цөмийн Энергийн газрын захиалгаар хийж гүйцэтгэсэн юм.

Бид энэ ажлаараа 2010 онд хийгдсэн хүний нөөцийн замын зураглалын хэрэгжилтийг үнэлж, цаашид боловсронгуй болгох талаар нэгтгэн дүгнэлээ.

ХҮНИЙ НӨӨЦИЙН ТӨЛӨВЛӨГӨӨ БА ХЭРЭГЖИЛТ

Монгол улсад Цөмийн эрчим хүчний хөтөлбөр хэрэгжүүлэх бэлтгэл шатанд “сургалт судалгааны реактор” барьж ашиглах нь дэд бүтэц хөгжүүлэх, эрх зүйн орчин бий болгох болон үндэсний боловсон хүчин бэлтгэхэд чухал ач холбогдолтой. Тиймээс 2010 онд хийгдсэн, сургалт судалгааны реакторыг ажиллуулах, түүнд түшиглэн судалгаа, сургалт явуулах багш, судлаачдыг бэлтгэх “Хүний нөөцийн замын зураглал”-ын дагуу 2010 оноос жилд дунджаар 10 хүнийг гадаадад тодорхой мэргэжлээр сурган нийт 12 мэргэжлээр 48 мэргэжилтэн (15 докторын түвшинд, 33 магистрын түвшинд) бэлтгэхээр төлөвлөгөө хийгдсэн (Хүснэгт №1) [4]. Эдгээр гадаадад мэргэшсэн судлаач, багш нар үндэсний боловсон хүчинг бэлтгэхэд гол үүрэг гүйцэтгэхээр төлөвлөсөн болно.

Цөмийн салбарын хүний нөөцийг бэхжүүлэхийн тулд цөмийн салбарын хамтын ажиллагааны санамж бичиг зурсан ОХУ, Украин зэрэг улсуудад 2009 оноос бакалаврын нийт 70 оюутан илгээснээс төгссөн 9, суралцаж байгаа 45, сургуулиа хаясан 16 байна. Суралцаж байгаа оюутнуудын 27 нь цөмийн физик, цөмийн эрчим хүч, цацрагийн аюулгүй

* Electronic address: amartaivan@num.edu.mn

Хүснэгт №1. Сургалт судалгааны реакторыг ажиллуулахад шаардлагатай боловсон хүчин бэлтгэх төлөвлөгөө [4]

№	Сургах мэргэжил	Авах Зэрэг	Хүний тоо	(явах он)
1	Цөмийн инженерчлэл (Реакторын физик, Реакторын онол, Голомтын дизайн, Түлшний элементийн дизайн)	PhD	1	2010
		MS	1	
		PhD	1	2012
		MS	1	
		MS	2	2015
2	Цөмийн анализын арга (Нейтрон идэвхжилийн арга)	PhD	1	2010
		MS	1	2013
3	Цөмийн хими (Цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэх), Цөмийн болон цацрагийн хими	PhD	1	2010
		MS	1	2011
		PhD	1	2015
4	Эрүүл мэндийн физик (Ажлын байран дахь цацрагийн хамгаалалт, цацрагийн биологи)	PhD	1	2013
		MS	1	2015
		MS	1	2017
5	Цөмийн электроник, төхөөрөмж	PhD	1	2011
		PhD	1	2014
6	Ураны уурхай дахь цацрагийн хамгаалалт	MS	3	2010
		MS	2	2011
7	Ураны геологи	MS	2	2012
		MS	2	2013
		MS	1	2014
8	Цөмийн аюулгүй байдал, хамгаалалт	PhD	1	2012
		MS	2	2015
		MS	2	2017
9	Цөмийн инженерчлэл (Цөмийн цахилгаан станцтай холбоотой гидравлик, пневматикийн инженерчлэл)	PhD	1	2012
		MS	1	2014
		MS	1	2016
10	Цөмийн инженерчлэл (Реакторын системийн дизайн, системийн анализ)	PhD	2	2012
		MS	2	2015
		MS	2	2017
11	Цөмийн инженерчлэл (Түлшний цикл, хаягдлын менежмент)	PhD	1	2013
		MS	2	2015
		PhD	1	2016
		MS	1	
12	Цөмийн инженерчлэл (Цөмийн реакторын материал, эд ангийн дизайн)	PhD	1	2014
		MS	2	2016

байдал, цацрагийн химийн чиглэлээр, 18 нь ашигт малтмалын хайгуул, олборлолт, боловсруулалтын чиглэлээр суралцаж байна. Ахисан түвшинд ихэвчлэн БНСУ улсад суралцуулахаар явуулж байгаа бөгөөд БНСУ-д цацрагийн хамгаалалтын магистрын зэрэг авсан нийт 5, суралцаж буй 3 байна. Румын улсад цөмийн инженерийн мэргэжлээр 2 хүн магистрын зэргээ хамгаалжээ.

Япон улсын Токиогийн Технологийн Институт, МУИС-ийн Цөмийн Физикийн Судалгааны Төвтэй байгуулсан санамж бичгийн дагуу цөмийн реакторын физикийн чиглэлээр 2, химийн инженерчлэлийн чиглэлээр 1, нийт 3 хүн докторын зэрэг хамгаалаад байна. Мөн реакторын физик болон дулааны гидравликийн чиглэлээр 2 хүн докторын түвшинд суралцаж байна.

Байгуулсан санамж бичгийн дагуу суралцан төгсөгчдийг ажлын байраар хангах асуудал мөн хүндрэл дагуулж байна. 2015 оноос цөмийн мэргэжлээр бакалавр, магистрын сургалтыг дүүргэж ирсэн төгсөгчдийг 90 орчим хувь нь ажлын байргүйн улмаас мэргэжлийн чиглэлээр ажилд орох боломжгүй байдалтай байна.

Дотоодод цөмийн салбарын мэргэжилтэн бэлтгэхэд МУИС гол үүргийг гүйцэтгэдэг. МУИС-д 1997 оноос “цөмийн технологи”, 2012 оноос “цөмийн эрчим хүч” мэргэжлээр сургалт явуулж байсан боловч 2014 онд батлагдсан мэргэжлийн индексийн жагсаалтад “цөмийн технологи” мэргэжил хасагдсаны улмаас цөмийн эрчим хүчний бус мэргэжилтэн бэлтгэх асуудал зогсох байдалд хүрлээ [5].

Төлөвлөгөөний хэрэгжилтийг нэгтгэн дүгнэхэд цөмийн инженерчлэлийн зарим чиглэл, эрүүл мэндийн физик, цөмийн электроник төхөөрөмж, цөмийн болон цацрагийн химийн чиглэлээр бэлтгэгдсэн мэргэжилтэн одоогоор байхгүй байна.

ХҮНИЙ НӨӨЦИЙН ТАЛААРХ ОДООГИЙН БАЙДАЛ

Одоогийн байдлаар цөмийн салбартай холбоотой баримт бичиг, хөгжлийн төлөвлөгөө өөрчлөгдөөгүй боловч цаашид “Монгол улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал 2030” – ийг баримтлан аж үйлдвэрлэл, хөдөө аж ахуй, эрдэс баялаг, эрүүл мэнд, эрчим хүчний салбарт цөмийн технологи ашиглах, хөгжүүлэх төлөвлөгөө боловсруулан улмаар үүнтэй уялдуулан “цөмийн салбарын хүний нөөцийн төлөвлөгөө” боловсруулах шаардлагатай байна [6].

Мөн манай оронд цөмийн технологийн хэрэглээ харьцангуй хөгжсөн нь эрүүл мэндийн салбар юм. Хавдар судлалын үндэсний төвд хавдрын эмчилгээнд кобальт-60 үүсгүүр бүхий шарах төхөөрөмжийг суурилуулан эмчилгээнд ашиглаж байна. Хүчин чадлыг нь нэмэх зорилгоор хоёр шугаман хурдасгуур удахгүй ашиглалтад орно [7]. Мөн БНСУ-ын хөнгөлөлттэй зээлээр фтор-18 изотоп ашиглах позитрон цацаргалтын томографи (PET-CT) суурилагдахаар бэлтгэл ажилдаа оржээ.

Тиймээс одоогийн нөхцөл байдал, хөдөлмөрийн зах зээлийн шаардлагыг 2009 оныхтой харьцуулахад “хүний нөөцийн төлөвлөгөө”-г дахин шинэчлэн боловсруулах шаардлага тулгарч байна.

Үүний тулд дотоодод бэлтгэх боломжгүй мэргэжилтэнг гадаадад сургах төлөвлөгөө боловсруулахын сацуу МУИС-д одоо хэрэгжиж буй “цөмийн инженерчлэл” сургалтын төлөвлөгөөнд [8] хөдөлмөрийн зах зээлтэй уялдуулсан эмнэлгийн физик, цацрагийн технологи, цацрагийн хамгаалалт, цөмийн шинжилгээний аргуудтай холбоотой мэдлэг ур чадвар олгох хичээлийг нэмэгдүүлэх нь зохимжтой.

ДҮГНЭЛТ

1. 2009 онд боловсруулсан “цөмийн салбарын хүний нөөц”-ийн төлөвлөгөөний хэрэгжилтийг үнэлэхэд цөмийн инженерчлэлийн зарим чиглэл, эрүүл мэндийн физик, цөмийн электроник төхөөрөмж, цөмийн болон цацрагийн химийн чиглэлээр бэлтгэгдсэн мэргэжилтэн одоогоор байхгүй байна.
2. Гадаадад суралцаад төгсөгчдөд ажлын байр хангалтгүй байгаа нь цаашид энэ салбарын хүний нөөцийг бэлтгэхэд хүндрэл гарч болзошгүй.
3. “Монгол улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал 2030” баримт бичигт тулгуурлан цөмийн салбарын хөгжлийн төлөвлөгөө, хүний нөөцийн төлөвлөгөөг дахин боловсруулах шаардлага урган гарч байна.

ИШЛЭЛ

1. Цөмийн Судалгааны 50 жил, 2015 он
2. Олон улсын атомын энергийн сайт, <http://pcmf.iaea.org> (тусгай эрхээр нэвтэрнэ)
3. “Монгол улсын төрөөс цацраг идэвхт ашигт малтмал болон цөмийн энергийн талаар баримтлах бодлогыг хэрэгжүүлэх

- хөтөлбөр”, 2009 оны 7-р сарын 22, Засгийн газрын тогтоол №222
4. Ц.Амартайван, С.Даваа, Н.Норов, С.Одмаа, Г.Хүүхэнхүү, “Монгол улсад цөмийн эрчим хүч болон цацраг идэвхт ашигт малтмал ашиглахад шаардагдах хүний нөөцийн хөгжлийн замын зураглал” 2010 он, МУИС-ийн Цөмийн судалгааны төв, судалгааны тайлан, 2010 он
 5. Монгол улсын Боловсрол, Шинжлэх ухааны сайдын тушаал, 2014 оны 3-р сарын 13, № А/78, Мэргэжлийн индекс шинэчлэн батлах тухай
 6. Монгол улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал 2030, Монгол улсын УИХ-ын 2016 оны 19-р тогтоолын хавсралт
 7. <http://www.nea.gov.mn/content/show/id/170>
 8. МУИС-ийн “цөмийн инженерчлэл” бакалаврын сургалтын төлөвлөгөө, 2014 он

Мөнгөний Нано Партиклыг Ашиглан Охратоксин А-г Раман Спектрометрээр Бүртгэх

Г.Эрдэнэ-Очир^{1,2,*}, Жү Санг-У²

¹МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

²Сүншил Их Сургууль, Химийн тэнхим, Сөүл 156-743, БНСУ

Энэхүү ажлаар бид мөнгөний нано частиц (AgNPs)-г ашиглан Охратоксин А (OTA)-г Раман спектрометрээр бүртгэх шинэ аргыг танилцуулж байна. Энэхүү арга нь OTA-н аптамерийн нь бүтцийн өөрлөлт дээр үндэслэгдэнэ. OTA-н аптамер нь метал нано частицлын гадаргуу дээр амархан наалдах чадвартай байдаг. Гэвч OTA-г түүний аптамертай хольсноор аптамер G-квадраплекс бүтэцтэй болох ба ингэснээр нано частицлын гадаргууд наалдах чадвараа алддаг. Энэ үед аптамерт холбоотой байсан Cy5 репортер молекулын Раман сигналын эрчим багасна.

PACS numbers: 87.85.Rs, 87.85.fk, 87.64.kp

Түлхүүр үг: Раман спектрометр, мөнгөний нано частиц, охратоксин А.

ОРШИЛ

Хүнсний бүтээгдэхүүнээс ялгарч байдаг микотоксин нь хүний эрүүл мэндэд хортой бөгөөд тэдгээрийг концентрацийн бага мужид хурдан шуурхай, хялбар аргаар илэрүүлэх арга олох нь судлаачдын анхаарлыг ихээр татсаар байна [1]. Охратоксин А (OTA) нь үр тариа, самар, хатаасан жимс, шар айрагт *Aspergillus* болон *Penicillium* зэргээс үүсдэг микотоксин юм [2]. OTA-г илэрүүлэх олон төрлийн арга байдаг боловч тэдгээр нь зардал өндөртэйгээс гадна, өндөр түвшинд бэлтгэгдсэн мэргэжилтэн шаардаж байдаг [3-6].

Аптамер буюу уургийн молекулын ганц ороодос нь микотоксиний судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг билээ [7, 8]. Зөвхөн OTA-тай холбогдох шинж чанартай аптамерийг эрдэмтэд 2008 онд тодорхойлсон [9]. OTA-ний аптамер нь түүнтэй холбогдсоноор уургийн молекулын чөлөөтэй сунасан хэлбэрээ алдаж G-квадраплекс буюу хумигдсан бүтцийг үүсгэдэг. Ингэснээр түүний химийн идэвхийг сулруулдаг байна.

Метал нано частицлууд нь Раман сарнилыг хэдэн зуу дахин өсгөдөг нь нэгэнт тодорхой болсон бөгөөд орчин үед энэ техник судалгааны олон салбар, чиглэлд өргөнөөр ашиглагдаж байгаа билээ. Үүнийг гадаргаар эрчимжигдсэн Раман сарнаил буюу SERS (Surface-Enhanced Raman Scattering) буюу гэж нэрлэдэг [10]. Ганц болон давхар ороодос бүхий уургийн молекулууд нь алт, мөнгө зэрэг метал нано частицлын гадаргуу дээр хялбархан холбогддог нь өмнөх судалгаануудаас харагддаг [11, 12]. Иймд өндөр Раман сарнил өгдөг молекулуудыг уургийн молекултай холбон репортер болгон ашигладаг. Тухайн аптамертай холбогддог

молекул байхгүй үед уургийн молекул нано частицлын гадаргууд наалдсанаар түүнтэй холбоотой репортероос Раман спектрийг бүртгэх боломжтой. Харин аптамер өөрийн тусгай молекултай холбогдсоноор нано частицтай холбогдох чадвараа алдах ба ингэснээр репортер молекулын Раман спектр дэх пикийн эрчим буурдаг.

ТУРШИЛТ

Бид энэ ажилд натрийн цитратаар тогтворжуулсан мөнгөний нано частиц (AgNPs)-г ашигласан. OTA-н аптамерийг БНСУ-н Bioneer, OTA болон контрол туршилтанд хэрэглэсэн варфаринийг Sigma Aldrich компаниудаас тус тус захиалан авсан. Аптамер нь өндөр эрчим бүхий SERS сигнал өгдөг Cy5 репортер молекултай холбогдсон байна.

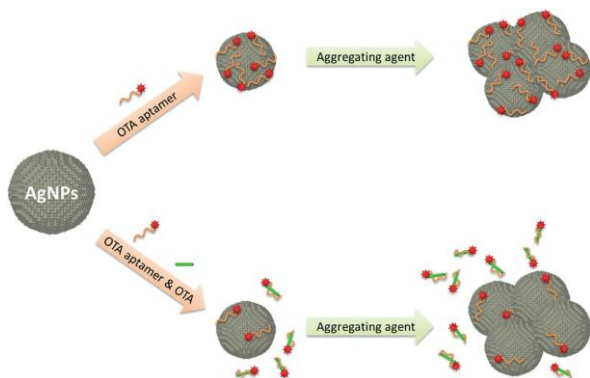
Туршилтыг гүйцэтгэхдээ 10 ммоль PBS-д уусгаж бэлтгэсэн аптамерийг хэрэглэнэ. 100 мкл AgNPs-д 5 нмоль концентрацитай байхаар аптамерийг хольж, үүнээс 1 минутын дараа 1мкл спермин нэмж 3 минутын дараа спектрийг бүртгэж авсан. Спермин нь AgNPs-н бөөгнөрлийг өдөөж Раман сарнилын эрчмийг нэмэгдүүлнэ.

ҮР ДҮН

Туршилтын схемийг Зураг-1-т харуулав. OTA үгүй үед аптамер AgNPs-н гадаргууд цахилгаан статик хүчний үйлчлэлээр холбогдох ба ингэснээр Cy5 репортер молекулын SERS сигнал бүртгэгдэнэ. Аптамерийг OTA-тай холих үед түүний бүтэц өөрчлөгдөж AgNPs-н гадаргууд суух боломжгүй болно. Ингэснээр Раман сигналын эрчим суларч эхлэх ба пикийн

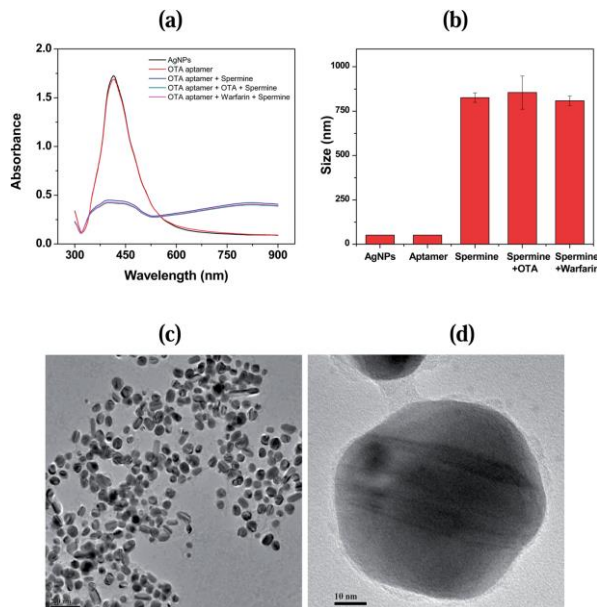
* Electronic address: erdeneochir_g@num.edu.mn

өндөр ОТА-н концентрациас урвуу хамааралтай байна. Контрол туршилтанд ОТА-н оронд варфариныг хэрэглэх үед SERS спектрийн эрчим түүний концентрациас бараг үл хамаарч байгаа үр дүн гарсан.



Зураг-1. Су5 молекул бүхий аптамераар ОТА-г бүртгэх арга.

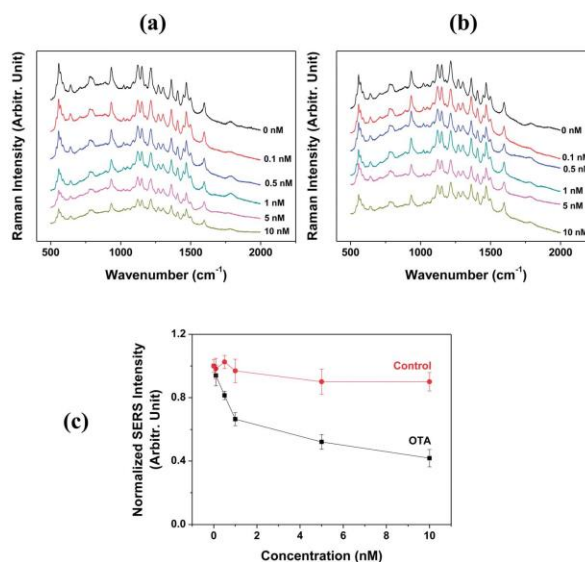
Зураг-2-т AgNPs-н UV-vis шингээлтийн спектр, ОТА болон варфарин хольсны дараах партиклын хэмжээ болон ТЕМ зургийг үзүүлэв. ОТА болон варфарины аль тохиолдолд нано партиклын шингээлтийн спектр шилжилт ажиглагдаж (Зураг-2(a)), мөн хэмжээ нь ~40 нм-с ~800 нм болтлоо нэмэгдсэн (Зураг-2(b)) байгаа нь Раман спектр бүртгэх боломжтойг харуулж байна.



Зураг-2. (a) Спермин нэмэхийн өмнө болон дараах ОТА (варфарин) ба аптамертай хольсон AgNPs-н шингээлтийн спектр. (b) AgNPs-н хэмжээ. Хэмжилтийг гурван удаа хийж стандарт хазайлтыг тодорхойлсон. (c) ба (d) AgNPs-н TEM зураг.

Зураг-3(a) ба (b) дээр Су5 репортер бүхий аптамерийн SERS спектрийг ОТА болон варфарины хувьд тус тус үзүүлсэв. Туршилтын үр дүнгүүдийг Зураг-3(c)-д нэгтгэн харуулсан. Туршилтаас харахад ОТА-н концентрацийн 0.1-

10 нмоль мужид SERS сигнал ~40%-иар буурч байхад, контрол варфарины хувьд эрчим бараг хэвээрээ байгаа нь илэрхий харагдаж байна.



Зураг-3. ОТА (a) ба варфарин (b)-ны концентрациас хамаарсан Су5 репортертой аптамерийн SERS спектрууд. (c) Хэмжилтийн өгөгдлүүдийг нэгтгэсэн график.

ДҮГНЭЛТ

Бидний туршилтаас харахад SERS техник нь микотоксиныг бүртгэхэд ашиглагдаг уламжлалт аргуудтай харьцуулахад өртөг багатай, хялбар арга болох нь харагдаж байна. Хэмжилтийн муруй 0.1-1 нмоль мужид шулуун байгаа нь маш бага концентрацийг бүртгэх ч боломжтойг илтгэж байна. Гэвч энэ аргыг илүү нарийвчлан сайжруулах шаардлагатай юм.

НОМ ЗҮЙ

- [1] S. Marin, A. J. Ramos, G. Cano-Sancho and V. Sanchis, Food Chem. Toxicol., 2013, 60, 218–237.
- [2] A. Pfohl-Leszkowicz and R. A. Manderville, Chem. Res. Toxicol., 2012, 25, 252–262.
- [3] N. W. Turner, S. Subrahmanyam and S. A. Piletsky, Anal. Chim. Acta, 2009, 632, 168–180.
- [4] P. M. Scott, Adv. Exp. Med. Biol., 2002, 504, 117–134.
- [5] P. Pa'iga, S. Morais, T. Oliva-Teles, M. Correia, C. Delerue-Matos, S. C. Duarte, A. Pena and C. M. Lino, Food Chem., 2012, 135, 2522–2528.
- [6] E. P. Meulenberg, Toxins, 2012, 4, 244–266.
- [7] L. Jiang, J. Peng, R. Yuan, Y. Chai, Y. Yuan, L. Bai and Y. Wang, Analyst, 2013, 138, 4818–4822.
- [8] L. H. Lauridsen and R. N. Veedu, Nucleic Acid Ther., 2012, 22, 371–379.
- [9] J. A. Cruz-Aguado and G. Penner, J. Agric. Food Chem., 2008, 56, 10456–10461.

- [9] D. van Lierop, I. A. Larmour, K. Faulds and D. Graham, *Anal. Chem.*, 2013, 85, 1408–1414.
- [10] H. X. Li and L. Rothberg, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 2004, 101, 14036–14039.
- [11] C. Yang, Y. Wang, J.-L. Marty and X. Yang, *Biosens. Bioelectron.*, 2011, 26, 2724–2727.

Цацрагаар Боловсруулан Супер Ус Шингээгч Гарган Авсан Судалгааны Эхний Дүн

О.Сүх¹, Ц.Амартайван^{2,*}

¹Монгол улсын их сургууль, Цөмийн физикийн судалгааны төв

²Монгол улсын их сургууль, Шинжлэх ухааны сургууль, Физикийн тэнхим

Энэ ажлаар бид байгалийн полимерийг цөмийн цацрагаар шаран үйлчлэн хөдөө аж ахуй, тэр тусмаа ургамал ногоонд чухал хэрэгцээтэй бүтээгдэхүүн болох супер ус-шингээгч (super water absorbent-SWA) полимерийг гарган авах зорилго тавьсан. Супер ус шингээгчийг дэлхийн жишигт гарган авч буй карбоксиметил целлюлоз (carboxymethylcellulose-CMC) болон Натрийн акриллик хүчлийн (Sodium acrylic acid-NaAAc) гэсэн хоёр аргаар туршин үзэв. Туршилтын үр дүн буудайн сүрэл, боловсруулалтын үеийн дайвар бүтээгдэхүүн болох няцалбарын хувьд карбоксиметил целлюлоз ашиглан супер ус шингээгч гарган авах илүү боломжтойг харууллаа.

PACS numbers: 82.50 –m

Түлхүүр үг: цацрагийн хими, цацрагийн боловсруулалт, супер ус шингээгч.

I. ОРШИЛ

Цөмийн цацрагаар материалын бүтэц, шинж чанар, химийн холбоосыг өөрчлөх нь химийн боловсруулалтын аргатай харьцуулахад бага температурт явуулж болох, хэрэглэгдсэн урвалж бодисын хаягдал бага, илүү үр дүнтэй байдаг. Цацрагаар бүтэц, шинж чанарыг нь сайжруулсан бараа бүтээгдэхүүнүүд нь бидний өдөр тутмын амьдралд ихээхэн тохиромжтой байдаг. Жишээ нь: хөөс, хөөсөнцөр, хөөсөн бүтээгдэхүүнүүд мөн автомашины дугуй зэргийн чанарыг сайжруулахын тулд цацрагаар шардаг. Ингэснээр материалын бат бөх чанар, уян харимхай байдал зэрэг шинж чанарыг хүссэнээрээ өөрчлөх боломжийг бий болгож байна.

Супер ус-шингээгч гэдэг нь өөрийнхөө жингээс хэдэн зуу дахин их хэмжээний усыг шингээх чадвартай усанд уусдаггүй гель агуулсан полимер материал юм. Уг гелийг ихэвчлэн ус амархан шингээдэг мономерүүдийг цацрагаар шарах эсвэл химийн аргаар хөндлөн-холбоос үүсгэн полимержүүлэх замаар гарган авдаг [1]. Уг бүтээгдэхүүн нь хүүхдийн живх, ариун цэврийн хэрэглэл, хүнд хортой элемент шингээгч, усны хамгаалалт, шүүлтүүр, хөдөө аж ахуйн бордоо (хөрсний чийг тэнцвэржүүлэгч) гэх мэт маш өргөн хэрэглээний бүтээгдэхүүнүүдийн түүхий эд болдог. Мөн халуун бүсэд оршдог Азийн олонх орнуудад хуурай улирлын үед ургацаа нэмэгдүүлэхийн тулд супер ус шингээгчийг ашигладаг [2, 3].

Бороо хур багатай, богино хугацаанд ургац тарьж ургуулдаг Монгол орны хувьд хөдөө аж ахуй, тэр тусмаа ургамал ногоонд чухал

хэрэгцээтэй бүтээгдэхүүн болох хөрсний чийг тэнцвэржүүлэгч (супер ус-шингээгч) хэрэглэх нь ургацын болцын хугацааг богиносгох, улмаар ургацын хэмжээг нэмэгдүүлэхэд тохиромжтой. Бид энэ ажлаараа байгалийн полимер агуулсан буудайн сүрэл болон хальсыг ашиглан супер ус шингээгч гарган авах боломжийг судаллаа. Буудайн сүрэл, гурил боловсруулах үеийн дайвар бүтээгдэхүүн (няцалбар) нь байгаль дээр өргөн тархалттай, олдоц ихтэй, үнэ хямд, био-задралд ордог, ус сайн шингээдэг байгалийн полимер боловч шингээсэн усаа хурдан алддаг талтай. Уг шинж чанарыг нь ашиглан эдгээр байгалийн полимерүүдийг өөр төрлийн ус сайн шингээдэг, байгальд хоргүй, био-задралд ордог полимерүүдтэй хольж туршиж, шинж чанарыг нь судаллаа.

II. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

Цацрагийн үүсгүүр

Энэхүү судалгааны ажилд Япон улсын Такасаки хотод байрлах Квант, Цацрагийн Шинжлэх Ухаан Технологийн Үндэсний Институтийн гамма цацрагийн байгууламж дахь кобальт-60 үүсгүүр болон электрон хурдасгуурыг ашигласан.

Гамма цацрагийн хувьд Co-60 изотопон үүсгүүртэй, цагт 10 кГр тунгаар шарах чадалтай. Харин электроны хурдасгуур нь өндөр хүчин чадалтай ба электроны энерги нь 2 МэВ, хоолойн гүйдэл нь 2mA. Үүсгүүрээс дээж хүртэлх зай 20 см бөгөөд тунгийн чадал нь 10 кГр/мин.

* Electronic address: amartaivan@num.edu.mn

Дээж бэлтгэл

40%-ийн натрийн шүлтийг (NaOH) адил эзэлхүүнтэй, 50%-ийн акрилийн хүчил рүү удаан дусаан дууссаны дараа 45 минут хутгаж натрийн акриллийн хүчлийг (NaAAs) бэлтгэнэ. Энэ нь хөөсөрсөн цагаан өнгөтэй болно. Сүрэл, няцалбарын дээжийг 20% агуулгатай байхаар, бэлтгэсэн NaAAs хүчилтэй холин пластик уутанд савлан шаралтанд бэлтгэв [4].

СМС ашиглан дээжийг, нэг дээжний цэвэр жин 100 г (100 грамм = 100%) байхаар тооцон тус бүр 20%-ийн цэвэр СМС дээр сүрлийг 3, 5, 9% байхаар нэмж үлдсэн хувийг нь нэрмэл цэвэр усаар дүүргэн нэгэн төрөл болтол нь хольж бэлтгэсэн. Холих үед THINKY брэндийн ARE-310 загварын холигч машиныг ашигласан ба 2000 эрг/мин хурдтайгаар 30 минут холив. Бэлдсэн дээжүүдийг шарахад зориулан вакуумжуулан савлав.

Шарсан тун

Үр дүн цацрагийн төрөл, тунгаас хэрхэн хамаарахыг судлах зорилгоор 10; 20; 30; 40кГр гэсэн ялгаатай тунгаар гамма болон электрон багцаар шарлаа.

Гелийн эзлэх хувь, ус шингээх чадварыг тодорхойлох арга

Шарсан дээжийг вакуум хатаагчинд 40°C температурт 24 цаг хатаав. Шаралтын үед үүссэн химийн холбоос нь 40°C-аас өндөр температурт задрах магадлалтай. Тодорхой масстай хатаасан дээжийг 48 цагийн турш нэрмэл цэвэр усанд байлган массыг хэмжин ус шингээх чадварыг нь дараах томъёогоор тодорхойлно [1]:

$$Ус\ шингээх\ чадвар = (w_s - w_i) / w_i \quad (1)$$

Үүнд: w_i - хатаасан дээжийн масс, w_s - ус шингээгээд ханасан дээжийн масс.

Ус шингээн ханасан дээжийг 40°C температурт 72 цаг дахин хатаан гелийн эзлэх хувийг хэмжинэ. Гелийн эзлэх хувийг дараах томъёогоор тодорхойлно:

$$Гелийн\ эзлэх\ хувь\ (\%) = (w_d / w_i) \times 100 \quad (2)$$

Үүнд: w_d - гелийн усанд уусдаггүй хэсгийн масс.

Гелийн эзлэх хувь нь шарагдсан дээжинд хөндлөн-холбоос үүссэн хэмжээг илэрхийлнэ. Үүнийг тодорхойлсноор тухайн гелийн байгаль дахь насжилт, тогтвортой байдал зэргийг мэдэх боломжтой.

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Гелийн эзлэх хувь

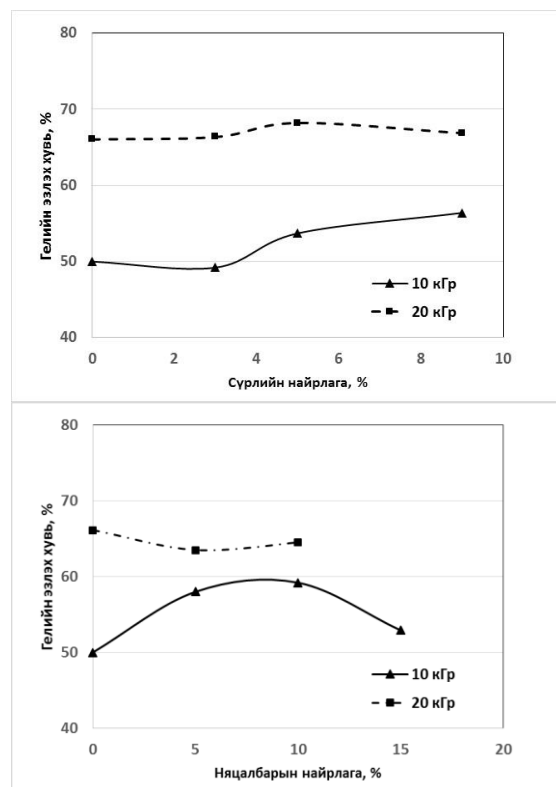
NaAAs аргаар бэлтгэсэн дээжийг 10, 20, 30, 40кГр тунгаар шарж гелийн эзлэх хувь, ус шингээх чадварыг тодорхойлсон үр дүнг Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. NaAAs аргаар боловсруулсан дээжийн гелийн эзлэх хувь, ус шингээх чадвар

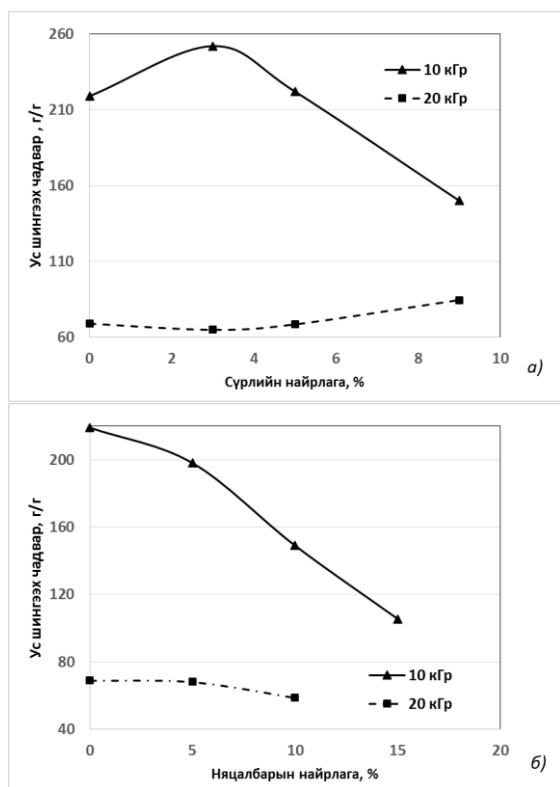
дээж	Шарсан тун (кГр)	Гелийн эзлэх хувь (100%)	Ус шингээх чадвар
Сүрэл	10	35	1.8
	20	32	2.1
	30	55	0.8
	40	52	0.9
няцалбар	10	90	0.1
	20	97	0.02
	30	93	0.07
	40	99	0.005

Гелийн эзлэх хувь нь цацрагийн тунтай шууд хамааралтайгаар нэмэгдэж байгаа ч ус шингээх чадвар буурч байна. Мөн ус шингээх чадвар энэ судалгааны зорилтыг хангахгүй байна.

СМС-тэй хольж шарсан дээжийн гелийн эзлэх хувийг 10 кГр, 20 кГр тунгийн хувьд Зураг 1а, б-д, ус шингээх чадварыг Зураг 2а, б-д тус тус үзүүлэв.



Зураг 1. 20% СМС-тэй хольж шарсан, а) сүрэл, б) няцалбар агуулсан дээжинд гелийн эзлэх хувь найрлагаас хамаарсан байдал



Зураг 2. 20% СМС-тэй хольж шарсан, а) сүрэл, б) няцалбар агуулсан дээжинд ус шингээх чадвар найрлагаас хамаарсан байдал

Сүрэл агуулсан дээжийн хувьд гелийн эзлэх хувь шарах тунг 20 кГр болгоход ойролцоогоор 20% нэмэгдэж байна. 10 кГр тунгаар шарсан тохиолдолд сүрлийн агуулга өсөхөд гелийн эзлэх хувь өсөх хандлагатай бол 20 кГр тунгаар шарсан тохиолдолд сүрлийн найрлага 5% байхад ялимгүй өссөнийг эс тооцвол өөрчлөлт бага байна.

Няцалбар агуулсан дээжийн хувьд гелийн эзлэх хувь сүрэл агуулсан дээжийнхтэй адил 20 кГр тунгаар шарсан тохиолдолд өсөж байна. Няцалбарыг 15%-аар холих боломжгүй байсан тул хэмжилт хийгдээгүй. Дээжийг 10 кГр тунгаар шарсан тохиолдолд няцалбарын найрлага 5-10%-ийн хооронд хамгийн их байна. Сүрэл агуулсан дээжийн хувьд ус шингээх чадвар шарсан тун өсөхөд өсөж байна. Дээжийг 20 кГр тунгаар шарсан тохиолдолд ус шингээх чадвар нь сүрлийн 3% байхад хамгийн их байна. Харин 10 кГр тунгаар шарсан тохиолдолд сүрлийн агуулга нэмэгдэхэд өсөх хандлага ажиглагдаж байна.

Няцалбар агуулсан дээжийг 20 кГр тунгаар шарахад ус шингээх чадвар няцалбарын найрлагаас хамааран буурч байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Бид энэ ажлаараа супер ус-шингээгч гелийг хоёр аргаар боловсруулан гарган авах аргыг туршиж үзлээ.

Натрийн акриллик хүчлийг хэрэглэн боловсруулах аргын хувьд бидний сонгон авсан сүрэл, няцалбар тохирохгүй бөгөөд шарсан дээжинд гелийн эзлэх хувь, ус шингээх чадвар хангалттай байсангүй. Үүнээс гадна энэ аргад хүчтэй хүчил, шүлт хэрэглэж байгаа нь цаашид үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх технологи болгон хөгжүүлэхэд байгаль орчинд хортой, тохиромжгүй гэж үзлээ.

Боловсруулсан дээжин дэх гелийн эзлэх хувь нь ойролцоогоор 60%-оос бага байвал хэт усанд уусдаг, амархан бутарч үйрдэг, мөн гелийн эзлэх хувь өсөхийн хэрээр ус шингээх чадвар буурдаг тул бидний туршлагын үр дүнгээс харахад харьцангуй сайн шинж чанар бүхий бүтээгдэхүүн гарган авахын тулд шарах тун 10-аас 20 кГр орчим байх нь тохиромжтой байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэ ажил Монгол улсын Шинжлэх ухаан технологийн сангийн SST_024/2015 дугаартай төсөл болон Цөмийн Энергийн Комиссийн Ажлын Албатай байгуулсан 2016 оны гэрээний санхүүжилтийн хүрээнд хийгдсэн болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. FNCA guideline on Development of Hydrogel and Oligosaccharides by Radiation Processing, Dec. 2011.
2. Kasinee Hemvichian, Auraruk Chanthawong, Phiriyatorn Suwanmala, Radiation Physics and Chemistry, 103(2014) 167-171.
3. Kamaruddin Bin Khashim, Progress Report on Super Water Absorbance of Sago Waste (SWASw), presentation, FNCA coordinators meeting, 2013, Kazakhstan.
4. Nguen Trong Hoanh Phong et all., Preparation of super water absorption materials by radiation grafting of sodium acrylate onto coir dust for agriculture use, VINATOM-AR-12-39, Annual report for 2012, VINATOM, 295-300.

Шинжлэх Ухаанч Судалгаанд Суралцсан Байдлыг Ажлын Дэвтэр Хэрэглэн Туршсан Дүнгээс

Я.Мөнхсайхан^{1,*}, М.Эрдэнэсанаа², Б.Гандош¹, М.Мөнхболд¹, Д.Пүрэвдорж¹, Б.Бурмаа³

¹МУБИС, МБУС

²Орчлон сургууль

³МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

Физикийн багш болох оюутны лабораторын хичээлээр шинжлэх ухаанч судалгаанд суралцах байдлыг шинжлэх ухаанч судалгааны түвшин[1], шинжлэн судлах чадварын хүрээ[2], мэдлэг чадварын төлөвшлийн хамаарлыг 2014-2015-2016 оны хичээлийн жилд ФЭ, ФМЗүй, ФБШ-ийн ангийн 114 суралцагчдын хувьд ажлын дэвтэр хэрэглэн хийсэн судалгааны үр дүнгээс танилцуулна. физикийн лабораторын хичээлд шинжлэх ухаанч судалгааны түвшнүүдээр туршилт судалгааг хийхэд түвшин бага үед чадварын төлөвшил нь мэдлэгээс сул(0.169) хамааралтай, түвшин дээшлэхэд төлөвшил нь мэдлэгээс хүчтэй(0.530) хамаарч байна. Мөн уламжлалт сургалтаас оюутанд чадвар ялгаатай($p=0.00, 61.48, 33.66$) төлөвшиж байна.

PACS numbers: 01.40.Fk

УДИРТГАЛ

Монгол улсад физик боловсролын стандартыг хэрэгжүүлэх үндэсний хөтөлбөрийг хоёр дах удаагаа боловсруулж хэрэгжүүлж байна. БСШУЯ-ны сайдын 2015 оны 7сарын 10-ны А/302 тоот тушаалаар батлагдсан Сургалтын цөм хөтөлбөрийг[3], хэрэгжүүлэх аргагүй нь сурагчдын бүтээлч үйл ажиллагаанд буюу аливаа юмс үзэгдлийг шинжлэн судлах, асуудал шийдвэрлэх, бусадтайгаа харилцаа холбоо тогтоох,[8] хамтран ажиллах, үр дүнгээ танилцуулах зэрэг үйл ажиллагаанд суурилна[3] гэсэн заалтын шинжлэн судлах үйлийг физикийн хичээлээр хэрэгжүүлэх багш болох оюутны төлөвшлийг судлах, шинжлэн судлах чадвар төлөвшүүлэх, сургалтын хөтөлбөрт тусгах боломжийг судлах хэрэгцээтэй байна.

Энэхүү судалгаа нь дээрх асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд шинжлэн судлах чадварыг ажлын дэвтэр хэрэглэн төлөвшүүлэх боломжийг шинжлэх ухаанч судалгааны түвшин(Зураг1), чадварын хүрээ(хүснэгт1)-нд тулгуурлан, чадвар мэдлэгийг Вашингтоны их сургуулийн цахилгаан бүлгээр алхам алхмаар боловсруулсан даалгавар болон өөрийн боловсруулсан даалгавараар ажлын дэвтэр боловсруулж харьцуулан судаллаа.

Шинжлэх ухаанч судалгаа нь бидний хүрээлэн буй орчин, бодит байгаль болон дэлхий ертөнцийг танин мэдэхэд сурагчид шинжлэх ухаанчаар хандах үйл явц юм.

Эрдэмтэн судлаачид орчлон ертөнцийн юмс, үзэгдлийн зүй тогтлыг хэрхэн яаж судалдаг, судлан шинжлэх үйлийн тухай ойлголтыг оюутан сурагчдад төлөвшүүлэх үйл явцыг шинжлэх ухаанч судалгаа гэнэ.



Зураг1. Шинжлэн судлах үйлийн түвшин

* Electronic address: saikhnaa_ubi@yahoo.com

Хүснэгт1. Шинжлэн судлах үйлийн хүрээ

Хүрээ Түвшин	1. Шинжлэх ухааны үүднээс асуудлыг тодорхойлох	2. Баримт нотолгоог цуглуулах	3. Нотлох баримтыг тайлбарлах	4. Тайлбараа мэдлэгтэйгээ холбох	5. Хэлэлцэх ба нотлох
4. Нээлттэй судалгаа	Шинжлэх ухааны асуулт тавих	Нотлох баримтаар бүрдүүлэх зүйлээ тодорхойлох ба цуглуулах	Нотлох баримтыг нэгтгэн тайлбарыг боловсруулах	Тайлбар хийхдээ бусад эх сурвалж ба боломжуудыг хэрэглэн нягтлах	Баримт нотолгоо ба логик өгөгдлүүдийг үүсгэхдээ тайлбаруудыг харилцан ойлголцох
3. Чиглэлтэй судалгаа	Бусдын дэмжлэгтэйгээр асуудлыг сонгох ба шинээр шинжлэх ухаанчаар асуудлыг дэвшүүлэх	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр нотлох баримтыг бүрдүүлж өгөгдлийг цуглуулах	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр нотлох баримтанд тайлбар хийн, боловсруулах	Тайлбараа тодорхой болгохдоо шинжлэх ухааны мэдлэгийн эх сурвалж ба холбоосыг тодорхойлох	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр шинжлэх ухааны баримтад үндэслэн, тайлбартайгаар харилцах
2. Бүтцэт судалгаа	Багшаас эсвэл бусад эх сурвалжууд, материалын эх үүсвэрээс асуудлыг тодорхой болгох	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр өгөгдлийг шинжлэн нотлох баримтыг сонгох	Нотлох баримтыг ашиглаж чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр тайлбарыг томьёолох арга замыг сонгох	Тайлбараа тодорхой болгохын тулд боломжтой мэдлэгийн холбоосыг сонгох	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр харилцахдаа сонгосон зүйлээ хэрэглэн чөлөөтэй илэрхийлэх
1. Нотлох судалгаа	Багшаас эсвэл бусад эх сурвалжийн материалд асуулт тавьж оролцох	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр баримт нотолгоог сонгон тухайн баримтыг шинжлэх	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр тайлбарыг томьёолохдоо нотлох баримтыг нийцүүлэн хэрэглэх	Чиглүүлэг дэмжлэгтэйгээр тайлбараа тодорхой болгохын тулд боломжтой холбоосыг сонгох	Үйл ажиллагаа ба алхмуудад шинжлэх ухааны аргыг сонгон хэрэглэх

Шинжлэн судлах үйлийн түвшин бүрт таван хүрээ тус бүрээр багш суралцагчийн үйл ажиллагаа ямар байхыг эрдэмтэд мөн ялган тодорхойлсон байна.(хүснэгт1)

Багш бэлтгэх сургалтын хүрээнд шинжлэх ухаанч судалгаанд сургахад “суралцагч мэдээллийг хувиргах, янз бүрийн хэлбэрээр илэрхийлэх”[4] -д үйл ажиллагаагаа чиглүүлнэ. Шинжлэх ухааны дадлыг[5] доорх агуулгыг багтаасан дараах гурван айд хуваасан. (хүснэгт2).

Хүснэгт2. Шинжлэн ухааны дадал

Мэдлэг, ойлголт ба хэрэглээ	Чадвар ба үйл ажиллагаа	Ёс зүй ба хандлага
○ шинжлэх ухааны ойлголт, зарчмууд, ба үзэгдэл, баримтууд ○ шинжлэх ухааны тайлбар, нэршил, томьёо, нэр	○ чадварууд ■ асуулт тавих ■ таамаглалаа томьёолох ■ асуудлыг тодорхойлох ■ боломжийг олох ■ урьдчилан таамаглах ■ ажиглах	● Сониуч зан ● Уран сэтгэмж ● Шударга байдал ● Бодитоор хандах ● Хүсэл сонирхолоо нээх ● Няцашгүй байдал

○ шинжлэх ухааны багаж хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжийн үйл ажиллагаа, аюулгүй байдал ○ шинжлэх ухааны хэмжигдэхүүн ба тэдгээрийн тодорхойлолт	■ багаж хэрэгслийг ашиглах ■ харьцуулах ■ дүгнэх ■ шинжлэх ■ боловсруулах ■ нягтлан шалгах ■ харилцах ○ үйл ажиллагаа: ■ бүтээлчээр асуудал шийдвэрлэх ■ судалгаа хийх ■ шийдвэр гаргах	● Хариуцлагатай
---	--	---

ҮНДСЭН ХЭСЭГ

Энэ чиглэлийн судалгаа 1964 онд John Dewey анхны санааг оруулж ирснээс хойш олон жилийн турш хийгдэж ирсэн бөгөөд энд зөвхөн туршилтаар шинжлэх ухаанч судалгаанд суралцах болон түүний түвшин ба чадварын хүрээг тодорхойлсон өөрийн судалгаанд хэрэглэсэн хэсгийг сийрүүлэв.

- Шинжлэх ухаанч судалгааны дөрвөн түвшин: Tafoya and colleagues, 1980

- Хорин чадварыг ялгасан ба дөрвөн түвшинд, таван хүрээнд тохирсон: (Bodzin and Beerer, 2003)
- Дээрх хоёр хэмжээст хүснэгтийг сайжруулсан: (Okada, 2008)
- Нотлох баримтыг янз бүрийн хэлбэрээр илэрхийлэх, боловсруулах, үр дүнг гаргах, санал гаргах чадваруудыг ялгасан: (Conole, et al., 2008)
- Бага ангийн байгалийн ухааны хичээлд сурагчдад туршилтын гарын авлагыг хэрэглэн бодь туршилт (fair test)-ыг гүйцэтгэхэд сурагчдын сонирхол ба ухагдахууны төлөвшилд нөлөөлөх: (Christian Bertsch, Suzanne Kapelari & Ulrike Unterbruner, 2014.)

Америкийн Вашингтоны их сургуульд лабораторын хичээлд суурилан шинжлэх ухаанч судалгаанд алхам алхмаар суралцах зарчимд тулгуурлан физикийг судлаж байна: (Lillian C. Mc Dermott et al., 1976 оноос хойш).

АРГА ЗҮЙ

Багш болох оюутныг шинжлэх ухаанч судалгаанд сургах, сурагчдыг энэ аргад

Хүснэгт 3. Statistics

		Шинжлэх ухааны үүднээс асуудал тодорхойлох	Баримт нотолгоо цуглуулах	Нотлох баримтыг тайлбарлах	Тайлбараа мэдлэгтэй гээ холбох	Хэлэлцэх ба нотлох	В_ Шинжлэх ухааны үүднээс асуудал тодорхойлох	В_Баримт нотолгоо цуглуулах	В_Нотлох баримтыг тайлбарлах	В_Тайлбараа мэдлэгтэй гээ холбох	В_Хэлэлцэх ба нотлох
N	Valid	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean		62.33	47.82	69.84	64.972	62.34	68.9148	67.7746	59.0537	68.7600	66.4451
Sum		6296.25	4829.	7054.59	6562.50	6296.41	6960.39	6845.24	5964.43	6944.76	6710.95

ҮР ДҮН

Судалгааны үр дүнгээс танилцуулья. Туршилтын ангийн оюутны шинжлэх ухаанч судалгааны чадварын төлөвшлийг 2 бүлэг багц даалгавраар чадварын таван хүрээгээр хүснэгт 4-р үр дүнг жишээлэн үзүүлэв. Линз болон толины фокус тодорхойлох ба томъёог шалгах туршилтаар шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил чадварын хүрээнүүдээс дараах (хүснэгт 4) байдлаар хамаарч байна.

суралцуулах аргыг эзэмшүүлэх зорилгоор 2014-2015-2016 оны хичээлийн жилд лаборторын хичээл дээр шинжлэн судлах үйлийн дөрвөн түвшинд туршилт судалгааг хийлээ. Судалгаанд физик электроникийн багш, физик мэдээлэлзүйн багш, математик физикийн багш, физик байгаль шинжлэлийн багшийн ангийн 2, 3 ба 4-р ангийн 114 оюутнууд хамрагдсан. Судалгааны хүрээнд “Физикийг судлах аргад суралцах АЖЛЫН ДЭВТЭР I”-ийг(20xx) хэвлэн гаргаж, хичээлд хэрэглэн, геометр оптик сэдвээр толь ба линзийг судлах хоёр түвшний 125 хэмжилт бүхий 8 туршилт ажлыг боловсруулан[7], Вашингтоны их сургуулийн цахилгаан хэлхээг судлах 11 бүлэг туршилт, дасгал, асуудал бүхий багц ажлыг[6] зэрэгцүүлэн туршиж, чадварын таван хүрээний төлөвшил, мэдлэг чадварын хамаарлыг судалсан.

Чадвар шалгах даалгаврыг шалгуураар үнэлэн, өөр өөр туршилтуудын тухайн чадварыг шалгасан даалгавруудын оноог нэгтгэсэн. Судалгааны үр дүнг боловсруулахад SPSS программыг хэрэглэн, оюутны шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил, мэдлэг чадварын хамаарлыг судалсан. (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 4. Туршилтын ангийн үр дүн. Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	3.171	.631		5.022	.000
1 Шинжлэх ухааны үүднээс асуудал тодорхойлох	.165	.009	.205	19.110	.000

Баримт нотолгоо цуглуулах	.188	.009	.189	21.679	.000
Нотлох баримтыг тайлбарлах	.184	.010	.215	18.193	.000
Тайлбараа мэдлэгтэйг ээ холбох	.178	.013	.327	13.995	.000
Хэлэлцэх ба нотлох	.253	.020	.344	12.757	.000

^a Dependent Variable:

Шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил (оптик)

Хүснэгт4-ээс геометр оптикийн толь линзийг байгуулалтын агуулгаар оюутнуудын шинжлэх ухаанч судалгаанд суралцсан байдал чадварын таван хүрээгээр доорх тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэж байна.

Шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил(оптик)
= + 0.205

· Шинжлэх ухааны үүднээс асуудал тодорхойлох
+0.189 · Баримт нотолгоо цуглуулах + 0.215 ·
Нотлох баримтыг тайлбарлах + 0.327 ·
Тайлбараа мэдлэгтэйгээ холбох + 0.344 ·
Хэлэлцэх ба нотлох.

Тогтмол цахилгаан гүйдлийн хэлхээний агуулгаар оюутнуудын шинжлэх ухаанч судалгаанд суралцсан байдал чадварын таван хүрээгээр дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэж байна.

Шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил (цахилгаан)
= + 0.267

· Шинжлэх ухааны үүднээс асуудал тодорхойлох
+0.169 · Баримт нотолгоо цуглуулах
+0.194 · Нотлох баримтыг тайлбарлах
+0.314 · Тайлбараа мэдлэгтэйгээ холбох
+0.201 · Хэлэлцэх ба нотлох.

Хүснэгт 5-д багц туршилтуудын дундаж утгуудыг харьцуулав.

Хүснэгт5. Цахилгаан ба оптикийн дундаж

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил (оптик)	36.748	100	.000	61.48	58.16	64.80
Шинжлэх ухаанч судалгааны төлөвшил (цахилгаан)	34.598	100	.000	66.18	62.39	69.98

Шинжлэх ухаанч судалгааны чадварын төлөвшилийг туршилтын ба хяналтын ангийн харьцуулсан үр дүнг хүснэгт 6 ба 6а-д үзүүлэв.

Хүснэгт 6. Харьцуулсан үр дүн

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Шинжлэх ухаанч судалгааны чадварын төлөвшил/туршилтын/	101	61.48	16.81	1.67
Шинжлэх ухаанч судалгааны чадварын төлөвшил/хяналтын/	101	33.66	23.79	2.36

Хүснэгт 6а.

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Шинжлэх ухаанч судалгааны чадварын төлөвшил/туршилтын/	36.74	100	.000	61.48	58.16	64.80
Шинжлэх ухаанч судалгааны чадварын төлөвшил/туршаагүй/	14.21	100	.000	33.66	28.96	38.36

Туршилтын ангид дөрвөн түвшний судалгааг арван гурван чадварыг таван хүрээгээр нотлох болон бүтцэт судалгааны түвшинд ажлын дэвтэр хэрэглэн, мөн чиглэлтэй болон нээлттэй судалгааг гүйцэтгүүлэн шинжлэх ухаанч чадварын төлөвшил нь хяналтын болон туршилтын физикийн ангийн оюутнуудын ялгаатай байна.

Бүтцэт судалгаанд[9] суралцсан байдал ба мэдлэгийн хамаарал дараах(хүснэгт7, 7а) байдалтай хамаарч байна.

Хүснэгт 7а ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	2368.713	1	2368.713	9.053	.003 ^b
1 Residual	25902.497	99	261.641		
Total	28271.210	100			

^a Dependent Variable: бүтцэт судалгаанд суралцсан байдал

^b Predictors: (Constant), мэдлэг/оптик/

Хүснэгт7б .Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.
-------	-----------------------------	---------------------------	---	------

	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	52.473	3.399		15.438	.000
1 мэдлэг/оптик/	.169	.056	.289	3.009	.003

^a Dependent Variable: бүтцэт судалгаанд суралцсан байдал

Эндээс хамаарлыг тэгшитгэл бичвэл:
 бүтцэт судалгаанд суралцсан байдал(оптик)
 $= 52.473 + 0.169$
 $\cdot$ мэдлэг(оптик)

гэсэн үр дүнгүүд гарч байна.

Шинжлэх ухаанч судалгаанд бүх түвшнээр суралцсан байдал нь мэдлэгээс хамаарах байдлыг хүснэгт 8 ба 8а-д үзүүлэв.

Хүснэгт 8.ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	8192.291	1	8192.291	38.756	.000 ^b
Residual	20926.879	99	211.383		
Total	29119.171	100			

^a Dependent Variable: чадвар/оптик/

^b Predictors: (Constant), мэдлэг/оптик/

Хүснэгт 8a. Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	39.572	3.055		12.953	.000
1 мэдлэг/оптик/	.314	.050	.530	6.225	.000

^a Dependent Variable: чадвар/оптик/

Эндээс хамаарлыг тэгшитгэл бичвэл:
 чадвар(оптик) $= 0.530 \cdot$ мэдлэг(оптик)

ДҮГНЭЛТ

Судалгаанаас үзэхэд бүтцэт судалгаанд суралцах байдал мэдлэгээс бага хамааралтай(шугаман хамаарлын өнцгийн коэффициент0.169) байна.

Шинжлэх ухаанч судалгааг ажлын дэвтрээр хөтлөхөд чадварын төлөвшил нь уламжлалт сургалтаас ялгаатай($p=0.00$, 61.48, 33.66) төлөвшиж байна.

Харин шинжлэх судлах үйлийн дээд түвшний чадварын төлөвшил нь мэдлэгээс хамаарах хамаарал нь хүчтэй(шугаман хамаарлын өнцгийн коэффициент0.530) байна.

Хичээлийг багш шинжлэх ухаанч судалгааны бүтцэт судалгааны түвшинд хөтлөхөд суралцагчид шинжлэх ухаанч судалгаанд суралцах ба чадварын таван хүрээ ойролцоо төлөвшиж байна.

Шинжлэн судлах үйлийн доод түвшнүүдэд суралцагчдыг чадварын төлөвшил нь шинжлэх ухааны мэдлэгээс бага хамааралтай, харин түвшин дээшлэхэд физикийн шинжлэх ухааны тухайн чиглэлийн мэдлэг эзэмшилтээс хамаарах хамаарал ихсэж байгаа нь судалгааны үр дүнгээс харагдлаа. Цаашид түвшин хоорондын мэдлэг чадварын хамаарал, хандлага, дадлыг нарийвчлан, оюутныг эхний курсуудад шинжлэн судлах чадвар төлөвшүүлэх асуудлыг судлах хэрэгтэй.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Science Syllabus Lower and Upper Secondary Normal (Technical) - publication of the Ministry of Education, Singapore.Year of implementation: from 2014.
- [2] Nikolina Nikolova(&) and Eliza Stefanova, 2014, Inquiry-Based Science Education in secondary School Informatics – Challenges and Rewards,XV,305 p.70 illus,Softcover <http://www.springer.com/978-3-642-54337-1>
- [3] Суурь боловсролын сургалтын цөм хөтөлбөр. хуудас 16-20,(2015).
- [4] Science Ohio's Model Competency-Based Program, Scientific Literacy for 21st century, 16 p,
- [5] Science Syllabus Lower and Upper Secondary Normal (Technical) - publication of the Ministry of Education, Singapore. Year of implementation: from 2014, 2p,
- [6] Physics by inquiry (Volume II) University of Washington , University of Washington
- [7] Лаборатор ажлын дэвтэр I, Улаанбаатар (2015).
- [8] Ohio's model competency-Based program, Ohio's department of education,(1994-1999).
- [9] Tafoya, E., Sunal, D., Knecht, P.: Assessing inquiry potential: a tool for curriculum decision makers. Sch. Sci. Math. 80(1), 43–48 (1980).

Results of the Research Work That Studied the Inquiry Based Learning in Science Using the Text Book

Munkhsaikhan.Ya^{1,*}, Erdensanaa.M², Gandush.B¹, Munkhbold.B¹, Purevdorj.D¹, Burmaa.B³

¹*School of Mathematics and Natural Science, Mongolian National University of Education,*

²*Orchlon Secondary School,*

³*National University of Mongolia*

The results of the research work using text book among 114 students, who study to become Physics' teachers in Academic year of 2014-2015 and 2015-2016 will introduce the inquiry based learning in Science of the students by the formation of skills and knowledge analyzing the relationship between level of inquiry [1] , inquiry skills area [2].

As making the survey of level of inquiry in Physics lab class, when there is a low level of inquiry, the relation of skill formation is weaker than knowledge's (0.169) and when level of inquiry increases, scientific inquiry maturity is strongly depended on the knowledge (0.530). Also the skills of the students are formed differently ($p=0.00$, 61.48, 33.66) in inquiry based and traditional introductory physics lab classes.

Keywords: inquiry based science education, scientific inquiry, inquiry skills area, level of inquiry.

Монголын Анхны Хиймэл Дагуул: Боломж, Ирээдүй

Д.Улам-Оргих^{1,*}, Р.Цолмон¹, П.Түвшинтөр¹, Т.Бэгзсүрэн², Д.Эрдэнэбаатар³,
Т.Төртогтох³, Д.Амартүвшин³, Mengu Cho³

¹МУИС, Шинжлэх ухааны сургууль, Физикийн тэнхим

²Хоккаидогийн Их Сургууль, Япон

³Кюүшүгийн Технологийн Их Сургууль, Япон

Монголын анхны хиймэл дагуулын үүрэг, даалгавар, техникийн шийдлийн физик үндэслэл, ач хобогдол, бүтээн туршилтын зарим үр дүн болон дараагийн хиймэл дагуулуудыг бүтээх боломж ирээдүйн талаар өгүүлнэ.

I. ОРШИЛ

Орчин үеийн технологийн бага овортой их чадалтай байх үндсэн хандлага хиймэл дагуул бүтээхэд ч давамгайлж эхэллээ. Дэлхийн нам орбитод олон улсын сансрын станц байрладаг, дэлхийг харьцангуй их давталттайгаар дэлхийг ажиглахад ойрхон зайд тойрдог зэрэг давуу талтай боловч агаарын эсэргүүцлийн улмаас хиймэл дагуулын орбитод байх дундаж хугацаа нь 2 жил байдаг онцлогтой тул өндөр өртөгтэй хиймэл дагуул байрлуулахад үр ашиг багатай. Иймд бага өртөгөөр богино хугацаанд бүтээж болох нано хиймэл дагуулуудын сүлжээг нам орбитод байрлуулах сансрын технологийн шинэ хандлага эрчимтэй хөгжиж байна [1].

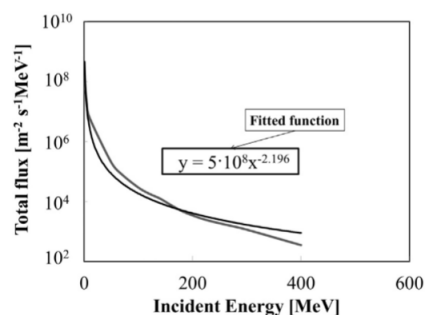
Одоогоор дэлхийн ихэнх орон, түүний дунд тэргүүлэх их сургууль, эрдэм шинжилгээний байгууллагууд өөрийн нано хиймэл дагуултай болж байна. Тухайлбал, 1970 онд Токиогийн ИС Япон улсын анхны хиймэл дагуулыг хөөргөж Японы сансарын технологийн эхийг тавьсан бол анхны нано хиймэл дагуулыг 1999 онд АНУ-ын Станфордын ИС болон Калифорны Политехникийн УИС хамтран бүтээжээ. 2004 онд БНХАУ-ын Цинхуа ИС өөрийн орны зөөгч пүүжингээр, 2014 онд Сингапурын Наняны ИС Энэтхэгийн зөөгч пүүжингээр өөрсдийн нано хиймэл дагуулаа тойрог замд гаргасан бол МУИС “BIRDS” буюу “Joint Global Multi-Nation Birds” (JGMNB) төслийн хүрээнд Монголын анхны хиймэл дагуулыг бүтээж 2017 оны 04-05 сард хөөргөнө. Учирч буй техникийн бэрхшээл, түүнийг хэрхэн шийдвэрлэх физик үндэслэл, технологийн шийдэл, туршилтын зарим үр дүн, дараагийн тусгай зориулалтын хиймэл дагуул хөөргөх боломжийн талаар энэ өгүүлэлд илтгэнэ.

II. ЗОРИЛГО, ЗОРИУЛАЛТ

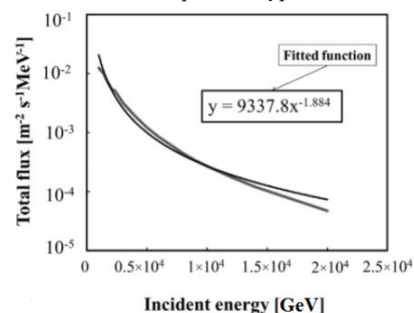
Хиймэл дагуулыг зохион бүтээх, түүний найдвартай ажиллагааг хангахад сансрын орчны

физик үзэгдлийг судлах нь чухал үүрэгтэй учир Монголын анхны хиймэл дагуул хэд хэдэн шинжлэх ухааны туршилт хийхээр төлөвлөгдсөн.

Сансрын цацраг нь хиймэл дагуулын найдвартай ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлөх нь тодорхой. Тухайлбал, сансрын цацрагаар цахилгаанжих, ниргэлэг үүсэх, хагас дамжуулагч төхөөрөмжийн ажиллагааг гажуудуулах Single event upset (SEU) хэмээх үзэгдэл [2] зэргийг нэрлэж болно. Дэлхийн нам орбитод сансрын цацрагийн 90 орчим хувийг протон бүрдүүлдэг [3]. Нарны идэвхжлээс үүсэлтэй 1Мэв-400Мэв энергитэй протоны урсгал 700км орчим өндөрт бүртгэсэн LEO/SPENVIS өгөгдлийг Зураг 1а-д, сансрын цацрагаас үүдэлтэй 1Гэв-20Гэв энерги бүхий протоны урсгалыг 350-610 км өндөрт LEO/PAMELA өгөгдлийг (Зураг 1b), анхны хиймэл дагуул нисэх 400 км орчим өндөрт 20Гэв-200Гэв энергитэй протоныг хэмжсэн LEO/AMS өгөгдлийг (Зураг 1c) зурагт үзүүлэв.

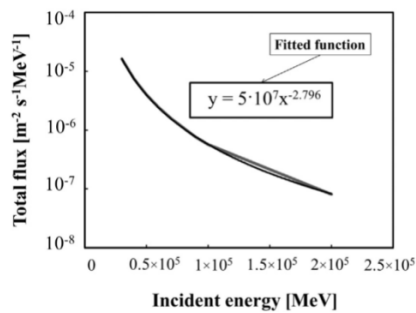


Зураг 1а. LEO/SPENVIS өгөгдөл: 700км орчим өндөрт бүртгэсэн 1Мэв-400Мэв протоны урсгал.



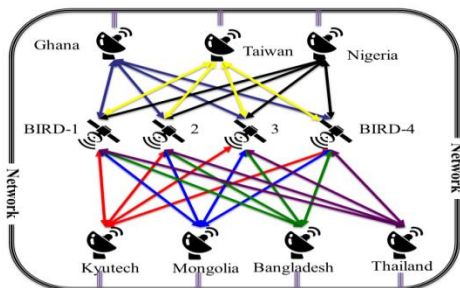
* Electronic address: ulamorgikh@gmail.com

Зураг 1b. LEO/PAMELA өгөгдөл: 350-610 км өндөрт бүртгэсэн 1ГэВ-20ГэВ протоны урсгал.



Зураг 1с. LEO/AMS өгөгдөл: 400 км орчим өндөрт бүртгэсэн 20ГэВ-200ГэВ протоны урсгал.

Эдгээр болон бусад төрлийн сансрын цацрагийн улмаас Мозала хиймэл дагуул өөрт нь ажиглагдах SEU үзэгдлийн давтамжийг орбитын байрлал бүрт бүртгэн мэдээлэх туршилт явуулна.



Зураг 2. Бичил хиймэл дагуулын мэдээлэл дамжуулах, удирдах олон улсын сүлжээний схем.

Хиймэл дагуулын байрлалыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох нь аюулгүй байдал болон шинжлэх ухааны туршилтанд чухал ач холбогдолтой. Бичил хиймэл дагуулд GPS төхөөрөмж тавих боломжгүй байдаг тул газрын станцын олон улсын сүлжээ байгуулж ашиглах замаар дагуулын байрлалыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох туршилт анх удаа хийгдэж, улмаар 6 сарын хэмжилтийн өгөгдлийг ашиглан нисэж буй орчныхоо агаарын нягт, цацраг идэвхийн байдлыг тодорхойлох үр дүн гарган авна. Энэ нь хиймэл дагуулын бүтэц, элэгдэл, эрсдлийг тооцоход чухал ач холбогдолтой мэдээлэл болно.

Мөн зайнаас тандан судалгааны техникийн демонстраци болох дэлхийн гадаргын 100 метрийн нарийвчлалтай RGB зураг авч илгээх, холбооны хиймэл дагуулын демонстраци болох 437 МГц давтамжтай радио долгионоор дуу цацах зэрэг үүрэг гүйцэтгэнэ.

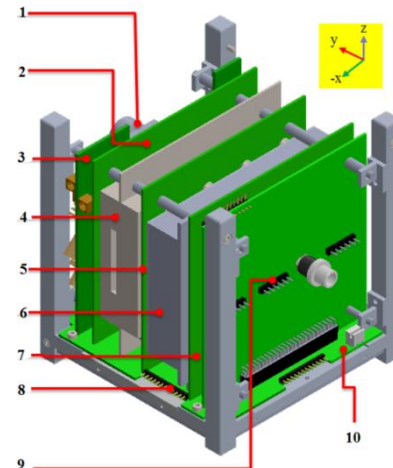
Энэхүү хиймэл дагуулын зорилтыг тодорхойлохоос эхлээд туршин бүтээх, тойрог замд удирдаж ажиллуулах, тойрог замаас гаргах хүртэл бүхий л шат дамжлагыг монголын залуу эрдэмтэн судлаачид гардан эзэмшиж улмаар дараа дараагийн тусгай зориулалтын хиймэл

дагуул бүтээх чадвар бүхий мэргэжилтэн тасралтгүй бэлтгэх хүний нөөц бий болгох ач холбогдолтойгоос гадна, анхдан бүтээгч үйлсээрээ дамжуулж залуу хойч үеийнхээ шинжлэх ухаан технологийн сонирхлыг хөгжүүлэх өөр нэгэн чухал зорилготой.

III. БҮТЭЦ, ШИЙДЭЛ, ҮР ДҮН

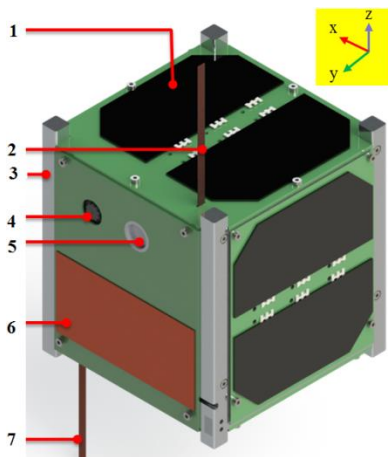
Шинжлэх ухааны туршилтын болон технологийн демонстрацын дээрх зорилтуудыг хэрэгжүүлэхийн тулд орчин үеийн төрөл шинжлэх ухааны болон технологийн боломжийг ашиглан манай судлаачид хэрхэн шийдвэрлэж бүтээснийг Мозала хиймэл дагуулын дотоод бүтэц (Зур. 3), гадаад бүтэц (Зур.4) болон дагуулд байрлах компьютерийн схем (Зур.5) зэргээс харж болно. Уг хиймэл дагуулд 260x190 км талбай бүхий дэлхийн гадаргын зургийг 100 м нарийвчлалтай авах 0.5 Вт чадал бүхий камер суурилуулсан бөгөөд радио дохио хүлээн авах болон дамжуулах 3 төрлийн антентай.

Уг хиймэл дагуулын лабораторийн моделийг Кюшүгийн ТИС-ийн сансрын орчин бүрдүүлсэн лабораторийн тоног төхөөрөмж дээр туршин шалгаж бүтээж байна. Тухайлбал, Японы HTV пуужин, АНУ- Space X Dragon пуужингээр хөөргөх үед үүсэх доржилт, чичиргээг лабораторын орчинд хиймлээр үүсгэн Мозала хэрхэн тэсвэрлэж байгааг шалгасан туршилтын үр дүнг Зур.5 дээр үзүүлэв. Уг үр дүнгээс харахад туршилтын дараах ажиллагааны үзүүлэлт туршлтын өмнөх үзүүлэлттэй яг таарч байгаа нь уг доргио, чичиргээг сайн дааж ямарваа нэгэн гэмтэл гараагүй харуулж байна. Мөн доржилт, температурын өөрчлөлтийн тэсвэрийг шалгахад Мозалад төрөл бүрийн мэдрэгч байрлуулсан туршилтын төхөөрөмжид байрлуулсныг 6-р зурагт үзүүлэв. Мөн онолын тооцоо, симуляцийн аргыг ч өргөнөөр хэрэглэж байна [4].

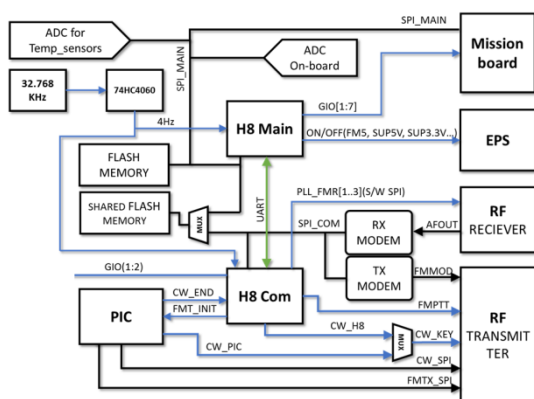


Зураг 3. Мозала хиймэл дагуулын дотоод бүтэц: 1-Камер, 2-Удирдлагын хавтан, 3-Антенны хавтан, 4-Дохио хүлээн авагч, 5-Дохио дамжуулагч, 6-Баттерей, 7-Эх хавтан

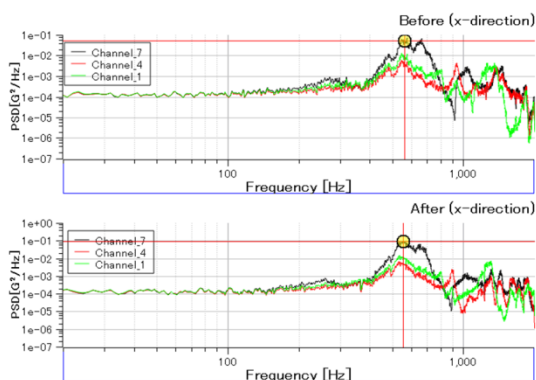
(OBC, EPS, COM), 8-Нарны зайн залгуур, 9- Програмчлах, тохируулах залгуур, 10-Суурь хавтан (Backplane).



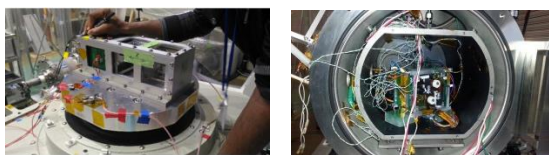
Зураг 4. Мозала хиймэл дагуулын гадаад бүтэц: 1-Нарны зай, 2-Сунагч VHF антен, 3-Зам, 4-Өндөр нарийвчлалтай камер, 5-Байршил тогтоогч кдамер, 6-Өргөнөөр цацах UHF антен, 7-Сунагч антен.



Зураг 5. Мозала хиймэл дагуулд суурилуулсан компьютерын блок схем.



Японы болон НАСА-гийн пүүжингээр хөөргөх үед үүсэх 10.8G хүртэл доргилтыг үүсгэн туршсаны дараах болон өмнөх хэмжилтыг харьцуулсан байдал



(a) Доргилт болон (b) температурын тэсвэрийг шалгахгаар бэлтгэсэн байдал (Кюшү ИС-ийн nano дагуул туршин шалгах CeNT төв).

Одоогоор хийгдсэн лабораторын үр дүнгээс харахад уг хиймэл дагуул сансрын эрс тэс орчинд 6 сар найдвартай ажиллах нь харагдаж байгаа бөгөөд энэ нь $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ хэмжээ бүхий бичил хиймэл дагуулын хувьд өндөр үзүүлэлт болно.

IV. ХӨГЖҮҮЛЭХ БОЛОМЖ, ИРЭЭДҮЙ

Анхны хиймэл дагуулын техникийн эдгээр шийдлүүдийг гамшгаас хамгаалах, гамшгийн эрсдлийг бууруулахад ашиглахаар Улсын онцгой комисс, ОБЕГ-тай хамтран ажиллаж байна.

Гамшгаас хамгаалах зориулалт бүхий дараагийн хиймэл дагуулыг Азийн их дээд сургуулиудын бичил хиймэл дагуулын консорциумын хүрээнд 2019-2020 онд хөөргөх боломж бий. Сансрын тойрог замд хамгийн багадаа 2 жил ажиллах, 50кг жинтэй, $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ хэмжээтэй микро-дагуул байх юм. Түүнд 3 м нарийвчлалтай олон сувгийн зураг болон бичлэгийн дуран авиа, өндөр температур мэдрэгч дуран зэргийг суурилуулах бөгөөд газрын станцтайгаа UHF/X-band радио давтамжийн мужид харилцаа холбооны холболт хийх боломжтой, өгөгдөл татах хурд нь 1Mbps байна. Энэхүү сүлжээнд 20-оос доошгүй хиймэл дагуул байх бөгөөд бүх хиймэл дагуулаас бодит хугацааны мэдээлэл авах боломжтой. Уг хиймэл дагуулыг бүтээхэд материал судлал, хагас дамжуулагч төхөөрөмж, чадлын электроник, холбоо мэдээллийн технологи, асар хэмжээний өгөгдөл боловсруулах, тоо дүрсийг цаг хугацаанд нь боловсруулах, агаар мандлын оптик шинж чанарын судалгаа, дэлхий орчмын соронзон судалгаа, сансрын цацрагийн хамгаалалт, симуляцийн судалгаа зэрэг шинжлэх ухааны олон салбарыг улам хөгжүүлэх шаардлагатай.

Эхлээд хэрэглэгч зорилгоо тодорхойлох, түүний дагуу сансрын инженерүүд хиймэл дагуу бүтээх down-to-top гэсэн шинэ арга зүйгээр бүтээгдэх тул гамшгаас хамгаалах, урьдчилан сэргийлэх, ХАА, цаг уур орчны шинжилгээ, уул уурхай, хот, зам гүүр төлөвлөлт зэрэг зайнаас тандан судалгааг хэрэглэгчид, холбоо харилцаанд хиймэл дагуулыг ашиглагч бизнесийн байгууллагууд, төрийн захиргааны төв байгууллагуудын хамтран ажиллаж хэрэглэгчдийн нэн тэргүүний захиалга шаардлагыг урьдчилан гаргах нь чухал. Дараагийн хиймэл дагуул нь шинжлэх ухааны судалгаа шинжилгээний олон боломж нээх ач холбогдолтой.

V. ДҮГНЭЛТ

НҮБ-ын “Нано хиймэл дагуулын технологийн ахисан түвшний сургалт” хөтөлбөр, Япон болон Монгол улсын засгийн газар хоорондын гэрээ хэлэлцээр, МУИС болон Кюүшү ТИС-ийн хамтын ажиллагааны хүрээнд ирээдүйд харилцаа холбоо, батлан хамгаалах болон сансар судлалд чиглэсэн хиймэл дагуул бүтээх суурь боловсон хүчин бэлтгэгдэж эхэлсэн, мөн судлаачид маань өөрсдийн оюун ухаан, уран гараар хиймэл дагуул хийж бүтээн хөөргөх гэж байгаа нь манай орны хувьд түүхийн шинэ хуудас нээгдэж байна.

Уг төслийн хүрээнд ахисан түвшний сургалт судалгаа явуулах шинэ арга зүй бүтээгдэж байна [5].

Хөгжиж байгаа орнууд сансрын уудмыг энх тайвны зорилгоор хамтран ашиглах тал дээр олон улсын анхаарал татсан үйл явдал болно. Анхны Мозала хиймэл дагуулын хамгийн чухал ач холбогдол нь Монгол улс сансарт өөрийн орон зайтай болж байгаагаар тусгаар тогтносон улсын баталгаа, билэг тэмдэг болж байгаа явдалд оршино.

Шинжлэх ухаан технологийг ард түмэн ойлгон дэмждэг, үр ашгийг бодитоор нь хүртдэг, ялангуяа хүүхэд залуучуудыг физик болон шинжлэх ухаан, технологи хорхойтон сонирхдог болгоход анхны Мозала хиймэл дагуул түүхэн

ач холбогдолтой. Сансрын технологи нь шинжлэх ухаан технологийн олон салбар, тэдгээрийн зааг дээр шинэ шинэ боломж нээж, улмаар Монгол улсын тогтвортой хөгжлийг хангахад чухал үүрэгтэй байна.

Энэхүү ажлыг “Инженер, технологийн дээд боловсрол” төслийн дэмжлэг, санхүүжилтээр “Сансрын инженерчлэлийн програм, түүний хэрэглээ” (J14A15) сэдвийн хүрээнд гүйцэтгэв.

НОМ ЗҮЙ

- [1] <https://www.marketresearchreports.com/qyresearch/global-nano-satellite-industry-2016-market-research-report>
- [2] Bendel.W.I, Peterson.E.I, Proton upsets in orbit, IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. NS-30, No.6, 1983
- [3] Ackermann, et al., Detection of characteristic pion-decay signature in supernova remnants, Science Magazine, vol 339, 2013 p.807
- [4] Erdenebaatar.D, Harada.Sh, Shiba.Y, Omura.I, Failure rate calculation method for high power devices in space applications at low earth orbit, MR12137, Microelectronics Reliability 2016 (accepted)
- [5] Maeda.G, Mengu.Ch. , BIRDS Project: An Innovative Way To Educate Post-graduate Students From Developing Countries, 67th International Astronautical Congress, Guadalajara, Mexico, 26-30 September 2016

Short Range Order and Static Displacements of Atoms in Polycrystalline Solid Solution of Fe-5 at. %Re

L.Enkhtor¹, V.M.Silonov², Ts.Gantulga¹

¹School of Science and Arts, National University of Mongolia Ulaanbaatar, 210646, Mongolia

²Physics Faculty, M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.

E-mail: enkhtor@num.edu.mn

INTRODUCTION

Intensity of X-ray diffuse scattering depends on scattering vector $\mathbf{q}$ according expression [1]:

$$I_D(\mathbf{q}) = n c_A c_B \sum_j C_j \alpha_j \langle \langle \mathbf{q} \mathbf{A}(\mathbf{q}) - (f_A - f_B) \rangle \rangle^2 \exp(i\mathbf{q} \mathbf{R}_j) \quad (1)$$

where n is number of atoms in primitive shell, c_A and c_B are concentrations of components, C_j is number of atoms on j -th shell, $\mathbf{R}_j$ is radii of j -th shell, α_j is short range order parameter on j -th shell, $\langle \dots \rangle_{\varphi, \gamma}$ means averaging by all orientation of $\mathbf{q}$, f_A and f_B are scattering form factors of atoms, $\langle f \rangle = c_A f_A + c_B f_B$, $\mathbf{A}(\mathbf{q})$ is vector parameter, which enters to expression for Fourier transform of static displacement $\delta \mathbf{R}_s$ of atom on s -th point of lattice:

$$\delta \mathbf{R}_s = i \sum_{\mathbf{q}} \mathbf{A}(\mathbf{q}) c_{\mathbf{q}} \exp(-i\mathbf{q} \mathbf{R}_s);$$

$$c_{\mathbf{q}} = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N (c_s - c) \exp(i\mathbf{q} \mathbf{R}_s), \quad (2)$$

where c_s is occupation number on s -th point of lattice, c is concentration of alloy. It is possible to calculate the components of $\mathbf{A}(\mathbf{q})$ from following equations

$$D_{m\tau}(\mathbf{q}) A_{\tau}(\mathbf{q}) = -i F_m(\mathbf{q}), \quad (3)$$

where $D_{m\tau}(\mathbf{q})$ are elements of dynamical matrix expressed in [3] by force constants of interatomic interaction: $\epsilon_j = \left(\frac{d^2 V}{dR^2} \right)_{R_j}$; $\beta_j = \left(\frac{dV}{R dR} \right)_{R_j}$, where

$V(R)$ is pairwise interatomic potential, $F_m(\mathbf{q})$ is Fourier transform of m -th component of quasi restoring forces, which we developed in frame of De Launay model [2] in following form

$$\begin{aligned} F_m = & i\sigma_1(8/3)\sin(aq_m/2)\cos(aq_{m+1}/2)\cos(aq_{m+2}/2) + \\ & + 2i\sigma_2\sin(aq_m) + \\ & + 2i\sigma_3\sin(aq_m)\{\cos(aq_{m+1}) + \cos(aq_{m+2})\} \\ & + i\sigma_4[(72/11)\sin(3aq_m/2)\cos(aq_{m+1}/2)\cos(aq_{m+2}/2) + \\ & + (8/11)\sin(aq_m/2)\{\cos(3aq_{m+1}/2)\cos(aq_{m+2}/2) + \\ & + \cos(aq_{m+1}/2)\cos(3aq_{m+2}/2)\}] + \\ & + i\sigma_5(8/3)\sin(aq_m)\cos(aq_{m+1})\cos(aq_{m+2}) + \\ & + 2i\sigma_6\sin(aq_m) + \\ & + i\sigma_7[(8/19)\sin(aq_m/2)\cos(3aq_{m+1}/2)\cos(3aq_{m+2}/2) + \\ & + (72/19)\sin(3aq_m/2)\{\cos(3aq_{m+1}/2)\cos(aq_{m+2}/2) + \\ & + \cos(aq_{m+1}/2)\cos(3aq_{m+2}/2)\}] + \\ & + i\sigma_8[(16/5)\sin(2aq_m)\{\cos(aq_{m+1}) + \cos(aq_{m+2})\} + \\ & + (4/5)\sin(aq_m)\{\cos(2aq_{m+1}) + \cos(2aq_{m+2})\} + \\ & + i\sigma_9[(16/3)\sin(2aq_m)\cos(2aq_{m+1})\cos(2aq_{m+2}) + \\ & + (4/3)\sin(aq_m)\{\cos(2aq_{m+1})\cos(aq_{m+2}) + \end{aligned}$$

$$+ \cos(aq_{m+1})\cos(2aq_{m+2})\}]. \quad (4)$$

$(m=1,2,3; 1 \leftrightarrow x, 2 \leftrightarrow y, 3 \leftrightarrow z).$

RESULTS

The parameter α_j , β_j and σ_j of pairwise interatomic interaction of Fe-5 at. %Re were calculated by pseudopotential method [4]. Intensity of X-ray diffuse scattering on Fe-5 at. %Re was measured in our early work [5].

By using suggested microscopic method for accounting of static displacements we defined from experimental intensity of X-ray diffuse scattering the short range order parameters of Fe-5 at. %Re alloy on nine shells: $\alpha_1 = -0.038$; $\alpha_2 = 0.053$; $\alpha_3 = 0.022$; $\alpha_4 = -0.034$; $\alpha_5 = 0.049$; $\alpha_6 = 0.103$; $\alpha_7 = -0.026$; $\alpha_8 = 0.027$; $\alpha_9 = -0.020$.

Meanwhile, in [5] via macroscopic method for accounting of static displacements were determined short range order parameters on four shells of Fe-5 at. %Re: $\alpha_1 = -0.022$; $\alpha_2 = 0.028$; $\alpha_3 = -0.005$; $\alpha_4 = 0.008$.

CONCLUSION

Due to application of microscopic method for accounting of static displacements of atoms it is possible to determinate short range order parameters in binary alloy with body centered cubic structure on first nine shells.

REFERENCES

- [1] М.А. Кривоглаз. Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах. Киев.: Наукова думка. 1983. 408 с.
- [2] De Launay J. The theory of specific heats and lattice vibrations. Solid State Physics. 1956. V.2. P.219.
- [3] L.Enkhtor, V.M.Silonov, R.Galbadrakh. New general equation for calculations of elements of dynamical matrix and elastic constants of BCC and FCC metals. Intern. Jour. Adv. Res. in Phys. Sci. 2015. V. 2(4). P. 10.
- [4] В.М.Силонов, С.Ю.Родин, Л.Энхтор. Расчет упругих постоянных многокомпонентных твердых растворов. Вестн. Моск. ун-та.

- Серия 3. Физика и астрономия. 2000. Т.3.С.28. Поверхность: Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования " 2015, №10, стр. 16-22.
- [5] Л.Энхтор, В.М.Силонов. Ближний порядок в твердых растворах системы железо-рений.

Биологи ба Синергетик

Т.Гун-Аажав

МУИС, Шинжлэх ухааны сургууль, Биологийн тэнхим

Илтгэлийн бүтэц ба агуулга: Энэхүү сэдэвт илтгэл нь өөрөө цэгцрэх зүй тогтол ба синергетик, амьд организм ба биологийн синергетик гэсэн хоёр хэсгээс бүрдэнэ.

1. **Өөрөө цэгцрэх зүй тогтол ба синергетик:** Олон тооны дэд систем буюу элементүүдээс бүрдсэн нийлмэл, динамик системийн бүтэц ба функц өөрөө үүсэх, улам боловсронгуй болох үйл явцыг систем дэх өөрөө цэгцрэх үзэгдэл буюу өөрийн зохион байгуулалт гэдэг. Өөрөө цэгцрэх процесс явагдаж байгаа системийн бүтцийн элементүүд буюу дэд системүүдийн хоорондын харилцан үйлчлэл нь стохастик төрхтэй байдаг. Өөрөө цэгцрэх үйл явц амьд ба амьгүй байгаль болон нийгэм, оюун санааны бүх хүрээнд явагдаж байдаг түүхэн хувьсалт процесс юм.

XX зууны хоёрдугаар хагаст нийлмэл системийн өөрөө цэгцрэх зүй тогтол, түүний онолыг судалдаг Синергетик хэмээх шинжлэх ухааны шинэ салбар үүсэн хөгжжээ. Синергетик нь физик, хими, биологи, геологи, социологи, гэх мэт байгаль, нийгмийн олон салбар ухаануудын өөр хоорондын холбоог биш тэдгээрт

байдаг бүтэц, функцийн ерөнхий төрх зүй тогтлыг судалдаг шинжлэх ухаан юм.

2. **Амьд организм ба биологийн синергетик:** Амьд организм буюу амьд систем нь бүцэц үйл ажиллагаа хувьд амьгүй биетээс эрс ялгаатай. Амьд систем нь өөрийн зохион байгуулалтат бүтэцтэй, өөрөө өөрийгөө удирдан жолооддог, өөрөө өөрийгөө үүсгэн түрүүлдэг, өөр хоорондоо ба орчинтойгоо бодис, энерги, мэдээлэл солилцож байдаг задгай, динамик систем юм. Амьд систем нь молекулын, эсийн, организмын, популяцийн ба биогеноценозын гэх мэт бүтцийн израрх түвшингүүдтэй бөгөөд эдгээрийн бүтцийн түвшин бүрд биологийн тодорхой асуудлуудын судалгаанд синергетик арга хэрэглэгдэж байна. Сүүлийн жилүүдэд бие үүсэн хөгжиж байгаа синергетикийн энэ салбар нь биологийн синергетик хэмээн нэрлэгдэж байгаа бөгөөд биологийн синергетик нь онолын биофизикийн нэгэн бүрэлдэхүүн хэсэг болж ирж байна. Энэ илтгэлд биологийн синергетикийн эсийн, организмын ба популяцийн түвшний зарим жишээг өгүүлнэ.

GA-K4 Пептид Мембраны Харилцан Үйлчлэл

М.Цогбадрах, Ж.Алтанчимэг, Г.Даваадулам, Т.Бадамхатан

МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Биологийн тэнхим

E-mail: tsogm@num.edu.mn

Амьд организмын төрөлхийн дархлааны системд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг пептидийг шинээр нээж илрүүлэх, микроб болон хавдрын эсрэг үйлчлэлийн механизмыг тайлах туршилт эрчимтэй хийгдэж байна. Микробын эсрэг пептидийн үйлчлэх гол голомт нь микробын цитоплазмын мембран байна гэж судлаачид таамаглаж байгаа боловч түүнийг бүрэн судалж тогтоогоогүй байна. Бид энэ ажлаар микроб ба хавдрын эсрэг идэвхитэй 11 амин хүчлийн үлдэгдлээс тогтох GA-K4 (FLKWLFKWAKK) пептид хиймэл болон эсийн мембрантай харилцан үйлчлэх механизмыг судлах зорилт тавив. Үүний тулд өөр өөр липидээс тогтох мицелл, липосом бэлдэж, *Staphylococcus aureus* эс өсгөвөрлөн, тэдгээрийн GA-K4 пептидтэй харилцан үйлчлэх онцлогийг холын УФ дугуй дихроизм ба флуоресценцийн спектроскопийн аргаар судлав. GA-K4 пептид нь буфер орчинд тодорхой бус бүтэцтэй боловч липид орчинд конформацийн хүчтэй өөрчлөлтөнд ордог, энэхүү бүтэц нь липидийн төрөл, агууламж, концентрациас хамаардаг, липосомийн орчинд түүний липидийн агууламжаас хамаарч сонгомлоор харилцан үйлчилдэг, эсийн мембранд нэвтрэн жижиг молекул шүүрэх боломжтой “суваг” үүсгэн эсийн мембраныг “гэмтээдэг” болохыг илрүүлээ.

Түлхүүр үг: GA-K4 пептид, мембран, липосом, мицелл, *Staphylococcus aureus*.

Бүрэн Ойлтын Рентгенфлуоресценцийн Спектрометр Ашиглан Биологийн Дээжинд Хартугалга Тодорхойлсон Дүн Ц.Жавзандолгор¹, Ч.Буянтогтох¹, Ц.Амартайван², Я.Ганболд¹

¹Мал эмнэлгийн хүрээлэн Зайсан 17024, Улаанбаатар,

²МУИС, Шинжлэх Ухааны сургууль, Физикийн тэнхим

E-mail: tsjavzandolgor@gmail.com

Түлхүүр үг: Хар тугалга, мах, цусны ийлдэс, рентген флуоресценц.

Үндэслэл: Сүүлийн жилүүдэд хар тугалган дамжуулагч бүхий хүчлийн болон шүлтийн батерей, автомашины аккумулятор зэрэг хар тугалга агуулсан эх үүсвэрүүдийг эмх замбараагүй хаясны улмаас байгаль орчин хар тугалгаар ихээр бохирдож мал, амьтны хордох шалтгаан болж байна. Хар тугалгыг мэдрэлийн хор гэж нэрлэдэг бөгөөд өсөлт, тархины хөгжлийг саатуулах аюултай.

Иймд бид бүрэн ойлтын рентген флуоресценцийн аргыг ашиглан биологийн дээжинд хар тугалга тодорхойлон хар тугалганы бохирдлын түвшинг тодорхойлов.

Материал, аргазүй: Бид Дорноговь аймгийн нутгаас малын цусны ийлдэсний 60 дээж цуглуулан хар тугалгын агуулгыг бүрэн ойлтын

рентгенфлуоресценцийн спектрометрээр тодорхойллоо.

Үр дүн: Бидний хонины цусны ийлдсэн дэх хар тугалганы хэмжээ хамгийн ихдээ 32 ppm хүртэл буюу хивэгч малын цусанд агуулагдах хэвийн дээд хэмжээтэй дүйцэж зарим тохиолдолд энэ хэмжээнээс 0,5 дахин хүртэл илүү байна.

Дүгнэлт: Бүрэн ойлтын рентген флуоресценцийн аргыг ашиглан биологийн дээжинд шинжилгээ хийхэд хугацаа хэмнэж мөн шинжилгээний дүн үнэн бодитой болох нь бидний судалгааны ажлаас харагдлаа. Мөн тухайн бүс нутагт хар тугалганы нөлөөгөөр байгаль орчин бохирдох, мал, амьтан хордох, мал, амьтны гаралтай бүтээгдэхүүнээр дамжин хүний эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлөх эрсдэл үүсэх магадлал их байна.

The Hadron Production in π^- -C Interaction at 40 GeV/c and QCD Phase Transition

Ts.Baatar¹, R.Togoo¹, A.I.Malakhov², B.Otgongerel¹, G.Sharkhuu¹, T.Tulgaa¹

¹Institute of Physics and Technology, MAS, Enkhtaivan ave. 54B, Ulaanbaatar-51, Mongolia

²Joint Institute for Nuclear Research, Dubna

E-mail: baatar1945@yahoo.com

In this paper, we proposed to study the phase transition process to use the new pair of variables, the temperature T and the cumulative number n_c (T, n_c), instead of (T, p) or (T, μ) which is mainly used in theoretical calculations. We considered the transverse energy spectra of protons and π^- -mesons produced in π^- -C-interactions at 40 GeV/c as a function of cumulative number n_c (or four dimensional momentum transfer t) and the baryonic chemical potential $\mu_b(\sqrt{t})$. Obtained results indicate the possible appearance of QCD phase transition of nuclear matter.

Keywords: Phase transition, quantum chromodynamics, temperature, cumulative number, momentum transfer, density, quark, gluon, plasma, color superconductor.

Хөрсөн Дэх Химийн Элементүүдийн Агуулгыг Тодорхойлох Атомын Спектроскопийн Аргуудын Харьцуулсан Судалгааны Үр Дүнгээс

Ц.Бямбасүрэн¹, Ц.Отгонтуул¹, Б.Энхзул¹, Шабанова Е.В.²,
Васильева И.Е.², Д.Цэдэнбалжир¹, Б.Хүүхэнхүү¹

¹ШУА, Физик Технологийн Хүрээлэнгийн Атомын Спектроскопийн лаборатори

²ОХУ-ын ШУА-ийн Сибирийн салбар, Эрхүүгийн Геохимийн Хүрээлэн

E-mail: ts_byambasuren@yahoo.com

Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрээс цуглуулсан 70 орчим өнгөн хөрсний дээжинд Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, P, S, As, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Mn, Li, F, Pb, Zn, Ge, Ti, Hg, Se-ийн нийт ба биологийн идэвхит хөдөлгөөнт агуулгуудыг атомын флуоресценцийн спектрокопи (АФС), атомын цацаргалтын спектрокопийн нуман атомчлалын аргууд (i-АЦС_(суваг), ii-АЦС_(үлээлгэх)), атомын цацаргалтын спектрокопийн дөлийн фотометрийн арга (АЦС_(дөлийн фотометр)) ба атомын цацаргалтын спектрокопийн индукцийн холбоост плазмын арга (АЦС_(плазма)), атомын шингээлтийн спектрокопийн дөлөн атомчлалын (АШС_(дөл)) аргуудаар тодорхойлсон. Химийн задаргаа болон атомын спектрокопийн хэмжилтийн үнэмшлийг хөрсний дээжүүдийн давтан хэмжилт, БИЛ-1, БИЛ-2, ЗУА-1, ЗУК-1, ЗУК-2, ЦХ-1 зэрэг стандарт загварын дээжүүдийн шинжилгээгээр хянасан. Үр дүнгийн нарийвчлалыг арга хоорондын корреляцийн коэффициентээр тооцсон. Макро ба микроэлементүүдийг тодорхойлсон арга хоорондын хамаарал бүх судлагдсан элементүүдийн хувьд маш сайн буюу 0.55-0.99 байлаа. Атомын спектрокопийн тухайн аргын онцлог, хөрсөн дэх химийн элементүүдийг илрүүлэх доод хязгаар, элементүүдийн атомчлагдах шинж чанар болон хөрсөнд агуулагдах элементүүдийн хэмжээ, дээжийг химийн задлан шинжилгээнд бэлдэх зэргээс хамааруулсан атомын спектрокопийн аргуудын харьцуулалтыг хийн хөрсөн дэх макро ба микро элементүүдийн агуулгыг тодорхойлох аргазүйн бүдүүвчийг боловсруулсан.

Түлхүүр үг: атомын спектрокопи, макро, микро элемент, өнгөн хөрс, Улаанбаатар.

Грассманы Хувьсагчийг Ашиглах Каноник Хувиргалтын Тухайд

Д.Дамбасүрэн, Б.Борхүү, Н.Төвжаргал

МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

Онолын физикт одоогоор бага хэрэглэгдэж байгаа боловч цаашид өргөн хэрэглэгдэж болох аргын нэг бол Грассманы хувьсагчийн арга гэж үздэг. Тооцооны зарим загварууд ашиглахад төвөгтэй, техник ажиллагаа ихтэй байдаг бэрхшээл бий. Грассманы хувьсагчийн аргын нэг давуу тал нь тооцоог бараг аналитикаар гүйцэтгэх боломжтой байдаг. Гэвч арга нь хялбаршаад байвал үзэгдлийн физик утга бүдгэрэх сөрөг тал бий. Иймд энэ хоёрын зохистой харьцаанд дөхөх явдал чухал.

Бид өмнөх [1-2] ажилд үндэслэн Грассманы хувьсагчийг ашигласан каноник хувиргалтыг өргөтгөсөн “огторгуйд” томъёолж, цэвэр төлвийн оронд бөөмсийн комбинацаар илэрхийлэгдэх төлвийг авч орчин дахь бөөм (одетая частица)-д шилжин, бөөмсийн хоорондын харилцан үйлчлэлийг эффектив байдлаар тооцох боломжид хүрсэн. Үйлчлэлцэж буй бөөмсийн стационар төлвийг тодорхойлоход Грассманы хувьсагчийг “стохастик орон” мэтээр үзвэл аттракторт харгалзах хувиргалтын параметрийг бэхлэх боломж харагдаж байгаа юм. Энэ нь бодит огторгуй дээр Грассманы хувьсагчийг нэмж, огторгуйн хэмжээсийг нэгээр ахиулсан үед тооцоо хийж огторгуйн нэмэгдэл хэмжээсээр дундчилж, бодит огторгуйд шилжиж, ажиглагдах хэмжигдэхүүнийг тодорхойлж байгаа явдал болно. Үүнийг бид кварк, глюоны холбоост төлвийг тайлбарлахад хэрэглэж, ажиглагдах бөөмстэй харьцуулах судалгааг явуулж байна.

НОМ ЗҮЙ

[1] Д.Дамбасүрэн, Боголюбовын нэгэн төрлийн бус хувиргалт, Scientific Journal of Mongolian University, Section Physics. №1 (104), p.75-78 (1992).

[2] Д.Дамбасүрэн, Грассмановые переменные и колониическое преобразование, Proceedings of International Conference on Contemporary Physics IV. University Press, p.1-3, Ulaanbaatar, Mongolia (2007).

Бүх Нийтийн Физик Боловсролыг Дэмжих Багийн Олимпиадын Өнөөгийн Байдал

Р.Энхбат¹, Х.Балт-Эрдэнэ², Я.Мөнхсайхан³, А.Дулмаа⁴, Б.Түвдэндорж⁵, Б.Цогбадрах⁶

¹1-р сургууль

²ШУТИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль

³МУБИС, МБУС

⁴МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

⁵Төгсдэлгэрэх сургууль

⁶Багийн Мэргэжил Дээшлүүлэх Институт

E-mail: r_enkhbat@yahoo.com

Монгол улсад Бүх нийтийн физик боловсролыг дэмжих багийн олимпиадыг зохион байгуулж ирсэн түүх, өнөөгийн байдал, физикийн багийн олимпиадад оролцогчдын амжилт, амжилтанд нөлөөлөх хүчин зүйлсийн судалгааны үр дүнг танилцуулна.

Түлхүүр үг: хүчин зүйлс.

ЕБС-Ийн Сурагчдын Физикийн Мэдлэг Чадварын Төлөвшлийг Судалсан Дүнгээс

Я.Мөнхсайхан¹, Х.Балт-Эрдэнэ², Б.Түвдэндорж³, М.Эрдэнэсанаа⁴, Б.Бурмаа⁵

¹МУБИС, МБУС

²ШУТИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль

³Төгсдэлгэрэх сургууль

⁴Орчлон сургууль

⁵МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

E-mail: saikhnaa_ubi@yahoo.com

Монгол улсын хот хөдөөгийн ерөнхий боловсролын сургуулийн зургаагаас арванхоёрдугаар ангийн сурагчдаас Физикийн багийн олимпиадад оролцогчдын физикийн хичээлээр эзэмшсэн мэдлэг, чадварын төлөвшлийг судалсан судалгааны үр дүнгээс танилцуулна.

Түлхүүр үг: цогц чадамж, чадвар.