

МОНГОЛЫН ФИЗИКИЙН НИЙГЭМЛЭГ



ФИЗИК

Шинжлэх ухаан, танин мэдэхүйн сэтгүүл

Дугаар №5

Улаанбаатар хот

2019 он

DDC
070
M-695

Published by the NUM Press, Ulaanbaatar, Mongolia
© The National University of Mongolia, 2019
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

Док. Г.Эрдэнэ-Очир

Монгол Улсын Их Сургууль

Cover figure: This incredible black hole photo confirms Einstein's theory of general relativity. (Image: GETTY/EHT COLLABORATION)

<https://www.express.co.uk/news/science/1112479/Black-hole-picture-albert-einstein-general-relativity-black-hole-photo-m87-event-horizon>

ГАРЧИГ

Монгол улсын эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн харьцуулсан анализ:	1
Цөмийн эрчим хүч ашиглах боломж	
Г.Хүүхэнхүү	
Альберт Эйнштейн дэлхийн шинжлэх ухааныг хэдэн шатаар	26
ахиулсан хосгүй ухаантан	
Профессор Н.Түгжсүрэн	
Максвеллийн тэгшитгэлүүд	42
Д.Эрдэнэбаатар, П.Түвшинтөр, Г.Шилагарди	
Агаарын бохирдол	54
Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, П.Зузаан, Д.Шагжжамба	
Физикийн эгзэгтэй бодлого	67
Г.Мөнхбаяр, М.Отгонбаатар	

Монгол улсын эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн харьцуулсан анализ:

Цөмийн эрчим хүч ашиглах боломж

Г.Хүүхэнхүү

МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төв

Нэг. Өмнөх үг

Дэлхий нийтэд ашиглагддаг энерги гэдэг нэр томъёоны оронд манайд эрчим хүч гэсэн орчуулгыг хэрэглэдэг болжээ. Ерөнхий боловсролын дунд сургуульд сурсан хүн бүр хөдөлгөөнтэй холбоотой кинетик энерги, харилцан үйлчлэлээс хамаардаг потенциал энерги гэж заалгаж, ойлгож байсан. Гэтэл кинетик эрчим хүч, потенциал эрчим хүч гэвэл ойлгомжгүй, утга муутай болно байх. Ийнхүү, ерөнхий утгаар нь авч үзвэл оновч муутай ч гэсэн цахилгаан, дулааны үйлдвэрлэл, хэрэглээний тухай энэхүү өгүүлэлд нэгэнт хэвшсэн эрчим хүч гэдэг нэршлийг ашиглая.

Энерги нь физикийн шинжлэх ухааны ойлголт бөгөөд байгаль дээр маш олон янзын энерги байдаг учир түүнд нэгэн утгатай тодорхойлолт өгөхөд төвөгтэй [1]. Нилээд өргөн утгаар нь энергийг биетүүдийн хөдөлгөөн ба харилцан үйлчлэлийн ерөнхий тоон хэмжээ гэж үзэж болно [2]. Энергийн өөрчлөлтийг гүйцэтгэсэн ажлаар нь тодорхойлж болдог. Тиймээс энергийг заримдаа ажил гүйцэтгэх чадвар гэж тодорхойлдог [3]. Ажлыг физикийн шинжлэх ухаанд төрлөөс нь хамааруулан хэдэн янзаар тодорхойлдог. Жишээ нь, механикт аливаа биетийг нэг байршлаас нөгөөд зөөхөд хийгдсэн ажлыг үйлчилсэн хүч, туулсан зам хоёрын үржвэрээр, цахилгаан хүчээр цэнэг зөөхөд гүйцэтгэсэн ажлыг уг цэнэгийн хэмжээ, потенциалын ялгавар буюу хүчдэл хоёрын үржвэрээр тус тус илэрхийлдэг. Энерги оргүй хоосноос буй болохгүйн зэрэгцээ устаж алга болдоггүй. Энерги зөвхөн нэг хэлбэрээс нөгөөд хувирч шилжиж байдаг зүйл. Байгальд маш түгээмэл энэ чанарыг энерги хадгалагдах хууль гэх ба үүнийг ашиглан хүн төрөлхтөн цахилгаан эрчим хүч гаргаж ашигладаг. Энерги буюу эрчим хүч зарцуулахгүйгээр ажил хийгдэхгүй. Ажил хийгдэхгүй бол хүн төрөлхтөний амьдрал байхгүй. Тиймээс эрчим хүч нь хүн төрөлхтөний оршин байх үндэс юм.

Байгаль дээр механикийн, цахилгааны, дулааны, химийн, цацаргалтын, атом цөмийн зэрэг эрчим хүчний олон төрөл байдаг [4]. Хүн төрөлхтөн дээр үеэс эдгээр эрчим хүчийг мэдлэг чадварынхаа хирээр ашиглаж иржээ. Эхлээд дулааны эрчим хүч буюу гал гаргах гэж хоёр модыг хооронд нь үрдэг байснаа, дараа нь хэт цахиж, чүдэнз зурж, орчин үед атомын цөмийг задалж байна. Дэлхийн улс орнуудын хөгжил, ирээдүй, ард түмнийх нь амьдрал ахуйг эрчим хүчгүйгээр төсөөлөх аргагүй. Улс орнууд эрчим хүчний асуудлаа өөрийн нөөц бололцоондоо, дэлхийн шинжлэх ухаан технологийн хөгжил, чиг хандлагад тулгуурлан шийдэж байна.

Шинжлэх ухаан технологийн үсрэнгүй хөгжлийн эрин болсон 21-р зуун гарчихаад байхад хот суурин газруудын утаа, агаарын бохирдол хэрээс хэтэрч, цахилгаан тасалж, хязгаарлалт хийдэг байдал хэвийн үзэгдэл болсон манай орны хувьд эрчим хүчний асуудлаа зөв зохистойгоор цаг алдалгүй шийдэх нь төр засгийн өмнө тулгарч буй нэн тэргүүний зорилт байх ёстой. Энэ зорилтыг хэрэгжүүлэхэд өөрийн санал бодлоо нэмэрлэхийн тулд дэлхийн эрчим хүчний системийн төлөв байдал, ирээдүйн чиг хандлага, манай орны эрчим хүчний өнөөгийн байдал, тулгамдаж буй асуудлууд, тэдгээрийг шийдэх боломжуудын тухай энэхүү өгүүллийг уншигч танд толилуулж байна.

Энэ өгүүллийг бичихэд ашигласан бүх мэдээллийн эх сурвалжийг бүгдийг жагсаавал их олон болох тул зөвхөн зарчмын шинж чанартай заримыг нь өгүүллийн

эцэст ишлэл болгон бичив. Интернетэд тавигдсан нээлттэй мэдээллүүдэд ишлэл хийлгүй орхив.

Хоёр. Монгол улсын эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн төлөв байдал, тулгамдаж буй асуудлууд

19-20 дугаар зууны зааг дээр Америк жуулчин Джемс Лойдес: “Би сүүлийн хагас зуун жил янз бүрийн олон орноор аялахад одоог хүртэл цахилгаан гэрэл үзээгүй хэдхэн орон тааралдсаны нэг нь Монгол юм...” гэсэн нь түүхэнд тэмдэглэгдэн үлджээ. Ингэж хэлүүлж байсан Монгол улс 1912-1914 онуудад Хаант Орос улсын 5 сая рублийн зээлийн хөрөнгөнд багтаан 20 киловатт (кВт) чадалтай жижиг цахилгаан станц авч, ашиглалтад оруулснаар анх цахилгаан гэрэлтэй болсон байна [5]. Үүнээс хойш манайхны шүүмжлэх дуртай, төлөвлөгөөт эдийн засагтай социалист нийгмийн үед төр засгаас улс орноо эрчим хүчээр хангах асуудлыг онцгойлон анхаарсны үр дүнд чамлахааргүй бүтээн байгуулалтын ажлыг дэс дараатайгаар гүйцэтгэсэн юм. 1934 онд Улаанбаатар хотод Төв цахилгаан комбинат, 1958 онд Сүхбаатар хотод нүүрсээр ажилладаг дулааны цахилгаан станц (ДЦС), 1961 онд Улаанбаатарт 2-р ДЦС, 1966 онд Дарханд ДЦС, 1968 онд Улаанбаатарт 3-р ДЦС, 1969 онд Чойбалсанд, 1975 онд Эрдэнэтэд ДЦС-ууд, 1983 онд Улаанбаатарт 4-р ДЦС тус тус баригдаж улс орноо цахилгаан, дулаанаар хангадаг болов. Мөн 1983 онд Багануурт баригдсан дулааны эрчим хүч гаргадаг станцыг 1989 онд өргөтгөжээ [6].

Сүүлийн жилүүдэд дээр дурдсан ДЦС-уудад өргөтгөл, шинэчлэлийн ажил нилээд хийгдэж, анхны суурилагдсан хүчин чадлыг нь нэмэгдүүлж байна. Тухайлбал, 2014 онд манай орны төвийн бүсийн цахилгаан эрчим хүчний 70%, Улаанбаатар хотын дулааны 60 гаруй хувийг дангаараа хангадаг 4-р ДЦС-д 123 Мегаватт (МВт)-ын өргөтгөл хийж, суурилагдсан хүчин чадлыг 703 МВт цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх хэмжээнд хүргэв. 2015 онд Улаанбаатар хотын 3-р ДЦС-д 50 МВт-ын өргөтгөл хийж, хүчин чадлыг 198 МВт болгов. 2016 онд Амгалангийн 348 МВт чадалтай дулааны станцыг (цахилгаан үйлдвэрлэдэггүй) БНХАУ-ын хөрөнгө оруулалттайгаар барьж, 4-р ДЦС-ын охин компани байдлаар ашиглалтад оруулсан билээ. Харамсалтай нь, газрын хөрсөн доорх усны нөөц, түүний динамикийг урьдчилан сайн судалж, тооцоолоогүйгээс болоод 2018 оноос 2019 онд шилжих өвөл Амгалангийн дулааны станцын ойролцоо их хэмжээний ус оргилон гарч хөлдөөд, мөс хуримтлагдан, хавар усанд автаж, уг станцын үйл ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлж болзошгүй тухай мэдээлэл цацагдлаа. Мөн бусад жижиг ДЦС-ууд, уурын зуух, дизел станцуудад өргөтгөл, шинэчлэлийн ажил хийгдэж байна.

Нар, салхи, усны урсгал, газрын гүний дулаан зэрэгт үндэслэсэн сэргээгдэх эрчим хүч (СЭХ)-ийг ашиглах талаар манайд сүүлийн үед нилээд ажил хийгдэж байна. Эдгээрээс салхины эрчим хүчийг ашиглан салхин цахилгаан станц (СЦС) барих ажил арай илүү хурдацтай хэрэгжиж, улс орны эрчим хүчний системд тодорхой хувь нэмрээ оруулж байна. Төв аймгийн Сэргэлэн сумын нутагт 50 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай “Салхит” станцыг 2013 онд ашиглалтад оруулж, Дорноговь аймагт 55 МВт хүчин чадалтай “Сайншандын салхин парк” 2018.09.21-нд нэгдсэн сүлжээнд цахилгаан нийлүүлж эхэллээ.

Манайд ашиглах боломжтой сэргээгдэх эрчим хүчний хоёр дахь эх үүсвэр бол нарны туяа юм. Сүүлийн жилүүдэд манайд 100 мянган нарны зай зэрэг төсөл, хөтөлбөрүүд дэвшигдэн, жижиг оврын зөөврийн нарны эрчим хүчний төхөөрөмжүүд хөдөөгийн айлуудад тавигдан цахилгаан гэрэлтэй болгож байна. Мөн Дарханы Хонгор суманд Герман, Швед, Японы тоноглол бүхий 10 МВт хүчин чадалтай нарны цахилгаан станц (НЦС) 2017 онд, жилд 32 сая кВтц эрчим хүч үйлдвэрлэх хүчин

чадалтай 15 МВт-ын НЦС Дорноговь аймгийн Замын үүд суманд 2018 онд тус тус ашиглалтад оров.

Манай СЭХ-ний гуравдахь эх үүсвэр бол голын усны урсгалд суурилсан усан цахилгаан станц (УЦС) юм. 1959 онд тэр үеийн Зөвлөлт Холбоот Улсын тусламжаар манайд анхны жижиг УЦС ашиглалтад орж байсан баримт байдаг [5]. Гэвч манай гол мөрнүүдийн усны нөөц харьцангуй бага, ихэнх нь өвөл хөлддөг, хавар ширгэдэг зэргээс болоод усны эрчим хүчийг ашиглахгүй шахам явж ирсэн бөгөөд сүүлийн жилүүдэд СЭХ-ийг ашиглах асуудал эрчимтэй тавигдсаны дүнд одоо 10 гаруй жижиг УЦС ажиллаж байна. Хархорины 528 кВт, Чигжийн 200 кВт, Богдын 2 МВт, Манханы 150 кВт, Гуулингийн 480 кВт, Тайширын 10.35 МВт, Дөргөний 12 МВт чадалтай УЦС-ууд тухайн орон нутгаа цахилгаан эрчим хүчээр хангахад хувь нэмрээ оруулж байна [6].

Манайд ашиглах боломжтой гэгддэг СЭХ-ний 4 дэх эх үүсвэр нь газрын гүний дулаан юм. Хангай, Хэнтий, Хөвсгөл, Алтайн нуруу, Дорнод-Даригангын тал, Орхон-Сэлэнгийн бүсэд 40 гаруй халуун рашааны эх ундрагатай. Эдгээрийг дулааны эрчим хүчний үүсгүүр болгон өргөнөөр ашиглахад нөөц, газарзүйн байршил зэргээсээ болоод төдийлөн тохиромжтой бус байдаг. Орон нутгийн шинж чанартай, цөөн тооны барилга байгууламжийг халааж, дулаацуулахад ашиглах боломжтой. Тийм туршилт ч манайд мэр сэр хийгдэж байна.

Дээр дурдагдсан баримтуудад үндэслэн манай орны цахилгаан эрчим хүчний системийн одоогийн байдлыг нэгтгэн дүгнэвэл, уламжлалт буюу нүүрсээр ажилладаг ДЦС-ууд болон СЭХ-ний эх үүсвэртэй харьцангуй томоохон гэж болох нийт 15 байгууламжууд 1277 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай ажиллаж, дотоодын хэрэгцээнийхээ 80 орчим хувийг хангаж байна. Үлдсэн 20 гаруй хувийг ОХУ болон БНХАУ хоёроос импортоор авдаг. 2017 оны сүүлчээр манай төвийн бүсийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ 1000 МВт буюу 1 Гегаватт (ГВт) хүрлээ.

Манай улс эрчим хүчний системээ төвийн, Алтай-Улиастайн, баруун ба зүүн бүсийн гэж 4 хувааж ирлээ [6]. Сүүлийн үед говийн бүсийг тусд нь авч үзэх шаардлагатай болж байна. Эдгээр бүсүүдийн хувьд тулгамдаж буй асуудлууд, тэдгээрийг шийдвэрлэхээр хэрэгжиж, төлөвлөгдөж, яригдаж буй төсөл хөтөлбөрүүдийг товчхон авч үзье.

Төвийн бүс. Төвийн эрчим хүчний систем нь хамгийн том бөгөөд Улаанбаатар хот, 11 аймаг дамжсан улсын хүн амын 60 гаруй хувь, газар нутгийн 40 орчим хувийг хамардаг бөгөөд 1976 онд тэр үеийн Зөвлөлт Холбоот Улс (одоогийн Оросын Холбооны Улс)-ын эрчим хүчний нэгдсэн системд холбогдсон, цахилгаан эрчим хүчний хангамжаар хамгийн гайгүй бүсэд тооцогддог. Гэвч цахилгаан тасрах, хязгаарлалт хийгдэх явдал байсаар байгаагийн зэрэгцээ, улс орон хөгжиж, эдийн засаг өргөжин үйлдвэржихийн хирээр эрчим хүчний хэрэгцээ жилээс жилд өсч байна. 2020 он гэхэд эрчим хүчний суурилагдсан хүчин чадлыг 2000 МВт хүргэхийн зэрэгцээ нөөцөнд 400 МВт байх шаардлагатай гэсэн тооцоо байдаг. Улаанбаатар хотод 450 МВт цахилгаан гаргах чадалтай 5-р ДЦС-ыг концессийн гэрээгээр, 1.5 тэрбум орчим Ам.долларын өртөгтэйгээр барина гэж яриад багагүй хугацаа өнгөрсөн боловч байгуулах газраа ч шийдэж чадахгүй өнөөдрийг хүрлээ. Барьсан компани 15 жилд зардлаа нөхөөд, 10 жил цэвэр ашиг олоод, 25 жилийн дараа Монголд шилжүүлэн өгөхийн тулд 1 кВтц цахилгаан эрчим хүчээ 7 центээр борлуулна гэж байна. Өнөөдөр Улаанбаатарт айл өрхүүдэд борлуулагдаж буй 1 кВтц цахилгаан эрчим хүчний үнэ дундчаар 4-5 цент орчим гэвэл 5-р ДЦС-аас борлуудагдах эрчим хүч үүнээс өндөр үнэтэй байх төлөвтэй.

Үүнээс гадна Улаанбаатар хотын утаа, агаарын бохирдлыг бууруулахаар 750 тэрбум төгрөг зарцуулсан гэх боловч олигтой үр дүнд хүрсэнгүй. 2019 онд агаарын

бохирдлыг бууруулахад улсын төсвөөс 74 тэрбум төг. төсөвлөгдсөн гэж байгаа. Одоо нийслэлд нүүрсээр ажилладаг 5-р ДЦС-ыг барьж ашиглавал нийслэлд хүн амьдрахад бүр хэцүү болох нь ойлгомжтой. Зарим хүмүүс том яндангийн утаа тортгийг шүүх замаар агаарын бохирдлыг бууруулж болно гэдэг. Өндөр хөгжилтэй, олон тооны яндантай гадаад орнуудад тийм арга технологи байдаг, хэрэглэдэг нь үнэн. Тэдгээр оронд том хэмжээний янданд шүүгдэж хуримтлагдсан хөө тортгийг цэвэрлэдэг, засвар үйлчилгээ хийдэг, хуучин тоног, төхөөрөмжийг шинээр сольдог алба, мэргэшсэн хүмүүс жилийн дөрвөн улирлын турш ажиллаж байдаг. Манайх шиг томоохон гэхээр хэдхэн яндантай улс тийм албатай байх нь маш үрэлгэн зардал болно. Улаанбаатарын 3 ба 4-р ДЦС-уудад яндангийн утаа шүүх төхөөрөмж тавьж ажиллуулсан боловч олигтой үр дүн өгөхгүй байгааг харж болно. Энэ нь засвар үйлчилгээ дутсантай холбоотой. Ер нь нүүрсний утааг шүүж авч үлдэх технологи бүрэн боловсрогдоогүй, боловсруулалтын шатандаа байгаа бөгөөд энэ аргыг хэрэглэсний нэмэгдэл зардал нь үйлдвэрлэж буй эрчим хүчний үнэ, өртгөнд шууд нөлөөлдөг [7]. Тиймээс Улаанбаатарт нэмж томоохон хэмжээний ДЦС барих асуудал ихээхэн маргаан дагуулах нь ойлгомжтой.

Багануурт 1.2 тэрбум орчим Ам.долларын хөрөнгөөр 700 МВт ДЦС-ыг мөн концессийн гэрээгээр барьж, 1 кВтц эрчим хүчийг 7 центээр борлуулахаар яригддаг. Эндээс Улаанбаатар хотыг нилээд өндөр үнэтэй цахилгаанаар тодорхой хугацаанд хангаж болох ч дулааны хангамжийн асуудал шийдэгдэхгүй үлдэнэ. Дулааныг цахилгаан шиг алс зайд дамжуулдаг арга технологи одоогоор дэлхийд байхгүй тул эх үүсвэр нь хэрэглэгчдээ ойр байхаас өөр аргагүй. Иймээс Улаанбаатар хотын цахилгаан, дулааны хангамжийг утаагүй технологи ашиглан, цогцоор нь шийдэх хэрэгтэй байна.

Зарим хүмүүс цахилгааныг алсаас, тухайлбал Багануураас ч юмуу, аваад цахилгаанаар халдаг төхөөрөмж, системээр нийслэлийн дулаан хангамжийг шийдэж болох мэт ярьдаг. Энд анхаарвал зохих гол зүйл бол ингэж гаргаж ашигласан дулааны эрчим хүчний зардал, үнэ өртгийн асуудал юм. 1-рт, дулаанаар хангах бүх байгууллага, айл өрхүүдээ цахилгаанаар халдаг төхөөрөмжөөр тоноглох хэрэгтэй. 2-рт, эрчим хүч нь нэг хэлбэр буюу төрлөөс нөгөөд хувирч шилжихдээ заавал алдагдал гарч, нэмэгдэл зардал үүсгэдгийг тооцох шаардлагатай. ДЦС-д нүүрс түлж, ус халаан уур үүсгэж, түүгээрээ турбиний сэнсийг эргүүлж цахилгаан гаргана. Эсвэл өндөр даралтанд халсан усаа ашиглан хэрэглэгчид шууд шугаман хоолойгоор дулааныг өгнө. Хэрэглэгчийг цахилгаанаар халдаг төхөөрөмж ашиглан дулаанаар хангая гэвэл станцад нүүрс түлж гаргаж авсан дулаанаа хэрэглэгчид шууд өгөлгүй эхлээд цахилгаан эрчим хүч болгоод, дараа нь тэр цахилгаанаараа дулаан гаргана гэсэн үг. Дулаанаас цахилгаан гарган авах процессийн ашигт үйлийн коэффициент (АҮК) 30-40% байдаг [8]. Өөрөөр хэлбэл зарцуулсан нийт дулааны 30-40% нь цахилгаан гаргахад зориулагдаж, үлдсэн 60 орчим хувь нь үр ашиггүй орчинд тархаж алдагдана. Тиймээс дулаан-цахилгаан-дулаан гэсэн илүү дамжлагаас үүсэх нэмэгдэл зардал нь дулааны хэрэглэгчдийн нуруун дээр санхүүгийн дарамт, ачаалал болно. Дулаавтар уур амьсгалтай, иргэдийн амьдралын түвшин нь дээгүүр, төлбөрийн чадвар сайнтай цөөн зарим оронд энэ технологи хэрэглэгддэг. Манайх шиг өвөл нь -30-40 градус хүрдэг, ядуу амьдралтай оронд цахилгааныг ашиглан дулаан гаргаж орон байрныхаа халаалтыг шийднэ гэж бодох нь туйлын гэнэн хэрэг.

Нийслэлийн цахилгааны 20 гаруй хувийг, дулааны 30 орчим хувийг хангадаг 3-р ДЦС-ыг 250 МВт-аар өргөтгөх боломжийг судалж байгаа мэдээлэл байна. Улаанбаатар хотын айлуудыг утаа бага ялгаруулдаг шахмал түлшээр хангана гээд 2-р ДЦС-д сүүлийн нилээд хэдэн жилд ихээхэн хөрөнгө зарсан ч одоо болтол бүтээгдэхүүн гаргасангүй. Цаашид 2-р ДЦС-д 50 МВт-ын өргөтгөл хийх тухай бас яригддаг. Ер нь нийслэлийн утаа, агаарын бохирдлыг бууруулна гэх нэрийдлээр зарсан олон тэрбум

төгрөг олигтой үр дүнд хүргэсэнгүй. Саяхан аудитийн газраас Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах сангийн үйл ажиллагаанд шалгалт хийхэд ихээхэн хөрөнгө мөнгөөр хэмжигдэх 72 зөрчил илэрчээ. Энэ бол агаарын бохирдлоор бизнес хийж, татвар төлөгчдийн мөнгийг зориулагдсан зүйлд нь зарцуулахгүй, шамшигдуулж байгаагийн нэг тод жишээ юм.

Төвийн эрчим хүчний системд хамаарагдах Дархан, Эрдэнэтийн ДЦС-уудын тус бүр 35 МВт-аар өргөтгөх ажил явагдаж байна.

Нүүрсээр ажилладаг уламжлалт технологиос гадна СЭХ-ийг ашиглах төсөл хөтөлбөрүүд нилээд байна. “Сайншандын салхин парк” бүрэн хүчин чадлаараа ажиллавал манай нийт цахилгаан эрчим хүчний системд СЭХ 10 орчим хувь болох юм. Улмаар энэ үзүүлэлтийг 2020 онд 20%, 2030 онд 30% хүргэхээр төлөвлөж байна [9]. Энэ зорилгыг хэрэгжүүлэхэд Хөвсгөл нуураас эх авч Сэлэнгэ мөрөнд цутгадаг Эгийн гол дээр манайд томоохонд тооцогдох 315 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай, 827 сая орчим Ам.долларын өртөгтэй УЦС-ыг БНХАУ-ын хөнгөлөлттэй зээлийн хөрөнгөөр барих төсөл чухал үүрэгтэй. Энэхүү төсөл үнэндээ 1990-ээд оны дунд үеэс эхлэлтэй, 20 гаруй жил яригдаж буй урт түүхтэй. Анх 300 сая орчим Ам.долларын өртөгтэй, 200-400 МВт хүчин чадалтай УЦС-ын төслийн ТЭЗҮ-ийг Швейцарын “Электроватт”, Италийн “Энергоконсалт” гэдэг хоёр нэр хүндтэй компани хамтран боловсруулж, шаардагдах хөрөнгийн 100 сая долларыг Азийн хөгжлийн банк, үлдсэн 200 сая долларыг Малайзын тал гаргаж, барьж ашиглалтад оруулсны дараа 25 жилийн турш 1 кВтц эрчим хүчийг 7.3-7.4 цент өртөгтэйгээр нийлүүлээд Монголын талд бүрэн шилжүүлэн өгнө гэж байсан. 1991 онд уг төслийн ТЭЗҮ-ийг боловсруулах ажилд оролцохоор, одоогийн М-Си-Эс Группийн Захирлуудын Зөвлөлийн дарга, тэр үед Эрчим хүчний удирдах газарт автоматикийн инженерээр ажиллаж байсан Ж.Оджаргал Швейцарийн Цюрих хотноо очиж ажиллаж байжээ. Гэтэл 1997 онд Чехийн “Техноарт” компани манайд илүү ашигтай нөхцлөөр буюу эхний 12 жилд 1 кВтц эрчим хүчийг 8.9 центээр, дараагийн 6 жилд нь 6.3 центээр нийлүүлж байгаад 18 жилийн дараа буюу Малайзаас 7 жилийн өмнө манайд шилжүүлэн өгөх боллоо гээд Малайзтай хийж байсан гэрээ хэлэлцээрээ зогсоосон билээ. Удалгүй 1997 оны 7-р сард АНУ-ын “Кембриж Энержи групп”-ийн дэд ерөнхийлөгч, Сири гаралтай Хамад Ам Номан гэгч хүнээс “... Техноарт бол компани биш, мөнгө угаадаг жижиг контор, найдваргүй этгээд. Бид энэ ажлыг чинь дангаараа хөөцөлдөө...” гэсэн утгатай факс манай албаны хүмүүст ирсэн гэдэг. Үнэхээр тун удалгүй Техноарт компаний менежер А.Команицки Чехийн Төрийн өмчийн хороонд хамгийн их өртэй гурван хүний нэгээр зарлагдаж, эх орноосоо зугтсан тухай мэдээлэл цацагдсан. Энэ будлиантай асуудлыг тэр үеийн дэд бүтцийн сайд, Ерөнхий сайд болох хамгийн магадлалтай хүн гэж яригдаж байсан С.Зоригийн ахалсан ажлын хэсэг илрүүлж, Чехийн талтай хийж байсан УЦС-ын тухай яриа хэлэлцээрийг зогсоосныг эргэн санахад илүүдэхгүй байх. Ийм түүхтэй Эгийн голын УЦС-ын төсөл өнөөдөр ч бас асуудалтай байна. Дэлхийн нуурын цэнгэг усны бараг 20 хувь болдог Байгал нуурт цутгаж, сэлбэж байдаг хамгийн том гол бол манай Сэлэнгэ мөрөн. Сэлэнгэ мөрний нэг гол цутгал нь Эгийн гол учраас түүн дээр УЦС барьснаар Байгал нуурын ирээдүйд хэрхэн нөлөөлөхийг урьдчилан сайн судлах нь зөвхөн ОХУ төдийгүй, хүн төрөлхтний цэнгэг усны нөөцтэй холбоотой, дэлхий нийтийн шинж чанартай асуудал болж байна.

Сэлэнгэд цутгадаг Орхоны 100 МВт-ын болон Дэлгэр мөрөн дээр барина гэж байгаа 23 МВт-ын Чаргайтын УЦС-уудын төслийг мөн Эгийн голынхтой төстэй хувь тавилан хүлээж байж мэдэх юм. Эдгээрээс гадна төвийн бүсэд 161 МВт-ын Бүрэнгийн, 205 МВт-ын Шүрэнгийн, 118 МВт-ын Арцатын УЦС-ын төслүүд яригдаж байгаад чимээгүй боллоо. Ер нь гадагшаа урсгалтай, өөр улсын нутаг дэвсгэр лүү урсаж ордог

голыг хэрхэн ашиглах нь зөвхөн тухайн гол эх авч буй улсын хэрэг биш байдгийг бодолцох ёстой.

Төвийн бүсэд Орхоны хөндийд 30 МВт-ын “Хархорин”, Өвөрхангайн Нарийн тээлд 8 МВт-ын НЦС-ууд болон Чойроос зүүн хойш 50 МВт-ын Салхин парк барих төслүүд яригдаж байна.

Баруун бүс. Улаангомд баруун гурван аймгийг хангах нүүрс, нар, салхи хосолсон Германы дэвшилтэт технологиор 120 сая еврогийн өртөгтэй, 60 МВт-ын цахилгаан станц барих төслийн ТЭЗҮ боловсрогдож байна. Үүнийг барьж, ашиглалтад оруулснаар ОХУ-аас импортоор цахилгаан авдгаа болино гэдэг. Тэгвэл Ховдын Дөргөний 12 МВт-ын УЦС-ыг яах гэж хөрөнгө зарж барьсан юм бол гэдэг асуулт гармаар юм. Бас Ховд гол дээр 69 МВт чадалтай Эрдэнэбүрэнгийн УЦС барих төсөл ТЭЗҮ боловсруулах түвшинд явж байна. Эндээс харахад нэгдсэн бодлого, стратеги төлөвлөгөө дутаад байнуу даа гэсэн сэтгэгдэл зүй ёсоор төрж байна.

Алтай-Улиастайн бүс. Улиастайд 30 МВт-ын ДЦС барьж, цахилгаан, дулаан хоёуланг үйлдвэрлэх төсөл хийгдэж байна. Сүүлийн үед Завхан, Говь-Алтайг хангах 100 МВт-ын Тэлмэний ДЦС-ын төсөл яригдах боллоо. Тайширын УЦС-ыг барьж байхад бас л энэ хоёр аймгийг цахилгаан эрчим хүчээр хангах тухай ярьж байсан. Тайширын усан сан хэмжээндээ хүрч дүүрэхгүй хичнээн ч удав. Одоо төслийхөө бүрэн хүчин чадлаар ажиллахгүй хамгийн их ачаалалтай 2018-2019 оны өвлийн улиралд 5.5-6.0 МВт чадлаар буюу төслийхөө дөнгөж 50 орчим хувиар ажилласан гэдэг. Түүнээс гадна 2018 оноос 2019 онд шилжих өвөл Завхан голын ус урьд нь төдийлөн тохиолдоод байдаггүй, их хэмжээгээр эргээсээ хальж, ойр хавийн айлуудын өвөлжөө, хаваржаа усанд автсаныг нутгийн ард иргэд УЦС барьсантай холбоотой гэж үзэж байна. Иймэрхүү бүтээн байгуулалтын ажлыг гүйцэтгэхээсээ өмнө сайтар судалж, үндэслэлээ маш нарийн боловсруулах хэрэгтэй гэдэг нь эндээс шууд харагдаж байна.

Зүүн бүс. Чойбалсан хотын 36 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай ДЦС-ын эрчим хүчээр 300 гаруй км өндөр хүчдэлийн шугам ашиглан зүүн бүсийг хангадаг. Уг станцыг ХБНГУ-ын зээлийн хөрөнгөөр шинэчилсэн бөгөөд цаашид 50 МВт-аар өргөтгөхөөр төлөвлөж байна. Өөр томоохон төсөл харагдахгүй байна.

Өмнөд бүс. Оюутолгой, Тавантолгойн уурхайнууд ашиглалтад орсонтой уялдан манай эрчим хүчний системд өмнөд бүсийг тусд нь авч үзвэл зохистой болж байна. 1998-2000 онд БНСУ-ын хөнгөлөлттэй зээлээр Даланзадгадад барьсан 6 МВт чадалтай ДЦС өмнөд бүсэд эрчим хүчний хамгийн том эх үүсвэр болж ирлээ. Манай төр засгийн удирдлага очиж, тууз хайчлан, ёслол төгөлдөр нээлт хийсэн ч, харамсалтай нь, ажиллахгүй доголдоод Даланзадгад хотыг өвөл хөлдөөх шахсан. Өмнөд Солонгосоос хэд хэдэн удаа мэргэжилтнүүд ирээд ч тогтвортой ажиллуулж чадаагүй. БНСУ-ын ерөнхийлөгч тэр үеэр Монголд айлчлахад уг асуудлыг тавих гэтэл Солонгосын тал зөвшөөрөөгүй гэнэ гэж нэг хэсэг шуугисан. Эцэстээ бүр аргаа бараад Улаанбаатараас 4-р ДЦС-ын хэдэн монгол мэргэжилтнүүд очиж засаад хэвийн горимоор нь ажиллуулсан төдийгүй, дараа нь 3 МВт –аар өргөтгөж 9 МВт хүчин чадалтай болголоо гэсэн. Эндээс 1-рт, манай цахилгаан станцын мэргэжилтнүүд гологдохооргүй түвшинд хүрснийг харж болно. 2-рт, гаднаас цахилгаан станцын болон бусад томоохон тоног төхөөрөмж авч суурилуулахдаа сайтар судалж, хямд өртөг, сайхан амлалтад хууртахгүй байх хэрэгтэй нь Өмнөд Солонгостой байгуулсан тэр үеийн гэрээ хэлэлцээр бүтэл муутай болсноос харагдаж байна. Сүүлийн үед БНСУ-ын компани оролцсон консорциум манай өмнөд бүсэд бүтээн байгуулалтын ажил гүйцэтгэх гэнэ гэсэн мэдээлэл түгээгдлээ. Мөн БНСУ-ын 300 сая Ам.долларын буцалтгүй тусламжаар манай 10 аймагт жижгэвтэр ДЦС барих боллоо гэж байна. Өмнөд Солонгосын бүх компаниуд адилхан “хулхи” байхгүй нь ойлгомжтой ч гэсэн манай улсад улс төр, эдийн засгийн “ой санамж” байх хэрэгтэй шүү гэдгийг хэлэхэд илүүдэхгүй болов уу.

Оюутолгойн орд газрын ашиглалтын талаар манайхны байгуулсан гэрээний алдаа дутагдлын талаар энд бичих нь илүү хэрэг. Харин манай эрчим хүчний системийн өмнөд бүстэй холбоотой зүйл гэвэл анх олборлогч компани энд цахилгаан станц барьж түүнийхээ эрчим хүчийг ашиглан үйл ажиллагаагаа явуулна гэж байсан амлалтаасаа буцсан явдал юм. БНХАУ-аас 120 МВт орчим эрчим хүч импортоор авч байсан бөгөөд газар доорх олборлолт бүрэн хүчин чадлаараа явагдах үед 256 МВт шаардагдана гэдэг. Манай орны өмнөд бүсэд ганц Оюутолгойгоор хязгаарлагдахгүй, ашигт малтмалын их нөөцтэй гэж үздэг. Мөн Сайншандад аж үйлдвэрийн томоохон парк байгуулна гэж ч ярьдаг. Тиймээс энэ бүсэд эрчим хүчний найдвартай томоохон эх үүсвэр хэрэгтэй болно. Энэ ч үүднээс Цэцийд 50 МВт-ын СЦС барих ажил сүүлчийн шатандаа орж байна. Мөн энд 450 МВт-ын ДЦС барих төсөл яригдаж байсан. 2018-12-26-ны өдрийн Засгийн Газрын хуралдаанаас Тавантолгойн ордыг түшиглэн 300МВт-ын ДЦС барьж, 2023 оны 6-р сард ашиглалтад оруулах шийдвэр гарлаа. Одоо энэ шийдвэр хэрхэн биелэгдэхийг харах болж байна.

Манай орны эрчим хүчний системийн хувьд тулгамдаж буй асуудлууд тэдгээрийг хэрхэн шийдэж байгааг бүс нутгуудаар ангилан товчхон авч үзлээ. Одоо дэлхийн улс орнуудын эрчим хүчний системийн өнөөгийн байдал, ирээдүйн чиг хандлагын тухай маш товчхон авч үзье.

Гурав. Дэлхийн эрчим хүчний системийн өнөөгийн байдал, ирээдүйн чиг хандлага

Дэлхийн улс орнууд эрчим хүчнийхээ асуудлыг шинжлэх ухаан технологийн хөгжлийн түвшин, эдийн засгийн чадавхи, багтаамж, газар нутгийн байршил, байгалийн баялаг, хүн амын тоо зэрэг хүчин зүйлүүдээс хамааран өөр өөрийн онцлогтойгоор шийдэж ирсэн байна. Гэвч дэлхийн эрчим хүчний системийг бүхэлд нь авч үзвэл нүүрс, байгалийн хий, ус, цөм, нефть, салхи, нар зэрэг цөөхөн гол эх үүсвэрүүд дээр тогтож байна [4]. Дэлхийн цаг уурын дулаарлыг хүлэмжийн хийн ялгаралтай холбоотой гэж үзэн аль болох утаагүй цэвэр, “ногоон” эрчим хүчийг ашиглах асуудал сүүлийн үед эрчимтэй тавигдах боллоо. Анх 1997 онд Японд болсон Цаг уурын өөрчлөлтийн тухай НҮБ-ын хүрээний олон улсын чуулганаас “Киотогийн протокол” хэмээх баримт бичиг гарч, дэлхий дахинаа хүлэмжийн хий буюу нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалтыг хязгаарлах ерөнхий тохиролцоонд хүрсэн билээ. Киотогийн протоколын үйлчлэх хугацаа 2012 онд дууссан тул 2015-12-12-нд Францад болсон дэлхийн 190 гаруй орны өндөр хэмжээний төлөөлөл оролцсон олон улсын хурлаас “Парисийн гэрээ” батлагдан гарч, одоогийн байдлаар 113 орон түүнийг соёрхон батлаад мөрдөж эхэлж байна. Уг гэрээ ёсоор 2020 оноос эхлэн улс орнууд нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалтаа бууруулж, 2100 онд бүрэн тэглэх болж байгаа юм. Эдгээр орнууд дэлхий нийтийн өмнө нүүрсхүчлийн хий ялгаруулалтаа бууруулах талаар үүрэг, хариуцлага хүлээж байна гэсэн үг.

Манай улсын ерөнхийлөгч уг гэрээг батлахад оролцсон тул Монгол улс түүний заалтуудыг хэрэгжүүлэх үүрэг хүлээх нь ойлгомжтой. 2015 оны байдлаар дэлхий даяар үйлдвэрлэгдэж байгаа нийт эрчим хүчний 30% нүүрснээс, 33% нефтнээс, 24% байгалийн хийнээс, 7% уснаас, 4% цөмөөс, 2% бусад сэргээгдэх эх үүсвэрээс гаралтай байв [10]. Ингэж гарган авсан эрчим хүчний 20% орчим нь цахилгаанд, 80% нь дулаан болоод тээврийн салбарт зориулагддаг. Энэ үзүүлэлт улс бүрт харилцан адилгүй бөгөөд цаг уурын нөхцөл, үйлдвэржилт, зам тээврийн хөгжлийн түвшин зэргээс ихээхэн хамаардаг. Харин дэлхийд үйлдвэрлэгдэж байгаа цахилгаан эрчим хүчийг тусд нь авч үзвэл 40.8% нь нүүрснээс, 21.6% нь байгалийн хийнээс, 16.4% нь уснаас, 10.6% нь цөмөөс, 4.3% нь нефтнээс, 6.3% нь бусад сэргээгдэх эх үүсвэрээс гаралтай байна.

Дэлхийн цаг уурын дулаарлаас сэргийлж, хүлэмжийн хий ялгаруулалтаа бууруулахын тулд улс орнууд Парисийн гэрээний дагуу нар, салхи, ус зэрэг сэргээгдэх эх үүсвэрт үндэслэсэн эрчим хүч үйлдвэрлэж ашиглахыг ихээхэн анхаарч, ДЦС-аас татгалзаж эхэлж байна. Тухайлбал, АНУ, Япон, Европын холбооны улсууд гадаадад нүүрсээр ажилладаг ДЦС-д хөрөнгө оруулалт хийхгүй байхаар болж байна. БНХАУ 2030 онд нийт эрчим хүчнийхээ 20% -ийг цөмийн ба СЭХ-ээр хангах зорилт тавилаа. Өөрөөр хэлбэл манай урд хөрш одоо 11% байгаа цөмийн ба СЭХ-ний хүчин чадлаа 2030 он гэхэд бараг хоёр дахин өсгөнө гэсэн үг. Ер нь аливаа улс СЭХ-ний ямар үүсвэрийг илүү ашиглах вэ гэдэг нь тухайн орны газар нутгийн онцлог, нар, салхи, усны нөөцөөс шууд хамаардаг учир бололцооны хувьд тодорхой хязгаарлалттай байдаг.

Тиймээс СЭХ-ний зэрэгцээ нүүрс хүчлийн хий бараг ялгаруулдаггүй цөмийн эрчим хүчийг ашиглах чиг хандлага улам өргөжиж, дэлхий даяар цөмийн аргаар гарган ашиглаж байгаа эрчим хүчний хэмжээ жилээс жилд өсөн нэмэгдэж байна. Цөмийн эрчим хүчийг ашиглаж байгаа байдлыг энэ өгүүллийн дараагийн хэсэгт тусд нь дэлгэрүүлж авч үзье.

СЭХ-ний гаралтай цахилгааны өөрийн өртөг эхний үед харьцангуй нилээд өндөр байсан. Орчин үед хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг бууруулахын тулд судалгаа-боловсруулалтын ажил эрчимжиж, СЭХ-ний технологи хурдацтай хөгжсөнөөр гаргаж буй цахилгаан эрчим хүчнийх нь өөрийн өртөг багасч, зарим тохиолдолд ДЦС ба ЦЦС-ыхаас хямд болж байна. Иймээс дэлхийн улс орнууд боломжийхоо хирээр СЭХ-ийг ашиглахаар зорилт тавин ажиллаж байна. Энд анхаарлаа хандуулвал зохих, дурдалгүй орхиж болохгүй нэг асуудал байдаг. СЭХ-ийг яг гаргаж авах шатанд ялгарах хүлэмжийн хий бага ч гэсэн тоног төхөөрөмжийг нь үйлдвэрлэхэд ялгарах хорт бодис, ашиглалтын хугацаа дууссаны дараах хаягдлын тухай асуудал ДЦС-ыг бодвол илүү төвөгтэй, шийдлээ хүлээж байгаа гэдгийг бодолцох хэрэгтэй. Ер нь эрчим хүчний аль эх үүсвэр илүү цэвэр вэ гэдгийг тогтоохдоо зөвхөн эрчим хүч үйлдвэрлэх шатыг авч үзэх нь хангалтгүй. Тухайн эх үүсвэрт ашиглагдах бүх материалуудыг олборлох, үйлдвэрлэхээс эхлээд эрчим хүчний төхөөрөмжийн ажиллах хугацаа дуусаад хаягдал болох хүртэлх бүрэн цикл буюу үе шатуудыг дамжихад ялгарах хорт бодис, хүлэмжийн хийг тооцох шаардлагатай. Ийм тооцоо их нарийн төвөгтэй бөгөөд одоогийн байдлаар эрчим хүчний ямар эх үүсвэр хамгийн цэвэр вэ гэдэгт тогтсон хариулт байхгүй байна.

Дэлхийн улс орнуудын хөгжлийн түвшинг тэдний жилд хэрэглэж буй цахилгаан эрчим хүчний хэмжээгээр нь ерөнхийдөө үнэлэх боломжтой байдаг. Эдийн засгийн чадавхи өндөртэй улсуудын хувьд 1 жилд үйлдвэрлэж буй цахилгаан эрчим хүчийг нийт хүн амын тоонд нь хувааж кВтц/жил-хүн гэсэн нэгжээр авч үзвэл Канадад-14930, АНУ-д-12071, БНСУ-д-9720, ОХУ-д-7481, Японд-7371, Германд-6602 байна. Энэ үзүүлэлт дэлхийн 200 гаруй орноор дундачлахад 2674 байдаг бөгөөд 2016 оны байдлаар Монголд-1847 байв. Манай орны хувьд хүн ам цөөн хирнээ нэг жилд үйлдвэрлэж буй цахилгаан эрчим хүчний нэг хүнд оногдох хэмжээ өндөр хөгжилтэй улсуудыхаас хэд дахин бага төдийгүй дэлхийн дундаас ч нилээд доогуур байгаа нь манай хөгжлийн түвшинг харуулж байна. Харин жилд үйлдвэрлэж буй нийт цахилгаан эрчим хүчний хэмжээгээрээ дэлхийд эхний тавд БНХАУ, АНУ, Энэтхэг, ОХУ, Япон орж байна. Энэ үзүүлэлтээр Монгол дэлхийн 200 гаруй орноос 115-д байна. Дэлхийн эрчим хүчний системийн өнөөгийн байдал, цаашдын чиг хандлагыг маш товчхон авч үзэхэд ийм байна. Одоо манай орны эрчим хүчний салбарт тулгарч буй асуудлуудыг хэрхэн шийдэж болох талаар өөрийн санал бодлоо товчхон хуваалцъя.

Дөрөв. Монголд тулгамдаж буй эрчим хүчний асуудлыг шийдэх зарим боломж

Юуны түрүүнд манай улсын эрчим хүчний салбарт тулгамдаж, шийдлээ хүлээж буй, дээр цухас дурдагдсан асуудлуудыг системтэйгээр дахин сийрүүлбэ:

- Манай улсад үйлдвэрлэгдэж буй цахилгаан эрчим хүч дотоодын хэрэгцээгээ бүрэн хангаж чадахгүй, нийт хэрэгцээнийхээ 20% орчмыг гаднаас импортоор авч байна. Энэ нь их буруу зүйл биш боловч, валютын нөөц бага, төлбөрийн чадвар муутай манай орны эдийн засагт нэмэлт ачаалал болдог.
- Цахилгаан эрчим хүчний томоохон үүсвэрүүд нь нэг цэгт буюу Улаанбаатар хотод хэт төвлөрснөөс болоод газар нутгийнхаа бусад алслагдсан хэсгийг цахилгаанаар хангахын тулд өндөр хүчдэлийн шугамаар холбож ихээхэн хөрөнгө зарцуулах болдог.
- Цахилгааны хэрэглээ буюу ачаалал жигд бус жилийн улирал болон хоногийн өдөр, шөнөөс хамаарч ихээхэн, 30 гаруй хувь хүртэл, хэлбэлздэг.
- Агаарын бохирдол, утаа хот суурин газруудад, ялангуяа Улаанбаатар хотод хэрээс хэтэрсэн. Ийм учраас нийслэлд нүүрсээр ажилладаг ДЦС нэмж баривал агаарын бохирдол улам ихэсч, хүн амьдрах боломж эрс муудах нь ойлгомжтой.
- Цахилгаан станцуудын суурилагдсан хүчин чадлын ашиглалт тааруу, 60 гаруй хувь байдаг.
- Үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчээ алс зайд шугамаар дамжуулах үед алдагдал нилээд их гардаг. 2015 оны байдлаар цахилгаан станцуудын өөрийн хэрэглээ-12%, дамжуулах түгээхэд гарах алдагдал-12%, бусад алдагдал-7% байсан нь нийт үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчний 30 гаруй хувь болж байна.

Энэ үзүүлэлт 1990-ээд оны сүүлчээр бараг 50% байсныг бодвол нилээд буурсан боловч, дэлхийн дундаж 18% байгаатай харьцуулахад бараг 2 дахин их байна.

Техник, технологитой холбоотой эдгээр асуудлаас гадна бүтэц, зохион байгуулалтын чанартай бэрхшээл ч байна. 2001 онд Эрчим хүчний хууль батлагдаж, 18 биеэ даасан арилжааны компанийг үүсгэн байгуулсан [5,6]. 2006 оны байдлаар 50 гаруй компани, аж ахуйн нэгж байгууллага 120 гаруй тусгай зөвшөөрөл эзэмшин бизнесийн бие даасан үйл ажиллагааг эрчим хүчний салбарт явуулж байсан бол одоо ийм байгууллага, компанийн тоо 130 хүрчээ [5,6]. Ийнхүү манай эрчим хүчний салбар өргөжин тэлж байгаа нь сайшаалтай боловч хэт олон хуваагдаж, үйл ажиллагааны хоорондын уялдаа холбоо, зохицуулалт, төлөвлөлт дутсанаас болж нийт салбарын ажил доголдох явдал байна.

Эдгээр болон энд дурдагдаагүй үлдсэн бүх тулгамдаж буй асуудлыг бүрэн төгс шийдэх жор, арга замыг ганц энэ өгүүлэлд бичих боломжгүй нь ойлгомжтой. Зөвхөн зарчмын шинж чанартай, техник, технологитой холбоотой зарим гол асуудлыг хэрхэн шийдвэл манай улсад илүү тохиромжтой талаар өөрийн саналаа доор сийрүүлбэ.

Манай улс цахилгаан эрчим хүчний хангамжаа сайжруулж, дэлхийн өнөөгийн түвшинд хүргэхийн тулд өөрийн эрэлт хэрэгцээ, онцлогт тохирсон шинэ үүсвэр буюу цахилгаан станцуудыг барьж байгуулах хэрэгтэй. Эдгээр цахилгаан станцуудын техник, технологи нь экологийн хувьд цэвэр, байгаль орчинд хортой нөлөө багатай, аюулгүй ажиллагаатай байх шаардлагатай. Энэ шаардлагуудын үүднээс нүүрсээр ажилладаг ДЦС, СЭХ ашигладаг цахилгаан станц, Цөмийн цахилгаан станц (ЦЦС) гэсэн гурван төрлийн үүсвэрийг харьцуулан авч үзье.

Дулааны цахилгаан станц. Манай орон нүүрсний нөөц харьцангуй ихтэй учир, нүүрсний орд газар, уурхайн орчимд ДЦС барьж ашиглах нь зүйн хэрэг. Гэвч энд анхаарвал зохих хоёр хүчин зүйл байна. 1-рт, манай нүүрсний орд газруудын байршил

нийт нутагтаа жигд түгэлттэй биш, ихэнх нь говь хээрийн бүсэд оршдог бөгөөд хангайн бүсэд ховор байдаг. Гэтэл хүн амын сууршил, нягтаршил нь эсрэгээр хангайн бүсэд илүү бөгөөд хот суурингууд, амралт, сувилалын газрууд, аялал жуулчлалын баазууд олон байдаг. Иймээс нүүрсний орд газрын дэргэд барих ДЦС-аас алс зайд цахилгаан шугам татах, эсвэл нүүрсээ уурхайгаас хол зайд тээвэрлэх болно. Эдгээрийн аль нь ч нэмэгдэл их зардал шаардана. 2-рт, ДЦС-аас гарах утаа, хаягдлын асуудал Парисийн гэрээтэй холбоотойгоор ирээдүйд илүү хурцаар тавигдах болно. 2013 оны байдлаар Монгол улс жилд 1 хүнд оногдох хүлэмжийн хий буюу нүүрсхүчлийн хий ялгаруулалтаараа 14.5 тонн/жил·хүн гэсэн үзүүлэлттэйгээр дэлхийн 204 орноос 18-рт оржээ. Энэ бол их өндөр үзүүлэлт бөгөөд үйлдвэрлэл хөгжсөн манай хоёр хөрш ОХУ 12.5 тонн/жил·хүн үзүүлэлтээр 21-р байрт, БНХАУ манайхаас 2 дахин бага буюу 7.5 тонн/жил·хүн үзүүлэлттэйгээр 45-р байрт орсон байна. Удахгүй дэлхийн улс орнууд ялгаруулж буй нүүрсхүчлийн хийнхээ хэмжээгээр татвар төлдөг болох нь дамжиггүй. Өндөр хөгжилтэй зарим орнууд хүлэмжийн хий ихээр ялгаруулдаг үйлдвэр, цахилгаан станцуудаасаа нэмэлт татвар авдаг болж байна. Үүнтэй уялдаад АНУ, Япон, Европын холбооны улсууд нүүрсээр ажилладаг ДЦС гадаадад шинээр барьж байгуулахад хөрөнгө оруулалт хийхгүй болж байгааг дээр дурдсан. Ингэж дэлхий даяараа нүүрсээр ажилладаг ДЦС-аас аль болохоор татгалзаж байхад манайх томоохон ДЦС нэмж барих нь туйлын эрсдэлтэй алхам болно.

Энд яригдаж байгаа асуудлыг ойлгомжтой болгож, тодруулах зорилгоор хоёр жижиг тооцоо хийж харуулъя. Эхлээд ДЦС-д нэг жилд хэдий хэмжээний нүүрс түлэх шаардалгатай байдгийг тооцъё.

100% АҮК-той үед 1 кВтц эрчим хүч гаргахад 860 килокалори (ккал) дулаан шаардагддаг. ДЦС-д АҮК=40% [8] гэвэл 1кВтц цахилгаан эрчим хүч гаргахад шаардагдах дулаан:

$$Q = 860\text{ккал}/0.4 = 2150\text{ккал}.$$

1 кг нүүрсний шаталтын үед ялгарах дулаан буюу илчлэг манай судлаачдын үр дүнгээс харахад [11] Шивээ-овоогийн нүүрсэнд 2800-3200 ккал/кг, Багануурын нүүрсэнд 3100-3600 ккал/кг байна. Энэ тооцоонд илчлэгийг ойролцоогоор 3000 ккал/кг гэж авъя. ДЦС-ын чадлыг 1000 МВт гэвэл 1 цагт шаардагдах нүүрсний хэмжээ:

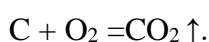
$$m = (1000000\text{кВт} \times 2150\text{ккал/кВт}) / 3000\text{ккал/кг} = 716.7 \text{ Тн. болно.}$$

Уг ДЦС-ын нэг жилд түлэх нүүрсний хэмжээ:

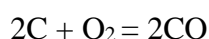
$$M = m \times 24 \times 365 = 6.28 \text{ сая Тн. болно.}$$

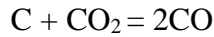
Энэ хэмжээ нүүрсний чанараасаа шууд хамаарах бөгөөд манай 4-р ДЦС 500-600МВт чадлаар нэг жил ажиллахад 3 сая Тн орчим нүүрс шатаадагтай бараг таарч байна. Киселев [12] 1000 МВт-ын ДЦС-д жилдээ 4-5 сая Тн нүүрс хэрэглэдэг гэсэнтэй ч дээрх тооцооны үр дүн ойролцоо гарч байна.

Одоо нүүрсээр ажилладаг ДЦС-аас ялгарах хүлэмжийн хий буюу нүүрсхүчлийн (CO₂) хийн хэмжээг тооцоолохын тулд урвалд орсон бодисын масс, урвалаас гарсан бодисын масстайгаа тэнцүү гэсэн химийн тулгуур хуулийг ашиглая. Нүүрс өндөр биш температурт шатах үед нүүрстөрөгч исэлдэн, дараах урвал явагдаж, нүүрсхүчлийн хий буюу нүүрстөрөгчийн давхар исэл үүсдэг [13]:



Энд байгаа хүчилтөрөгчийг агаараас авна гэж үзнэ. Мөн зуухан дахь температур өсч 400-500°C хүрэхэд





урвалууд явагдаж нүүрстөрөгчийн исэл буюу угаарын хий үүсдэг. Угаарын хий нь хүний зүрх-судасны болон мэдрэлийн системийн өвчин үүсгэдэг, агаарын доод давхрагад 3 жил хүртэл хадгалагддаг эрүүл мэндэд их хортой нөлөө үзүүлдэг бодис. Гэхдээ энэ удаагийн тооцоонд угаарын хийг орхиод зөвхөн CO_2 -ыг авч үзье.

Нүүрстөрөгчийн атом жин 12, нүүрсхүчлийн хийн молекул жин $12 + 32 = 44$ учир шаталтаас үүсэх нүүрс хүчлийн хийн масс нүүрстөрөгчийнхөө масснаас $44/12 = 3.66$ дахин их байна.

Нүүрсэнд агуулагдах нүүрстөрөгчийн хэмжээг 80%, шатсан нүүрсний 80% орчим нь утаа болно гэвэл

$$3.66 \times 0.8 \times 0.8 = 2.34$$

болж, зууханд шатаасан 1Тн нүүрснээс 2.34 Тн утаа ялгарах болно. Энэ утга [7] сэтгүүлд байгаа 1Тн нүүрснээс 2.86 Тн нүүрсхүчлийн хий ялгарна гэсэнтэй бараг таарч байна.

Дээрх үр дүнгээс харахад 1000 МВт чадалтай ДЦС-д 1 жилд 6.28 сая Тн нүүрс шатаана гэвэл эндээс ялгарах нүүрсхүчлийн хий $6.28 \text{ сая Тн} \times 2.34 = 14.7 \text{ сая Тн}$ болно. Эндээс нэг хоногт ялгаруулах нүүрсхүчлийн хийн хэмжээ 40.3 мян. Тн болно. Киселевийн тооцоогоор [12] тэр үеийн ЗХУ-д 1000 МВт чадалтай ДЦС-аас нэг хоногт ялгарах нүүрсхүчлийн хийн дундаж хэмжээ 25 мян.Тн гэсэнтэй дээрх үр дүнг ойролцоо гэж болно. Зөрүүний шалтгаан нь нүүрсний чанар, тооцооны арга зэрэгтэй холбоотой.

Иймд хэрэв ялгаруулж буй нүүрсхүчлийн хийн хэмжээгээрээ татвар төлдөг болвол манай ДЦС-ууд 1 кВтц эрчим хүчнийхээ үнийг өсгөж, ард түмнийхээ нуруунд ачаалал нэмэх, эсвэл дампуурлын ирмэгт тулж, улсаас буюу татвар төлөгчдийн мөнгөнөөс татаас авахаас өөр аргагүй болно.

Сэргээгдэх эрчим хүчний цахилгаан станц. Нар, салхи, усны эрчим хүчийг буюу СЭХ ашиглан цахилгаан станцууд барьж, манайд тулгамдаж буй эрчим хүчний асуудлаа шийдэх боломжийг авч үзье.

Салхин цахилгаан станц (СЦС) нэмж барих газар нутаг, нөөц боломж манайд нилээд бий. Энэ тухай судлаачдын хийсэн тооцоо дүгнэлтүүд хэвлэгдэж, мэдээллийн хэрэгслээр цацагдан нийтийн хүртээл болсон байдаг. Тухайлбал, манай орны нийт газар нутгийн 60 гаруй хувьд СЦС барьж ашиглах боломжтой гэдэг. Говийн бүс, Дорнод, Сүхбаатар аймагт салхины эрч $150-200 \text{ Вт/м}^2$ хүрдэг бөгөөд жилийн салхитай байх хугацаа 200 шахам хоног байдаг [5,6]. СЦС-ыг дэлхийд оффшор (далай, тэнгис, нуурын усан дээр барьсан), оншор (эх газар барьсан) гэж хоёр хувааж үздэг. Оффшор СЦС нь орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөө багатай ч хэрэглэгчид очих цахилгаан эрчим хүчний үнэ харьцангуй өндөр байдаг. Манайд далай тэнгис байхгүй, СЦС барихаар нуур ч ховор учир үүнийг авч үзэхээ больё. Оншор буюу эх газарт СЦС барьж ашиглахад манай орны хувьд салхины нөөцтэй нутаг нүүрсгүй адил говь хээрийн бүсэд байдаг атал цахилгааны ихэнх хэрэглэгчид нь хангайн бүсэд байдгийг тооцох хэрэгтэй. Мэргэжилтнүүд СЦС-ын сэнс байрлах өндөрт салхины хурд 5-10 м/с орчим байхыг хамгийн тохиромжтой гэж үздэг. Цаг агаарын ажиглалтыг ихэвчлэн 10 м-ээс хэтрэхгүй өндөрт гүйцэтгэдэг. Энэ үзүүлэлт 100 м өндөр дэх утгаасаа зөрүүтэй байдаг тул үүнийг СЦС-ын төлөвлөлтөд бас тооцох хэрэгтэй болдог [12].

Манай орны салхины эрчим хүчний нөөц дундчаар бага биш ч салхины хурд буюу эрч жигд бус бөгөөд зарим үед огт салхигүй, заримдаа хурд нь 20 м/с-ээс ч давах тохиолдлууд байдаг. Үүнээс болоод үйлдвэрлэн гаргаж буй эрчим хүчний хэмжээ жигд бус буюу хэрэглэгчид очих цахилгаан эрчим хүчний чадал ихээхэн хэлбэлзэж янз бүр болно. Иймээс СЦС-ын гаргаж буй цахилгааны чадлын хэлбэлзлийг багасгаж жигдлэх, салхигүй үед хэрэглэгчээ цахилгаанаар хангахын тулд салхитай үед эрчим хүчээ

нөөцлөх гэсэн хоёр асуудал тулгарна. Дэлхийд анх салхины эрчим хүчийг ашиглан цахилгаан гаргах үед энэ үзэгдэл ихээхэн төвөг учруулж байсан бөгөөд орчин үед энэ бэрхшээлийг арилгах арга технологи боловсрогдож байгаа ч бүрэн шийдэгдээгүй байна. Салхины хурд 20-30 м/с хүрэх үед СЦС-ын сэнс бүхий багана, төхөөрөмжийн бат бөх чанарыг онцгой анхаарах хэрэгтэй бөгөөд их хүчтэй салхины үед эрчим хүч үйлдвэрлэхийн оронд сэнсээ зогсоох болдог. Манайд 20 м/с буюу түүнээс их хурдтай салхи шуурга болонгуут өндөр хүчдэлийн бетонон болон төмөр шонгууд хэдэн арваараа унаж, хөдөө орон нутгийг цахилгаангүй болгодог явдал хэд хэдэн удаа тохиолдож байсан бөгөөд саяхан 2018-11-25-нд энэ байдал давтагдаж, Дөргөний УЦС-аас цахилгаан түгээх шугамын болон ОХУ-аас цахилгаан эрчим хүч авдаг өндөр хүчдэлийн шонгууд унаж баруун аймгуудыг цахилгаангүй болгосныг санаж байхад илүүдэхгүй! Мөн том хэмжээний СЦС барьж ашиглахад тэнд үүсэх дуу шуугиан, доргилт чичиргээн зэргээс хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөг дэлхийн улс орнуудад шүүмжилж байна. Тухайлбал, СЦС-ын орчимд нам давтамжийн инфра-дууны шуугиан тархаж хүн, амьтан, шувуу хүртэл амьдрах аргагүй болдгийн зэрэгцээ телевизийн нэвтрүүлгийн гаралтанд сөргөөр нөлөөлдөг байна [12]. АНУ зэрэг өндөр хөгжилтэй орнуудад оншор СЦС нь орчны үзэмж, гоо-сайханд муугаар нөлөөлж байна гэж ард түмэн нь эсэргүүцдэг тул заримдаа өртөг зардал өндөр ч гэсэн оффшор станц барихад хүрдэг байна. Том чадлын СЦС барихыг хязгаарладаг бас нэг зүйл бол түүнд шаардагдах талбай юм. Салхины хурд 9-10 м/с үед 100м өндөртэй шон бүхий 100м диаметртэй сэнстэй СЦС 1МВт цахилгаан эрчим хүч гаргана гэвэл 1000 МВт-ын СЦС барихад ойролцоогоор 330 км квадрат талбай шаадрагдана. Ийм их талбай шаардлагатай болдгийн гол шалтгаан нь зэргэлдээ байрласан хоёр сэнс бие биедээ нөлөөлөхгүй байхын тулд тэдгээрийн хоорондох зай нь шонгийн өндрийг гурав дахин авснаас багагүй байх нөхцөлтэй холбоотой. Хэрэв шонгийн өндөр 100 м гэвэл хоорондох зай нь 300 м байна гэсэн үг. Дээр дурдсан нөхцлүүдийг тооцвол орон нутгийн хэмжээнд буюу говь хээрийн бүсийн зарим хэрэглэгчдийг СЦС-ын эрчим хүчээр хангах боломжтой. Харин хангайн бүс, томоохон хот, суурин газар, үйлдвэр төвлөрсөн байршлыг бусад эх үүсвэрээр хангавал илүү тохиромжтой.

Нарны цахилгаан станц (НЦС) нэмж барин, ашиглах нөөц бололцоо манайд нилээд бий. Судлаачдын ажиглалтаар манай орны нутаг дэвсгэрийн дийлэнхэд 200 гаруй өдөр нь нарлаг байдаг байна [5,6]. Дэлхий дахинаа нарны эрчим хүчийг үндсэн хоёр аргаар цахилгаан эрчим хүч гаргахад ашиглаж байна. 1-р арга нь ДЦС-тай төстэй бөгөөд зөвхөн нүүрс шатаахын оронд нарны туяаг цуглуулан устай саван дээр тусгаж, буцалсан усны уураар турбинаа эргүүлж цахилгаан гаргадаг [12]. Үүнийг заримдаа нарны дулааны станц ч гэдэг. Ингэж халаасан усыг цахилгаан гаргахад төдийгүй шууд дулааны эрчим хүч байдлаар орон байрыг дулаацуулахад ашиглаж болно. Энэ аргаар цахилгаан гаргахад өртөг зардал нилээд өндөр, ашигт үйлийн коэффициент харьцангуй бага байдаг. Өндөр хөгжилтэй зарим оронд боломжийг нь харуулах зорилгоор энэ төрлийн цахилгаан станц барьж, ажиллуулж байгаа туршлага бий. Харин энэ зарчмаар ажилладаг жижиг оврын нарны дулааны станцыг манайд ашиглаж болох юм. НЦС ажиллуулах 2-р арга нь фото-цахилгааны үзэгдэлд үндэслэгддэг бөгөөд нарны гэрлийг шууд цахилгаан эрчим хүч болгон хувиргаж ашигладаг. Энэ аргын ашигт үйлийн коэффициент харьцангуй өндөр бөгөөд модуль бүтэцтэй тул зарчмын хувьд том жижиг ямар ч хэмжээтэй хийх боломжтой. Энэ төрлийн НЦС-ууд манайд баригдан ашиглагдаж байна. Манайд нарны эрчим хүчийг их хэмжээгээр ашиглан нийт эрчим хүчнийхээ асуудлыг шийдэх гэвэл бас л зарчмын гэмээр асуудлууд тулгарна. Юуны түрүүнд анхаарах зүйл бол нарны эрчим хүч нь нэгж талбайд тусч буй гэрлийн эрчмээс шууд хамаардаг явдал юм. Гэрлийн эрчим нь манайд зуны улиралд хүрэлцээтэй байдаг ч өвлийн цагт буюу эрчим хүч хамгийн хэрэгтэй үед эрс багасдаг. Өөр анхаарах зүйл

бол СЦС-тай төстэй, наргүй үед хэрэглэгчээ эрчим хүчээр хангахын тулд нартай байхад гаргасан эрчим хүчээ хуримтлуулж хадгалах хэрэгтэй болдог. Энд тодорхой алдагдал гарахын зэрэгцээ нэмэлт ихээхэн хөрөнгө шаардагдана. Эдгээрээс гадна нарны эрчим хүчийг хамгийн цэвэр гэж үздэг байснаа сүүлийн үед том хэмжээний НЦС барьж ашиглахад маш их хэмжээний материал, барих талбай шаардагдах тул түүний байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөний асуудал сөхөгдөж эхэлж байна. Иймээс манай оронд НЦС-ыг орон нутгийн чанартай буюу хөдөөний айл өрхүүдийн цахилгааны асуудлыг шийдэхэд ашиглаж болох боловч улсын хэмжээний нийт эрчим хүчний хангамжинд өөр үүсвэр ашиглах зайлшгүй шаардлага байна.

Усан цахилгаан станц (УЦС)-ыг барьж ашиглах талаар манайд бага зэрэг туршлага хуримтлагдаж байна. Манай орон нийт урт нь нилээд олон километрээр хэмжигдэх, 3800 орчим том, жижиг гол мөрөнтэй гэдэг [5,6]. Цаашид улс орны эрчим хүчний системд мэдэгдэхүйц нөлөөтэй УЦС барья гэвэл томоохон голуудын дийлэнх нь төвийн бүсд байдаг бөгөөд бараг бүгдээрээ Сэлэнгэ мөрний цутгал болдог. Иймээс дээр хэлсэнчлэн дэлхийн цэнгэг усны томоохон нөөц болсон Байгал нуурын асуудлаас болоод Эгийн голын УЦС-тай төстэй нөхцөл байдал үүсэх нь ойлгомжтой. Орон нутгийн чанартай УЦС-ыг бусад жижиг голууд дээр барьж ашиглаж болох боловч тэдгээрийн олонхи нь эрчим хүч ид хэрэгтэй өвлийн улиралд хөлддөг, зарим нь хавар ширгээд тасалддаг байна. Ер нь манай улс дэлхийн усны нөөц багатай 173 орноос нилээд дээгүүр байранд ордог. УЦС нь сэргээгдэх эрчим хүчний ангилалд багтдаг, аяндаа урсч байдаг голын усны эрчим хүчийг ашигладаг боловч сүүлийн үед бас л түүний байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөнийх нь тухай нилээд ярьж бичдэг болж байна. Томоохон УЦС барихын тулд их талбай эзэлсэн усан сан хэрэгтэй болдог. Тэр хиймэл нуурын доор орох ашигт малтмал ашиглагдахгүй, түүх дурсгалын үнэт зүйлсийг илрүүлэх боломжгүй болно. Хиймэл нуурын орчимд намагшдаг, тогтмол ус үүсч, усны “хогийн” ургамалтай болж өмхийрдөг, загас үржихэд муугаар нөлөөлдөг гэх мэтээр гадаадын хэвлэлүүдэд шүүмжилж байна [12].

Дээр дурдсан хүчин зүйлүүдээс тунгааж үзвэл манай улс урт хугацааны туршид эрчим хүчний хэрэгцээгээ найдвартай эх үүсвэрээр хангая гэвэл зөвхөн нүүрсээр ажилладаг ДЦС ба СЭХ ашигладаг нар, салхи, усан цахилгаан станцаар хязгаарлахгүй өөр шинэ дэвшилтэт эх үүсвэр зайлшгүй ашиглах шаардлага гарч байна. Энэ бол хүн төрөлхтний хөгжлийн ирээдүй болсон цөмийн эрчим хүч юм.

Тав. Дэлхий дахинаа цөмийн эрчим хүч ашиглаж буй байдал: Эерэг сөрөг талууд

Цөмийн эрчим хүчийг гаргаж авахад цөмийн урвалыг ашигладаг. ЕБС-д химийн хичээл дээр зарим химийн урвалын үед урвалд орсон бодисын температур өсч халдаг тухай үздэг. Нүүрс түлж гал гаргаж байгаа нь ч химийн урвалын нэг хэлбэр юм. Ураны нэг цөмийн хуваагдах урвалын үед ялгарах энерги химийн нэг урвалаас гарах энергиэс хэдэн сая дахин их байдаг. Үүнийг дараах хялбар тооцооноос харж болно.

1кг цэвэр 100% уран-235 изотопыг цөмийн реакторт хуваагдах урвалд оруулахад 22.7 сая кВт-ц эрчим хүч ялгардаг. Харин 3000 ккал/кг илчлэгтэй 1кг нүүрсийг шатаахад ойролцоогоор 3.5 кВт-ц эрчим хүч ялгарна. Энэ хоёрын харьцаа 6.48 сая байна. Өөрөөр хэлбэл, 1кг уран-235 изотоп хуваагдах цөмийн урвалд ороход ялгарах эрчим хүч 1кг нүүрс шатаахад үүсэх эрчим хүчнээс 6.48 сая дахин их байна. Энэ утгыг Киселевийн [12] 2.5 сая гэсэн үр дүнтэй ойролцоо байна гэж үзэж болно. Энд байгаа ялгаа нь нүүрсний илчлэгийг хэд гэж авахаас шууд хамаарна.

Иймээс харьцангуй бага хэмжээтэй ураныг ашиглан маш их энерги буюу эрчим хүч гаргаж болдог. Үүнийг ашиглан АНУ атомын бөмбөг хийж, 1945 онд Японы Хирошима, Нагасаки хотуудад хаяж, олон мянган хүний аминд хүрсэн бол, 1954 онд

тэр үеийн Зөвлөлт Холбоот Улс (одоогийн Оросын Холбооны Улс) анхны цөмийн цахилгаан станцыг ажилд оруулж, хүн төрөлхтөнд эрчим хүчний цоо шинэ эх үүсвэрийг гардуулж өгсөн юм. Үүнээс хойш цөмийн эрчим хүчийг ашиглах техник, технологи асар хурдацтай хөгжиж, ЦЦС-тай улсын тоо өссөөр, 2017 оны эцсийн байдлаар дэлхийн 30 оронд нийт 392 мянган МВт цахилгаан эрчим хүчний чадалтай 448 цөмийн эрчим хүчний реактор ажиллаж, дэлхийн цахилгаан эрчим хүчний 10.6%-ийг үйлдвэрлэж, жилийн өсөлт нь 1.1% байлаа. Одоо 16 улсад 60 мянган МВт чадал бүхий 59 эрчим хүчний реактор буюу нэгж баригдаж байна [10,14]. ЦЦС-тай улсуудаас гадна Бангладеш, Беларусь, Арабын Нэгдсэн Эмират Улс зэрэгт шинээр ЦЦС барьж байна. Эдгээрээс гадна Турк, Иордан, Вьетнам, Казахстан, Египет зэрэг ЦЦС барьж ашиглахаар бэлтгэж буй орнууд ч нилээд байна.

2017 оны байдлаар нийт цахилгаан эрчим хүчнийх нь үйлдвэрлэлд цөмийн аргаар гаргасан цахилгаан эрчим хүчний эзлэх хувь 30-аас дээш байгаа улс дэлхийд 12 байна. Тухайлбал, энэ үзүүлэлт Францад-72.3%, Словакад-60.1%, Украинд-55.3%, Унгарт-49.1%, Бельгид-47.7% гэх мэт байна. Цаашид цөмийн эрчим хүчний хэрэглээ улам өргөжиж, ЦЦС-тай улсуудын тоо нэмэгдэж байгаа тухай дээр дурдсан. Цөмийн эрчим хүчийг зарим хүмүүс маш аюултай, ашиглаж болохгүй гэж байхад нөгөө хэсэг нь ямар ч аюулгүй, цэвэр үүсвэр гэдэг. Ард иргэдийн дийлэнх нь цөмийн эрчим хүчний тухай ямар ч ойлголтгүй, зөвхөн тухайн үед хэвлэл мэдээллийн хэрэгслээр цацагдаж буй эерэг буюу сөрөг мэдээллийг дагаад гуйвж байна. Иймээс цөмийн эрчим хүчний талаар аливаа туйлшрал, улс төржилтгүйгээр, шинжлэх ухааны үндэстэй, амьдрал практикаар шалгагдаж, дэлхий дахинаа хүлээн зөвшөөрөгдөж буй үнэн зөв мэдээллийг төрөл зүйлээр нь аюулгүй ажиллагаа, экологи, эдийн засгийн асуудлууд гэж гурав ангилан товчхон сийрүүлье:

1. Аюулгүй ажиллагааны асуудал нь цөмийн эрчим хүчийг ашиглахад маргаан дагуулдаг гол зүйл учраас түүнийг хамгийн эхлээд авч үзье. ДЦС-д зууханд нүүрс түлж, тогоотой усыг халааж уур үүсгэн түүгээрээ турбиний сэнсийг эргүүлж цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэдэг. ЦЦС-д болохоор зууханд нүүрс шатаахын оронд цөмийн реактор хэмээх төхөөрөмжинд ураны цөмийг удирдлагатай хуваагдах урвалд оруулж ялгарах дулааныг нь ашигладаг. Тиймээс ДЦС ба ЦЦС хоёрын гол ялгаа нь зөвхөн дулаан гарган авах арга буюу тэнд хэрэглэгдэх төхөөрөмжиндөө байгаа юм. Бусад бүх тоног төхөөрөмж нь ДЦС ба ЦЦС-д үндсэндээ ижилхэн гэж үзэж болно. ЦЦС-ын нийт үнийн 30 шахам хувь нь цөмийн реактортаа байдаг [15]. Ураны цөм хуваагдах урвалд орох үед асар их энерги реакторын голомт дотор үүсэх учир түүнийг дэлбэлчихгүй зөв удирдах асуудал үнэхээр хамгаас чухал байдаг. ЦЦС-д тохиолдож байсан том, жижиг саатал, ослоуд ч реакторын хийц, удирдлагатай холбоотой байсан. ЦЦС-ыг 1954 онд ашиглаж эхэлснээс хойш өнгөрсөн 64 жилийн хугацаанд цөмийн эрчим хүчний реакторт ноцтой гэж үзэхээр гурван осол гарсан байдаг. Анх 1979-3-28-нд АНУ-д Три-Майл-Айланд ЦЦС-ын 2-р энергоблокийн реакторын хөргүүрийн хэсэгт цооролт үүсч, хөргүүрийн ус алдагдсанаас болоод цөмийн түлш болох ураны давхар исэл бүхий голомтын 50% нь хайлсан боловч дэлбэрэлт үүсгэлгүй унтрааж чадсан тул цөмийн цацрагт хордож амь үрэгдсэн хүн гараагүй гэдэг [16]. Реакторын голомт бат бөх битүү саванд байсны ачаар гадагш их хэмжээний цацраг идэвх алдалгүйгээр, хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөө харьцангуй бага өнгөрчээ.

Үүнээс 7 жилийн дараа буюу 1986-4-26-нд тэр үеийн ЗХУ (одоогийн Украин улсын нутаг)-д Чернобылийн ЦЦС-д ноцтой осол гарч, реактор нь гадуураа битүүмжилсэн бат бөх хамгаалалтгүй байсан учраас их хэмжээний цацраг идэвхт бодис орчинд цацагдсан билээ [16,17]. Энэ ослын үеэр шууд цөмийн цацрагийн улмаас 31 хүн нас барсан гэж үздэг. Цацраг идэвхт бодис тархаж, хүний эрүүл мэндэд нөлөөлж болох бүсийг дэлхий нийтээр 30 км-ээр тогтоосон байдаг. Чернобылийн орчны 30 км

доторхи айлуудыг нүүлгэж, орчны бохирдол, цацраг идэвхийг арилгаж хоргүйжүүлэх талаар асар их ажил хийсний дүнд үндсэнд нь хэвийн болгосон билээ. Мөн эвдэрсэн энергоблок болон реакторын гадуур “Саркофаг” хэмээх бунхан маягийн бат бөх бетонон барилга байгууламж барьж битүүмжилсэн байна. Одоо энэ байгууламж бүхэлдээ олон улсын болон Украины цөмийн ба хүрээлэн буй орчны асуудал хариуцсан байгууллага, мэргэжилтнүүдийн нарийн нягт хяналтанд байдаг.

Цөмийн эрчим хүчний ашиглалтын хугацаанд гарсан гурав дахь ноцтой осол 2011-03-11-нд Японы Фүкүшима ЦЦС-д болсон. Энэ ослын үеэр шууд цөмийн цацрагт өртсөнөөс болж хүн нас бараагүй ч орчинд их хэмжээний цацраг идэвхт бодис тархаж экологийн болон эдийн засгийн томоохон хохирол учруулсан. Фүкүшима ЦЦС орчмын 30 км-ийн бүсэд байсан хүн амыг түр нүүлгэн шилжүүлсэн. Чернобылийн болон Фүкүшимагийн станцад осол гарах үеэр хоёуланд цөмийн бус химийн дэлбэрэлт болж реакторын барилга байгууламж эвдэрч нурсан.

Энэ гурван ослын шалтгаанд анализ хийж үзэхэд тус бүрдээ өөрийн онцлогтой боловч ерөнхий зүйл нилээд байдаг. Эдгээрийг техник, технологи, дизайнтай холбоотой зүйл, хүний хүчин зүйл гэж үндсээр нь хоёр ангилж болно. Осол гарсан реакторууд нь 1960-аад онд буюу одоогоос 50 гаруй жилийн өмнө зохион бүтээгдэж, 1970-аад оны дундуур баригдсан, ЦЦС-ын анхны техник, технологийг ашигласан байв. Эдгээр ослууд болон бусад ЦЦС дээр гарч байсан жижиг эвдрэл, саатлуудын шалтгааныг тооцсоны үндсэн дээр техник, технологи, дизайнаа тасралтгүй шинэчилж, сайжруулсаар орчин үед 4-р үеийн гэж нэрлэгддэг дэвшилтэд хийцтэй реактор зохион бүтээгдэж байна. Осолд хүргэдэг хоёр дахь хүчин зүйл буюу реакторыг ажиллуулдаг мэргэжилтнүүдийн мэдлэг, чадвар, дадал дээр онцгой анхаардаг боллоо. Ер нь зориудаар осол гаргах гэсэн террорист үйл ажиллагаа ч байхыг үгүйсгэх аргагүй тул сүүлийн үед хүний үйл ажиллагаанаас болж ЦЦС-ыг осолд хүргэх боломжгүй болгож байна. Өөрөөр хэлбэл ЦЦС-ыг онгоц ирж мөргөх, шатах дэлбэрэх зүйлд өртөх зэргээс хамгаалсан маш бат бөх, зузаан төмөр бетонон хийц бүхий байгууламжаар бүрж битүүмжилсэн биет хамгаалалтаас эхлээд компьютерийн удирдлагатай, иж бүрэн автомат удирдлага бүхий 5-аас цөөнгүй давхар хамгаалалтын системтэй барьдаг боллоо.

Эдгээрийн үр дүнд орчин үеийн ЦЦС-д нэг жилд осол гарах магадлал саяны нэг болсон байна. Энэ бол 1000 станц 1000 жил ажиллахад нэг осол гарч магадгүй гэсэн үг бөгөөд магадлалын чанартай учраас энэ үед огт осол гарахгүй байх ч боломжтой. Тиймээс ЦЦС нь орчин үеийн хамгийн аюул багатай эрчим хүчний эх үүсвэрийн нэг гэж үзэх бүрэн үндэстэй болсон юм.

Эрчим хүчний бусад эх үүсвэр ДЦС, УЦС зэрэг дээр ч хүний амь эрсэдсэн томоохон осол дэлхийн улс орнуудад гарч байсан тохиолдлууд байдаг. Тухайлбал, 2009-08-17-нд ОХУ-ын Саяно-Шушенскийн УЦС-д болсон осолд Чернобылийхоос олон буюу 75 хүн амь үрэгдсэн. Тэнд ажиллаж байгаад амьд үлдсэн цөөн хүмүүсийн авхаалж самбаа, амь хайргүй баатарлаг үйл ажиллагааны үр дүнд уг эвдэрсэн блок руу цутгаж байсан их усыг хааж чадсан юм. Хэрэв тэгж чадаагүй бол асар их хэмжээний ус бүхий усан сангийн далан эвдэрч, голын урсгалын доор байсан олон мянган хүнтэй хот тосгод усанд автан ямар аюулд хүрэх байсныг төсөөлөх аргагүй.

2013-03-29-нд Украинд ДЦС-д дэлбэрэлт болж уг станцын 4 блок бүгд эвдэрч, барилга байгууламж нь түймэрт шатаж, хүний амь сүйдсэн эмгэнэлт явдал болсон.

Энэ мэт хүний амь насанд аюултай хүчин зүйл бидний эргэн тойронд маш олон байдаг. АНУ-ын судлаач, мэргэжилтнүүдийн гаргасан мэдээлэл дүгнэлтээр [18] хүний амь насанд аюултай хүчин зүйлүүдийг эрэмбэлэн жагсаахад 1-рт тамхи татах, 2-рт архи уух, 3-рт машин жолоодох оржээ. Цааш уг жагсаалтыг үргэлжлүүлбэл: галт зэвсэг, цахилгаан хэрэглээ, мотоцикль, усанд сэлэх, мэс засалд орох, рентген туяагаар зураг

авахуулах, төмөр замын ба агаарын тээвэр, унадаг дугуй, ан гөрөө гэх мэт явсаар 20-рт цөмийн эрчим хүч оржээ. Үнэхээр нисэх онгоц буюу хүн тээврийн усан хөлөг онгоц сүйрэхэд хэдэн зуун хүний амь нэг дор сүүддэг. Тэр байтугай ердийн зам тээврийн ослоор дэлхий дээр нэг жилд 1.3 сая хүн, манайд 500 орчим хүн нас бардаг гэсэн статистик мэдээ байна. Үүнээс болоод хүн төрөлхтөн автомашин, нисэх онгоц буюу усан онгоцноос татгалзахгүй нь ойлгомжтой. Манайд 2018 онд зөвхөн мотоциклийн ослоос болж 80 гаруй хүний амь эрсэдсэн тухай эмгэнэлтэй статистик тоо баримт байна. Үүнийг сонсоод манайхан мотоциклийн хэрэглээнээс татгалзахгүй байх.

ОХУ-ын цөмийн эрчим хүчний төхөөрөмж, реактор үнэхээр найдвартай, бат бөх гэдгийг илчлэх нэг жишээ дурдъя. 2000-08-12-нд цэргийн сургуулилтын үеэр ОХУ-ын 154 м урттай “Курск” гэдэг цэргийн усан доогуур явдаг аварга том хөлөг онгоц (завь)-нд торпедийн сумны 2 удаагийн дэлбэрэлт болж живээд, багийн 118 гишүүд нас барсан эмгэнэлт явдал болсон. Тэгэхэд уг хөлөг онгоцны цөмийн хөдөлгүүрт байсан реактор эвдэрч дэлбэрээгүйгээр барахгүй автоматаар унтрах горимдоо орж аюулгүй болсон байсан юм. Одоо ОХУ-ын мөс зүсэгч, цөмийн хөдөлгүүртэй усан хөлөг онгоцнууд хойд мөсөн далайд хэд хэдээрээ явж хэдэн метрийн зузаантай мөсийг зүсч бусад энгийн хөлөг онгоцондоо зам гаргаж өгч байна. Энэ үед уг мөс зүсэгч хөлөг онгоц, түүний хөдөлгүүр цөмийн реакторт ямар их ачаалал, доргио ирж байгаа нь ойлгомжтой. Энд ажиллаж буй 10-30 МВт чадалтай цөмийн эрчим хүчний реакторуудаас манайх авч ЦЦС болгон алслагдсан нутагт ашиглахад болохгүй юу байхав. Харин манай нөхцөлд тохируулж реакторын хийц, ажиллах горимд өөрчлөлт оруулахад нэмэлт хөрөнгө, цаг хугацаа зарцуулах нь ойлгомжтой. Ийм төрлийн реакторын түлшийг 20 орчим жилд нэг удаа сольдог тул түлшний менежментийн асуудал харьцангуй хялбар шийдэгдэх боломжтой.

Цөмийн цацрагийн хэт өндөр тунгаар шарагдсанаас болж хүний эрүүл мэнд амь нас шууд хохирч болохоос гадна үр удамд нь нөлөөлөх магадлал байдаг нь үнэн [19]. Ийм нөлөөллийг мутаци (латинаар өөрчлөлт гэсэн утгатай үг) гэдэг ойлголтын дор авч үздэг. Мутаци нь генийн ба хромосомын гэж хоёр төрөл байдаг. Цөмийн цацрагийн нөлөөгөөр эдгээрийн аль нь ч үүсэх магадлалтай. Гэхдээ дэлхийн өндөр хөгжилтэй орнуудад хийгдэж буй генетикийн ба микробиологийн судалгааны дүнгээс харахад цөмийн цацрагийн үйлчлэлээр үүссэн гэж баттай үзэж болох мутаци ховор бөгөөд түүнийг мутаци үүсгэдэг бусад хүчин зүйлээс ялган тогтоох маш хэцүү. Тухайлбал, 1945 онд АНУ-ын атомын бөмбөг дэлбэрсэн Японы Хирошима, Нагасаки хотуудын оршин суугч, цөмийн цацрагт өртөж, харьцангуй их хордсон байх магадлалтай эцэг эхээс төрсөн 27000 хүүхдийн дунд цацрагийн мутаци болсон байж магадгүй тохиолдол хоёр л гарсан байна. Харин дээрх хотуудын оршин суугч, цөмийн цацрагийн харьцангуй бага тун авсан гэж үзэж болох эцэг эхээс төрсөн 27000 хүүхдийн дунд мутаци болсон гэхээр хүүхэд нэг ч гараагүй байна [18]. Түүнээс гадна харьцангуй их цацрагийн тун авсан байх магадлалтай эцэг эхээс төрсөн хүүхдэд ажиглагдсан дээрх хоёр тохиолдлыг яг цөмийн цацрагаас болсон гэж үзэхэд бас төвөгтэй. Ердийн үед ч гэсэн генетикийн өөрчлөлттэй, Дауны синдром буюу хам шинжтэй, оюуны хомсдол, хөгжлийн бэрхшээлтэй хүүхдүүд дэлхийн аль ч улсад төрдөг шүү дээ. Бүүр 1866 онд цөмийн цацраг гэдэг зүйл 1896 онд нээгдэхээс 30 жилийн өмнө Английн эмч Л.Даун анх энэ өвчний тухай бичиж байсан төдийгүй дэлхий дахинд “Монголизм” [19] гэж, зөвхөн монголд байдаг юм шиг, нэрлэж байсныг болиулахаар манай эмч нар Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагад удаа дараа хандаж байсныг энэ дашрамд дурдахад сонин болов уу.

Үнэн бодит баримт ийм байхад хааяа манай зарим телевизээр, ялангуяа улс төрийн сонгууль дөхөхөөр, цөмийн цацрагийн нөлөөгөөр гажигтай хүн, амьтан олноор төрдөг мэтээр ярьж, хаана хийсэн, яаж монтажилсан нь тодорхойгүй, аймшигийн

гэмээр киног хэн нэгний захиалгаар гаргаж, олон нийтийг үймүүлж байгаа нь туйлын хариуцлагагүй явдал мөн.

Цөмийн эрчим хүчийг улам өргөнөөр эрчимтэй ашиглаж буй хөгжингүй гүрнүүд болон шинээр ашиглахаар барьж, төлөвлөж байгаа хөгжиж буй улсуудын дотор нефть, байгалийн хий, нүүрсний маш их нөөцтэй орон цөөнгүй байна. Эдгээрийг биднээс “тэнэг” болохоороо юмуу, эсвэл аюулыг нь мэдэхгүйдээ цөмийн эрчим хүчийг ашиглаж буюу ашиглахаар тэмүүлж байна гэвэл уучилж боломгүй эндүүрэл болно. Харин ч эдгээр улс бодит байдлыг зөв ойлгож, алсыг харж, эрчим хүчнийхээ асуудлыг найдвартай шийдвэрлэхэд цөмийн эрчим хүч бол хамгийн зөв хувилбар гэж үзэж байгаа нь ойлгомжтой.

2. Үнэ өртөг, эдийн засгийн асуудал. Гадны улсаар ЦЦС бариулж буй орнууд шаардагдах санхүүжилт хөрөнгийн асуудлаа өөр өөрийн онцлогтойгоор шийдэж байна. 1-рт, ЦЦС барьж өгөх орон нь газар нутагтаа бариулж байгаа улсад төр засгийн түвшний буюу засгийн газраас засгийн газарт санхүүжилт оруулах; Энэ өвөрмөц жишгээр манай хоёр хөрш буюу ОХУ-аас Бангладеш, Беларусь, Вьетнам, Нигер зэрэг оронд БНХАУ-аас Пакистанд ЦЦС барих болсон байна. 2-рт, ЦЦС бариулж буй эзэн орны засгийн газрын баталгаатай зээл хэлбэрээр барих; Ийм санхүүжилтээр АНУ-аас Грузинд цөмийн эрчим хүчний 4 реактор барих болсон. 3-рт, хувьцааны тодорхой хувийг эзэмших; Энэ аргаар БНСУ-аас Арабын Нэгдсэн Эмират Улсад тус бүр 1400 МВт цахилгаан эрчим хүчний чадалтай 4 ЦЦС, ОХУ-аас Туркэд нийт 4800 МВт цахилгааны чадалтай 4 реактор барих болсон байна. 4-рт, цахилгаан эрчим хүчний зах зээлийн эрсдэлийг бууруулах; Энэ аргыг хэрэглэснээр ЦЦС-аас үйлдвэрлэн хэрэглэгчид өгч буй эрчим хүчээ удаан хугацааны турш тогтмол үнэтэй байлгах болдог. Жишээ нь, дээр дурьдсан Туркийн 4 реактортай ЦЦС-ын эхний 2 реакторын үйлдвэрлэх эрчим хүчний 70%-ийг, сүүлийн 2 реакторын үйлдвэрлэх эрчим хүчний 30%-ийг тус тус 15 жилийн турш 1кВтц нь 12.35 цент байхаар тохиролцсон байна [14]. Энэ бол манайд одооны түвшинд нилээд өндөр үнэ боловч 15 жилийн турш тогтмол гэдэг нь сонирхол татаж байгаа юм.

ЦЦС-ын өртөг зардал нь тухайн улс орны техник, технологи, эдийн засгийн хөгжил, ард түмний амьдралын түвшин зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарч янз бүр байдаг. Сүүлийн үеийн мэдээллээр 1000 МВт цахилгааны чадалтай ЦЦС-ын төслийн өртөг 1.8-6.6 тэрбум Ам.доллар байна [14]. Ийм чадлын ДЦС барих өртөг ч үүнээс их зөрүүтэй биш байдаг. Аливаа томоохон төхөөрөмжийн өгөөж буюу ашигтай ажиллагааг илэрхийлдэг АҮК нь ЦЦС-д дундчаар 33% байдаг бол ДЦС-д 40% орчим байдаг [8]. Энэ зөрүүг ч цаашид ЦЦС-ын технологи хөгжихийн хирээр арилгах боломжтой гэж үздэг. Аливаа томоохон үйлдвэрийн ашиглалтын өөр нэг чухал үзүүлэлт бол гаргаж буй нэгж бүтээгдэхүүний үнэ буюу өөрийн өртөг юм. Үүнийг эрчим хүчний үйлдвэрлэлд 1 кВтц-ийн өртгөөр тооцдог [20]. Нүүрсээр ажилладаг ДЦС-аас гаргаж буй 1 кВтц цахилгаан эрчим хүчний өөрийн өртөг дундчаар АНУ-д 8.7 цент, Австральд 6.7 цент, Германд 10.2 цент, Их Британид 18.2 цент орчим байдаг. ЦЦС-аас гаргаж буй цахилгаан эрчим хүчний өөрийн өртөг дундчаар АНУ-д 9.5 цент, Францад 5.7 цент, Германд 3.9-12.2 цент, Их Британид 12.1 цент орчим байна. Эндээс харахад уламжлалт буюу нүүрсээр ажилладаг ДЦС ба цөмийн эрчим хүч хоёрын 1 кВтц-ийн өөрийн өртөг их зөрүүтэй биш байна. Ингэж гаргаж авсан эрчим хүч хэрэглэгч айлд очихдоо 1 кВтц нь дундчаар АНУ-д 12 цент, Англид 16.9 цент, Австральд 14.4-21.6 цент болдог байна. Ер нь цөмийн эрчим хүчний өөрийн өртөг нь ЦЦС-ын хүчин чадал ихсэхэд буурдаг бөгөөд 1000 МВт хүрэх үед ДЦС-ыхаас хямд болдог байна [14,15].

ЦЦС-ыг барих хугацаа нь түүний хүчин чадал, тухайн улсын техник, технологийн хөгжил, дэд бүтэц, санхүүжилт зэргээс хамаараад 5-10 жил байдаг [21].

Томоохон цахилгаан станц ашиглалтад орсноос хойш 10-15 жилд барьсан зардлаа нөхөөд цааш ашигтай ажилладаг. ЦЦС-ын баталгаатай ажиллах хугацаа хамгийн багадаа 30-40 жил бөгөөд засвар үйлчилгээний ажлыг цаг тухайд нь чанартай сайн гүйцэтгэвэл 50-60 жил тогтвортой ажилладаг тул [8] манайх ЦЦС-тай болвол эрчим хүчний асуудлаа шийдэхэд чухал хувь нэмэр болох нь дамжиггүй.

3. Хүрээлэн буй орчинд нөлөөлөх экологийн асуудал. Өндөр хөгжилтэй орнуудын судлаачдын олон жилийн ажлын үр дүнгээс харахад нүүрсээр ажилладаг 1000 МВт чадалтай ДЦС-д яг эрчим хүч үйлдвэрлэх үед 1 хоногт хүхрийн хүчлийн хий- 400 тн, азотын хүчлийн хий-100 тн, нүүрсхүчлийн хий-25 мянган тн, 60 гаруй хүнд металл ба тэдгээрийн нэгдлийг агуулсан жижиг ширхэгтэй тоосонцор-100 тн тус тус ялгаран, орчинд цацагддаг байна [12]. Энэ байдлыг ч манай хот, суурин газрын оршин суугчид өдөр бүр цахилгаан станцуудын яндангаас олгойдох өтгөн хар утаагаар төсөөлж, харж байдаг. Нүүрсээр ажилладаг ДЦС-ын яндангаар нүүрсхүчлийн буюу хүлэмжийн хий (CO_2)-нээс гадна азотын хүчлийн хий (NO_x), хүхрийн хүчлийн хий (SO_2) их хэмжээгээр цацагддаг нь энэ тоо баримтаас харагдаж байна. Эдгээр хий атмосферт хуримтлагдан, агаар мандлын хур тундас чийгтэй нэгдэн хүхрийн хүчил (H_2SO_3 , H_2SO_4), азотын хүчил (HNO_2) үүсгэж, хүчиллэг буюу хүчлэн бороо болж ордог [7] тул маш хортой. Дээрхтэй ижил 1000 МВт чадалтай ЦЦС-аас эдгээр хорт бодисын аль нь ч мэдрэмтгий багажинд бүртгэгдэхүйц хэмжээнд ялгарахгүй байв.

Харин цахилгаан станцад ашиглагдах түлшийг олборлохоос эхлээд, цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэсний дараа хаягдал үүсэх хүртэлх түлшний бүтэн циклийг авч үзвэл нүүрсээр ажилладаг ДЦС-тай харьцуулахад ЦЦС-ыг ашиглах үед азотын хүчлийн ба хүхрийн хүчлийн хий- 10 дахин, нүүрстөрөгчийн исэл- 25 дахин, нүүрсхүчлийн хий- 140 дахин, хорт хүнд металл, түүний нэгдэл агуулсан тоосонцор-2.5 дахин тус тус бага байв. Нүүрснээс бусад эрчим хүчний эх үүсвэртэй харьцуулсан үр дүн ч байдаг. Түлшний бүтэн циклийн үед нүүрсхүчлийн хий ялгаруулах хэмжээгээрээ цөмийн түлш нь нефтнээс-40, байгалийн хийнээс- 35, нарны зайнаас- 12, салхиныхаас- 4 дахин тус тус бага байдаг бөгөөд усан станцыхтай бараг ижил байдаг. Иймээс аль ч өнцгөөс нь авч үзсэн ураны түлшээр ажилладаг ЦЦС нь экологийн хувьд маш цэвэр эрчим хүчний үүсвэр гэдэг нь харагдаж байна.

Үүнээс гадна ард түмэнд төдийлөн мэдээлэгддэггүй, зөвхөн судлаач мэргэжилтнүүдийн хооронд голдуу яригддаг, экологитой холбоотой бас нэг чухал зүйл байдаг. Энэ бол нүүрсэнд байнга агуулагддаг цацраг идэвхт бодис юм. Газрын хөрсөнд уран, торий, калий зэрэг байгалийн цацраг идэвхт бодис их, бага янз бүрийн агуулагатай байдаг. Ураны агуулагдах хэмжээ 1 тн газрын хөрсөнд дэлхийн дунджаар 2.5 г орчим байдаг. Үүнийг кларк буюу кларкийн хэмжээ гэдэг [22]. Манай нүүрсэнд орд газраасаа хамааран 1 тн-д агуулагдах ураны хэмжээ 1 граммаас хэдэн зуун грамм хүртэл янз бүр байдгийг манай судлаачид тогтоожээ [23,24]. Энд манай 1 тн нүүрсэнд агуулагдах ураны хэмжээг хамгийн багаар буюу кларктай тэнцүүгээр 2.5 г гэж үзье. Улаанбаатар хотын 4-р ДЦС-д нэг жилд 3.5 сая тонн орчим нүүрс түлдэг гэвэл үүнийг 2.5 г/тн агуулгаар үржүүлэхэд жилд 8.75 тн уран зууханд орно. Уран нь хүнд металл учир шаталгүй, утаа тортогтой агаарт цацагдахын зэрэгцээ нүүрсний үнс ба шааранд баяжигдаж үлддэг. ДЦС-ын үнс ба шааранд агуулагдах ураны хэмжээ нүүрснийхээс ихэнхдээ 10 дахин нэмэгдсэн байдгийг манай судлаачид тогтоосон [23]. Ийнхүү жил бүр 4-р ДЦС-ын гадаа хэдэн тонн уран хаягдаж, хураагдаж байна гэсэн үг. 1983 онд 4-р ДЦС ашиглалтад орсноос хойш 35 жилийн хугацаанд 300 орчим тонн уран хуримтлагдсан байх нь. Үүнийг салхиар тараачихалгүй, битүүмжилж сайтар хямгадаж хадгалах ёстой. Алсдаа шинжлэх ухаан, технологийн боломжтой болохоороо энэ хуримтлагдсан уранаа ашиглах боломжтой гэдгийг бид санаж байх хэрэгтэй. Үүнээс

гадна цацраг идэвхт торийн кларкийн хэмжээ ураныхаас ойролцоогоор 4-6 дахин их байдаг тул цахилгаан станцын хаягдал үнс, шааранд байгаа уран дээр нэмэгдэнэ.

Харин ЦЦС ашиглах үед ийм их хэмжээний цацраг идэвхт бодис, уран, торий ил зайдгай хаягддаггүй. ЦЦС-д ашиглагддаг цөмийн түлшнийхээ онцлогоос болоод, дээр хэлсэнчлэн, нүүрснээс ойролцоогоор сая дахин бага уран буюу 3 % баяжуулалттай уран-235 изотопыг ердөө 30 тонныг л хуваагдах урвалд оруулахад 1 жилд 4.55 сая тн хүрэн нүүрс түлж байж 4-р ДЦС-д үйлдвэрлэх хэмжээний эрчим хүчийг гарган авах боломжтой. Цөмийн түлш ийм овор багатай авсаархан учир түүнийг зөөж тээвэрлэхэд нүүрс шиг нүсэр их ажил шаардагдахгүй. Үүний үрээр цөмийн түлшийг ашигласны дараах хаягдал ч бага хэмжээтэй байдаг.

Хүлэмжийн хий буюу нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалтыг бууруулах тухай 2015 оны “Парисийн гэрээ” батлагдахаас өмнө манай улс нүүрсний асар их нөөцтэй тул томоохон ДЦС хэд хэдийг барьж, эрчим хүчний асуудлаа шийдэх хэрэгтэй гэдэг хүмүүс нилээд байсан. Манай улсын нүүрсний нөөц дэлхийн нийт нүүрсний 0.4 % орчим гэдэг. Гэтэл манай ураны нөөц дэлхийн нийт ураны нөөцийн 4% орчим буюу энэ харьцангуй үзүүлэлтээрээ нүүрснээс бараг 10 дахин их юм. Тиймээс одоо уранаар ажилладаг ЦЦС барьж ашиглах зорилт тавин хэрэгжүүлэх цаг болжээ.

Ашиглагдсан цөмийн түлшийг тусгай агуулахад нарийн горим журмын дагуу тодорхой хугацааны турш хадгалаад богино настай цацраг идэвхт изотопуудыг задарч хор аюул нь багассаны дараа цааш боловсруулан, харуул хамгаалалттай битүүмжилсэн газарт олон улсын батлагдсан дүрэм журмаар булшилж хадгалдаг. Цөмийн түлшнээс үлдэх хаягдлын асуудлыг ЦЦС барьж, байгуулах гэрээндээ зөв тусгавал манай улсад онцын төвөггүйгээр шийдэх боломжтой.

Дээр хэлсэнтэй уялдуулан эргэж санахад, манайд цацраг идэвхт хаягдал гаднаас авч ирж булшлах гэж байна гэж хэдэн жилийн өмнө зарим хүмүүс ярьж, хэвлэл мэдээллийн хэрэгсэлээр шуугисан. Энэ нь үндсэндээ улс төрийн сонгуулийн шоу болоод өнгөрсөн [25]. Дэлхий даяар маш нарийн тоо бүртгэл, тооцоо хяналттай байдаг цөмийн хаягдал материалыг манай улс хоёр хөрш орныхоо нутаг дэвсгэр дээгүүр мэдэгдэхгүйгээр, Олон улсын атомын энергийн агентлагийн хяналт, зөвшөөрөлгүйгээр оруулж ирэх ямар ч боломж байхгүй гэдгийг энд сануулахад илүүдэхгүй болов уу.

Ямар нэг зориуд гажуудуулж, гуйвуулсан зүйлгүйгээр, баримт баталгаатай эдгээр мэдээллээс харахад орчин үед цөмийн эрчим хүч нь аюулгүй ажиллагаатай, эдийн засгийн үр ашгаараа эрчим хүчний бусад эх үүсвэрүүдтэй өрсөлдөх бүрэн боломжтой, экологийн хувьд хамгийн цэвэр гэж хэлж болохоор байна.

Манай зарим хүмүүс цөмийн эрчим хүчийг ашиглах, ЦЦС-ыг ажиллуулах хэцүү, манайхан хариуцлагагүй учраас ажиллуулж чадахгүй гэдэг. ЦЦС-ыг ажиллуулахад амархан гэж хэн ч хэлэхгүй. Гэхдээ хэзээ болтол бид чадахгүй, мэдэхгүй, хариуцлагагүй, манайх болоогүй гэж өөрсдийгөө “доошоо оруулж” байх юм бэ?

ЦЦС-д ус халаагч нь нүүрс түлдэг зуух биш, цөмийн урвал явуулдаг реактор гэдэг төхөөрөмж байдгаараа ДЦС-аас ялгаатай болохоос биш бусад бараг бүх тоног төхөөрөмж нь адилхан байдгийг дээр дурдсан. Иймээс бид реакторыг ажиллуулах мэргэжилтнүүдийг л нэмж бэлдэнэ гэсэн үг. ЦЦС дээр цацрагийн хамгаалалт, ажлын хариуцлага, сахилга бат, техникийн болон аюулгүй ажиллагааны соёл өндөр байхыг шаардаж, биелүүлэх нь тийм ч дааж давшгүй зүйл биш. Манай улс 1956 онд тэр үеийн Зөвлөлт Холбоот Улс (ЗХУ)-ын Дубна хотод Олон улсын Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институт (ЦШНИ)-ийг анх байгуулахаас нь эхлээд идэвхтэй оролцсоноор олон улсын хэмжээний, орчин үеийн цөмийн физикийн мэргэжилтнүүдтэй болох өргөн боломж нээгдсэн. 1973 онд Олон улсын атомын энергийн агентлаг (ОУАЭА)-ийн гишүүн болсон нь манайд цөмийн физикийн суурь судалгааны зэрэгцээ хэрэглээний

чиглэлүүд үүсч хөгжихөд ихээхэн түлхэц болсон юм. Манай улс цөмийн физик, технологи, цөмийн инженерчлэлийн чиглэлийн мэргэжилтнүүдээ гадаадад суралцуулж бэлтгэхийн зэрэгцээ 1960-аад оноос дотооддоо системтэйгээр сургаж ирлээ. Одоо манай цөмийн мэргэжилтнүүд ЦШНИ, ОУАЭА зэрэг олон улсын өндөр нэр хүндтэй байгууллагуудад болон АНУ, Япон, БНСУ, Швед, Канад, ОХУ зэрэг өндөр хөгжилтэй орнуудын боловсрол, шинжлэх ухааны байгууллагуудад амжилттай сурч, ажиллаж, эрдмийн зэрэг хамгаалж, бүтээлээ туурвиж байна. Эхнээсээ тэдний зарим нь эх орондоо эргэж ирээд мэргэжлийхээ дагуу ажиллаж, их дээд сургуульд багшилж, үндэсний өндөр боловсролтой мэргэжилтэн бэлтгэхэд хүчин зүтгэж байна. Манай цөмийн эрдэмтэн мэргэжилтнүүдийн эх орондоо гүйцэтгэж буй судалгааны үр дүн, бүтээлүүд гадаадын нэр хүндтэй, маш өндөр шалгуур, шаардлагатай сэтгүүлүүдэд хэвлэгдэж, олон улсын хэмжээний эрдэм шинжилгээний хурлуудад илтгэгдэж, гадаадын мэргэжил нэгт эрдэмтэдийн анхаарал, сонирхолыг татаж, тэдэнд ишлэгдэж, гадаадад зарлагдсан эрдэм шинжилгээний бүтээлийн уралдаанд удаа дараалан эхний байруудад шалгарч байгаа нь тэдний мэргэжил, мэдлэгийн түвшин хир зэрэг өндөр байгааг тод харуулж байна [26,27].

Манай цахилгаан станцын мэргэжилтнүүд хир зэрэг өндөр түвшинд хүрснийг БНСУ-ын барьж өгөөд ажиллахгүй байсан Даланзадгадын ДЦС-ыг ажиллуулж, өргөтгөл хийснээр жишээ болгон дээр дурдсан билээ. Манай СЭХ-ний мэргэжилтнүүд ч Япон зэрэг өндөр хөгжилтэй орнуудад эрдмийн зэрэг хамгаалж, Олон улсын сэргээгдэх эрчим хүчний агентлагийн Нарийн бичгийн дарга нарын газарт уригдан очиж, амжилттай ажилласан туршлага бий.

Зургаа. Монголд цөмийн эрчим хүч ашиглах боломж, ач холбогдол

Манай УИХ-аас 2016-2-5-нд баталсан “Монгол Улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал-2030” баримт бичигт эрчим хүчний шинэ эх үүсвэрийг ашиглах гурван үе шатыг зааж өгсөн билээ [9]. Үүнд: 1-р үе шатны 2016-2020 онуудад нийт эрчим хүчинд сэргээгдэх эрчим хүчний эзлэх хувийг 20-д хүргэх, цөмийн эрчим хүч ашиглах бэлтгэл ажлыг хангах; 2-р үе шатны 2021-2025 онуудад нийт эрчим хүчинд СЭХ-ний эзлэх хувийг 25-д хүргэх, цөмийн эрчим хүч ашиглах бэлтгэл ажлыг бүрэн хангах; 3-р үе шатны 2026-2030 онуудад нийт эрчим хүчинд СЭХ-ний эзлэх хувийг 30-д хүргэх, цөмийн эрчим хүч ашиглаж эхлэх гэж заасан.

Олон улсын атомын энергийн агентлаг (ОУАЭА)-аас баталж зөвлөмж болгосон, дэлхий нийтээр хүлээн зөвшөөрсөн, цөмийн эрчим хүчийг ашиглах ямар ч улс дагаж мөрддөг 19 бэлтгэл ажлыг манай улс хийж гүйцэтгэх ёстой. Юуны түрүүнд төр засгийн зүгээс цөмийн эрчим хүчинд суурилсан ЦЦС-ыг барьж ашиглана гэсэн хөдөлшгүй нэгдсэн шийдэлд хүрэх ёстой байдаг. УИХ-аас баталсан “Монгол улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал-2030”-д цөмийн эрчим хүчийг ашиглах бэлтгэл ажлыг хангах, ашиглаж эхлэх тухай заалтууд маш тодорхой хугацаа, үе шаттайгаар орсон тул хууль тогтоох байгууллагын эхний шийдвэр гарсан гэж үзэж болохоор байна. Одоо гүйцэтгэх засаглал, Засгийн газар, Яамны ажлын стратеги төлөвлөгөө, мөрийн хөтөлбөрт уг асуудлыг тодорхой тусгаад, аль ч улс төрийн хүчин сонгуульд ялж, засгийн эрхэнд гарсан заавал биелүүлэх хэрэгтэй байна. Цөмийн эрчим хүч ашиглах бэлтгэл ажил ба ЦЦС барьж ажиллуулахад их хэмжээний хөрөнгө зардал, олон тооны мэргэжилтний урт хугацааны зүтгэл чармайлт, уйгагүй ажиллагаа шаардагдах тул уг ажлыг дутуу орхих буюу эргэж буцвал эдийн засгийн болоод боловсон хүчний хувьд уучилж боломгүй хохирол учирна гэдгийг хаана хаана санаж байх хэрэгтэй.

Төр засгийн зүгээс зарчмын чанартай шийдвэр гарсны дараа “Цөмийн эрчим хүч ашиглах тухай” хууль гарах болно. Эдгээрийг дагаад санхүүжилт, хөрөнгө

оруулалт, цөмийн болоод цацрагийн аюулгүй байдал, боловсон хүчний бэлтгэл, ЦЦС барих газрын байршил, хүрээлэн буй орчны экологи, цөмийн түлшний менежмент, цөмийн хаягдал, холбогдох дэд бүтцийн бэлтгэл, болзошгүй ослоос сэргийлэх арга хэмжээ зэрэг асуудлуудыг дэс дараалан шийдэх болно. 2016 оны УИХ-ын шийдвэр гарснаас хойш хоёр жил өнгөрсөн боловч Цөмийн энергийн комисс (ЦЭК)-ийн Ажлын албаны захиалгаар дотоод, гадаадад цөмийн физик-технологи, цөмийн инженерчлэлийн чиглэлээр мэргэжилтэн бэлтгэхээс өөр дорвитой ажил одоогоор харагдахгүй л байна. Иймээс энэ чиглэлийн ажлыг эрчимжүүлэх шаардлага зүй ёсоор тулгарч байна. Энд манай улсад ОХУ-ын атомын энергийн “Росатом” улсын корпорацийн тусламжтайгаар барьж байгуулахаар яригдаж буй “Цөмийн шинжлэх ухаан, технологийн төв” төсөл биелэгдвэл маш чухал том алхам болно. Уг төв нь нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний үл эвдэх аргаар геологи, уул уурхай, хүрээлэн буй орчин, хүнс, биологийн зэрэг сорьцонд химийн элементийн орцыг хурдан шуурхай нарийн тодорхойлох, анагаах ухааны зориулалттай богино наст изотопуудыг гарган авч эмнэлгүүдэд нийлүүлэх, цөмийн эрчим хүчний мэргэжилтнүүдээ дотооддоо хямд өртгөөр бэлтгэх боломж бүхий бага чадлын цөмийн реактор, эмнэлгийн багаж төхөөрөмжийг шарж ариутгах, хүнсний зарим бүтээгдэхүүнийг шарж хадгалалтын хугацааг уртасгах, кристалл бүтэцтэй бодисыг шарж өнгө болон шинж чанарыг нь өөрчлөх боломжтой хурдасгуур болон изотопон үүсгүүр бүхий цогцолбор байх юм.

Ийм төв байгуулах ажлын бэлтгэл болгож цөмийн реактор дээр ажиллах мэргэжилтнүүдээ сургаж бэлтгэх, нейтрон физикийн судалгаа явуулах зорилгоор “Критик бус эвлүүлэг” хэмээх төхөөрөмж, эмнэлгийн зориулалттай, цацраг идэвхт изотопыг ялган гаргаж авах радиохимийн лаборатори хоёрыг ОУАЭА-аас авах асуудлыг МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төв ЦЭК-аар дамжуулан тавиад байна.

Энэ мэт цөмийн эрчим хүч, цөмийн технологийг ашиглахад чиглэсэн нилээд ажлууд манай сургалт судалгааны байгууллагууд дээр хийгдэж байна.

2016 онд УИХ-аас батлан гаргасан тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлалд цөмийн эрчим хүч ашиглаж эхлэх хугацааг 2026-2030 гэсэн нь манай орны хувьд маш бодитой болсон гэж үзэж байна. Энэ хүртэл бид ЦЦС барьж ашиглах бэлтгэл ажлаа бүрэн хэрэгжүүлж дуусгах боломжтой. Цөмийн эрчим хүчний зайлшгүй хэрэгцээ шаардлага ч энэ хугацаатай ерөнхийдөө тохирч байгаа юм.

Манай хүсэлтээр Японы Токиогийн технологийн институтийн профессор А.Минатогийн 2008 онд хийсэн тооцоогоор 2030 он гэхэд манай улсын цахилгаан станцуудын суурилагдсан чадал 3700 МВт болох ба эрчим хүчний системийн нийт балансад 300 МВт цахилгааны чадалтай ЦЦС байх нь хамгийн тохиромжтой гэсэн байна. А.Минато манай улсын цахилгаан эрчим хүчний чадлыг 2020 онд 1450 МВт, 2025 онд 2400 МВт, 2030 онд 3700 МВт гэж тус тус үзсэн юм. Гэтэл одоо манайх 2020 онд цахилгаан станцуудын нийт чадлыг 1450 биш, 2000 МВт болгох зорилт тавьж байна. Хэрэв энэ зорилт биелээд цаашид энэ хурдаараа өсвөл 2030 оны цахилгааны хэрэгцээ, үйлдвэрлэл өсөх тул баригдах ЦЦС-ын чадал 300 МВт-аас ч их байх боломжтой болно.

ЦЦС-д ажиллах реакторуудыг цахилгаан үйлдвэрлэх хүчин чадлаар нь:

- 1-50 МВт орчим бага чадлын;
- 300-600 МВт-ын дунд чадлын;
- 600-1000 МВт-ын их чадлын гэж үндсэн гурван ангилалд хувааж болно.

Зарим хүмүүс манайд 1000 МВт буюу түүнээс ч их чадлын ЦЦС эсвэл ДЦС-ыг Өмнөговь аймгийн нутагт барьж ажиллуулан урд хөршид илүүдэл цахилгаан эрчим хүчээ зарж борлуулах тухай ярьдаг. Асар их хөрөнгөөр ийм том цахилгаан станц

барьсны дараа манайхаас цахилгаан эрчим хүч худалдаж авах уу, үгүй юу гэдэг тодорхойгүй. Манайд ашиг багатай хямд үнээр бол авна, түүнээс илүү үнээр худалдаж авахгүй гэвэл илүүдэл цахилгаан эрчим хүчээ яахав?

Гадны өндөр хөгжилтэй орнуудын мэргэжилтнүүдийн зөвлөж байснаас харахад гадагшаа эрчим хүч экспортлохын тулд том цахилгаан станц барих нь эрсдэлтэй бөгөөд хэрэгжүүлүүштэй зөв зүйл биш гэж байсан шүү. Харин том эдийн засагтай манай хоёр хөрш шиг орнууд нэгэнт үйлдвэрлэсэн илүүдэл эрчим хүчээ гадагш борлуулах нь хэвийн хэрэг.

Бидний тооцоо, судалгаа болон гадны өндөр боловсролтой, их туршлагатай мэргэжилтнүүдийн зөвлөмжөөс харахад манай улсад бага болон дунд чадлын реактор бүхий ЦЦС байх нь ойрын ирээдүйд хамгийн тохиромжтой байна. Ер нь дунд ба их чадлын ЦЦС ганц реактортой байх нь эрсдэлтэй бөгөөд хэрэв техникийн саатал гарч, түр ч гэсэн зогсоход хүрвэл цахилгаан тасрах болдог. Иймээс ихэвчлэн хоёр буюу түүнээс илүү тооны реактортой барьж ашигладаг. Тиймээс манайх 2030 оны үед 300 МВт-ын хоёр реактор буюу блокторой ЦЦС-тай болвол зүгээр. Жишээ нь, ОХУ ВВЭР-300 реактортой 300 МВт-ын ЦЦС барьж ашиглах талаар баялаг туршлагатай төдийгүй ОУАЭА-ийн үнэлгээгээр ийм төрлийн реакторыг дэлхийд байгаа хамгийн найдвартай цөмийн эрчим хүчний төхөөрөмжийн жагсаалтанд оруулсан байна. Цөмийн станц дээр цахилгаан болоод дулааны эрчим хүчийг зэрэг буюу тус тусд нь үйлдвэрлэх боломжтой байдаг тул манай томоохон хот суурин газрын цахилгаан, дулааны асуудлыг үүгээр шийдэх боломжтой. ДЦС шиг утаа, хүлэмжийн хий ЦЦС-аас ялгарахгүй тул хотын агаарын бохирдлыг нэмэхгүй байж, яваандаа бууруулахад чухал хувь нэмэр болно.

1-30 МВт чадалтай ЦЦС-ыг алслагдсан суурин газар, тосгон, амралт жуулчлалын бааз зэрэгт байршуулж ашиглавал нэн тохиромжтой. ОХУ-д мөс зүсэгч хөлөг онгоц, усан доогуур явдаг шумбагч завь зэрэгт ийм чадлын эрчим хүчний реактор өргөнөөр ашигладаг тухай дээр дурдсан. Эдгээрээс гадна ОХУ-д цахилгаан болоод дулаан үйлдвэрлэх боломжтой 6.6-30 МВт –ын УНИТЕРМ, 8.6-38 МВт-ын АБВ-6М, 1-10 МВт-ын САХА-92, 0.1-3.3 МВт-ын ЕЛЕНА, 45-180 МВт-ын КАРАТ-45, 20 МВт-ын РУТА зэрэг зөөврийн болон суурин станцуудыг зохион бүтээж, алслагдсан газартаа ашиглаж ирсэн олон жилийн туршлага бий. Ийм станцын цөмийн түлшийг солилгүй 20-30 жил ажиллуулж болдог тул түлшний асуудлыг шийдэхэд харьцангуй хялбар.

“Сайн зүйлд саад мундахгүй” гэгчийн үлгэрээр 2011-03-11-нд Японы Фүкүшимагийн ЦЦС-д гарсан ослыг “Хадны мангаа” болгон сүрдүүлж, цөмийн эрчим хүч ашиглахыг улайран эсэргүүцэгчид манайд бас байна. Фүкүшимагийн ЦЦС-д гарсан ослын дараа олон улсын цөмийн эрчим хүчний байгууллага болон цөмийн станцтай орнуудын хяналтын байгууллагуудаас ажиллаж байгаа, мөн баригдаж байгаа ЦЦС-уудын аюулгүй ажиллагаанд тавигдах шаардлагыг өндөржүүлж, бүгдийг дэс дараалан шалгасан юм. Шинээр баригдаж байгаа станцуудад ч аюулгүй ажиллагааны шаардлага илүү өндрөөр тавигдсан тул станцыг барьж ашиглалтад оруулахаар тооцоолж байсан зардал ч нэлээд хэмжээгээр өссөн. Фүкүшимагийн ослын шалтгаан, нөхцөл, сул тал, сургамж гээд осолтой холбоотой олныг тайлбарлаж болох боловч энд цаг, цаас хэмнэх үүднээс хоёрхон зүйл хэлье.

1-рт, манай улс гадаад далайд гарцгүй учир Япон шиг цунами үүсч ЦЦС-ыг осолд хүргэх ямар ч боломжгүй. Японд байнга газар хөдөлж байдаг учир ЦЦС-ууд нь энэ үзэгдлээс сайтар хамгаалагдсан байдаг. Тиймээс газар хүчтэй хөдлөнгүүт уг станцын реакторууд автоматаар унтрах горимд орсон тул шууд газар хөдөлсөнөөс болж осол гараагүй. Харин газар хүчтэй хөдлөлтөөс үүдэлтэйгээр далайд 14-15 м өндөртэй давалгаа буюу цунами үүсч тэр нь хамгаалалтын 10 м орчим өндөр даланг

давж, далайн эрэгт маш ойрхон байсан ЦЦС-ын барилгын доод давхарт ус орж, цахилгаан хангамжийн системийн ажиллагаанд саатал үүсч, реакторын хөргөлт болон удирдлагад доголдол гарч осолд хүргэсэн. Уг станц нь АНУ-ын 1960-1970 оны зураг төсөл, технологи дээр үндэслэгдсэн, баригдаад 30 гаруй жил ашиглагдсан учир техник, технологийн хувьд нилээд хуучирсан байв. Үүнээс гадна Японы болон бусад улсын ЦЦС-ын мэргэжилтнүүдийн үзэж байгаагаар осолд хүрэхэд гололж нөлөөлсөн хоёр хүчин зүйл байсан гэдэг. Нэг нь, уг ЦЦС-ын байршилтай холбоотой бөгөөд хөргөлтийн системийг хялбар болгохын тулд далайн эрэгт хэт ойр байрлуулсны зэрэгцээ АНУ-д ихээр тохиолддог торнадо-хуйларсан хар салхинаас хамгаалж цахилгаан станцаа нам дор газар барьдаг туршлагыг шууд хуулсантай холбоотой.

Нөгөө нь, станцыг ажиллах үед үүсдэг устөрөгчийг шингээх, гадагшлуулах төхөөрөмж хангалтгүй байснаас ослын үед хуримтлагдсан устөрөгч халж химийн дэлбэрэлтэд хүргэсэн гэдэг. Харин ч хамгаалах систем сайн байсны ачаар атомын бөмбөг шиг цөмийн дэлбэрэлт болоогүй юм. Орчин үед эдгээр болон бусад сөрөг туршлагыг сайтар судалж, ЦЦС-ын техник, технологи, дизайныг онцгой анхаардаг болсон тул ноцтой осол гарах үндэсгүй гэж үздэг боллоо.

Цөмийн эрчим хүчийг ашиглахыг эсэргүүцэгчидтэй холбоотой хэлмээр 2 дахь зүйл бол тэд аюулгүй, цэвэр, эдийн засгийн хувьд ихээхэн ашигтай үүсвэр гэдгийг мэдэхгүй байна уу, мэдсэн хирнээсээ эсэргүүцэж байна уу гэдэг асуулт юм. Мэдэхгүй байгаа бол бичиж, хэлж, тайлбарлаж, ойлгуулж болно. Ашигтайг мэдсэн хирнээ эсэргүүцэж байвал байдал өөр бөгөөд хэний эрх ашгийг хамгаалж, хаанахын захиалга даалгавараар, яаж санхүүжиж үйл ажиллагаагаа явуулж байна гэдэг асуултад хариулах хэрэгтэй болно. Энэ бол тухайн өгүүлэлд онц хамаагүй, холбогдох байгууллага, хүмүүсийн сонирхвол зохих зүйл юм.

ЦЦС-ыг саатал, осолгүй, хэвийн тогтвортой ажиллуулахад техник, технологиос гадна дагаж мөрдөх хууль, кодекс, дүрэм, журам, стандарт, норм, норматив маш чухал байдаг. Цөмийн физик, технологи, инженерчлэл, реактор, эрчим хүчний төдийгүй олон улсын эрх зүй, хуулийн мэргэжилтнүүдийн оролцоотой гүйцэтгэвэл зохих эдгээр бичиг баримтыг олон улсын туршлагад тулгуурлан, тал бүрээс нь сайтар бодож боловсруулах хэрэгтэй бөгөөд нэг хоёрхон жилийн дотор бүгдийг гүйцэтгэх боломжгүй тул эртнээс хийж эхлэх хэрэгтэй.

ЦЦС-ыг хэвийн горимоор нь найдвартай ажиллуулахад боловсон хүчин, инженер техникийн ажилтнуудын мэдлэг, чадвар, дадал гурав маш чухал. Энэ гурвыг орчин үеийн сурган хүмүүжүүлэх ухаанд компетенци буюу цогц чадамж гэдэг. Аливаа нарийн мэргэжлийн ажлыг найдвартай гүйцэтгэхэд онолын өндөр мэдлэгээс гадна практикт хийж чаддаг байх, олон дахин давтсаны үр дүнд гэнэтийн тохиолдолд хариу арга хэмжээг маш богино хугацаанд автоматаар биелүүлэх дадал суусан байх шаардлагатай. Ийм чадвартай мэргэжилтэн бэлтгэхэд яригдаж буй цөмийн критик бус эвлүүлэг, компьютерийн удирдлага бүхий иж бүрэн симуляцын төв, сургалт-судалгааны бага чадлын реактор зэрэг материаллаг баазаа одооноос буй болгох хэрэгтэй. Дунд чадлын (300-600 МВт) ЦЦС дээр ажиллах инженер техникийн мэргэжилтнүүдийн тоо манай 4-р ДЦС-тай ойролцоо буюу мянга гаруй байна. Үүний 20 % орчим буюу 200 гаруй нь цөмийн инженерчлэл, технологи, цацрагийн хяналтын мэргэжилтнүүд байх ёстой. Бид эдгээр 200 гаруй өндөр цогц чадамжтай хүмүүсээ тодорхой зорилго үе шаттайгаар бэлдэх хэрэгтэй. Үлдсэн ажилтнууд нь ердийн цахилгаан станцын мэргэжилтнүүд байх юм.

Долоо. Төгсгөл

- Цөмийн эрчим хүч нь шинжлэх ухаан, техник, технологийн хамгийн тэргүүний ололтуудыг өөртөө шингээсэн байдаг учир тухайн улс хөгжихөд зүтгүүр болж,

үйлдвэрлэлийн бусад салбарыг араасаа дагуулж байдаг хөдөлгөгч хүч гэдгийг бид ойлгон хүлээж авах хэрэгтэй.

- ЦЦС-ын реактор, түүний дэд бүтцийн байгууламжууд нь физик, хими, материал судлал, электроник, автоматик зэрэг шинжлэх ухаан технологийн олон салбар дунд хөгждөг бөгөөд “технологийн хаялага” ихтэй учраас өндөр технологийн бусад салбар үүсч хөгжихөд маш чухал эерэг нөлөө үзүүлдэг юм.
- Тиймээс цөмийн болон эрчим хүчний эрдэмтэн, судлаачид, инженер техникийн ажилтнууд, мэргэжилтнүүдээ голж чамлалгүй, харин ч төр засгаас тэднийхээ мэдлэг чадварыг бүрэн ашиглах, улс орноо хөгжүүлж, ард түмнийхээ амьдрал ахуйг дээшлүүлэхэд чиглэсэн дорвитой захиалга даалгавар өгч ажиллуулах хэрэгтэй. Үүний нэг биелэл нь цөмийн эрчим хүчийг ашиглах, ЦЦС-ыг барьж ажиллуулах зорилт баймаар байна.
- Шаардлагатай дэд бүтцийг буй болгосны үндсэн дээр цөмийн эрчим хүчийг ашиглах нь олон улсад стандарт болж тогтсон, ОУАЭА-ийн хатуу хяналтын дор явагддаг, нэг улс, хэсэг хүмүүсийн дур зоргоос үл хамаарах үйл ажиллагаа байдаг тул ЦЦС-аас айж цэрвэх явдал байхгүй гэж хэлж болно.

Талархал

Энэхүү өгүүллийн гар бичмэлийг уншиж, үнэтэй зөвлөгөө өгсөн ЦЭЖ-ийн Ажлын албаны дарга Г.Манлайжав болон ахлах мэргэжилтэн Проф. С.Даваа нарт гүн талархал илэрхийлье.

Ашигласан ном хэвлэл

1. R.P.Feynman, R.B.Leighton, M.Sands
2. The Feynman Lectures on Physics. Vol.1, Addison-Wesley
3. Publishing Company, Inc. Reading, Massachusetts, 1963.
4. Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс
5. Фейнмановские лекции по физике
6. Том I, Перевод с английского, изд: “Мир”, Москва, 1967, с.73.
7. Е.М.Гершензон, Н.Н.Малов
8. Курс общей физики: Механика, “Просвещение” Москва, 1987, с.70.
9. H.Kuchling, Physik, veb Fachbuch verlag Leipzig, 1980.
10. Х.Кухлинг. Справочник по физике. Перевод с немецкого, Москва, “Мир”, 1982, с.80.
11. D.Devins, Energy: Its Physical Impact on the Environment. John Wiley and Sons, New York, 1982.
12. Д.Дэвинс. Энергия, Перевод с английского. “Энергоатомиздат” Москва, 1985.
13. Б.Жигжид. Монгол Улсын дэд бүтэц: Өчигдөр, эдүгээ, маргааш. Улаанбаатар, 2006.
14. Contributions to Mongolia’s Sustainable Energy Strategy: 2003-2010.
15. Монгол Улсын эрчим хүчний салбарын тогтвортой хөгжлийн стратегид (2003-2010) оруулах хувь нэмэр. “АДМОН” хэвлэл, Улаанбаатар, 2002.
16. B.K.Shahzad, M.Yousaf
17. Journal of Earth Science and Climate Change, 2017, v.8, Issue 7, p.1000404.
18. F.J.Rahn, A.G.Adamantiades, J.E.Kenton, Ch.Braun
19. A Guide to Nuclear Power Technology. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, 1984, New York.
20. Ф.Ран, А.Адамантиадес, Дж. Кентон, Ч.Браун
21. Справочник по ядерной энерготехнологии, Перевод с английского, “Энергоатомиздат”, Москва, 1989.
22. Монгол Улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал-2030, Монгол Улсын Их Хурлын 2016-02-05-ны 19 дүгээр тогтоолын хавсралт.
23. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050
24. Reference Data Series, №1, IAEA, Vienna, 2018.

25. D.Bolortuya, P.Zuzaan, M.V.Gustova, O.D.Maslov
26. Письма в ЭЧАЯ, ОИЯИ, т.10, №7 (184), Дубна, 2013, с.1184.
27. Г.В.Киселев. Экология и экономика энергетика. Знание: Серия “Физика”, изд. “Знание”, 1990, N5, Москва.
28. Н.Л.Глинка. Общая химия. изд. “Химия”, Ленинград, 1976.
29. Nuclear Power and Sustainable Development, IAEA, Vienna, STI/PUB/1754, 2016.
30. Н.М.Синев, Экономика ядерной энергетика, “Энергоатомиздат”, Москва, 1987.
31. J.G.Collier, G.F.Hewitt
32. Introduction to Nuclear Power. Hemisphere Publishing Corporation, 1987.
33. Дж.Коллиер, Дж.Хьюитт. Введение в ядерную энергетику, Перевод с английского, “Энергоатомиздат”, Москва, 1989.
34. Proceedings of an International Conference on One Decade after Chernobyl: Summing Up the Consequences of the Accident, IAEA, Vienna, Austria, 1996.
35. Radiation: Doses, Effects, Risks. UNEP. 1985.
36. Радиация: Дозы, эффекты, риск. Перевод с английского, “Мир” Москва, 1990.
37. J.E.Coggle, Biological Effects of Radiation. Second Edition, Taylor and Francis Ltd, London, 1983.
38. Дж.Коггл. Биологические эффекты радиации, Перевод с английского, “Энергоатомиздат”, Москва, 1986.
39. Г.В.Киселев. Проблемы развития ядерной энергетика. Знание: Серия “Физика”, изд. “Знание”, 1990, N3, Москва.
40. В.В.Алексеев. Экология и экономика энергетика. Знание: Серия “Физика”, изд. “Знание”, 1990, N6, Москва.
41. Г.В.Войткевич, А.Е.Мирошников, А.С.Поваренных, В.Г.Прохоров
42. Краткий справочник по геохимии, изд. “Недра”, Москва, 1970.
43. Н.Норов, Монгол орны нүүрсний цацраг идэвхийг гамма спектрометрийн аргаар судалсан нь (Физик математикийн ухааны дэд докторын зэрэг горилж туурвисан диссертаци), Улаанбаатар, 1999.
44. Р.Маахүү, З.Очирбат, А.Манжигмаа, П.Зузаан, Б.Пүрэвсүрэн
45. МУИС-ийн ЭШБ, Физик, N355 (16), 2011, 117-р тал.
46. Ц.Элбэгдорж, Монгол Улсын төлөө зүтгэе (Монгол Улсын Ерөнхийлөгчийн сонгуулийн мөрийн хөтөлбөр), товхимол, 2009 он, Улаанбаатар, 41-р тал.
47. С.Даваа, П.Зузаан, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү
48. Цөмийн физикийн судалгааны төв 50 жилд, Улаанбаатар хот, 2015 он.
49. Монгол Улс ба Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институтийн нэгэн жарны хамтын ажиллагаа. Улаанбаатар хот, 2016 он.

Альберт Эйнштейн дэлхийн шинжлэх ухааныг хэдэн шатаар ахиулсан хосгүй ухаантан

Профессор Н.Түгжсүрэн

Альберт Эйнштейний амьдралын замнал. Жирийн л нэг Герман айлын гэр бүлд өсч өндийсөн Герман Эйнштейн эрийн цээнд хүрч 1878 онд тэр үеийн Германы баруун өмнөд мужийн жижиг хот болох Штутгартгийн талхны үйлдвэрийн эзэн Колин Кох гэдэг баян айлын охинтой гэрлэжээ. Тэд 1877 онд Эйнштейн овогтны хэдэн арван жилээр амьдарч байсан Ульм хотод шилжин ирж, тэндээ суурьшжээ. Өрх гэрийн тэргүүн Герман Эйнштейн энэ хотод цахилгаан техникийн сэлбэгийн нэг жижигхэн дэлгүүр нээн ажиллуулж амьдрал ахуй нь тун дажгүй хэмнэлээр үргэлжилж байжээ. Ирээдүйн ханиа дагуулах болсон залуу хүү Штутгартын гимназыг төгсөж, их сургуульд суралцах хүсэлтэй байсан хэдий ч арилжаа наймааны ажлаа эхэнд тавьж, мэрэгжил эзэмшихээ түр хойшлуулжээ. Өрх гэрийн тулгуур болсон Герман Эйнштейн, Паулина Кох хоёрын хувьд бүхий л талаараа өөдрөг үзэлтэй аятайхан хосууд байв. Нөхрийн тайван дөлгөөн зан, өргөн хүрээтэй мэдлэг, өөрийн үзэл бодол, амьдралд итгэх итгэл нь эхнэрийнхээ тайван тогтуун төрх, намбалаг байдал, чадварлаг жүжигчний авьяас билэгтэй сайхан хосолжээ. Хос хоёрын гэр бүлийн үндэс угсаа гэвэл хоёулаа адилхан чинээлэг еврей гэр бүлээс гаралтай байсан аж. Харин Паулинагийн аав ээж хоёр үр тарианы худалдаа эрхэлдэг, гайгүй хөрөнгө зоорьтой байсан тул охиноо айлын бэр болж очиход багагүй инжтэй явуулсан гэдэг. Гэрлээд ганцхан жил өнгөрөхөд Герман Эйнштейнд Ульм хотынхоо хүн амын бүртгэлийн газар баяр баясгалантай нь аргагүй очих нэг ажил гарав. Энэ бол шинээр мэндэлсэн анхны хүүгээ бүртгүүлж төрсний гэрчилгээ авах ажил байв. 1879 оны III сарын 14-ний суу билгийн одон гараг сүлэрсэн энэ билигт сайн өдөр Герман Эйнштейний бүл хүүтэй болж хүнс нэмэгдэв. Зантгардуу том толгойтой бяцхан хүүд Альберт хэмээх нэрийг хайрлажээ. .



Эйнштейний аав, ээж хоёр.



Альберт 3 настайдаа.



Альберт 14 настайдаа.

Хоёр жилийн дараа буюу 1880 онд тэдний гэр бүл Ульмагаас Мюнхенд шилжжээ. Энэ шийдвэрт аавынх нь дүү Якоб нөлөөлж, тэнд ашиг орлого нэмэгдэж, илүү чинээлэг амьдрах үүд хаалга нээгдэнэ хэмээн өөдрөгөөр тооцоолжээ. Энд дэлгүүрийн зориулалтаар ашиглах боломжийн байр худалдан авч, эхний хэдэн жил ашиг орлого дажгүй байсан тул дүү Якобтайгаа хөрөнгөө хоршин аятайхан байшин барьж, бага оврын цахилгаан хөдөлгүүр, цахилгаан техникийн хэмжих хэрэгсэл үйлдвэрлэх жижигхэн үйлдвэр нээв. Гэвч төдөлгүй үйлдвэрлэл алдагдалд орж, орлого нь зарлагаа нөхөхөө больж “дампуурал” гэдэг юмыг жинхэнээр үзэх нь тэр. Альбертын ээж хэрхэндээ чинээлэг айлын охин байсан тул хадгаламжиндаа гайгүй хэдэн юмтай байсан ч түүнээ богино хугацаанд гөвөөд дуусч. Бүр аргаа барж худалдан авсан газар, босгож байгуулсан дэлгүүр, үйлдвэрийн байраа бүгдийг зарж үрээд Италын Милан хотод шилжин суурьшиж хамаатнуудаа бараадаж, амьдрах орон зайгаа ахин өөрчлөв.

Энд ирээд ч тэдний гэр бүлийн аж амьдрал тэр дороо хангалуун сайхан болж чадаагүй ажээ. 1881 онд Альбертийн дүү охин Маяа төрж, тэр хоёр насны зөрөө бага учир үргэлж хамтдаа тоглон сургуульд орон ортлоо цаг мөчийг их л хөгжилтэй сайхан өнгөрүүлжээ. Аав нь хоёр хүүхдээ байгальд хайртай болгох, байгалийн сайхныг мэдрүүлэх хүмүүжлийг багаас нь олгожээ. Тэрээр эхнэр, хүүхдүүдтэйгээ хамт хотынхоо ойролцоох байгалийн үзэсгэлэнт гоё газруудаар байнга аялаж зугаалдаг байв. Тэд ихэнхдээ ах дүүс, төрлүүдтэйгээ, тухайлбал, 20 км орчим зайтай Эхинген хотоос аавынх нь авга ах Рудольф Эйнштейн бяцхан охин Эльзатайгаа хамт ирсэн үед заавал байгалийн сайхан газар аялаж зугаална. Альбертийн ээж Паулина Кох дуу хөгжимд маш их дур сонирхолтой хүн учир балчирхан хүү Альберт багаасаа л хөгжмийн боловсролыг эзэмшсэн байна. Тэр 6 настайгаасаа хийл хөгжим заалгаж, тун дажгүй тоглож сурсан гэдэг. Ээж нь төгөлдөр хуур тоглон сайхан дуулна. Түүний хамгийн дуртай хөгжмийн зохиолч нь Бетховен. Байнга л Бетховены зохиолоос хөгжимдөнө. Альбертийн авга ах, физик-математикийн маш сайн мэдлэгтэй, чадварлаг инженер Якоб Эйнштейн нь нэг хэсэг хугацаанд тэдэнтэй хамт амьдардаг байсан нь бяцхан Альбертийг математикт дур сонирхолтой болоход сүрхий нөлөөлсөн гэдэг. Альбертыг зургаан нас хүрмэгц хотынхоо шашны сургуульд оруулжээ. Тэнд хэдийгээр анхны жилээ гайгүй дуусгасан хэдий ч хүнтэй юм ярихдаа түгдчин, асуусан юманд ганцхан үгээр л хариулдаг, яриа хөөрөө муутай нэгэн байв. Бараг есөн нас хүртлээ үгээ зөөж удаан ярьдаг хүүдээ ээж нь багагүй сэтгэл зовдог байсан гэдэг. Альберт 10 настайдаа бэлтгэл ангид орж, 12 хүрээд Луитпольдын гимназид сурч байхад тэр үеийн гимназын сургалтанд зонхилж байсан хоосон цээжлүүлэх арга барил түүнийг багагүй залхаадаг байж. Багш нараа нэг их ойшоодоггүй байгаа нь илт харагддаг тул хичээл заадаг багш нар нь ч түүнийг “жирийн хүүхэдүүдээс нэг л өөр, хачин золиг” гээд сургуулиас хасах санал хүртэл тавьж байсан баримт бий гэдэг. Альбертийн гэр бүл Миланд шилжин суурьшихад Альберт хүү гимназаа төгсөхөөр Мюнхенд үлдсэн ч багш нартайгаа муудалцаж “түнжин хагараад” тэр дороо сургуулиа орхин эцэг эх дээрээ хүрээд иржээ. Түүнийг сургуулиа төгссөн үнэмлэхгүй, мөнгө цаас үрж сурсаны үр дүн байхгүй буцаж ирсэнд ядуурч зүдрэхийн хэцүүг амсаж яваа аав, ээж хоёрт нь тийм ч таатай байсангүй. Уул нь тэр хоёр хүүгээ сургуулиа төгсөөд ажил хийж, амьдрал ахуйд тус нэмэр болно гэж хэрхэндээ л горьдож байж. Мюнхенээс сургуулиа төгсөлгүй буцаад ирсэн хүү нь харин дуу шүү ч байдаггүй, хоол унд ч бараг идэхгүй, тоо физикийн голдуу ном уншсан хүн байснаа олон эрдэмтдээрээ алдартай Цюрихийн политехникумд элсэн орохоор явсан ч хэлний болоод ургамал судлалын шалгалтанд доогуур үнэлгээ авч бас л хоосон буцаж иржээ. Гэхдээ энэ сургуулийн захирлын зөвлөснөөр, Швейцарын мужийн Аараугийн оройн сургуульд орж бүтэн жил суралцсан байна. Энэ сургуульд гар урлалын болоод бага ангийн багш нарыг бэлтгэдэг бөгөөд чинээлэг айлууд хүүхдээ оруулдаггүй, харин ажилчид, багадаа дунд боловсрол эзэмшиж чадаагүй хүмүүс л голдуу орж суралцдаг байжээ. Альберт нэг жил суралцаад франц хэлнээс бусад шалгалтаа өгч, дунд боловсролын гэрчилгээ авсан байна. Тэрээр багадаа нэлээд зожиг зантай, хөгжөөн цэнгээнийг нэг их тоодоггүй, харин тэвчээр шаардсан тоглоомонд дуртай, аливаа юмны цаад учрыг их сонирхдог, албадлаганд тун ч дургүй хүүхэд байжээ. Үе тэнгийн хүүхдүүд нь дарга, цэрэг болж байлдаж тоглох дуртай бол Альберт ийм төрлийн тоглоомонд тун дургүй байснаас түүнтэй үерхэж тоглох хүүхэд тун цөөн байсан аж. Түүнийг сургуульд орох болоход аав ээж нь Еврейн сургуульд сургах бодолтой байсан хэдий ч боломж олдоогүй тул нэгэн католик шашны сургуульд оруулжээ. Энд сурч байхад сургуулийн нөхөд нь түүний төрөлхийн зан болох нэн үнэнч, ямар ч худал хуурмаг байдал гаргадаггүй зан чанарыг ажиглаж мэдсэн байна. Ер нь Альбертын багад нь тодорч байсан аливаад зөв зүйтэй, ухаалаг хандах чанар нь бага сургуульд байхаас л бага ч гэсэн ямар нэгэн байдлаар зөрчил, дарамт тулгардаг байжээ.

Хожим түүний дурдатгалаас үзэхэд, бага сургуульд сурч байхад нь еврей хүүхэдүүд цөөхөн байснаас бусдын адил бяцхан ялгаварлал, доромжлолыг байнга амсч байсан нь илэрдэг. Альбертын гимназид орж үргэлжлүүлэн сурах явцад түүний төрлөхийн зан араншин, авьяас сонирхол нь тухайн үед гимназид ноёрхож байсан хүнд суртал, хуучинсаг арга барилтай зохицохгүй бөөн л зөрчил зовлонг дагуулдаг байжээ. Тэр үеийн сургуулийн байдал гэвэл, багш нар нь цэргийн дарга шиг, сурагчид нь нэн дуулгавартай цэргүүд мэт байдаг байсныг Эйнштейн хожим нь: “...бага сургуульд байхад багш нар надад цэргийн түрүүч нар шиг, харин гимназид бол дэслэгч нар шиг л санагддаг байв...” хэмээн дурссан байдаг. Бас тэр үеийнхээ өнгөтэй өөдтэй байсан юмны жишээ болгож Руэс гэдэг түүхийн багшийнхаа тухай дурссан нь бий. Руэс багшийн өнө эртний соён гэгээрүүлэх чиглэлийн ажлын мөн чанар орчин үеийн немц соёлд хэрхэн нөлөөлж, уламжлагдан ирсэн талаарх сонирхолтой яриаг байнга л сонсоод баймаар санагдан, багшийгаа жижүүртэй өдөр үдийн хоолоо орхин орхин хамт л сууж байдаг нэг хэсэгхэн үе түүнд байв. Эйнштейн хожим нь Мюнхенд очиж Руэс багшийгаа эргэжээ. Гэвч ядуухан хувцастай шавийнхаа нэрийг ч төдийлөн санасангүй, өөрийнх нь хичээл зааж байсан олон хүүхдийн нэг бөгөөд ямар нэг тус хүссэн залуу л байх гэсэн бодлоор хэтэрхий хүйтнээр хүлээн авсанд урам нь хугарч олигтой ярьсан юм ч байхгүй тэр дороо буцжээ. Аливаа зүйлд анхаарлаа онцгой төвлөрүүлж чаддаг, юмыг гүнзгий ойлгодог, дэндүү удаан ярьдаг Эйнштейний яг л онож хэлсэн, гүн гүнзгий утга төгөлдөр хариултанд зарим багш нар нь өөрийн эрхгүй биширдэг байв. Математикийн авьяас бүр хүүхэд байх насанд нь тодорсон байна. Энэ тухай түүний авга ах Якоб нь “...Альгебр бол түүний хувьд маш сонирхолтой зүйл байсан. Ямар нэг учир нь олдох зүйлийг “икс” гэж нэрлээд ан агнахтай зүйрлэн заавал дуусгаж байж санаа нь амардаг байсан...” хэмээн дурссан байдаг. Аав нь бяцхан хүүгээ 4-5 настай байхад соронзон зүү нь үргэлж хойд зүг заадаг луужинт тоглоом авч өгсөн тэр үеэс л юмны цаад учрыг ихэд сонирхдог, ямар нэгэн далд нууцлаг зүйлийн учиг юунд байдгийг мэдэх гэж зүтгэдэг, энэ нь чухамдаа бяцхан хүүгийн билгийн мэлмийг нээж, шинжлэх ухаанд тэмүүлэх сониуч занг нь бадраахын эх сурвалж болсон болов уу хэмээн үздэг. Түүнчлэн аавынх нь цахилгаан хэрэгслийн дэлгүүрт байдаг янз бүрийн багажууд түүний сонирхлыг багаас нь сүрхий татаж байжээ. Тэрээр 6-14 нас хүртлээ ээжтэйгээ хийл хөгжмөөр хичээллэсэн ба 13 нас хүрэхэд Иоганн Бах (1685-1750), Антонно Вивальди (1678-1741), Вольфганг Моцарт(1756-1791)-ын сонатыг чадварлаг тоглодог болсон байв. Альберт гимназийн III ангид орох намраа геометрийн номтой гүнзгий танилцаад бүх л баталгаа, томъёог хэрхэн гаргасныг нэгэд нэгэнгүй хийж үзсэний гадна заримыг нь өөрөөр батлан гаргаж байжээ. Түүнийг анх физик, математикт хөтлөн оруулсан хүн бол яах аргагүй авга ах Якоб бөгөөд Пифагорийн теоремийг зааж өгөхөд ихэд биширчг улмаар уг теоремын баталгааг оролдсоор байж гаргасан гэдэг. Энэ үед тэрээр Евклидийн геометрийн нимгэн сурах бичгийг уншаад сэтгэл нь ер бусын ихээр хөдөлж байжээ. Тэднийд аавынх нь найз Макс Талмей гэдэг хүн байнга л ирдэг, тэр болгондоо янз бүрийн унших ном авчирч өгдөг байсан төдийгүй байгалийн үзэгдэл юмсын талаар сонирхолтой зүйлийг ярьж, сонирхолтой маргаан өрнүүлдэг байсан нь Альбертийг ухаан сууж төлөвшихөд ихээхэн нөлөө үзүүлсэн ажгуу. Энэ хүн тэр үед насанд хүрсэн олон хүний ойлгодоггүй Немцийн их гүн ухаантан Иммануил Кант (1724-1804)-ын бүтээлийг хүртэл авчирч өгч уншиж ойлгохыг зөвлөж байжээ. Эйнштейн арван зургаа хүрээд Цюрихийн техникийн дээд сургуульд элсэж инженерийн мэрэгжил эзэмшихээр шийдээд элсэлтийн шалгалт өгсөн боловч “дунд сургуулийн үнэмлэхгүй” хэмээн элсүүлээгүй нь дэлхийн физикийн шинжлэх ухаанд “чухам их аз дайрсан” хэрэг болжээ. Жилийн дараа гэхэд тэр инженер болох санаагаа орхиж Цюрихийн техникийн дээд сургуулийн физик-математикийн салбарт суралцан төгсөж тэндээ багшлах эрхийн шалгаруулалтанд орсон ч дөрвөн

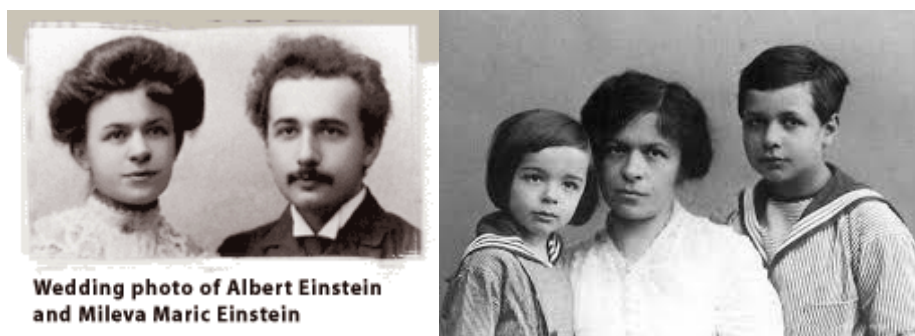
оюутны гурав нь тэнцэж үлдсэн бөгөөд багш нарынх нь өгсөн “залхуу, бас хачин” гэсэн тодорхойлолт энд том тээг болж түүний хүсэл талаар өнгөрчээ. Энэ сургуульд физикч В.Вебер, математикч А.Гурвич, Г.Минковский зэрэг нэртэй эрдэмтэд багшилдаг байв. Эйнштейн амьдралдаа хоёр удаа албан ёсоор гэрлэжээ. Анх Цюрихийн техникийн дээд сургуульд хамт сурч байсан ганц эмэгтэй, физикч-математикч мэрэгжилтэй, мажарт төрсөн Серб үндэстэн, Грекийн үнэн алдартны шашинтан Мария Милеватай гэрлэжээ. Залуу Альберт гадаад төрх байдлаараа их гоё сайхан, царайлаг бүсгүйчүүдийн харц булаасан хүү байсан хэдий ч нуруугаар намхан, бөгтөрдүү, бас хазгах байдалтай явдаг нэгэн бүсгүй ирээдүйн их эрдэмтний сэтгэлийг татаж, яалт ч үгүй гэрлэж хоёрын хоёр хүүгийнх нь ээж болжээ. Сайхан залуу, гадаад байдлаараа түүнтэй үл эгнэх бүсгүй хоёр танилцсан даруйдаа гэрлээгүй, хэдэн жилийг өнгөрүүлжээ.

Энэ байдалд багагүй нөлөөлсөн гол зүйл бол Альбертийн ээж, аав ирээдүйн бэрийнхээ галбир төрхийг таашаадаггүй, бас 4 эгч байсантай холбоотой байсан юмсанж. Гэвч энэ хэдэн жилд Милева өөрийн аав ээж дээрээ очиж охин төрүүлсэн ч энджээ. Алийн болгон ийм байдлаар амьдрах вэ гэж хоёул ярилцан ойлголцож, ээж ааваасаа зөвшөөрөл эрэхэд хүнд өвчтэй хэвтэрт байсан аав нь толгой дохижээ. Амьддаа хүүгийнхээ гэрлэхийг харах гэсэн аавынх нь хувь дутаж тун ч удалгүй бурхан болжээ. Аавыгаа оршуулаад хэдхэн долоо хоног өнгөрсний дараа буюу 1903 оны I сарын 6-нд хорин гуравтай Альберт хүү, 27 настай Мария бүсгүй хоёр Швейцарын Берн хотод албан ёсоор гэр бүл болон баталгаажуулжээ. Гэрлэснээсээ хойш нэг жилийн дараа ууган хүү Ханс мэндэлсэн бол бага хүү Эдуард 1910 онд төржээ. Эйнштейн Милеватай суухдаа хачирхалтай гэмээр болзол тавьж байсан талаарх нэгэн баримт үлдсэн байдаг. Альберт хүүд богинохон хугацаанд сэтгэл зүрхээрээ сүрхий татагдсан Милева ч түүний энэхүү болзлыг нь тоглож байгаа, эсвэл жинхнээсээ тавьж байгаа эсэхийг нэг их анхаарч үзэлгүй толгой дохиж хэтийн амьдралынхаа хувь заяаг холбожээ. Тэрхүү “албан болзол” буюу эрхэм нөхрийнхөө өмнө хүлээх үүргээ сүүлд нь анхааран үзвэл:

- Хувцсыг уугааж, эмх цэгцтэй байлгах,
- Өдөрт гурван удаа хоол бэлдэж, өрөөнд авчирч өгөх,
- Хүссэн цагт ажлын болон унтлагын өрөөнөөс гарч байх,
- Бусадтай үүсгэсэн хувийн харилцаагаа бүгдийг яг үнэнээр нь мэдэгдэж байх,
- Миний заасны дагуу л ярьж, хэлэлцэж байх гэсэн хэдэн зүйл дурайнх нь тэр.

Нэгэнт толгой дохин зөршөөрснөөс хойш одоо яая гэхэв. Гадаад байдал, гоо сайхандаа нэг их анхаардаггүй Милева бүсгүй математикт сүрхий сайн эмэгтэй байсан гэдэг. Тиймээс зарим судлаачид түүнийг Эйнштейний нээлтэд “математик талаас нь багагүй оролцоотой хүн”, “харьцангуйн онолын жинхэнэ утга учрын талаар ойлголтгүй хүн”, “нээлт бүтээлийн бүрэн эрхэт эзний нэг мөн” гэх мэтээр янз янзаар л оролдон бичсэн нь бий. Харин эхнэр нөхөр хоёрын халуун дулаан харилцаа нэг их олон жил үргэлжлэлгүй хөрөх тийшээ хандан, бүр салж сарних дээрээ тулж. Эйнштейн Милева хоёр хэсэг хөндий амьдарч байснаа нэг мөр болгож 1919 онд албан ёсоор салжээ. Милевагийн байнгын хардалт, гэр бүлийн маргаан үүгээр дуусгавар болов. Хос хоёр албан ёсоор салж гэрлэлтээ цуцлуулахдаа хоёр хүүгээ ээжид нь үлдээхээр тохирсон байна. Орон байр, эзэмшиж байсан бүх хөрөнгөө салсан эхнэр, хүүхэддээ огтхон ч татгалзах юмгүй бүгдийг өгсөн Эйнштейнээс тэрхэн үед Милева гэв гэнэт нэгэн амлалт өгөх тун сонирхолтой шаардлага тавьсан гэдэг. Тэр нь “*Чи надад Нобелийн шагналынхаа мөнгийг өгөх ёстой*” гэсэн товч тодорхой өгүүлбэрээр илэрхийлэгджээ. “*Хаа байсан, юуны чинь Нобелийн шагнал магнал*” хэмээн гайхан асуухад өмнө хэлсэн өгүүлбэрээ дахин давтаж. Хариулт товчхоон. “*Хэрэв тийм юм байх болбол надад татгалзах юм алга даа*” хэмээн “*алаагүй баавгайн арьсыг*” амаар нөмөргөжээ. Эндээс Эйнштейний нээлт бүтээлийг эрт орой, хэзээ нэгэн цагт дэлхийн хэмжээнд үнэлж

таарна гэдгийг тааварлаж байсны хувьд Милеваг хоосонгүй л хүн байх нь хэмээн үнэлдэг. Үнэхээр л хоёрхон жилийн дараа Эйнштейнд дэлхийн дээд шагнал-Нобелийн шагнал ирж, дагалдах тэр үедээ маш их мөнгөнд тооцогдох 32000 долларыг Милевад бүтнээр нь өгчээ. Милева сүүлхэндээ хүү Хансынхаа хамт дутагдаж гачигдах юмгүй, дажгүй амьдарч байсан ч их эрдэмтний талаар таагүй үг унагаж байсан, тухайлбал; ” тэрээр намайг амьдаар нь минь оршуулсан хүн дээ ” хэмээн хэлсэн нь бас бий. Харин залуу зандан насандаа гачигдаж дутагдахын зовлонг биеэр амссан хэдий ч Эйнштейн хөрөнгө мөнгөний ямар ч шуналгүй, элдэв тансаглал, үнэтэй цайтай эдийг юм байна гэж огтхон ч тоодоггүй нэгэн бодьгал байсан нь үнэн ажээ



Wedding photo of Albert Einstein and Mileva Maric Einstein

Хос хоёрын хуримын зураг. Мария Милева хоёр хүүгийнхээ хамт

Эйнштейн Милевагаасаа салаад тун удалгүй авга ахынхаа хамт тоглож өссөн охин Эльзатай дэр нэгтгэсэн аж. Харин энэ удаа өөрөөсөө хоёр эгч бүсгүйг сонгожээ. Эльза нэхмэлийн үйлдвэрийн эзний охин байсан тул эцэг эхээсээ чамгүй хөрөнгө өвлөсөн ажээ. Анхны эхнэр Милева физик-математикийн шаггүй сайн мэдлэгтэй нэгэн байсан тул нөхөртэйгээ энэ талын шинжлэх ухааны маргааныг сүрхий өрнүүлж чаддаг, юм бодогдуулахаар түвшний асуулт тавьж, бас маргаж өөрийхөөрөө зүтгэдэг нь их эрдэмтэнд таалагддаг байсан гэдэг. Харин Эльзагийн хувьд энэ талаар таг хүн байж. Харьцангуйн онолын талаар бага сага юм Эльзагаас асуухад, “ ...би юугаа мэдэхэв дээ, ийм айхтар нарийн юмыг. Харин Эйнштейнийг бол энэ дэлхийн хэнээс нь ч илүү мэднэ ээ ” гэж хариулж байсан гэдэг. Бас нэг сонирхолтой нь Эльза, Альберт хоёр ээжүүдийнхээ талаас ойрхон төрөл болохыг тэдний ураг овгийн намтар түүх харуулдаг. Бүр тодруулбал, Эльзагийн ээж нь Альбертийн ээж Паулина Кохын хамаатан дүү нь болох тул яахын аргагүй садан төрлийн холбоотой болж таардаг. Эльза Эйнштейний хоёр охиныг төрүүлжээ. Том охин Ильзе, бага охин Марго хоёртоо аав нь их хайртай байсан нь түүний намтар цадигт тэмдэглэгдэн үлдсэн байна. Эльза хүнд өвчний улмаас 1936 онд 59 насандаа зүрхний хүнд өвчний улмаас өөд болсон нь их хүнийг айхтар ганцаардлын зовлонд унагажээ. Альберт сургуулиа амжилттай төгссөн ч ажил олдохгүй, амжиргааны хувьд яггүй бэрхшээлтэй тулгарч, хоногийн хоолоо залгахын тулд хүмүүст янз бүрийн тооцоо хийж өгөх, цагийн 3 франкийн хөлстэйгээр хичээл заах зэргээр түр зуур амиа аргацаах ажил хийж байжээ. Эйнштейн 1901 оны XI сард докторын зэрэг горилсон бүтээлээ толилуулсан байна. Энэ нь их сургуульд багшлах эрх олж авахад зайлшгүй хэрэгтэй байв. Бүтээлийг нь хэдийгээр тэр үеийн Германы эрдэм шинжилгээний гол цуврал сэтгүүл болох “Annalen der Physik” хүлээн авсан байсан боловч уг сэтгүүлийн хянах зөвлөлд ордог эрдэмтэд шаардлага хангаагүй гээд буцаажээ. Түүнийг сайн мэдэх хүний нэг болох Америкийн математикч Б.Хофманы нотолсноор Эйнштейн байр сууриа олохгүй байсан нь “...түүнд чухам л хөлгүй их усанд живж байгаа юм шигсэтгэгдэл төрүүлж байсан...” гэдэг (Б.Хофман нь 1928 оноос түүнийг насан өөд болтол нь агуу эрдэмтний бичгийн ажлын туслахаар ажиллаж байсан Элен Дюкастай хамтран “Альберт Эйнштейн шинийг бүтээгч, бас үймүүлэгч” гэсэн номыг хамтран бичсэн хүн юм). Хофманы бичсэнээр, болж өнгөрсөн

нэгэн гашуун бөгөөд гунигтай үйл явдлыг эргэн дурсюу. **Эйнштейний агуу нээлт бүтээл ундарсан нь.** “Капиляр үзэгдлийн тухай” анхны эрдэм шинжилгээний ажил нь 1901 онд “Annalen der Physik”-д хэвлэгджээ. Эйнштейн өгүүллийнхээ хувийг профессор В.Оствальд (физик-химийн гарамгай судалгаагаараа химийн салбарт 1909 онд Нобелийн шагнал хүртсэн)-д илгээхдээ: “...Таны ерөнхий химийн ном надад урам зориг төрүүлэв... Зориг гарган өөрийн өгүүллийн хувийг Танд илгээж байна. Энэ даирамд танайд математик физикийн мэргэжилтний орон тоо байхгүй биз гэж зүрх гарган асууя... Би огт цалин мөнгөгүй байгаа учраас л танд ийм хүсэлт тавьж хандая гэж шийдсэн юмаа..” гэсэн зурвас хавсаргасан байжээ. Хоёрдохоо сануулсан боловч Оствальдаас ямар ч хариу авсангүй. Түүнчлэн мөн л ийм хүсэлт тавьж хандсан Лейдений профессор Камерлинг-Оннес (хэт дамжууллын үзэгдлийг нээж 1913 онд Нобелийн шагнал хүртсэн Нидерландын физикч) - оос ч бас л хариу авсангүй. Хофманы өгүүлснээр, Эйнштейний амьдралын энэ нэгэн үед сэтгэлийн утас хөндөхөөр бас нэг зүйл болсныг дурьдвал; худалдааны ажил нь олигтой яваагүй, бие муутай, шинжлэх ухааны ертөнцтэй огт холбоогүй түүний эцэг нь хүүгийнхээ төлөө ихэд санаа зовж, профессор Оствальдад хувийн захиа бичсэн байдаг. Тэрээр захиандаа:

“Хүндэт профессор оо, хүүгийнхээ төлөө танд захиа бичихээр шийдсэн намайг уучилна уу... Миний хүү Альберт Эйнштейн 22 настай... учир мэдэх хүмүүс түүний авъяасыг их магтдаг юм. Хүү маань тун ч азгүй, ажил ч үгүй, өдөр ирэх тутам л дэгжин дээшлэх итгэлээ алдсаар байна. Миний хүү Таныг үнэлж, хүндэлдэг болохоор хайрт профессор Та, миний хүүгийн өгүүллийг үзэж.... түүнд урамшуулан зоригжуулсан хэдхэн мөр бичиж илгээвэл тэр дахин ажил, амьдралын баяр баясгалан эдэлнэ хэмээн бодсоны улмаас Танд найдлага тавьж сууна...Хүү маань намайг ийм юм хийж байна гэсэн сэжиг огт аваагүй ээ” гэжээ. Бас л хариу байдаггүй. Тэрээр 1893 оноос Швейцарт суурьшиж авъяас билиг, хүч чадал, залуу насныхаа эрч хүч, өнгө жавхаа гялалзан бадарсан сайхан үеэ Бернд үджээ.

Эйнштейн 1902 онд Швейцарын патентын газар ажилд орж, эхлээд 3 дугаар зэргийн техникийн шинжээчийн тушаалд дадлагажигчаар сарын 3500 франкийн цалинтай ажилд орж, дараа нь дэвшин 2 дугаар зэргийн шинжээч-инженер зэрэг ажлыг 7 жил хийсэн байна. Тэрбээр чухам энд Морис Соловин, математикч Конрат Габихт нартай нөхөрлөн математик, байгалийн шинжлэл, философийн асуудлаар байнга ярилцан, эрдэм шинжилгээний номын сан, их сургуулийн физикийн факультетийн нөлөө, уур амьсгалаас хол хөндий суухдаа хүний хөлийн чимээ ойртоход үнэт цаг мөчөө зарцуулан хийсэн бүтээлээ зургийнхээ ширээнд бушуухан далд хийж, төдөлгүй буцааж гарган байж харьцангуйн тусгай онолоо боловсруулж, статистик физик, броуны хөдөлгөөн, цахилгаан соронзон цацралын алдарт нээлт бүтээлүүдээ туурвисан гэдэг. Эйнштейн эдүгэ болтол философийн докторын “эрхэм” цолыг авч чадаагүй л байв. “Би философийн доктор болохгүй. Энэ бүх инээдэмт жүжиг намайг залхаалаа” хэмээн зэрэг авахаар хоёрдохоо оролдоод бүтээгүйн тухайдаа бичсэн байдаг. Эцсийн эцэст гурав дахь оролдлого нь амжилт авчрав. Гэвч тэр үед түүнд энэхүү докторын зэрэг хэрэггүй болжээ.

1905 он бол Эйнштейний хувьд судалгааныхаа 5 том ажлыг хэвлүүлсэн ер бусын жил байв. Эхнийх нь нь буюу 1905 оны III сарын 17-нд “Annalen der Physik”-т хэвлүүлсэн ажилдаа фотоэффектийн хуулийг томъёолжээ. Гэрлийн квант онолыг хөгжүүлж, тэр үед хүний сэтгэлд үл багтах “фотон” хэмээх бөөмийн тухай ойлголтыг оруулж ирсэн нь орчин үеийн физикийг үндэслэгчдийн эгнээнд зүй ёсоор авчирсан байна. Үүнээс өмнө буюу 1900 онд Германы физикч Макс Планк, гэрлийн цацраг энергийг тов тодорхой тунгаар зөөнө (энэхүү тунг сүүлд энергийн квант хэмээн нэрлэсэн) гэдэг санааг дэвшүүлсэн байна. Эйнштейний хөгжүүлсэн гэрлийн квант онол нь нэрт физикч Н.Борын атомын загвар дээр суурилсан бөгөөд тэрээр түүний

бүтээлийг ихэд хүндэтгэн үзэж, олон удаа уулзалдаж байжээ. *Эйнштейн Борын бүтээлийг үнэлж “Түүний бүтээл бол онолын сэтгэлгээний хүрээнд буй болсон дээд яруу аялгуу” хэмээн хэлсэн байдаг.*



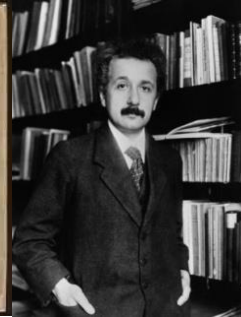
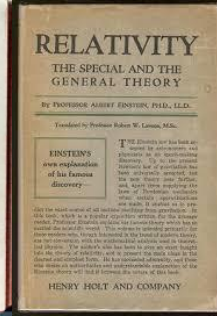
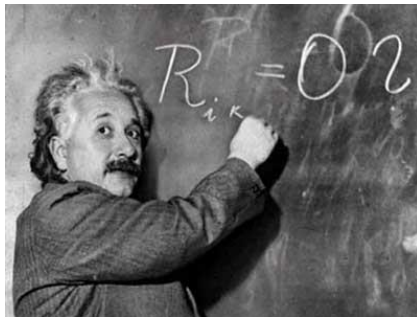
Эйнштейн Лоренц хоёр. 1921 он



Эйнштейн Бор хоёрын бодлогоширол. 1927 он

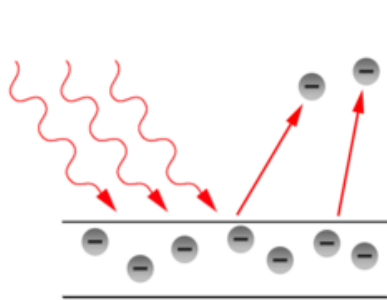


Эйнштейн Бор хоёрын “их уулзалт” 1927 он. Гэрэл зургийг Эренфест авчээ.



Эйнштейн Пасаден хотод физик онолд ер бусын гэж алдарисан шинэ санаагаа дэвшүүлэн лекц уншиж байгаа нь (1930 он).

Самбар дээр бичсэн $R_{ik} = 0$ гэсэн илэрхийлэл нь цэвэр гравитацын орныг илэрхийлэх 10 тэгшитгэлийг тензор хэлбэрээр илэрхийлжээ. Эйнштейний тайлбарлаж буй энэ тэгшитгэл нь матери оргүй болоход ч таталцал үлдэх учрын тухай юм. Онолын энэ тайлбар тэр үедээ хэн бүхэнд тун ч ойлгомжгүй байжээ.



$$h\nu = A_e + \frac{m_e \cdot v^2}{2}$$

$$\frac{m_e \cdot v^2}{2} = h\nu - A_e$$

$h\nu \geq A_e$ Условие фотоэффекта

$h\nu_0 = A_e$
 ν_0 – красная граница



Эйнштейний Нобелийн шагнал хүртсэн Гэрлийн цахилгаан үзэгдлийн тайлбар.

Эйнштейн Макс Планкын нэрэмжит медалийг өөрийнх нь гараас гардан авч байгаа нь. 1929 он

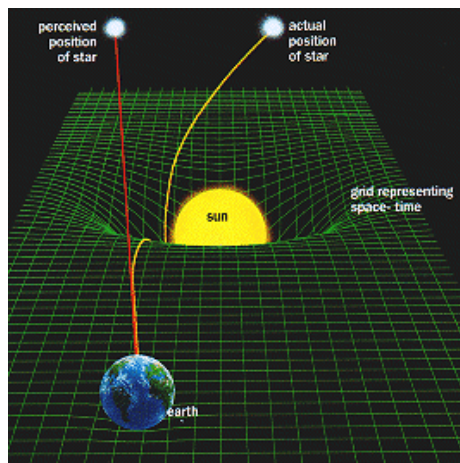
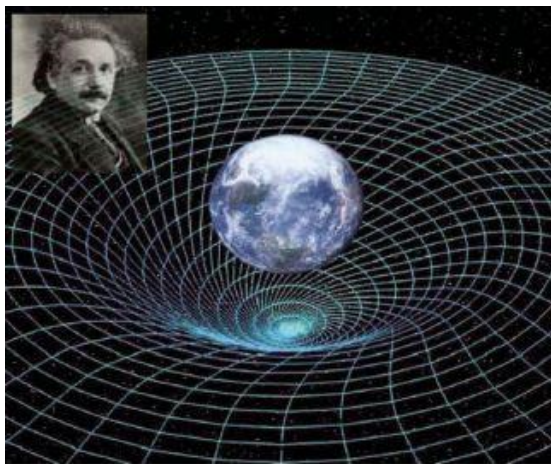
Эйнштейний харьцангуйн тусгай (1905 он) болон ерөнхий (1916 он) онол огторгуй, хугацаа, материйн тухай төсөөллийг үндсээр нь өөрчилж байгалийн шинжлэлд хувьсгалт эргэлт авчирсан гэж үздэг. Харьцангуйн тусгай онолдоо үндэслэн масс, энергийн холбооны хуулийг нээснээр орчин үеийн цөмийн физикийн хөгжилд

онцгой хувь нэмэр оруулжээ. Гэрлийн цацрал тасралттай, квант бүтэцтэй гэдэг төсөөллийг гаргаж (Эйнштейний таамагласан фотоныг 1922 онд А.Комфтон нээж 1927 онд Нобелийн шагнал хүртсэн) үүн дээрээ үндэслэн гэрлийн цахилгаан үзэгдэл (фото эффект)-ийг тайлбарласан нь квант онолын хөгжилд үлэмж нөлөө үзүүлжээ. Хатуу (шингэн биес нэгэн адил) бие дээр гэрэл буюу цахилгаан соронзон долгион тусахад түүний гадаргуугаас электрон сугаран гарахыг фотоэффект хэмээн нэрлэнэ. Электрон сугалах чадвартай гэрэл бол бөөмслөг шинж чанар бүхий цахилгаан соронзон долгион мөн. Туссан гэрлийн фотоны энерги нь биетээс электрон сугалах ажил ба уг электрон цааш хөдлөх кинетик энергийн нийлбэртэй тэнцүү болохыг илэрхийлсэн энгийн томъёог бичсэн нь өнөөдөр дэлхийн бүх орны дунд, дээд, их сургуулийн физик, химийн сурах бичигт хэзээ ч үл орхигдох хүндтэй байрыг нэгэнт эзэлжээ. Бичил ертөнцөд энерги хадгалагдах хууль нэгэн адил биелэгдэх онолын энэ үндэслэл, өнөөдрийн жирийн гэрэл зургийн аппаратын гэрэл сүүдэр тохируулагчаас эхлээд гэрэл бодистой харилцан үйлчлэх үйлчлэлд тулгуурласан бүх л хэмжигч багажийн ажиллагааны онолын үндэс болж буйгаас харахад түүний ач холбогдол аяндаа тодрох буйзаа. Тэрээр энэ ажлаараа 1921 онд Нобелийн шагнал хүртсэн бөгөөд шагналынхаа 32000 долларыг амласан ёсоор анхны хань Милевадаа өгчээ. Сонирхуулахад, нэрт физик-химич Вильгелм Оствальд (Эйнштейн 1901 онд “Annalen der Physik сэтгүүлд хэвлэгдсэн “Капиляр үзэгдлийн тухай” анхны эрдэм шинжилгээний ажлаа илгээж ажил өгч амьдралдаа тус хүргэхийг хүссэн захиа бичсэн боловч хариу өгөлгүй “мартсан”) 1910 онд Эйнштейнд Нобелийн шагнал олгох анхны саналыг гаргаж байжээ. 1911 он болоод 1915 оноос хойш 1921 он хүртэл Лоренц, Планк, Бор, Вин, Хвольсон, Де Хааз, Лауэ, Зеeman, Камерлинг Оннес, Адамар, Эддингтон, Зоммерфельд, Арениус зэрэг нэрт эрдэмтэд жил бүр Эйнштейнд Нобелийн шагнал олгох саналыг тасралтгүй гаргаж байжээ. Нобелийн хороо, харьцангуйн онол нь туршилтаар батлагдаж нэг мөр болоогүй гэсэн тайлбартайгаар ухрааж байжээ. Ийнхүү явсаар туршилт судалгаагаар маргаангүй батлагдсан Эйнштейний фотоэффектийн ажилд нь Нобелийн шагнал олгох шийдвэр 1921 онд гарсан боловч түүнийг Герман, Швейцар хоёр улсын алиных нь иргэн гэж үзэх зэрэг аар саар юмыг тодруулах гэсээр жил өнгөрч тэрээр шагналаа 1922 онд Нильс Борын хамт гардан авсан түүхтэй ажээ. Би яагаад харьцангуйн онолыг бүтээх болов оо? гэж өөрөө өөрөөсөө асууж байсан гэдэг. Тэгээд хариулахдаа: “...ийм шалтгаан надад байсан юмаа. Насанд хүрсэн жирийн хүн огторгуй, цаг хугацааны талаар юу ч боддоггүй. Харин би хүүхэд байхдаа л энэ талаар боддог байсан. Бүр өсч өндийж том болтлоо тийм удаан хугацааны турш бодсоор байв. Тэгээд би гайгүй авъяастай хүүхдээс илүү гүнд нь нэвтэрч чадсандаа, энэ огторгуй хугацааны талаар...” хэмээн ярьсан байдаг.



Альберт Эйнштейн. 1921 он. Нобелийн шагнал хүртэх шийдвэр 1921 онд гарсан ч тэрээр энэ хүндтэй шагналаа 1922 онд гардан авчээ.

Сэтгүүлд хэвлэгдсэн хоёр дахь ажил нь “Авогадрын тоо ба молекулын хэмжээг тооцоолох арга” гэсэн нэртэй бөгөөд энэ нь түүний докторын диссертаци байжээ. “Тогтонги шингэнд хөвсөн жижиг бөөмийн хөдөлгөөнийг дулааны молекул-кинетик онолын үүднээс авч үзэх нь” нэртэй хэвлэгдсэн гуравдахь ажилдаа Броуны хөдөлгөөний зүй тогтлыг томъёолсон байна. “Хөдөлж байгаа биеийн электродинамик” хэмээх дөрөвдөх ажил нь түүний боловсруулсан харьцангуйн тусгай онолынх нь үндэс болжээ. “Биеийн масс түүний энергээс хамаарах нь” нэртэйгээр хэвлэгдсэн тавдахь ажилдаа энерги болоод масс нь эн тэнцүү бөгөөд нэг нь нөгөөдөө шилжиж болохыг томъёолж $E=mc^2$ гэсэн алдарт тэгшитгэлээ бичжээ. Энэ хууль хүн төрлөхтөнд атомын эрчим хүчийг ашиглах эрин үеийг нээсэн юм. Эйнштейн 1913-1914 онуудад метрик тензорыг ашиглан таталцлын орныг тодорхойлох ерөнхий онол боловсруулах санаанаа хэрэгжүүлж математик тооцооны хувьд багын найз Гроссмантай хамтарч 2 ажил хэвлүүлж, улмаар 1915 онд таталцлын орны ерөнхий шинж чанарыг илэрхийлсэн 10 тэгшитгэлийг бичиж чадсан нь харьцангуйн ерөнхий онол буюу орчин үеийн релятив таталцлын онолын үндэс болсон байна. Тэрээр энэ онолоороо Буд гаригийн Нарны массын төвд хамгийн их ойртох үеийн тойрог замын цэгийн шилжилт 100 жилд нумын секундээр 43 болохыг батлаад түүнээ Пруссын хааны шинжлэх ухааны академид мэдэгдсэн нь ихээхэн шуугиан дэгдээсэн юм. Чухам энэхүү үр дүн түүний урт удаан хугацааны турш цөхрөлгүй хийсэн их эрэл хайгуулын ажлынх нь ноён оргил болжээ. Онолынхоо ажлаа нийтийн хүртээл болгохын тулд арай хялбаршуулан 17 хуудсанд багтаасан жижиг номоо 1917 онд хэвлүүлсэн байна. Эйнштейний дөрвөн хэмжээст орон-цаг гэдэг цогц нэгдэл юу болохыг энгийнээр тайлбарлан хэн бүхэнд ойлгуулахад амаргүй юм. Тэнийлгэж татсан хаймран дээвэр дээр хүнд юм тавьбал сунаж хотоино. Одод буюу Нар мэтийн хүнд эрхэс ойролцоо байгаа орон зайг иймэрхүү байдлаар өөрчилнө. Нарны аймгийн гаригууд таталцлын хүчинд Нарыг зууван тойрог замаар тойрдог. Үүнийг Нарны нөлөөгөөр үүссэн орон зай-цаг хугацааны ховилоор явна гэж үзэж болно. Эйнштейний дөрвөн хэмжээст орон-цаг гэдэг ойлголтыг бүдүүн баарагаар зүйрлэн тайлбарлахад иймэрхүү ажээ.

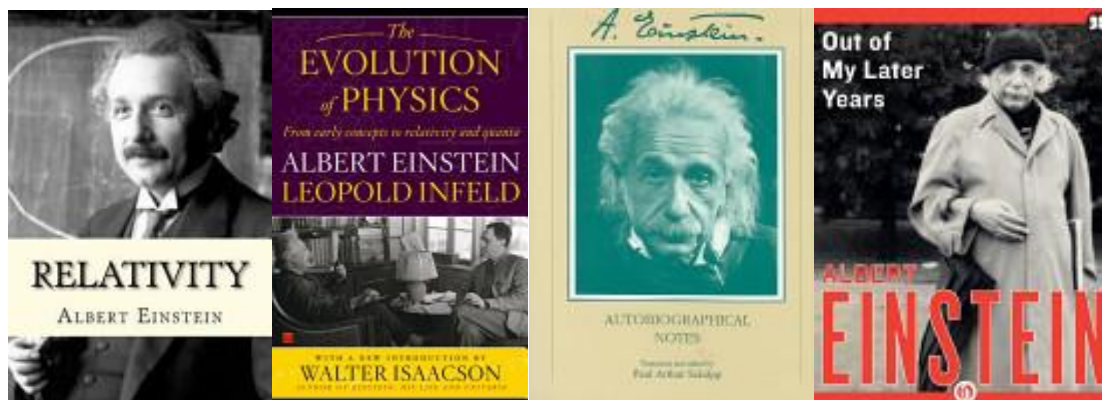


Харьцангуйн ерөнхий онолын туршилтын баталгаа, Эйнштейний огторгуйн муруйлтыг Гэрлийн цацраг их масстай биеийн төсөөлөх зураглал хажуугаар өнгөрөхөд хазайх нь

Харьцангуйн онолын бас нэгэн алдартай нотолгоо бол холын оддын гэрэл нарны дэргэдүүр ойрхон өнгөрөхөд нарны татах хүчний улмаас муруйж тэнгэрт үзэгдэх оддын дүрс өөр газарт буулгагдан харагдана хэмээн үзэх таамаглал юм. Эйнштейний тооцоогоор ийм нэг одны гэрэл 1.75 нумын секунд байх ёстой байв. 1919 оны V сарын 19-нд Нар хиртэх үеэр Принсипи арал дээрээс Английн эрдэмтэн Артур Эддингтон ажиглаад одны гэрлийн хазайлт Эйнштейний тооцоотой бараг адил байхыг

олжээ. Хэрэв энэ тохиолдолд одны гэрэл муруйхгүй байна гэж тогтоосон бол яахав хэмээн хожим түүнээс асуухад, “Бурхны л алдаа болох биз. Миний онол зөв юм чинь” гэж хариулсан гэдэг. Энэ онол Эйнштейнийг маш ихээр алдаршуулсан төдийгүй орчлонгийн сургаалын хөгжилд асар хүчтэй түлхэц өгсөн бөгөөд чухам энэхүү онол дээр тулгуурлан А.А.Фридман тэлж буй орчлонгийн загварыг гаргасан байна. Эйнштейнийг ер нь өөрөө туршилт судалгаа хэзээ ч хийж байгаагүй, онолдоо баталгаа олох гэж нэг их оролддоггүй байсан гэдэг. Тэрбээр онолын физикчийн хөдөлмөрийг хүнд хүчир ажил гэж хэзээ ч ярьж байгаагүй, харин “их сонин содон мөрөөдлийн биелэх баталгааг гаргадаг, хөнгөн бөгөөд гоё урлаг” хэмээн ярьдаг, бас сурвалжлагч нарын асуултанд ч ийнхүү хариулсан байдаг.

Эйнштейний бичсэн ном бүтээлүүд. 1934 онд квант механикийн асуудлаар Эйнштейн-Подольский-Розены алдарт бүтээлээ хэвлүүлж, 1916 онд Харьцангуйн онол, 1938 онд Альберт Инфельдтэй хамтран “Физикийн хувьсгал”, 1949 онд “Намтар цадигийн тэмдэглэл” зэрэг хэд хэдэн тулгуур бүтээл нь дараа үеийн физикчдийн ширээний ном болсон байна. Өнөө үед ч Альберт Эйнштейний алдарт бүтээлүүдийг үе үеийн физикч эрдэмтэд байнга шимтэн судалсаар байна. Ер нь Эйнштейн шинжлэх ухааны чамгүй олон өгүүлэл бичсэн ч тухайн үедээ хэвлүүлж байгаагүй болох нь түүний архивын баримт харуулдаг.



Эйнштейн амьдралынхаа сүүлийн 25 жил цахилгаан соронзон ба таталцлын харилцан үйлчлэлийг нэгтгэн нэгдсэн орны онол боловсруулахаар ажиллаж байсан хэдий ч төдийлөн амжилтанд хүрээгүй нь тухайн үед микро ертөнцөд үйлчилдэг сул ба хүчтэй харилцан үйлчлэл хараахан нээгдээгүй байсантай болбон үздэг. Орчин үеийн физикийн хамгийн чухал асуудлын нэг бол таталцлын (гравитац), хүчтэй, цахилгаан соронзон, сул гэсэн ертөнцийн дөрвөн төрлийн харилцан үйлчлэлийг нэгтгэсэн ерөнхий харилцан үйлчлэлийн онолыг боловсруулах асуудал юм. Үүнийг *Супер нэгдлийн буюу Их нэгдлийн онол* гэж нэрлэдэг. Бүр эрт XVII зуунд И.Ньютон аливаа масстай биес харилцан таталцах хуулийг нээсэн бол XIX зуунд Ж. Максвелл цахилгаан ба соронзон орон хоёр холбоотойг баталж, цахилгаан соронзон харилцан үйлчлэлийн нэгдсэн онолыг боловсруулав. Өнгөрсөн зуунд цөм, эгэл бөөмстэй холбоотой хүчтэй харилцан үйлчлэл, бета задралын үед илэрдэг сул харилцан үйлчлэл гэсэн харилцан үйлчлэлүүд, тэдгээрийг зөөж дамжуулдаг бөөмсийг нээжээ.

Эйнштейн байгалийг нарийн учир шалтгаант холбоотой гэж үзэж санамсаргүй, тодорхой бус чанарыг илтээр үгүйсгэдэг байв. Тиймээс ч статистик хуульд дулдуйдах квант механикийг төгс онол гэж үздэггүй байжээ. Үүний улмаас алдарт физикч Н.Бортой хэдэн жилийн маргаан өрнүүлсэн бөгөөд судлаачид энэхүү маргааныг квант механикийн үүсэл ба хөгжилд асар их нөлөө үзүүлсэн “агуу чухал маргаан” хэмээн үздэг. Эйнштейн 1927 онд болсон Сольвегийн V хуралдаан дээр Нильс Бор, Макс Борн нарын квант механикийн математик загварыг “магадлалын шинжтэй” гээд ихэд

ширүүн шүүмжлээд “Бурхан шоо хаяж шийддэггүй” гэхэд Нильс Бор, “...Ноён Эйнштейн, бурханд юу хийхийг бүү заа...” хэмээгээд онолын үндэслэлээ ул суурьтай тайлбарласан байна. Эйнштейн цаашлаад, квант механикийн “Копенгагеныхны төсөөлөл-тайлбар” гэсэн нэршил гаргаад квант механикийн үзэл баримтлалыг шүүмжлэхдээ: “гүйцэд бус бөгөөд богино настай хувилбар” хэмээгээд “орчин үеийн физикийн ухааны дэвшил бичил ертөнцийн төгс онолоор шийдэгдэнэ” хэмээн хэд хэд давтан хэлсэн гэдэг. Түүний яриан дотор “Бодитой бүхэн зүй зохистой, зүй зохистой бүхэн бодитой” гэж хэлэх нь цөөнгүй ажиглагддаг байсан гэдэг. Эйнштейн бол бодит оршихуйг танин мэдэх гол арга бол шинжлэх ухаан мөн гэдэгт бат итгэлтэйгээс гадна Спиноза, Декартын рационализмаас үүсэлтэй буюу анхдагч бодит оршихуй бол хорвоо ертөнц, байгалийн хууль нэгдмэл, түүний зүйтогтол учир шалтгаант тогтолцоонд оршино гэсэн үзлийг баримталдаг хүн байв. Иймд тэрээр Лагранжийн аналитик механикийг XVIII зууны гайхамшигт бүтээл хэмээн үнэлэхийн хамт математик бол бодит ертөнцийн боломжит дүр зургийг дүрслэх арга, физикийн ухааны элемент болгон физик онолын тусгал байх ёстой гэж үздэг байжээ. Түүний философийн үзлийн хөрс суурь Германы гүн ухаантан Эрнст Мах (1838-1916), Английн гүн ухаантан Дэвид Юм (1711-1776) нарын үзэл онолоос эхтэй гэж үздэг.



Алдарт физикчдийн халуун дотно яриа.

Энэхүү сүүдэр зургийг Эйнштейн өөрөө 1919 онд гаргажээ. Эхэнд нь өөрийгөө, дараа нь эхнэр Ильзы, охид Ильзе, Марго нарыгаа дүрсэлжээ. Эйнштейн өөрийнхөө энэ сүүдэр зурагт их бахархалтай хандан хадгалдаг байсан ажээ.

Нөхөрсөг шог. Альберт таны хаясан хогийг цэвэрлэхэд их энерги зарах нь байна шүү.

Эйнштейн дэлхий даяар алдаршин олон оронд уригдан очиж лекц уншиж, түүнийг 1921 онд Америкт хөлөг онгоцоор очиход халуун дотноор угтаж, улсын ерөнхийлөгч нь цагаан ордондоо хүлээн авч нээлт бүтээлд нь баяр хүргэж, Колумбын Их Сургуулийн медалиар шагнаж, Принстоны Их Сургуульд уншсан 4 лекцийг нь “Харьцангуйн онолын мөн чанар” нэртэй ном болгон хэвлэсэн нь түүнд маш их урам хайрласан гэдэг. 1920 оноос Германд еврейн эсрэг үйл ажиллагаа идэвхижин Эйнштейний харьцангуйн онолыг үгүйсгэн түүнийг “Германы шинжлэх ухааныг гутаагч” хэмээн зарлах болсон байна. 1933 онд Германд фашист засаг тогтож банкна дахь түүний хадгаламжийн мөнгийг хүчингүй болгож, 50 насных нь ойгоор бэлэглэсэн газрыг хураан авсны гадна бүтээлийг нь суут хүмүүсийн бүтээлтэй хамт галд шатааж, түүнд сэтгэл амар тайван байж суухын аргагүй болж эхэлсэн тэр тун хүнд үед АНУ-д гарч Принстоны судалгааны хүрээлэнд насан өөд болтлоо ажиллажээ. Тэрээр 1940 онд АНУ-ын иргэн болж, 1944 онд 65 настайдаа өндөр насны тэтгэвэрт гарчээ. Эйнштейн амьдралынхаа сүүлийн 25 жилийг цахилгаан соронзон орон, гравитацийн орон хоёрыг нэгтгэсэн онолыг боловсруулж байхдаа, ертөнцийн жамаар өтлөх тийшээ хандаж, бас эрүүл мэнд сайнгүй болж байгаагаа мэдрэн энэхүү нэгтгэсэн онолыг гүйцээж чадахгүй бол хугацаа сунжирч улмаар цааш явахгүй ч байж магадгүй хэмээн санаа багагүй зовж байгаад бурхны оронд заларсан гэдэг. Гэвч түүний гайхамшигт санаа олон жилийн

дараа гүйцэлджээ. В.И.Лениний хэлснээр <<Байгалийн шинжлэлийн агуу их хувиргагчдын нэг>> энэ хүний 100 гаруй жилийн өмнө хийсэн агуу нээлт бүтээлүүдийг шинжлэх ухаан, техник үсрэнгүй хөгжсөн өнөөгийн өндөрлөгөөс хараад Нобелийн шагнал нэхэн олгоё гэж бодоход хэд хэд хүртэхээр юм хэмээн үнэлж шагшин магтагчид олон байдгийг дурьдах юун. Шинжлэх ухааны алдар хүндийн оргилд гарсан хэдий ч Эйнштейн тун ч эгэл жирийн тэр л хэвээрээ, өөрийгөө дөвийлгөн өндөрт өргөмжлөх сэтгэл огт байгаагүй, энэ зан төрх нь өчүүхэн ч өөрчлөгдөхгүй байсаар насан эцэс болсон гэдэг.

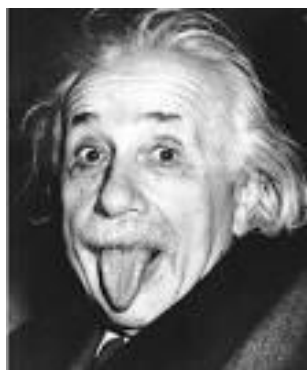
Их алдар нэрийнх нь араас түүний төрөлхийн зан чанартай нь харшилсан буюу тахин шүтэх байдал ажиглагдаж эхэлсэн байна. Эйнштейнийг зурах, зургийг авах, баримлыг хийхийг тэмүүлсэн янз бүрийн олон хүн түүн дээр тасралтгүй ирж байжээ. Тэдэн дотор агуу ухааныг нь бишрэх, хий хоосон тахин шүтэгсэдийн аль алин нь л байсан болов уу. Тэрээр энэ бүхнээс болж төрөлхийн энгийн байдал, хошин шогч зангаа огтхон ч өөрчлөөгүй, харин “...Шинжлэх ухааны нэр алдар нь зарим хүмүүст орлого өгдөг сүүтэй үнээ, заримд нь ариун гэгээн тэнгэрийн дагина мэт санагдана..” гэсэн үгийг нэг бус удаа хэлдэг байжээ. Эйнштейнийг нэг удаа галт тэргээр зорчиж явахад нь суудал зэрэгцсэн нэгэн бээр түүнээс мэрэгжлийг нь асуухад, “Би зураачдын хувьд бол нэг загвар л болдог хүн дээ” гэж уйтгартайхан хариулсан гэдэг. Түүний гарын үсгийг нь зуруулж авах гэсэн олон хүний хүсэлтийг биелүүлж ядрахдаа “...гарын үсэг зуруулах гэж хөөцөлдөх нь ерөөсөө л каннибализмын үлдэгдэл юм. Урьд цагт хүн нэг нэгнийгээ барьж иддэг байсан бол одоо тэгж золигт гаргахыг больж гарын үсгээр хөөцөлдөх болж ... залуудаа би чинь хаа нэгэн газар хэний ч анхаарлыг таталгүйгээр чимээгүй сууж, юмаа хийхийг хүсдэг байв. Тэгтэл одоо юу болж байна аа...” хэмээн нөхөддөө ярьж байжээ. Сурвалжлагч ярилцлага хийж байгаад ярианыхаа завсар “та бол агуу хүн..” гэсэн утгатай үг хэлэхэд “би тийм агуу хүн биш, зүгээр л сониуч зантай л хүн” гэж хариулсан байна. Тэрээр нэг хүрэмнээс огт салдаггүй байсан бөгөөд энэ тухайд сонирхоход “... намайг хэн ч таньдаггүй байх үед би энэ л хүрэмтэйгээ байсан. Одоо намайг хүн болгон таньдаг болж бишрэн хүндэтгэж байхад би бас л энэ муу хүрэмтэйгээ байна. Намайг хэн ч таньдаггүй байхад би Эйнштейн байсан, одоо бүгд таньдаг болсон ч би Эйнштейн хэвээрээ л байна. Ямар ялгаа байхав дээ...” хэмээн хариулжээ. Эйнштейн хамаг л ухаан бодлоо төвлөрүүлэн олон цагаар бичгийн ширээний ард алжааж ядрахыг умартан суугаад түр хөндийрөхдөө хийлээрээ нилээд удаан хугацаагаар гайхалтай сайхан хөгжимддөг байсан гэдэг.



Эйнштейний алдар нэр даян дэлхийн эрдэмтдийн дунд төдийгүй соёлт хүмүүсийн хүрэн өргөн тархаж, сурвалжлагч, гэрэл зурагчин нарын нүдэнд байнга л өртөж түүний зураг хөргийг янз бүрээр татан авч сонин сэтгүүлийг чимсэн нь тоймгүй их. Эйнштейн ер нь зориуд зургаа татуулахдаа тун дургүй ч нээлт бүтээлийнх нь ажилтай холбоотой янз бүрийн уулзалт ярилцлага, эрдэм шинжилгээний хурал, семинар болж өнгөрсний дараа хэдийн л зургийг нь татчихсан, “ийм ч үйл явдалд оролцож байгаа үеийнх нь зураг, тийм агшинд байгаа байдал” гэх зэргээр гарчихсан байдаг байв. Их эрдэмтний олон зургуудын дундаас 1952 оны III сарын 14-нд 73 насных

нь ойгоор цөөн тооны нөхөд цугларахад тэдний дунд байсан гэрэл зурагчин Дэвид Уоксманы авсан нэгэн зураг олон хүний анхаарлыг татдаг. Тэр нь Эйнштейний хэлээ унжуулсан зураг.

Агуу эрдэмтэн аппаратын дурангаас нэг л зайлсхийгээд ер олигтой өртөж өгөхгүй болохоор нь зурагчин гэнэт, “ ноён Эйнштейн инээмсэглээрэй” гэсэн чинь, тэрээр эргэж харангуутаа хэлээ гаргаж. Тэр дор нь л амжиж авхаалжтай зурагчны аппарат шархийж.. Зураг ч сүрхий гарчээ. Гэвч зурагчинд эхлээд энэ зураг онцгүй санагдсан, бас агуу хүний ийм нэг зургийг хамаа намаагүй тавиад ч яахав гэж бодсон тул хэсэг хугацаанд анхааралгүй байлгаж байснаа, гэнэт л түүнтэй зүйрлэх дүр төрхтэй өөр зураг огт байдаггүй, бас ийм агшинд амжиж, таарч дарах амаргүйг ойлгосон байна. Тэгээд ч харсан хэн бүхний анхаарлыг аргагүй татахаар луг зураг гэсэн санаа төрж хэвлэлд



гаргажээ. Үнэхээр агуу хүний өөр ийм зураг байхгүй нь үнэн. Харин нас ахисан, их ухаантай хүний дүрсгүйтэж, марзагнасан, бас анхаарал сарниулсан хүнээ яльгүй доромжилсны алин ч байж болохоор өнгө аястай энэхүү зурагт янз бүрээр тайлал хийхийг оролдсон нь бишгүй байдаг. Эйнштейн энэ зургийнхаа нэг хувийг сэтгүүлч Ховард Смитэд бэлэглэхдээ ард нь” Энэ зураг танд таалагдана. Яагаад гэвэл энэ нь хүн төрлөхтөнд зориулагдсан юм” хэмээн бичээд гарын үсгээ зурсан байжээ. Эйнштейний гарын үсэгтэй энэ зураг америкийн Нью Хэмпширт болсон дуудлага худалдаагаар 75000 ам.доллараар зарагдсан гэдэг.

Эйнштейний намтрыг эмхлэгчийн нэг Карл Зелиг түүнээс шинжлэх ухааны авъяасыг эцгээсээ, хөгжмийнхийг эхээсээ өвлөөгүй юу гэж асуухад “ *Би ямар ч авъяасгүй, гагцхүү их л сонуучхан хүн. Иймээс удамшлын тухай яриа хэрэггүй*” гэж хариулж байжээ. **Эйнштейний даян дэлхийн энх амгалан байдлын төлөөх тэмцэл.** Дэлхийн II дайны гал бөхсөн ч цөмийн зэвсэгээр хөөцөлдөх хийрхэл улам улмаар газар авч, хүн төрлөхтнийг урьд хожидтой зүйрлэхийн аргагүй аймшигт аюул нөмрөх нөхцөл бүрдэж байгаад сэтгэл зовниж түүний эсрэг тэмцэхэд дэлхийн нэрт эрдэмтдийн дуу хоолойг нэгтгэн тэмцэх нь чухал хэмээн үзэж энэ талаар Рассел – Эйнштейний даян дэлхийд хандсан уриалгыг санаачлан гаргаж байжээ (*Эйнштейний дотны нөхөр, даян хүн төрлөхтний энх тайван амьдралын төлөө ятаршиггүй тэмцэгч Английн нэрт гүн ухаанч, математикч, нийгмийн зүтгэлтэн Бертран Рассел (1872-1970) нь дайн самууныг хазаарлан, даян дэлхийд бат бэх энх тайван байдлыг тогтоох Пагуошийн хөдөлгөөнийг санаачлагчдын нэг бөгөөд Утга зохиолын салбарт олгодог Нобелийн шагналыг 1950 онд хүртсэн юм*). “*Даян дэлхийн хүмүүс энх амгалан амьдрах уу, эвдрэлцэн дайтаж сөнөж мөхөх үү гэдэг хоёр замын салаан дээр ирж байна. Хүний эрүүл саруул ухаан ялах ёстой*” гэсэн утга агуулга бүхий урт уриалга хэдийгээр Эйнштейнийг амьд сэрүүн үед нийтлэгдэж чадаагүй ч хожмоо манай гаригийн эрүүл ухаантай түг түмэн хүмүүсийн талархлыг хүлээсэн юм. Энэ уриалгыг тэр үеийн дайны хэнээ туссан улс төрийн бодлоготон болон цэргийнхэн дэлхий нийтийн анхаарлаас аль болохоор хөндий байлгах сонирхолтой байсан тул даян дэлхийн сонсголд тэр даруйдаа хүрэн түгж чадаагүй юм. Эйнштейнээс гадна нэрт эрдэмтэн арван нэгэн хүн гарын үсгээ зурсан энэхүү уриалгад Нильс Борын нэр байдаггүйг судлаачид янз янзаар л тайлбарладаг. 1955 оны III сарын 02-нд Бертран Расселын энх тайвны санаачлагын талаар Нильс Борд бичсэн захиандаа “*...Та битгий хэмсгөө зангидаарай. Энэ захиа та бид хоёрын хооронд дээр үед физикийн асуудлаар болж байсан мэтгэлцээнээс огт өөр юмаа. Америкт улс төрийн байдал нилээд ээдрээтэй болж байна. Тодорхой судалгаа хийдэг бөгөөд нэр нөлөөгөө ашиглаж болох нэрт эрдэмтэд энэ байдлыг намжаах бололцоо энд тун бага байна аа. Харин миний хувийн оролцоо хилийн чанад боломжийн*

үр дүнд хүрч болох талтай юм шиг. Миний тэрслүү алдар нэр шинжлэх ухаанд төдийгүй энэ асуудалд бас хэрэг болох болов уу...” гэжээ. Тэрээр үүнээс бүр өмнө, тухайлбал, 1939 оны VIII сарын 2-нд Америкийн тэр үеийн ерөнхийлөгч Франклин Рузвельтэд бас захиа бичсэн бөгөөд энэхүү захидалдаа, атомын бөмбөг бүтээж болзошгүй байгаа, түүний хүн төрлөхтөнд учруулах аюул даан ч их талаар сэтгэл зовнин өгүүлж байжээ.

Израиль улс байгуулагдсаны 7 жилийн ойг тохиолдуулан шинжлэх ухаан, соёлын түүхэн болоод ирээдүйн асуудлаар дэлхий дахины анхааралд толилдуулах зорилготой уриалгын сэдэв бэлтгэхэд туслах хүсэлтийг Эйнштейнд тавьж, улмаар энэ уриалгыг ойн баяр ёслолын албан ёсны хэсэгт оруулан хийх нэвтрүүлгээр дэлхийд цацах зорилготой байжээ. Харин Эйнштейний хувьд арай өөр бодолтой, тухайлбал; эх бичигт даян дэлхийд бат бэх энх тайвныг тогтоох, Араб-Израйлын харьцааг эервүү зөвөөр авч үзэж шийдэхэд дэлхийн олон нийтийн санаанд нөлөөлөх асуудлыг хөндөх нь илүү байх болов уу гэсэн бодолтой байжээ. Эйнштейн зөвхөн физикийн шинжлэх ухаанд зориулагдсан хүн биш байв. Түүнд Израиль улсаас ерөнхийлөгч болох саналыг тавьж байсан аж. Гэвч их эрдэмтэн маань энэ саналыг хүлээж аваагүй байна.

Эйнштейний амьдралын сүүлийн жилүүд. Эйнштейний бие тааруухан байсан үед уулзахаар ирсэн Израиль улсын албан ёсны төлөөлөгчидтэй 1955 оны IV сарын 11 болоод 13 -нд хоёр ч удаа уулзан ярилцжээ. Үндэс угсаа нэгтнүүдийнхээ жаргал зовлонг сонсож байсан түүний сүүлийн уулзалт буюу 1955 оны IV сарын 13-ны өдрөөс эхлэн агуу хүний дотор эрхтэн ер бусын хүчтэй өвдөж, улмаар бусад зовиурууд давхцаж хүнд байдалд орсон тул IV сарын 15-ны Баасан гаригт эмнэлэгт хэвтүүлжээ.

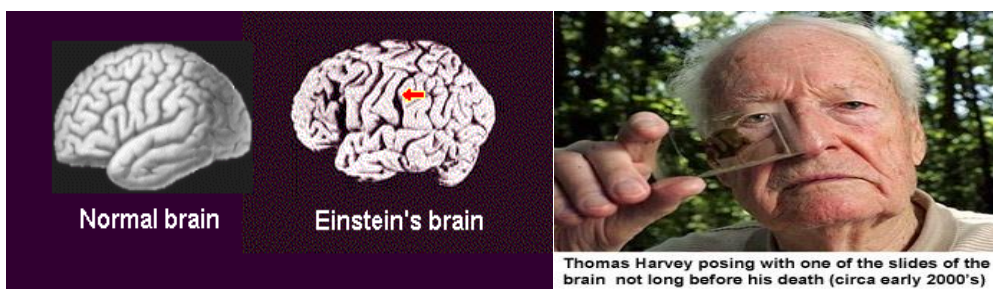
Тэрээр ийнхүү эмнэлэгт хэвтэхдээ өөрийнхөө амьдрах хугацаа тун богинохон болсныг мэдэрч байсан бололтой. Тиймээс “...*Та нар минь сэтгэл зовох хэрэггүй. Хэн ч гэсэн хэзээ нэгэн цагт мөнх бусаа үзүүлнэ шүү дээ...*” хэмээн ойр дотныхондоо аядуу зөөлхнөөр хэлж байж. Үүнээс хоёр жилийн өмнө Бельгийн хатан-эхэд бичсэн нэгэн захидалдаа: “...*Өтөлнө гэдэг хачин юм. Миний цаг хугацаа, орон зайн дотоод мэдрэмж аажмаар алдагдаж байх шиг. Би өөрийгөө алс хязгааргүйд очсон ч юм шиг, айдас болоод итгэл найдварын алин ч огт байхгүй болсон нэгэн хөндлөнгийн ажиглагч шигээр төсөөлөх болов...*” хэмээн өгүүлж байснаас үзэхэд, агуу хүний бие сэтгэлд “чөтгөр шулмын хорлол” хоёр гурван жилийн өмнөөс шүглэсэн бололтой, хөөрхий. Эйнштейн аливаад маш тэвчээртэй хандаж, сэтгэл хөдлөлөө барьж чаддаг хүн байж. Дэргэд нь хэн нэгэн гуниглан, шаналах байдалтай болоход тун дургүй. Өөртөө их итгэлтэй тэрбээр байнга “би” хэмээн ярьдаг байсан бөгөөд “бид” гэж хамтатган ярих дургүй хүн байсан гэдэг. Тэрээр сэтгэл, ухаанаа хурцалж шүлэг, яруу найраг бичдэг байсан бөгөөд энэ нь нэг ёсны оюуны дасгал, алжаал ядралаа тайлахад нэмэр тустай байсан гэдэг.

Тэрээр эмнэлэгт хэвтээд айхтар өвдөх нь арай намдсан үедээ ямар нэгэн айдас хүйдэсгүй, их л тайван намдуухан, эервүү цөөн үгээр тун энгийнээр яриа өрнүүлэхдээ; америкт дайны хэнээрхэл идэвхижиж буй болон даян дэлхийн энх тайвны асуудалд сэтгэл зовж байгаагаа, мөн өөрийнхөө шинээр авч үзэж байгаа онолын бүтээлийнхээ талаар бага зэргийн шогдуу өнгө аястай ярьж байсан талаар сүүлд уулзсан цөөхөн хүмүүсийн бичиж үлдээсэн дурсамжид үлдсэн байна. Түүний ярьж хэлж байсан утга төгөлдөр олон оновчтой, цэцэн цэлмэг хэллэг олны анхаарлыг ихэд татдаг. Тэрээр “*Зах хязгааргүй хоёр юм байна аа. Энэ бол орчлон ертөнц ба хүний мунхаглал. Харин эхнийхэд нь би нэг л итгэж өгөхгүй л байна*” хэмээн хэлж байсан нь түүний намтар судлаач хүмүүсийн ном зохиолд үлдсэн байдаг. Ер нь Эйнштейн багагүй алиа хошин талдаа хүн байжээ. Үүнийг Бельгийн хаан Альбертийн хүлээн авалтад уригдаж очсон байхдаа хэлсэн үг нь ямар нэг хэмжээгээр гэрчилнэ. Энэ ёслол цэнгүүний үеэр хатан хаан, хаан хуураараа үнэхээрийн бишрэм сайхан тоглож үзүүлсэн аж. Тоглолтын дараа

Эйнштейн хатан хаанд хандан “*Та гайхалтай сайхан тоглолоо. Хатан хааны мэрэгжил тань юунд хэрэгтэй юм бэ?*” хэмээн асууж байжээ. Тэрбээр Чаплиний тоглосон киног үзэх маш дуртай байсан гэдэг. Эйнштейн түүнд нэг удаа “*Таны бүтээл хүн бүрт ойлгомтой байдаг. Агуу хүн болоорой. Эйнштейн*” гэсэн цахилгаан илгээжээ. Хариуд нь “*Би таныг их хүндэлж биширдэг. Таны онолыг энэ дэлхийн олон хүмүүс ойлгодоггүй ч та бол жинхэнэ агуу хүн. Чаплин*” гэжээ.

Эйнштейн эмнэлэгт хэвтээд өөрийгөө болоод өрөөл бусдыг удаан зовоосонгүй. Ердөө л эмнэлэгт хэвтсэнээсээ хойш гуравхан хоногийн дараа буюу 1955 оны IV сарын 18-ны шөнө гол судасных нь хана хагарч 01 цаг 25 минутад яалт ч үгүй зүрх нь зогсчээ. Эх дэлхий төрүүлсэн нэгэн суут хүнээсээ ийнхүү хагацав. Хэрэв агуу их эрдэмтэн Альберт Эйнштейн энэ хорвоод мэндлээгүй бол харьцангуйн ерөнхий онол тэр үеэс хойш хагас зуун жилийн дараа нээгдэх байсан болов уу хэмээн таамаглах нь бий. Тэрээр насан өөд болохоосоо өмнөхөн “... *намайг нөгөө ертөнцөд очиход оршуулгын элдэв ёслол үйлдэж, булш бунхны ажил удаж, хөшөө дурсгал босгохын хэрэг огтхон ч байхгүй. ... хамгийн энгийн ч байлаа гэсэн хожмоо хүмүүсийн шүтээн болж хувирахаар тийм ямар нэгэн газрыг онцгойлон үлдээхийн хэрэггүй. Би жирийн л нэг хүн шүү дээ...*” гэх зэргээр хэд хэдэн зүйлийг хичээнгүйлэн захижээ. Түүний гэрээслэлийн дагуу бүх л эд хөрөнгө, хувийн архивыг Иерусалим дахь Еврейн Их Сургуульд өгчээ. Тэрээр 1923 онд Израйльд ирэхдээ Иерусалимын Их Сургууль байгуулахыг бүрэн дэмжиж байгаагаар илэрхийлж байсан бөгөөд 1925 онд албан ёсоор нээгдэхэд сургуулийг удирдах зөвлөлийн бүрэлдэхүүнд нь орж байжээ. Иерусалимын Их Сургуулийн дэргэдэх Эйнштейний архивын үндэс суурь ийнхүү тавигдсан байна.

Агуу хүнийг өөд болоход түүний биед задлан шинжилгээ хийсэн АНУ-ын Принстоны эмнэлгийн эмгэг судлаач Томас Слотц Харви тархийг нь авч нарийн технологийн дагуу хадгалсан байна. Тэрбээр эл үйлдлийнхээ төлөө ажлаасаа халагдаж, багагүй хэл аманд орсон ч талийгаачаас амьд сэрүүнд нь зөвшөөрөл авсан тодорхойлолтоор цагааж тархийг нь судлах эрхтэй болсон гэдэг. Тэрээр тархины нарийн зургийг дэлхийн шилдэг тархи судлаач эрдэмтдэд илгээсэн байна. Тэдний нэг болох Калифорны Их Сургуулийн эрдэмтэн Мариан Даймонд суут Альбертийн тархины мэдээлэл хүлээн авах хэсэгт энгийн хүнийхээс хавьгүй олон мэдрэлийн эс байгааг тогтоосон талаар бичсэн байдаг.



Жирийн хүний тархи. Эйнштейний тархи, Эйнштейний тархийг хадгалсан эмгэг судлаач Томас Слотц Харви

Хэдийгээр өөрийгөө онцгойлон үзэж, шүтэн бишрэх элдэв үйл хийхийг үнэн сэтгэлээсээ эрс татгалзаж байсан ч эх дэлхийхэн суут хүнээ мөнхжүүлэн дурсахаар Менделеевийн үелэх системийн атомын дугаар нь ерэн есөд орох элементийг Einshteinium (Einshteinium хэмээх зохиомол радиоидэвхит элемент 14 изотоптой, түүний ихэнхи тогтвортой изотопын масс тоо 252, хагас задралын үе нь 276 өдөр юм) хэмээн нэрлэсэн төдийгүй Эйнштейний нэрэмжит медаль гаргаж физикийн шинжлэхууханы хөгжилд жинтэй хувь нэмэр оруулсан хүнд олгох болсон бөгөөд орчин үеийн физикчдийн ярьдагаар энэ медалийг авсан хүнд “*Нобелийн шагналын*

бариаг зурхай гялалзан харагдаж байгаа” хэмээн үнэлж байдгийг дурдсу. Эйнштейний Энэхүү алтан медалийн анхныхыг “Эйнштейнийг залгамжлагч” хэмээн нэрлэгддэг бөгөөд орон зай, цаг хугацааны гүнд нэвтэрсэн өнөө үеийн их онолч Стефан Хокинг 1979 онд хүртжээ.



Эйнштейний нэрэмжит алтан медалийн нүүр ба ар тал.

Түүнчлэн дэлхийн олон улс түүнд зориулж хөшөө дурсгал босгох, бүтээлүүдийг нь ном болгон хэвлэх, зоос болоод марк гаргах, гуутай гуугүй зүүлт, энгэрийн тэмдэг, мөнгөн тэмдэгт хийх, зангиа, дарцаг, зурагт наамалд дүрслэн харуулах зэргээр Эйнштейний нэрийг мөнхжүүлж, агуу нээлт бүтээлийг нь даян дэлхийд алдаршуулсаар байна.

Бурхны оронд залагдсан суу билигт энэ хүний захиасыг ёсчлон биелүүлж Нью-Жерси мужийн Трентоний ойролцоох цогцос чандарлах газар зөвхөн садан төрлийнхөн болоод хамгийн ойр дотны арван хоёрхон хүн л очиж үүрд салах ёслолыг нилээд нууцлаг байдлаар үйлдэж эцсийн замд нь үджээ. Агуу хүн агуугаараа дуусдгийн сонгодог үлгэр жишээг тэрээр бас жинхэнээр харуулаад бурхны орондоо заларчээ.

Максвеллийн тэгшитгэлүүд

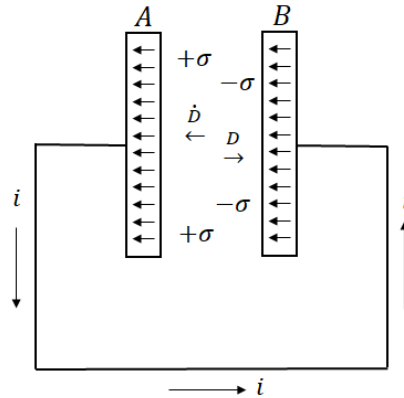
Д.Эрдэнэбаатар¹, П.Түвшинтөр², Г.Шилагарди¹

¹МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

²МУИС, Байгаль-Эх лицей ахлах сургууль

1. Шилжилтийн гүйдэл

Конденсатор агуулсан хэлхээгээр хувьсах гүйдэл гүйх процессийг авч үзье. Хэрэв хэлхээгээр тогтмол гүйдэл гүйж байвал гүйдлийн шугам битүү байна. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд асуудал арай өөр байна. Конденсаторын хоорондох диэлектрик дотуур цэнэгүүд чөлөөтэй хөдөлж чадахгүй тул конденсаторын хавтагт хүрч ирсэн гүйдлийн шугам түүний гадаргуу орчимд тасарна. Конденсаторын хавтагуудыг холбосон дамжуулагчаар урсах дамжицын гүйдэл бас тасарна. Тодорхой хугацааны эгшинд хавтгай конденсаторын зүүн талын A хавтаг $+\sigma$ гадаргын нягттай, баруун талын B хавтаг $-\sigma$ гадаргын нягттай тус тус цэнэглэгдсэн байг. Конденсатор цэнэгээ алдаж эхлэхэд хавтгуудыг холбосон дамжуулагчаар зүүн талын хавтгаас баруун хавтаг руу чиглэсэн гүйдэл гүйнэ.



1-р зураг. Конденсаторын хавтгуудын хооронд шилжилтийн гүйдэл үүсэх

Хавтагын доторх гүйдлийн нягт i -ийн тоон утгыг цэнэгийн нягтаас хугацаагаар уламжлал авч олно.

$$i = \frac{d\sigma}{dt} \quad (1)$$

Ийм нягттай гүйдэл зүүн талын хавтаг A -аас эхлэн гүйнэ. Энэ үед хавтгуудын хоорондох зайнд юу болохыг авч үзье. Хэрвээ хувьсах гүйдлийн давтамж асар их биш байвал, хавтгуудын хоорондох цахилгаан орны өөрчлөлтийг тодорхойлж болно. Энэ учралд конденсаторын доторх орны эгшин зуурын утгыг цэнэгийн гадаргын нягтын эгшин зуурын утгаар тодорхойлж болно.

Конденсаторын хавтгуудын хоорондох цахилгаан орны индукц \vec{D} -ын тоон утга

$$D = \sigma$$

Энэ тэнцэтгэлийн зүүн ба баруун талаас хугацаагаар уламжлал авбал:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{d\sigma}{dt},$$

буюу цахилгаан индукцээс хугацаагаар авсан уламжлагчийг \dot{D} -ээр тэмдэглэвэл:

$$\dot{\vec{D}} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (2)$$

Энэ тохиолдолд $\dot{\vec{D}}$ вектор B хавтгаас A хавтаг руу чиглэсэн байна. Үнэхээр конденсатор цэнэгээ алдахад хавтгуудын хоорондох орон багасах тул хугацаагаар авсан уламжлагч $\frac{dD}{dt}$ хасах тэмдэгтэй байх ба $\dot{\vec{D}}$ вектор нь \vec{D} векторын эсрэг чиглэнэ. Хавтгуудын хоорондох цахилгаан индукцийн вектор \vec{D} зүүнээс баруун тийш чиглэсэн байна. Эндээс үндэслэн A хавтгын дотор дамжицын гүйдлийн нягтын вектор \vec{i} -ын шугам зүүн тийшээ чиглэх ба хавтгуудын хоорондох орон зайд $\dot{\vec{D}}$ векторын шугам мөн тэр зүгт чиглэнэ. (1) ба (2) тэнцэтгэл ёсоор \vec{i} ба $\dot{\vec{D}}$ векторын тоон утгууд тэнцүү байна. Ингэхлээр гүйдлийн нягт \vec{i} ба $\dot{\vec{D}}$ векторын шугамууд нэг нь нөгөөгөө орлож чадах ажээ. Одоо бид дараах тэмдэглэгээг хэрэглэе:

$$\dot{\vec{D}} = \dot{i}_{ш} \quad (3)$$

Конденсаторын хавтгайн доторх дамжицын гүйдлийн нягт \vec{i} -ийн шугам тасралтгүй үргэлжлэн хавтгуудын хооронд $\dot{i}_{ш}$ вектор шугам болон хувирна. $\dot{i}_{ш}$ хэмээх хэмжигдхүүнийг анх удаа авч үзсэн Максвелл түүнийг шилжилтийн гүйдлийн нягт гэж нэрлэжээ. “Шилжилтийн гүйдэл” хэмээх нэр, цахилгаан хүч, эфир хэмээх харимхай орчны механик деформацтай холбоотой үүсдэг гэдэг хуучны ойлголтоос гаралтай юм. Хэрэв дамжуулагч доторх дамжицын гүйдлийн нягт \vec{i} -ийн шугамыг, хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөх цахилгаан орноор тодорхойлогдох диэлектрикийн доторх шилжилтийн гүйдлийн нягт $\dot{i}_{ш}$ -тэй адилтган үзвэл, гүйдлийн шугам тасралтгүй үргэлжлэх болно. Хэрэг дээрээ дамжиц ба шилжилтийн гүйдлүүд адил төсөөтэйгөөс гадна цахилгаан соронзон үзэгдлийн онолын цаашдын хөгжлийн явцад шилжилтийн гүйдэл цахилгаан соронзон орны зарим нэгэн бодит шинж чанарыг илэрхийлдэг болохыг үзүүлжээ. Максвеллийн урдчилсан хэлснээр шилжилтийн гүйдэл, түүнийг тойрон хүрээлэх орчинд, түүнтэй эквивалент дамжицын гүйдлийн үүсгэх соронзон оронтой яг адил соронзон оронг үүсгэнэ. Максвеллийн энэ таамаглал орчин үед олон төрлийн туршлага ба тэдгээрээс үндэслэн гарах үр дүнгээр батлагдсан байна. Шилжилтийн гүйдэл, дамжицын гүйдэлтэй зөвхөн соронзон орон үүсгэх чадвараараа эквивалент юм. Бусад талаар нь шилжилтийн ба дамжицын гүйдлийг адилтгаж болохгүй. Жишээлбэл, шилжилтийн гүйдэл өнгөрөхөд жоулийн дулаан ялгарахгүй. Максвелл дамжицын ба шилжилтийн гүйдлээс гадна бүтэн гүйдэл гэдэг ойлголтыг авч үзжээ. Дамжицын гүйдэл ба шилжилтийн гүйдлийн нягтын векторын геометр нийлбэр бүтэн гүйдлийн нягтын вектор \vec{U} -тэй тэнцүү:

$$\vec{U} = \vec{i} + \dot{i}_{ш}. \quad (4)$$

Бүтэн гүйдлийн векторын шугам үргэлж битүү байна. Хэлбэлзлийн давтамж их биш байхад конденсаторын хавтагуудыг холбосон дамжуулагчаар гүйх бүтэн гүйдэл дамжицын гүйдэл байна, хавтгуудын хоорондох бүтэн гүйдэл шилжилтийн гүйдэл байна. Яагаад гэвэл конденсаторын хавтгын гадаргуу орчимд (1) ба (2) тэнцэтгэл ёсоор шилжилтийн ба дамжицын гүйдлүүд адилхан бөгөөд нэг зүг чиглэх тул бүтэн гүйдэл гадаргын орчимд тасрахгүй. Нарийн яривал дамжуулагчийн дотор ч шилжилтийн гүйдэл тэг болохгүй, түүний хэмжээг

$$i_{ш} = \dot{D} = \epsilon \dot{E}.$$

томъёогоор тодорхойлж болно. Хувьсах гүйдлийн цахилгаан орны хүчлэг E хугацаанаас хамааран үелэх функц $E = E_0 \sin \omega t$ байдгаас түүнээс хугацаагаар авсан уламжлагч $\dot{E} = E_0 \omega \cos \omega t$ -тэй тэнцүү ба шилжилтийн гүйдлийн нягт:

$$i_{\text{ш}} = \varepsilon \omega E_0 \cos \omega t.$$

Омын хуулиар дамжицын гүйдлийн нягт $i = \gamma E = \gamma E_0 \sin \omega t$, үүний γ – дамжуулагчийн хувийн дамжиц юм. Шилжилтийн ба дамжицын гүйдлийн амплитудын харьцааг олбол:

$$\frac{i_{\text{ш}}}{i} = \frac{\omega \varepsilon}{\gamma}.$$

Метал дамжуулагчийн $\gamma \approx 10^{17} \text{ CGSE}$, түүний диэлектрикийн тогтмол 10, хувьсах гүйдлийн цикл давтамж $\omega \approx 10^7 \text{ сек}$ гэвэл $\frac{\omega \varepsilon}{\gamma} = 10^{-8}$ болно. Иймээс дамжуулагчийн доторх шилжилтийн гүйдэл дамжицын гүйдлээс хавьгүй бага хэмжигдэхүүн тул орхигдуулж болох ажээ.

2. Цахилгаан соронзон орон

Максвеллийн дэвшүүлсэн таамаглалаар шилжилтийн гүйдэл, дамжицын гүйдлийн адил соронзон орон үүсгэнэ. Цахилгаан индукцийн вектор \vec{D} -ээс хугацаагаар авсан уламжлагч тэгээс ялгаатай буюу хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөх цахилгаан орон байх бүрд

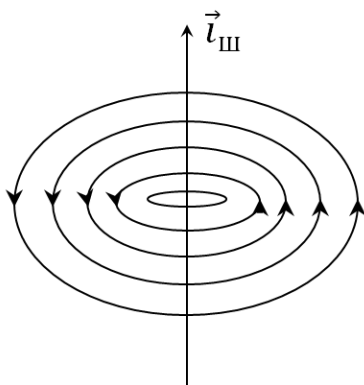
$$\dot{i} = \dot{\vec{D}}.$$

нягттай шилжилтийн гүйдэл үүснэ. Ингэхлээр хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөх цахилгаан орон бүхэн соронзон оронтой холбоотой ажээ. Хэмжээ ба байрлал нь өөрчлөгдөхгүй, хөдөлгөөнгүй цэнэгүүдийн үүсгэх цахилгаан статик орон зөвхөн цахилгаан цэнэгүүдэд үйлчлэхээс биш соронзон үйлчлэл үзүүлэхгүй. Хэрэв цэнэгүүд нэг нь нөгөөтэйгөө харьцангуй хөдлөх юм уу, цэнэгийн хэмжээ өөрчлөгдвөл, тэдгээрийн үүсгэх цахилгаан орон өөрчлөгдсөнөөс болж цахилгааны харилцан үйлчлэлийн зэрэгцээгээр соронзон үйлчлэл үүсдэг байна. Харин цахилгаан орон жигд өсөх буюу буурвал, шилжилтийн гүйдэл тогтмол болж түүний үүсгэх соронзон орон тогтмол байна. Үнэндээ хувьсах цахилгаан орноос хугацаагаар авсан уламжлагч бас өөрчлөгдөн хувьссанаас хувьсах шилжилтийн гүйдлийг үүсгэх ба энэ гүйдэл өөрийн ээлжинд хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөх соронзон оронг үүсгэнэ. Ингээд хувьсах цахилгаан орноор дүүргэгдсэн орон зай нэгэн зэрэг бас хувьсах соронзон орноор дүүргэгдэнэ. Цаашдаа хувьсах соронзон бас хувьсах цахилгаан орныг үүсгэнэ. Хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөх соронзон орны индукцийн векторыг \vec{B} -ээр, түүнээс хугацаагаар авсан уламжлагч $\frac{d\vec{B}}{dt}$ -ийг $\dot{\vec{B}}$ -ээр тэмдэглэе. Мөн энэ оронд хөдөлгөөнгүй битүү дамжуулагч хүрээ байжээ гэе. Соронзон индукцийн вектор хувьсан өөрчлөгдөх тул битүү хүрээгээр хязгаарлагдсан түүний хөндлөн огтлолын талбайгаар өнгөрөх соронзон индукцийн урсгал Φ өөрчлөгдөхөд битүү хүрээнд индукцийн цахилгаан хөдөлгөгч хүч ε_i үүснэ. Фарадейн хуулиар энэ цахилгаан хөдөлгөгч хүч ε_i нь индукцийн урсгалаас хугацаагаар авсан $\frac{d\Phi}{dt}$ уламжлагчтай тэнцүү байх ба манай тохиолдолд хүрээ хөдөлгөөнгүй тул соронзон индукцийн вектороос хугацаагаар авсан уламжлагчтай $\dot{\vec{B}}$ -тэй тэнцүү байна. Дамжуулагчид цахилгаан хөдөлгөгч хүч үүссэнээс буй болсон цахилгаан хүч, чөлөөтэй цэнэг зөөгчдийг тодорхой чиглэл рүү хөдөлгөөнд оруулна. Ингэхлээр хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөх соронзон дамжуулагч байрласан

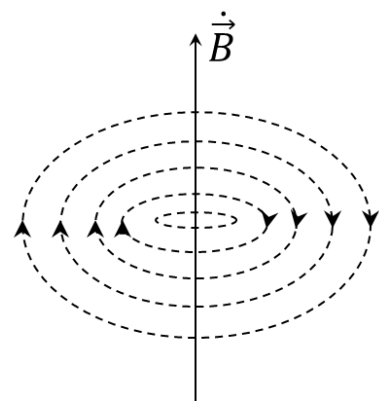
мужид цахилгаан хүч үүсгэх ажээ. Энэ бүгдийг Максвелл нэгтгэн дүгнээд хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөх соронзон орон байгаа орон зайн цэг бүхэнд дамжуулагч байгаа үгүйгээс эс хамааран цахилгаан орон үүснэ гэжээ.

Максвеллийнхаар дотор нь цахилгаан хөдөлгөгч хүч үүссэн дамжуулагч, цахилгаан хүч өөрийгөө илрүүлэх объектын үүргийг гүйцэтгэжээ. Хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөх соронзон орон бүхэн цахилгаан оронтой холбоотой байна. Тогтмол соронзон орон, тухайлбал, өөр хоорондоо харьцан үл хөдлөх дамжуулагчаар тогтмол гүйдэл гүйхэд, үүсэх соронзон орон, мөн хөдөлгөөнгүй тогтмол соронзны үүсгэх орон зэрэг нь хөдлөгөөнгүй цэнэгт ямарваа нэг үйлчлэл үзүүлэхгүй. Харин соронзон орон хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдвөл соронзон үйлчлэлээс гадна цахилгаан үйлчлэл ажиглагдана. Үнэндээ амьдралд дайралддаг хувьсах соронзон орны зөвхөн соронзон индукцийн вектор \vec{B} нь хувьсахаар барахгүй түүнээс хугацаагаар авсан уламжлагч $\dot{\vec{B}}$ хүртэл хувьсан өөрчлөгдөж байдаг. Энэ тохиолдолд заавал хувьсах цахилгаан орон үүснэ. Ингэхлээр хувьсах соронзон орноор дүүргэгдсэн орон зай бас нэгэн зэрэг хувьсах цахилгаан орноор дүүргэгдсэн байдаг. Цахилгаан ба соронзон хэмээх хоёр хувьсах орон өөр хоорондоо салшгүй холбоотой бөгөөд нийлээд цахилгаан соронзон оронг үүсгэнэ. Цахилгаан соронзон орон нь хуйларсан орон юм. Аливаа \vec{A} векторын оронд энэ векторын эсрэг чигтэй хязгааргүй ойрхон цэгүүд үргэлж олдож байвал түүнийг хуйларсан орон гэнэ. Жишээлбэл, шингэн ба хийн дотор хуйлрал үүсвэл, хуйлралын тэнхлэгийн ойролцоох, эсрэг хандсан хоёр талд хөдөлгөөн харилцан эсрэг чиглэлд явагдана.

Эхлээд соронзон орны хуйларсан шинж чанарыг авч үзье. Шилжилтийн гүйдлийн үүсгэх соронзон орныг яг л дамжицын гүйдлийн соронзон оронг тооцдог томъёогоор тооцно. Гэхдээ дамжицын гүйдлийн нягтыг шилжилтийн гүйдлийн нягтаар солино. Шилжилтийн гүйдлийн соронзон орны соронзон хүчлэгийн шугамууд яг л дамжицын гүйдлийнхтэй адил гүйдлийнхээ шугамыг тойрон хүрээлж, битүүрсэн байна. Ямар нэгэн цэг дээрх шилжилтийн гүйдлийн нягтын векторыг $\vec{i}_ш$ хэмээх сумаар дүрсэлье (2-р зураг). Хэрэв бид $\vec{i}_ш$ векторт хязгааргүй ойрхон орших цэгт тулан очвол энэ цэгийг дайрсан соронзон хүчлэгийн шугамын муруйлт асар их байна. Тэгвэл хязгаартаа соронзон орных нь хүчлэгийн векторын шугам харилцан эсрэг чиглэсэн маш ойрхон орших хос цэгүүдийг үргэлж олж болно.



2-р зураг. Шилжилтийн гүйдлийн нягтын вектор $\vec{i}_ш$ -ийг тойрон үүсэх соронзон хүчний шугамын нэг төвтэй битүү тойрог хэлбэртэй шугамууд.



3-р зураг. $\dot{\vec{B}}$ векторыг тойрон үүсэх цахилгаан орны хүчлэгийн шугамын нэг төвтэй битүү тойрог хэлбэртэй шугамууд.

Хувьсах соронзон орны үүсгэх цахилгаан орон бас хуйларсан чанартай. Аливаа нэг цэг дээрх соронзон индукцийн векторын өөрчлөлтийг, чиглэлийг нь заасан сумтай

\vec{B} вектороор дүрсэлье (3-р зураг). Хэрэв \vec{B} вектороо тойруулан, хөндлөн огтлолын талбай нь \vec{B} -д перпендикуляр байрласан дамжуулагч хүрээ татвал, Ленцийн дүрмээр энэ хүрээнд үүсэх индукцийн цахилгаан хөдөлгөгч хүчний чиглэл 3-р зурагт харуулсан сумтай тасархай муруйгаар дүрслэгдэнэ. Өгөгдсөн цэг бүхэн дээрх, цахилгаан хөдөлгөгч хүч энэ цэгээс \vec{B} векторын чиглэл дээр буулгасан нормалд перпендикуляр чиглэнэ. Индукцийн цахилгаан хөдөлгөгч хүч, цэг бүхэн дээрх хүчлэгийн вектор \vec{E} нь цахилгаан хөдөлгөх хүчтэй адил чигтэй цахилгаан орон үүссэнтэй холбоотой. Ингэхлээр цахилгаан орон \vec{E} -ийн хүчний шугам \vec{B} векторыг тойрон хүрээлсэн нэг төвтэй тойргууд байна. \vec{B} векторт маш ойрхон орших цэгүүдийн тойргийн муруйлт асар их тул цахилгаан орны хүчлэгийн векторууд нь эсрэг чиглэсэн хос цэгүүд үргэлж олддоно. Ингэхлээр хувьсах соронзон орны үүсгэх цахилгаан орон бас хуйларсан орон байна. Энэ орны хүчлэгийн шугамууд бас битүү байна. Үүгээрээ хуйларсан цахилгаан орон, хүчлэгийн шугам нь нэг цэнэгээс эхлээд нөгөө цэнэг дээр дуусдаг задгай хүчний шугамтай үл хөдлөх цэнэгүүдийн үүсгэх цахилгаан статик орноос ялгаатай юм. Цахилгаан орон потенциал (цахилгаан статик орон) ба хуйларсан (цахилгаан соронзон орон) хоёр хэлбэртэй байдаг. Гэтэл соронзон орон зөвхөн хуйларсан хэлбэртэй байна. Цахилгаан статик орон потенциал болохыг математикийн хувьд түүний хүчлэгийн вектороос битүү муруйгаар авсан интеграл тэгтэй тэнцүү гэж илэрхийлдэг:

$$\oint E_l dl = 0. \quad (5)$$

Соронзон орон хуйларсан чанартайг дараах интегралаар тодорхойлно:

$$\oint H_l dl = I. \quad (6)$$

Интегралын баруун талд байгаа гүйдэл I бол S талбайтай l урттай битүү хүрээний бүх талбайгаар нэвтрэн өнгөрөх гүйдэл юм. Хэрэв i_n -ээр S талбайд нормаль чиглэсэн гүйдлийн нягтыг тэмдэглэвэл:

$$I = \int_S i_n ds,$$

энд интегралыг бүх талбай S -ээр авна. Тэгвэл (2) илэрхийллийг доорх хэлбэртэй бичиж болно.

$$\oint H_l dl = \int_S i_n ds.$$

Максвеллийн таамаглал ёсоор дээрх интегралын баруун талд дамжицын гүйдлийн нягт i_n ба шилжилтийн гүйдлийн нягт \vec{D} -ийн нийлбэрээс тогтох бүтэн гүйдлийн нягт байх ёстой ажээ.

Эцэст нь энэ бүхнийг тооцон дээрх илэрхийллийг дахин бичвэл:

$$\oint H_l dl = \int_S (i_n + \vec{D}_n) ds. \quad (7)$$

Иймэрхүү харьцааг хуйларсан цахилгаан оронд бас бичиж болохыг харуулья. Хэрэв хувьсах соронзон оронд битүү хүрээ байвал Фарадейн хуулиар энэ хүрээнд үүсэх индукцийн цахилгаан хөдөлгөх хүч:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

үүний Φ битүү хүрээний талбай S -ээр нэвчин өнгөрөх соронзон индукцийн урсгал юм. Хэрэв S талбайд нормалиар чиглэсэн соронзон индукцийн векторын байгуулагчийг B_n -ээр тэмдэглэвэл

$$\Phi = \int_S B_n dS,$$

эндээс олбол

$$\varepsilon_i = -\frac{d}{dt} \int_S B_n dS = -\int_S \dot{B}_n dS, \quad (8)$$

үүний \dot{B}_n нь B_n -ээс хугацаагаар авсан уламжлагч, интегралыг бүх талбай S -ээр авна. Нөгөө талаар индукцийн цахилгаан хөдөлгөгч ε_i цахилгаан орны хүчлэгээс авсан циркуляц хэлбэртэй илэрхийлэгдэнэ:

$$\varepsilon_i = \oint E_l dl,$$

интегралыг бүх битүү хүрээгээр авна (энд байгаа E_l бол хуйларсан цахилгаан орны хүчлэгийн l хүрээ дагуух байгуулагч болохыг мартаж болохгүй). Эцэст (8) тэгшитгэлийг дараах хэлбэртэй бичиж болно.

$$\varepsilon_i = \oint E_l dl = -\int_S \dot{B}_n dS \quad (9)$$

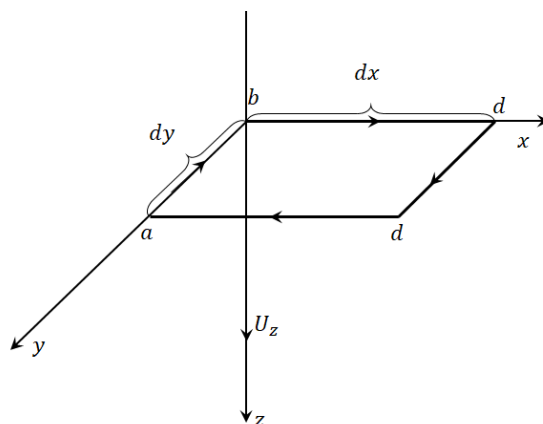
Максвеллийн томъёолсноор (9) илэрхийлэл, өгөгдсөн хувьсах соронзон оронд дамжуулах хүрээ байгаа үгүйгээс эс хамааран биелэгдэхээс гадна зүүн талын интегралыг боломжтой бүх хүрээгээр авч болно. (9) илэрхийлэл, (7) илэрхийллийн нэгэн адил хувьсах соронзон орон хуйларсан цахилгаан оронг үүсгэдгийг илтгэнэ. Хэрэв соронзон орон байхгүй буюу соронзон орон тогтмол байвал $\vec{B}_n = 0$ болж (9) илэрхийлэл (5) илэрхийлэл болон хувирна. Энэ тохиолдолд цахилгаан орон \vec{E} , зөвхөн хэмжигдэхүүнээ өөрчлөхгүй хөдөлгөөнгүй цэнэг байхад үүсч болно. Ийм орон потенциал орон байна.

3. Максвеллийн тэгшитгэлүүд

Максвеллийн тэгшитгэлийг хэрэглэн цахилгаан соронзон оронг маш нарийн тооцож болно. Максвеллийн тэгшитгэл нь цахилгаан соронзон оронг тодорхойлох хэмжигдэхүүнүүдээс координат ба хугацаагаар авсан уламжлагчуудыг холбосон дифференциал тэгшитгэлүүд юм. Максвеллийн тэгшитгэл хоёр хэсгээс тогтоно. Тэгшитгэлийн нэгдүгээр хэсэгт соронзон орны хүчлэгийн векторын проекцуудаас орон зайн координатаар авсан уламжлагчуудыг дамжиц ба шилжилтийн гүйдлийн нягтын проекцуудтай холбоно. Хоёр дахь хэсэгт цахилгаан орны хүчлэгийн векторын проекцуудаас орон зайн координатуудаар авсан уламжлагчдыг соронзон индукцийн векторын проекцуудаас хугацаагаар авсан уламжлагчуудтай холбосон тэгшитгэлүүд орно. Эхлээд Максвеллийн тэгшитгэлийн эхний хэсгийг гаргая. Орон зайн өчүүхэн мужид хугацааны өгөгдсөн эгшин дэх бүтэн гүйдлийн нягтын векторыг \vec{U} -ээр дүрсэлье. Энэ нягт дамжицын гүйдлийн нягт \vec{i} ба шилжилтийн гүйдлийн нягт \vec{D} хоёрын нийлбэр байдгаас

$$\vec{U} = \vec{i} + \vec{D} \quad (10)$$

Максвеллийнхээр дамжицын гүйдэл ба шилжилтийн гүйдлийн аль аль нь соронзон орон үүсгэхэд адилхан үүрэг гүйцэтгэнэ. Эдгээр гүйдлүүдийн үүсгэсэн соронзон орныг тодорхойлохын тулд OZ тэнхлэг дагуух \vec{U} векторын проекцыг авч үзье (4-р зураг).



4-р зураг. Максвеллийн тэгшитгэлийн эхний хэсгийн гаргахад хэрэглэх зураглал

Гүйдлийн үүсгэх соронзон орон үргэлж гүйдлийнхээ чиглэлд перпендикуляр байдаг тул бүтэн гүйдлийн нягтын проекц U_z -тэй соронзон орны хүчлэгийн H_x ба H_y проекц холбоотой байна. XOY хавтгай дээр байрласан dx ба dy талтай өчүүхэн тэгш өнцөгт $ABCD$ -ийг авч үзье. Энэ хүрээ дагуух \vec{H} -ийн циркуляцийг бодон олъё. Өчүүхэн ab хэсгийн циркуляцийг олбол

$$A_{ab} = -H_y dy,$$

үүний H_y нь ab хэсэгт тодорхойлсон соронзон орны хүчлэг \vec{H} векторын проекц, хасах тэмдэг шилжилт OY тэнхлэгийн эсрэг чиглэлд явагдахыг заана. Мөн bc хэсгийн циркуляци

$$A_{bc} = H_x dx,$$

үүний H_x – bc хэсэг дэх соронзон орны хүчлэг \vec{H} –ын проекц болно. Соронзон орон нэгэн төрөл биш байвал, cd хэсэг дэх соронзон орны хүчлэг H -ын тоон утга ab хэсгийнхээсээ өөр байх тул H' -ээр тэмдэглэвэл cd хэсэг дэх циркуляц:

$$A_{cd} = H'_y dy,$$

H_y проекцын ab ба cd хэсгийн хоорондох өсөлтийг $\frac{\partial H_y}{\partial x} dx$ хэлбэртэй илэрхийлж болох учраас $H'_y = H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx$ болж cd хэсэг дэх циркуляц:

$$A_{cd} = (H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx) dy.$$

Мөн энэ маягаар da хэсгийн циркуляцийг олбол:

$$A_{da} = -(H_y + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy) dx.$$

Битүү хүрээгээр буюу $abcd$ -ээр авсан циркуляц:

$$A = -H_y dy + H_x dx + \left(H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx \right) dy - \left(H_x + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy \right) dx,$$

хаалтыг нээгээд төсөөтэй гишүүдийг эмхэтгэвэл:

$$A = \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) dx dy. (11)$$

Нөгөө талаас энэ циркуляц тоон утгаараа $abcd$ талбайгаар OZ тэнхлэг дагуу гүйх гүйдэлтэй тэнцүү байдаг тул

$$A = I_z.$$

Бүтэн гүйдлийн проекц U_z , өчүүхэн төдий $abcd$ талбайн орчимд бараг өөрчлөгдөхгүй гэвэл $I_z = U_z dx dy$, эндээс $A = U_z dx dy$ (10) тэгшитгэл ёсоор U_z -ыг дамжиц ба шилжилтийн гүйдлийн нийлбэр $i_z + \dot{D}_z$ -ээр солиод A -г тодорхойлбол:

$$A = (i_z + \dot{D}_z) dx dy. (12)$$

(11) ба (12) илэрхийлэлийг тэнцүүлээд A -г олбол

$$\left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) = (i_z + \dot{D}_z).$$

Яг үүнтэй адилхан тэгшитгэлийг бүтэн гүйдлийн U_x ба U_y байгуулагчид бичиж болно. Ингээд Максвеллийн эхний гурван тэгшитгэлийг бичвэл:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) = (i_x + \dot{D}_x) \\ \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) = (i_y + \dot{D}_y) \\ \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) = (i_z + \dot{D}_z) \end{cases} (13)$$

Максвеллийн тэгшитгэлийн эхний хэсэг, дамжицын гүйдлийн нягт \vec{i} , цахилгаан орны индукцийн вектор \vec{D} -ээс хугацаагаар авсан уламжлагч, гүйдлийн үүсгэсэн соронзон орны хүчлэг \vec{H} -аас орон зайн координатаар авсан уламжлалуудын хоорондох холбоо шүтэлцээг тогтоож өгнө. Максвеллийн тэгшитгэлийн эхний хэсэг дээр цахилгаан орны индукцийн вектор \vec{D} -г чөлөөтэй цэнэгийн тархалтын нягт ρ -той холбосон тэгшитгэлийг нэмэх хэрэгтэй.

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho. (14)$$

Мөн цахилгаан индукцийн вектор \vec{D} , цахилгаан орны хүчлэгийн вектор \vec{E} -тэй дараах тэгшитгэлээр холбогдоно.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E},$$

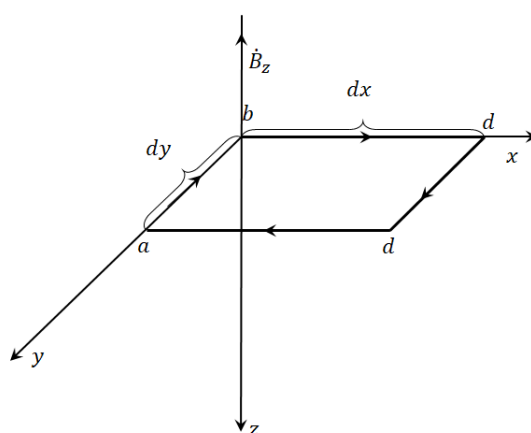
үүний ϵ диэлектрикийн тогтмол юм. Вектор тоололд үзсэнээр, Максвеллийн тэгшитгэл (13)-ын зүүн талд байгаа илэрхийлэлүүд \vec{H} векторын “хуйлрал” буюу $rot \vec{H}$ -ын компонентууд болох тул Максвеллийн тэгшитгэлийн эхний хэсгийг вектор хэлбэртэй бичвэл:

$$rot \vec{H} = \vec{i} + \dot{\vec{D}} (13a)$$

Энэ тэгшитгэл дээр вектор хэлбэртэй бичигдсэн (14) илэрхийлэл нэмэгдэнэ.

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (14a)$$

Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёрдох хэсгийг Фрадейн индукцийн хуульд Максвеллийн хийсэн өргөтгөлийг хэрэглэн гаргая. Максвеллийн хийсэн өргөтгөл ёсоор соронзон индукцийн вектор \vec{B} хувьсан өөрчлөгдөхөд дамжуулагч хүрээ байгаа үгүйгээс эс хамааран цахилгаан хүч үүсэх ажээ. \vec{E} вектороос битүү хүрээгээр авсан циркуляц, энэ хүрээг бүрхсэн талбайгаар өнгөрөх соронзон индукцийн векторын урсгалын хугацаанаас хамаарах өөрчлөлттэй тоон утгаараа тэнцүү байна. Өчүүхэн төдий тэгш өнцөгт хүрээгээр өнгөрөх циркуляцийг тооцъё. Орон зайн өчүүхэн төдий мужид, хугацааны тодорхой нэг эгшин дэх соронзон орны өөрчлөлтийг \vec{B} вектороор тодорхойлно. Өөрчлөгдөж байгаа соронзон орны үүсгэх цахилгаан орныг тодорхойлохын тулд \vec{B} тэнхлэг дагуу чиглэсэн \vec{B} векторын проекцыг авч үзье (5-р зураг).



5-р зураг. Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёр дахь хэсгийг гаргахад хэрэглэсэн зураглал

Индукцлагдэж байгаа цахилгаан хөдөлгөгч хүчний хэмжигдэхүүн өгөгдсөн хүрээний талбайд нормаль чиглэсэн соронзон индукцийн векторын байгуулагчаар тодорхойлогдох тул \vec{B}_z байгуулагч зөвхөн цахилгаан орны хүчлэгийн E_x ба E_y байгуулагчтай холбоотой байна. XOY хавтгай дээр орших dx ба dy талтай өчүүхэн бага тэгш өнцөгт хүрээ $abcd$ -г авч үзье. Энэ хүрээний ab дагуу циркуляцийг олбол:

$$A_{ab} = -E_y dy,$$

үүний $E_y - ab$ хэсэг дэх цахилгаан орны хүчлэгийн проекц, хасах тэмдэг шилжилт OY тэнхлэгийн эсрэг чигт явагдахыг заана. Мөн bc хэсэг дэх циркуляцийг олбол:

$$A_{bc} = E_x dx.$$

Соронзон орны хүчлэгийн циркуляцийг тодорхойлоход хэрэглэсэн аргаар cd ба da хэсэг дэх цахилгаан орны циркуляцийг тооцвол:

$$A_{cd} = (E_y + \frac{\partial E_y}{\partial x} dx) dy, A_{da} = -(E_x + \frac{\partial E_x}{\partial y} dy) dx.$$

Битүү хүрээ $abcd$ -ээр авсан бүтэн циркуляц:

$$A = \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) dx dy. \quad (15)$$

Нөгөө талаас $abcd$ хүрээг нэвчин өнгөрөх соронзон индукцийн урсгалаас хугацаагаар авсан уламжлагчийн сөрөг утга циркуляц тэнцдэгийг бодолцвол:

$$A = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}.$$

Битүү $abcd$ хүрээгээр өнгөрөх соронзон индукц Φ -ийн урсгал $B_z dx dy$ -тэй тэнцүү учир

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\dot{B}_z dx dy \quad (16)$$

(15) ба (16) илэрхийлэлийг тэнцүүлээд олбол:

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\dot{B}_z.$$

Цаашид соронзон индукцийн векторын $-\dot{B}_x$ ба $-\dot{B}_y$ байгуулагчийн агуулсан тэгшитгэлүүдийг олж Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёрдох хэсгийг сийрүүлэн бичвэл:

$$\begin{cases} \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\dot{B}_x, \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\dot{B}_y, \\ \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\dot{B}_z. \end{cases} \quad (17)$$

Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёрдох систем (хэсэг) соронзон индукцийн вектор \vec{B} -ээс хугацаагаар авсан уламжлагч ба соронзон орны өөрчлөлтөөр үүссэн цахилгаан орны хүчлэгийн вектор \vec{E} -ээс орон зайн координатаар авсан уламжлагчийн хоорондох холбоог тогтоож өгдөг. Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёрдох систем дээр соронзон индукцийнн шугам үргэлж битүү байдгийг илэрхийлсэн тэгшитгэлийг нэмэж өгөх хэрэгтэй.

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad (18)$$

Нөгөө талаар энэ тэгшитгэл соронзон цэнэг байдаггүйг илэрхийлнэ. Мөн тогтмол соронзон үргэлж хоёр туйлтай (N ба S) ба монополю (нэг туйл) байдаггүй. Эцэст нь Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёрдох системийг вектор хэлбэртэй бичвэл:

$$\text{rot} \vec{E} = -\dot{\vec{B}} \quad (17a)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0. \quad (18a)$$

Максвеллийн тэгшитгэлийн нэг ба хоёрдугаар системийг хамтад нь бодох хэрэгтэй. Максвеллийн тэгшитгэлийн нэгдүгээр систем, өгөгдсөн гүйдлийн нягт \vec{j} ба цахилгаан цэнэгийн эзэлхүүний нягт ρ -г мэдсэнээр тэдгээрийн үүсгэх соронзон оронг тодорхойлох бололцоо өгнө. Максвеллийн тэгшитгэлийн хоёрдугаар систем, хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөх соронзон орны үүсгэх хуйларсан цахилгаан орныг тодорхойлох боломж олгоно. Үүнээс гадна \vec{H} ба \vec{B} вектор

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

харьцаагаар \vec{E} ба \vec{D} вектор

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

харьцаагаар холбогддогийг нэмэх хэрэгтэй. Үүний μ -орчны соронзон нэвтрэлийн тогтмол, ε -диэлектрикийн тогтмол болно. Хэрвээ орчин нэгэн төрөл биш бол хоёр орчны хил дээр \vec{D} ба \vec{B} векторын хувьд доор дурдсан захын нөхцөл биелэгдэнэ:

$$D_{1n} = D_{2n}, \frac{D_{1t}}{\varepsilon_1} = \frac{D_{2t}}{\varepsilon_2}; B_{1n} = B_{2n}, \frac{B_{1t}}{\mu_1} = \frac{B_{2t}}{\mu_2};$$

энд n ба t индексүүд, векторын нормаль ба тангенциаль байгуулагчид хамаарна. Хэрвээ орчин дамжуулах чадвартай бол дамжицын гүйдлийн нягт \vec{i} Омын хуулиар тодорхойлогдоно:

$$\vec{i} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}'),$$

үүний σ -орчны дамжиц, \vec{E}' -гадны үүсгэврийн үүсгэх орны хүчлэг болно.

4. Максвелл-Лоренцийн тэгшитгэлүүд

Максвеллийн онолд бодисуудын шинж чанарыг диэлектрикийн тогтмол ε , соронзон нэвтрэл μ , дамжиц σ хэмээх гурван тогтмолоор тодорхойлдог. Соронзон цэнэг байдаггүйгээс соронзон дамжиц гэдэг хэмжигдэхүүн авч үздэггүй. Цахилгаан цэнэгийг тэдгээрийн нягтын тархалтаар илэрхийлдэг. Цахилгаан соронзон орон, эдгээр цэнэгүүд ба тэдгээрийн хөдөлгөөнөөр буй болно. Ингэхлээр Максвеллийн онолд бодисын атомлаг бүтцийг хөнддөггүй, тэдгээрийн цахилгаан соронзон оронд үзүүлэх нөлөөг ε, μ ба σ хэмээх тогтмолуудаар ёс төдий тоймлон тооцдог. Лоренцийн электроны онолд бодисын бүтцийг тооцон үздэг. Лоренцийн онолоор бодисоор дүүрэгдсэн орон зай, хоосон орон зайгаас ялгаатай, тус тусдаа оршин тогтнох нэмэх ба хасах цэнэгүүдээр дүүрсэн байдаг. Эгэл хасах цэнэгүүд нь электронууд, эгэл нэмэх цэнэгүүд нь атомын цөмүүд байх ажээ. Электронууд цөмтэйгээ нийлж саармаг атомууд буюу ионыг үүсгэнэ. Атом, ионууд молекулын бүрэлдэхүүнд орж болно. Атом ба молекулын дотор электронууд битүү орбитоор хөдлөхийн зэрэгцээгээр нааш цааш шилжиж атом молекулуудыг туйлшруулдаг. Дамжуулагчийн доторх электронуудын хэсэг чөлөөтэй төлөвд орших, тэдгээр нь шилжиж дамжицын гүйдлийг үүсгэнэ. Цахилгаан ба соронзон орон, эдгээр цэнэгүүд ба тэдгээрийн хөдөлгөөнөөр үүснэ. Цэнэгүүд микро хэмжээтэй тул атомын хэмжээний зайд нэг цэгээс нөгөөд шилжихэд орон маш хүчтэй өөрчлөгдөнө. Тусгаар электрон буюу ионын орчинд орон асар их байтлаа хоёр электроны хоорондох зайд тэгтэй тэнцэж болно. Ингэхлээр Лоренцын онолд цахилгаан ба соронзон орон микро шинж чанартай. Максвеллийн онолд хэрэглэдэг дундчилсан хэмжигдэхүүнээс ялгаж, эдгээр микро орны хүчлэгүүдийг \vec{e} ба \vec{h} гэж тэмдэглэе. Эдгээр орон тусгаар цэнэгүүдийн хооронд байх буюу, өөрөөр хэлбэл, Лоренцийн онолд хоосон дахь орныг авч үзэж байна. Иймээс Лоренцийн онолд цахилгаан орны хүчлэг \vec{e} , соронзон орны хүчлэг \vec{h} хэмээх нэг хос вектор авч үздэг бол Максвеллийн онолд \vec{E} , \vec{B} , \vec{H} ба \vec{D} хэмээх хоёр хос вектор авч үздэг. Лоренцийн электроны онолын зүгээс авч үзвэл цахилгаан гүйдэл нь эгэл бөөмсүүдийн хөдөлгөөнтэй холбоотой конвекцийн гүйдэл юм. Энэ гүйдлийн нягт $\sum \rho \vec{V}$, үүний $\rho \vec{V}$ -нэг эгэл цэнэгийн үүсгэх гүйдлийн нягт бөгөөд нийлбэр, бүх эгэл цэнэгийг хамаарна. (ρ - нэг эгэл цэнэгийн нягт бөгөөд цэнэгийн гадна тэгтэй тэнцэнэ, \vec{V} -түүний хурдны вектор юм). Ингээд цэнэгүүдийн хооронд хоосон зай байх тохиолдолд Максвеллийн тэгшитгэлийг бичвэл:

$$\text{rot} \vec{h} = \sum \rho \vec{V} + \dot{\vec{e}} \quad (19)$$

$$\operatorname{div} \vec{e} = \sum \rho \quad (20)$$

$$\operatorname{rot} \vec{e} = \dot{\vec{h}} \quad (21)$$

$$\operatorname{div} \vec{h} = 0. \quad (22)$$

Ийм хэлбэртэй бичсэн тэгшитгэлүүдийг Максвелл-Лоренцийн тэгшитгэлүүд гэнэ. Максвелл-Лоренцийн тэгшитгэлд орсон вектор \vec{e} ба \vec{h} -ийг шууд хэмжих боломжгүй, яагаад гэвэл бид атомуудын хоорондох, атом ба молекулуудын доторх орны хүчлэгийг хэмжиж чадахгүй. Иймээс хэмжиж болох хэмжигдэхүүн олохын тулд (19)-(22) тэгшитгэлд орсон хэмжигдэхүүнийг дундчилах хэрэгтэй. Иймээс \vec{e} ба \vec{h} хүчлэг, цэнэгийн нягт $\sum \rho$, гүйдэл $\sum \rho \vec{V}$ –ийг тусгаар атомын хэмжээг бодвол асар их байх эзлэхүүнээр дундчилах хэрэгтэй. Гэхдээ энэ эзлэхүүн макро хэмжигдэхүүний хувьд түүний утга бараг өөрчлөгдөхгүй байхаар бага байвал зохино. Дундчилал явуулах хугацааны завсар атомын дотор явагдах хөдөлгөөний үеэс асар их мөртлөө макро хэмжигдэхүүн өөрчлөгдөж амжихгүйгээр бага байна. Ингэж дундчилсан хэмжигдэхүүнүүдийн утгыг $\bar{e}, \bar{h}, \overline{\sum \rho}, \overline{\sum \rho \vec{V}}$ гэж тэмдэглэе. Дундчилсаны дараа Максвелл-Лоренцийн тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно:

$$\operatorname{rot} \bar{h} = \overline{\sum \rho \vec{V}} + \dot{\bar{e}} \quad (19a)$$

$$\operatorname{div} \bar{e} = \overline{\sum \rho} \quad (20a)$$

$$\operatorname{rot} \bar{e} = -\dot{\bar{h}} \quad (21a)$$

$$\operatorname{div} \bar{h} = 0. \quad (22a)$$

Эдгээр тэгшитгэлүүд Максвеллийн тэгшитгэлүүдтэй тохирох ёстой. Эдгээр тэгшитгэлүүд адилхан байхын тулд

$$\vec{E} = \bar{e}, \vec{B} = \bar{h}$$

байвал зохино. Эндээс дараах дүгнэлтүүдийг хийж болно. Цахилгаан орны хүчлэг \vec{E} , орны микро хүчлэгийн дундаж утга \bar{e} –ээр, соронзон орны индукцийн вектор \vec{B} , орны микро хүчлэгийн дундаж утга \bar{h} –аар тодорхойлогдоно. Энэ бол диэлектриктэй үе дэх цахилгаан орны хүчлэг \vec{E} , диэлектрикт орж ирсэн “гадны” цэнэгээс гадна, диэлектрик туйлширахад үүссэн цэнэгээс бас хамаарна гэсэн үг юм. Магнетиктай үед соронзон орны индукц \vec{B} , гүйдлээс гадна орчны соронзжилтоос хамаарна. Эндээс цахилгаан орны хүчлэг \vec{E} ба соронзон индукц \vec{B} хоорондоо төстэй болох нь тод харагдаж байна. $\overline{\sum \rho \vec{V}}$ вектор, зөвхөн дамжицын гүйдэл \vec{i} -ийг үүсгэх чөлөөтэй цэнэгүүдийн шилжилтээс гадна атомуудын доторх цэнэгүүдийн хөдөлгөөн ба атом, молекулуудын хугацаанаас хамаарах туйлширлыг тооцсон байдаг. Чөлөөтэй цэнэгийн макро нягт ρ , эгэл цэнэгүүдийн дундаж нягт $\overline{\sum \rho}$ -той тохирдоггүй, учир нь түүнд диэлектрик туйлшрахтай холбоотой үүсэх ($\overline{\sum \rho}$) нягтын хэсэг ордоггүй.

Агаарын бохирдол

Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, П.Зузаан, Д.Шагжжамба

Агаар гэж юу вэ?

Бидний амьсгалж буй агаар нь дэлхийн татах хүчинд захирагдан буй хийн давхарга юм. Энэ нь 78% нь азот, 20.95% хүчилтөрөгч, 0.93% аргон, 0.038% нүүрстөрөгчийн давхар исэл, 1% усны уур болон маш бага хэмжээтэй бусад хийнүүдээс бүрдэнэ. Өөрөөр хэлбэл агаар бол өнгөгүй, үнэргүй нүдэнд үзэгдэж гарт баригдахгүй хий байдалтай бодисын холимог болон усны уур зэргийн нэгдэл юм. Агаар нь бидний амьдралын хамгийн чухал тэтгэгч бөгөөд бид агааргүйгээр минутын дотор үхэлд хүрнэ. Насанд хүрсэн хүн өдөрт 10-20м³ агаараар амьсгалж байдаг бөгөөд энэ нь ойролцоогоор 20 000 амьсгал юм. Харин нярай болон бага насны хүүхдүүдийн уушигны багтаамж биднийхээс бага тул 2 дахин бага амьсгал авна.

Агаар мандал нь нарнаас ирэх хэт ягаан туяаг шингээж, өдөр шөнийн температурын ялгааг тогтворжуулах үүрэгтэй ба бага хэмжээтэй байх нүүрстөрөгчийн давхар исэл, метан, усны уур, озон зэрэг хүлэмжийн хийнүүд (greenhouse gas) нь газрын гадаргуугаас ойсон дулааны энергийг шингээж дэлхийн дулааны тэнцвэрийг хангана. Хэрэв эдгээр хийнүүд агаар мандалд байхгүй бол дэлхийн гадаргуун дундаж температур -18°C болж дэлхий дээр амьд организм оршин байх нөхцөлгүй болно. Харин байх ёстой түвшнээс хэтэрвэл дулааны тэнцвэр алдагдаж дэлхийн дулаарал явагдан, хүн амьтан, ургамлын эрүүл мэнд, амьдрах орчинд сөргөөр нөлөөлдөг.

Агаар мандалд хүлэмжийн хийн агууламж ихсэх нь ой мод огтлох, хөрсний эвдрэл, далайн усны бохирдол зэрэг хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэйгээр байгалийн эргэлтийн тэнцвэр алдагдаж байгаатай холбоотой юм. Зөвхөн хүний үйл ажиллагаанаас төдийгүй галт уулын дэлбэрэлт, салхи шороон шуурга гэх мэт байгалийн хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр хүхрийн болон азотын ислүүд, угаарын хий, нүүрсхүчлийн хий, зэрэг хорт хий агаарт цацагдан хуримтлагдснаар агаарын бохирдлыг үүсгэнэ. Агаарын бохирдлыг үүсгэх эдгээр хорт бодисуудыг агаар бохирдуулагч гэдэг. Агаарт шууд хаягдан хүрээлэн буй орчин, хүний эрүүл мэндэд нөлөөлөх бохирдуулагчдыг анхдагч гэх ба анхдагч бохирдуулагчид хоорондоо болон бусад хийтэй урвалд орж, цас, бороо зэрэг тунадас хэлбэрээр эсвэл хатуу бодисууд хүндийн жингээрээ газрын гадаргад буун хүрээлэн буй орчин, хүний эрүүл мэндэд нөлөөлөх шинэ бодис болон хувирсныг хоёрдогч бохирдуулагч гэнэ. Тухайлбал, Азотын исэл, хүхэрлэг хий, нүүрсхүчлийн хий нь агаар дахь усны ууртай урвалд орж хүчиллэг бохирдуулагч болох хүчтэй, сул хүчлүүдийг үүсгэдэг байна.

Иймд хүний амьсгалах агаар чанарын хувьд эрүүл мэндийн шаардлагыг хангаж байгаа эсэхэд хяналт тавьж амьдрах орчны чанарыг хангахын тулд улс орон бүр өөрсдийн агаарын чанарын стандартыг тогтоож түүнийг тогтмол мөрддөг байна. Энэ утга нь улс орон бүрийн байгаль, цаг уурын онцлог, эдийн засгийн хөгжлийн түвшин зэргээс хамааран харилцан адилгүй батлагддаг хэдий ч агаар нь байнгын хөдөлгөөнд оршдог хийн урсгал тул зөвхөн нэг хэсэг орны төдий бус дэлхий нийтийн асуудал байдаг. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага (цаашид ДЭМБ гэх)-аас агаарын хамгийн үндсэн бохирдуулагчдыг нэрлэн, тэдгээрийн агаар дахь агуулгаар агаарын чанарыг үнэлэх үзүүлэлтийг бодож гарган, зөвлөмж утгыг зарласан байдаг. ДЭМБ-аас гаргасан агаарын чанарын индекс тооцоолоход ашиглах үзүүлэлтүүдийг Хүснэгт 1-т үзүүлэв. Агаарын чанарын индекс нь агаарын бохирдлыг үнэлэх хэмжигдэхүүн болдог ба тус индексийг тодорхойлон эрүүл ахуйн үүднээс агаарын бохирдлын үнэлгээ хийгддэг.

АГААРЫН ЧАНАРЫН ИНДЕКС - I_p (АЧИ-AQI)

$$I_p = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}} (C - C_{low}) + I_{low}$$

I_p - р бохирдуулагчийн хувьд тооцсон АЧИ

C – орчныг бохирдуулагч бодисын концентраци

C_{low} - концентрацийн зааглах түвшин хэмжээ нь $\leq C$

C_{high} - концентрацийн зааглах түвшин хэмжээ нь $\geq C$

I_{low} – C_{low} түвшинд харгалзах индекс

I_{high} – C_{high} түвшинд харгалзах индекс

Хүснэгт 1. Агаарын чанарын индексийг тооцоолох нөхцлүүд

24 цагийн дундаж утга	АЧИ	O ₃ [ppm]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	CO [ppm]	SO ₂ [ppm]	NO ₂ [ppm]
Маш сайн	0-50	0.000-0.192	0.0-15.4	0-54	0.0-4.4	0.000-0.034	-
Сайн	51-100	0.195-0.252	15.5-40.4	55-154	4.5-9.4	0.035-0.144	-
Дундаж	101-150	0.255-0.312	40.5-65.4	155-254	9.5-12.4	0.145-0.224	-
Муу	151-200	0.315-0.372	65.5-150.4	255-354	12.5-15.4	0.225-0.304	-
Маш муу	201-300	0.375-1.122	150.5-250.4	355-424	15.5-30.4	0.305-0.604	0.65-1.24
Аюултай	301-400		250.5-350.4	425-504	30.5-40.4	0.605-0.804	1.25-1.64
Маш аюултай	401-500		350.5-500.4	505-604	40.5-50.4	0.805-1.004	1.65-2.04

Дээрх аргачлалд үндэслэн манай улс анх 2004 онд агаарын чанарын стандартыг тогтоон баталж, 2016 онд шинэчлэн тогтоосны дагуу агаарын чанарын техникийн ерөнхий шаардлага MNS4585:2016 стандартаар агаарын чанарын үнэлгээ хийж байна. Тус стандартад заасан агаарын чанарын ангилалын үзүүлэлтийг Хүснэгт 2-д үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Монгол улсын агаарын чанарын ангилал

Индекс	Чанар	Иргэдэд өгөх мессэж	Өнгөний код
0-50	Маш сайн	□ Байхгүй	Ногоон
51-100	Сайн	□ Маш мэдрэмтгий хүмүүс гадаа байх хугацаа, гадаа хийдэг биеийн хүчний ажлаа багасгах	Шар
101-150	Дунд	□ Мэдрэмтгий хүмүүс гадаа байх хугацаа, гадна хийдэг биеийн хүчний ажлаа багасгах	Улбар шар
151-200	Муу	□ Мэдрэмтгий хүмүүс гадаа удаан байх, гадаа биеийн хүчний ажил хийхээс зайлсхийх □ Нийт хүн ам гадаа байх хугацаагаа багасгах, гадна хийдэг биеийн хүчний ажлаа багасгах	Улаан
201-300	Маш муу	□ Мэдрэмтгий хүмүүс гадаа гарахгүй байх, гадаа үйл ажиллагаагаа явуулахгүй байх □ Нийт хүн ам гадаа удаан байхаас зайлсхийх, гадна биеийн хүчний ажил хийхгүй байх	Чернилэн ягаан
301-500	Аюултай	□ Нийт хүн ам аль болохоор гадаа гарахгүй, гаднах үйл ажилгаагаа зогсоох	Бор

Агаарын үндсэн бохирдуулагчид

ДЭМБ-аас гаргасан агаарын үндсэн бохирдуулагчдын эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг Хүснэгт 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 3. Агаарын үндсэн бохирдуулагчдын эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөл, шинж тэмдэг

Агаарын үндсэн бохирдуулагчид	Эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөл	
Хүхэрлэг хий (SO ₂)	Амьсгалын замын хамгаалах тогтолцоог алдагдуулна, ханиалгах нүд хорсгох, цээж хөндүүрлэх шинж тэмдэг илэрнэ. Багтраа өвчин, уушгины архаг өвчлөл үүсгэнэ.	
Нүүрстөрөгчийн дутуу исэл (CO)	Зүрхний шигдээс болон бусад зүрхний өвчлөл, багтраа өвчин үүсэхэд нөлөөлнө, Хүчилтөрөгчийн солилцоог алдагдуулан эд эрхтэнд гэмтэл учруулна, дутуу төрөлтийг нэмэгдүүлнэ, ажлын чадвар бууруулна.	
Азотын давхар исэл (NO ₂)	Нүд, уушги, арьс, салст бүрхэвч, амьсгалын замын эд эрхтнүүдийг гэмтээнэ. Гуурсан хоолойн багтраа, уушигны хатгалгаа, томуу, томуу төст өвчин, зүрх судасны өвчлөл үүсэхэд шууд нөлөөлнө, амьсгалын замын архаг өвчлөлийг нэмэгдүүлнэ.	
Озон (O ₃)	Амьсгалын замын болон зүрх судасны өвчлөл, нас баралт нэмэгдэнэ, уушигны үйл ажиллагаа буурна	
PM тоосонцор (Нийт жигнэгдэгч бодис)	PM _{10-2.5}	Уушги тоосжих өвчлөл үүсгэнэ. Амьсгалын замын эмгэг, арьс, элэг, уушигны зэрэг хавдар, зүрх судасны эмгэг үүсгэнэ
	PM _{2.5}	

Энд хүхрийн исэл, нүүрстөрөгчийн исэл, азотын исэл, озон, тоосонцор зэрэг нь агаарын бохирдлын үндсэн бохирдуулагчид тооцогддог буюу байгалийн хүчин зүйлс болон хүний үйл ажиллагаатай холбоотойгоор агаарт хаягдаж бохирдол үүсгэдэг хамгийн түгээмэл бохирдуулагчид гэж ойлгож болох юм.

Агаар дахь бохирдуулагчдын хэмжээ хүлцэх түвшнээс хэтрэхэд дээрх байдлаар хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Хүхрийн исэл нь шаталтын дүнд үүсэх бөгөөд хүхэр агуулсан бүх бодисын шаталтаас агаарт хаягдана. Харин азотын исэл нь агаарын найрлагад тогтмол агуулагддаг хэдий ч бусад бохирдуулагч бодисуудтай урвалд орон үүсгэх нэгдлээсээ хамааран эерэг сөрөг нөлөөллийг үзүүлнэ. Үүнтэй адилаар озон нь агаар мандлын аль давхаргад байхаас хамааран эерэг сөрөг нөлөөтэй. Агаар мандлын доод давхарга тропосфер буюу газрын гадарга орчим дахь озон нь амьсгалын замаар хүний биед нэвтэрч дээрх нөлөөллийг үүсгэдэг бол агаар мандлын хамгийн дээд давхаргад орших озон нь нарны болон сансрын туяанаас байгалийн бүхий л амьд бодгаль, ус, ургамал, экосистем түний бүрэлдэхүүн шим мандлыг хамгаалах ба нөгөөтэйгүүр дэлхийн дулаан цацарлыг ойлгох процессоор газрын гадарга орчмын дулааны тэнцвэрийг хангадаг. Энэ хамгаалагч давхаргын зохистой хэмжээ алдагдаж цоорол үүссэнээр нарны болон сансрын цацраг шууд нэвтрэхийн зэрэгцээ дэлхийн дулааны тэнцвэр алдагддаг. Дэлхийн дулаарал гэдэг нь гадаргуун дундаж температур зөвхөн өсөх бус, эрс тэрс өөрчлөлттэй болох мөн орох бөгөөд өдөр, шөнө, өвөл зуны улирлын температурын зөрүү ихсэх үзэгдэл юм.

Агаарын бохирдол, бохирдуулагчдын тухай нийгмийн ойлголтод саяхныг хүртэл ихэнхдээ хий байдалтай бохирдуулагч нэгдлүүдийг ойлгодог байсан ч үүнтэй эн зэрэгцэхүйц хор уршиг, аюул дагуулж буй бохирдуулагч нь агаарын хатуу бодис (Particulate matter-PM)-ын бохирдол гэдгийг сүүлийн үеийн судалгаанууд харуулж байна. Бохирдлын үүсгүүрээс агаарт хаягдах маш жижиг хэмжээтэй хатуу бодисууд

амьсгалын замаар хүний биед нэвтрэн хамар, залгиур, цагаан хоолой, мөгөөрсөн хоолой болон гуурсан хоолойд шигдэж уушигны цулцанд хүрэх ба ингэснээр дархлалын системийг дарангуйлан, үрэвсэл үүсгэж амьсгалын тогтолцооны өвчлөлийг үүсгэдэг. Үүнийг бид агаарын тоосонцрын бохирдол гэж нэрлэдэг. ДЭМБ-аас агаарын нийт жигнэгдэгч бодис (aerosol)-ыг үндсэн бохирдуулагчид тооцон, хүлцэх хэмжээг зааж өгсөн нь агаарын бохирдлын түвшин, тэдгээрийн хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг хянах чухал үзүүлэлт болж байна.

Агаарын тоосонцрын бохирдол хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөө

Дэлхийн улс орнуудын байгаль цаг уурын байдал, нийгэм, эдийн засаг, аж үйлдвэрийн хөгжлийн түвшнээс шалтгаалан түлшний шаталт, автомашин, тээврийн хэрэгслийн моторын шаталт зэргээс үүсдэг хүхрийн исэл, азотын исэл, нүүрстөрөгчийн исэл зэрэг агаарын үндсэн бохирдуулагчид агаарт янз бүрийн хэмжээтэй хаягддаг. Энэ хаягдлын хэмжээнээс хүний биеийн дархлал өөрчлөгдөж, өвчний шинж тэмдгүүд ажиглагдаж эхэлдэг. Агаарын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөө хэд хэдэн хүчин зүйлээс шалтгаална. Тухайлбал, агаар дахь хортой элементүүдийн агуулга, тэдгээрийн агаарын чанарын индексээр үнэлэгдсэн түвшин, хүн амын мэдрэг байдал гэх мэт. Хүн амын мэдрэг байдал гэдэг нь хүн ам, оршин суугчдын бага насны хүүхэд, настай хүмүүсийн тоо, эзлэх хувь мөн багтраа болон амьсгалын замын бусад архаг өвчтэй хүмүүсийн эзлэх хувиар тодорхойлогддог.

Агаар бохирдуулагчдын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг судлахдаа төлөв байдлаар нь хий, шингэн, хатуу гэсэн 3 ангилалд хуваан судалдаг ба хий төлөвтэй бодисууд нь хүний биед нэвтрэн ороод химийн найрлагаас хамааран нөлөөллийг үүсгэдэг бол шингэн, хатуу төлөвтэй бодисууд буюу тоосонцор нь физик нөлөөллийг давхар үүсгэдгээрээ хүний эрүүл мэндэд хамгийн аюултайд тооцогддог. Өөрөөр



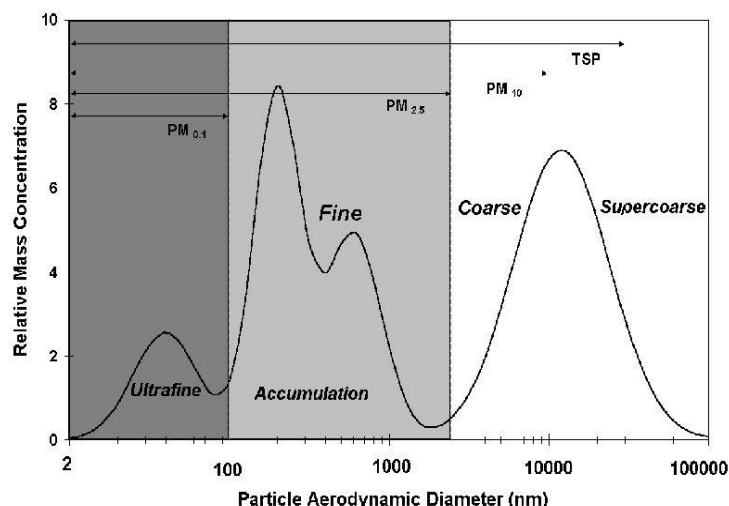
Зураг. 1. Тоосонцрын хүний биед үзүүлэх нөлөө.

хэлбэл, химийн найрлагаас үл хамааран тоосонцор нь диаметр хэмжээнээсээ хамааран хүний биед нэвтрэн орж нөлөөллийг үүсгэдэг. Тоосонцрын диаметр хэмжээнээс хамааран хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг зураг 1-д харуулав.

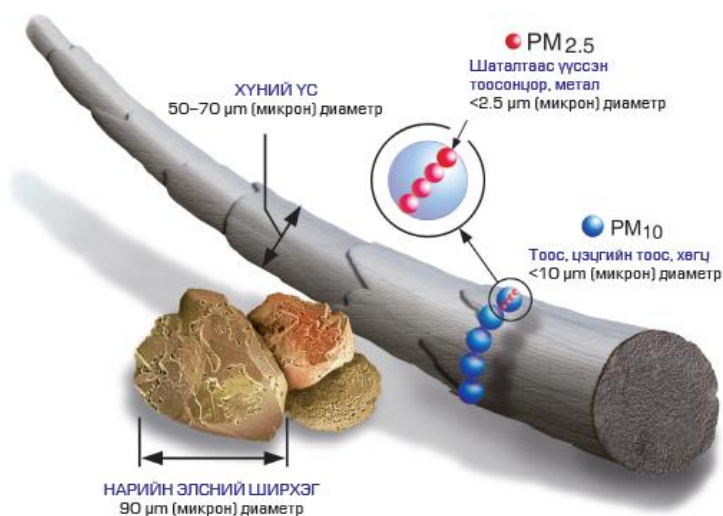
7 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцрууд амьсгалын замаар хүний биед орж гуурсан хоолойн багтраа гэх мэт өвчлөлүүдийг нэмэгдүүлдэг ба дархлалын системийг муутгаж төрөл бүрийн үрэвслийг үүсгэнэ. Цаашлаад гуурсан хоолойн төгсгөлд байрлах уушигны цулцанд хуримтлагдснаар амьсгал авахад төвөгтэй болгодог. Ойролцоогоор

0.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор уушигны цулцангын хананд нэвчин хялгасан судасны цусанд орсноор даралт ихэсж цусны бүлэгнэл үүсгэж цусны эргэлтээр дамжин зүрхний ачааллыг ихэсгэн зүрхний хэм алдагдаж зогсоход хүргэдэг байна. Иймээс агаарын тоосонцрыг судлахдаа аэродинамик диаметрээр нь ялган судлах нь хүн амын эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг нарийн тодорхойлох, түүнд үндэслэн үндэсний стандартыг боловсруулах, агаарын чанарыг үнэлэх зэрэгт онцгой ач холбогдолтой

байдаг. Судлаачид агаарын тоосонцрын хэмжээний түгэлт ойролцоогоор 2 мкм, 10 мкм дээр гол пикүүд гарч ирдэгт үндэслэн 2.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй $PM_{2.5}$ нарийн тоосонцор, 2.5-10 мкм хүртэлх хэмжээтэй PM_{10} том тоосонцор гэсэн 2 фракцад ангилан судалж, эдгээрийн нийлбэрээр агаар дахь нийт жигнэгдэгч бодисын агуулгыг тодорхойлдог байна. Зураг 2-т тоосонцрын аэродинамик диаметр хэмжээний түгэлтийг, Зураг 3-т тоосонцрын $PM_{2.5}$, PM_{10} фракцын хэмжээний харьцуулалтыг харуулав.



Зураг. 2. Тоосонцрын аэродинамик диаметр хэмжээний түгэлт.



Зураг. 3. Тоосонцрын диаметр хэмжээг хүний үсний хэмжээтэй харьцуулсан байдал.

Хүний үсний өргөн 50-70 мкм байдаг гэвэл PM_{10} хэмжээтэй тоосонцор нь хүний үсийг 5 хуваасны нэгтэй тэнцүү, түүнийг 4 хуваасны нэг нь $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээ гэж хэлж болох юм. Ийм нүдэнд үл үзэгдэх маш жижиг хатуу бодисууд янз бүрийн замаар агаарт дэгдэн байгаль орчин хийгээд хүний эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлөн буйг агаарын тоосонцрын бохирдол гэж нэрлэнэ.

Агаар дахь тоосонцрын бохирдлын хүлцэх хэмжээ

Дэлхийн нийтэд агаарын чанарын үзүүлэлт, түүний эрүүл мэнд, экологид үзүүлэх сөрөг нөлөөллийн талаарх нарийвчилсан судалгааны үндсэн дээр ДЭМБ-аас гаргасан зөвлөмжид агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын жилийн дундаж хүлцэх хэмжээг 10мкг/м^3 , PM_{10} тоосонцрыг 20мкг/м^3 , 24 цагийн дундаж хэмжээг $25\text{-}50\text{мкг/м}^3$ байхаар

стандарт болгосон бөгөөд Европ болон хойд Америкийн орнууд энэ хэмжээг үндэсний стандартаа болгон мөрдөж, агаарын чанарын үнэлгээг хийж байна. Эдгээр нь хамгийн бага утгатай бөгөөд ДЭМБ-аас хөгжиж буй орнуудад байгаль цаг уурын нөхцөл, нийгэм, эдийн засгийн байдал, аж үйлдвэрийн хөгжлийн түвшнээс хамааран хэрэгжүүлэх IT-1, IT-2, IT-3 зөвлөмж утга гаргасан байдаг. Үүнд үндэслэн 2004 онд манай улсын агаарын чанарын стандартад агаар дахь нийт жигнэгдэгч бодисын хүлцэх агуулгыг зааж өгч MNS4585:2016 стандартын дагуу агаарын чанарын үнэлгээ цаг уур, орчны шинжилгээний газар (цаашид ЦУОШГ гэх) хийж байна.

Монгол улсын агаарын чанарын стандарт, ДЭМБ-ын зөвлөмж, АНУ-ын Орчны хамгаалалтын агентлагын стандарт (цаашид АНУ-ын ОХА гэх) болон Европын холбооны (цаашид ЕХ гэх) хязгаар утгад заагдсан PM_{2.5} болон PM₁₀ тоосонцрын хэмжээг Хүснэгт 4,5-т үзүүлэв. АНУ-ын ОХА-ын стандарт болон ЕХ-ны заагдсан утгууд өөр хоорондоо ялгаатай байдаг.

Хүснэгт 4. Агаарын чанарын зөвлөмж, стандартууд

Зөвлөмж, стандарт, хязгаар утгууд (мкг/м ³)	PM _{2.5}		PM ₁₀	
	Жилийн дундаж	24 цагийн дундаж	Жилийн дундаж	24 цагийн дундаж
МУ-ын АЧС, 2016, (MNS4585:2016)	25	50	50	100
ДЭМБ Зөвлөмж, 2005	10	25	20	50
ДЭМБ-ын утга	IT-1	35	75	150
	IT-2	25	50	100
	IT-3	15	37.5	30
АНУ, ОХА АЧС, 2006	15	35 ¹	-	150
ЕХ, хязгаар утга	20 ³	-	40	50 ²

- 1) Жилд 7 өдөр 35мкг/м³ –ээс дээш байх зөвшөөрөгдсөн
- 2) Жилд 35 өдөр 20мкг/м³ –ээс дээш байх зөвшөөрөгдсөн
- 3) 2020 он гэхэд хэрэгжсэн байх утга

Хүснэгт 5. АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлагын агаарын чанарын ангилал, [мкг/м³]

Нийт жигнэгдэгч бодис	PM _{10-2.5}	PM _{2.5}	Агаарын чанар
0-75	0-50	0-15	Сайн
75-260	51-150	16-65	Дунд
261-375	151-350	66-150	Муу
376-625	351-420	151-250	Маш муу
626<	420<	250<	Аюултай

Агаар дахь PM_{2.5}, PM_{10-2.5} тоосонцрын агуулга хүлцэх дээд хэмжээнээс хэтэрхэд жилд дунджаар 500,000 хүн нас барж байгааг ДЭМБ-ын “Агаарын чанарын гарын авлага”-д тэмдэглэжээ.

Тоосонцрын бохирдлын зарим судалгаа

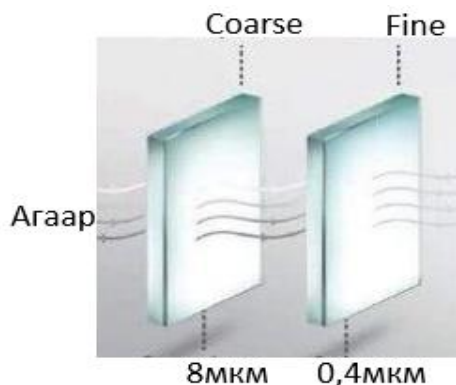
Манай улсын хувьд агаарын бохирдлын улмаас хүн амын дунд амьсгалын замын өвчлөл түгээмэл тохиолддог ба Үндэсний статистикийн хорооноос гаргасан “Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын бохирдол ба эрүүл мэнд” тайланд сүүлийн 10 жилийн дүнгээр хүүхдийн хатгалгаа, уушигны архаг бөглөрөл зэрэг хүн амын амьсгалын тогтолцооны өвчлөл нь тоосонцрын бохирдлын агаар дахь агуулгын өөрчлөлтийн давтамжаас хамаарч байгааг харуулсан байна. Мөн хотын агаарын чанарын мониторингийн мэдээгээр PM_{2.5} болон PM₁₀ тоосонцрын бохирдлын агаар дахь агуулга хүйтний улиралд MNS4585:2016 стандартад заасан хүлцэх хэмжээнээс 8-12 дахин их байна гэжээ. Иймд урт хугацааны турш бохирдолтой агаараар амьсгалснаас

үүдэлтэй өвчлөлийн болзошгүй эрсдлийг тооцоолох, урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авч хэрэгжүүлэх, агаарын чанарыг үнэлэх судалгаа тогтмол хийгдэж шаардлагатай.

Агаарын тоосонцрын химийн найрлагыг тодорхойлох замаар тоосонцрын бохирдлын үүсгүүр, тэдгээрийн бохирдолд оруулж буй хувь хэмжээг тодорхойлох ажил Монгол улсын их сургуулийн Цөмийн физикийн судалгааны төв (цаашид ЦФСТ гэх)-д 2004 оноос одоог хүртэл хийгдэж байна. Мөн Улаанбаатар хотын агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологийг тодорхойлох судалгааг 2017 оноос хойш хийж байна.

Агаарын тоосонцрын дээж авах

Агаар дахь тоосонцрын бохирдлын судалгааны дээж авах болон хэмжилтэнд олон төрлийн багаж төхөөрөмж хэрэглэгддэг. Эдгээр төхөөрөмжүүд нь зориулалт болоод ажиллах зарчмаараа өөр өөр байхын зэрэгцээ хүчин чадал, ажиллах нөхцлийн хувьд ялгаатай байдаг. Цөмийн физикийн судалгааны төвд тоосонцрын дээж авах “GENT” төхөөрөмжийг ашиглан тоосонцрын дээжийг $PM_{2.5}$ ба $PM_{10-2.5}$ хоёр фракцаар ялган цуглуулж судалгаанд ашигладаг (зураг 4).



Зураг. 4. Агаарын тоосонцрын дээжийг фракцаар ялган авах.

Агаарын тоосонцрын дээж авах байрлалыг сонгохдоо аль болох байшин барилга, мод болон бүх төрлийн аргаар бохирдуулагч хаягдлаас хол байрлуулна. Хамгийн тохиромжтой байрлал бол байшин барилгын дээвэр юмуу зүлгэн гадаргуу юм. Тоосонцрын химийн шинж чанарыг судалж байгаа тохиолдолд шинжилгээний үр дүнд нөлөөлхөөргүй материалаар багана хийх шаардлагатай байдаг. Модон багананд бэхэлсэн бороо, салхины хамгаалалт дотор дээж авах бөгөөд 24 цаг хүртэлх хугацаагаар хүний амьсгалах дундаж хурд буюу дунджаар 16л/мин хурдтайгаар агаар соруулан тоосонцрын дээжийг авдаг. Ямар ч тохиолдолд дээж сорох хэсэгт хөрсний гадаргаас өгөх бохирдлыг багасгах шаардлагатай. Дээж авагчын савны амсарт хэт том тоос шороо шүүгдэх ба $PM_{10-2.5}$ фракцын тоосонцрыг 8мкм нүх бүхий шүүлтүүрээр шүүн, 0.4мкм нүхтэй шүүлтүүрээр $PM_{2.5}$ фракцын тоосонцрын дээжийг авах юм. Дээж авах шүүлтүүрийн диаметр хэмжээ 47 мм, поликарбонат материал байна. Поликарбонат материалыг цөмийн цэнэгт хүнд ионоор шарж, химийн аргаар идүүлэх замаар (Nuclepore) шүүлтүүрийн нүхийг гаргадаг. Ингэж харилцан адилгүй нүх бүхий шүүлтүүрийн тусламжтай агаарын тоосонцрын дээжийг фракцаар ялган цуглуулдаг юм.

Тоосонцрын агаар дахь агуулгыг тодорхойлох жингийн арга:

Дээж авахын өмнөх болон дээж авсны дараах шүүлтүүрийн жингийн ялгавараар тоосонцрын цэвэр жинг тодорхойлдог. Тоосонцрын цэвэр жинг дээж авсан хугацаа болон соруулсан агаарын нийт эзэлхүүнд харьцуулан дараах томъёогоор тоосонцрын

агаар дахь агууламжийг тодорхойлно. Шүүлтүүрийн дээж авсан үе болон хоосон (шинэ) үеийн ялгааг харуулав (Зураг 5).



Зураг. 5. Шүүлтүүр хэмжилтийн өмнө ба дараа.

$$V = \frac{[(l_i + l_f)/2] \cdot t}{1000} [m^3]$$

Энд l_i - Агаар сорох анхны хурд (18l/min)

l_f - Хэмжилт салгах үеийн агаар сорох хурд

t – Агаар сорсон хугацаа

$$\Delta m = m_0 - m_x [mg]$$

Энд m_0 - фильтрийн анхны жин, m_x - фильтрийн дээжтэй жин.

$$C = \frac{\Delta m \cdot 1000}{v} [\mu g / m^3]$$

$$PM_{2.5} + PM_{10-2.5} = PM_{10}$$

Сүүлийн 10 жилийн агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгыг хүснэгт 6-д үзүүлэв.

Хүснэгт 6. Агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга (мкг/м³)

Он, сар	2008/2009	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
VI сар	29	64.2	20.1	58.6	208.7
VII сар	21.7	233.4	31.9	76.9	61.4
VIII сар	49.6	45.9	37.8	25.6	50.3
IX сар	18.9	39	19.8	95.3	34.4
X сар	54.7	49.7	10.3	57.9	61.7
XI сар	131.1	59.3	15.2	95.1	104
XII сар	106.9	77.9		252.2	87.1
I сар	117.2	117.3	162.1	230.3	92.6
II сар	141.3	64.6	168.5	218.6	
III сар	79.8	77.7	74.4	104.4	97.6
IV сар	123	83.1	65.3		77.7
V сар	309.6	133.7	139.7		61.1
Дундаж	98.6	87.2	67.7	121.5	85.1

Тоосонцрын бохирдолд хар нүүрстөрөгчийг (Black Carbon) тодорхойлох

Хар нүүрстөрөгч гэдэг нь тортог, хөөтэй ижил шинж чанартай ойлголт юм. Тоосонцрын дээжид хар нүүрстөрөгчийг тодорхойлох нь шаталтын бүтээгдэхүүн, утаанаас гарах бохирдуулагчдад индикатор болгох зорилготой. Энэ нь агаар дахь тоосонцрын бүрэлдэхүүн хэсэг болдог бөгөөд түүний агуулгыг тодорхойлохдоо үзэгдэх гэрлийн сарнил, шингээлтэд үндэслэн рефлектометрээр хэмждэг. Энэхүү багажийн ерөнхий зарчим нь гэрэл дээжид тусахад нийт шингээгдсэн хэмжээ нь дээжийн хар нүүрстөрөгчийн хэмжээтэй пропорциональ байдагт үндэслэнэ. Тоосонцрын дээжид хар нүүрстөрөгчийг дараах илэрхийллийг ашиглан тооцно.

$$BC(\mu g / cm^2) = [1000 \times \log \left(\frac{R_{black}}{R_{sample}} \right) + C_1] / C_2$$

Энд R_{sample} - дээж дээрээс гэрлийн ойлтын утга, R_{blank} - цэвэр шүүлтүүрээс гэрэл ойлтын дундаж утга.

Дээжийг авч буй шүүлтүүрийн хувьд C_1 ба C_2 нь тогтмол коэффициент байна. Хүснэгт 7-т сүүлийн 10 жилийн агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын хар нүүрстөрөгчийн агуулгыг үзүүлэв.

Хүснэгт 7 $PM_{2.5}$ тоосонцор дахь хар нүүрстөрөгчийн агуулгы (нгр/м³)

Он,сар	2008/2009	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
VI сар	3501.0	2846.0	2261.0	2699.1	4000.0
VII сар	2843.0	2264.0	2653.0	2899.2	3654.0
VIII сар	3953.0	2433.0	2432.0	3015.8	4346.0
IX сар	3216.0	3673.0	2898.0	3811.6	6412.0
X сар	8193.0	4325.0	2941.0	4421.2	9560.0
XI сар	19392.0	6185.0	6977.0	13748.6	12507.0
XII сар	22761.0	10088.0		16341.6	15745.0
I сар	19853.0	12967.0	1729.7	16411.0	17284.0
II сар	17643.0	8982.0	14697.5	8958.0	
III сар	11160.0	7474.0	9315.6	4652.0	11444.0
IV сар	5784.0	5450.0	3976.3		5287.0
V сар	4019.0	4389.0	3547.9		3630.0
Дундаж	10193.0	5923.0	4857.0	7696.0	8534.0

Агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологи, химийн найрлагын судалгаа

Тоосонцор хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх химийн нөлөөллийг судлахад химийн найрлагыг тогтоох шаардлагатай бол физик нөлөөллийг судлахад хэмжээнээс хамааруулан судлах шаардлагатай талаар өмнө дурьдсан. Тэр дундаа амьсгалын замаар

БӨӨРӨНХИЙ ТОДОРХОЙГҮЙ ӨНЦӨГТЭЙ



Зураг. 6. SEM зурагт илэрсэн тоосонцруудын хэлбэрийн ангилал.

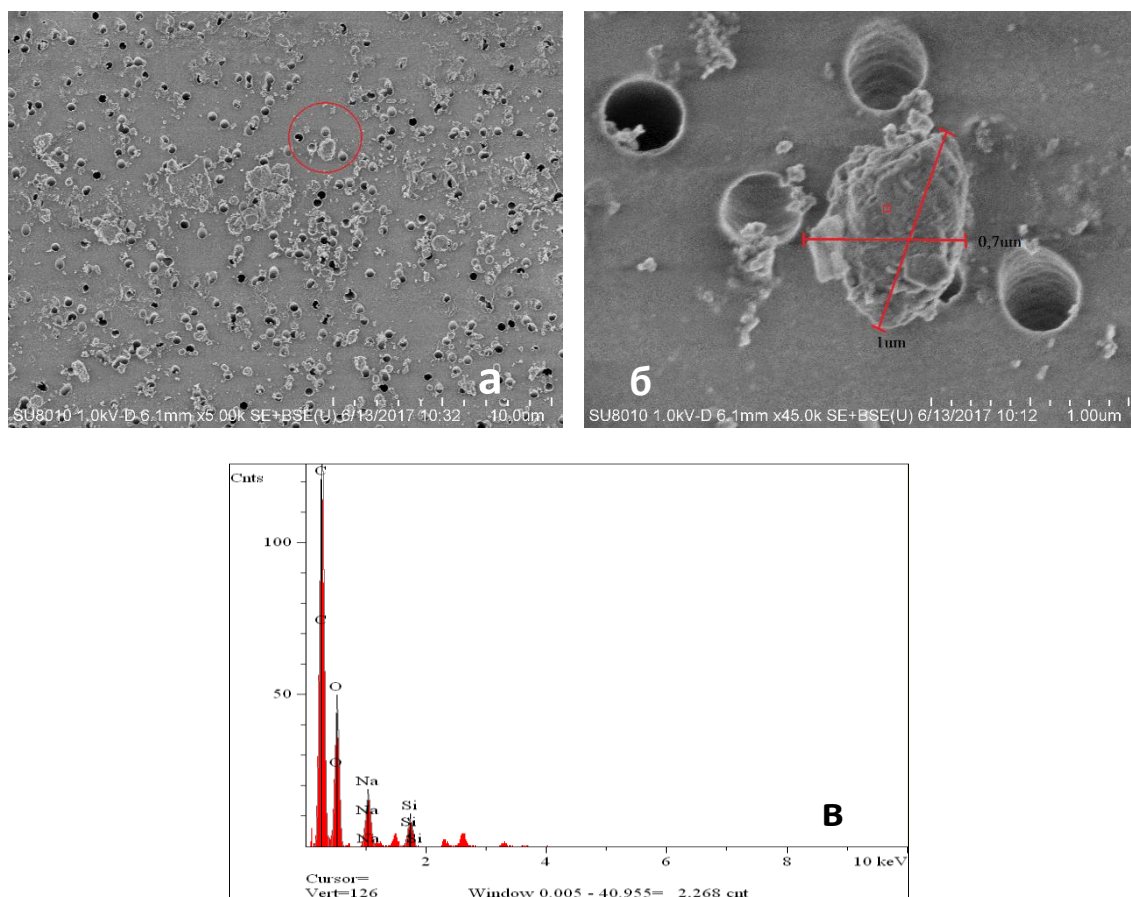
хүний биед нэвтрэн орж нөлөөлөл үүсгэж буй тоосонцрын ширхэгийн хэмжээний агаар дахь түгэлт, түүний химийн найрлагыг тогтоох шаардлагатай. Түүнчлэн тухайн хэмжээ, химийн найрлага бүхий тоосонцор хүний биед нэвтрэн орж өвчлөлийн шатлгаан болох нь түүний хэлбэрээс хамаардаг байж болзошгүй талаар судлаачид сонирхон судалж байгаа юм. Эдгээр параметрийг тогтоох судалгааг тоосонцрын морфологийн судалгаа гэнэ. Сүүлийн жилүүдэд тоосонцрын бохирдлын морфологи, химийн

найрлагыг судлахад энергиэр ялгах рентген (EDX) детектор бүхий электрон микроскопын (SEM) аргыг ихээр ашиглах болоод байна. Энэ нь электроны үүсгүүр буюу электрон буунаас гарсан электроныг анод, катодын хооронд хурдасган соронзон линзүүдээр фокуслан судалгааны дээж дээр тусгаж электрон бодистой харилцан үйлчлэх процессын дүнд үүсэх электроныг бүртгэн дээжийн гадаргуун бүтцийн зураглалыг гаргадаг, мөн рентген цацрагийг бүртгэх замаар $Be-U$ хүртэлх өргөн мужид элементийн анализ хийж химийн найрлагыг тодорхойлох арга юм.

Улаанбаатар хотын агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологи, химийн найрлагыг судлах зорилгоор БЗД-ийн 13-р хороонд байрлах МУИС-ЦФСТ-ийн хэмжилтийн цэгт агаарын тоосонцрын дээжийг $PM_{10-2.5}$ ба $PM_{2.5}$ хоёр фракцаар 2011 оны өвлийн 11, 12, 1 саруудын 10 өдрийн; зуны улирлын 6, 7, 8 саруудын 15 өдрийн нийт 25 өдрийн дээжийг авч SEM-EDX –ийн аргаар судалсан дүнг танилцуулж байна. Хотын энэ бүс нь хөрс болон шаталтын процессоос үүдэлтэй агаарын бохирдол өндөртэй бүс юм. Нийт 25 дээж тус бүр дээр бодит хэмжээнээс 5к дахин өсгөлттэй SEM зураг аван $PM_{2.5}$ фракцын тоосонцрын хэлбэр, хэмжээний түгэлтийг судласан. Тоосонцрыг хэлбэрээр ангилахад судлаачид бөөрөнхий, өнцөгтэй, призм гэх мэт маш олон төрлийн геометр дүрсийг авч ашигладаг бөгөөд бид эдгээрээс бөөрөнхий, өнцөгтэй гэсэн хоёр ангиллалыг авч үзэж үлдсэн дүрсийг буюу геометрын зөв биш дүрс бүхий тоосонцрыг тодорхойгүй гэсэн ангилалд оруулан хамгийн ерөнхий 3 ангилалд хуваан авч үзлээ. Дээрх 3 ангилалд тоосонцрын хэлбэрийг хэрхэн хамааруулан үзснийг зураг 6-д үзүүлэв.

Нийт 1125 SEM зургийг боловсруулж $PM_{2.5}$ тоосонцрын фракцын хэлбэр, хэмжээний түгэлтийг тодорхойлов. Мөн $PM_{2.5}$ тоосонцрын фракцын 639 тоосонцрын ширхэгийн элементийн агуулгыг тодорхойлж, тухайн хэлбэр хэмжээ бүхий тоосонцрын элементийн агуулгыг тогтоон хоорондын хамаарал, улирлын өөрчлөлтийг судлав.

Тухайлбал, $PM_{2.5}$ тоосонцрын дээжийн SEM зураг болон EDX спектрийг Зураг.7-т харуулав.

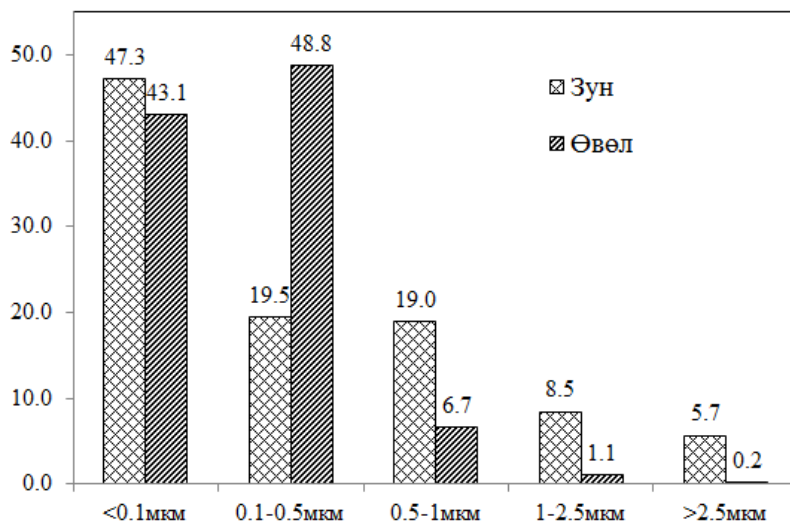


Зураг. 7. Тоосонцрын дээжийн SEM зураг болон EDX спектр:

а. 5000X, б. 45000X дахин өсгөлттэй SEM зураг в. тоосонцрын ширхэгийн EDX спектр.

Жишээ болгон авсан Зураг.7б дахь тоосонцор нь 0,7мкм өргөн, 1мкм урттай эллипсоид хэлбэрийн харагдаж байна. Тус тоосонцрын ширхэгт илэрсэн элементүүдийн EDX

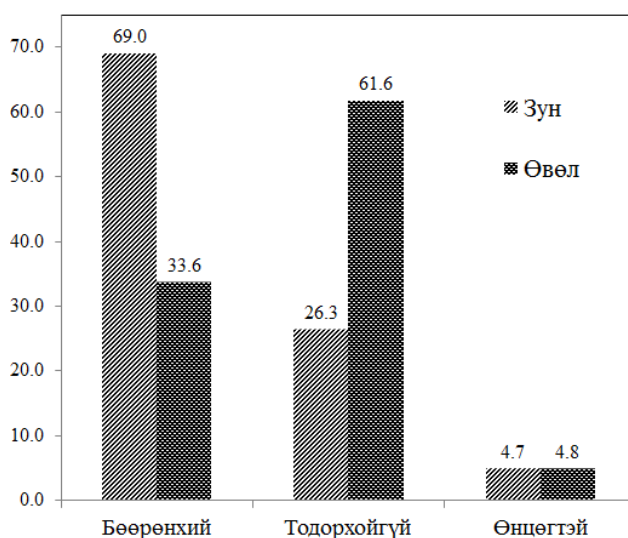
спектр (зураг.7в) –ээс үзэхэд O, C, Na, Si зэрэг элементүүд агуулагдаж байгаа нь харагдаж байна.



Зураг. 8. $PM_{2.5}$ тоосонцрын фракцын хэмжээний түгэлтийг тодорхойлсон дүн.

$PM_{2.5}$ фракцын тоосонцрын хэмжээний түгэлтийг тодорхойлсон дүнг улирлаас хамааруулан Зураг 8-д үзүүлэв. Тоосонцрыг хэмжээгээр ангилахдаа ДЭМБ-аас гаргасан тоосонцрын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийн судалгаанд үндэслэсэн болно. $PM_{2.5}$ фракцын тоосонцрын хэмжээний түгэлтээс үзэхэд зуны улиралын дээжийн 66.8%-ийг, өвлийн улиралын дээжийн 91.9%-ийг 0.5 мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор эзэлж байна. Энд 0.1 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор улирлаас хамаарах өөрчлөлт бараг ажиглагдахгүй байгаа бол 0.1-0.5 мкм хэмжээтэй тоосонцор зун ~20%, өвөл ~50% болж өөрчлөгдөж байна. Энэ нь шаталтаас үүсэх утаа тортгийн гаралтай тоосонцор нь ихэвчлэн 0.1-0.5 мкм хэмжээтэй, дулааны улиралд хөрс шорооны гаралтай тоосонцрын бохирдол нь 0.5 мкм-ээс дээш хэмжээтэй болохыг илтгэж байна.

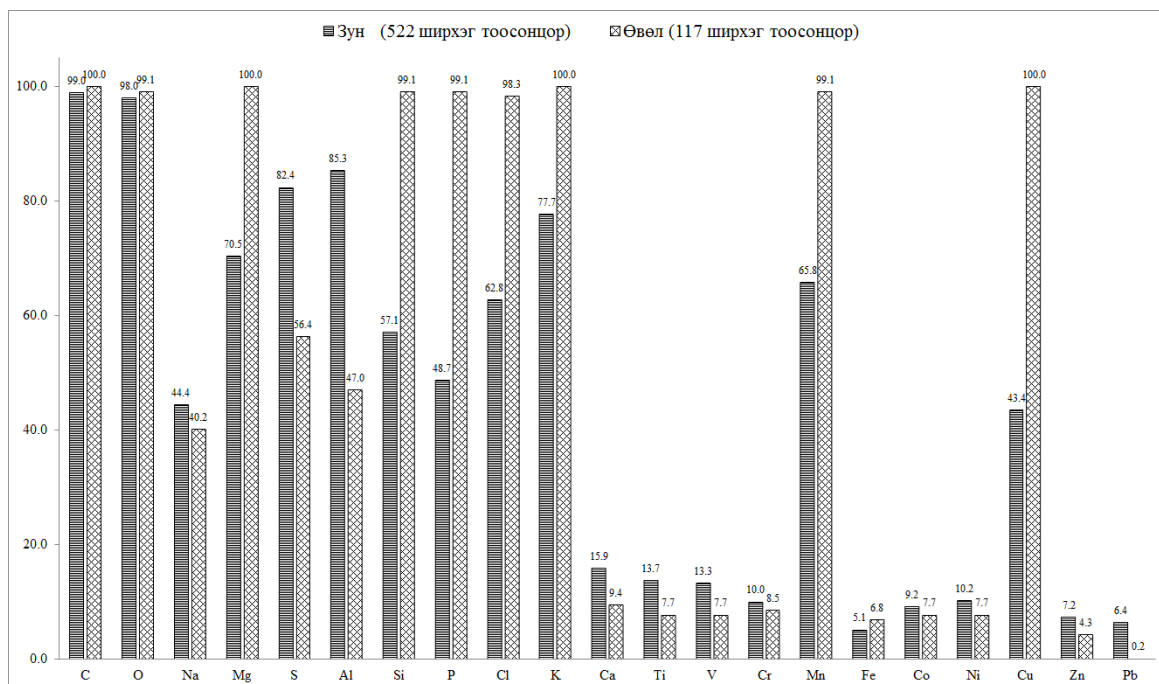
$PM_{2.5}$ фракцын тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтийг тодорхойлсон дүнг зураг 9-д үзүүлэв.



Зураг. 9. $PM_{2.5}$ тоосонцрын фракцын хэлбэрийн түгэлтийг тодорхойлсон дүн.

Агаар дахь бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцор өвлийн дээжид зуныхаас 2 дахин бага байгаа ба тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцор мөн өвлийн дээжид зуныхаас 2.3 дахин их байгаа нь $PM_{2.5}$ тоосонцрын фракцын хэлбэрийн түгэлтийн дүнгээс харагдаж

байна. Харин хурц өнцөгтэй хэлбэртэй тоосонцрын хувьд мэдэгдэхүйц ялгаа ажиглагдахгүй байна. Байгалийн хүчин зүйлс болон хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй агаарт дэгдэх хатуу бодис нь шууд зөв бөөрөнхий хэлбэртэй хаягдах бараг боломжгүй ялангуяа шаталтаас үүсэх тоосонцор нь арзгар, хэлбэрийн ангилалд оруулахад төвөгтэй байдаг бол хөрснөөс дэгдэх тоосонцор нь агаарын урсгалд орж өөр хоорондоо мөргөлдөх, салхинд үрэгдэх замаар бөөрөнхий хэлбэрийг олдог байна. Энэ нь зуны улиралд хөрснөөс үүсэлтэй тоосонцор давамгайлж байгаа бол өвлийн улиралд шаталтаас үүсэх тоосонцрын бохирдол их байгааг илтгэж байна. Түүнчлэн Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол хүйтэн сэрүүний улиралд эрс нэмэгдэж, утаа гамшгийн түвшинд хүрдгийг үндэслэн үзвэл өвлийн дээж дэхь 0.5 мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 91.9%, 1 мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 97.6%-ийг эзэлж байгаа нь шаталтын гаралтай бохирдол үүсгэгч тоосонцрын фракц 1 мкм-ээс бага хэмжээтэй болохыг үзүүлж байна гэж дүгнэж болохоор байна. Тоосонцрын бохирдол нь хүний биед нэвтрэн орж уушигны гуурсан хоолой, мөгөөрсөн хоолой зэрэгт торж улдэх, маш бага хэмжээтэй нь судасны хананд нэвчих, эд эсийг зүсэж наалдах зэрэг нь түүний хэлбэр хэмжээнээс хамаарах тул үүнийг анхааралдаа авч, нарийвчлан судлах шаардлагатай. Бид EDX-ийн аргаар 639 тооны PM_{2.5} тоосонцрын хувьд элементийн агуулгын анализ хийсэн үр дүнг өвөл зуны улирлаар харьцуулан зураг 10-д үзүүлэв.



Зураг. 10. PM_{2.5} фракцын тоосонцрын ширхэгт элементийн агуулга тодорхойлсон дүн, wt%.

Энд зуны 15 дээжээс авсан 522 ширхэг тоосонцорт, өвлийн 10 дээжээс авсан 117 ширхэг тоосонцорт EDX хийсэн хэмжилтийн үр дүнг харьцуулан үзүүлсэн болно. Эндээс үзэхэд C болон O-ийн агуулга бүх тоосонцорт улирлаас хамаарахгүй илэрсэн нь эдгээр элементүүд нь агаарын бүрэлдэхүүн хэсэг төдийгүй дээж авсан шүүлтүүрийн материал поликарбонат байсантай холбоотой. Өвлийн дээжийн хувьд Mg, Si, P, Cl, K, Mn ба Cu зэрэг элементүүд зуны дээж дэхь агуулгаас өндөр байгаа бол Na, S, Ca, Ti, V, Cr, Ni, Zn, Pb зэрэг элементүүд зуны дээжид харьцангуй ихээр агуулагдаж байна. Энэ үр дүнг цаашид агаар дахь тоосонцрын бохирдол үүсгэгч эх үүсгүүрүүдтэй уялдуулан тухайн хэлбэр, хэмжээ бүхий тоосонцрын элементийн агуулга, эх үүсгүүрийн холбоо хамаарлыг нарийвчлан судалж тайлбарлах шаардлагатай.

Ашигласан материал

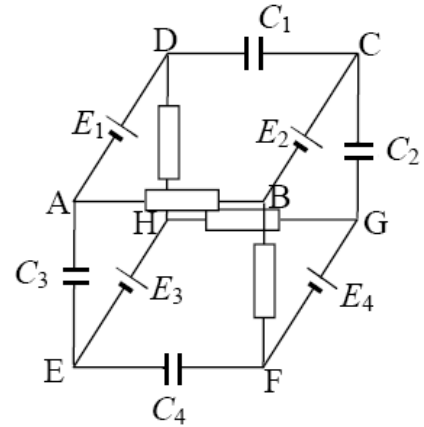
1. Air pollution in Ulaanbaatar (proposed assessment of current situation and effects of abatement measures) Discussion Paper, World Bank, Ulaanbaatar, Mongolia. 2009
2. Агаарын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд нөлөөлж буй байдлыг эрүүл мэндийн статистикийн үзүүлэлтээр дүгнэсэн байдал, НЭМГ, 2011 он. www.ubhealth.mn
3. Монгол улсын агаарын чанарын стандарт (MNS 4585:2007)
4. <http://www.physorg.com/news/2011-08-air-pollution-ulaanbaatar-mongolia-residents.html>
5. <http://www.who.int/entity/heli/risks/indoorair/indoorairdirectory/en/index9.html>
6. <http://rief-jp.org/ct4/66701>

Физикийн эгзэгтэй бодлого

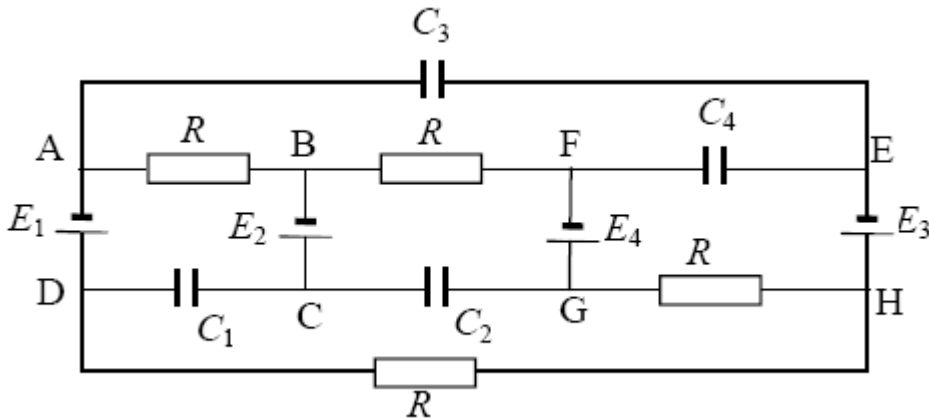
Док. Г.Мөнхбаяр, М.Отгонбаатар
МУИС-ийн ШУС-ийн Физикийн тэнхим

Бодлого: Дөрвөн баттерей $E_1=4$ В, $E_2=8$ В, $E_3=12$ В, $E_4=16$ В, ижил багтаамжтай дөрвөн конденсатор $C_1=C_2=C_3=C_4=1$ мкФ болон 4 ижил эсэргүүцлээс тогтсон хэлхээ өгөгдөв. Баттерейн дотоод эсэргүүцлийг тооцохгүй.

- а) Хангалттай удаан залгаатай байсан гэж үзээд системийн конденсаторуудад хуримтлагдсан нийт энергийг ол.
- б) Хэрэв Н ба В цэгүүдийг богино холбосон бол энэ үед C_2 конденсатор дээрх цэнэгийг ол.



Бодолт: Хэлхээний эквивалент схемийг дараах байдлаар зурья.



(1 оноо)

ABFGHDA хэлхээнд КХД-ээр

$$I = \frac{E_4 - E_1}{4R}.$$

ABСDA хүрээнд

$$V_1 + IR = E_2 - E_1,$$

$$V_1 = E_2 - E_1 - \frac{E_4 - E_1}{4} = 1\text{V}.$$

Яг үүнтэй адилаар BFGCB ба FEHGF дээр КХД-ээр

$$V_2 = E_4 - E_2 - \frac{E_4 - E_1}{4} = 5\text{V}, \quad V_4 = E_4 - E_3 - \frac{E_4 - E_1}{4} = 1\text{V}.$$

EHDAE дээр

$$V_3 = E_3 - E_1 - \frac{E_4 - E_1}{4} = 5 \text{ V}.$$

Иймээс нийт энерги нь

$$W = \frac{C}{2} (V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2) = 26 \text{ мкЖ}.$$

(3 оноо)

Хэрэв В ба Н цэгүүдийг богино холбовол BFGH хэлхээгээр I' гүйдэл гүйнэ. КХД-ээр

$$I' = \frac{E_4}{2R}.$$

ба C_2 нь BFGCB хэлхээнд агуулагдаж байгаа учир КХД-ээр

$$V_2' + I'R = E_4 - E_2 \quad V_2' = \frac{E_4}{2} - E_2 = 0 \text{ V}. \quad q_2' = 0$$