

МОНГОЛЫН ФИЗИКИЙН НИЙГЭМЛЭГ



ФИЗИК

Шинжлэх ухаан танин мэдэхүйн сэтгүүл

Дугаар №2

Улаанбаатар хот

2016 он

DDC
070
M-695

Published by the NUM Press, Ulaanbaatar, Mongolia
© The National University of Mongolia, 2016
IkhSurguuliinGudamj – 1, Sukhbaatar District,
Ulaanbaatar – 14200, Mongolia
ISBN978-99973-42-55-3

**Монголын физикийн нийгэмлэгийн "ФИЗИК" -шинжлэх ухаан,
танин мэдэхүйн сэтгүүлийн редакцын зөвлөл**

Зөвлөлийн дарга:

Проф. Ж.Даваасамбуу

Монголын физикийн нийгэмлэг

Гишүүд:

- | | |
|------------------------|---------------------------------------|
| 1. Акад. Ц.Баатар | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 2. Акад. Х.Намсрай | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 3. Акад. Б.Чадраа | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 4. Акад. Т.Галбаатар | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 5. Акад. Р.Тогоо | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 6. Проф. Г.Шилагарди | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 7. Проф. О.Лхагва | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 8. Проф. Г.Очирбат | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 9. Проф. Б.Бурмаа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 10. Проф. Д.Дамбасүрэн | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 11. Проф. Х.Цоохүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 12. Проф. Н.Алтангэрэл | Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль |
| 13. Проф. Ш.Чадраабал | Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль |

Дугаарыг эмхтгэсэн:

Редакцын зөвлөлийн нарийн бичгийн дарга

Док. Н.Төвжаргал

Монгол Улсын Их Сургууль

Редактор

А.Дулмаа

Монгол Улсын Их Сургууль

ГАРЧИГ

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

Орчуулсан Проф. Н.Түгжсүрэн 1

П.Л.Кавица "Э.РЕЗЕРФОРДИЙН ТУХАЙ"

Орчуулсан Проф. Н.Түгжсүрэн 5

ТАТАЛЦЛЫН ДОЛГИОНЫГ АНХ БҮРТГЭЛЭЭ

Проф. Д.Сангаа, Проф. Н.Цогбадрах 12

ДОЛГИОНЫ РАДИО БОЛОН ОПТИК МУЖААРХ НАРНЫ АГААР МАНДАЛ ДАХЬ ТЭСРЭЛТИЙН СУДАЛГАА МОНГОЛД

Проф. Ч. Лхагважав, Док. Д.Батмөнх 17

ОПТИК ХЯМСАА БУЮУ ГЭРЛЭН УРХИ

Б.Алтанхүү, Проф. О.Лхагва 32

УСНЫ ЭНЕРГИЭР АСАХ ГЭРЭЛ

Орчуулсан П.Түвшинтөр, Проф. Г.Шилагарди 38

АСТРОНОМИЙН УЛСЫН ГУРАВДУГААР ОЛИМПИАД

Ажиглалт туршилт, онолын бодлого
Проф. Ч. Лхагважав, Док. Д.Батмөнх 48

ОЮУТНЫ ФИЗИКИЙН АНХДУГААР ОЛИМПИАД

Ахисан түвшини бодлого
Док. П.Мөнхбаатар 53

ХИЙМЭЛ ДАГУУЛ МАНАЙ ОРОНД

Н.Энхжаргал 57

ФИЗИК, ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН – 55 ЖИЛ

Док. Г.Сэвжидсүрэн 63



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ (1564-1642)

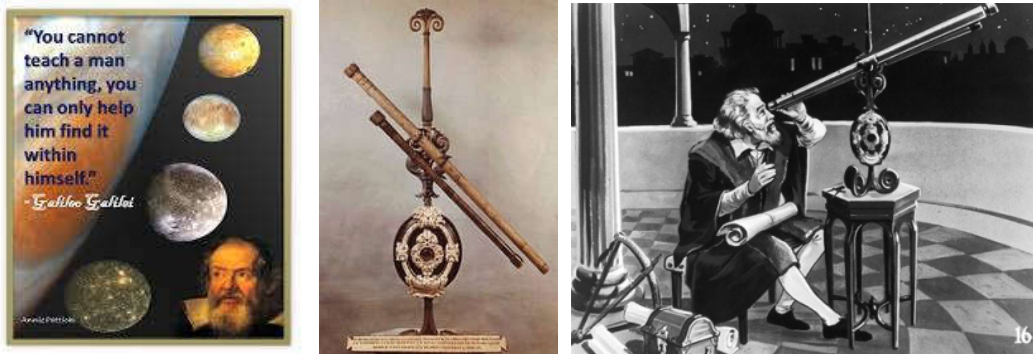
“Дэлхий ч эргэдгээрээ л эргэнэ дээ...”

Байгалийн тулгуур шинжлэх ухааныг үндэслэгчийн нэг аугаа их физикч, математикч, одон оронч энэ хүн 1564 оны II сарын 15-нд Италийн Пиза хотод төржээ. Тэдний гэр бүл 1570-аад оны эхээр Флоренцэд шилжин ирж суурьшсан бөгөөд түүнийг Валлобразын сүмийн сургуульд оруулжээ.

Холын юм харахгүй болтлоо шашны ном их үзэж гэгээрсэн хүүгээ 17 нас хүрмэгц аав нь 1581 онд Пизагийн их сургуулийн анагаах ухааны салбарт оруулж алдартай эмч болгохыг зорьсон аж. Тэрээр 4 жил суралцахдаа эмнэлэгийн ухаан төдийгүй Аристотелийн гүн ухааныг шимтэн судалсан хэдий ч нэг л мэдэхэд өөрийн ихэд сонирхон үздэг номын дотор механик, математикийн тал аль хэдийн дийлчихсэн байсан гэдэг. Юуны өмнө эртний Грекийн математикч Евклидийн “Эхлэл” номыг судалж амтанд нь орсон аж. Галилей оюутан байхдаа Пизагийн дуганд дүүжилсэн дэнгийн ганхахыг ажигласаар байгаад дүүжингийн жигд хэлбэлзлийн хуулийг нээчихсэн байна. Тодруулбаас, бараг нэг цэгт масс нь төвлөрсөн дүүжин буюу математик дүүжингийн хэлбэлзлийн үе нь түүний уртаас квадрат язгуур гаргасантай шууд хамааралтай болохыг тогтоожээ. Тэрээр дүүжингийн жигд хэлбэлзэх чанарыг цаг хугацааг хэмжихэд ашиглаж болох санааг олсон нь өнөөгийн дүүжинт цаг бүтээх эхлэл болсон байна. Галилей, гал цогтой 25 насандаа буюу 1589 онд Пизагийн их сургуулийн математикийн тэнхимийг тэргүүлж, нэг жилийн дараа гэхэд биеийн чөлөөт уналтын хуулийг нээсэн байна. Энэ бол их эрдэмтэн Аристотелийн гаргасан биеийн унах хурд нь жингээсээ хамаардаг гэсэн хуулийг үндсээр нь өөрчилж “...өндөр цамхаг дээрээс унасан янз бүрийн жин бүхий биес бүгд адилхан хурдтай унана” гэдгийг туршлагаар баталжээ. Энэхүү туршлагыг агаар бүхий бодит орчинд хийсэн тул тооцооны алдаа гарсан хэдий ч хожим агааргүй орчинд нарийвчлан хийсэн туршлагаар ягштал батлагдсан юм. Тэр үед Голландад ямар нэг юмны дүрсийг томруулдаг багаж хийгдсэн тухай мэдээ түүний жинхэнэ аазгайг хөдөлгөсөн гэдэг. Тэрээр, ойр байгаа юм ч яахав, алсын алсад байгаа тэнгэрийн биетийг л харах юмсан хэмээх алс холын бодолд хөтлөгдөн хавтгай, гүдгэр, хүнхэр линзүүдийг хослуулан эвлүүлж хорь гуч дахин өсгөж чадах дуран хийж түүнээ юуны өмнө одод түгсэн шөнийн тэнгэрт аялах онгон саран өөд чиглүүлжээ. Гайхалтай. Манай дэлхийтэй төстэй уул нуруу, тал

хөндий үргэлжлэн харагдах нь тэр. Эндээс сар нь дэлхийтэй төсөөтэй эрхэс болохыг илрүүлжээ. Сарны уулын өндрийг хүртэл сүүдрээр нь тооцоолж гаргаж. Цаашлуулаад “бурхдын зугаацдаг зам” болох тэнгэрийн заадас руу чиглүүлтэл үй түмэн одод гялалзан цайвалзаж түүний сэтгэлийн түймрийг үнэнхүү авалцуулсан гэдэг. Энэ дэлхийнхнээс “Бурхдын зам”-ыг анх удаа харсан хүний сэтгэл ямар байх нь ойлгомжтой. Дурангаа Сугар гариг өөд чиглүүлж сар шахам ажиглахад хэлбэр дүрсээ өөрчлөн сар шиг хавирган болж байгааг харсан нь Коперникийн сургаалын гайхамшигт баталгаа болжээ.

Галилейн өөрийн хийсэн дурангаар ажиглаж Бархасбадь гаригийн 4 дагуулыг нээжээ.



Огторгуйн анхны дуран бүтээж унтах нойроо мартсан Галилей хамгийн гайхамшигтай нээлтээ 1609 оны 1 дүгээр сарын 7-нд хийсэн байна. Бархасбадь гаригийг дурандаж байтал түүний хажууханд нь гурван жижиг “од” харагдаж. Хэд хоногийн дараа харахад бас нэг “од” нэмэгджээ. Ийнхүү Бархасбадь гариг дөрвөн дагуултай болохыг нээв. Нүдээр харах аргагүй гэрэлт нарыг утаан шил хавсруулан байж ажиглахад Аристотелийг хүртэл ямар ч хиргүй, ариун тунгалаг гэж үзэж байсан Наран дээр олон бараан толбо харагдаж улмаар тэдгээрийн байрлал өөрчлөгдөж буй нь жирийн нэг үзэгдэл биш, чухамдаа Нар тэнхлэгээ эргэдгийн баталгаа мөнөөс мөн хэмээн үзсэн байна. Галилей эдгээр сонин содон нээлтийнхээ тухай “Оддын мэдээ” гэдэг нэртэй зохиолдоо бичиж Коперникийн сургаалыг илтээр хамгаалжээ.

Дал дөхсөн ухаант өвгөн 1632 онд олон жилийн турш тархиндаа хуримтлуулж, бас мэр сэр цаасан дээр буулгаж явсан шинжлэх ухаанч бодол санаагаа цэгцлэн нэгтгээд “Птолемей ба Коперникийн ертөнцийн хоёр тогтолцооны талаарх харилцан яриа” хэмээх бүтээлээ хэвлүүлсэн нь тэр үеийн католик шашины сүм хийдийнхний уур унтууг айхтар хүргэжээ.

Энэ номонд Сальвиати, Сагрето гэдэг хоёр хүн Коперникийн сургаалыг цэцэн мэргэнээр хамгаалан ярилцдаг бөгөөд юу ч мэддэггүй Симплично Галилейг тэр үеийн лам нарын хэрэглэдэг үг хэллэгтэй адилхан үг хэлээр элдвээр дайран довтолж байгаа маягаар бичсэн байна. Хаширдаггүй, “хачин өвгөн”-ийг шашины шүүх дууджээ.



Галилей шашины шүүхэд дуудагдсан нь Далан насны босгон дээр очсон өвгөн бие тааруу байсан учир жаал хойшлуулахыг гуйсан боловч зөвшөөрсөнгүй. 1633 оны II сарын 13-нд шүүхэд очиход элдвээр айлгаж, эрүү шүүлт тулган байцааж өөрийн үзлээсээ татгалзахыг шаардаж, бас ийм дэмий

тэрслүү юм бичсэнийхээ түмэн бурууг түмэн олны өмнө өөрийн биеэр хүлээж залруулах, эсвэл шоронгийн хананы цаана цоожлогдох хоёр зам байгааг анхааруулан



сүрийг далайлгажээ. Дөрвөн сарын дараа буюу 1633 оны VI сарын 22-нд түүнийг “Ариун Марии” сүмд шашины

толгойлох лам нарын өмнө өвдөг сөгдүүлэн яллах болсонд “... өвгөн би өөрийн буруу үзэл бодлоосоо ухаръя даа ...

Наран төвтэй гэдэг үнэмшлээ орхиё оо, орхиё...” хэмээн ам тангаргаа өгөөд шүүхээс гарч явахдаа “...E pur si mouve

(Италаар)... ямар ч байсан дэлхий эргэж л байгаа даа...” хэмээн амандаа гүвтнэн гарч явсныг тэрхэн үед бараа

бологч шавь нараас нь өөр хүн дуулаагүй л болов уу. Гэвч түүний энэ алдартай үгийг эх Дэлхий сонсчээ. Тэр агуу хүн

энэ үгээ хэдийгээр амандаа шивэгнэж хэлсэн ч хэдэн зууны дараа ч эх дэлхийнхээ хүмүүст чангаас чанга сонсогдохоор хэлжээ. “Буруугаа хүлээсэн” түүний амийг

хэлтрүүлсэн ч бас зүгээр орхисонгүй, “Арчетри” гэдэг жижигхэн тосгонд цөлж, гэрийн хорионд оруулжээ. Өтөл өвгөн хэдийгээр өвчинд нэрвэгдэж, бие нь сульдсаар 1637 онд

ертөнцийг харах мэлмийнээсээ салж сохорсон ч оюун ухаанаараа ертөнцийг тольдон сууж, динамикийн үндэс суурь болох “Хоёр шинэ ухааны тайлбар болон тоон баталгаа” хэмээх алдарт бүтээлээ туурвисан аж. Агуу өвгөн 1642 оны I сарын 8-нд

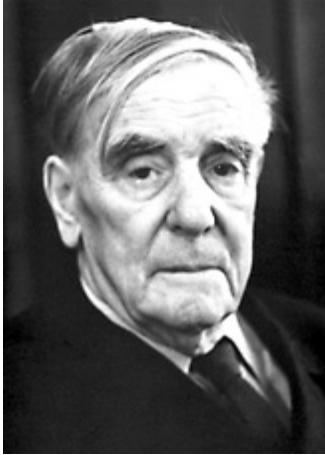
ертөнцийн мөнх бусыг үзжээ. Хэдийгээр байгалийн шинжлэлийн ноён оргил болсон физикийн шинжлэх ухааныг эмх цэгцэнд оруулан үндэс суурийг баттайя тавьсан их

Галилей тэнгэрт халиад аль хэдийн зургаан жаран элсэн ч өнөө цагийн байгалийн ухааны янз бүрийн түвшний бүх л сурах бичигт түүний гайхамшигт нээлт бүтээл

яагаад ч арилахааргүй мөнхөрчээ. Хүний эрүүл ухаан хэзээд ялдаг юм хойно Католик

шашины тэргүүн Ромын Пап II Ион Павел 1979 онд буюу суут Галилейг бурхны оронд залраад даруй зургаан жаран элсний дараа ч гэлээ түүнийг цагаатгаж, “их эрдэмтнийг зовоосон түмэн буруугаа сүм хийд хүлээх ёстой” хэмээн мэдэгджээ. Агуу өвгөний сүнс бага ч гэсэн амарсан буй за.

Орчуулсан: Проф. Н. Түгжсүрэн
Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль



П.Л.КАПИЦА "Э.РЕЗЕРФОРДИЙН ТУХАЙ"

*П.Л.КАПИЦА: Том эрдэмтэн заавал том хүн байдаггүй,
харин их багш л их хүн байдгийг шинжлэх ухааны түүх
харуулж байна*

Дэлхийн гарамгай физикчдийн нэг П.Л.Капица нам температур ба хүчтэй соронзон орны физик судалгааг үндэслэгчдийн нэг бөгөөд ЗХУ (хуучин нэрээр)-ын социалист хөдөлмөрийн хоёр удаагийн баатар, ЗХУ-ын төрийн шагналыг 2 удаа хүртсэний дээр тус улсаас физикийн салбарт Нобелийн шагнал хүрсэн цөөхөн эрдэмтдийн нэг юм.

Энэ ертөнцийн бүх юмыг бүтээх атомын “гэдэс гүзээ”-нд суу ухаан, уран аргаар нэвтэрсэн тэрээр 1920-иод онд эрдэм шинжилгээний томилолтоор Э.Резерфордийн дэргэд ажиллан Кембрижийн Их Сургуулийн Мондын лабораторийг толгойлж байв. 1971 онд Э.Резерфордийн мэндэлсний 100 жилийн ойг тэмдэглэх үед Лондоны Вангийн Нийгэмлэг (Английн Шинжлэх Ухааны Академи)-ийн хүсэлтээр П.Л.Капица өөрийн багшийн тухай дурсан ярьсан зүйл нь өнөөгийн эрдэмтэн судлаачдын сонирхлыг татсан хэвээр юм.

Эрнест Резерфорд шиг аугаа их эрдэмтний шинжлэх ухааны нээлт бүтээлийн тухай өгүүлэх нь амар хялбар юм шиг санагдавч миний хувьд тун хэцүү байна аа. Эрдэмтэн хүний нээлт бүтээл хэдийчинээ дорвитой байх тусам түүнийг төдийчинээ товч тодорхой, тодруулан өгүүлж болох ч юм шиг. Цацраг идэвхжил бол цацраг идэвхит бодисын атомын аяндаа задрах урвал мөн гэж анх түрүүн Резерфорд ойлгоод цацраг идэвхжилийн тухай өнөөгийн сургаалыг буй болгосон юм. Тэрээр анхлан цөмийн хиймэл задралыг нээгээд сүүлд нь бас л анх түрүүн атомын гариган загварыг гаргасан юм. Нээлт бүтээлийн ал нь ч тухайн хүнийг аугаа их физикч гэж үзэхэд бүрэн хангалттай юм. Түүний нээлт бүтээлийн суурь утга агуулга нь өнөө үед зөвхөн оюутнуудаар тогтохгүй бүр дунд сургуулийн хүүхдүүдэд ч ойлгомжтой зүйл болоод байна.

Цацраг идэвхжилийн сургаалаас цөмийн физик гэдэг биеэ даасан шинжлэх ухаан үүсэн гарсныг хэн бүхэн мэднэ. Энэ шинжлэх ухаан тасралтгүй хөгжиж,

физикийн шинжлэх ухааны бүх салбараар хэвлэгдэн гарч байгаа ажлын тавны нэг нь цөмийн үзэгдэлд хамаарагдаж байна.

Өнөө үед энэ шинжлэх ухаан цөмийн эрчим хүч, шинжлэх ухаан техник хиймэл цацраг идэвхжилийг ашиглах зэргээр их хурдтай хөгжиж энэ салбарт шинжлэх ухаан хөгжүүлэхэд зарцуулах хөрөнгө мөнгөний ихээхэн хэсэг ноогдож байна. Резерфордийн үзэл санаа, түүний шавь сургуулиас цөмийн физикийн энэхүү хөгжил хэрхэн яаж үүсч гарсныг ажиглаж судлах нь их сонирхолтой, сургамжтай юм. Вангийн нийгэмлэгийн ерөнхийлөгч профессор Блэкетт, сэр Жеймс Чадвик, сэр Жон Кокрофт, сэр Чарльз Эллис, сэр Марк Олифант мэтийн Резерфордийн шавь сургуулиар хүмүүжиж энэ салбарт суурь нээлт бүтээлийг хийж гүйцэтгэсэн Вангийн нийгэмлэгийн гишүүд надаас илүү үндэслэлтэйгээр энэ асуудлыг хөндөж өгүүлэх билээ. Вангийн нийгэмлэгийн гишүүдийн сонирхлыг татахаар миний өгүүлж чадах нэгэн зүйл бол Резерфордийн тухай, Кавендишийн лабораторид ажиллаж байхдаа түүнийг ямар хүн гэж би таньж мэдсэн, тэр яаж ажиллаж, залуу эрдэмтэн бид нарыг хэрхэн хүмүүжүүлж байсан болон шинжлэх ухааны ертөнцтэй тэр хэрхэн харьцдаг байсан тухай юм. Би Англид, Кавендишийн лабораторид нэрд гараагүй залуухан байхдаа ирж 13 жилийн дотор тэнд эрдэмтэн болтлоо өсч өндийсөн юм. Энэ он жилүүд миний хүрч чадсан амжилтын хувьд ч хамгийн аз жаргалтай үе байлаа. Резерфорд надад зөвхөн багшийн хувьд ч төдийгүй, харин гайхамшигтай дотно өөриймсөг хүний сэтгэлээр хандаж, байнгын анхаарал халамж тавьж байсных нь хувьд би түүний ачийг хариулах хүн. Резерфордод би их хайртай байсан, улирах он жилийн явцад бидний их нөхөрлөл тогтсон юм. Та бүгдийн өмнө өөрийн дурдатгалаа өгүүлж байгаа нь энэ аугаа их гайхамшигт хүнд өөрийн талархлаа илэрхийлэх цорын ганц арга минь юм. Резерфорд том эрдэмтэн төдийгүй, их багш хүн байсан. Резерфордийн лабораторид хүмүүжиж нээлт бүтээлийнхээ эхийг тавьсан шиг тийм олон лут физикчид төрөн гарсан газрыг би л лав мэдэхгүй юм. Том эрдэмтэн заавал том хүн байдаггүй, харин их багш л их хүн байдгийг шинжлэх ухааны түүх харуулж байна. Ийм учраас ч миний зорилт улам хүнд болж байна. Би та нарт зөвхөн эрдэмтний төдийгүй мөн хүний дүр хөргийг гаргаж харуулах болж байна. Би Резерфордийн дүр хөргийг нь аль болохоор амьд гаргахыг хичээж, өгүүллээ миний ой тойнд шингэж үлдсэн үйл явдлаар зураглахыг оролдъё. Ийм үйл явдал маш олон байсан. Энэ нь та нарт Резерфордийн дүрийг ургуулан төсөөлөхөд тусална гэдэгт би итгэж байна. Гучаад оны үед Кавендишийн лабораторийн анхны захирал агсан Максвеллийн төрсний 100 жилийн ойд зориулсан хурал болж өнгөрсөн юм. Максвеллийн дараагаар өнгөрсөн зууны эцэс, энэ зууны эхэн

үеийн дөрвөн аугаа их физикч Релей, Ж.Ж.Томсон, Резерфорд нар уг лабораторийн захирал байв. Максвеллийн шавь нар дурдатгалаа ярьсан баярын хурлын дараагаар Резерфорд илтгэлүүд хир зэрэг таалагдсаныг надаас асуулаа. Би түүнд “Илтгэлүүд онц сонирхолтой байлаа, харин Максвеллийн тухай хүн бүхэн зөвхөн сайн сайхан зүйлийг өгүүлж, түүнийг чихэр бурам шиг дүрсэлсэн нь надад их гайхал төрүүллээ. Хүн хичнээн ч суут байлаа гэсэн хүн л юм болохоор мэдээж хүнд байдаг дутагдал, элдэв төрх, зан авиртай тийм жинэхэнэ амьд Максвеллийг би харахыг хүссэн юм. Гэвч тэгсэнгүй” гэж хариулахад тэрээр инээд алдаж, “намайг өөд болсны дараагаар хойч үеийнхэнд чухамдаа миний ямар хүн байсан тухай өгүүлэхийг чамд даалгаж байна” гэж тоглох маягаар хэлэхэд би инээмсэглэж сууснаа санаж байна. Харин одоо би түүний гэрээслэлийг биелүүлэх гэж, та бүхэнд түүнийг танилцуулахаар үнэн дүрийг нь гаргаж эхлэхэд цаг хугацаа хүний өчүүхэн бага дутагдлуудыг шингээн уусгаж, миний өмнө гайхамшигтэй оюун ухаан, сэтгэл санааны дээд шинж чанартай аугаа их хүн тодорч байна. Тэр үед Кембрижед үг хэлж байсан Максвеллийн шавь нарын зовлонг харин одоо бол би сайн ойлгож байна. Энгийн яруу сод сэтгэлгээ, их зөн билэг, золбоолог зан байдал бол түүний бүтээлч ажиллагааны үндсэн шинж нь юм. Резерфордийн бүтээлийг судалж, түүний хэрхэн яаж ажилладгийг ажиглавал түүний сэтгэлгээний гол шинж чанар бол ямарч ч л байсан ихээхэн биеэ даасан, онцгой эр зоригтой хүн гэсэн дүгнэлтэнд хүргэж байна. Байгалийн шинжлэх ухааны хөгжиж байгаа үндсэн зам нь байгалийн үзэгдлүүдийг туршлагын аргаар судлах явцад бидний ажиглалт онолын төсөөлөлтэй нийцэж байна уу, үгүй юу гэдгийг тасралтгүй шалгахад оршдог. Онол туршлага хоёрын хооронд зөрчилдөөн үүсэхэд бидний байгалийн танин мэдэхүй урагшлан хөгждөг. Энэ зөрчил байгалийг улам өргөн дэлгэр ойлгох замыг нээж, шинэ онол хөгжүүлэхийг шаарддаг. Энэ зөрчил хичнээн гүн гүнзгий байх тутам байгалийн үзэгдлүүдийг тайлбарлаж, түүнд тулгуурлан байгалийг хүн төрөлхтний хөгжил дэвшилд ашиглаж байсан хуулиудад төдийчинээ гүн гүнзгий өөрчлөлт хийх болдог. Шинжлэх ухааны хөгжлийн тодорхой үе шат нь түүхийн нэгэн адил өөрийн суут ухаантныг шаарддаг. Хөгжлийн тодорхой үе өөртөө таарч тохирох сэтгэлгээний хэв маягтай хүмүүсийг шаарддаг. Физикийн түүхэнд бусад туршлагын шинжлэх ухааны адил шинжлэх ухааны суурь үзэл санааг дахин хянаж болох болсон үе л хамгийн их сонирхолтой байдаг. Энэ үед эрдэмтэн хүнд зөвхөн оюун ухаан, зөн билгээс гадна шийдмэг зоригтой сэтгэлгээ хэрэгтэй болдог. Үүний тайлбар болгож надад гүн их сэтгэгдэл төрүүлсэн, физикийн түүхэнд алдаршсан хоёр жишээг хэлье. Нэгдүгээрх нь, Франклин цахилгааны тухай сургаал хэрхэн гаргасан явдал юм.

Франклин цахилгаан материаллаг үндэстэй гэсэн төсөөллийг сургаалынхаа үндэс болгосон юм. Цахилгаан металлыг нэвчиж түүний нэл орчныг нэвтэрч чадна. Ийм төсөөлөл нь матери цул шинж чанартай гэсэн тэр үеийн төсөөлөлд харш байсан боловч тэр үед мэдэгдэж байсан цахилгаан статистикийн үзэгдлүүдийг бүрэн тайлбарлах арга замыг зааж өгч байсан учир хүлээн зөвшөөрөгдсөнийг бид мэднэ. Түүнээс хойш 150 жилийн дараагаар Дж.Томсон электроныг нээж, дараа нь энэ төсөөлөл зөв болсныг одоо бид мэдэж байна. Энэ түүхэн зүйлийн хамгийн гайхалтай нь урьд өмнө нь физикийн талаар огт ажиллаж байгаагүй Франклин, дэлхийн шинжлэх ухааны төвөөс алслагдсан Америкийн нэгэн жижиг хотод амьдарч, эр бие гүйцэж нас намба суусан хойноо хэдхэн жил ажиллаад яаж шинжлэх ухааны бүхэл бүтэн нэг салбарыг зөв чиглүүлж чадав аа? гэдэг асуулт гардаг. Энэ бүхэн нь шинжлэх ухаан Ньютон, Гюйгенс, Эйлер гэх мэтийн эрдэмтдийн түвшинд хөгжиж байсан 18-р зууны дунд үед болсон юм. Мэргэжлийн эрдэмтдийн хүрч чадаагүй оргилд Франклин яаж гарав аа?

Үүнтэй адил бас нэг тохиолдол суурь төсөөллийг туршлагын үндсэн дээр дахин хянаж үзэх болсон үед гарсан нь цахилгаан орны тухай Фарадейн сургаал юм. Фарадейн гаргасан шиг хувьсгалч, толгойд оромгүй санааг олоход хэцүү. Энэ жишээг би яагаад гаргав гэвэл, Фарадей тэр үеийн Английн дунд зэргийн эрдэмтэнд байсан өндөр түвшинтэй шинжлэх ухааны боловсролыг дэс дараатайгаар олж авсан эрдэмтэн хүн биш байв. Би энэ хоёр алдартай жишээг гаргаснаар шинэ суурь төсөөллийн хөгжлийн тодорхой үе шатанд шинжлэх ухаанд төгс эрдэм, их мэдлэг нь эрдэмтэн хүн асуудлыг шийдэх гол зүйл болдоггүй, үүнд чухал нь сэтгэмж, зөв сэтгэлгээ, үндсэндээ зоримог шийдэмгий байх явдал чухал гэдгийг хэлэх гэсэн юм. Ялангуяа математикчдад онцлог байдаг хурц логик сэтгэлгээ нь сэтгэмжийг барьдаг учир шинэ үндэслэлийн үүсгэл үнэнийг гаргахад ер нь саад болдог. Эрдэмтэн хүн шинжлэх ухааны иймэрхүү маягийн том шийдвэрлэх асуудлыг хурц, логик байгууламжгүй шийдэж чадах чадварыг ер нь зөн билэг гэж нэрлэдэг. Бидний тархинд явагддаг сэтгэлгээнд ийм процесс байж болох юм. Харин түүний зүй тогтол нь одоогоор бидэнд мэдэгдээгүй байна. Хэрвээ би андуураагүй бол ийм процессыг маш сайн мэддэг Фрейд ч энэ асуудлаар ажиллаагүй байх. Бүтээлч сэтгэлгээний их хүчтэй процессыг зөн билэг гэж нэрлэвэл Франклин, Фарадей хоёр мэдээж их зөн билэгтэй хүмүүс юм. Эргэлзэх юмгүй Резерфорд ч гэсэн их зөн билэгтэй хүн. Ийм л учраас Резерфордыг манай үеийн Фарадей гэж олонтаа нэрлэдэг. Энэ зууны эхээр Резерфорд цацраг идэвхжилээр ажиллаж эхлэхэд түүний туршлага байгалийн тулгуур хууль болох энерги хадгалагдах хуульд бүүр илэрхий харшилж байсан юм. Цацраг идэвхжил бол цаашаа хувирашгүй

матери хүртэл задрах задрал юм гэж анх түрүүн Резерфордийн өгсөн тайлбар нь тэр дороо энэ үзэгдлийг ойлгох оньс болж, цаашдын эрэл судалгааны зөв зам руу чиглүүлсэн юм. Резерфорд атомын гариган загвар анх гаргахад ч иймэрхүү явдал гарсан юм. Энэ загвар үндсээрээ сонгодог цахилгаан динамикт харшилж байсан. Учир нь гэвэл электрон тойрон эргэх хөдөлгөөнийхөө үед кинетик энергиэ цацралаар тасралтгүй алдах ёстой байлаа. Харин альфа бөөмийн сарнилтаар Резерфордийн шавь Марсден 1910 онд хийсэн туршилт атомын төвд хүнд цөм байдгийг хөдөлгөөнгүй тогтоосон юм. Бөөмсийн мөргөлдөөний үед болж байсан бүх үзэгдлийг Резерфорд маш сайн төсөөлж байсан бөгөөд цахилгаан динамикийн бүр тулгуур хуульд ч харшлах явдал түүнд атомын гариган загвар гаргахад саад болоогүй. Нилээд хэдэн жилийн дараа 1913 онд Н. Бор тэр үед хөгжиж байсан гэрлийн квант бүтцийн тухай төсөөллийн үндсэн дээр атомын бүтцийн онолыг гайхалтай хөгжүүлж энэ онол Резерфордийн загвартай бүрэн нийцээд зогсоогүй харин атомын цацруулдаг спектрийн бүтцийг тоочанарын хувьд тайлбарласан юм. Резерфордийн сэтгэлгээний өвөрмөц шинж чанарыг түүнтэй эрдэм шинжилгээний сэдвээр ярилцах үед төвөггүй мэдэж болдог байв. Түүнд туршилтын үр дүнгийн талаар өгүүлэхэд их дуртай байдагсан. Резерфордод сонирхогдохоор ярихын тулд түүний нүүр царайны хувирлаар анхааралтай сонсож байна уу, аль эсвэл уйдаж байна уу гэдгийг дор нь мэдэж болдог байлаа. Зөвхөн үндсэн үйл явдал гол санааг Резерфордын сонирхдоггүй юм оруулалгүйгээр ярих хэрэгтэй байдаг байсан юм. Хүчтэй соронзон орон гаргадаг их чадлын генераторийн зургийг батлуулахаар би түүнтэй уулзахад тэр эелдэг зангаар миний буулгасан зургийг өмнөө тавьж зөв буруу харсныг нь ч анхааралгүйгээр “Энэ зураг надад сонирхолтой биш байна. Харин та надад энэ машины ажилладаг зарчмуудыг л зүгээр заагаад аль” гэж хэлж билээ. Туршилтын гол санааг үг хэлэнгүүт л тэр дор нь ойлгодог байв. Энэ нь надад нэн ялангуяа анх Кембридж-д ирсэн үед гайхалтай байж билээ. Намайг өөрийн санаа туршлагын талаар англиар маш муу, тодорхой ярьж чадахгүй байхад Резерфорд санааг дор нь шүүрэн авч үргэлж их сонирхолтой үнэлгээ өгдөг байлаа. Резерфорд өөрийн туршилтын талаар дуртайяа өгүүлж, төхөөрөмж туршлагаа үзүүлдэг байсан юм. Тэр зурж өгүүлэх дуртай байсан бөгөөд түүний хантаазны халаасанд үргэлж хуруун чинээхэн харандаанууд байдаг байсансан. Тэр харандааг их сонин барьдаг байлаа. Гурван хурууныхаа үзүүрээр шахам, надад бол их л эвгүй байдлаар барьдаг байсан юм. Тэр чичирсэн гараараа амархан зурчихна. Түүний их дарж зурсан зураастай зураг нь их энгийн байдагсан. Хурц үзүүрлэсэн харандаа олонтаа хугарахад халааснаасаа өөр нэг хараандааны өөдөс гарган зурдаг байлаа. Олонх физикчид, нэн

ялангуяа онолчид шинжлэх ухааны маргаанд их дуртай. Маргах процесс тэдний хувьд сэтгэх арга нь юм. Резерфорд маргаж байсан гэж би ер нь сонсоогүй, бас хараагүй. Тэр өөрийн санал бодлоо маш товч, тодорхой гаргадаг байсан юм. Түүнийг нь эсэргүүцвэл тэрээр маш их анхааралтай сонсож үүгээр л маргаан дуусдаг байлаа. Резерфордийн лекцэнд би их дуртай байсан. Тэр Кавендишийн профессорийн хувьд оюутнуудад уншиж байсан физикийн курсийг би сонсож дуусгасан юм. Тэр үед би физик муугүй мэдэж байсан учраас энэ хичээлээс шинэ зүйл бага сурсан боловч, Резерфордийн физикт хандах хандлага намайг их зүйлд сургасан юм. Тэрээр лекцээ их бахдалтай математик бараг хэрэглэлгүй үзэгдлүүдийг диаграмаар дүрсэлж өөрөө хэр зэрэг тодорхой амьд сэтгэж байгаа нь харагддаг байлаа. Харин лекцийн сэдвээ цөөнгүй өөрчилдөг байсан нь надад их сонирхолтой байсан юм. Урьд төлөвлөснөөрөө нэгэн зүйлийн тухай лекц унших ёстой байсан атлаа түүний бодол цацраг идэвхжилийн ямар нэгэн шинэ туршлагатай холбоотой үзэгдэлд шилжиж, яг одоо өөрийгөө чухам юу эзэмдэж байгаа тухай бахтай өгүүлж эхэлдэг байсан юм. Энэ нь түүний туслагчдад их хэцүү байдаг байлаа. Резерфорд анх төлөвлөсөн лекцэнд хамаарахгүй туршлага хийж үзүүлэхийг гэв гэнэт түүнээс шаарддаг байлаа. Би Кембриджед мөн Дж.Томсоний оюутнуудад уншдаг сонгон суралцах лекцийг сонссон юм. Тэрээр хийгээр цахилгаан дамжих тухай уншиж байлаа. Энэ том эрдэмтэн байгалийг яаж бүрэн өөрөөр тусган авч байгаа нь сонирхолтой байсан юм. Резерфордийн сэтгэц индукцэд ойр байсан бол Томсоний сэтгэц маргах юмгүй дедуктив байсан юм. Залуу эрдэмтдийг хүмүүжүүлэхэд тэдэнд ерөнхий курсээр лекц сонсгох чухал бөгөөд уг курсийг заавал том эрдэмтэн унших ёстой юм гэж би боддог. Ингэснээр тэд байгалийн үзэгдлүүдийг ойлгохдоо ямар ч ном хэвлэлээс олдохгүй өвөрмөц хандлагад сурах юм. Үүнтэй холбогдуулж Горайс Лембтэй ярилцаж байсан зүйлээ дурсан санаж байна. Тэр надад Максвеллийн лекцийг сонсож байсан тухайгаа ярьсан юм. Максвелл сайн лектор байгаагүй, лекц уншихдаа тэмдэглэлгүй ирж самбар дээр томъёо гаргахдаа үргэлж алдаж будилдаг байсан гэж тэрээр надад ярьж байсан. Максвелл өөрийн алдаагаа яаж эрж, хэрхэн засаж байснаас Лемб уншсан номноосоо илүү их зүйлийг сурсан байна. Максвеллийн лекцнээс түүний алдаа Лембэд хамгийн үнэтэй цэнэтэй нь байлаа. Суут хүний алдаа нь ололтын адил сургамжтай гэдэг нь маргашгүй. Намайг Кембриджэд байхад Резерфорд өөрөө туршилт хийдэггүй байсан. Туршилтаа голчлон Чадвик, Эллис хоёртой хийж уг ажилд тэр маш их идэвхитэй оролцдог байлаа. Багажийг тэр үед түүний лаборант байсан Кроу хийж түүнтэй Резерфорд нилээн ширүүн харьцдаг байсан юм. Гар нь хэдийгээр бага зэрэг салгалдаг байсан боловч, Резерфорд радийн эманац дүүргэсэн нимгэн шилэн

хоолойнуудтай хялбархан харилцаж байсныг би олонтаа ажигласан юм. Хэдийгээр Резерфордийн туршлагыг та нар сайн мэдэж байгаа боловч би түүний тухай хэдэн үг хэлэхгүй өнгөрч болохгүй байна. Хамгийн дур сэтгэл татмаар зүйл нь зорилт нь тов тодорхой, арга зүй нь хялбархан, шийдэлтэйгээ нарийн шүтэлцээтэй байдаг явдал байлаа. “Энгийн байна гэдэг цэцэн мэргэний дээд туйл” гэсэн Франц ардын мэргэн үг чухам л Резерфордод зориулагдсан юм шиг санагддаг аа.

П.Л.Капицагийн “Эксперимент, Теория,
Практика” номны 225-231 дүгээр хуудаснаас
орчуулсан Проф. Н.Түгжсүрэн
Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль

ТАТАЛЦЛЫН ДОЛГИОНЫГ АНХ БҮРТГЭЛЭЭ

Д.Сангаа¹, Н.Цогбадрах²

¹ШУА-ийн Физик Технологийн Хүрээлэн

²МУИС-ийн ШУС-ийн Физикийн тэнхим

Саяхан 2016 оны 2-р сарын 11-нд АНУ-ын Вашингтон хотноо болсон хэвлэлийн бага хурал дээр олон улсын эрдэм шинжилгээний LIGO төслийн багийн эрдэмтэд АНУ-ын өндөр мэдрэх чадвар бүхий LIGO лазерын интерферометрийн тусламжтайгаар **таталцлын долгионыг** (gravitational waves) анх удаа бүртгэж чадсан тухайгаа зарласан билээ. Эрдэмтдийн үзэж буйгаар уг таталцлын долгион нь 1.3 тэрбум жилийн тэртээ Нарнаас 29 ба 36 дахин их масс бүхий сансрын 2 хар нүх нийлэн нэгдэх үед үүсчээ. Энэ “мөргөлдөөний” үр дүнд Нарны массаас 3 дахин их масс таталцлын долгионы энергид шилжсэн байна (Зураг 1).



Зураг 1. Ерөнхий массын төвөө тойрон эргэх хос хар нүхний загвар

1916 онд буюу одоогоос зуун жилийн өмнө алдарт физикч Альберт Эйнштейн Харьцангуйн ерөнхий онолоо боловсруулж дуусгаад “таталцлын долгион” оршин байж болох тухай санааг дэвшүүлсэн билээ. Сул таталцлын орны шугаман тэгшитгэлийн шийд нь долгион хэлбэртэй байна гэдгийг Эйнштейн үзүүлсэн юм. Арай тодорхой хэлбэл, таталцлын орныг үүсгэж буй массын системийн квадруполийн момент хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөхөд уг систем таталцлын долгион “цацаргана”, энэ нь гэрлийн хурдтай тархах хөндлөн долгион байх юм. Гэхдээ энэ долгионы далайц маш бага учир хэзээ ч бүртгэж илрүүлж чадахгүй хэмээн Эйнштейн тэмдэглэн хэлсэн байдаг (A. Einstein, Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss.1, 154, 1918). Харин 1957 онд, А. Эйнштейнийг таалал төгссөний дараахан, Чапл Хилл (АНУ) хотод болсон олон улсын

хурал дээр энэ долгион байх эсэх, бүртгэж болох эсэх талаар эрдэмтдийн дунд маргаан хэлэлцүүлэг болжээ.

Таталцлын долгионыг бүртгэх туршилт 1960-аад оны үеэс эхэлсэн юм. 2000 оноос Японы TAMA300, Германы GEO600, Италийн Virgo, АНУ-ын Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) зэрэг детекторууд (бүртгэгч төхөөрөмж) хоорондоо нэгдсэн зохион байгуулалтанд орж ажиллаж эхэлснээр үлэмж ахиц гарчээ. Улмаар 2015 онд хамгийн орчин үеийн мэдрэмтгий бүртгэгч төхөөрөмж болох Advanced LIGO (aLIGO) детектор ашиглагдаж эхэлснээр нээлт хийх боломж бүрдсэн байна.

Олон улсын хамтарсан LIGO төсөл дээр АНУ-ын Калифорнийн Технологийн Дээд Сургууль (CIT), Массачусетсийн Технологийн Дээд Сургууль (MIT) зэрэг олон тооны институт, их сургууль, гадны 15 орны 30 гаруй байгууллагын 950 орчим эрдэм шинжилгээний ажилтан ажилладаг.

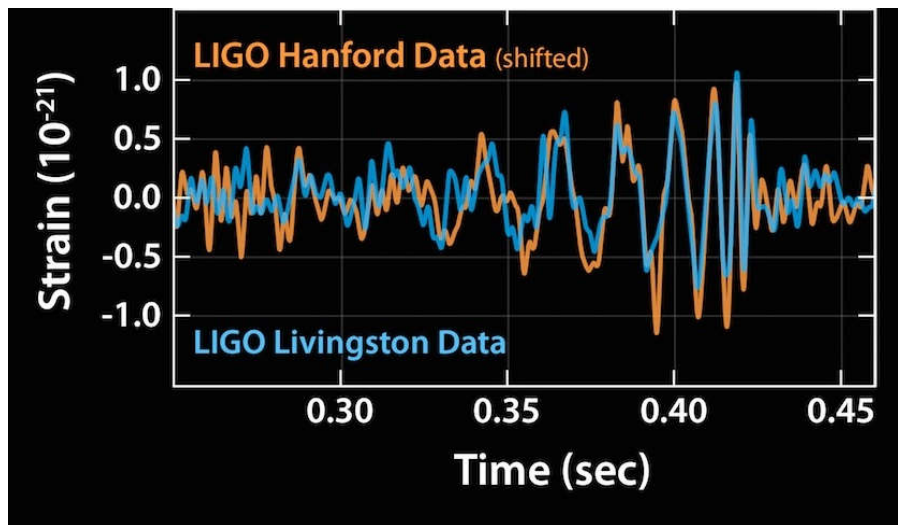
LIGO төслийн хүрээнд таталцлын долгионыг бүртгэх ажиглалт явуулдаг үндсэн хоёр детекторын нэг нь Вашингтон муж дахь Хэнфордын цөмийн цогцолбор газарт (LIGO Hanford), нөгөө нь Луизиана мужийн Ливингстон хотхонд (LIGO Livingston) байрладаг. Уг хоёр детектор нь бие биенээсээ ойролцоогоор 0.01 гэрлийн секундын зайд (~ 3000 км) оршино.



Зураг 2. LIGO төсөлд ашиглагддаг үндсэн хоёр бүртгэх байгууламж

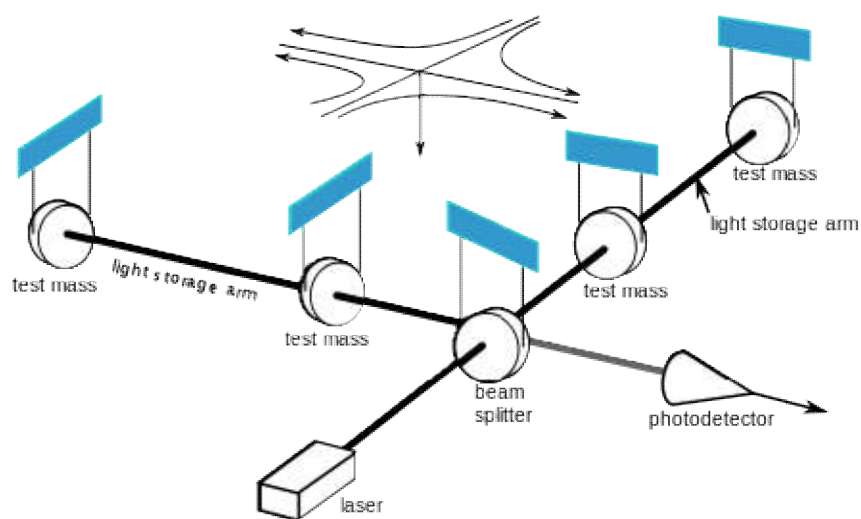
Таталцлын долгионыг анх Улаанбаатарын цагаар 2015 оны 9-р сарын 14-ны 17 цаг 51 минутанд (09:51 UTC) Ливингстон ба Хэнфордын детекторууд хоорондоо 7 миллисекундын зайтайгаар бүртгэж авсан байна (PHYSICAL REVIEW LETTERS 2016, 061102-2) (Зураг 3). Энэхүү хугацааны жижиг зөрөөнд үндэслэн эрдэмтэд таталцлын

долгионы эх үүсвэр нь тэнгэрийн өмнөд хагаст оршиж байна гэж тодорхойлжээ (<https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20160211>).



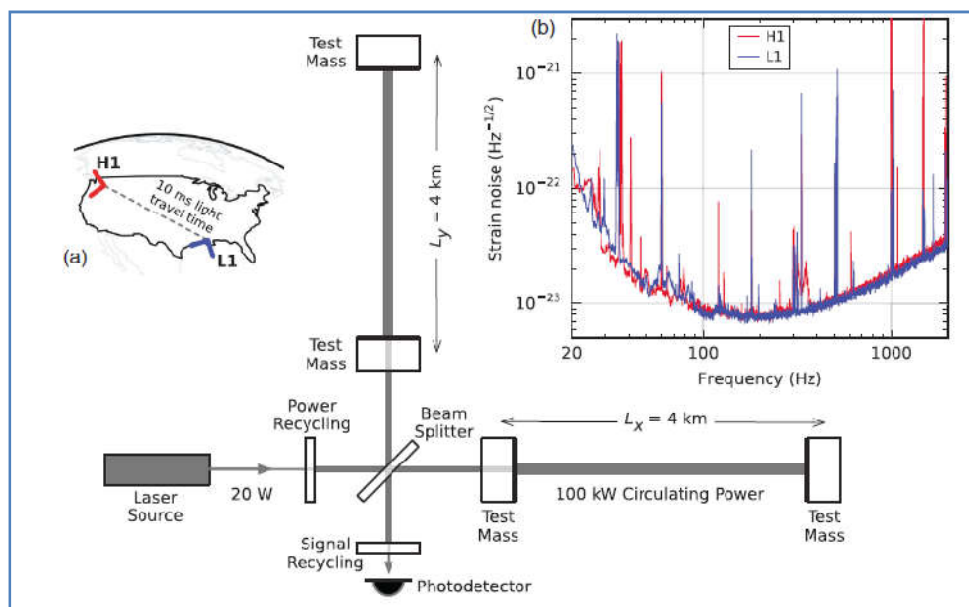
Зураг 3. Таталцлын долгионыг анх бүртгэсэн мэдээлэл бүхий спектр

LIGO детектор нь бүтэц, ажиллах зарчмын хувьд Майкельсоны интерферометртэй төстэй лазерын интерферометр төхөөрөмж бөгөөд тус бүр 4 км-ийн урттай харилцан перпендикуляр L_x , L_y гэсэн хоёр мөр (вакуумжуулсан хоолой), мөр бүрийн хоёр төгсгөлд лазерын цацрагийг ойлгох зориулалттай тольнууд, лазерын туссан ба ойсон цацраг нааш цааш нэвтрэх зам, лазерын үүсгүүр, цацраг хуваагч (beam splitter), фотодетектор зэргээс бүрдэнэ (Зураг 4).



Зураг 4. Лазер интерферометрийн бүдүүвч схем

Таталцлын долгион детекторын (зургийн) хавтгайд перпендикуляр чиглэлд тархах бөгөөд детекторын мөртэй параллель чиглэлд шугаман туйлширсан байна. Иймээс таталцлын долгион детекторыг дайран өнгөрөхөд мөрийн дагуу байрласан тольнууд үл ялиг хэлбэлзэж эхлэх юм. Тольнууд хэлбэлзэхэд тухайн нэг мөрийн урт L өөрчлөгдөнө. Долгионы үеийн нэг хагаст нэг мөрийн урт ихэсч нөгөө мөрийн урт багасна. Дараагийн хагас үед эсрэгээр солигдоно. L_x , L_y мөрүүдийн урт ингэж өөрчлөгдсөнөөр тэдгээрийн хоорондох замын ялгавар ΔL бас өөрчлөгдөнө. Энэ нь лазерын цацрагуудын фотодетектор дээр үүсгэх интерференцийн зургийг өөрчилдөг. Интерференцийн дүрс ингэж өөрчлөгдөх нь таталцлын долгион бүртгэгдсэн байна гэдгийг илэрхийлэх ёстой юм (Зураг 5.б).



Зураг 5. (а) Ханфорд ба Ливингстоны төхөөрөмжийн байрлал, чиглэл; (б) Таталцлын долгионыг бүртгэх зарчим ба төхөөрөмж бүрийн детекторт бүртгэгдсэн таталцлын долгионы сигнал.

Таталцлын долгионы илрэл (далайц) маш сул учир иймэрхүү төрлийн хэмжилт нь туйлын нарийн бөгөөд, багажийн тун өндөр мэдрэх чадварыг шаарддаг. “4 км урттай мөр дээр 10^{-21} эрэмбийн далайцтай таталцлын долгионы үүсгэх уртын хазайлт ердөө 10-ийн хасах 19 зэрэгт метр (10^{-19} м) байгаа юм, энэ чинь устөрөгчийн атомын цөм буюу протоны диаметрээс даруй арван мянга дахин бага хэмжээ шүү дээ!” гэж LIGO төсөлд оролцогчдын нэг, Москвагийн их сургуулийн профессор М.Городецкий “РИА

Новости” мэдээллийн сувагт өгсөн ярилцлагадаа дурьдсан байна (<http://ria.ru/science/20160211/1372881614.html>).

Таталцлын долгион нээгдсэн нь орчин үеийн физик, астрофизик, космологит онцгой үйл явдал болж байгаа билээ. Харьцангуй ерөнхий онолын урьдчилан хэлж байсан таталцлын долгион оршин байх ёстой гэдэг дүгнэлт шууд батлагдаж байна гэдэг утгаараа орчин үеийн физикт чухал ач холбогдолтой болж байгаа юм. Сансрын гүнд хос хар нүхний систем бодитоор оршин байна гэдгийг харуулж байгаа учраас астрофизик, одон орны судлалд чухал ач холбогдолтой болж байгаа юм. Сансраас ирэх таталцлын долгионыг бүртгэх замаар огторгуйн уудмыг судлах астрономийн цоо шинэ салбар gravitational-wave astronomy хөгжих үндэс суурийг тавьж буй юм. Цаашлаад Орчлон ертөнц ямар хурдтайгаар тэлж байгааг, нейтрон оддын нийлэлт хэрхэн явагдаж байгаа болон утасны онолыг (string theory) практикт шалгах зэрэг олон асуудлыг шийдэхэд тус дөхөм болох билээ.

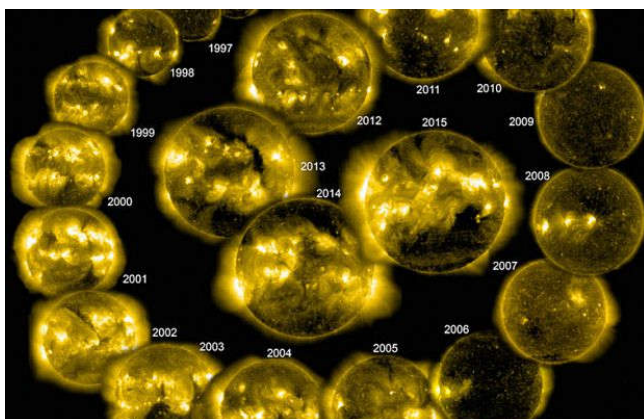
АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, ЭХ СУРВАЛЖ:

- [1]. А. Einstein, Sitzungsber. K. Preuss. Akad. Wiss.1, 154, 1918.
- [2]. В. Р. Abbott *et al.*, Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, PHYSICAL REVIEW LETTERS 2016, 061102-2.
- [3]. <https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20160211>
- [4]. <http://ria.ru/science/20160211/1372881614.html>

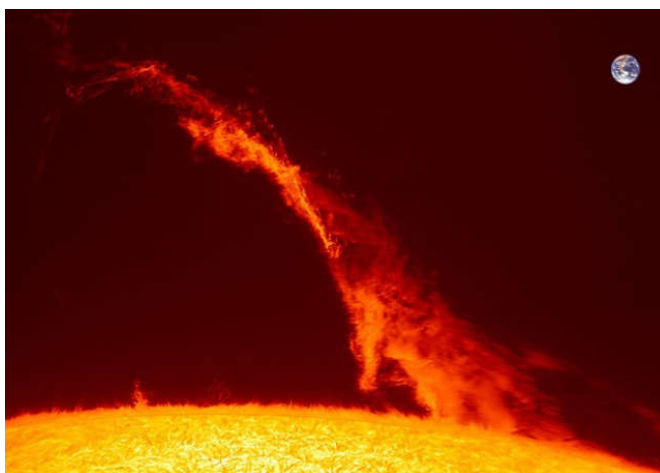
ДОЛГИОНЫ РАДИО БОЛОН ОПТИК МУЖААРХ НАРНЫ АГААР МАНДАЛ ДАХЬ ТЭСРЭЛТИЙН СУДАЛГАА МОНГОЛД

Ч.Лхагважав, Д.Батмөнх

Нарны хувьсамтгай, идэвхит үзэгдэл. Дэлхийн амьдралыг дулаан, гэрлээр тогтмол хангаж байдаг Нар нь харьцангуй тогтвортой байдаг ч дуран авайгаар харвал, түүн дээр идэвхтэй олон төрлийн үзэгдлүүд байнга болж байдаг. Нарны гадаргуу дээр хар толбонууд тодорхой үетэйгээр үүсэж мөхөж байдаг (1-р зураг). Хэрэв Дэлхийн агаар мандлын цаана гарвал Нарны цацрагийн эрчим долгионы бүхий л мужид $100\div 1000$



Зураг 1. Нарны идэвхжлийн мөчлөгүүд. Эх сурвалж:
<http://fenceref.com/20-years-of-solar-activity-on-one-picture/>

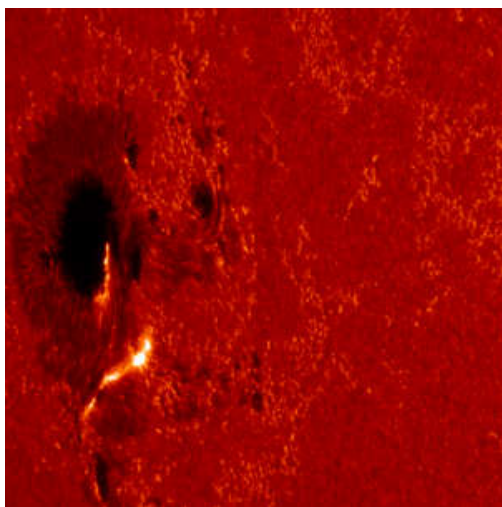


Зураг 2. Нарны тэргэл дээрх дөл, гэрэлт сор: 2015 оны 6 дугаар сарын 3, 230-мм рефрактораар $f/11$. Фото: JP-Brahic, Франц улс

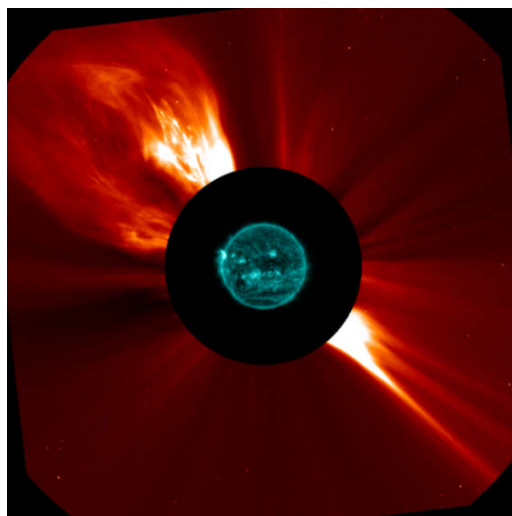
дахин өөрчлөгдөж байна. Соронзон мандлын цаана гарвал Нарны салхи тогтмол “шавхуурдах”, үлээх бөгөөд түүний хурд, нягт нь хэлбэлзэж байдаг. Жишээ нь, Нарны агаар мандалд толбо (солнечное пятно - sunspot), дөл (протуберанец - prominence, хялгасанцар - волокно - filament), бамбар (факел - facula), тэсрэлт (flare), титэмийн нүх (coronal hole), титэмийн масс шидэгдэлт (выброс корональной массы - coronal mass ejection) гэх мэт хувиран өөрчлөгдөж байдаг үзэгдлүүд бий. Дөл гэхэд л янз бүрийн хэлбэр дүрстэй, Дэлхийгээс хэдэн арав дахин том хэмжээтэй (2-р зураг). Тухайлбал, Наран дээрх тэсрэлт (3-р зураг)– Нарны агаар мандал доторх

(гэрлийн, дулааны, кинетик) энергийн тэсрэлтэт ялгарал, энерги тэсрэлтээр ялгарах үйл явц. Тэсрэлт нь ямар нэг байдлаар Нарны агаар мандлын (Нарны гэрэлт мандал, өнгөт мандал, титэм гэсэн) бүх үе давхаргыг хамарна. Наран

дээрх тэсрэлт, Нарны титэмийн масс (4-р зураг) шидэгдэл хоёр бол Нарны идэвхжлийн хоорондоо заримдаа орон зайн хувьд үл хамааралтай, өөр өөр төрлийн үзэгдэл. Наран дээрх дундаж хүчтэй тэсрэлтээр ялгарах энерги нь 6×10^{25} жоуль-д хүрч чадна, энэ нь нэг секундэд Нарнаас ялгардаг энергийн $\frac{1}{6}$ орчим буюу тротиль эквивалент хэмжүүр хэмээр 160 тэрбум мегатонн гэсэн үг. Харьцуулалт хийвэл, энэ бол Дэлхийн нэг сая жил хэрэглэх цахилгаан эрчим хүч болно. Титэмийн нүх – соронзон хүчлэгийн битүү гогцоо шугамгүй задгай плазм орчин учраас тэндээс масс гариг хоорондын орчин луу саадгүй урсах нөхцөл бүрдсэн байдаг.



Зураг 3. Hinode хиймэл дагуулаас авсан Наран дээрх тэсрэлтийн фото. Нарны толбын өмнөд зүгийн хэсэг орчимд хоёр нарийнхан тод гэрэлт зурвас хэлбэрээр ажиглагдсан байна. Эх сурвалж: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_вспышка

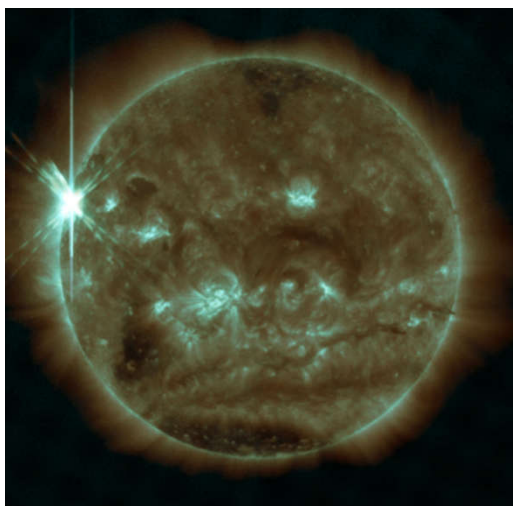


Зураг 4. Титэмийн масс шидэгдэлт. Эх сурвалж: (May 06, 2015, SDO and SOHO - 23:12UT).

Дэлхийд аюул учруулдаг нэг үзэгдэл бол титэмийн масс шидэгдэлт (4-р зураг). 1989 онд

Канадын Квебек мужийн цахилгаан хангамжийн систем гэмтэж 6 сая хүн 9 цаг цахилгаангүй байсан байна. Түүний гол буруутан нь Наран дээр болсон үзэгдэл. Сансарт коронограф дуранг гаргаснаар энэхүү үзэгдлийг ажиглах боломжтой болжээ.

Нарны агаар мандал дахь тэсрэлт – Нарны идэвхжлийн хамгийн хүчтэй үзэгдлийн нэг. 1859 онд Кэррингтон Нарны гадаргуугийн нэг хэсэг талбай хоромхон хугацаанд гэнэт тодрохыг ажигласан байна. Энэ бол цагаан гэрлийн хувьд ховорхон ажиглагдах үзэгдэл бөгөөд “тэсрэлт” гэдэг нэрийг анх авчээ. Тэсрэлт нь өнгөт мандлын спектрийн шугамаар ихэвчлэн ажиглагддаг тул “өнгөт мандлын тэсрэлт” гэдэг нэр томьёог өргөн хэрэглэж иржээ. Явцуу утгаар бол Нарны тэсрэлт – өнгөт мандлын нэг хэсэг талбайн цацаргалт гэнэт хоромхон зуур (хэдэн минутанд) ихсэх үзэгдэл юм.



Зураг 5. Наран дээрх тэсрэлт. Эх сурвалж: (On 5 May at 22:11UT, NOAA 2339 produced a strong X2.7 solar flare).

Орчин үеийн ойлголтоор Нарны агаар мандал дахь тэсрэлт нь соронзон оронгийн шугамуудын дахин хуваарилагдах буюу нэвт нийлэлдэ хпроцессын (пересоединения-reconnection) үед титэмд үүсэж, харин өнгөт мандлын тэсрэлт нь титэмд чөлөөлөгдсөн тэрхүү энерги өнгөт мандлын давхарга руу ороход ажиглагдаж байгаа үзэгдэл юм. Ийнхүү энэ нь тэсрэлт өнгөт мандал руу титэмээс “нүүж” очлоо гэсэн үг. Энерги зөөгдөх механизм олон янз: дулаан дамжуулалт, рентген болон нил ягаан цацаргалт,

цохилтын долгион, хурдассан бөөмсийн урсгал гэх мэт. Томоохон тэсрэлтийн үед $10^{30} \div 10^{32}$ эрг энерги чөлөөлөгддөг [1]:

$$W = l \frac{\zeta^2 b^4}{16} \ln \frac{2l}{b} \sim 10^{32} \text{ эрг,}$$

энд l - давхаргын урт, $2b$ -давхаргын өргөн, ζ - гаднах соронзон оронгийн градиент.

Энэ нь Дэлхийн масштабаар их энерги. Хамгийн хүчтэй галт уулаас $\sim 10^{27}$ эрг, мегатонн цөмийн бөмбөгийн тэсрэлтээс $\sim 10^{24}$ эрг энерги ялгардаг. Эдгээрээс тэсрэлт нь $100000 \div 100000000$ дахин их энерги ялгаруулж байна.

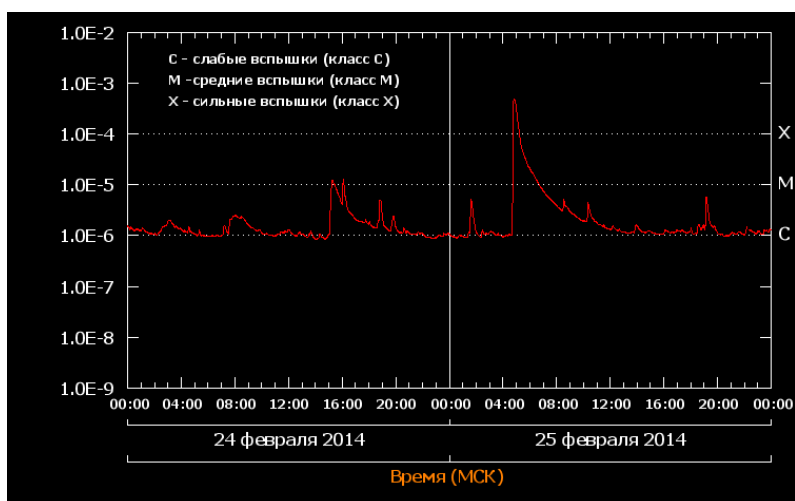
Хүснэгт 1. Нарны агаар мандал доторх тэсрэлтийн ангилал

Ангилал	F, эрг/(см ² с)
C	$< 10^{-2}$
M	$10^{-2} \div 10^{-1}$
X	$> 10^{-1}$

Эх сурвалж:

https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_flare

Тэсрэлтийг хүчин чадлаар буюу баллын системээр ангилдаг. Оптик шинж чанараар (На-шугамаар ажиглагдах нийт энергээр), рентген цацаргалтаар, эсвэл их энергитэй бөөмсийн урсгалаар уг тэсрэлтийн хүчин чадлыг хэмждэг. Эдгээр мэдээлэлд тулгуурласан ангилал нь тус бүрдээ дутагдал болон давуу талуудтай боловч орчин үед ихэвчлэн дэлхийн тойрог замд $1 \div 8 \text{ \AA}$ интервалд ажиглагдах рентген цацрагаар тодорхойлсон дараах ангиллыг хэрэглэж байна. Тэсрэлтийн явцад рентген цацраг хэдэн зуу дахин өсдөг.



Зураг 6. 2014 оны 2 дугаар сарын 24-25-ны Наран дээрх тэсрэлтийн бичлэг, ангиллаар.

Эх сурвалж: <http://www.tesis.lebedev.ru/>

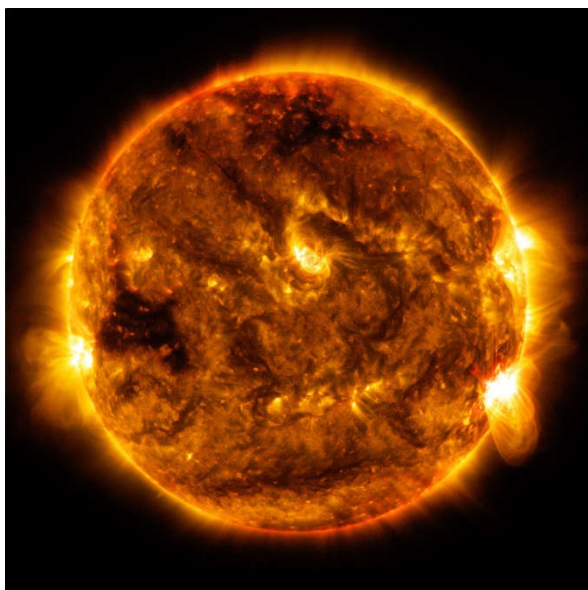
Хүснэгт 2. Сүүлийн жилүүдэд ажиглагдсан X ангиллын тэсрэлтүүд

Он сар өдөр	X ангилал	Он сар өдөр	X ангилал
2011.02.13	X1	2013.10.29	X1
03.09	X2	11.01	X1
07.30	X2	11.05	X2
08.04	X2	11.08	X1
08.09	X4	2014.01.01	X1
09.06	X4	02.25	X4
09.07	X2	03.29	X1
09.22	X1	04.18	X1
09.24	X1	04.25	X1
2012.01.23	X1	08.24	X1
01.27	X3	09.10	X1.6
03.05	X1	10.19	X1.1
03.07	X4	10.22	X1.6
07.06	X1	10.25	X3.1
2013.05.13	X1	10.25	X1.0
05.13	X2	10.26	X2.0
05.14	X3	10.27	X2,0
05.15	X2	11.07	X1.6
09.24	X1	12.20	X1.8
09.25	X2	2015.05.06	X2.7

Эх сурвалж: *Одон орон геофизикийн хүрээлэн, Нарны идэвхт үзэгдлүүдийн судалгааны тайлан, 2014*

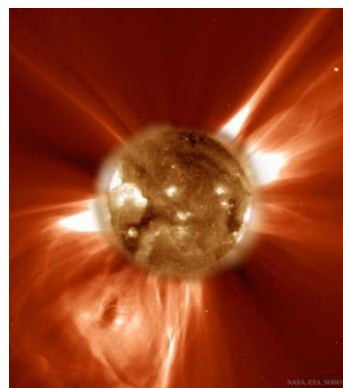
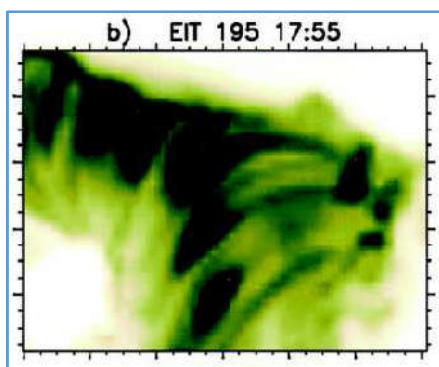
Нарны өнгөт мандлын спектр дэх хүчтэй шугам болох устөрөгчийн H_{α} шугамаар Нарны агаар мандал дахь тэсрэлтийг оптик мужид ажигладаг. Тэсрэлтийн үед H_{α}

шугамаар цацрах эрчим эрс ихсэж, шугамын өргөн 10\AA хүртэл өргөснө. Томоохон тэсрэлтүүд тууз маягийн хэлбэртэй байдаг.



Зураг 8. 2015 оны 10 дугаар сарын 1, Наран дээрх дунд түвшний тэсрэлт. Нарны байнгын ажиглалт хийж буй NASA-гийн Solar Dynamics Observatory (SDO) энэ үйл явцын фото зургийг авчээ. Нарны агаар мандал дахь тэсрэлт нь цацаргалтын хүчтэй дэлбэрэлт юм. Тэсрэлтээс үүдэлт хор уршигтай цацаргалт хүний эрүүл мэндэд нөлөөлөхүйцээр Дэлхийн агаар мандлыг нэвтлэн орж газрын гадаргуу дээр ирж чадахгүй, гэхдээ хангалттай их эрчим бүхий бол агаар мандлын үе давхаргад, ялангуяа соронзон мандалд бусниа үүсгэж сансрын холбоонд саатал учруулж болзошгүй.
Эх сурвалж:
http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnail/s/image/oct_1_2015_flare.jpg

Тэсрэлтийн эхний үед туузнууд салахгүй байснаа дараа нь туйлшлын заагаас хоёр тийш сална. Нарны тэргэл дүгрэгийн захад үүсэж буй тэсрэлтийн ажиглалтаас харахад туузнууд хоорондоо дээшээ цойлсон нум хэлбэрийн холбоосоор холбогдсон байдаг. Тухайлбал, дараах дүрснээс харж болно.



Зураг 9. Нил ягаан (SOHO/EIT 195 Å, зүүн гар талынх) болон H_{α} (BBSO, баруун гар талынх) цацаргалтат тэсрэлт: 1998-IV-29, 16:37 UT. Эх сурвалж: [2].

Зураг 10. Титэмийн масс шидэгдэлт (2016 оны 1 дүгээр сарын 10) Эх сурвалж: http://apod.nasa.gov/apod/image/1601/CMEsun_soho_1875.jpg

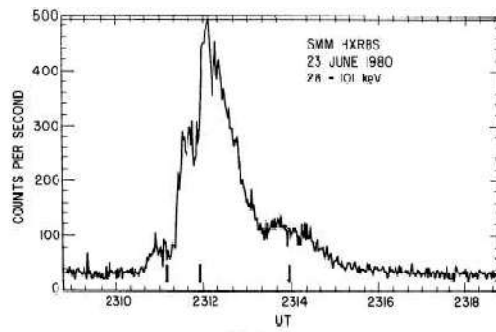
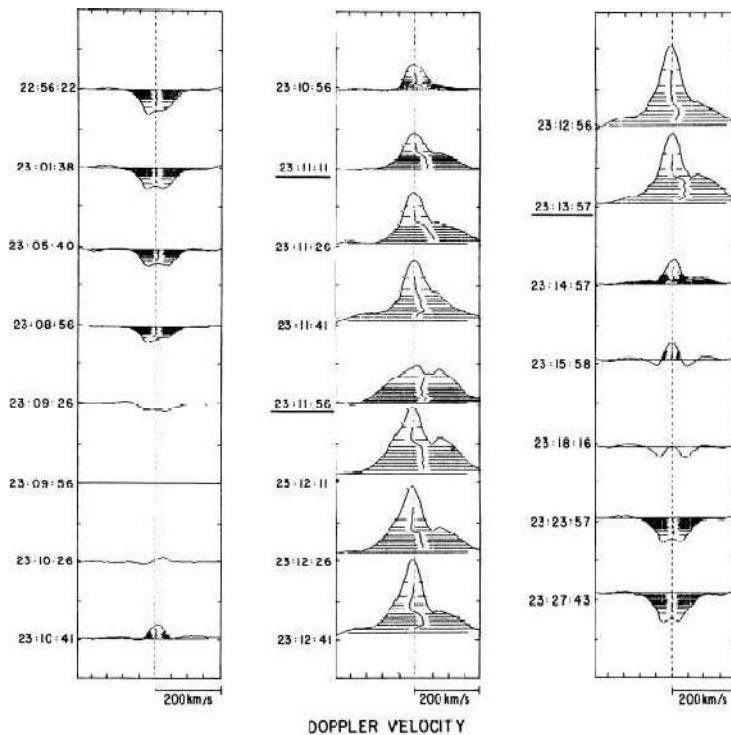


Fig. 1a



Зураг 11. 1980-VI-23, 23:10 UT-ийн үе дэх тэсрэлтээр үүссэн эрс эрчимлэг (28÷101кэВ) X-цацрагийн хугацаанаас хамаармал (дээд хэсэгт) болон H_{α} шугамын профиль (босоо зүсэлт)-ийн өөрчлөлт. Энэ бол H_{α} шугам нь тэсрэлтийн өмнөх мөчлөгт эхний шингээлт, харин эрс эрчимлэг X-цацрагт мөчлөгийн үед хүчтэй цацруулалт болсонг үзүүлж байгаа дүрслэгээ юм. Шугамын төвийн Доплер шилжээсийг бодис урсгалын янз бүрийн түвшин дээр профиль таллан хуваасан шугамаар заав ([15]:Canfield et al. 1990).

Тэсрэлтийн загвар. Тэсрэлтийн талаар онолын олон загварууд санал болгосон байдаг. Жишээ нь: Смит 1966, Svestka 1976, Sturrock 1980, Алтынцев 1982, Прист 1985, Somov 1992, Priest 2002, 2005, Подгорный 2006 [3-11]. Энэхүү үзэгдлийн эх үүсгүүрийг соронзон орон, тухайлбал, титэмд урсах цахилгаан гүйдлийн энергигүйгээр төсөөлөх аргагүй. Титэм дэх дулаан, кинетик болон гравитацийн энергийн нягт соронзон энергийн нягтаас хэдэн зуу дахин бага байна. Нарны плазмын гүйдэл дамжуулах өндөр чанар соронзон энерги хурдан задрах, хувирах боломж зэрэг нь тэсрэлтээс богино

хугацаанд чөлөөлөгдөх энергийг соронзон орны өвөрмөц бүтцээр тайлбарлахад хүргэдэг байна. Энд соронзон гидродинамик тооцоололт загварчилгаанд үндэслэсэн электродинамик загварын үндсэн санааг товч саная.

Нарны агаар мандал дахь тэсрэлт болон Нарны титэмээс гаралтай масс шидэгдэл бол Нарны идэвхжилтийн хамгийн хүчтэй илрэл. Тэсрэлтийн энерги нь идэвхжилттэй муж дээгүүрх титэм дотор ялгардаг [12], бас шидэгдлийн хурдасгал мөн л титэм дотор

болно [13].



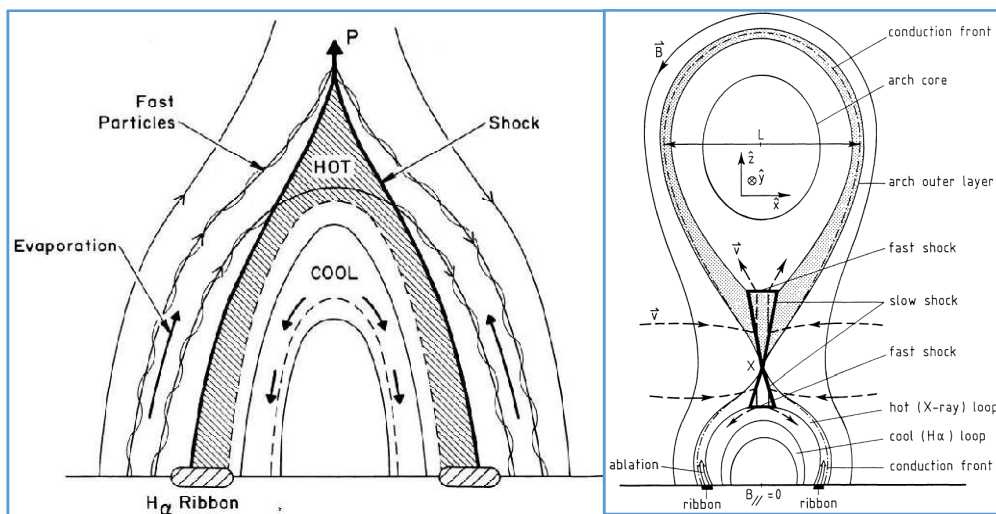
Зураг 12. Подгорный [11] нарын загвар. Энд ТС-цахилгаан гүйдэл бүхий нимгэн үе давхраа. Эх сурвалж: http://etherdynamic.ru/uploads/posts/2011-03/1300002230_1.jpg

Том тэсрэлтийн болон үүнийг дагалдагч титэмээс масс шидэгдлийн үед ялгарагч энерги 10^{33} эрг орчим болдог. Ийм энергийн Нарны титэм дэх цор ганц эх үүсгүүр бол чөлөөт соронзон энерги бөгөөд энэ нь идэвхт мужийн дээгүүр бүрэлдэгч цахилгаан урсац гүйгч үе давхраат тогтолцооны соронзон орон дотор л хуримтлагдах бололцоотой, тэгээд энэ энерги тэсрэлтийн үед плазмын урсгалын кинетик энергийн болон тулааны,

бас цахилгаан соронзон цацаргалтын болон хурдсагч цэнэгт бөөмсийн хэлбэрээр түргэн зуур ялгарна. Дэлбэрэлтэт тэсрээ үйл явцын зайлшгүй нөхцөл бол гүйдлийн орон дотор нөөцлөгдсөн энергийн $B_c^2 / 8\pi$ гэсэн нягт өндөр байхад буюу энэ нь плазмын энергийн nkT нягттай харьцангуй их өндөр, өөрөөр хэлбэл, $\beta = \frac{8\pi nkT}{B_c^2} \ll 1$ байх үе юм.

Энд B_c – плазм дахь гүйдлийн соронзон орон, n – бөөмсийн нягтрац буюу өтгөрөц, T – температур, k – Больцманы тогтмол. Тийм нөхцөл нь идэвхт мужууд дээгүүрх орон зайд гүйдлийн хэлхээ үүсэх үед тэр орчмын титэм дотор бүрэлдэж чадна. Энэ β бол идэвхт мужийн потенциал соронзон оронгоор тооцоолдог нэрлэсэн нэгжгүй тэр параметр биш гэдгийг тодотгох нь зүйтэй. Потенциал соронзон орон бол харин соронзон орон дотор нь чөлөөт соронзон энерги хуримтлагддаг тийм цахилгаан гүйдэл үүсгэх нөхцөл л зөвхөн бүрэлдүүлэх үүрэгтэй. Тийм учраас тэсрэлтийн загвар бол гүйдлийн соронзон оронгийн энерги хуримтлагдах механизм болон түүний тэсрээ өөр хэлбэр лүү шилжих механизм өөртөө агуулсан байх ёстой, өөрөөр хэлбэл, гүйдэл

хурдан зуур арилж замхрах механизмтай байх ёстой юм. Ийм механизмууд авч үзсэн загварт тооцоолол бүхий ажлууд бий [11].



Зураг 13. Зүүн гар тал: Соронзон хүчлэгийн шугамын дахин хуваарилагдах буюу нэвт нийлэлдэх явцын доошоо надагш чиглэлт урсгал дахь алгуур цохилтот-доргиос халаалт. Нэвт нийлэлтийн P цэг босоо дээш өргөгдөхдөө араасаа хоёр аажуу соронзон гидродинамик цохилтот-доргиос гадагш урсгалыг нийлүүлж татна, чирнэ (бүдүүн зураас шугамууд). Цохилтот доргиосын ард буцалмал халуун плазм (тасархай зураас) бүхий цуврал гогцоо байна, энэ үед дотоод гогцоонууд доторх хүйтэн хөрмөл плазм доошоо унана, яг энэ нь $H\alpha$ шугамаарх үзэгдэл болж ажиглагдана ([16]: Cargill & Priest 1983). Баруун гар тал: Соронзон хүчлэгийн шугамын дахин хуваарилагдах буюу нэвт нийлэлдэх явцын дээшээ гадагш чиглэлт урсгал дахь алгуур цохилтот-доргиос халаалт. Аажуу соронзон гидродинамик цохилтот-доргиостой холбоо бүхий халмал плазм нь тэсрэлтийн дараах гогцооны нүүрэнд хөөсөн бөмбөлөг шиг хэлбэрээр дулаан дамжуулалт бүрдүүлнэ ([17]: Hick & Priest 1989).

Эх сурвалж: [2], мөн <http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/mmassi/c4-Model.pdf>

Дүгнэлт 1[2]: Тэсрэлтийн плазмын динамик хөдлөл болон тэрхүү плазмаас уялдаат үүсмэл дулаан өөрчлөлтийн хувьсал нь дэс дараалсан олон үйл явцаас бүрддэг: титэм дэх нэвт нийлэлтийн байршил орчмын плазмын халалт, өнгөт мандал дахь тэсрэлтэт плазмын халалт, халсан плазмын дээшээх урсгал хэлбэрээр өнгөт мандлаас дэгдэх ууршилт, тэгээд дараа нь, тэсрэлтийн дараа бүрэлдсэн гогцоорол олгойн хөрөлт. Титэмийн плазмын анхдагч халаалтанд хувийн (нэгжид ноогдох) гаж (хэвийн бус) эсэргүүцэл шаардлагатай, учир нь хэвийн сонгодог утга бүхий хувийн [цахилгаан гүйдэл дамжуулалт саатуулагч] (Ом) эсэргүүцэл бол тэсрэлтийн плазм доторх ажиглагдаж буй хэмжээний нягт, температурыг тайлбарлахад хүрэлцээтэй биш. Титэм дэх тэсрэлтийн плазмыг халаах өөр хэлбэрээр ч гэсэн, тухайлбал, алгуур доргиос цохилтоор, багц электрон урсацаар, мөн протоны багц цацрагаар, эсвэл индукцийн

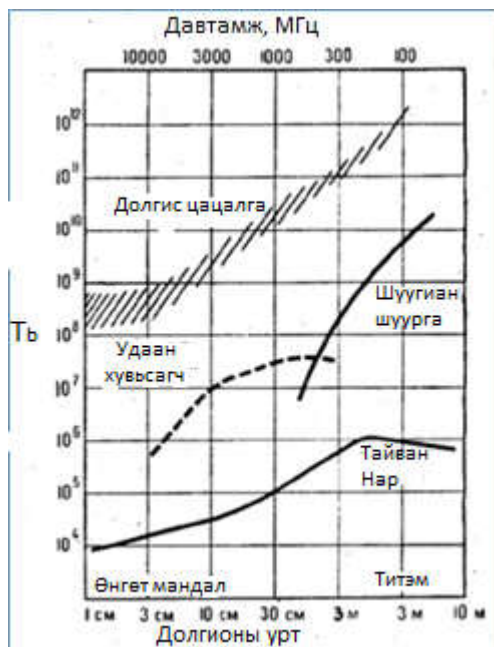
гүйдлээр ч, бас хамтаар нь ч гэж хязгаарлавал одоогоор ажиглагдаж байгаа баримтыг тайлбарлахад хүндрэлтэй.

Өнгөт мандал халалтын хоёрдугаар үе шатыг илүү нямбай нарийн судласан, судалгааг гидродинамик тоон “амьт” буюу дүрслээ хөдлөлт (симуляц) загварчилгаа болон “үүр дэх бөөмс” симуляц бүхий “зорилтот зузаан-бай” загварт үндэслэсэн. Өнгөт мандал дахь халаалтын оношилгоо шинжилгээг мөн H_{α} цацаргалт, цагаан гэрэл болон нил ягаан цацрал дээр сайн хийсэн, гэхдээ тоон загварчилгаат тооцоолол бол харин ховор. Өнгөт мандал дахь ууршлын гуравдугаар үе шатыг гидродинамик симуляц (а”амьт” загварчлал) тооцооллоор өргөн судласан, тухайлбал, зөөлөн Х-цацрагийн шугамын ажиглагдаж буй Доплер шилжээсийг тайлбарласан, гэтэл өгөгдлийг дүрслэхүйц орон зайн загварын хэрэглээ ховор байна. Түүнээс гадна, радио долгионы долгиоо цацлагын аажуу нүүлтийн зарим хэлбэр бол өнгөт мандал дахь ууршлын фронтын хөдөлгөөний тухай мэдээлэл агуулж байгаа.

Тэсрэлтийн дараах дөрөвдүгээр үе шат болох гогцоорол хөрөлт нь одоогоор гол төлөв эхэндээ дулаан дамжуулалтаар, хожмоо цацаргалтын улмаас болж байна гэж ойлгогддог. Гэхдээ тэсрэлтийн плазмын температур өөрчлөлтийн хувьд орон-цагийн загварчилгаа эхлэлийн байдалтай байгаа болно.

Нарны радио долгио цацалга (Radio burst – Радио всплеск). Дэлхийн агаар мандал хэдэн мм-ээс хэдэн арван метр хүртэлх урт бүхий радио долгионыг нэвтрүүлдэг. Радио долгионыг Нарны гадаад агаар мандлын их ионжсон халуун хийгээс цацруулна. Ийм сийрэгжсэн хий үзэгдэх гэрлийн хувьд ер нь тунгалаг, харин тодорхой урт бүхий радио долгионы хувьд тунгалаг бус байдаг. Тунгалаг бус чанар буюу тунгалаггүйшилт нь чөлөөт электроны өтгөрөц ихсэх хэрээр болон температур багасахын хамт, мөн долгионы урт ихсэх хэрээр өсдөг. Нарны радио долгион цацаргалт дулааны болон дулааны бус үүдэлтэй бүрдэл байгуулагчтай. Дулаан нөхцөлдүүлэгч хурд бүхий электрон, ионы мөргөлдөөнөөрх дулаан үүдэлт радио цацаргалт бол “тайваншлаг” Нарны радио цацаргалтын эрчимийн доод хязгаарыг тодорхойлдог. Радио цацаргалтын эрчим нь T_b - тодроц заалтуур температур гэх хэмжигдэхүүнээр илэрхийлэгддэг. “Тайваншлаг” Нарны цацаргалтын тохиолдолд см-ийн долгион дээр $T_b \sim 10^4$ К, харин м-ийнх дээр $T_b \sim 10^6$ К (зураг 14). Мэдээжээр, дулаанаас үүдэлт цацаргалтын хувьд хэмжигдэхүүн T_b нь хэрэв цацаргалт илгээж байгаа давхраа тухайн цацаргалтын хувьд тунгалаг биш бол плазмын тэр давхраа дахь кинетик температуртай таарна. Заримдаа өтгөрөц бүхий орон зайн муж хэсгээс гаралтай тэр долгион дээр радио цацаргалтын эрчим – см-ийн радио долгиосол цацалга гэнэт ихсэх үзэгдэл ажиглагддаг.

Үргэлжлэх хугацаа нь хэдхэн минутаас хэдэн арван минут, тэрч байтугай цагаар байдаг. Тийм радио долгиос цацаога бол плазмын түргэн халалттай болон Наран дээрх тэсрэлт болж байгаа мужийн бөөмсийн хурдатгалтай холбоотой. Өтгөрөц дэх хийн



Зураг 14. Нарны радио цацаргалтын үндсэн бүрдүүд (T_b -тодроц заалтуур температур) давтамжаас (долгионы уртаас) шалтгаалах хамаарал. Эх сурвалж: <http://www.astronet.ru/db/msg/1188608>

температурын болон нягтын гэнэтийн ихсэлт нь $T_b \sim 10^7 - 10^8$ К бүхий см-ийн радио долгиос цацалгын шалтгаан байж болно. См-ийн долгион дээрх илүү эрчимлэг долгиос цацалга бол, ер нь, циклотрон, эсвэл тэсрэлтээс үүсмэл соронзон гогцоорол дахь хэдэн арваас хэдэн зуун кэВ энерги бүхий субрелятивист электроны плазм цацаргалтын шалтгаалцал үүдэлтэй байж мэднэ.

Титэм дэх өтгөрөц бүхий орчингоос бүр дээш хэсэгт мөн радио долгионы хүчтэй цацаргалт, харин бүр м-ийн долгион дээр (≈ 1.5 м) болохоор “шуугианан шуурга” гэх үзэгдэл буюу шуугианаар шуургалалт ажиглагддаг; энэ нь хэдэн цагийн турш, бүр хэдэн өдрөөр ч үргэлжлэн ажиглагддаг. Энэ үед 1 с орчим үргэлжилсэн радио долгиос цацалга (**I төрөл**)

давтамжийн нарийн зурвасаар илэрдэг. Энэ төрлийн радио долгион цацаргалт бол плазм доторх хуйлралттай холбоотой, ийм хуйлралт буюу байнгын бус эрчимлэг шуугиан бүхий хэлбэлзэл нь аварга том толбо бүхий идэвхт мужуудын дээгүүрх титэм дотор өдөөгдөж бий болдог.

Өнгөт мандал дахь тэсрэлтийн мужаас хурдан электрон болон бусад цэнэгжсэн бөөмсийн шидэгдэл нь идэвхжилттэй Нарны цацаргалтаарх олон эффект бий болгодог. Эдгээрээс хамгийн энгийн ердийнх нь – “**III төрөл**”-ийн радио долгиос цацалга юм. Тэдгээрийг тодорхойлогч онцлог гэвэл радио долгион цацаргалтын давтамж хугацаанаас хамааралтай өөрчлөгддөг явдал бөгөөд хугацааны агшин бүрт радио цацаргалт шууд 2:1 харьцаа бүхий хоёр давтамж (гармоник) дээр илэрдэг. Долгис цацалга 500 МГц ($\lambda \approx 60$ см) орчмийн давтамж дээр эхэлдэг, харин дараа нь түүний хоёр гармоникийн давтамж 1 с дотор ойролцоогоор 20 МГц-ээр хурдан багасдаг. Радио цацалга бүхэлдээ 10 с орчим үргэлжилдэг. III төрлийн радио долгиос цацалга бол титэм нэвт шидэгдэн тодорхой хурдтайгаар хөдөлж буй бөөмсийн урсгалаар бий болдог. Ийм

урсгал плазмын хэлбэлзлийг бий болгохдоо тухайн агшинд урсгал байгаа тэр орчин дахь электрон нягтаар тодорхойлогдох давтамж дээр өдөөнө. Харин Нарны гадаргаас холдох хэрээр электрон нягт буурах учир плазм доторх долгионы давтамж алгуур багасахын хамтаар урсгал хөдөлнө. Эдгээр долгионы энергийн хагас хэсэг нь хоёр гармоник бүхий III төрлийн радио долгио Дэлхий дээр бүртгэгдэж байгаа тэр давтамж дээр, эсвэл хоёр дахин ихэссэн давтамж бүхий цахилгаан соронзон долгион болж хувирдаг. Сансрын төхөөрөмжөөр хийсэн ажиглалтаар бол гариг хоорондын орчинд электроны урсгал тархахдаа 30 кГц давтамж хүртэлх III төрлийн радио долгио цацалга үүсгэдэг байна.

III төрлийн радио долгио цацалгын дараачаар тохиолдлын 10%-д нь ~ 100 МГц ($\lambda \approx 3$ м) давтамж дээр хамгийн утгатай эрчим бүхий радио долгион цацаргалт давтамжийн өргөн царанд болдог. Энэ цацаргалтыг “**V төрөл**”-ийн радио долгио цацалга гэж нэрлэдэг, энэ нь 1-3 минут орчим үргэлжилдэг. Энэ төрөл цацалга плазмаас үүсэлт долгионы үүсгүүрээр шалтгаалцдаг бололтой.

Наран дээрх маш хүчтэй тэсрэлтийн үед мөн л хувьсагч давтамж бүхий “**II төрөл**”-ийн радио долгио цацалга үүсдэг. Түүний үргэлжлэх хугацаа нь ойролцоогоор 5-30 минут, харин давтамжийн царан нь 200-30 МГц. Тэгэхлээр бас $v \sim 10^8$ см/с хурд бүхий хөдөлж буй цохих долгион долгио цацалга бий болгож үүсгэдэг. Цохих долгион хүчтэй тэсрэлтийн үед хий тэлэлтээр үүсдэг. Энэ долгионы фронт дээр плазмаас үүдэлтэй долгион үүсдэг, тэгээд III төрөл радио долгио цацалгын адил цахилгаан соронзон долгион болж хувирдаг. II болон III төрөл радио долгио цацалга хоорондоо төсөөтэй нь II төрлийн хувьд цацаргалт нь мөн л хоёр гармониктай. Гариг хоорондын орчин дотор тархахдаа тэсрэлтээс гаралтай цохих долгион гектометрийн болон километрийн царанд II төрлийн радио долгио цацалга үргэлжлүүлэн үүсгэсээр байдаг.

Титэмийн дээд үзүүр давхраанд хүчтэй цохих долгион хүрэх үед үргэлжлэлмэл (континуум) радио долгио цацалга давтамжийн өргөн царанд радио долгион цацаргалт – **IV төрөл** долгио цацалга үүсдэг, энэ төрөл V төрлийнхтэй төстэй, ялгаа нь V төрлөөс илүү их удаан, заримдаа хэдэн цагаар үргэлжилдэг. Титэмийн дээд давхарга руу зөөгдөгч хувийн соронзон орон бүхий плазмын нягтармал үүлс доторх субрелятивист электрон л IV төрөл радио долгио цацалга үүсгэдэг. IV төрөл радио долгион цацаргалт \sim хэдэн зуун км/с хурдтайгаар дээш хөөрнө, гэрэлт мандлаас дээш Нарныхаар ≈ 5 радиусын хүртэл өндөрт ажиглагддаг. Сантиметрийн урттай долгион дээрх эрчимлэг долгио цацалга болон метрийн урттай долгион дээрх I, мөн IV төрлийн радио цацаргалттай холбоо бүхий тэсрэлтүүд араасаа дандаа геофизик үзэгдэл дагуулдаг –

Дэлхий орчмын сансрын орон зайд протоны урсгалын эрчим өндөрсөнө, туйлаарх бүс муж дамнасан радио холбоо богино долгион дээр тасарна, геосоронзон шуурга болно, гэх мэт. Давтамжийн өргөн царгаанд радио цацаргалтыг ийм үзэгдэл хэзээ болох тухайд богино хугацааны төлөглөл хийхэд ашиглаж болно.

Дээр дурдсан бараг бүх төрөл цацалга өвөрмөц нарийн нийлмэл бүтэцтэй. Эдгээрээр Нарны радио долгион цацаргалт хязгаарлагдахгүй олон янз, гэхдээ энэ нь үндсэн бүрдэц болно.

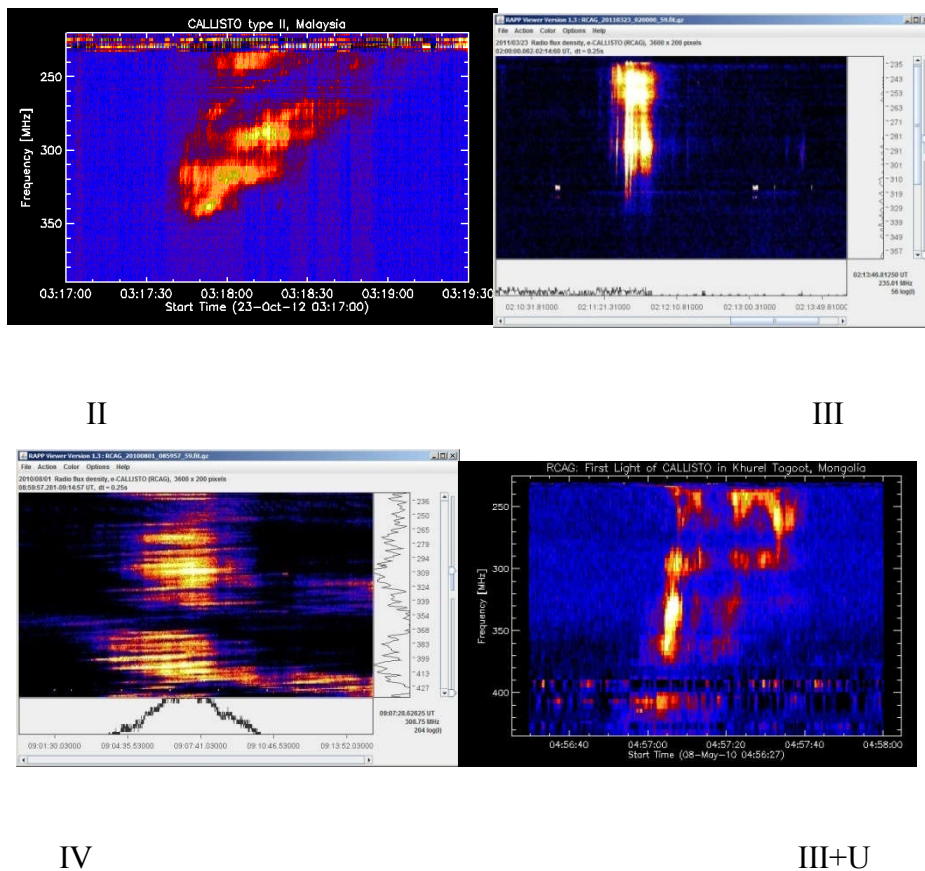
Хүснэгт 3. Наран дээрх тэсрэлт туршийн радио долгион цацралын механизм (энд гиродавтамж өнцгөн давтамжийн нэгжээр өгөгдсөн болно, $\omega = 2\pi$).

Эх сурвалж: (Aschwanden 2002b). http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-30766-4_15#page-1

Цацралын механизм	Давтамж	Эх үүсгүүр/Өдөөгч
<p>(1) Когерент бус радио цацрал:</p> <p>(1a) Чөлөөт-чөлөөтцацрал (bremsstrahlung) -Бичил долгионт долгион цацлагын дараах үзэгдэл</p> <p>(1b) Гироцацрал Гирорезонанст цацрал Гиросинхротрон цацрал - IV төрөл цацалга хөдлөл - IV төрөл бичил долгион</p>	<p>$\nu \geq 1 \text{ GHz}$</p> <p>$\omega = s\Omega_e$ ($s = 1,2,3,4$) ($s \approx 10 \div 100$)</p>	<p>Халуун төлөвийн плазм Халуун төлөвийн плазм</p> <p>Халуун орчин дахь электрон</p> <p>Зөөлөн релятивист электрон</p> <p>Царцагдмал электрон Царцагдмал электрон</p>
<p>(2) Когерент радио цацрал:</p> <p>(2a) Плазм үүдэлт цацрал -I төрөл шуурга - II төрөл долгион цацалга - III төрөл долгион цацалга -Урвуу налуу (RS) долгион цацалга - J төрөл долгион цацалга - U төрөл долгион цацалга - IV төрөл континуум - V төрөл</p>	<p>$\nu = 9000\sqrt{n_e}$</p>	<p>Электрон багц цацраг Ленгмюр хуйлрал Цохилтоос гаралт багцаар цацраг Багц цацрагийн дээшээх тархалт Багц цацрагийн доошоох тархалт Битүү гогцоорол дагуух цацраг Битүү гогцоорол дагуух</p>

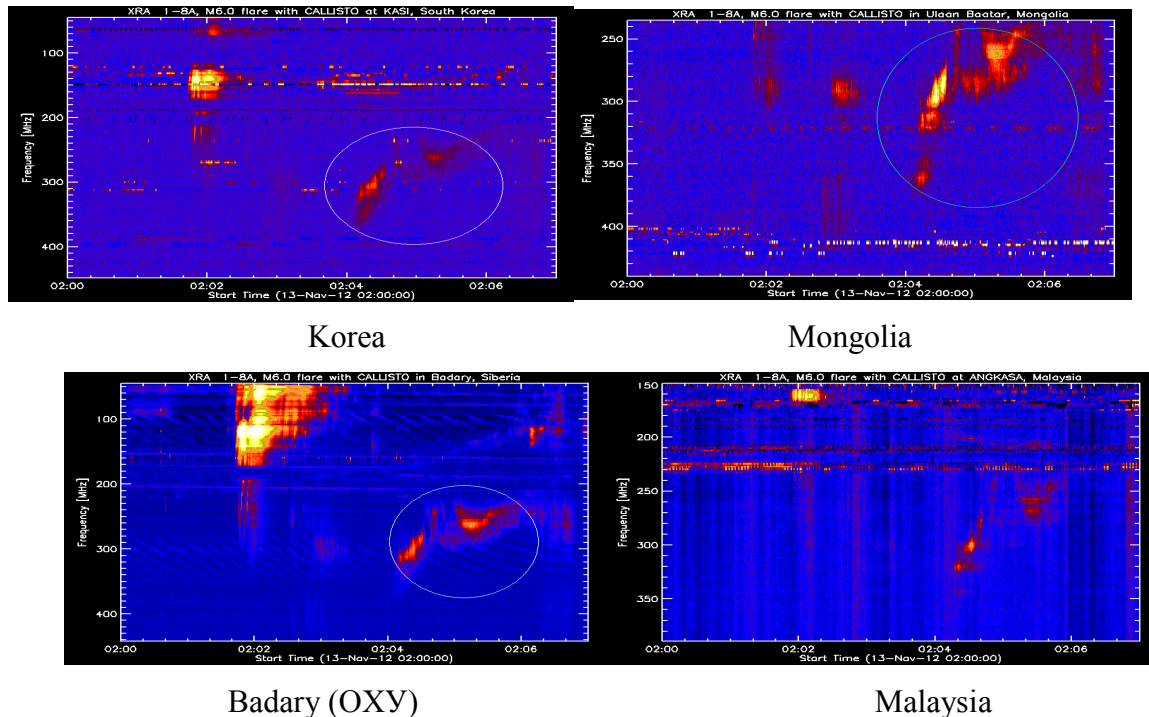
<p>(2b) Электрон-циклотрон мазер: -Дециметрийн урт дээрх миллисекунд хадааслаг долги цацалга</p>	$\omega = s\Omega_e/\gamma + kv$	<p>цацраг Царцагдмал электрон Аажуу электрон цацраг Гээгдлийн конус Гээгдлийн конус</p>
--	----------------------------------	--

Улаанбаатар дахь Одон орон судлах оргилын ажиглалтын мэдээ баримтаас. Манай оронд Нарны хэд хэдэн төрлийн радио долги цацалгыг 45МГц ÷ 850МГц мужид бүртгэсэн байна. Тухайлбал: 15-р зургаар II,III,IV төрлийн радио цацалгыг, зарим тохиолдолд хэд хэдэн төрлүүд (жишээ нь зураг дээр III+U) нэгэн зэрэг ажиглагдаж байгааг харууллаа.



Зураг 15. Улаанбаатар дахь Одон орон судлах оргилын “CALLISTO” станцад бүртгэгдсэн Нарны радио цацалгын II,III,IV,U төрлүүд.

Эдгээр төрлийн радио цацалгыг тасралтгүй бүртгэх үүднээс газарзүйн олон цэгт ажиглалтын станцуудыг олон улсын хамтын ажиллагааны хүрээнд байгуулсан байдаг. Харьцуулах үүднээс 16-р зурагт тухайн нэг радио цацалгыг хэд хэдэн станцууд нэгэн зэрэг бүртгэсэн байдлыг үзүүллээ.



Зураг 16. 2012 оны 11-р сарын 13-нд ажиглагдсан радио гялбааг хэд хэдэн газар бүртгэсэн байдал.

Энэ чиглэлийн судалгаагаар Нарны титэм, идэвхт үзэгдлүүдийн мөн чанарыг мэдэх хэрэгтэйгээс гадна эдгээр нь плазмын физикт чухал ач холбогдолтой, өөрөөр хэлбэл, лабораторийн нөхцөлд ажиглах боломжгүй тийм плазмын үзэгдлүүдийн үүсэл хөгжлийг шинээр мэдэх, соронзон оронгийн энергээс тэсрэлтийн үүслийн замаар хэрхэн асар их дулааны энерги гарган авах боломжийг мэдэх юм.

Дүгнэлт 2 [2]. Тогтонги бус, Максвелл биш хурдын түгэлттэй бөөмс (эдгээр бөөм соронзон хүчлэгийн шугамтай харьцангуй параллель буюу цацраг дагуух, эсвэл перпендикуляр буюу гээгдлийн конус дагуух чиглэлд эерэг градиентай) гирорезонанст долгион үүсгэгч бөөмсийн харилцан үйлчлэлээр залагдаж чиглэмжлэгддэг, ингэснээр когерент долгион бий болж өснө, энэ нь когерент радио долгион цацралын хэлбэрээр бүртгэгдэнэ. Энэ нөхцөлийг бүрэлдүүлдэг хоёр жам ёсны үйл явц бий, энэ нь хурдаараа ялгамж бүхий электрон түгэлт (багц цацраг үүсгэгч) болон соронзон царцаагдал (гээгдлийн конус бий болгогч) юм. Долгион-бөөмсийн харилцан үйлчлэлцэл нь

Ленгмюр долгионы болон холимог төрлийн дээгүүрх долгионы, мөн электрон циклотрон цацралын өсөлтийг нөхцөлдүүлнэ, тэгээд бас төрөл бүрийн (I, II, III, IV, V төрөл, DCIM-дециметрийн радио долгио цацалга) радио долгио цацлагыг зална, эдгээр төрөл үндсэндээ динамик спектр (дүрс зураглалаар биш) дээр илэрдэг. Энэ тухайд орон-цагийн загварчилгаа эхлэл шатандаа байгаа болно.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ:

- [1]. Сыроватский С.И. Изв.АН СССР, 1975,39,с.359
- [2]. Aschwanden M.J, Physics of the Solar Corona, ISBN 3-540-30765-6, 2004, 892 pp.
- [3]. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки, Мир, 1966.
- [4]. Svestka, Z., Solar flares (Dordrecht: D. Reidel Publ. Co., 1976, 401 pp.)
- [5]. Sturrock, P. A. (Ed.), Solar Flares, A Monograph From Skylab Workshop II, Colorado Associated University Press, Boulder, Colo., 1980, 513 pp.
- [6]. Солнечные вспышки / А. Т. Алтынцев, В. Г. Банин, Г. В. Куклин, В. М. Томозов. – М. : Наука, 1982. – 246 с.
- [7]. Прист Э.Р. - Солнечная магнитогиродинамика (1985)
- [8]. Somov B.V., Features of mass supply and flows related with reconnection in the solar corona, in Mass Supply and Flows in the Solar Corona: The 2nd SOHO Workshop, 1992
- [9]. Priest E.R., Forbes T.G., the Astronomy and Astrophysics Review, Volume 10, Issue 4, pp.313-377 (2002).
- [10]. Pontin D.I, Galsgaard K, Hornig G & Priest E.R.: 2005, "A fully magneto hydro dynamic simulation of three-dimensional non-null reconnection" Physics of Plasmas, vol 12, 052307., 10.1063/1.1891005.
- [11]. Подгорный А.И., Подгорный И.М. Модель солнечной вспышки: Сопоставление с наблюдениями высокоэнергичных процессов, АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2006, том 83, №10, с.940–949.
- [12]. Hiei and E., Hundhausen A. J., Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere, eds Y. Uchida, T. Kosugi, and S. Hudson (Kluwer Acad. Publ., 1996), p. 125.
- [13]. Zhang J., Dere K. P., Howard R. A., et al., Astrophys. J. 599, 452 (2001).
- [14]. Филиппов Б.П. Эруптивные процессы на Солнце, 2007.
- [15]. Canfield, R. C., Penn, M. J., Wulser, J. P., & Kiplinger, A. L. (1990). H-alpha spectra of dynamic chromospheric processes in five well-observed X-ray flares. *The Astrophysical Journal*, 363, 318-325.
- [16]. Cargill, P. J., and E. Rj Priest. "The heating of postflare loops." *The Astrophysical Journal* 266 (1983): 383-389.
- [17]. Hick, P., and E. R. Priest. "Slow-shock heating in post-flare arches." *Solar physics* 122.1 (1989): 111-129.

ОПТИК ХЯМСАА БУЮУ ГЭРЛЭН УРХИ

Б.Алтанхүү, О.Лхагваа

МУИС-ШУС-БУС Физикийн тэнхим

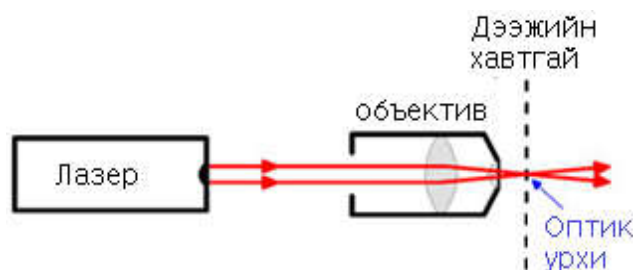
Оршил

Өчүүхэн жижиг биетэд гараараа эсвэл өөр ямар нэг биетээр огт хүрэхгүйгээр зайнаас үйлчилж хөдөлгөх юм уу тогтоож барих боломжтой юу? Хэдийгээр уран зөгнөл мэт санагдах боловч үнэндээ ингэх боломжтой ажээ. Хэрэв тухайн биет нанометрээс (нм) микрометрийн (мкм) эрэмбийн хангалттай бага шугаман хэмжээтэй бол зайнаас тэр бөөмийг лазерын багц цацрагаар “буудан” удирдаж болдог байна.

Үүнийг **оптик хямсаа (optical tweezer)** хэмээх лазерын төхөөрөмжөөр гүйцэтгэнэ. Оптик хямсаа нь хүчтэй фокуслагдсан лазерын багц цацрагийн үйлчлэлээр бичил бөөмийг нэг ёсны урхинд оруулан “барьж авч”, тэгснээр ийш тийш хөдөлгөн удирдах боломжийг олгоно. Энэ утгаар нь оптик хямсааг заримдаа бас **гэрлэн урхи (optical trap)** хэмээн нэрийднэ.

Оптик хямсаа

Зур.1 дээр хамгийн энгийн оптик хямсааны бүдүүвч схемийг харуулжээ.



Зур.1 Оптик хямсаа

Үүсгүүрээс гарсан лазерын багц цацраг өндөр чадварын микроскопийн дурангийн (объектив) линзээр фокуслагдаж дээжийн хавтгай дээр тусна. Тусна цэг дээр оптик урхи бий болж, дээжийн элементэд (бөөмд) тодорхой хүчээр үйлчлэн урхидан авч тогтоон барьдаг байна. Хэдийгээр энэ хүч нь пиконьютон (pN) эрэмбийн маш бага хэмжээтэй байх боловч ийм хүчээр 10 нм-ээс 10 мкм-ийн шугаман хэмжээ бүхий бөөмд үйлчилж, хөдөлгөх юм уу тогтоон барихад хангалттай байдаг ажээ.

Оптик хямсааны хэрэглээ

- Диэлектрик бичил биетийг урхидах;

- Нейтрал атомыг удаашруулж, “урхидан барьж авах” (АНУ-ын Стивен Чу тэргүүтэй эрдэмтэд энэ ажлаар 1997 онд физикийн Нобелийн шагнал авсан);
- Молекул биологи, эс судлал;
- Эс, бөөмийн харилцан үйчлэл;
- Дан биомолекул, биополимерууд, ДНХ-ийн молекултай ажиллах;
- Вирус, бактери, эсийг урхидан “барьж авч” эрэмбэлэх, хөдөлгөөнийг бүртгэх;

гэх мэт.

Физик үндэс

Оптик хямсаа, оптик урхи нь бөөм, цацрагийн харилцан үйлчлэлийн процесс (interaction of matter and radiation) дээр тулгуурлаж ажилладаг.

Ер нь бол, гэрлийн цацраг бодис дээр тусахдаа түүнд тодорхой үйлчлэл үзүүлдэг (гэрлийн даралт) байж болох юм гэдгийг 17-р зуунд Германы математикч Иохан Кеплер сүүлт одны хөдөлгөөнийг судалж байхдаа анх ажиглажээ (зур.2).



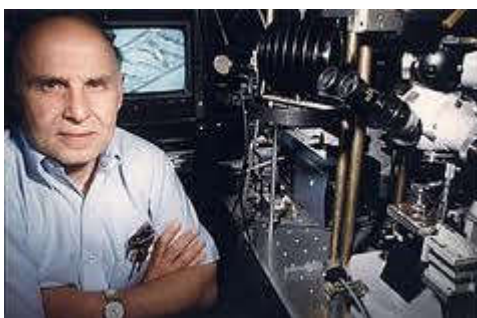
Зур.2 Иохан Кеплер (1571-1630)

Дараа нь, 19-р зуунд Шотландын эрдэмтэн Жеймс Максвелл өөрийн цахилгаан соронзон орны онолын тусламжтайгаар гэрлийн даралтын утгыг тооцоолж гаргасан байна.



Зур.3 Жеймс Максвелл (1831-1879)

Харин 1970-аад онд Bell лабораторийн (АНУ) эрдэмтэн Артур Эшкин (A.Ashkin) бичил биетэд гэрлийн даралтын үзүүлэх үйлчлэлийг туршлагаар анх судалж тогтоосон байна.



Зур.4 Артур Эшкин

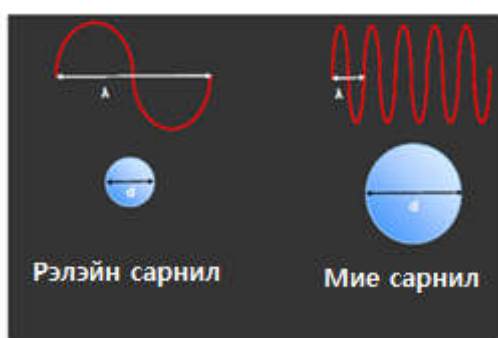
1986 онд мөнөөх Эшкин тэргүүтэй эрдэмтдийн баг фокуслагдсан лазерын багц цацрагаар бөөмийг 3 хэмжээст орон зайд тогтоон барих буюу “Оптик урхи”-ны үзэгдлийг анх туршлагаар ажиглажээ.

Хоёр боломжит онол

Гэрлийн цацраг бөөмөөс ямар механизмээр сарних вэ гэдэг нь тусч буй гэрлийн долгионы урт (λ) ба сарниулагч бөөмийн шугаман хэмжээ (d) хоёрын харьцаанаас шалтгаалдаг байна. Энэхүү харьцаа ямар буйгаас хамааран дараах хоёр онолын аль нэгээр оптик хямсааны (урхины) үзэгдлийг тайлбарлах хэрэгтэй гэж Эшкин үзсэн байна:

- Геометр оптик ба Ньютоны хуулиуд (ray optics)
- Цахилгаан соронзон онолын үүднээс (electromagnetism)

Хэрэв $\lambda \gg d$ байвал (Рэлейн сарнил) цахилгаан соронзны онол хэрэглэгдэнэ. Харин $\lambda \ll d$ байвал (Мие сарнил) геометр оптик хэрэглэгдэнэ (Зур.5).

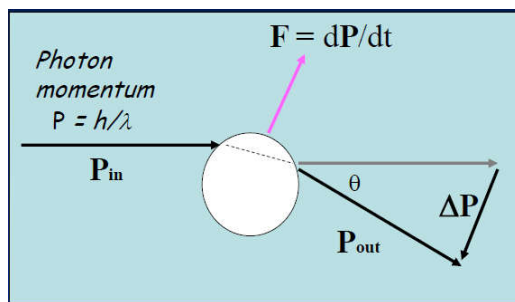


Зур.5 Рэлейн ба Мие сарнил

Геометр оптикийн аргаар тайлбарлах нь ($\lambda \ll d$)

Тусч буй лазерын багцыг Гауссын багц (гол тэнхлэгийнхээ дагуу хамгийн их эрчимтэй) гэж үзье. Бөөмийг сулавтар үйлчилгээтэй линз хэмээн үзэж болно. Энэ линз гэрлийг хугалж нэвтрүүлнэ. Гэрэл (фотон) өөрөө импульстэй. Түүний чиглэл өөрчлөгдөхөөр импульс нь бас өөрчлөгдөнө. Импульс хадгалах хуулиар импульсийн зөрөө нь бөөмд

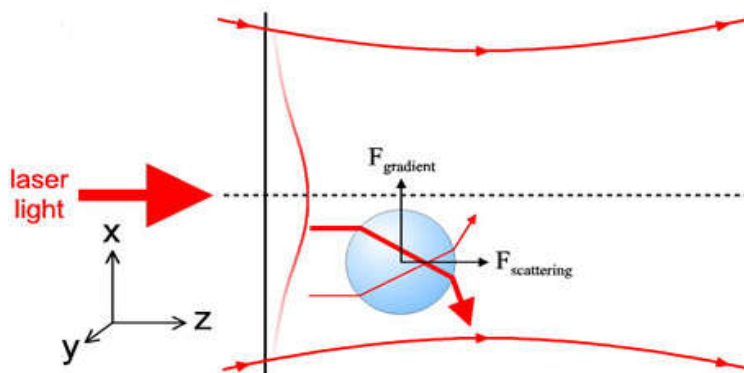
шилжинэ. Энэ нь бөөмийг гарсан цацрагийн эсрэг чиглэл рүү “түлхсэн” чиглэлтэй реакцийн хүчээр илэрнэ (зур.6).



Зур.6 Сарнил

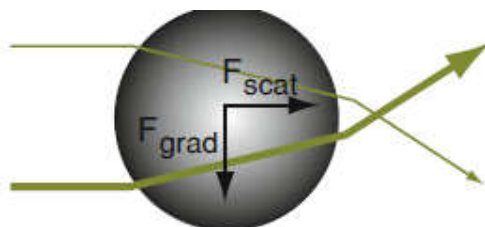
Багцын бүх цацрагаас үүсгэх ийм реакцийн хүчнүүдийн нийлбэрийг градиент хүч (F_{grad}) гэдэг.

Хэрэв бөөм багцын гол тэнхлэгээс зайтай жишээ нь зүүн талд нь байгаа бол, зүүн тийш явах фотоны тоо баруун тийш явах фотоны тооноос их байна. Тиймээс нийлбэр градиент хүч бөөмийг гол тэнхлэг рүү “түлхэх” болно (зур.7).



Зур.7 Бөөмийг гол тэнхлэг рүү дотогш “түлхсэн” чиглэлтэй дүнгийн (градиент) хүч үүснэ.

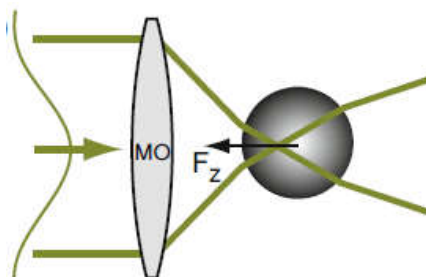
Нөгөө талаас, цацрагийн гол тэнхлэгийн дагуу чиглэсэн гэрлийн даралтын хүч (F_{scat}) бөөмд үйлчиж байгаа (зур.8). Тиймээс бөөм багцын чиглэлийн дагуу урагш “зүтгэх” болно.



Зур.8 Гэрлийн даралтын үйлчлэлийг бас тооцох хэрэгтэй.

Энэ хүчийг компенсацлахын (давж гарахын) тулд, хоёрдогч багцыг эсрэг чиглэлд явуулж болно. Эсвэл лазерын багцаа хүчтэй фокуслаж өгөх хэрэгтэй. Ингэснээр

бөөмийг фокусын төв рүү чиглүүлэн “татсан” хүч (F_z) үйлчлэх болно (зур.9). Ингэж урхи хэрэгжинэ.



Зур.9 Хүчтэй фокуслагдсан цацрагаар урхи үүсгэх нь

Бөөмийн хугарлын илтгэгч нь орчны хугарлын илтгэгчээс их байх ёстой.

Цахилгаан соронзон онолоор тайлбарлах нь ($\lambda \gg d$)

Лазер бол цахилгаан соронзон долгион. Тиймээс өөрийн гэсэн цахилгаан оронтой байна. Гауссын багцын хувьд энэ нь нэгэн төрлийн бус орон байна. $\lambda \gg d$ учир бөөмийг гэрлийн цахилгаан оронд орших цэгэн диполь мэтээр авч үзэж болно. Учир нь цахилгаан орны нөлөөгөөр бөөмийн молекул дахь цэнэгүүд туйлширч, молекул диполийн моменттой болно. Чиглэл нь гэрлийн цахилгаан орны хүчний шугамын дагуу байрлана. Уг диполийн момент гэрлийн цахилгаан оронтой үйлчлэлцсэнээр градиент хүч үүснэ. Энэ хүч нь тусч буй гэрлийн эрчимтэй пропорциональ байдаг. Гауссын багцын хувьд, гол тэнхлэг рүүгээ эрчим нь нэмэгдэж ирдэг. Тиймээс градиент хүч нь бөөмийг багцын гол тэнхлэг рүү “татах” болно. Хэрэв лазерын багц фокуслагдсан байвал бөөм фокусын төв рүү “хөдлөх” болно. Ингэж урхи хэрэгжинэ.

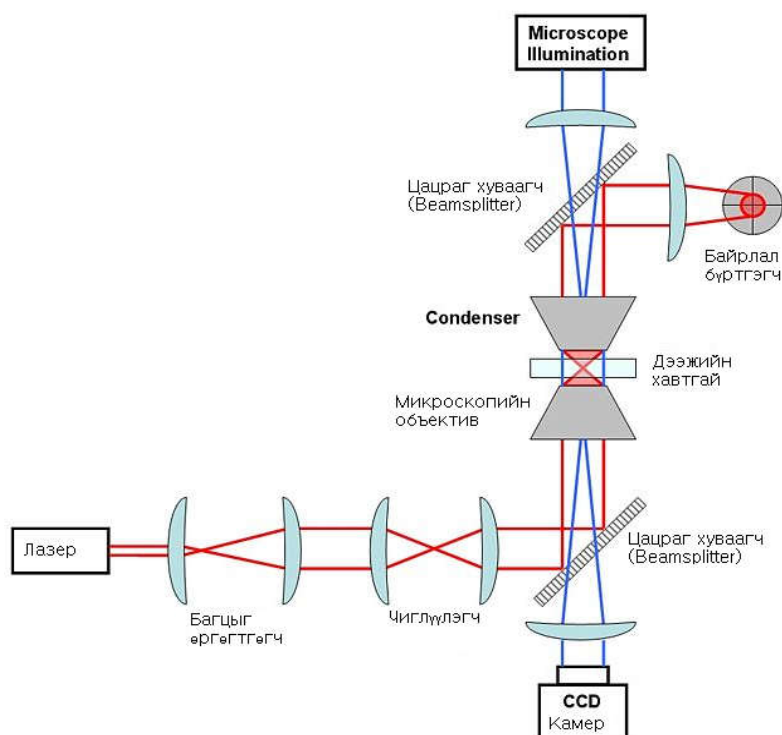
Оптик хямсааны схем: Ерөнхий тохиолдол

Зур.10 дээр хамгийн энгийн оптик хямсаа иймэрхүү бүтэцтэй байж болохыг харуулав.

Энд буй зарим үндсэн компонентыг дурдвал:

- **Лазер** – Биологийн объекттой ажиллахын тулд ихэвчлэн Nd:YAG (1064 нм долгионы урттай) лазер хэрэглэнэ. Биологийн объектод үзүүлэх сөрөг нөлөө багатай (шингэх коэффициент бага).
- **Микроскопийн дуран (объектив)** – Хамгийн чухал бүрдэл хэсгийн нэг. Оптик хямсааны градиент хүч нь дурангийн “харах өнцөг”-өөс (NA – numerical aperture) хамаардаг. Урхи ажиллахын тулд градиент хүч нь гэрлийн даралтаас их байх ёстой. Дундаж объективын харах өнцөг 1.2 - 1.4 утгатай байж болно.

- **Байрлал бүртгэгч** - Урхидаж буй бөөмийн байршлыг бүртгэхийн тулд дээжийн хавтгайг дайран гарч буй цацрагийг фотодиод дээр буулгах хэрэгтэй. Зарчим нь AFM буюу атомын хүчний микроскопийн зарчимтай төстэй.
- **Камер** – Дээжийн хавтгайг дүрсэлж харуулах үүрэгтэй.



Зур.10 Оптик хямсааны ерөнхий схем

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

[1]. http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_tweezers

[2]. https://blocklab.stanford.edu/optical_tweezers.html

[3]. A. Ashkin, J.M. Dziedzic, J.E. Bjorkholm and S. Chu. 1986. "Observation of a Single-Beam Gradient Force Optical Trap for Dielectric Particles." Opt. Lett. 11 (5) 288-290.

УСНЫ ЭНЕРГИЭР АСАХ ГЭРЭЛ

Кирилл Дегтярев, Александр Соловьев

Москвагийн их сургууль

Бид гидроэнергетикийг юуны өмнө голтой холбон ярьж заншжээ. Хүн төрөлхтөн хэдэн мянган жилийн тэртээгээс голын усны урсгалын хүчийг энергийн эх үүсгэвэр болгон ашиглахаар барахгүй, анхны усан цахилгаан станцуудыг гол дээр барьсан. Дэлхийн гол мөрний энергийн нэг жилийн нөөц 40000 тераватт цагаар хэмжигдэнэ (ТВт.цаг). Энэ бол эдүгээ хүн төрөлхтөн бүх аргаар нэг жилд боловсруулан гарган авч байгаа цахилгаан энергиэс хоёр дахин их юм. Бүх дэлхийн дээгүүр урсах гол мөрний урт хэдэн арван сая километрээр хэмжигдэхээс гадна, нэг жилд далай тэнгист цутгах усны эзлэхүүн 42000 км³ орчим байдаг. Энэ нь манай Хөвсгөл далайн усны нөөцөөс бараг 300 дахин их юм. Энэ их баялгийг ашиглахгүй байж болохгүй. Гэхдээ энэ их усны долооны нэг буюу 6000 км³ ус нь зөвхөн Амазонк мөрнөөр далай тэнгист цутгана. Амазонк мөрөн асар их устай бөгөөд агаараар 80 км өргөн болох ба их далайн хөлөг энэ мөөрөн дагуу дээшээ 2000 км хүртэл өгсөж чадна. Мөн дээр дурдсан их усны хагас орчим нь усан цахилгаан станц барих боломжгүй тэгш талаар урсах голд хамаарна. Гэхдээ гол мөрөн хамгийн их усны энергийг агуулдаг эх үүсгэвэр биш юм. Харин тэнгис далайн усны таталт түлхэлтийн энерги гол мөрнийхөөс хавьгүй их ажээ.

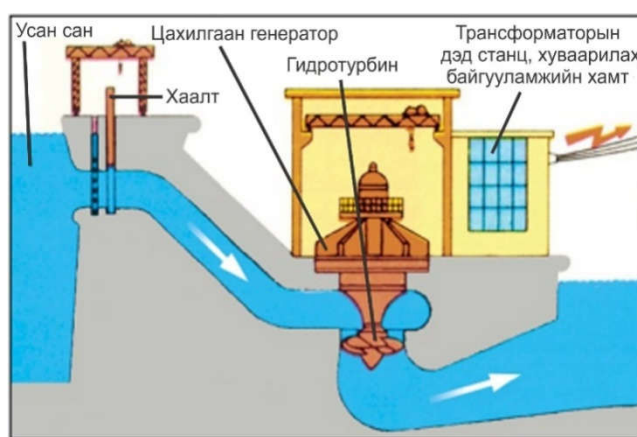
Нар ба сарны таталтын улмаас өдөр бүр гадаад далайн мандал ойролцоогоор 1 м дээшээ хөөрөх буюу доошоо хотойж байдаг. Ялангуяа таталт түлхэлт эрэг орчимд тод ажиглагдана. АНУ ба Канадын хилийн орчимд, Атлантын далайн эрэг орчмын Фандийн буланд хамгийн өндөр түлхэлт үүсдэг. Энд далайн усны төвшин 15-18 м хүртэл дээшээ хөөрдөг. Оросод Камчатк ба Магаданы муж хооронд Агнуурын тэнгисийн зүүн хойд буланд орших Пенжинексийн буланд хамгийн их түлхэлт ажиглагддаг. Түлхэлтээс гадна салхины үйлчлэлээр далайн эрэг уруу үргэлж хөөгдөн ирж нүргэлж байдаг цалгих долгионы ялгаруулах чадал 15кВт байна. Ингэхлээр нэг жилд 1 м урт далайн эрэг 130 МВт цаг энерги ялгаруулна. Энэ чадлыг далайн эргийн нийт уртаар үржүүлбэл дэлхий даяар хэрэглэх энергийн хэмжээнээс хэдэн эрэмбээр давсан, түүнийг ашиглах юмсан гэсэн хүслийг оргилуулсан асар их тоо гарна. Харамсалтай нь далайн эргийн орчим цалгин долгиолох энэ долгионы энергийн

цугларан бөөгнөрөх нягт өчүүхэн юм. Орчин үеийн том цахилгаан станцын чадал ойролцоогоор 1000 МВт байдаг. Ийм хэмжээний чадлыг $1000/0.15=6667$ метр урт эргийн дагуу цалгих далайн усны долгионоос гарган авах хэрэгтэй ажээ. 1000 МВт чадлыг гарган авахын тулд бараг 7 км урт цахилгаан станц барих нь эдийн засгийн талаас авч үзвэл ямарч утгагүй юм. Ингэхлээр далайн долгионы энергийг өгөөжтэй ашиглахын тулд энэ энерги маш их хуримтлагдсан байршлыг хайн олох буюу эсвэл түүнийг их хэмжээгээр хуримтлуулах аргыг хайх хэрэгтэй.

Орчин үед энерги гарган авдаг техник технологийг хэрхэн хэрэглэн түлхэлт ба салхинаас гарган авах энергийн жинхэнэ хэмжээ онолоор тодорхойлсноосоо хавьгүй бага юм. Гэхдээ гол мөрний урсгалд хуримтлагдсан энергитэй ойролцоо байдаг.

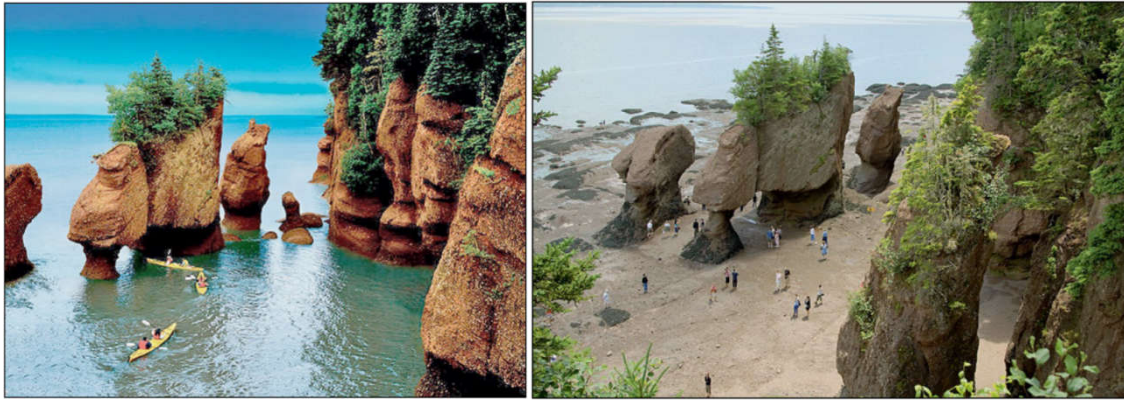
Дамжлагагүй хэрэглэх энерги

Усан цахилгаан станцад усны энергийг ашиглах зарчим маш хялбар. Усны урсгал цахилгаан энергийг гаргадаг генераторыг хөдөлгөөнд оруулах усан турбины хүрд дээр очиж цохино. Гол мөрний, түлхэлт таталтын, долгионы усан цахилгаан станцууд усны энергийг хуримтлуулах аргаар ялгаатай. Усны энергийг хуримтлуулахын тулд гол дээр далан барьж түүний ард усан сан байгуулна. Түлхэлтийг ашигладаг цахилгаан станц ч бас далантай. Гэхдээ түүнийг тэнгисийн булан буюу голын адагт барьдаг. Далангийн цаана түлхэлтийн бассейн байх ба түлхэлт болоход далайгаас түүн рүү ус орж таталтын үед түүнээс гадагшаа ус гарна.



Усан станц нь дэс дараалсан хэд хэдэн гидро-техникийн байгууламжаас тогтоно. Тэдгээрийн зорилго бол усны урсгалыг хуримтлуулж даралт үүсгэх зорилготой. Мөн хөдөлж байгаа усны энергийг эргэлдэх механик хөдөлгөөн болгон хувиргаж, энэ хөдөлгөөнөө ашиглан цахилгаан энерги гаргах энергийн багаж хэрэгслүүд байна. Шаардлагатай усны түрлэг буюу даралтыг усны далангаар хаах буюу эсвэл хэвлий ихтэй голын урсгалыг шууд хэрэглэн үүсгэнэ.

Аль ч үед усны урсгал станцын турбиныг эргүүлнэ.



Хамгийн том түрлэг Канадын Шинэ Шатланди ба Нью-Брансвик мужийн хооронд Атлантын далайн эрэг орчим орших Фандийн буланд ажиглагдана.

Далайн түрлэгийн үед булан дахь усны төвшин цаг тутам дунджаар 8 м дээшилнэ. Rio Fundo буюу орчуулбал “Цэнхэр гол” хэмээх нэрийг 16-р зууны үед Португалийн судлаачид өгчээ. Зураг дээр таталт (дээд талын) ба түрлэгийн (доод) үе дэх Фанда булангийн байдлыг харуулжээ

Долгионы цахилгаан станцад турбиныг том диаметртэй хоолой дотор байрлуулж, түүн дотуур усны хөдөлгөөнийг салхины үүсгэх долгионоор хөөнө. Өөр нэг янзын бүтэцтэй станцад усны долгионоор хоолой дотроос шахагдан гарах агаарын урсгалаар турбины хүрдийг салхин цахилгаан станцын адил эргүүлдэг. Заримдаа энэ хоёр зарчмыг хослуулан ашиглана. Үүнээс гадна усан доорх долгионы энерги ба далайн урсгалын энергийг ашигладаг долгионы станц ч байдаг.

Салхи ихтэй газар долгионы энерги их байдгаас салхин цахилгаан станцтай газар долгионы цахилгаан станцыг хамт барьдаг. Усны энергийг эх үүсгэвэр мэт ашиглахын зэрэгцээгээр энерги хуримтлуулагч болгон хэрэглэдэг тал ч бий.

Усны энерги хадгалагч буюу ус хуримтлуулагч цахилгаан станц (УХЦС) орчин үед өргөн хэрэглэгддэг. Ийм станц хялбар бүтэцтэйгээс гадна өгөөж сайтай байдаг. УХЦС нь насосууд ба дээд доод хоёр бассейнаас тогтоно. Энергийн систем (ялангуяа шөнө) бага ачаалалтай ажиллах үед генераторууд дутуу ашиглана. Энерги үйлдвэрлэх машинууд дутуу ачаалалтай ажиллах нь хэт ачаалалтай ажилласнаас дор байдаг. Иймээс ачааллыг тэнцүүлэхийн тулд шөнө, илүү гарсан энергиэ доод бассейнаас дээд бассейнд ус шахан гаргаж, их потенциал энергитэй усны нөөцийг буй болгоход ашигладаг.



БНХАУ-ын Саньдоупин хотын орчим орших Янцзы мөрөн дээр барьсан “Гурван хавцал” хэмээх станц. Манай гариг дээрх хамгийн том усан цахилгаан станц юм. Түүний энэ аварга даланг барьж усаар дүүргэхийн тулд 1.3 сая хүнийг нүүлгэсэн байна.

Өдөр оргил ачаалалтай үед УХЦС-ийн агрегатууд эсрэг чиглэлд ажиллаж доошоо унаж байгаа усны кинетик энергийг энергийн системд очих цахилгаан энерги болгон хувиргана. УХЦС-ыг ашиглах асуудлаар мэргэжилтнүүд харилцан адилгүй санал бодолтой байдаг. Зарим мэргэжилтнүүд ийм аргаар энерги хуримтлуулах нь ямар ч хэрэггүй хий дэмий зардал гаргасан ажил, яагаад гэвэл ус хуримтлуулагчаас доошоо унаж байгаа ус дахиад өөрийгөө дээшээ шахахад хүрдэг. Ингэснээр станцын багаж хэрэгсэл элэгдэхээс өөр ашиг гарахгүй. Түүний оронд үйлдвэр ба хүн амын энергийн хэрэглээг жигд зохистой хуваарилах ажлыг зохион байгуулах хэрэгтэй гэж ярьдаг. Харамсалтай нь эдүгээ дэлхий даяар буй болсон нөхцөлд энерги хангамжийн ийм системийг зохион байгуулах санал мөрөөдлөөс хэтрэхгүй нь ойлгомжтой юм. Ингэхлээр УХЦС хэсэг хугацаанд оршин тогтносоор л байх болно.

Номхруулсан усны чадал

2013 онд дэлхий даяар 23300 ТВт.цаг цахилгаан энерги үйлдвэрлэжээ. Үүнээс усны урсгалыг ашиглан гарган авсан энерги 3600 ТВт.цаг буюу дөнгөж 16% болж

байна. Цахилгаан энерги үйлдвэрлэгч дэлхийн тэргүүний арван орныг тэдний үйлдвэрлэсэн энергийн хэмжээг буурах дарааллаар жагсаан бичвэл дараах байдалтай байна:

Хятад, АНУ, Орос, Энэтхэг, Япон, Канад, Герман, Франц, Бразил, Солонгос гэх мэт. 2011 онд Хятад АНУ-г гүйцэж дэлхийд нэгдүгээр байранд орлоо. Усыг ашиглан гаргаж авах энерги, нийт энергийн баланст эзлэх хувь орон бүхэн харилцан адилгүй бөгөөд энэ талаар тэргүүлж байгаа орнуудын нэрийг доорх хүснэгтэд сийрүүлэн бичлээ.

Гидроэнерги үйлдвэрлэгч тэргүүний орнууд (2011)

Орнууд	Үйлдвэрлэсэн гидроэнерги ТВт.цаг	Дэлхий даяар үйлдвэрлэх гидроэнергид эзлэх хувь %-иар	Тухайн орны үйлдвэрлэсэн нийт энергид гидроэнергийн эзлэх хувь, %-иар
Хятад	699	19.6	14.8
Бразил	428	12	80.6
Канад	376	10.5	59
АНУ	345	9.7	7.9
Орос	168	4.7	15.9
Энэтхэг	131	3.7	12.4
Норвеги	122	3.4	95.3
Япон	92	2.6	8.7
Венесуэл	89	2.3	68.6
Шведи	67	1.9	44.3
Үлдсэн орнууд	1054	29.6	4.8
Бүгд	3566	100	15.8

Дэлхий даяар боловсруулан гаргаж байгаа гидроэнергийн ихэнхийг том гол мөрөн дээр байгуулсан станцууд өгнө. Хэрэглэж байгаа нийт энергийн хагасаас илүүг усан цахилгаан станцаас гаргадаг орны тоонд Норвеги, Бразил, Венесуэл, Канад, Швед зэрэг улсууд орно. Эдгээр орнууд нэг хүнд ноогдох усан энергийнхээ баялгаар бараг адилхан шахуу юм. Скандинавын орнууд үл хөдлөх уулын голуудаар баялаг бол өмнөд Америкийн орнууд бялхам их усан урсгалтай халуун орны голуудаар арвин билээ. Чадлаараа дэлхийд хоёрдугаарт ордог Парана мөрөн дээр барьсан Бразил-

Парагвайн хамтын усан цахилгаан станц Итайпугийн чадал 14 ТВт бөгөөд жилд бараг 100 млрд кВт.цаг энергийг үйлдвэрлэдэг нь эдгээр орны орны үйлдвэрлэх нийт цахилгаан энергийн 18%-д хүрнэ. Хятадын Янцы мөрөн дээр барьсан “Гурван хавцал” хэмээх усан цахилгаан станцын чадал 22.5 ТВт хүрэх ба жилд 100 млрд кВт.цаг энергийг үйлдвэрлэнэ. Энэ бол дэлхийн хамгийн том цахилгаан станц юм. Гэтэл манай орны бүх цахилгаан станцуудын чадал 800 гаруй МВт бөгөөд ойролцоогоор 5 млрд кВт.цаг энерги үйлдвэрлэнэ. Хятад улс одоо цахилгаан энерги үйлдвэрлэлтээрээ АНУ-аас давснаас гадна станцуудын нийт чадал нь 530000 МВт-аас давна. Оросын Саяно-Шушенскийн усан цахилгаан станцын чадал 6.4 ГВт бөгөөд жилд 20 млрд кВт.цаг энерги үйлдвэрлэж дэлхийд 12-р байранд ордог. Квебек дэх Ла-Гранд гол дээр барьсан Канадын Робер-Бурассын усан цахилгаан станцын чадал 5.6 ГВт, жилд 25 млрд кВт.цаг энерги үйлдвэрлэнэ.

Таталт түлхэлтийн усан цахилгаан станцууд

Таталт түлхэлтийн цахилгаан станцууд усан энерги үйлдвэрлэхээрээ хоёрдугаар байранд бичигдэнэ. Одоо байгаа ТТЦС цахилгаан энерги үйлдвэрлэлтээр нэг их жин даахгүй ч тэдгээрийн дотор нэлээд хэдэн том байгууламжууд бий. Мөн ирээдүйд байгуулах ТТЦС-ийн хэд хэдэн төслүүд хийгдсэн бөгөөд тэдний дотор Оросын төсөл хамгийн томд орно.



Кислогубскт барьсан энэ түрлэгийн усан цахилгаан станц нь Оросын анхны туршилтын станц юм. Энэ станц Мурманск мужид Баренцевийн тэнгисийн Кислая нэртэй буланд оршино.

Хэдийгээр далайн долгионы энергийг ашиглах 850 кВт чадалтай усан цахилгаан станц 1985 оноос эхлэн 30 гаруй жил Норвегид ажиллаж байгаа ч ийм станцууд эдүгээ хүртэл өргөн дэлгэр болж чадаагүй байна. 2008 онд Португалийн хойд энергийн усан цахилгаан станц 2 МВт чадалтай, 1600 байшинг энергиэр хангадаг. Ирээдүйд түүний чадлын 21 МВт хүргэх төсөл бий. Дэлхий даяар долгионы энергийг ашигласан хэдэн

зуун хөвдөг цамхаг, байрлал заагч хөвөгч, элдэв төхөөрөмжүүд байдгаас Энэтхэгийн Ченнайн буюу Мадрасын усан зогсоолын хөвөгч цамхаг нэлээд томд орно.

Жижиг усан цахилгаан станцууд



Францын Британьд барьсан европын хамгийн том Ля Рансийн түрлэгийн цахилгаан станц. Станц байрлаж байгаа Ранс голын адагт түрлэгийн дундаж өндөр 8 м байдаг боловч заримдаа 13.5 м хүрдэг.

Улс орныг цахилгаанжуулахад өм цөм нэмэр өгөхгүй ч жижиг усан цахилгаан станцууд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. ЖУЦС гэж 10 МВт-аас 50 МВт чадалтай усан цахилгаан станцуудыг хэлэх бөгөөд их биш хүн амтай суурин газар, багахан үйлдвэрийг энергиэр хангана. Жижиг усан цахилгаан станцыг голцуу уулархаг оронд хэрэглэнэ. Жишээлбэл: Австрийн цахилгаан хэрэглээний 10%, Швейцарын 8%, Испани ба Шведийн 3%-ыг ийм станцууд хангадаг. Европын холбооны нийт ЖУЦС-ын чадлын нийлбэр 13 ГВт хүрдэг. ЖУЦС-ууд сэргээгдэх эрчим хүчний 8%-ийг үйлдвэрлэнэ. Европын холбоо ЖУЦС-ын чадлыг ойрын ирээдүйд 50 ГВт хүргэх зорилт тавьжээ. АНУ ба Японы ийм станцуудын нийт хүчин чадал $2 \cdot 4 \text{ ГВт} = 8 \text{ ГВт}$ хүрдэг. Энэ талбарт Хятад улс тэргүүлэх байрыг эзлэх бөгөөд ЖУЦС-ынх нь чадал 50 ГВт хүрдэг бөгөөд энэ бол манай дэлхий дээр байгаа бүх ЖУЦС-ын нийт чадлын хагас юм.

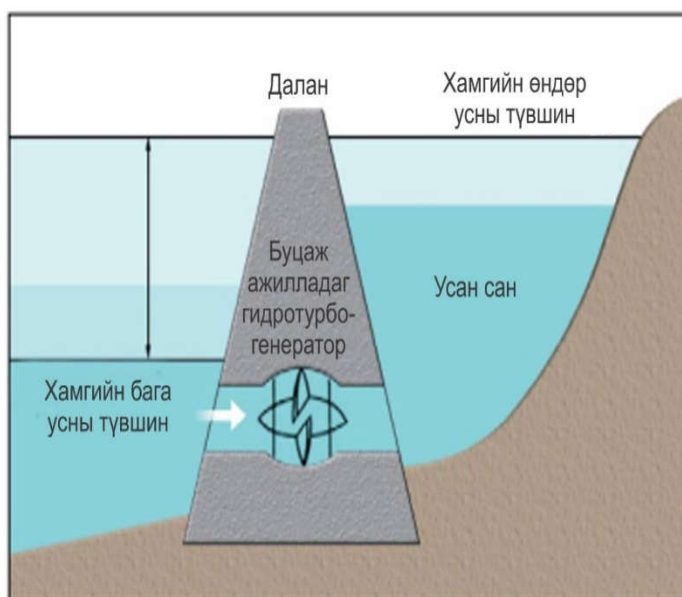
Усан цахилгаан станцын сайн ба муу тал

Усан цахилгаан станцын экологийн ба эдийн засгийн давуу тал нь илэрхий билээ. Усны энергийг ашиглахад ажлын бие (ус) энергийг дамжин хувиргахгүй шууд өгнө. Усан цахилгаан станцад 1 кВт.цаг энергийг гаргахад зарцуулах зардал дулааны ба атомын цахилгаан станцыг бодвол хэд дахин бага, ялангуяа түлхэлтийн станцад бараг 10 дахин бага байна. Оросын усан цахилгаан станцад 1 кВт.цаг энерги гаргахад хэдхэн копейк зарцуулдаг (орчин үеийн ханшаар). Гол мөрний хөндлөн огтлол их, усны төвшний өндрийн ялгавар буюу уналт их бол нэгж хугацаанд боловсруулан гаргах энерги бас их байна. Үл хөлдөх Янцы, Парана, Ориноко гэх мэтийн гол дээр

барьсан усан цахилгаан станцын суурилуулсан 1 кВт чадал бүхэн жилд 5000 кВт.цаг энерги үйлдвэрлэдэг. Харин хөлддөг Енисей мөрнийх 3000 кВт.цаг байдаг. Өөрөөр хэлбэл Янцы гол дээр барьсан “Гурван хавцлын” УЦС-ын суурилуулсан чадлын ашиглалтын коэффициент (СЧАК) 0.51, харин Саяно-Шушенскийн станцынх 0.34 байдаг. СЧАК-ын онолоор хэрхэн тооцох вэ? Жилд 365 хоногтой түүнийг нэг хоног дахь цагийн тоо 24-өөр үржүүлбэл 8760 цаг гарна.

Хэрэв станцын чадал 1000 МВт бол онолоор жилд үйлдвэрлэх энерги $1000\text{МВт} \times 8760\text{МВт} = 8760\text{ГВт.цаг}$ байна. Үнэндээ амьдралд 5000 ГВт.цаг энерги үйлдвэрлэдэг бол СЧАК нь $(5000/8760) \times 100\% = 57.1\%$ болно.

Түлхэлтийн цахилгаан станцын СЧАК бүр бага 0.2-0.25 байдаг ба 1кВт суурилуулсан чадал жилд 2000 кВт энерги үйлдвэрлэнэ. Үүнээс гадна УЦС ба ТЦС-ыг барихад орох хөрөнгө оруулалт асар их. 1 кВт суурилуулсан чадалд 1000-3000 доллар зарцуулна. Түүнээс гадна бүх төрлийн усан цахилгаан станцыг удаан хугацааны турш төлөвлөж барьдаг, зардал нөхөн төлөх хугацаа асар их ажээ.



Түрлэгийн цахилгаан станц барихад далайн явцуу нарийхан булан хамгийн тохиромжтой. Далайгаас түүнийг, доторх хөндийд нь генератор бүхий гидротурбин байрлуулсан далангаар тусгаарладаг. Түрлэгийн үед цахилгаан станцын усан сан усаар дүүрнэ. Энэ үед усны хөдөлгөөнөөр агрегатын хүрдэн дугуй эргүүлэхэд цахилгаан станц энерги үйлдвэрлэнэ.

Таталт болоход усан сангийн ус далай руу юүлэгдэхдээ ажлын хүрдэн дугуйг эсрэг чигт нь эргүүлж, бас цахилгаан энерги гаргана.

Усан цахилгаан станцууд дулааны ба атомын цахилгаан станцыг бодвол орчин тойрондоо химийн, дулааны, цацраг идэвхт бохирдолт үүсгэхгүй экологийн хувьд цэвэр үйлдвэрүүд юм. Мөн энерги үүсгэгчид нь үрэгдэн алга болохгүй дахин дахин сэргээгдэж байдаг юм. Гэсэн хэдий боловч усны энергийг ашиглахад санамсаргүй гарах экологийн дагалдах аюул нэлээд ноцтой үр дагавартай. Усан ба түрлэгийн станцыг барихад заавал гол, мөрөн ба далайн нарийн буланг хааж ус тогтох далан босгодог. Үүнээс болж урсгалын горим алдагдаж усны амьтан ба ургамлын ертөнц, цаашлаад орчны экосистемийг бүхэлд нь өөрчилнө. Усан цахилгаан

станцыг далангийн урд үүсэх усан сан аж ахуй явуулах шинэ бололцоог нээх боловч экосистемийг бүрмөсөн өөрчилж, маш их хэмжээний талбайг усанд живүүлснээс инженер-геологийн элдэв эрсдэлийг буй болгодог. Усан сангийн ус солих горим алдагдаж, зогсонги байдалд орсноос элдэв хүлэмжийн хий ялгаруулж экологид хүчтэй нөлөөлнө. Ялангуяа газар хөдлөх эрсдэлтэй нутагт далан нурж, сэтэрсэнээс зогсоож чадахгүй аюул нөмөрдөг. Уулархаг орон нутагт барьсан далангийн урд ба хойд талын өндрийн ялгавар заримдаа 100 гаруй метр хүрэх учир далан сэтэрвэл бараг цунами үүснэ.



Долгионы механик энергийг цахилгаан гүйдэл болгон хувиргах олон арга байна. Үндсэн аргуудын нэгэнд хөвдөг энергетикийн байгууламжууд орно. Тэдгээр нь долгионы далан дээш доошоо хөдлөхдөө цахилгаан генераторыг ажиллуулдаг насосын поршныг хөдөлгөөнд оруулна. Генератораас гарсан энергийг кабелиар эрэг рүү дамжуулна. 2010 оноос эхлэн Их Британийн баруун өмнөд эргийн орчим долгионы энергийг цуглуулагч Вейб Хабыг ажиллуулж эхэлжээ. Тэр нь долгионы энергийг хувиргагч хэд хэдэн аппаратыг чадал ихтэй ерөнхий кабельд холбож, цаашаа үйлдвэрийн цахилгаан хэлхээнд гаргасан энергийг дамжуулдаг байна. 12 тонн жинтэй энэ Хаб эргээс 16 км зайнд 55 м гүнд оршиж байв. Хабд 4-5 МВт чадалтай байгууламжийг холбох дөрвөн оролттой. Кабелийн жин 1300 м, дотроо 6 зэс утас, 48 гэрэл дамжуулах оптик утастай бөгөөд гадуур нь нимгэн ган туузаар хоёр дахин ороож гадаад орчноос полимер изолятораар тусгаарласан байна.

1963 онд хойд Италийн Вайонт голыг хаасан далангийн урд талд орших усан сангийн орчим хөрсний гулгалт үүссэнээс ус далангийн дээгүүр давж 90 м өндрөөс доош унаснаас болж голын урсгал дагуу тархах өндөр долгио үүсэж хэд хэдэн суурин урсган алга болгосноос 2-3 мянган хүн үрэгдсэн байна. Мөн 2009 онд Саяно-Шушенскийн усан цахилгаан станцын далан сэтэрэх шахсан бөгөөд хэрэв аюул гарсан

бол түүнээс гарах хохирол Италийнхаас хамаагүй их өргөн хүрээг хамрах байлаа. Далангүй усан цахилгаан станц экологийн хувьд цэвэр бөгөөд элдэв аюул дагуулдаггүй. Ийм станц далан барьж усны төвшин дээшлүүлэхгүй байгалийнхаа жамаар урсаж байгаа усны энергийг ашигладаг. Энэ нь голцуу гол мөрний усанд дүрдэг эргэлдэх систем гэх мэтийн биеэ даасан тусгаар агрегатууд байдаг. Ийм станцыг барихад шаардлагатай хурдан урсгалтай гол мөрөн маш ховор юм. Мөн ийм станцад хэрэглэх агрегатыг засах, техник үйлчилгээ хийхэд бэрхшээл тохиолдохоос гадна үнэ өртөг ихтэй ажээ.

2015 оны НАУКА И ЖИЗНЬ сэтгүүл, 2-р дугаараас
П. Түвшинтөр Г. Шилагарди нар товчлон орчуулав.



АСТРОНОМИЙН УЛСЫН ГУРАВДУГААР ОЛИМПИАД

Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

2015 оны 4 дүгээр сарын 25, Бямба гариг

Ажиглалт туршилт, онолын бодлого

Дараах санамжийг уншина уу!

1. Олимпиадын бодлого 3 хэсгээс бүрдэнэ. “Ажиглалт”, “Туршилт”-ын болон “Онол”-ын бодлогоос бүрдэнэ.
2. Бодлогын “Ажиглалт”-ын хэсэг дэх дуран ашиглахгүй, энгийн нүдээр хийх ажиглалтанд хамаарах, астрономийн мэдлэг хэрэглэх хялбар бодлого зохиов.
3. Туршилтын бодлогоор астрономийн дадлага дасгалын бодлого сонгов.

Онолын хоёр бодлогын нэг нь эрхсийн механик хөдөлгөөн, нөгөө нь астрофизикт хамаарна. Бүх бодлогын бодолтыг нийтдээ 2 цагт багтаана. Иймд ижил оноо авсан хүүхдийн байрыг эзлүүлэхдээ бодсон хугацааг нь харгалзаж болно.

Онолын бодлого № 1 (10 оноо)

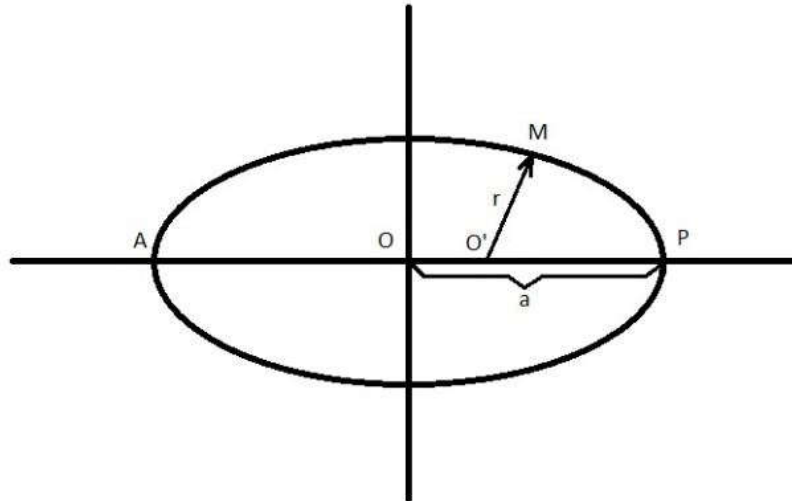
Нарыг зууван замаар (1-р зурагт үзүүлсэн эллипс) тойрч буй сүүлт од, бага гариг, гариг зэрэг тэнгэрийн эрхсүүдийн хурдыг дараах томъёогоор илэрхийлэн тооцоолж болно.

$$V = 29.78 \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}} \text{ [км/с]},$$

r, a нь астрономийн нэгжээр [$a. н.$] илэрхийлэгдэх бөгөөд $1a. н. \approx 150$ сая км.

А болон Р цэг дэх V_P, V_A хурдуудын харьцааг эксцентристет (e)-ээр илэрхийлж эксцентристетийн хэд хэдэн утгууд (1-р хүснэгт) дээр дүгнэлт хийнэ үү.

$$\frac{OO'}{a} = e, \quad 0 \leq e < 1 \text{ байна.}$$



1-р зураг. Нарыг тойрон эргэх эрхсийн тойрог зам:

O' – Нар, M – эрхэс, r – Нар, эрхсийн хоорондох зай, a – эллипсийн их тэнхлэгийн хагас.

1-р хүснэгт (Нарны аймгийн зарим эрхэс)

№	Тэнгэрийн эрхсүүд	e
1	Буд гариг	0.205
2	Сугар	0.007
3	Ангараг	0.093
4	Бархасбадь	0.0484
5	Санчир	0.056
6	Тэнгэр ван	0.047
7	Далай ван	0.009
8	Галлейн сүүлт од	0.967
9	Темпел1 сүүлт од	0.517
10	Церес бага гариг	0.075
11	Жуно бага гариг	0.255
12	Дэлхий	0.017

Бодолт:

№	Үйлдэл	Оноо
1	$r_p = a(1 - e)$	2
2	$r_A = a(1 + e).$	2
3	$\frac{V_p}{V_A} = \frac{1 + e}{1 - e}$	1
4	$\frac{1 + e}{1 - e} \geq 1$	2
5	$V_p \geq V_A$	1
6	Сугар, Далай ван гаригуудын хувьд $V_p \approx V_A$ байгаа тул жигд хурдтай, харин Сүүлт однууд, Буд, Жуно зэрэг гаригууд ихээхэн жигд бус хурдтай хөдөлж байна. Тухайлбал, Галлейн сүүлт одны хувьд $V_p = 60V_A$ Буд гаригийн хувьд $V_p = 1.5V_A$ гэх мэт.	2
	Нийлбэр оноо	10

Онолын бодлого № 2 (10 оноо)

Нарныхтай харьцуулбал 100 дахин их энерги (гэрэлтэц) цацруулагч, $T=3000\text{K}$ температуртай одны радиусыг ол. Нарны температурыг 6000K гэж үзнэ.

Бодолт:

№	Үйлдэл	Оноо
1	$L_s = \sigma T_s^4 \cdot 4\pi R_s^2$	3
2	$L_{star} = \sigma T_{star}^4 \cdot 4\pi R_{star}^2$	3
3	$\frac{L_{star}}{L_s} = \left(\frac{T_{star}}{T_s}\right)^4 \left(\frac{R_{star}}{R_s}\right)^2$	2

4	$\frac{R_{star}}{R_s} = \left(\frac{L_{star}}{L_s}\right)^{1/2} \left(\frac{T_{star}}{T_s}\right)^{-2}$; $R_{star} = 40R_s \approx 28$ сая км.	2
	Нийлбэр оноо	10

Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3 (8 оноо)

Хэрэв та 8 сантиметрийн хуучин холч дурангаа 16 сантиметрийн диаметр бүхий тольтой шинэ дурангаар сольсон бол хэд дахин сул харагдах оддыг шинээр ажиглаж чадах вэ? Дурангийн бусад үзүүлэлтүүд өөрчлөгдөөгүй гэж үз. Шинэ дурангийн хүчин чадал, боломжийн талаар өөр юу хэлж чадах вэ?

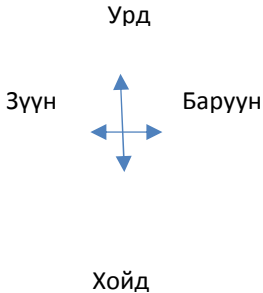
Бодолт:

№	Үйлдэл	Оноо
1	Хуучин дурангийн объективын талбай $S_1 = \pi R_1^2$	1
2	Шинэ дурангийн объективын талбай $S_2 = \pi R_2^2$	1
3	Талбайн харьцаа: $S_2/S_1 = 4$ дахин их	1
4	4 дахин сул оддыг ажиглаж чадна	2
5	Объективын диаметр 2 дахин ихсэж байгаа тул дурангийн ялгах чадвар 2 дахин сайжирч хос одод болон Сар, гаригийн гадаргуу дээрх зарим бүтцийг ялгах болно.	3
	Нийлбэр оноо	8

Ажиглалтын бодлого № 4 (10 оноо)

Хэрэв бид үдэш гадаа гарч “Их баавгай” орд дахь оддыг ажиглавал, түүний байрлал, тухайлбал, шанага хэлбэрээр байрших тод долоон одны “шанагны иш” буюу “Их баавгай”-н сүүл хэсгийн (η ; ζ ; ϵ однууд) хоёр одыг төгсгөл рүү нь ($\epsilon \rightarrow \eta$) холбосон вектор жилийн дөрвөн улиралд харгалзан дөрвөн өөр зүгийг (зүүн, баруун, хойд, урд) заана.

1. “Их баавгай” орд дахь оддын зүг чигийг хавар, зун, намар, өвлийн улирлын үдэш ямар байхыг хүснэгтэнд тоймлон зурах, эсвэл чигийг үгээр бичнэ үү. (8 оноо)

№	Улирал	“Их баавгай” орд дахь тод долоон оддын байрлал, “сүүл” хэсгийн чиг	<div style="text-align: center;"> <p>Урд</p>  <p>Зүүн Баруун</p> <p>Хойд</p> </div>
1	Хавар	Зүүн (2 оноо)	
2	Зун	Урд (2 оноо)	
3	Намар	Баруун (2 оноо)	
4	Өвөл	Хойд (2 оноо)	
Нийлбэр оноо		8 оноо	

2. Дэлхийн хойд бөмбөрцөг даяар ийм байх уу ? (Үгүй ,Тийм)

Хариу: Тийм (2 оноо)

Шинэ Монгол технологийн дээд сургууль нэрэмжит
"ОЮУТНЫ ФИЗИКИЙН АНХДУГААР ОЛИМПИАД"

Ахисан түвшини бодлого

П.Мөнхбаатар

МУИС, ШУС, Физикийн тэнхим

Бодлого1: Хар нүх (3 оноо)

Галактикууд нь түүний төвийг тойрон эргэх маш олон тооны оддоос тогтоно. Галактикыг судлах нэг арга нь галактикд байгаа оддын v хурд, түүний төвөөс алслах r зай хоёрын холбоог судлах юм. Уг холбоог $v \propto r^n$ ийм хэлбэртэй эрдэг бөгөөд эрдэмтэд n зэрэгт анхаарлаа хандуулдаг.

- (a) Хэрэв галактикт буй одод үйлчлэж буй хүчийг зөвхөн төвд буй хар нүх тодорхойлдог гэж үзээд n зэргийн утгыг ол. (1 оноо)
- (b) Одоо түүний төв дээр хар нүх байхгүй, оддын массын түгэлт нь хавтгай диск хэлбэртэй гэж үзээд n -ийн утгыг ол. (1 оноо)
- (c) Ихэнх галактикын хувьд эрдэмтэд n нь 1 орчим болохыг олж тогтоосон.
- (d) Үүнийг тайлбарла. (1 оноо)

Эрт дээр үеийн нарны аймаг (7 оноо)

Эрт дээр үед манай нарны аймгийн гаригууд өнөө цагийнх шигээ байсангүй, нарыг тойрон маш том хийн бөмбөлөг тогтуун оршиж байв. Нарны масс M_s . Хялбар байх үүднээс уг хийг m молекулын масстай нэгэн төрөл молекулаас тогтох хий гэж үз, хийн нийт масс нь нарны M_s массаас олон дахин бага гэж үз, хийн параметрууд нарнаас алслах зай r (\gg нарны диаметр) хамаарч түгнэ.

- (e) Хийн температур бүх газар ижил T_0 гэж үз. Хийн массын түгэлт $\rho = \rho_0 e^{\alpha/r}$ гэж илэрхийлэгдэх бол α -ийг ол. (2 оноо)
- (f) (d) хэсэгт массын түгэлтэнд нэг дутагдал байгаа. Энэ дутагдалыг ол. (0.5 оноо)
- (g) Энэ моделийг сайжруулахын тулд нар нэг секундэнд J_0 дулааны энерги цацруулдаг гэж үзье, уг энергийг хийд дулаан дамжуулалтаар тарна гэж үзье. Тэгвэл нарнаас r зайд дулааны энергийн урсгалын нягтыг ол (нэгж хугацаанд нэгж гадаргуугаар урсах энерги). (1 оноо)
- (h) Дулааны энергийн урсгалын нягт $I(r)$ нь температурын градиентэд пропорциональ. Өөрөөр хэлбэл $I(r) = -\sigma \frac{dT}{dr}$, үүнд σ дулаан дамжуулалт гэх

ээрэг тогтмол. Хасах тэмдэг их температуртай хэсгээс бага температуртай хэсэг рүү дулаан урсахыг заадаг. Нарнаас r зайд температурыг ол. (1.5 оноо)

- (i) Одоо даралт $P = P_0(r/r_0)^\beta$ хуулиар хамаарна гэж үзээд β ба массын түгэлтийг ол. (2 оноо)

Бодлого 2 : Бозе хийн термодинамик (10 оноо)

Дотоод энерги нь $U = 3PV$ ийм байх нэгэн төрөл идеал биш хий авч үзье. Энд P ба V нь харгалзан хийн даралт эзлэхүүн.

- (a) Уг хийд явагдах адиабат процесс хувьд P ба V хоёрын холбоог ол. (2 оноо)

Туршлагаар ийм хийн T температур зөвхөн P даралтаас хамаарах бөгөөд харин V эзлэхүүнээс хамаарахгүй болох нь тогтоогдсон. Тэгвэл бид температурыг нэгжийг $P = 1$ үед $T = 1$ байхаар сонгож болно. Дараах Карногийн циклийг авч үзье.

$$(P_1, V_1) \xrightarrow{\text{Изотерм}} (P_1, V_2) \xrightarrow{\text{Адиабат}} (P_2, V_3) \xrightarrow{\text{Изотерм}} (P_2, V_4) \xrightarrow{\text{Адиабат}} (P_1, V_1)$$

- (b) Эхний изотерм процессийн Q_1 шингээх дулааныг ол. (1 оноо)

- (c) Хоёр дах изотерм процессийн Q_2 ялгаруулах дулааныг ол. (1 оноо)

- (d) Хийн даралт температурын холбоог ол ($P \sim T$).

Зөвлөмж: T температурын харьцааг $\frac{T_1}{T_2} = -\frac{Q_1}{Q_2}$ гэж тодорхойлж болно. (2 оноо)

- (e) Хийн тогтмол эзлэхүүн дэх дулаан багтаамжийг ол. (2 оноо)

- (f) Термодинамикийн 3-р хууль ($T = 0$ үед $S = 0$) ашиглан S энтропийг P даралт ба V эзлэхүүнээр илэрхийлж ол. (2 оноо)

Бодолт 1

- (a) Хар нүхний массыг M гэе, тэгвэл

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{v^2}{r} \text{ буюу } \sqrt{\frac{GM}{r}} = v. \quad (0.5 \text{ оноо}) \quad n = -\frac{1}{2}. \quad (0.5 \text{ оноо})$$

- (b) Тарахсан массын нягтыг σ -гэе, тэгвэл

$$\frac{G\pi\sigma r^2}{r^2} = \frac{v^2}{r} \text{ буюу } \sqrt{G\pi\sigma r} = v. \quad (0.5 \text{ оноо}) \quad n = \frac{1}{2}. \quad (0.5 \text{ оноо})$$

- (c) Бүх юм ойлгомжтой түүний төвд хар нүх байхгүй. Массын түгэлт нь бөмбөрцөг байна. (1 оноо)

- (d) dr зузаантай нэгж талбаатай нимгэн үе авч үзье. Гравитацийн хүчийн улмаас r -д

даралт, $r+dr$ -д даралтаас $\frac{GMmn}{r^2}$ их байна. Иймд $\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_s mn}{r^2}$, үүнд n нь нэгж

эзлэхүүн дэх молекулын тоо. (0.5 оноо)

Идеал хийн хууль ёсоор $P=nkT_0$. P -г n -ээр сольж болно

$$\frac{dn}{n} = -\frac{GM_s m}{kT_0} \frac{dr}{r^2}. \quad (0.5 \text{ оноо})$$

$$\text{Үүнийг } \rho = \rho_0 e^{\alpha/r} \text{ харьцуулвал } \alpha = \frac{GM_s m}{kT_0}. \quad (1 \text{ оноо})$$

(e) $r \rightarrow \infty$ үед $\rho \rightarrow \rho_0$ нягт тэг болохгүй. Өөрөөр хэлбэл хийн бөмбөлгийн радиус хязгааргүй, бодит байдалд өөр байх ёстой (радиус төгсгөлөг). (0.5 оноо)

(f) Нэг секундэнд бөмбөрцөг гадаргуугаар урсаж буй энерги тогтмол.

$$J_0 = 4\pi r^2 I. \text{ Иймээс } \frac{J_0}{4\pi r^2} = I. \quad (1 \text{ оноо})$$

$$(g) \quad I(r) = -\sigma \frac{dT}{dr}, \text{ иймээс } \frac{dT}{dr} = -\frac{J_0}{4\pi\sigma r^2}, \quad (0.5 \text{ оноо})$$

$$\text{Хязгааргүй алсад температур тэг байх ёстой. Иймээс } T = \frac{J_0}{4\pi\sigma r}. \quad (1 \text{ оноо})$$

$$(h) \quad \text{Дахин } \frac{dP}{dr} = -\frac{GM_s mn}{r^2}. \text{ Гэвч одоо } P = nkT(r) = \frac{J_0}{4\pi\sigma} kn. \text{ Эхний тэгшитгэл дээр } n\text{-г}$$

$$P\text{-р сольж, } \frac{dP}{dr} = -\frac{4\pi GM_s m\sigma P}{kJ_0 r} \text{ болно.} \quad (0.5 \text{ оноо})$$

$$\text{Эндээс } P = P_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\beta}, \text{ үүнд } \beta = \frac{4\pi GM_s m\sigma}{kJ_0}. \quad (0.5 \text{ оноо})$$

$$\rho = \frac{4\pi\sigma m r P_0}{kJ_0} \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\beta}. \quad (1 \text{ оноо})$$

Энэ удаа r хязгааргүй үед P ба ρ тэг болно.

Бодолт 2

(a) Термодинамикийн 1-р хууль: $dU = -PdV + \delta Q$.

Адиабат процессийн хувьд

$$\delta Q = dU + PdV = d(3PV) + PdV = 4PdV + 3VdP = 0 \quad (1 \text{ оноо})$$

$$\rightarrow PV^{4/3} = \text{const} \quad (1 \text{ оноо})$$

(b) Карногийн цикл:

$$(P_1, V_1) \xrightarrow{\text{Изотерм}} (P_1, V_2) \xrightarrow{\text{Адиабат}} (P_3, V_3) \xrightarrow{\text{Изотерм}} (P_3, V_4) \xrightarrow{\text{Адиабат}} (P_1, V_1)$$

Эхний изотерм процессийн Q_1 шингээх дулаан:

$$Q_1 = 3P_1V_2 - 3P_1V_1 + \int_{V_1}^{V_2} P_1 dV = 4P_1(V_2 - V_1). \quad (1 \text{ оноо})$$

(c) Өмнөх даалгавартай ижлээр хоёр дах изотерм процессийн Q_2 ялгаруулах дулаан

$$Q_2 = 4P_2(V_4 - V_3). \quad (1 \text{ оноо})$$

(d) (a)-аас: $P_1V_2^{4/3} = P_2V_3^{4/3}$ (0.5 оноо)
 $P_2V_4^{4/3} = P_1V_1^{4/3}$

Тодорхойлолт ёсоор

$$\frac{T_1}{T_2} = -\frac{Q_1}{Q_2} = -\frac{P_1(V_2-V_1)}{P_2(V_4-V_3)} = -\frac{P_1^{\frac{1}{4}}P_2^{\frac{3}{4}}(V_3-V_4)}{P_2(V_4-V_3)} = \frac{P_1^{\frac{1}{4}}}{P_2^{\frac{1}{4}}}. \quad (0.5 \text{ оноо})$$

Иймд температур даралтыг $T = AP^{1/4}$ гэж холбоно, үүнд A нь дурын тогтмол.

Иймээс $P = 1$ үед $T = 1$ гэдээс $T = P^{1/4}$ байна. (1 оноо)

(e) Тэгэхээр дотоод энерги $U = T^4V$. (1 оноо)

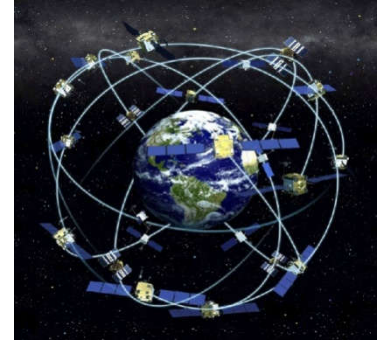
Иймд дулаан багтаамж $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = 12 T^3 V$. (1 оноо)

(f) Энтропи нь $S = \int_0^T C_V \frac{dT}{T} = 12V \int_0^T T^2 dT = 4T^3V = 4P^{3/4}V$. (2 оноо)

ХИЙМЭЛ ДАГУУЛ МАНАЙ ОРОНД

Хиймэл дагуул гэж юу вэ? Хиймэл дагуул гэдэг нь хүний гараар зохион бүтсэн, тойрог замд байрлуулсан зүйлийг хэлдэг. Хүн төрөлхтний бүтээсэн анхны хиймэл дагуул болох Спутник-1 Зөвлөлт холбоот улсаас бүтээж, 1957 онд хөөргөжээ. Энэ цагаас хойш маш олон хиймэл дагуул дэлхийн тойрог замд орон мэдээлэл авч, илгээж байгаа билээ.

Хиймэл дагуул нь олон янзын зорилгоор ашиглагддаг ба гол төрлүүд нь цэрэг болон иргэний зориулалттай дэлхийн ажиглалтын хиймэл дагуулууд, холбооны хиймэл дагуулууд, навигацийн хиймэл дагуулууд, цаг уурын хиймэл дагуулууд, судалгааны хиймэл дагуулууд юм (Зураг 2, Хүснэгт 1). Хиймэл дагуулын тойрог зам нь зорилгоосоо шалтгаалаад янз бүр байдаг бөгөөд олон янзаар ангилагддаг. Үүнд: дэлхийн доод тойрог зам, туйлын тойрог зам, геостанцын тойрог зам (Зураг 1).



Зураг 1. Хиймэл дагуулын тойрог зам

Навигацийн хиймэл дагуул

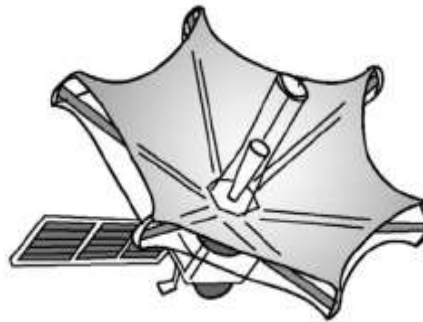
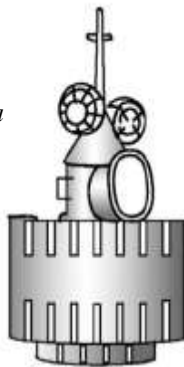


Дэлхийн судалгааны хиймэл дагуул

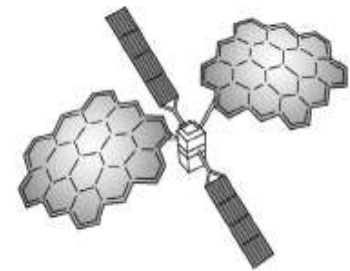


Харилцаа, холбооны хиймэл дагуул

Цаг уурын хиймэл дагуул



Одон орон судлалын хиймэл дагуул



Инженерийн хиймэл дагуул

Хиймэл дагуулын төрөл = Хиймэл дагуулын загварууд

Зураг 2. Хиймэл дагуулын зориулалтын төрлүүд

Хиймэл дагуулын төрлүүд		
Хэмжээ	Масс	Хиймэл дагуулын зорилго, төрөл
Том	1000 кг-аас их	Олон төрлийн зориулалттай, өндөр хүчин чадалтай хиймэл дагуул (дэлхийн судалгаа, Одон орон судлал, цаг уур, навигаци)
Дундаж	500 - 1000 кг	Өндөр хүчин чадал бүхий хиймэл дагуул (байран хиймэл дагуул, харилцаа холбоо, цаг уурын хиймэл дагуулууд хамаарна)
Жижиг	100 - 500 кг	Дэлхийн судалгаанд (зайнаас тандан судлал, байгаль орчны судалгаа, байгалийн гамшгийн мониторинг) шинжлэх ухааны зориулалтаар мөн технологийн хөгжил гэх мэт
Микро	50 - 100 кг	Цөөн тооны онцгой загварууд
Нано	20 - 50 кг	Энгийн хиймэл дагуул, хэтэрхий өндөр хүчин чадалтай биш ч зардлын хувьд уян хатан (дэлхийн судалгаа, технологийн хөгжил, инженерийн боловсрол)
	3 - 20 кг	Технологийн хөгжил, боловсрол, шинжлэх ухааны зориулалттай
Пико	1 - 3 кг	Ихэвчлэн технологийн хөгжил боловсролын зориулалттай. Гүнзгийрүүлэн суралцаж буй оюутнуудад зориулсан загвар

Кансат гэж юу вэ?



- 1998 оны 11 сард Хавай дахь Одон орон судлалын Сургуулийн Проф. **Боб Твиггс** Кансатыг үндэслэн гаргаж өгч байсан.

Энэ нь бичил технологи ба 350 мм-ийн хэмжээтэй, жижиг лаазанд суурилагдсан, газрын гадаргаас дээш өндөрт хөөргөн мэдээ хүлээж аван, туршилт судалгаа хийх зориулалттай хиймэл дагуулын үндсэн бүтэцтэй төхөөрөмж юм.

Манай орон анх 2011 оны 11 сарын 16-нд Олон улсын Их сургуулиудын оюутны инженерийн холбоо (UNISEC)-д нэгдэж үндэсний удирдагчаар МУИС-ийн Физикийн тэнхим, Сансар судлалын лабораторийн эрхлэгч



дэд проф. Р.Цолмон сонгогдон ажиллаж байна (<http://www.unisec-global.org/pointofcontact.html>).

2012 онд анх удаа МУИС-ийн судлаач багш Япон улсад “Кансат удирдагч хөтөлбөр” сургалтанд амжилттай хамрагдсан. UNISEC болон Nihon их сургуулийн оюутнууд уг хөтөлбөрийг зохион байгуулсан. Оролцогч оюутнуудад Кансатыг хийхэд болон агаарын бөмбөлгөөр турших мөн пуужингаар хөөргөхөд зааж сургаж байсан нь оюутнуудад маш их туршлага болж өгсөн (Зураг 3). 2012 оноос хойш Кансат удирдагч хөтөлбөрт (CLTP) Монгол улсаас нэг судлаач жил бүр оролцдог болсон. Одоогийн байдлаар 4 судлаач багш, оюутнууд уг хөтөлбөрт хамрагдаад байна (<http://www.cltp.info/>).



Зураг 3. Кансат удирдагч хөтөлбөрт оролцогчид, МУ-ын анхны оролцогч Б.Батмөнх МУИС-ийн судлаач, 2012 он



Зураг 4. Монгол улсын Кансатын баг, 2012 он

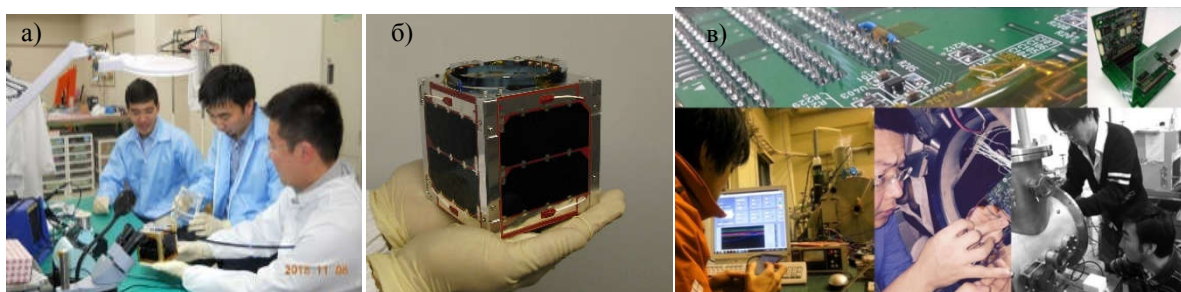
Энэхүү сургалтыг анх удаа Монголын их, дээд сургуулийн оюутнуудын дунд 2013 оны 3 сард амжилттай зохион байгуулж, Үндэсний анхдугаар тэмцээнийг зохион

байгуулсан билээ. Мэдээлэл, шуудан, харилцаа холбооны газар (МШХХГ), Монгол Улсын Их сургууль (МУИС) хамтран зохион байгуулсан. Тэмцээнд амжилттай оролцсон баг Испани улсын Мадрид хотод олон улсын Кансатын тэмцээнд оролцож алт, хүрэл медалийг хүртэж байсан түүхтэй (Зураг 4). Үндэсний хэмжээний сургалт, тэмцээнийг жил бүр зохион байгуулдаг уламжлалтай болж оролцогчдын тоо, зохион бүтээгчдын ур чадвар жилээс жилд нэмэгдэж байна.

Кубсат хиймэл дагуул: энэ хиймэл дагуулд 0 – 500 кг масстай хиймэл дагуулууд хамаардаг. Үүнд: жижиг, микро, нано, пико хиймэл дагуулууд. Кубсат хиймэл дагуулын хэмжээг 0.5U – 12U гэсэн хэмжээтэй нэгжийн хувьд нэрлэдэг ба U гэдэг нь unit гэсэн үгний товчлол юм.

Манай орны сансрын инженерүүдийн гараа Кансат төхөөрөмжөөс үүдэлтэй юм. Монгол улс 2017 онд **анхны хиймэл дагуул** хөөргөх зорилготойгоор МУИС, Япон улсын Кюүшү технологийн институттай хамтран BIRDS төсөл дээр ажиллаж байна.

BIRDS төслийн тухайд Монгол, Гана, Нигери, Япон, Бангладеш зэрэг орны нийт 15 оюутан (Монголын 3 оюутан), Кюүшүгийн технологийн институтын 4 Багш, ажилтан, хиймэл дагуул хөөргөөгүй улсууд болон их сургуулиудын хувьд анхны хиймэл дагуул нь байхаар уг ажлыг эхлүүлэн амжилттай явж байна.



Зураг 5. а) BIRDS төсөлд ажиллаж буй Монгол оюутнууд, б) Кубсат хиймэл дагуул, в) лабораторит ажиллаж буй байдал

2015 оны 10-р сараас 2016 оны 2-р сарыг хүртэл "BIRDS" төслийн ажлууд маань "Даалгавар тодорхойлох" болон "Урьдчилсан шатны загварын шийдэл" гэсэн хоёр том хэлэлцүүлгээ амжилттай даваад одоо инженерийн загвараа хийж байна.

Хиймэл дагуул нь 10 см куб хэмжээтэй, Японы сансрын агентлаг (JAXA)-аар дамжуулан Олон Улсын Сансрын станцаас (ISS) хөөрнө. Газрын станц МУИС дээр Нано-хиймэл дагуул хөгжүүлэлтийн лабораторид байршуулна. Багаж тоног

төхөөрөмжүүдийг Инженер, технологийн дээд боловсрол (1000-инженер) төслийн хүрээнд авна.

Хиймэл дагуул нь дараах 6 төрлийн онцлог, зорилготой ажиллана.

1. Эх орныхоо зургийг сансраас авч илгээх.

Хиймэл дагуулд байрлах өндөр нягтаршилтай камерыг ашиглан дэлхийн болон эх орныхоо зургийг сансраас хэсэгчлэн авч илгээх.

2. Хиймэл дагуулаас радио долгионоор дуу цацах.

437 MHz давтамжтай радио долгионоор Монгол Улсын Төрийн Дуулал (өөр дуу байж болно) сансраас цацах. Сонирхогчдын газрын станц болон гар хийцийн жижиг хүлээн авагчаар хүлээн авч сонсох боломжтой. Мөн газрын станцаас дууг хиймэл дагуул руу илгээж түүнийг сонсох боломжтой (дуу зохиогчийн эрхийн зөрчилгүй байх).

3. Хиймэл дагуулын байрлал тодорхойлох.

Хиймэл дагуулаас цацаж буй радио долгионыг орон бүрт орших газрын станцууд дээр хүлээж авсан сигналын хугацааны зөрүүгээр хиймэл дагуулын байрлалыг нарийвчлал өндөртэй тодорхойлох.

4. 400 км өндөр дахь агаарын нягтыг тодорхойлох.

400 км өндөр дахь сансрын орчинд агаар хэдийгээр маш сийрэг байдаг ч гэсэн тэрхүү агаарын үрэлтийн улмаас хиймэл дагуулын хурд удааширч, өндрөө алдаж эхэлдэг. Хиймэл дагуулын байрлалыг тодорхойлох замаар уг өндөр дахь агаарын нягтыг тодорхойлох юм.

5. Single Event Latch-Up үзэгдлийг судлах.

Электроникийн хагас дамжуулагч төхөөрөмжүүд сансрын орчны өндөр энергит бөөмийн цацрагаас болж ажиллах нас багасаж эвдрэл үүсдэг. Хагас дамжуулагч элемент дотор үүсэх “Single Event latch-up” хэмээх энэ үзэгдлийн давтамжийг хиймэл дагуулын орбитын байрлалаас хамааруулан бүртгэх.

6. Хиймэл дагуулын газрын станцуудыг олон улсын сүлжээ болгон ажиллуулах.

Монгол, Япон, Тайланд, Тайван, Гана, Нигер, Бангладеш зэрэг орнуудын газрын станцыг интернетийн сүлжээгээр холбон хиймэл дагуулыг дэлхийн нөгөө хагасаас удирдах боломжтой гарзрын станцын сүлжээ бий болгон ажиллуулах гэх мэт онцлогтой.

Энэ хиймэл дагуулыг хөөргөхөд шаардагдах 100.000 доллар шаардлагатай ба 50.000 долларыг МУИС гарган ажиллаж байна, үлдсэн 50.000 долларыг хандив цуглуулан олохоор ажиллаж байна. Банкны дансыг 2016 оны 3 сарын 22-ны өдөр анх нээсэн ба

шилэн дансны хуулийн дагуу өөрсдөө дансаа шалгах боломжтой байршуулсан ба дараах линкээр дэлгэрэнгүй мэдээлэл авах боломжтой (<http://www.num.edu.mn/satellites/>). Физикийн салбараас төрөн гарсан оюутнууд уг хиймэл дагуулыг зохион бүтээх ажилд оролцож байгаа билээ.

Та бүхэн энэхүү ажлыг дэмжин оролцохыг хүсвэл доорхи дансанд өөрийн хандиваа хийнэ үү.

Хандивын данс:

Дансны нэр: МУИС-хиймэл дагуул

Данс: Хаан банк 5041392345₮

*Мэдээллийг эмхэтгэсэн: Н.Энхжаргал
Монгол Улсын Их Сургууль*

ФИЗИК, ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН – 55 ЖИЛ

Док. Г. Сэвжидсүрэн

ШУА-ийн Физик технологийн хүрээлэн

Хагас зуун жилийн түүхтэй тус хүрээлэн нь Монгол улсад физик, техник технологийн онолын болон хавсарга судалгааг хөгжүүлэн физикийн шинжлэх ухааны ололт амжилтыг улс орны хөгжил цэцэглэлтэд түүчээлэн авчирсан эрдэм шинжилгээ судалгааны бие даасан томоохон төв билээ. Тус хүрээлэнд *онолын физик, цөмийн ба эгэл бөөмсийн физик, хатуу биеийн физик, биофизик, электроник, дулааны физик, оптик спектроскопи, нано технологийн* чиглэлээр суурь судалгааны сэдэвт ажлууд, шинжлэх ухаан технологийн, инновацийн, цөм технологийн төслүүд хэрэгжиж байгаагаас гадна манай эрдэмтэд олон улсын судалгааны хамтарсан төсөл, хөтөлбөрт оролцон ажиллаж байна. Манай эрдмийн хамт олон квант орны онол, эгэл бөөмсийн болон цөмүүдийн харилцан үйлчлэл, түүнийг судлах орчин үеийн математик аргууд зэрэг шинэ мэдлэг бий болгох, түгээх онолын судалгааны зэрэгцээ уламжлалт болон орчин үеийн технологийг хослуулан өндөр үр ашигтай шинэ технологи, өвөрмөц, онцгой шинж чанар бүхий материал бий болгох, инноваци нэвтрүүлэх зэргээр оюуны бүтээлийг хэрэглээний бүтээгдэхүүн болгоход чиглэсэн олон арван судалгааг явуулж байна. Судалгааны ажлын үр дүнг орчин үеийн шаардлагад нийцүүлэх, шинжлэх ухааны ач холбогдлыг нийгэмд сурталчлан таниулах, техник технологийн шинэ шийдлийг нэвтрүүлэх, эрдэм шинжилгээ – сургалт, эрдэм шинжилгээ – үйлдвэрлэл зэрэг зохимжтой хэлбэрийг оновчтойгоор хослуулан хөгжүүлэх, монгол залуусын оюуны чадамжийг дэлхийд таниулах зэрэг олон ажлуудыг бид олон улсын нэр хүндтэй их, дээд сургуулиуд, эрдэм шинжилгээний байгууллага төвүүдтэй хамтран амжилттай гүйцэтгэж байна.

ТҮҮХЭН ЗАМНАЛ

БАЙГАЛИЙН УХААНЫ ХҮРЭЭЛЭН	1961 ОН
ХИМИ-ФИЗИКИЙН ХҮРЭЭЛЭН	1964 ОН
ФИЗИК МАТЕМАТИКИЙН ХҮРЭЭЛЭН	1968 ОН
ФИЗИК ТЕХНИКИЙН ХҮРЭЭЛЭН	1973 ОН
ФИЗИК ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН	1997 ОН

ЭРХЭМ ЗОРИЛГО

Физикийн шинжлэх ухаан ба технологийн чиглэлээр эрдэм шинжилгээ, судалгааны ажлыг дэлхийн жишгээр явуулж, үр дүнг практикт нэвтрүүлэх, байгалийн шинжлэх ухааны орчин үеийн ололт амжилтыг түгээн дэлгэрүүлэхэд оршино.

2020 ОН ХҮРТЭЛХ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ТЭРГҮҮЛЭХ ЧИГЛЭЛҮҮД

- Квант орны онолын судалгаа;
- Их энергитэй эгэл бөөмс, цөмийн харилцан үйлчлэлийн судалгаа;
- Хатуу биеийн физик, функциональ материалын физик технологийн судалгаа;
- Соно, фотобиофизикийн судалгаа;
- Энергийн альтернатив эх үүсгүүрийн технологи ба цацрагийн физикийн судалгаа;
- Физик электроник, автоматикийн онол, туршилтын ба мэдээллийн технологи,

ГАДААД ХАМТЫН АЖИЛЛАГАА

Физик, технологийн хүрээлэн нь ОХУ, ХБНГУ, АНУ, БНСУ, БНХАУ, Япон, Тайвань зэрэг дэлхийн 10 гаруй орны эрдэм шинжилгээний хүрээлэн төвүүд, их дээд сургуулиудтай хамтран ажилладаг. Түүнчлэн ОХУ-ын Дубна хотын Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институт, Швейцарийн Женев хот дахь Европын цөмийн судалгааны байгууллага (ЦЕРН), Австрийн Вена хот дахь Олон улсын атомын энергийн агентлаг, Германы Хамбург хотын Цөмийн судалгааны “DESY” төв, Италийн Триест хот дахь Олон улсын Онолын физикийн төв зэрэг олон улсын байгууллагуудад тус хүрээлэнгээс эрдэмтэн судлаачид ажиллаж байна.

ОНОЛЫН ФИЗИКИЙН САЛБАР

Салбарын эрхлэгч, Академич Х.Намсрай Утас: 99006180

Э-шуудан: n_namsrai@hotmail.com

Тус салбар нь квант орны онол, эгэл бөөмсийн болон цөмүүдийн харилцан үйлчлэлийн загвар ба онол, латтис квантхромодинамик, математик – физикийн аргууд зэрэг чиглэлүүдээр физикийн орчин үеийн онолын судалгааг олон улсын эрдэм шинжилгээний төвүүдтэй хамтран дэлхийн түвшинд явуулж байна. Онолын физик, математикийн 20 гаруй ном, товхимол, сурах бичиг, 1500 гаруй эрдэм шинжилгээний өгүүлэл бичиж хэвлүүлжээ. Одоо тус салбарт академич 1, доктор (Ph.D) 2, магистр 4 бүрэлдэхүүнтэй судалгааны баг ажиллаж байна. Салбарын эрхлэгч, академич

Х.Намсрайн физикийн шинжлэх ухаанд оруулсан хувь нэмрийг үнэлж, 2012 онд Шинжлэх ухаан технологийн салбарын "Байгаль нийгмийн ухааны" шагнал, 2014 онд Монгол улсын Ерөнхийлөгчийн зарлигаар "Чингис хааны одон"-оор шагнасан юм.

Квант орны физикийн лаборатори

- Байгаль дээрх дөрвөн хүчний нэгдлийг илэрхийлэх Их нэгдлийн онолыг эгэл бөөмсийн цэгэн бус үйлчлэлийн хүрээнд байгуулах судалгаа;

Латтис квантхромодинамикийн лаборатори

- Латтис тоон симуляцийн аргыг хэрэглэн их энерги, их нягттай материйн төлөв байдлыг судлах;

Математик - физикийн лаборатори

- Орчин үеийн математикийн онолын болон тооцооллын аргуудыг физикийн судалгаанд ашиглах;

ЭГЭЛ БӨӨМ, ЦӨМИЙН ФИЗИКИЙН САЛБАР

Салбарын эрхлэгч, Академич Ц.Баатар Утас: 99155008

Э-шуудан: baatar1945@yahoo.com

Тус салбар нь их энергитэй бөөм, цөмийн харилцан үйлчлэлээр олон бөөмс үүсэх процессын механизмын судалгааг явуулдаг. Энэ салбарт академич 2, доктор (Ph.D) 4, магистр 3 ажиллаж байна. Судалгааны ажлын үр дүнгээр 400 гаруй бүтээл хэвлүүлснээс 350-аад нь гадаадад хэвлэгдсэн байна. Тус салбарын эрдэмтдийн сүүлийн таван жилд хэвлүүлсэн бүтээлээс 2700 гаруй удаа ишлэл хийгджээ.

Их энергийн физикийн лаборатори

- Их энергийн физикийн туршилтын судалгааг Дубна, Церн, Деши зэрэг дэлхийн тэргүүлэх төвүүдтэй хамтран явуулах;

Физик процессын загварчлалын лаборатори

- Орчин үеийн тоон загварчлалын аргуудыг ашиглан эгэл бөөм, цөмийн физик процессийг математик загварчлалын аргаар судлах;

Феноменологийн лаборатори

- Эгэл бөөмийн Стандарт загвар, түүний онолын өргөтгөлүүдээс үүдэлтэй туршилтын үр дүнг тооцоолох, харгалзах үзэгдлийн загварчлал хийх;

МАТЕРИАЛ СУДЛАЛЫН САЛБАР

Салбарын эрхлэгч, Доктор (Ph.D) П.Алтанцог Утас: 99180626

Э-шуудан: altantsog@magicnet.net

Тус салбарт сүүлийн 10 гаруй жил нано хэмжээст, онцгой шинж чанартай материал болон газрын ховор элемент агуулсан нэгдэл гарган авах, тэдгээрийн кристал бүтэц, шинж чанар, хэрэглээний судалгаа хийгдэж ирлээ. Түүнчлэн хатуу биеийн электрон бүтцийн тооцоолол, функциональ материалын кристалл бүтэц, фазын шилжилт, материал судлалын хэрэглээний чиглэлээр судалгаа явуулж байна. Энэ салбарт 20 гаруй эрдэм шинжилгээний ажилтан ажилладгаас академич 1, доктор (Sc.D) 2, доктор (Ph.D) 6, докторант 6, магистр 6 ажилладаг.

Хатуу биеийн физикийн лаборатори

- Хатуу биеийн электрон бүтцийн ab-initio тооцоолол;
- Функциональ материалын кристал ба соронзон бүтэц, фазын шилжилтын судалгаа;

Наноматериалын лаборатори

- Нано хэмжээст, онцгой шинж чанартай материалуудыг гарган авах, тэдгээрийн шинж чанарын судалгаа;

Аналитик лаборатори

- Төрөл бүрийн дээжийн бүтэц, байгууламж, найрлага тодорхойлно. Бүтээгдэхүүний туршилт, үйлдвэрлэл, хяналтын явцад бүтэц, найрлага, цэвэршилтийн зэргийг орчин үеийн өндөр мэдрэмжтэй, нарийвчлал сайтай багажуудаар хийж гүйцэтгэнэ.

БИОФИЗИКИЙН САЛБАР

Салбарын эрхлэгч, Доктор (Ph.D) Р.Хоролжав Утас: 99721001

Э-шуудан: khoroljavr@yahoo.com

Биофизикийн салбар нь молекулын спектроскопи, уургийн молекулын бүтэц байгууламж, түүний өөрчлөлтийг люминесценцийн аргаар судалж ирсэн. Сүүлийн жилүүдэд биополимер, бага молекулт нэгдэл, байгаль экологийн нийлмэл системийн онолын судалгаа явуулж, улмаар тэдгээрийн бүтэц, найрлага, харилцан үйлчлэлийг атомын болон молекулын спектроскопи, соно болон фотохемилюминесценцийн аргуудаар судалж байна.

Тус салбарын эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан, доктор (Sc.D) Д.Нямаагийн судалгааны ажлын үр дүнг шинжлэх ухааны нээлт хэмээн албан ёсоор бүртгэжээ. Энэ салбарт төрийн соёрхолт 1, доктор (Sc.D) 2, доктор (Ph.D) 14, профессор 2, дэд профессор 1 тус тус ажилладаг.

Молекул биофизикийн лаборатори

- Биополимер, бага молекулт нэгдэл, нийлмэл системийн онолын болон туршилтын судалгааг явуулах;
- Биоматериалын технологи, хэрэглээг нэвтрүүлэх;

Атом спектроскопийн лаборатори

- Байгаль экологийн нийлмэл системийн найрлагыг атомын спектроскопийн аргаар тодорхойлох;

ТЕХНИК ТЕХНОЛОГИЙН САЛБАР

Салбарын эрхлэгч, Доктор (Sc.D) Д.Сангаа Утас: 99194346

Э-шуудан: dsangaadeleg@yahoo.com

Тус салбар нь шинжлэх ухаан, технологийн сүүлийн үеийн ололт амжилтанд тулгуурлан байгаль орчинд халгүй цахилгаан, дулааны энергийн үүсгүүрийн физик процессийн суурь судалгаа, цэнэгт бөөмс, цахилгаан соронзон долгион, Раман болон люминесценцийн цацраг бодистой харилцан үйлчлэх үзэгдэл, радио болон хүчний электроник, физикийн туршилтын автоматжуулалтын чиглэлээр судалгаа, туршилтын ажлыг эрхлэн явуулж байна. Тус салбарт 20 гаруй ажилтантайгаас академич 1, доктор (Sc.D) 1, доктор (Ph.D) 2, докторант 2, магистр 6 ажиллаж байна.

Цацрагийн физикийн лаборатори

- Цацрагийн физикийн судалгааг явуулж, цацрагийн технологийг хэрэглээнд нэвтрүүлэх;

Нар, альтернатив энергийн лаборатори

- Монгол орны газар зүйн байрлал, цаг агаарын нөхцөлд тохирсон нарны эрчим хүчийг цахилгаан болон дулааны энергид хувиргах техникийн оновчтой шийдэл, өндөр үр ашигтай технологийн нэвтрүүлэх;

Физик электроникийн лаборатори

- Физикийн туршилтын электроник, автоматикийн судалгаа боловсруулалт;

- Радио болон хүчний электроникийн техник технологийн судалгаа, боловсруулалт;

ИНФОРМАТИКИЙН САЛБАР

Салбарын эрхлэгч, Доктор (Ph.D) Б.Нэргүй Утас: 99185504

Э-шуудан: nerguib@gmail.com

Тус салбар нь компьютерийн ухаан ба мэдээллийн технологийн чиглэлээр эрдэм шинжилгээ, судалгааны ажил хийх, үр дүнг практикт нэвтрүүлэх, компьютерийн ухаан, мэдээллийн технологийн орчин үеийн ололт амжилтыг түгээн дэлгэрүүлэх зорилготой. Одоогийн байдлаар 20 гаруй эрдэм шинжилгээний ажилтан ажилладгаас доктор (Ph.D) 4, магистр 6 ажиллаж байна.

Системийн электрон загварчлалын лаборатори

- Байгалийн болон нийгмийн шинжлэх ухааны судалгаанд мэдээллийн технологи, компьютерийн загварчлал, параллель тооцооллын дэвшилтэт технологийг нэвтрүүлэх;

Симуляци, параллель тооцооллын лаборатори

- Эрдэм шинжилгээний байгууллагын мэдээллийн системийн дэд бүтцийг хөгжүүлэх (e-Science);

ХҮРЭЭЛЭНГИЙН БОЛОМЖ, ДАВУУ ТАЛ

Олон жилийн арвин их туршлагатай, мэргэшсэн эрдэм шинжилгээний ажилтнууд, эрдэмтэд, инженер техникийн чадварлаг багтай; Орчин үеийн өндөр нарийвчлалтай, бүрэн автомат багаж, тоног төхөөрөмж бүхий лабораториудтай.

ХАЯГ:

ФИЗИК ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН ЭНХТАЙВАНЫ ӨРГӨН ЧӨЛӨӨ 54Б,
УЛААНБААТАР 13330, МОНГОЛ УЛС

ХОЛБОО БАРИХ:

УТАС: +976 11 452313

ФАКС: +976 11 458397

ЦАХИМ ШУУДАН: info@ipt.ac.mn

ЦАХИМ ХАЯГ: www.ipt.ac.mn