



МОНГОЛ УЛСЫН
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ

НАНОТЕХНОЛОГИ

Танин мэдэхүйн цуврал-9

Улаанбаатар хот
2015 он

НАНОТЕХНОЛОГИ ГЭЖ ЮУ ВЭ?

Улаанбаатар
2014

DDC_.....

© Г.Сэвжидсүрэн, Ж.Тэмүүжин

Нанотехнологи гэж юу вэ?

Улаанбаатар, 2014

Хэвлэлийн хуудас: 3.25 хх

Цаасны хэмжээ: А5, 1/16

Хэвлэлийн эх: *Н.Одонгарав, ШУА-ийн Тэргүүлэгчдийн газар*

Хэвлэсэн газар:ХХК

..... ширхэг хэвлэв.

© Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

Энэхүү номыг зохиогчийн зөвшөөрөлгүйгээр хуулбарлах,
хэвлэх, олшруулах, цахим хэлбэрт оруулахыг хориглоно.

ISBN

АГУУЛГА

Өмнөх үг.....	4
Нанотехнологи гэж юу вэ?	5
Нано хэмжээс ба материалын шинж чанар.....	8
Нанотехнологийн түүхийн товчоо	15
Бид яаж атом, молекулын түвшинд ажилбар гүйцэтгэж чадах вэ?	17
Нано нүүрстөрөгчид: фуллерен ба нано хоолой.....	22
Нанонүүрстөрөгчдийн гайхамшиг буюу нанотехнологийн ер бусын боломжууд	28
Аюул, осол:	39
Нанотехнологиос учирч болзошгүй.....	39
Гаргаж авч болох уу?.....	41
Нанотехнологиор эрчим хүч	41
Шинжлэх ухаануудын огтлолцох цэг - нано	44

ӨМНӨХ ҮГ

Уншигч хүүхэд залуус та бүхэн нанотехнологи, нано материал гэсэн нэр томъёог өмнө нь олонтоо уншиж, сонсож байсан бизээ. Харин энэ нанотехнологи, наноматериал маань чухам яг юу юм бэ гэдгийг тэр болгон эргэцүүлж бодоогүй байж болох юм. Зохиогч бид асар их мэдээллийн орчинд шинэ мэдлэг мэдээлэл хүлээн авч, түүнчлэн өдөр бүр өвөрмөц, гайхшруулсан техник технологийндэвшилтэйнүүртулжбайгаа хүүхэд залуучууд та бүхэнд орчин үеийн нанотехнологийн нууцад нэвтрэн ороход тань бага ч гэсэн тус болох зорилгоор энэхүү товхимлыг толилуулж байна.

Эрдэмтэн судлаачид, инженер, зохион бүтээгчдийн нөхрөх хөдөлмөрийн нүрдүнд очуу хэн жижиг, энгийн нүдэнд үлзэгдэх “нано хэмжээст” орших бөөмсүүд, эд ангиуд ”ухаалаг” бараа бүтээгдэхүүн хэлбэрээр өдрөөс өдөртулам бүр амьдралд маань орж ирсээр байна. Эдгээр ухаалаг бараа бүтээгдэхүүнүүдийг нанотехнологийн тусламжтайгаар үйлдвэрлэн бүтээдэг.

Нанотехнологийн хөгжлийн түүх, үндэс, физик химийн онцгой шинж чанартай материалууд, физикийн өвөрмөц эффектүүд тэдгээрийн товч тодорхойлолт зэрэг шинжлэх ухааны болоод танин мэдэхүйн мэдээ, мэдээллийг багтаасан энэхүү товхимлыг дунд сургуулийн сурагчид, хими, физик сонирхогч хүүхэд залууст зориулсан болно.

Уншигч хүүхэд, залуусынхаа шинэ мэдлэг олж авах үйлсэд амжилт хүсье.

ШУА - ийн Физик Технологийн Хүрээлэнгийн

ЭШАА, доктор (PhD) Г. Сэвжидсүрэн

ШУА - ийн Хими, Хими - Технологийн Хүрээлэнгийн

ЭШТА, академич Ж.Тэмүүжсин

НАНОТЕХНОЛОГИ ГЭЖ ЮУ ВЭ?

Өнгөрсөн зууны техник технологийн дэвшил нь хүн төрөлхтөнд асар хурдан хөгжил, амьдралын тав тух, давтагдашгүй тансаг урлагийн бүтээл гээд тоочоод барахгүй олон зүйлийг өгч гайхширалд оруулж байлаа. Компьютер, интернэтээр дамжин гэрээсээ дэлхийг ертөнцтэй холбогдон, алс холын газарт онгоцоор аялан, дуртай киногоо хуурцгаар үзэн, гэр ахуйн бүхий л хэрэгслүүд цахилгаанаар ажиллаж хүний хөдөлмөр, цаг хугацааг хэмнэн энэ бүгд нь бидний амьдралын хэм хэмжээ нэгэнтээ болжээ.

Технологийн гэгдэх энэ 21 -р зуунд байгаль эхийн бүтээсэн байгалийн баялаг, эрдэс түүхий эдийн шинж чанарт тулгуурлан тэдгээрийг боловсруулан хувиргаж, нийлэгжүүлэх замаар гарган авсан материалыг ашиглаж байлаа. Өөрөөр хэлбэл байгаа материалын шинж чанарт тулгуурласан үйлдвэрлэл хөгжиж байсан юм. Жишээ нь анх хөнгөн цагааны, никельтитаныхайлшийн физик, химийн шинж чанарыг судалж эдгээр хайлшийг онгоц үйлдвэрлэхэд ашиглаж байсан бол 1970-аад оноос өндөр даралт, өндөр температурт тэсвэртэй, хөнгөн мөртлөө бат бэх чанараараа дээрх хайлшуудтай ижил хуванцар нэгдлүүд, резинийг гарган авч онгоцны үйлдвэрлэлд ашиглах болжээ.

Ингээж өнгөрсөн зуундаливаа материалын шинж чанарт тулгуурласан, түүнд “захирагдсан” бараа бүтээгдэхүүнийг үйлдвэрлэж байсан бол харин орчин үед үйлдвэрлэх гэж буй бараа бүтээгдэхүүндээ тохирсон материалыг захиалж болох уу? гэсэн асуулт гарч болно. Жишээ нь нэхмэл, сүлжмэл, бөс барааны эсвэл гутлын үйлдвэрийн эзэд урагдахгүй, хиртэхгүй, цас бороонд норохгүй, элэгдэж хуучирахгүй бөс бараа, гутал, хувцас үйлдвэрлэх сонирхлоо

илэрхийлж, дээрх

шаардлагыг хангасан материалыг гарган авах боломжтой юу гэсэн захиалгыг эрдэмтэн судлаачдад өгч байхад, электрон бараа үйлдвэрлэгчид интернэтэд ордог, дуу сонсож, бичлэг хийж улмаар телевиз үздэг, харилцаж байгаа хүнийхээ байгаа орон зайг тогтоож болохуйц, бие биенээ харж байгаад ярьдаг гар утас үйлдвэрлэх захиалга өгч, улмаар технологийн шинэ дэвшлийн судалгаа шинжилгээний ажлыг санхүүжүүлж байсан бөгөөд одоо ч эрдэмтэд, үйлдвэрлэгчдийн хооронд энэ зарчим үйлчилж байгаа.

Түүнчлэн ХХ зуун хүртэлх хүн төрөлхтний олж мэдсэн, хуримтлуулсан асар их мэдээллийг түргэн боловсруулах нийгмийн эрэлт хэрэгцээ бий болсон юм.

Иймд орчин үеийн хэрэглэгчдийн хэрэгцээ, үйлдвэрлэгчдийн шаардлага сонирхолд нийцсэн материал гарган авах, түүнд тохирсон технологийг боловсруулах нь эрдэмтэн судлаачдын үүрэг бөгөөд нөгөө талаас тэдэнд өгсөн **“гэрийн даалгавар”** байсан юм.

Үйлдвэрлэлийн үсрэнгүй хөгжлөөс гадна физик, хими, биологи, анагаах ухаан, материал судлал, хагас дамжуулагч, электроник болон компьютер техникийн судалгаа шинжилгээний ажлын үр дүн нь “нано – шинжлэх ухаан” гэсэн ертөнцөд нэвтрэн орох үүд хаалгыг нээсэн юм. Эндээс л Нанотехнологийн эрин эхэлсэн юм.

Өвөрмөц шинж чанар бүхий өөрөөр хэлбэл “захиалсан” материалыг гарган авах, тэдгээрийн шинж чанарыг “удирдаж” болох үндсэн зүйл юу вэ? гэдгээс **“гэрийн даалгавар”** – аа эхэлжээ. Хариулт нь материалын бүтэц, шинж чанар тнөлөөлөх гол хүчин зүйл нь **ХЭМЖЭЭС** гэж гарсан ажээ.

Тэгэхээр аливаа биет хэмжээний хувьд том байна, жижиг байна гэдэг нь том хэмжээст биетээс өөр шинж чанарыг үзүүлнэ гэсэн үг. Бидний хувьд өчүүхэн жижиг зүйл болох оёдлын зүүний

үзүүрийг авч үзье. Хэдийгээр бидний нүдээр өчүүхэн харагдах зүүний үзүүр нь нэг тонн төмрийн адил цахилгаан дамжуулал, өнгө, механик хатуулаг, хайлах температур, соронзон чанар зэрэг физик шинж чанартай. Энэ нь микро болон макро хэмжээстматериал адилхан шинж чанарыг үзүүлж байна гэсэн үг юм. Тэгвэл ямар хэмжээст байгаа материал микро болон макро хэмжээнд байгаа ижил материалаас эрс ялгаатай шинж чанарыг үзүүлж болох вэ? Энэ асуултын хариу нь **НАНО ХЭМЖЭЭС** гэж гарсан байна.

Нэгэн хошин ч гэмээр жишээ авъя. Алимьг дундуур нь хуваахад тал алим л байна. Түүнийг хуваахад мөн л хэмжээ нь жижгэрсэн алим байна. Тэгвэл алимьг цааш хуваасаар байгаад атомын хэмжээнд хүртэл нь хуваасан гэж үзье. Одоо алим байгаа юу? Тэр атом болтлоо хуваагдсан алимд амт, үнэр байгаа болов уу? Атомын хэмжээтэй болсон алимд амт, үнэр аль нь ч байхгүй тул бид алимны жижиг хэсэг байна гэж таньж чадахгүй шүү дээ. Тэгэхээр аливаа биетийг бүрдүүлэгч атом, молекулын хэмжээний жижиг хэсэг ньэх материалаасаа эрс өөр шинж чанарыг үзүүлж байгаа биз. Одоо бүгдээрээ нано хэмжээс, нанометр гэдэг ямар хэмжээтэй вэ гэдгийг бидний сайн мэдэх зарим биетийн хэмжээстэй харьцуулан үзье.

НАНО ХЭМЖЭЭС БА МАТЕРИАЛЫН ШИНЖ ЧАНАР

Нано гэдэг грекээр “nanos” - өчүүхэн бага, одой гэсэн утгатай үг бөгөөд ямар нэг нэгжийг нэг тэрбум (10^{-9}) хуваасантай тэнцүү юм. Жишээ нь уртын хэмжүүрийн нэгж болох метрийг нэг тэрбум хуваасны нэгийг нанометр (нм) гэдэг. Ийм бага хэмжээст орших, ийм нэгжээр илэрхийлэгдэх зүйл байгаль дээр болон бидний эргэн тойронд байна уу. Энэ ямар хэмжээсвэгэдгийг төсөөлөх гэж оролдъё?

Бидний бие махбодийг бүрдүүлэгч уургийн ДНХ (деоксирибонуклейнийхүчил) – ийн молекулын диаметр 2.5 нм бол бүхий л амьд байгалийн эсийн амьдрах үйл ажиллагааг хангадаг хүчилтөрөгч зөөгч гемоглобин уургийн диаметр 5.5 нм байдаг. Хүний үсний диаметр 80 000 - 100 000 нм, хуудас цаасны зузаан 100000 (нм) байна. Өөрөөрхэлбэл хуудасцаасыг 100 000 удаа хуулж, хүний үсийг мөн 100 000 удаа цуулж 1 нм хэмжээтэй болгох юм байна гээд боддоо. 1 нанометр гэдэг бол хүний хумс 1 секундэд ургаж байгаа урттай тэнцүү юм. Нанохэмжээст биетүүдийг микро болон макро хэмжээст биетүүдтэй харьцуулсан байдлыг 1 –р зурагт үзүүлэв.

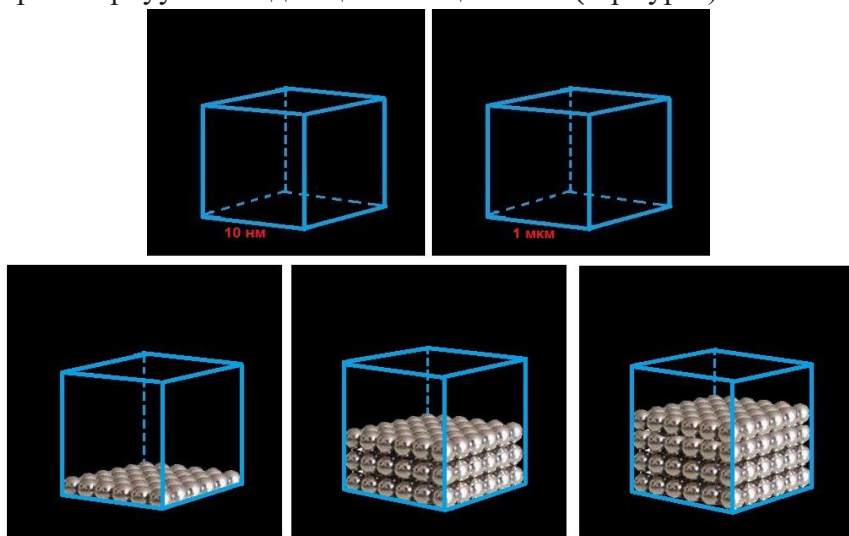
Амьдрал дээр бүх төрлийн тээврийн хэрэгслээс ялгарах хорт хий, утаа тортог, галт уулын дэлбэрэлт гэх мэт шатах процессын дүнд үүсч байгаа бүтээгдэхүүнүүд бүгд энэ хэмжээст оршино.



1-р зураг: Нанохэмжээст биетүүдийг микро болон макро хэмжээст биетүүдтэй харьцуулсан байдал

Тухайлбал 1 нанометр гэдэг бол 3 атомын урт юм. Эндээс нано хэмжээст орчинд ажиллана гэдэг бол атом, молекултай ажиллана гэсэн үг юм. Аливаа бодис нано хэмжээст оршино гэдэг нь түүнийг бүрдүүлэгч атом, молекулуудын ихэнх нь гадаргуу дээрээ байна гэсэн үг юм. Үүнийг дараах жишээн дээр тайлбарлая.

Жишээ 1. Бүх тал нь 10 нм (10 молекул гэсэн үг) куб шоо, мөн бүх тал нь 1 мкм (үсний ширхэгээс 10 дахин бага хэмжээ) байх куб шоо аваад 2 шоондоо дүүртэл нь молекул өрж байрлуулна гээд бяцхан тооцоо хийе (2-р зураг).



2-р зураг: Шоонд молекулуудыг өрж байрлуулж байгаа нь

10 нм талтай шоонд 1000 молекул өрөгдөж, түүнээс 488 молекул буюу нийт өрсөн молекулын 49% нь куб шооны гадаргуу дээр байна. Харин 1 мкм талтай куб шооны хувьд 1 тэрбум (1000 000 000) молекул өрөгдөх бөгөөд үүний 5.9 сая нь буюу ердөө 0.6% нь шооны гадаргуу дээр байна. Эндээс харахад бодис нано хэмжээст байхад түүний гадаргуу дээр атом, молекулын тоо харьцангуй их байна гэдэг нь нано

материалд гадаргуугийн нөлөө их байна гэсэн үг юм. Харин микрохэмжээст биед эзлэхүүний нөлөө их давамгайлдаг. Нэгэнт гадаргуу дахь атом, молекулын тоо их, тэдгээр нь ямар ч физик шинж чанар байхгүй тул атомын түвшинд бүтцийг бүтээх, удирдах, залах замаар дээр өгүүлсэн үйлдвэрлэгчдийн шаардлагыг хангахуйц шинж чанар бүхий материалыг гарган авах боломжтой.

Ийм нано материалын гадаргуун хувийн талбай ихэсдэг тул харилцан үйлчлэлд орох чадвар ихэснэ гэсэн үг юм. Өөрөөр хэлбэл нано бодисын хувьд гадаргуун хувийн энерги ихэссэн нь түүний гадаргуун таталцал, хайлах температур, фазын шилжилт, кристал талстын бүтэц, цахилгаан дамжуулах чадварзэрэголонпараметруудийгөөрчилдөг. Өөрнэгөвөрмөц шинж чанар бол нано хэсгүүд нь бүтцийн дефектгүй байдаг тул түүний энэ шинж чанарт тулгуурлан лазерийн болон гэрэл цацруулагч элементүүдийг хийж, орчин үеийн энергийн хэмнэлттэй электрон бараа бүтээгдэхүүн (чийдэн, нимгэн дэлгэцийн телевизор) үйлдвэрлэдэг.

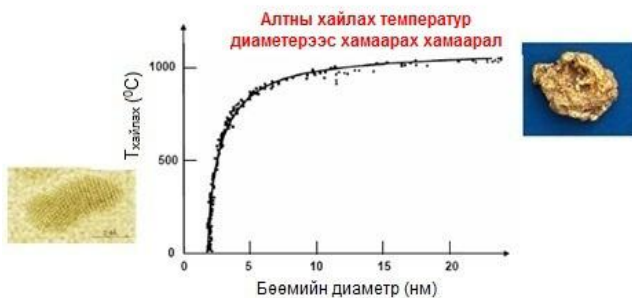
Харин макро объектийн хувьд гадаргуугийн атомын тоо нь нийт атомын тоотой харьцуулахад маш бага хувийг эзэлдэг тул шинж чанарт голлох үүрэг гүйцэтгэхгүй. Тэгэхээр аливаа бодисын хэмжээ багасаж, атом молекулын түвшинд оруулахад тэрхүү бодис бидэнд мэдэгдэхгүй физик, химийн шинж чанартай болж болно. Хэмжээнээс хамаарч шинж чанар хэрхэн өөрчлөгддөг болохыг дараах жишээгээр авч үзье.

Жишээ 2. Алт (Au) гэдэг металлыг бид сайн мэднэ. Алт нь гялтганасан шар өнгөтэй бөгөөд өнгөө алддаггүй, оронт торын талст бүтэцтэй, соронзон шинж чанаргүй, 1064^оС температурт хайлдаг металл юм. Алтыг 10 нм диаметртэй нанобөөмс болгон нунтаглахад алтны ширхэгүүд улаан өнгөтөй болдог (3-р зурагт үзүүлэв).



3-р зураг: Алтны нано бөөмсийн хэмжээ багасахад өнгө нь өөрчлөгдөж байгаа байдал

Мөн алтны хайлах температур нь ч эрс буурч байгааг 4-р зургаас харж болно.



Ном зүй: Buffat and Borel. Phys. Rev. A, vol.p. 2287, 1976

4-р зураг: Алтны хайлах температур нано бөөмсийн диаметрээс хамаарч буй хамаарал

Нанобөөмсийнхэмжээгуламбагасгаж 2-3нмдиаметртэй болгоход алт онцгой катализатор болохын зэрэгцээ соронзон шинж чанартай болно. Цааш нь улам багасгахад(2-3 нм-ээс бага) алт хэмээх металл нь металл бус элементийн үндсэн шинж чанар болох цахилгаан тусгаарлагч шинж чанартай болдог.

Тэгэхээралтыг10нм–ээсбагахэмжээтэйнунтагболгоход улаан өнгөтэй, цахилгаан тусгаарлагч, соронзон чанартай, улмаар нам температурт хайлдаг зэрэг тэс өөр чанартай болж байна.

Ийнхүүөөрөөршинжчанарүзүүлжбайгааньбалтнынано бөөмсийн диаметрийн хэмжээ багасах тусам түүний оронт тор алдагдаж, өөрөөр хэлбэл диаметрээсээ хамааран нүхэн эсвэл хавтгай бүтэцүүсгэж байгаатай холбоотой юм.

Жишээ 3. Мөнгө(Ag) бактерийн эсрэг үйлчилгээтэй болохыг манай өвөг дээдэс эрт дээр үед мэддэг учраас мөнгөөр аяга, халбага, савх урлаж өдөр тутмынхаа амьдрал ахуйд хэрэглэдэг байсан нь бидний үед ч уламжлагдан ирсэн. Харин мөнгийг нано хэмжээст оруулахад бактери эсэргүүцэх энэ чанар нь 1000 дахин нэмэгддэг байна. Тийм учраас орчин үеийн эмнэлэгийн хэрэгсэл, хагалгаанд ашигладаг бүх төрлийн багажийг нано мөнгөөр бүрж ашигладаг.

Энэхүртэлавчүзсэнбодисыншинжчанарыгтодорхойлогч параметрхэмжигдэхүүнүүдтүүнийгбүрдүүлэгчжижигхэсгийн шугаман хэмжээнээс хамаарахыг физикт хэмжээсийн эффект гэдэг.

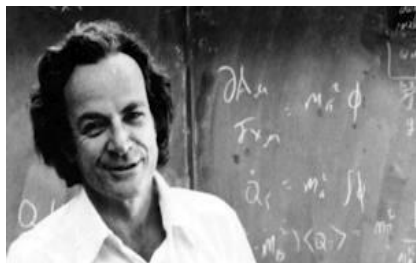
Тодорхойлогч параметр хэмжигдэхүүнгэдгийг тодруулъя. Үүнд термодинамикийн шинж чанарууд, кристалл торын параметрууд, уян харимхай болон механик шинж чанар, оптик болон соронзон чанар, зөөгдөх шинж (диффузи, электро болон ион дамжуулал), урвалын идэвхи, химийн урвалын механизм, хурд зэрэг параметрууд орно.

Нанохэмжээс, нано хэмжигдэхүүний цаана үл мэдэгдэх, шинж чанарыг урьдчилан хэлэх боломжгүй хэмжигдэхүүн бүхий пико (10^{-12}), фемто (10^{-15}), атто (10^{-18}) гэхчилэн мужууд байгаа бөгөөд тэдгээрийн оньсыг шинжлэх ухаан тайлж хараахан амжаагүй л байна.

НАНОТЕХНОЛОГИЙН ТҮҮХИЙН ТОВЧОО

Хүмүүс өөрсдийн амьдарч байгаа нийгмийнхээ тухайн шатанд онцлог шинжтэй аливаа тэргүүний технологийг “өндөр” технологи гэж үздэг. Бидний өвөг дээдэс олон мянган жилийн өмнө чулуугаар гоё сайхан урлагийн бүтээл хийж байсан арга технологичтэр, бидний үеийн микроэлектроникийн технологи ч тэр тухайн цаг үеийнхээ өндөр технологи гэдэгтэй та бүгд санал нийлж байгаа байх.

Нанотехнологийн голонян заартодорхойлсон байдаг. Харин бид өмнө нь өгүүлсэн нано хэмжээс буюу атом, молекулын түвшинд ажилбар хийх замаар бий болгосон, өгөгдсөн атом бүтэцтэй бүтээгдэхүүнийг үйлдвэрлэх цогц аргуудыг **НАНОТЕХНОЛОГИ** гэж тодорхойлж байна. Өөрөөр хэлбэл урьдаас өгөгдсөн бүтэц, шинж чанартай бүтээгдэхүүн гарган авахын тулд бодисыг (буюу материалыг) атом, молекулын түвшинд удирдах, залахорж, угсрах замаар бүтцийг бүтээх технологи юм. Нанотехнологийн судалгааны объект нь 1-100 нм хэмжээст оршино.



Америкийн физикч, Нобелийн шагналт эрдэмтэн Ричард Фейнманы 1959 онд Калифорнийн Технологийн Дээд Сургууль дээр тавьсан “Тээр доор их орон зай байна” илтгэлдээ “...хэрэв бид атомын

түвшинд бүтцийг бүтээж, хянаж сурвал, маш өвөрмөц, цоо шинэ шинж чанартай материал гарган авч чадах ба төсөөлөггүй ер бусын үзэгдэл, эффектүүд ажиглах болно...” гэсэн санаа нь хүн төрөлхтөн энэ технологийг эзэмшихэд гол түлхэц болсон юм.

Атомыг нэг байрнаас нөгөө рүү зөөх, өөрөөр хэлбэл атомыг хөдөлгөх технологийг болоогүй тул тухайн үед энэ уран зөгнөл мэт байжээ. Үнэндээ тэр үед физикийн суурь хуулийн үүднээс атомаар аливаа бүтээх боломж бийг гэдгийг шинжлэх ухааны үүднээс нотлох шаардлагатай болсон юм. Р. Фейнман энэ салбарт хүмүүсийн сонирхолыг татахын тулд бичгийн зүүний таван дээр хуудас юм бичсэн хүнд 1000 доллар шагнана гэж зарласан гэдэг.

1968 он Америкийн “BELL” компанийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Альфред Чо, Джон Артур нар гадаргуугийн нано боловсруулалтын онолын үндсийг боловсруулав.

1974 он Японы физикч Нариро Танигучи “нанотехнологи” нэр томъёог анх шинжлэх ухаанд оруулж, нэг микрон хэмжээст орших объектын механизмыг судлахыг ийнхүү нэрлэх болов.

1981 он Германы физикч Герд Биннинг, Генрих Рорер нар нано хэмжээст орших объектийн бүтцийн тухай мэдээллийг атомын түвшинд судлах анхны тэмтрүүлт туннелийн микроскопи (ТТМ) –ийг зохион бүтээжээ.

1985 он Америкийн физикч Роберт Керл, Хэрольд Крото ба Ричард Смолли нар нэг нанометрийн диаметртэй зүйлийг нарийн хэмжиж болох технологийг боловсруулав.

1986 онд зөвхөн дамжуулагч буюу хагас дамжуулагч материалын гадаргууг судалдаг байсан тэмтрүүлт туннелийн микроскопи (ТТМ) –ийг улам сайжруулж шил, керамик, композит материалууд, полимерууд мөн биологийн дээжүүд зэрэг бүх төрлийн дээжийн гадаргууг судалж болох Атомын хүчний микроскопи (АХМ)-ийг бүтээжээ.

БИД ЯАЖ АТОМ, МОЛЕКУЛЫН ТҮВШИНД АЖИЛБАР ГҮЙЦЭТГЭЖ ЧАДАХ ВЭ?

Бид атом, молекулыг харж улмаар тэднийг зөөж, угсарч болох болов уу?



Бидний гар наномасштабын хувьд асар том шүү дээ. Бид яаж атом, молекулын түвшинд ажилбар гүйцэтгэж чадах вэ? Материал сайн чанартай байхын тулд атом, молекулын түвшинд сайн эрэмбэлэгдэн угсрагдсан байх ёстой.

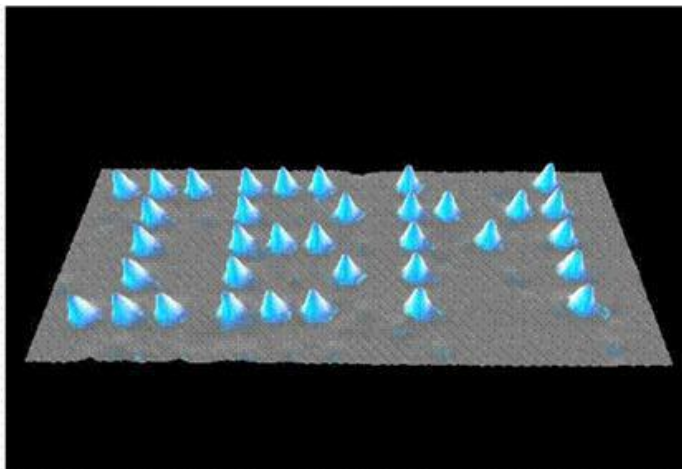
Атом молекулуудыг үр ашигтай, эмх замбараатай өрж угсрах, өөрөөр хэлбэл дурын

молекулт бүтцийг байгуулж болох анхны санааг 1986 онд Америкийн эрдэмтэн Эрик Дрекслер өөрийн бичсэн

Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology

номондоо атом молекулуудыг өрж, угсрахын тулд тусгай нано машин буюу ассемблерийн тухай санааг дэвшүүлж улмаар түүнийг зохион бүтээсэн байна. Нано машинууд нь атом, молекулыг барьж авах тусгай алгоритмын тусламжтайгаар тэдгээрийг өөрхооронд нь эмх замбараатай холбох, угсрах ажлыг гүйцэтгэнэ.

1989 оны 11 сарын 1-нд Америкийн International Business Machines компанийн ажилтнууд өөрийн компанийн товчилсон нэр болох IBM гэсэн гурван үсгийг 35 ширхэг ксеноны атомыг зөөн байршуулах замаар зэс хавтангийн гадаргууд бичсэн байна (5-р зураг).



M. Eigler, E.K. Schweizer, "Positioning Single Atoms with a Scanning Tunnelling Microscope," *Nature* 344(1990):524-526.

5 -р зураг: 1990 он Nature сэтгүүлд хэвлэгдсэн IBM компанийн лого

Үүний үр дүнд 1998 он Голландын физикч Сеез Деккер нанотранзисторыг бүтээж, бидний өмнө өгүүлсэн ХЭМЖЭЭС хэмээх “гэрийн даалгавар”-ыг амжилттай биелүүлсэн юм.

Ийнхүү эрдэмтэн Ричард Фейнманы санаа биелэлээ олж, эрдэмтэд маш өвөрмөц, цоо шинэ шинж чанартай материал гарганавч чадах бат өсөөлшгүй ербусын үзэгдэл, эффектүүдийг нээх ажилд ямар ч эргэлзээгүйгээр шамдан оржээ.

2000 онд АНУ-ын Засгийн газар “Нанотехнологийн үндэсний санаачлага” тунхаглаж, Холбооны төсвөөс 500 сая доллар зарцуулахаар болов. Энэ тоо 2002 онд 604 сая, 2003 онд 710 сая болтлоо өсөж, харин 2004 онд АНУ-ын засгийн газар энэ салбар дахь судалгааны ажлын санхүүжилтэд дөрвөн жилд 3.7 тэрбум доллар зориулахаар шийджээ.

Дэлхийн нийт улс гүрнүүд 2004 оны байдлаар нанотехнологид зориулж 12 тэрбум долларын хөрөнгө оруулсан бол 2012 он гэхэд АНУ нанотехнологийн судалгаанд оруулсан

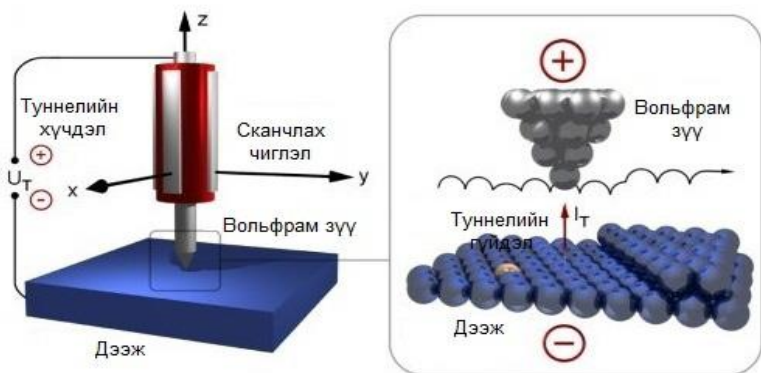
хөрөнгө оруулалт 2.13 тэрбум долларт хүрсэн байна.

Байгаль дээр байгаа өчүүхэн жижиг шавьж хорхой юмуу эсвэл нүдэнд үл үзэгдэх вирус, бактерийг бид зөвхөн оптик микроскопийн тусламжтайгаар хардаг шүү дээ. Оптик микроскопоор 0.25 мкм (микромметр) хүртэлх хэмжээтэй жижиг биетийг өсгөж хардаг. Дээр өгүүлсэн нано хэмжээст объектийг электрон микроскопийн тусламжтайгаар өсгөн харна. Бид нанотехнологиор шинэ бүтэц, шинэ материал гарган авахын тулд атом тус бүрийг ялгаж харах шаардлагатай байдаг. Электрон микроскоп атомын торыг ялгаж чадах ба харин торын эвдрэлийг ялгаж үл чадна.

Бодисыг бүрдүүлэгч жижиг хэсэг атом нь эерэг цэнэгтэй цөмийг тойрон орбитоор хөдөлдөг сөрөг электронуудаас тогтдог болохыг хүн бүр дунд сургуулийн физикийн хичээлээр заалгасан гэдэгтэй хэн ч маргахгүй. Цөмийг тойрон эргэлдэх сөрөг электронд бөөмлөг, долгиолог шинж чанарын аль аль нь байдаг. Электроныг Е энергитэй бөөм гэж төсөөлөөд биет дундуур нэвтрүүлэхэд уг биетээс буцаж ойх ёстой. Гэтэл электронд долгиолог шинж байгаа тул биетийг чөлөөтэй нэвтрэн гарна. Энэ нь электрон өөрийн энергээ бага зэрэг өөрчлөн уг биетээр нэвтрэн гарсан байна. Тэгэхээр уг биетэд электроныг нэвтрүүлж байгаа ямар нэгэн туннель (хонгил) байгааг бид үүнийг физикт туннелийн эффект гэдэг. Хоорондоо 0.5 нм зайтай хоёр дамжуулагчид (0.1-1В) харьцангуй бага потенциалын ялгавар өгөхөд тэдгээрийн хооронд туннелийн эффектээр үүсэх цахилгаан гүйдэл үүсдэг.

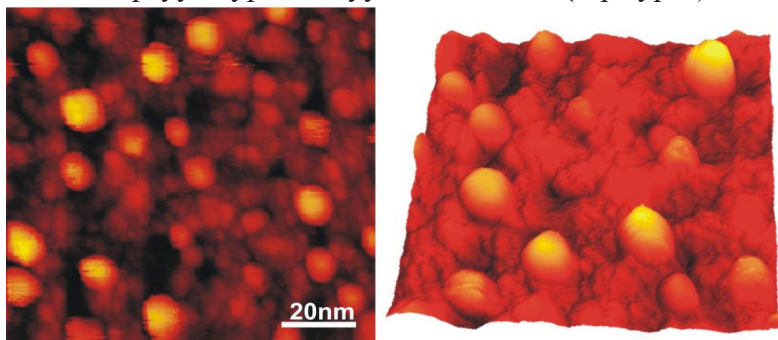
Ийм туршилтыг давтан хийж, тухайн сонирхож байгаа биетийн гадаргууг атомын хэмжээстэй үзүүр бүхий зүүгээр тэмтрэн тэр объектын бүтцийн тухай мэдээллийг атомын түвшинд гарган авч болно (скандаж байгаа хэрэг л дээ).

Энэ ажилбарыг 6-р зурагт үзүүллээ.



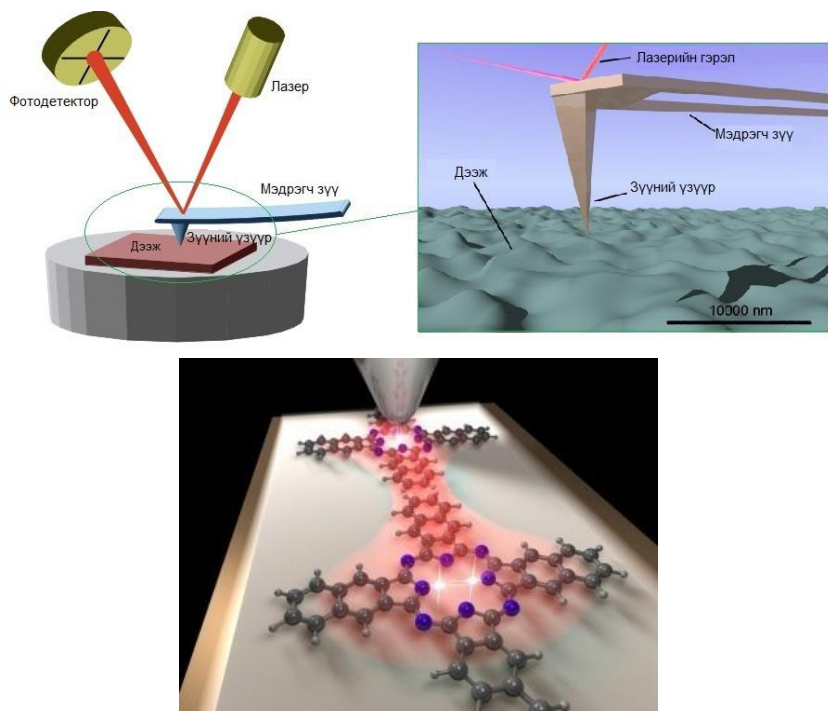
6-р зураг: Тэмтрүүлт туннелийн микроскопи (ТТМ) –ийн ажиллах зарчим

Ингэж нано хэмжээст орших объектийн гадаргуун талбайг микроскопоор өсгөж харах биш харин уг талбайг тэмтрэх маягаар түүний бүтцийн тухай мэдээллийг атомын түвшинд судлах санааг Германы физикч Герд Биннинг, Генрих Рорер нар олж, 1981 онд анхны тэмтрүүлт туннелийн микроскопи (ТТМ) –ийг зохион бүтээжээ. Тэд энэ нээлтээрээ дөрвөн жилийн дараа буюу 1985 Нобелийн шагнал хүртсэн юм. Энэхүү микроскопийн тусламжтайгаар түүхэнд анх удаа алтны гадаргуун зургийг буулгасан байна (7-р зураг).



7 -р зураг: Титаны оксид дээр суулгасан алтны нано бөөмийн ТТМ-оор авсан зураг

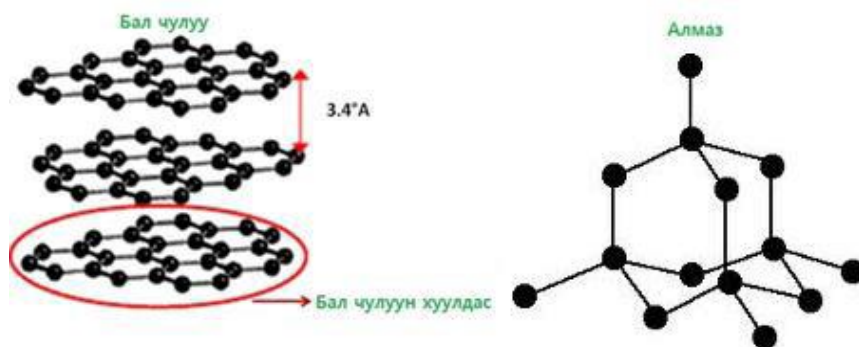
Энэхүү микроскопийн дутагдалтай талыг засан, сайжруулсан дараагийн Атомын хүчний микроскопийг (АХМ) 1986 онд IBM компанийн Цюрих дэх салбарынхан бүтээсэн юм. АХМ-аар гадаргууг мөн л атомын нарийвчлалтай судлах боломжтой, харин судалж буй материал нь заавал цахилгаан дамжуулагч байх албагүй. Атомын хүч ба туннелийн микроскопуудын ажиллах зарчим бараг ижил. АХМ нь гадаргуу дахь атомуудын хоорондын холбоосын хүчийг ашиглах дээрүнд эслэдэг. Өөрөөр хэлбэл зүү гадаргууд ойртохын хирээр түүний атом дээжийн атом руу хүчтэйгээр татагддаг. Энэ микроскопийн хувьд алмазан зүүг ашигладаг.



8 – р зураг: АХМ-ийн ажиллах зарчим, атомын хоорондын Холбоосын хүчийг үзүүлсэн байдал

НАНО НҮҮРСТӨРӨГЧИД: ФУЛЛЕРЕН БА НАНО ХООЛОЙ

1985 онд эрдэмтэн Р.Керл, Г.Крото, Р.Смолли нар санамсаргүйгээр нүүрстөрөгчийн цоо шинэ нэгдлийг нээснээр судалгааны маш өргөн талбарыг эрдэмтдэд нээж өгчээ. Иймд эдгээр эрдэмтдийн баг уг нээлтээрээ 1996 онд Нобелийн шагнал хүртсэн юм. Бид өмнө нь химийн хичээлээс нүүрстөрөгч гэдэг элемент нь бал чулуу, алмаз гэсэн 2 аллотроп дүрс хувиралтай гэдгийг мэднэ. Харин одоо энд өгүүлж буй фуллерен хэмээх нүүрстөрөгчийн цоо шинэ нэгдлийг нүүрстөрөгчийн 3 дахь дүрс хувирал гэж үздэг. Бал чулуу үелсэн бүтэцтэй, үе болгон нь бие биетэйгээ зөв зургаан өнцөгт үүсгэн ковалентын холбоогоор холбогдсон. Балын харандаагаар цаасан дээр бичихэд үеүд хууларч мөр үлддэг.



9-р зураг: Бал чулуу ба алмазын кристалл тор

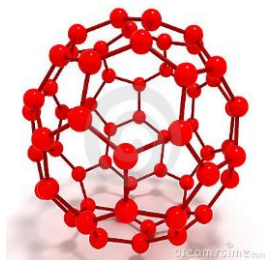
Алмаз нь гурван хэмжээст тетраэдр бүтэцтэй, нүүрстөрөгчийн атом болгон нь бусад дөрвөн атомтайгаа мөн ковалентын холбоогоор холбогдсон. Нүүрстөрөгчийн энэхүү С-С холбооны холбоосын энерги их байдаг тул алмаз нь дээд зэргийн бат бөхбайдаг.

Фуллерений молекулыг бүрдүүлж байгаа нүүрстөрөгч нь ихэнх элементтэй нэгдэж, янз бүрийн бүтэц, найрлага бүхий Нүүрстөрөгчийн энэхүү өвөрмөц молекулыг 1967 онд барьсан үзэсгэлэнгийн танхимын барилгад бодож олсон архитекторч Бакминстер Фуллерийн нэрээр нэрлэгдсэн юм. Фуллерений молекул зөв тавбазургаан өнцөгтүүдээстогтсон, хөлбөмбөгийн хэлбэртэй байдаг.

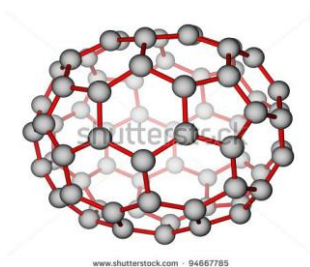


10-р зураг: Архитекторч Б.Фуллерийн зохион бүтээсэн үзэсгэлэнгийн барилга

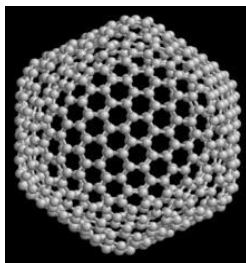
Эхлээд хамгийн тогтвортой C60 фуллеренийг гарган авч, фуллерений өвөрмөц шинжийг дэлхийн олон орны эрдэмтдийн судалгааны баг шимтэн судалснаар эдүгээ нүүрстөрөгчийн атомын тоо нь 540 хүртэлх фуллеренийг гарган аваад байна. 10-р зурагт нүүрстөрөгчийн атомын тоонь өөрөөр фуллерений бүтцийг үзүүлэв.



C60



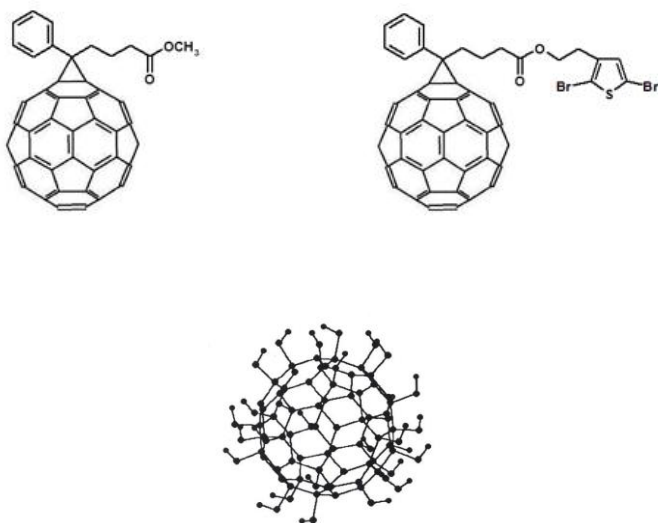
C70



C540

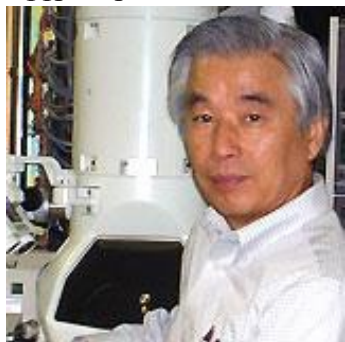
11 -р зураг: нүүрстөрөгчийн атомын тоо нь өөр өөр фуллерений бүтцүүд

Фуллерений маш олон уламжлалууд (11-р зураг) буюу фуллерен агуулсан хэдэн мянган нэгдлүүд байна. Фуллерений уламжлалуудын байгуулалтын томъёоноос энд төлөөлөн орууллаа.



12-р зураг: Фуллерений уламжлалууд

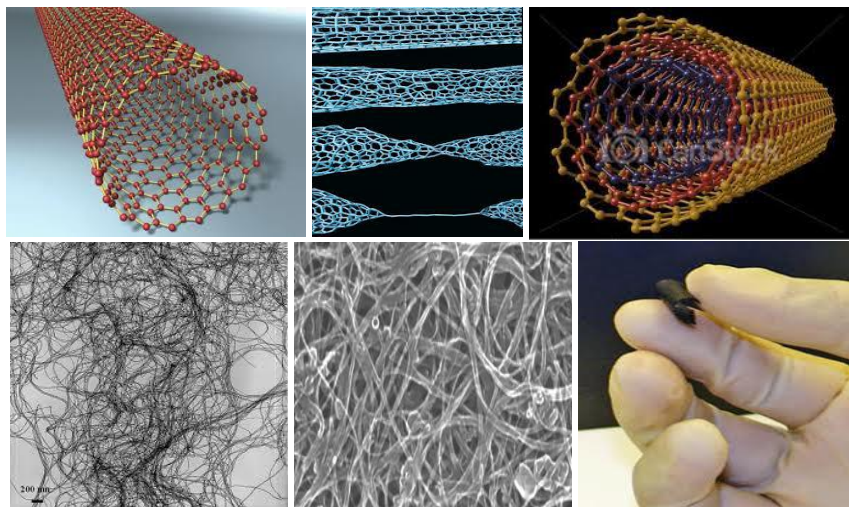
Эрдэмтдийг гайхшруулсан нүүрстөрөгчийн бүтэц фуллеренээр хязгаарлагдсангүй. 1991 онд Японы эрдэмтэн С. Ижима нүүрстөрөгчийн цилиндр хэлбэрт бүтцийг нээж, нүүрстөрөгчийн нано хоолой гэж нэрлэсэн юм.



Нанохоолойгэдэгньнүүрстөрөгчийн сая гаруй атомаас бүрдсэн молекул бөгөөд нэг нанометр диаметртэй хэдэн арван микрон урттай хоолой юм. Хоолойнхананд нүүрстөрөгчийн атомууд зөв зургаан талтын оройд байрлана. Нанохоолой нь нэгэн давхаргат, олон давхаргат, тууш, спираль гэсэн янз бүрийн хэлбэртэй

байдаг юм (12-р зураг).

Түүнээс гадна цахилгаан, соронзон, оптик шинж чанартай байдаг. Нүүрстөрөгчийн энэ бүтцийн гайхамшиг нь чухам юунд байгаа юм бол гэж та асууж магадгүй. Энэхүү нанохоолой нь хүний үснээс 100 мянга дахин нарийхан атлаа маш бөх бат, гангаас зургаа дахин бага нягттай атлаа 50-100 дахин бат бөх байдаг. Нано хоолойн деформацийн эсэргүүцлийн төвшин Юнгийн модуль жирийн нүүрстөрөгчийнхөөс хоёр дахин их. Энэ нь бат бөх төдийгүй бас уян хатан чанартай. Гэхдээ хялбар хугалж болох сүрлэн гуурс бус хатуу резинэн гуурс гэж ойлгоорой. Механик хүчдэлийн нөлөөнд энэ хоолой “урагдахгүй”, “хугарахгүй” бүх үйлдэлд зохицох чадвартай. Өөрөөр хэлбэл зүгээр л бүтцээ л өөрчилж байна гэсэн үг л дээ. Гайхалтай байгаа биз!



13-р зураг: Нүүрстөрөгчийн хоолойн бүтэц, түүнийг электрон микроскопоор авсан зураг

Фуллерены болон нанохоолойн доторхи хоосон зай эрдэмтдийн анхаарлыг нэлээд эртнээс татжээ. Фуллерены дотор аль нэг бодисын атомыг оруулж цахилгааны шинж чанарыг өөрчилж чадахаас гадна бүр тусгаарлагчийг хэт дамжуулагч болгон хувиргаж чаддаг юм (үүнийг “интеркаляц” буюу “шигдэх” гэж нэрлэдэг

НАНОНҮҮРСТӨРӨГЧДИЙН ГАЙХАМШИГ БУЮУ НАНОТЕХНОЛОГИЙН ЕР БУСЫН БОЛОМЖУУД

Нанонүүрстөрөгчдөөс гарган авсан шинэ материалууд, тэдгээрээр хийсэн бараа бүтээгдэхүүнүүд бидний амьдралд нэвтэрч, дуу алдан гайхшруулсаар байна. Одоо бүгдээрээ энэхүү материалын гайхамшигт шинж чанарт тулгуурлан нанотехнологиор гарган авч, бидний амьдралд нэгэнтээ нэвтэрсэн зүйлүүдийн талаар ярилцъя.

Нано хоолойн гайхамшигт чанарыг өндөр температур, вакуум орчин, улмаар химийн бодисын үйлчлэлд үл автах, биологийн булчингаас хэдэн арав дахин хүчтэй байх хиймэл булчинг бүтээхэд ашиглаж болно. Нэг мм диаметртэй нано хоолойгоор хийсэн утас өөрөөсөө хэдэн тэрбум дахин их буюу 20 тонн ачааг өргөж чадна. Нано хоолойгоор хэт хөнгөн, бөх бат материал хийж гал сөнөөгчид, сансрын нисгэгчдэд зориулсан биеийн хөдөлгөөнд саад болдоггүй хувцас хийдэг. Дэлхийгээс сансар хүртэл нанокабель татаад түүнийг хураахад намууцэцгийн ширхэг үрийн дайтай дамарт орооно гээд боддоо. Нано хоолойгоор микро багажинд зориулсан хосгүй дамжуулагч хийж болно. Хосгүй чанар нь юу юм бэ гэвэл асар их (10^7 А/см²) гүйдэл гүйх ба энэ үед халдаггүйд оршино. Сонгодог бусад дамжуулагч ийм нөхцөлд ууршиж алга болно. Нано хоолойг компьютерын үйлдвэрлэлд өргөн ашигладаг бөгөөд 2006 онд нано хоолойн матриц дээр ажиллах хавтгай дэлгэцийг бүтээв.

Бидний сайн мэдэх LCD телевизийн болон гар утасны нимгэн дэлгэцийг бүтээхэд органик дамжуулагч молекулууд хэрхэн эрэмбэлэгдэн, усрагдаж байгааг 13 -р зургаас харж болно.

The diagram illustrates a nanodielectric stack composed of three layers, labeled I, II, and III, with thicknesses of 2.3 nm, 3.2 nm, and 5.5 nm, respectively. The stack is shown in a cross-sectional view with a red border. To the right, the chemical structures of the materials are detailed:

- Layer I (2.3 nm):** Consists of a top layer of Cl-Si-Cl groups and a bottom layer of Alk (alkyl) chains.
- Layer II (3.2 nm):** Consists of a top layer of Cl-Si-Cl groups and a bottom layer of TBOS (tetrakis(benzoyl)oxysilane) and OTBOS (octakis(trimethylsilyl)octasulfone) molecules.
- Layer III (5.5 nm):** Consists of a top layer of Cl-Si-Cl groups and a bottom layer of Stb (styrene-butadiene) copolymer and C_2Si (disilene) molecules.

28

Нанохоолойн ер бусын цахилгаан шинж чанар нь наноэлектроникийн үндсэн материал болох цахиурын оронд гарч ирсэн ирээдүйтэй өрсөлдөгч бөгөөд түүнээс эрс давуу шинж чанартай болох нь нотлогдсон юм. Үүний нэг тод жишээ бол нано хоолойг хагас дамжуулагчийн гетеро - бүтцийг үүсгэхэд ашигласан явдал байв. Өөрөөр хэлбэл “металл – хагас дамжуулагч” буюу хоёр өөр хагас дамжуулагчийн зааг (нанотранзисторууд) -ийг бүтээнэ гэсэн үг юм. Үүнийг 14 -р зурагт үзүүлсэн INTEL траанзисторуудаас харж болно.

Much of the motivating force and technology for nanotechnology came from the integrated circuit industry



Intel's transistors

15 –р зураг: Intel транзисторын үйлдвэрлэл (он дарааллаар)

Нано хоолойг ургуулах явцад бүтцийн эвдрэл бий болгож тухайлбал нүүрстөрөгчийн зургаан өнцөгтийн нэгийг таван өнцөгт өөр солих замаар эвдрэл үүсгэх эд нанохоолойн нэг хэсэг нь металлын шинж чанартай, нөгөө нь хагас дамжуулагчийн шинж чанартай болдог. Нанохоолойн дотор хий байрлуулж болох сонгодог эд юм. Юуны өмнө энэ нь устөрөгчид холбогдоно. Устөрөгчийг агуулахын тулд маш зузаан, хүнд, овор ихтэй, аюулгүй баллонсав хэрэгтэй болдог. Тиймгүйсэн бол устөрөгчийг авто хөдөлгүүрийн түлш болгох боломж энүүхэнд байсан (автомашин 500 км зам туулахад ердөө 3 кг устөрөгч хэрэглэх болно).

Манай гаригийн газрын тосны нөөц хязгаартай шүүдээ. Тэгвэл устөрөгчөөр явдаг машин хөлөглөвөл байгаль орчинд ч хичнээн тустай байх билээ.

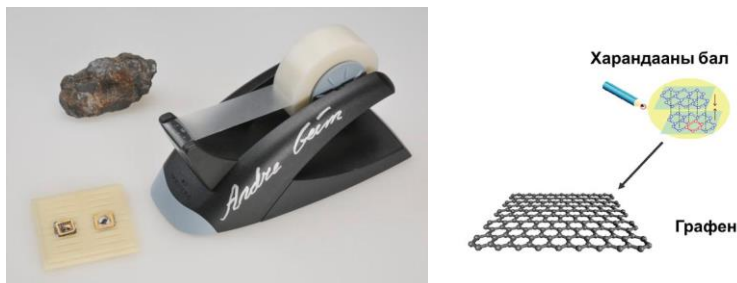
Тун удахгүй уламжлалт бензины оронд нанохоолойтой “устөрөгч түлшний сав” устөрөгчөөр дүүргэгдэж, машиныг цахилгаанаар ажиллуулж болох юм. Бензин түлшээр машин ажиллахад нүүрсхүчлийн хий яндангаас ялгарах бол, устөрөгчөөр ажилладаг машины яндангаас усны уур л гарна. Нанохоолойд атом, молекулуудыг ширхэгээр нь бус бодисыг “юүлчихэж болно”. Хоёр төгсгөл нь нээлттэй нанохоолой капилляр – хялгасан соруулуудын адил бодисыг өөртөө татаж авах чадвартай. Тийм болохоор нанохоолойг уураг, хорт хий, тэр байтугай металл хайлш мэт химийн болон биологийн идэвхтэй бодисыг зөөх, агуулах чингэлэг болгон ашиглана.

Нанохоолойд нэгэнт л орсон бол атом, молекул буцаж гарах боломжгүй юм. Нанохоолойн төгсгөл нь найдвартай “агнаастай”, нүүрстөрөгчийн цагираг хэт нарийн учир олонхи атом түүгээр гарч чадахгүй. Тийм байдлаар идэвхтэй атом, молекулыг аюул осолгүй тээвэрлэж болно. Товлосон газар очмогц нанохоолойн нэг төгсгөл ньонгойж агуулсан зүйлээ тун хэмжээгээр гадагшлуулна. Энэ нь уран зөгнөл бишээ. Олон лабораторид ийм туршилт хийж, нанохоолойн үзүүрийг “агнах” “задлах” ажлыг хийх орчин үеийн технологи нэгэнт

бийболжээ. Тэрчбайтугайнэгталньбитүүнанохоолойггарган авсан байна.

Нүүрстөрөгчөөс тогтсон хамгийн гайхамшигтай нано материалынтоондграфенорно.Эхлээдграфенгэжюувэ?гэсэн асуултанд хариулъя. Энэ товхимлыг уншиж байгаа уншигч болгон ямар нэг хэлбэрээр графентай харьцаж үзсэн гэдэгт бид итгэлтэй байна. Хүүхдүүд та нар балын харандаагаар зурж үзсэн л бол графен гэдэг гайхалтай бүтээгдэхүүнийг өөрсдөө гаргаж байсан гэсэн үг юм. Тэгэхээр графен гэдэг маань бал чулуу (харандааны бал) буюу графитаас гарган авсан дэлхийн хамгийн анхны 2D буюу 2 хэмжээст жижиг бүтэц юм. Энэ бүтэцийг нүүрстөрөгчийн нэг атомын зузаантай хавтгай гэж ойлгож болно.

Бал чулуу нь үелсэн хавтгайнуудаас тогтсон байдаг. Хэрвээ бид энэхүү хавтгай бүтэц буюу үеийг маш нарийн 1 атомын зузаантайгаар салган авч чадвал сонгодог графенийг гарганавлаагэсэнүг.Харинүүнийгяажтиймнимгэнээрсалган авах вэ? Энэ асуултыг Английн Манчестерийн Их Сургуульд ажиллаж байгаа Орос гаралтай эрдэмтэн Х.Гейм, К.Новоселов нар амжилттайгаар шийдсэн байна. Тэд 2004 онд бал чулуун дээр бидний өдөр тутам амьдралдаа хэрэглэдэг наалддаг тууз (скоч) - ыг даран наалдуулах замаар энэхүү материалыг гаргах технологийн шийдлийг олжээ. Графений нэг үеийн зузаан нь 0.33 нанометр байдаг. Хүүхдүүд та нар энэ жишээнээс бидний эргэн тойрон олж хараагүй ямар гайхамшиг байгаа энэ нь ямар энгийн байдгийг ойлгосон байхаа гэж найдаж байна. Гейм, Новоселов нар энэхүү ажлаараа 2010 оны Физикийн салбарын Нобелийн шагналыг хүртсэн юм.



16 –р зураг: Нобелийн музейд дээрх эрдэмтдийн бэлэглэсэн үзмэр

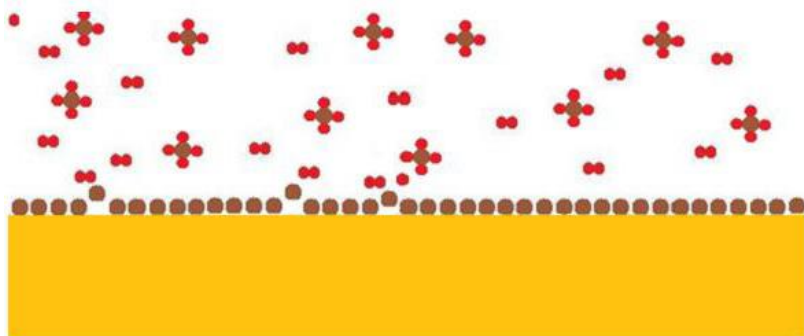
Графен маань одоо ямар шинж чанартай вэ гэдгийг авч үзье. Графен нь хөнгөн, гангаас 200 дахин бат бөх, уян налархай шинж чанартай. Графенаар төрөл бүрийн шингэн бодисыг үр нөлөөтэйгээр цэвэрлэх боломжтой бөгөөд энэ чанар дээр нь үндэслэн усны хомсдолтой хөгжиж буй улс орнуудад бохир усыг цэвэрлэх, дахинашиглах асуудлыг шийдэж болно. Графен нь гэрлийг өөртөө шингээн энерги хэлбэртэйгээр хадгалах бөгөөд мөн маш бат бөх, уян налархай шинж чанартай байдаг. Иймд графенийг ашиглан цэнэгээ удаан хадгалдаг, уян дэлгэц бүхий гар утас, зургийн аппарат зэргийг үйлдвэрлэхэд түүхий эд болгон ашиглах боломжтой юм. Хэдийгээр графенд тулгуурласан наноматериалын үйлдвэрлэл эхлээгүй байгаа боловч ойрын ирээдүйд хэрэглээнд нэвтрэх магадлалтай гэж эрдэмтэд үздэг. Зөвхөн гар утас үйлдвэрлэгч Нокиа (Nokia) зэрэг компаниуд өнгөрсөн онд графений судалгаанд 1.36 тэрбум доллар зарцуулсан мэдээ байна.



17 –р зураг: Гар утасанд ашиглах боломжтой графенд суурилсан уян дэлгэц

Хүүхдүүд та бүгд өмнөх жишээнүүдээс атом молекулын ажилбарынүрдүндбидөөрсдийнхүссэнбүтэц,шинжчанартай материалыг гаргах боломжтой гэдгийг ойлгосон байх. Нано материал гарган авахад атом молекулыг хооронд нь угсран шинэ бүтэц гаргах (build up) процессоос гадна хэмжээг томоос ньбагасгах(topdown)процессуудыгашиглажболдог. Хамгийн анхны сонгомол графен гаргах арга буюу наалддаг скочийн арга нь томоос багасгах процессын жишээ юм.

Графенийг гарган авах энэ арга нь гарц багатай гадна цэвэршилт төдийлөн сайн байдаггүй тул химийн ууршилтын (CVD, chemical vapour deposition) аргыг ашиглан гарган авдаг байна. Энэ арга нь өндөр температурт ууршсан графенийн нимгэн үеийг тусгай суурь материал дээр бүрхүүл маягаар суулган гарган авах дээр үндэслэгдэнэ. Үүнийг хагас дамжуулагчийнүйлдвэрлэлдсайнчанарындамжуулагчнимгэн үе суулгахад ихээр ашигладаг.



18-р зураг: Графенийг зэс суурь дээр химийн ууришлтын аргаар суулгаж байгаа нь

Биокомпьютер: Өнөөдөр бидний мэдэх хамгийн сайн персонал компьютерийн хүчин чадал бас л хязгаарлагдмал байгааюм. Эрдэмтдийн үзэж байгаагаар биологийн хязгаарыг даван туулах боломжийг бий болгох ажээ. Биокомпьютер нь уургаар суурь болгож биетийн хоёр төрлийн хэлбэрийн хооронд хувирч байдаг молекулыг ашиглах болно. Эдгээр молекулын хэмжээ нь зөвхөн цахиур чипийн хэмжээний мянганы нэгтэй ($1/1000$) тэнцэх учраас хурд нь 1000 дахин нэмэгдэх болно. Хэдийгээр энэ нь одоогоор таамаглалын түвшинд байгаа боловч ирээдүйд хэрэгжихийг үгүйсгэх аргагүй юм. Биоматериал-нанотехнологийн хүрээнд хийгдэж буй хамгийн сонирхолтой судалгаанд оюуны чадавхитай мэдрэгч дээр хийгдэж байгаа судалгаа орно. Оюуны чадавхитай мэдрэгчийг баглаа боодолд хэрэглэснээр баглаа боодол нь хүнсний бүтээгдэхүүний хадгалах хугацааг заан хүнсний хугацаа хэтрэх аваас өнгө нь хувирч хэрэглэгчдэд хэрэглэж болохгүй гэдгийг зааж. Энэхүү мэдээлэл өгдөг мэдрэгчид суурилсан боодлын материал нь зах зээлд нэвтэрч эхлээд байна. Бид дэлгүүрийн лангуунаас хэн нэгэн хүнүйд вэрлэсэн онсарыг нь сольсон байхвий гэж санаа зовохгүй зөвхөн шинэ бүтээгдэхүүн авч хэрэглэх боломжийг

мөн л нанотехнологийн мэдрэгч олгож байна.



19 -р зураг: Мэдрэгчтэй хүнсний баглаа боодол

Нанотехнологи гэдэг нь зүгээр л нэг мэдлэгийн тодорхой хэсэг ч биш судалгааны өргөн хүрээтэй, олон талын салбар гэдгийг та ойлгосон байх.

Цаашид ч нанотехнологи нь бидний организмын эд эсийн тогтолцооноос дутахааргүй нарийн нийлмэл мөртлөө гангаас хэдэн зуу дахин бат бөх материалыг бүтээхэд хүргэх шинэ аж үйлдвэрийн хувьсгалын үндэс суурь болно.

Түүний амжилт ололт нь хүний амьдралын бүх хүрээг хөндөж байна. Жишээ нь :

Анагаахухаанд нанокапсулыг эмийг өгөгдсөн тодорхой эсэд хүргэж, химийн урвалын хурдыг жолоодоход ашиглаж байна. Мөн өвчтөний бодисын солилцоо, биеийн байдал зэрэг олон үйлийг хянан, хавдар, вирус,

Материал судлалд ердийн олон материалын шинж чанарыг нано бөөмс, атомын боловсруулалтыг ашиглан сайжруулах боломжтой. Нанотехнологи илүү хөнгөн,

нимгэн, батбөхнийлэг-композит материалыг (холимог, нийлмэл найрлагатай) бий болно. Хүрээлэн байгаа орчноосоо хамааран бүтцээ өөрчилж чаддаг “ухаалаг” (смарт) материалыг гарган авч байна. Мөн маш батбөх, маш хөнгөн, шатдаггүй (алмазонидыг үндэслэн) агаар сансар, автомашины үйлдвэрлэлд ашиглаж байна.

Анотехнологийг микро электроникт хэрэглэснээр, (одоо бол хэдийн нано электроник гэж нэрлэгдэх болсон) процессор бэлтгэх планар (1 см² талбайд 10⁸ тооны транзистор багтдаг байсан) технологиос 3D-технологид шилжиж байна. Улмаар бидний ашиглаж буй компьютерээс хэдэн арав дахин хүчтэй, хурдтай компьютерийн үйлдвэрлэлд нэвтэрнэ гэсэн үг юм. Тухайлбал, 2025 он гэхэд нанотехнологид үндэслэсэн анхны ассемблер бүтээгдэнэ гэсэн тооцоо байдаг. Онолын хувьд бид бэлэн атомаар юуг ч бүтээх боломжтой юм. Компьютер дээр дурын бүтээгдэхүүний төслийг хийхэд л хангалттай, дараа уг бүтээгдэхүүнүүд угсрагдаж, түүнийг угсрагч нано роботуудын иж бүрдлийг олшруулах болно. Нано роботууд өөр гаригийг гартаа оруулах мөрөөдлийг гүйцэлдүүлж тэнд хүн амьдрах орчинг бий болгож чадна. Тойрог замын системийг автоматаар байгуулах, сар, ангараг дээр өөрөө угсрагч байгууламж босгох, гадаад далайн гүн, газрын хөрсөн дээр, агаарын уудамд дуртай байгууламжаа барих бололцоотой (2025 онд ийм болно гэж мэргэжилтнүүд үздэг). Өөрөө өөрийгөө бүтээгч нано роботууд нь хүн төрөлхтний том хэрэгцээ болох хүнс, орон байр, эрчим хүчний хомсдлыг шийдэж чадна.

Асансрыг эзэмших шинэ эрин эхэлнэ. NASA-ийн (АНУ-ын сансар огторгуйг судлах үндэсний газар)

мэргэжилтнүүд олон нийт хийгээд эрдэмтдийн анхаарал татсан нэг зүйл сэдсэн нь сансрын өргүүр-лифт хийх төсөл юм. Сансрын лифт гэдэг нь хэдэн арван мянган км урттай, сансрын өртөөг Номхон далайн төвд байрлуулсан тавцантай холбосон татуурга – трос юм. Сансрын лифт нь дэлхийг орвонгоор нь өөрчилсэнтэй адил дэвшил гарч хүн төрөлхтөнд асар боломж олгоно. Үнэн чанартаа тэр өргүүр нь газарт байрлуулсан тавцан сансрын тойрог замын өртөөтэй холбосон кабель байх юм. Пуужингаар сансрын хөлөг хөөргөх нь асар их зардал гардаг байна (хамгийн нам тойрогтнэгкгачаагаргахад 10.000долларзаржбайна). Тэгвэл ийм лифтийн тусламжтайгаар сансарт ачаа гаргахад кг -ийг 10 доллар болтол бууруулах тооцоо гарчээ. Сансрын анхны лифтийг 12-15 жилийн дараа барьж чадах бөгөөд түүгээр гурван өдөрт нэг удаа 20 тонн ачааг зөөх боломжтой байх бөгөөд түүний өртөг урьдчилсан байдлаар 10 тэрбум доллар байхаар тооцоолсон байна.

НАНОТЕХНОЛОГИОС УЧИРЧ БОЛЗОШГҮЙ АЮУЛ, ОСОЛ:

Нанотехнологийн ер бусын боломжуудыг улс төр , цэрэг дайн,байгальорчин,дэдбүтэц,эрчимхүч,хүнснийүйлдвэрлэл, хөдөө аж ахуй, газар тариалан, хөнгөн ба хүнд аж үйлдвэр гээд салбар бүрээр нь тоочоод барахгүй нь нэгэнт ойлгомжтой

юм. Харин бидний амьдралын салшгүй нэг хэсэг болсон аж үйлдвэрийн энэхүү хувьсгалын эерэг өөрчлөлтөнд гайхах, баярлахаа түр азнаад, түүний учруулах болзошгүй сөрөг үр дагаварыг ч тооцох ёстой. Өөрөөр хэлбэл зарим эрдэмтэд нанотехнологийн эрчтэй өсөлт нь хяналтаас гарч, санамсаргүй

сүйрлийг авчирч магадгүй гэсэн болгоомжлол, анхааруулгыг өгч байна.

Удирдлагийн систем санаатай буюу санамсаргүйгээр эвдэрч, хяналтаас гарлаа гэхэд нанометрийн ассемблерүүд нь ой мод, үйлдвэр, амьтад, хүнийг хүртэл замд тааралдсан бүх зүйлийг оролцуулаад өөрийгөө төгсгөлгүй хувилж эхэлж болно.Онолынхувьдиймассемблерньдэлхийнбүхбиомассыг дахин боловсруулж дөнгөнө гэж үздэг. Урьдчилсан дүн шинжилгээгээр ассемблерийг хангалттай найдвартай бүтээж өөрөө нөхөн үрждэг алдаа гарах магадлал маш бага байдаг болохыг тогтоосон. Гэхдээ орчин үеийн компьютерын вирусыг зохиогчидтой адил алан хядагчид, танхайчууд ассемблерийг санаатайгаарпрограмчлахаюултайгтооцохөстой.Ийммаягаар нанотехнологийн болзошгүй аюул осол, сэтгэл зовоосон асуудлыг эрдэмтэд дараах байдлаар авч үзсэн юм. Үүнд:

✓ **Боловсролын систем нанотехнологийн мэргэжилтнүүдийг хангалттай сургаж бэлтгэх чадвартай юу?**

✓ **Нанотехнологийндэвшилньуламжлалтүйлдвэрлэлийг**

зогсоож, олон мянган хүнийг ажилгүй болгох юм биш биз?

✓ **А**нанотехнологиор болон молекулын биологийн аргаар хийсэн бүтээгдэхүүн маш хямд байх нь аюултай микроорганизмыг “жолоодох” боломжийг алан хядагчдад олгох юм биш байгаа?

✓ **М**олекулын хэмжээнд бүрэлдэж байгаа зарим бодисыг амьсгалахад хүний эрүүл мэндэд хэрхэн нөлөөлөх вэ? Нанохоолойн үүсгэх зарим нэгдлүүд асбестын адил бүтэцтэй учир уушиг гэмтээх аюултай.

✓ **Х**эрвээ хүрээлэн буй орчинд компьютерын чипээс эхлээд нисэх онгоцны будаг үртэл ихээхэн хэмжээний наноматериалалдагдвалюуболохвэ? Наноматериалын харшил гэсэн өвчин үүсэх үү?

✓ **М**аш жижиг нано бөөмс, улмаар ердийн байдалд аюулгүй байсан зүйлийг нанохэмжээст оруулан ашиглахад эрүүл мэндэд аюултай биш үү? Онолын хувьд тэдгээр нь химийн илүү их идэвхитэй материал болж байгаа юм.

✓ **А**рньнаноматериалбиднийбиедороходтаажболомгүй уршиг тарих юм биш биз? Учир нь нано бөөмс уургаас

жижиг байна. Нано бөөмс уургийг ээдүүлж эхэлвэл яах

Эдгээр нь өнөө үеийн судлаачдын өмнө тулгамдаж байгаа асуудлуудын нэг болоод байна.

НАНОТЕХНОЛОГИОР ЭРЧИМ ХҮЧ ГАРГАЖ АВЧ БОЛОХ УУ?

Дэлхийн хүн төрөлхтний өмнө тулгарч байгаа олон асуудлын нэг нь улс орнуудын эдийн засаг, нийгмийн тогтвортой хөгжлийг хангах эрчим хүчний аюулгүй, найдвартай үүсгүүрийг шийдэх явдал юм.

Эрдэмтдийн тооцоолсноор дэлхий нефтийн нөөц 50 жил, харин нүүрсний хувьд 200 жилийн нөөцтэй ажээ. Эдгээртүүхий эд дууссаны дараа ямар эрчим хүчний эх үүсгүүр хэрэглэгдэх вэ? гэсэн асуулт хүн төрөлхтний өмнө тулгараад байна. Устөрөгчийг ирээдүйн эрчим хүчний эх үүсгэвэр буюу дулаан болон цахилгаан гаргаж авахад түүхий эд болгон хэрэглэнэ гэж олон улсын эрчим хүчний салбарыхан дуу нэгтэй үзэж байна.

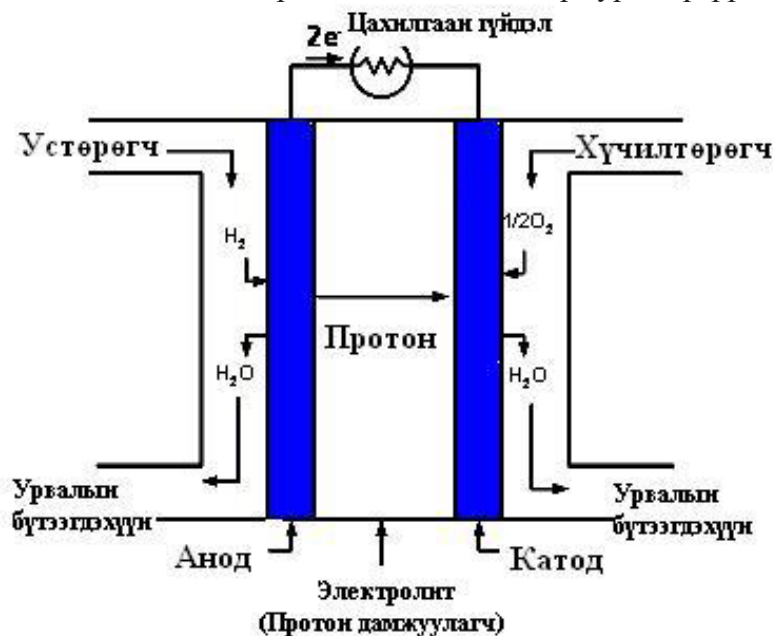
Экологи, эдийн засгийн өндөр үр ашигтай устөрөгчийн эрчим хүчний технологи дэлхийн өндөр хөгжилтэй орнуудад нэгэнтээ нэвтэрч, устөрөгчөөр ажилладаг авто машинууд, автобус, галт тэрэг, далайн хөлөг онгоцууд болон агаарын тээврийн онгоцонд цахилгаан эрчим хүчний тэжээл болгон ашиглаж байна.

Нар, салхи, биомасс, усан цахилгаан станц мөн атомын цахилгаан станц зэрэг энергийн үүсгүүрүүдийн тусламжтайгаар усыг задлан электролиз оор устөрөгчийг гарган авах технологийг түгээмэл хэрэглэгдэж байна. Мөн химийн, нүүрс химийн үйлдвэрүүд өндөр хөгжсөн орнуудад үйлдвэрлэлийн процессын үед ялгарах хийг цэвэрлэх замаар мөн байгалийн хийнээс устөрөгчийг гаргаж авах зэрэг олон аргууд байдаг ч дээр өгүүлсэн цахилгаан гвйдлийн тусламжтайгаар усыг задлах электролизийн арга хамгийн өргөн хэрэглэгдэнэ.

Устөрөгчийн ионыг хүчилтөрөгчийн атомтой нэгдүүлж, уг химийн урвалаас ялгарах энергийг гарган авах технологийг

түлшний элементгэдэг. Иймд бид түлшний элементийн тусламжтайгаар устөрөгчөөс цахилгаан, эрчим хүч гарган авч байна гэсэн үг юм.

Үндсэн түлш болх устөрөгч, хүчилтөрөгчийн урсгал, урвалын бүтээгдэхүүн бодис усны ялгарах байдал болон түлшний элементийн ерөнхий схемийг 15-р зурагт үзүүлэв.



19-р зураг: Түлшний элементийн ерөнхий схем

Түлшний элементийг гарутас, зөөврийн компьютер, дүрс бичлэгийн камерт цахилгааны тэжээл болгон хэрэглэснээр байгаль орчинд хортой, эдэлгээ богинотой зай хураагуур, аккумуляторуудыг хэрэглээнээс шахан гаргах болно.

Түлшний элементийг ашигт үйлийн коэффициентийг дээшлүүлэх, энд явагдах химийн урвалын хугацааг уртасгах зорилгоор урвалын катализаторын шинж чанарыг сайжруулах, түлшний элементийн технологийг боловсронгуй болгох захиалга

хэрэглэгчид болон авто машин, онгоц үйлдвэрлэгчдээс байнга ирдэг байна. Иймд дэлхийн олон оронд эрдэмтэд, судалгааны багууд ажиллаж байгаа бөгөөд Монголын эрдэмтэд ч гар бие оролцон ажиллаж байна.

8. ШИНЖЛЭХ УХААНУУДЫН ОГТЛОЛЦОХ ЦЭГ - НАНО

Бидний дээр өгүүлсэн нанотехнологийн хувьсгалын “тохироог” бүрдүүлсэн суурьшинжлэхуаанууд бол физик, хими, биологи юм. Мэдээж математик суурь нь болсон мэдээллийн системийн хөгжилгүйгээр ассемблерийг болоод нано электроник, нано цахилгаан хэрэгслийг бүтээх тухай ярих ч хэрэггүй.

Математикийн хичээл, компьютерийн программчлалд сайн хүүхэд биологийн болоод физик, химийн хичээлийг мөн л сайн сурч байж л ирээдүйн сайн мэргэжилтэн болно. Гэхдээ уламжлалт мэргэжлийн боловсрол хэрэггүй гэсэн үг биш шүү. Харин нанотехнологиболмэдлэгийнсалангидхэсэгбишхарин өөр өөр мэргэжлийн хүмүүсийн хамтын бүтээл, ололт амжилт гэж хэлэх гэсэн хэрэг. Магадгүй програмчлалын сайн инженер эс, молекулын түвшин дэх биологийн процессын тайлалыг хийхэд биологичдийн хамгийн сайн хамтрагч болж чадна.

Нанотехнологийн хөгжил нь биотехнологийн хөгжилтэй салшгүй холбоотой болж байна. Хүүхдүүд та нар биотехнологийн талаар тодорхой ойлголттой байгаа байх, энэ ойлголт тань сонгомол ойлголттой төстэй эсэхийг харъя. Биотехнологийг аль болох хялбараар дараахь хэлбэрээр тайлбарлаж болно: Хүн төрөлхтөн эрт дээр үеэс арьс шир боловсруулах, талх барих, тараг, айраг исгэх, пиво үйлдвэрлэх зэрэгт биологийн биет ашиглаж ирсэн. Эдгээр нь уламжлалт арга технологид тулгуурлан бичил биетний биологийн үйл ажиллагааг ашиглан хийгдэж ирсэн биотехнологи юм. Үүнээс гадна төрөл бүрийн амьтан үржүүлж, газар тариалан эрхэлж, хэрэгцээт хоол хүнсээ үйлдвэрлэж байсан нь биотехнологийн хэрэглээ байв.

Харин өндөр технологид тулгуурласан орчин үеийн биотехнологи үүсэж хөгжих нөхцөл 20-р зууны сүүлийн хагаст бий болж молекул биологи, генетик, микробиологи, биохими, иммунологи зэрэг биологийн шинжлэх ухаан ба техникийн ухааны уулзвар дээр үүсэн хөгжиж, хүн төрөлхтөний өмнө цоо шинэ боломжуудыг бий болгосон. Хүн, малын хүнс, тэжээл, эм, биобэлдмэл зэрэг биологийн идэвхит бодис гарган авах, ашиг шимтэй мал, амьтны үүлдэр, таримал ургамлын сорт бий болгох, ховор ховордсон амьтан, ургамлын генийн санг хамгаалах, нөхөн үйлдвэрлэх, төрөл бүрийн металл баяжуулах, олборлох, биотүлш, биохий гарган авах, хог хаягдал боловсруулах, цэвэрлэх зэрэгт биотехнологийг ашиглаж байна. Биологи болон электроникийн шинжлэх ухааны огтолцооны цэг дээр судлаачид электрохамар, электрон үд ба электрохэл зэргийг бүтээхээр судалж байна. Эдгээр зүйл нь үндсэндээ органик бус бодисоос бүрддэг боловч түүний функц болон хэрэгцээ нь органик юм. Өнөө үед биологи болон дэвшилтэт материалын шинжлэх ухаан нэгэн шинэ эдийн засгийн хөгжлийн хөдөлгүүрийг бий болгон төлөвшүүлж байна. Үүнийг биотериалын технологи гэж зарим судлаачид нэрлэдэг. Биотериалын цаг үед органик ба органик бус бодисын ил тодорхой зааг аажмаар алга болох ба дараа нь урьд гаргаж чадаагүй байсан органик ба органик бус холимог композит материал бүтээгдэх юм.

Хүний амьсгалаас гарах үнэрийн анализыг хийн тухайн хүн ямар өвчнөөр өвчилсөн байж болохыг тодорхойлдог нано технологийн хамрын туршилтын ажил ид явагдан туршилтын бүтээгдэхүүнээ гаргаад эхэлсэн байна. Тухайлбал, астма, сүрьеэ, уушиг, ходоод болон бүдүүн гэдэсний хавдрууд нь өөрийн ялгаатай үнэрийг гаргадаг бөгөөд үүнийг нь тусгай чипний тусламжтайгаар хооронд нь салган уг өвчнийг илрүүлэхэд технологийн зарчим нь чиглэгдсэн байна.

Хүний амьсгалыг ашиглан өвчнийг илрүүлэх энэхүү

шинэ төхөөрөмж нь бүрэн хэмжээгээр туршигдан зах зээлд гарсан тохиолдолд олон төрлийн өвчнөөс урьдчилан сэргийлэх маш ашигтай бүтээгдэхүүн болох нь одоо ч гэсэн ойлгомжтой байна.



20-р зураг: Хүний амьсгалаас гарах үнэрийг танин өвчин тодорхойлох Nanonose (нанохамар) төхөөрөмж

Мөн орчин үеийн урлагийг аваад үзье. Бас л “шинэ технологийн урлаг” болж эхэлж байна. Медиа-арт, веб-арт, компьютер график, голограф зэрэг өнөө үеийн нэн чухал чиглэл болжээ. Өөрөөр хэлбэл урлаг ч орчин үеийн шинжлэх ухаан техникийн хөгжилтэй хөл нийлэн алхаж явна. Салбар хоорондын хандлагад үндэслэсэн суурь боловсролтой хүмүүс ирээдүйд хамгийн ихэрэлтхэрэгцээтэй мэргэжилтнүүд байх нь дамжиггүй. Үүнтэй адилаар салбар бүрт нано шинжлэх ухаан, нанотехнологи нэвтэрч биднээс улам бүр салбар хоорондын хамтын ажиллагааг шаардаж байна.

Агаарын бохирдол, хүрээлэн байгаа орчны доройтол, байгалийн аюулт үзэгдлийг ч гэсэн урьдчилан өндөр нарийвчлалтай мэдэх автомат наносистемд тулгуурлан мэдээллээ авч, түүнээс урьдчилан сэргийлж байна.

Сансрыг эрчимтэй эзэмших явцад одон орны судалгаа, төсөөлөл, таамаглалд зориулагдсан цоо шинэ материал бий болж байна..

Түүхчид, нийгэм судлаачид нанотехнологийн нийгмийн онцлогасуудлыгсудалжнийгэм-түүхийнхэлхээнд“мэдээллийн” нийгмийн дараа орж байна. Амьдралын аюулгүй байдлын үндэс болох нанох увьсгалын үр дагаварт “бэлтгэлгүй” орсон хүмүүсийг дасгах, дасан зохицох олон асуудлыг сэтгэлзүйч, нийгэм судлаач нар шийдвэрлэнэ.

Боловсролд тавих шаардлага өсөж сургалтын шинэ арга, концепцбийболгоходирээдүйнбагшнараасшинийгсанаачлах, идэвхтэй байхыг шаардана.

Философчид, эдийн засагчид, улс төр судлаачдад олон шинэ шаардлага тавигдаж нанотехнологийн дэвшлийн нөхцөл дэх уламжлалт бус шийдвэрүүд шаардсан асуудалтавигдаж байгаа юм.

НАНОТЕХНОЛОГИ нь анагаах ухаан, материал судлал, оптик, электроник, компьютер, байгаль орчин, сансар судлал, уул уурхай, урлаг, хүмүүнлэг, нийгэм, философи болон бусад хэрэглээний салбарууд дахь ололт амжилтууд, судалгаа, шинжилгээний ажлын цогц, эдгээр шинжлэх ухаануудын огтлолцох ЦЭГ юм.

Өнөөдөр нано хэмжээст материал ашиглан, нанотехнологиор үйлдвэрлэсэн бараа бүтээгдэхүүн хэдийнээ биднийамьдралынсалшгүйнэгхэсэгболсон. Уншигчтадараах зургуудад анхаарлаа хандуулна уу. Танд болон танай гэр бүлд эдгээр бүтээгдэхүүнүүд танил байгаа биз? Хариултыг эрхэм уншигч танд үлдээе. Ginu

Ашигласан ном, интернэт сайтууд

1. Мария Рыбалкина *Нанотехнологии для всех* www.nanonewsnet.ru
2. доктор Л.Оюунбилэг, проф. Д. Сангаанарын орчуулга, 2009
Г. Батдэмбэрэл, Н.Ганбямба, Ш.Чадраабал: *Нанотехнологийн
Эхлэл*, 2011
3. Lecture: *Nano Scale Science, Engineering and Technology, NSSET*
by Dr. M. Deal, Stanford University, 2009
4. R Seminar: Nanoscience and Nanotechnology An Introduction by
Teri.W.Odom, 2004
5. Big Things from a Tiny World: Nanotechnology, www.nano.gov
6. National Nanotechnology Initiative (NNI) www.nano.gov
7. Nanotechnology in the European Commission: www.cordis.europa.eu/nanotechnology
8. Powerful Things from a Tiny World: *Nanotechnology and Energy*
9. Д.Сангаа: *Наноматериал Судлалын Нейтрон Сэрнгийн Аргууд*.
2011
10. Luisa Filippini, Duncan Sutherland, *Nanotechnology: A brief
Introduction*, University of Aarhus, Denmark, 2007
11. Ц.Оюунсүрэн “Монголд биотехнологийг эрчимтэй хөгжүүлэх
арга зам” сэдэвт лекц, 2011
12. Р.Оливер, Биотехнологийн эрин үе эхэллээ, Адмон хэвлэлийн
компани, 2005
13. [http://www.wired.co.uk/magazine/archive/2013/11/features/the-](http://www.wired.co.uk/magazine/archive/2013/11/features/the-nanonose)
[nanonose](http://www.wired.co.uk/magazine/archive/2013/11/features/the-nanonose)
14. <http://nanophysicist.blogspot.com/>
15. [http://www.graphene.manchester.ac.uk/collaborate/types-of-](http://www.graphene.manchester.ac.uk/collaborate/types-of-graphene/#/explore/the-applications/)
[graphene/#/explore/the-applications/](http://www.graphene.manchester.ac.uk/collaborate/types-of-graphene/#/explore/the-applications/)
16. <http://android-help.ru/blog/2014/02>