

МОНГОЛЫН ФИЗИКИЙН НИЙГЭМЛЭГ



ФИЗИК

Шинжлэх ухаан танин мэдэхүйн сэтгүүл

Дугаар №4

Улаанбаатар хот

2018 он

DDC
070
M-695

Published by the NUM Press, Ulaanbaatar, Mongolia
© The National University of Mongolia, 2018
Ikh Surguuliin Gudamj – 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. Акад. Д.Сангаа	Шинжлэх Ухааны Академи
7. Проф. Г.Шилагарди	Монгол Улсын Их Сургууль
8. Проф. О.Лхагва	Монгол Улсын Их Сургууль
9. Проф. Г.Очирбат	Монгол Улсын Их Сургууль
10. Проф. Б.Бурмаа	Монгол Улсын Их Сургууль
11. Проф. Д.Дамбасүрэн	Монгол Улсын Их Сургууль
12. Проф. Х.Цоохүү	Монгол Улсын Их Сургууль
13. Проф. Н.Алтангэрэл	Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль
14. 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: Chirped pulse amplification (CPA) is a technique for amplifying an ultrashort laser pulse up to the petawatt level.

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

The Nobel Prize in Physics 2018 was awarded "for groundbreaking inventions in the field of laser physics" with one half to Arthur Ashkin "for the optical tweezers and their application to biological systems", the other half jointly to Gérard Mourou and Donna Strickland "for their method of generating high-intensity, ultra-short optical pulses."

ГАРЧИГ

Олон улсын нэгжийн шинэ SI систем	1
<i>Орчуулсан Д.Өнөрбилэг</i>	
“КИЛОГРАММ” - түүх, тодорхойлолт, дахин тодорхойлолт	4
<i>Орчуулсан Ц.Алтанцэцэг, Д.Өнөрбилэг</i>	
Физикийн дидактикийн чиглэлээр хэрэгжсэн судалгааны ажлын тойм	7
<i>Б.Бурмаа, М.Ганбат, Ж.Дөлгөөн</i>	
Хамгийн анхны халуун цөмийн цахилгаан станц хэзээ ашиглалтад орох вэ?	10
<i>Орчуулсан Б.Алтанхүү, М.Чадраабал</i>	
Латтис квантхромодинамик ба глюоны урсгалын хоолой	13
<i>Ч. Содбилэг, Г. Энхтуяа, Э. Лаэрманн</i>	
Урт удаан хугацааны хайгуул – Хигс бозон	16
<i>Б.Билгүүн</i>	
Радикалын тухай дахин бодохуй	20
<i>Орчуулсан С.Мөнхцэцэг</i>	
Гинжин гүүрийн бодлого	25
<i>П.Түвшинтөр, Д.Эрдэнэбаатар, Д.Улам-Оргих, Г.Шилагарди</i>	
Физикийн сонирхолтой бодлого	32
<i>М.Отгонбаатар, Г.Мөнхбаяр</i>	
Позитрон эмиссийн томограф	34
<i>Н.Норов</i>	
Исаак Ньютоны амьдралын замнал, гайхамшигт нээлт бүтээл	39
<i>Орчуулсан Н.Түгжсүрэн</i>	
“Гэрлэн диодын хүчдэл, гүйдлийн хамаарал” ээлжит хичээлийн төлөвлөгөө	46
<i>А.Батцэцэг</i>	
МУИС-ийн биофизикийн сургалт судалгааны ажлын үүсэл, хөгжил	55
<i>М.Цогбадрах, Т.Гун-Аажав, С.Дамдинсүрэн, Д.Төмөрбаатар, О.С.Борданова, П.Энхбаяр, Ч.Баттулга, Б.Мижиддорж, Ө.Энэрэлт, Н.Ариунтуяа</i>	

Олон улсын нэгжийн шинэ SI систем

Орчуулсан
Д.Өнөрбилэг



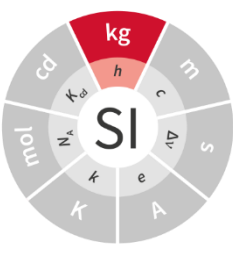

Стандарт, хэмжил зүйн газар, Хэмжил зүйн хүрээлэн

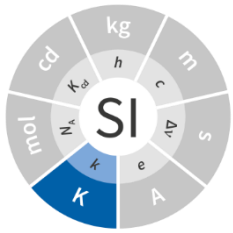
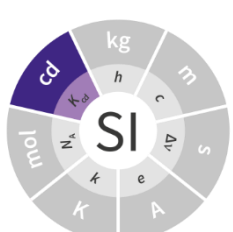

XIX зууны хоёрдугаар хагаст 1875 оны 5 сарын 20-нд Франц, Орос, Герман, АНУ, Итали зэрэг дэлхийн томоохон 17 улс метрийн хэлэлцээрт нэгдэн гарын үсэг зурснаар “метрийн систем” нь олон улсад хүлээн зөвшөөрөгдсөн юм. Метрийн хэлэлцээр нь метрийн систем дээр үндэслэсэн хэмжигдэхүүний нэгжийн нэгдмэл байдлыг хангах хамтын ажиллагааг бэхжүүлэх, өргөжүүлэх нөхцлийг бүрдүүлсэн бөгөөд шинжлэх ухаан, техникийн хөгжилд маш чухал ач холбогдолтой үйл явдал болсон байна. Тиймээс жил бүрийн 5 сарын 20-ны өдрийг Дэлхийн Хэмжил Зүйн Өдөр болгон тэмдэглэдэг уламжлалтай. Хэмжигдэхүүний нэгжийн эталоныг хадгалах, судлах хөгжүүлэх, тэдгээрийн утгыг бусад улсын эталонд дамжуулах, физикийн суурь тогтмолуудыг тодорхойлон эталоны нарийвчлалыг дээшлүүлэх, олон улсын нэгжийн метрийн системийг боловсронгуй болгох зохицуулах үүрэгтэй эрдэм шинжилгээний байгуулага бол Олон Улсын Жин Хэмжүүрийн Товчоо (BIPM) юм. BIPM-ийн гишүүн орнуудын форум буюу олон улсын жин хэмжүүрийн ерөнхий бага хурал (CGPM)-ыг дөрвөөс зургаан жил тутамд хуралддаг. Энэ хурлаар олон улсын нэгжийн системийг батлах, түүнд нэмэлт өөрчлөлт оруулах асуудлыг хэлэлцэх батлах талаар чухал шийдвэрүүдийг гаргадаг. 1960 оны CGPM-ийн 11-р ерөнхий бага хурлаар хэмжигдэхүүний метрийн системийг 6 үндсэн нэгж, 27 уламжилсан нэгж, 2 нэмэлт нэгж, аравтын эрэмбээр үүсэх 12 угтварын бүтэцтэй олон улсын нэгжийн системийг (францаар Systeme International d’Unites буюу “SI” гэх) нэртэй албан ёсоор баталсан. 1971 онд CGPM-ийн 11-р ерөнхий бага хурлын шийдвэрээр бодисийн тоо хэмжээний нэгж “моль”-ийг үндсэн нэгжээр нэмж 7 үндсэн нэгжтэй болсон байна. “SI” системийн үндсэн ба уламжилсан нэгжүүд, тэдгээрийн тодорхойлолт, хэмжигдэхүүн ба нэгжийн угтваруудыг хэрхэн тэмдэглэх, хэрэглэх дүрмийн гарын авлагыг (брошюрыг) BIPM-ээс эрхлэн гаргадаг бөгөөд 1960 оноос хойш SI-н гарын авлага нийт 8 удаа хэвлэгдсэн ба одоо 9 дэх хэвлэлийн төслийг CGPM-аар хэлэлцүүлж байна.

2011 оны Жин ба Хэмжүүрийн Олон Улсын (CGPM) 24-р ерөнхий бага хурлаас нэгжийн “SI” системийн үндсэн 7 нэгжийн тодорхойлолт нь цаг хугацаа, орон зайн хувьд үл өөрчлөгдөх физикийн үндсэн тогтмолууд дээр суурилан гарах ба хаана ч, хэн ч, хэзээ ч бий болгох, ашиглах боломжтой байхаар байна” гэж томьёолсон байна. Өөрөөр хэлбэл эдгээр тодорхойлолт нь хугацааны турш маш тогтвортой, хоорондоо уялдаа холбоотой, хэрэгжүүлэх боломжтой байх ёстой юм. Энэхүү зайлшгүй шаардлагад хүрэхийн тулд физикийн суурь тогтмолууд дээр үндэслэсэн системийг бий болгох хэрэгтэй болсон. “Шинэ-SI” системийг бий болгоход нэн түрүүнд шийдвэрлэх асуудал нь массын нэгж “килограмм”-ыг Планкийн тогтмол эсвэл Авогадрын тогтмолын аль нэг дээр үндэслэн тодорхойлох явдал бөгөөд хэмжлийн харьцангуй эргэлзээ $2 \cdot 10^{-8}$ -аас ихгүй байх, вакуум орчинд тогтоогдох утга нь одоо мөрдөгдөж буй массын нэгж дамжуулалттай холбох аргачлал батлагдсан байх, Больцманы тогтмолын утга $1 \cdot 10^{-6}$ –ийн эргэлзээтэй тогтоогдох шаардлагатай байв.

ВIPM болон дэлхийн тэргүүлэгч улсуудын хэмжил зүйн хүрээлэнгүүд SI системийн үндсэн нэгжийг дээрх физикийн суурь тогтмолууд дээр үндэслэсэн тодорхойлолтыг бий болгохоор хийсэн эрдэм шинжилгээ, судалгааны олон жилийн нөр их ажлын дүн гарч, удахгүй энэ оны 11 сард тохиох CGPM-ын 26-р ерөнхий бага хурлаар албан ёсоор батлах гэж байна. Одоогийн “SI” системийн килограмм, Ампер, Кельвин, моль гэсэн 4 үндсэн нэгжийн тодорхойлолт шинэчлэгдэж, SI систем бүхэлдээ өөрчлөгдөж байна. Үнэндээ энэ өөрчлөлт нь 1960-аад оноос эхэлсэн, тухайлбал 1967 онд цаг хугацааны нэгж “секунд”-ийг атомын цацаргалтын тогтмол давтамжаар, 1983 онд уртын нэгж “метр”-ийг вакуум дах гэрлийн хурдаар шинэчлэн тодорхойлсон билээ.

CGPM-ын 26-р ерөнхий бага хурлаар батлах чухал баримт бичиг бол SI системийн 9-р товхимолыг эцэслэн батлах бөгөөд Жин ба хэмжүүрийн олон улсын товчоо ВIPM “SI” системийн 9-р гарын авлагын төслийг гаргасан ба үүнд үндсэн 7 нэгжийн тодорхойлолтыг дараах байдлаар томъёолсон байна.

	<p>“Секунд” - тэмдэглэгээ [сек.]</p> <p>Секунд нь цаг хугацааны нэгж бөгөөд энэ нь үндсэн төлөвдөө буй Цезий-133 атомын хэт нарийн түвшингийн хооронд үүсэх шилжилтийн цацаргалтын давтамжийн $\Delta\nu_{cs}=9192631770$ Гц тогтмол утгаар тодорхойлогдоно. Үүнд давтамжийн нэгж Гц нь сек^{-1} –тэй тэнцүү .</p> $1\text{сек} = \left(\frac{9192631770}{\Delta\nu_{cs}}\right)\text{м}^{-2}\text{сек}$
	<p>“Метр” - тэмдэглэгээ нь [м]</p> <p>Метр нь уртын нэгж бөгөөд энэ нь вакуумд тархах гэрлийн хурдны $c=299792458$ м/сек тогтмол утгаар тодорхойлогдоно. Үүнд секунд нь Цезий-133 атомын хэт нарийн түвшингийн цацаргалтын $\Delta\nu_{cs}$ давтамжаар тодорхойлогдоно.</p> $1\text{м} = \left(\frac{c}{299792458}\right)\text{сек}$
	<p>“Килограмм” - тэмдэглэгээ нь [кг]</p> <p>Килограмм нь массын нэгж бөгөөд Планкийн тогтмолын $h=6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ Ж·сек утгаар тодорхойлогдоно. Үүнд Планкийн тогтмолын нэгж Ж·сек нь $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ -тэй тэнцүү бөгөөд метр, секунд нь вакуум дах гэрлийн хурд ба Цезий-133 атомын хэт нарийн түвшингийн цацаргалтын давтамжаар тодорхойлогдоно.</p> $1\text{кг} = \left(\frac{h}{6.62607015 \times 10^{-34}}\right)\text{м}^{-2}\text{сек}$
	<p>“Ампер” - тэмдэглэгээ нь [А]</p> <p>Ампер нь цахилгаан гүйдлийн хүчний нэгж бөгөөд энэ нь эгэл цэнэгийн $e=1.602176634 \cdot 10^{-19}$ Кл тогтмол утгаар тодорхойлогдоно. Үүнд эгэл цэнэгийн нэгж Кл нь А·сек –тэй тэнцүү ба секунд нь $\Delta\nu_{cs}$-ийн утгаар тодорхойлогдоно.</p> $1\text{А} = \frac{e}{(1.602176634 \times 10^{-19})\text{сек}^{-1}}$

	<p>“Кельвин” - тэмдэглэгээ нь [K] Кельвин нь термодинамикийн температурын нэгж бөгөөд энэ нь Больцманы тогтмолын $k=1.380649 \cdot 10^{-23}$ Ж·К⁻¹ утгаар тодорхойлогдоно. Үүнд Больцманы тогтмолын нэгж Ж·К⁻¹ нь кг·м²·сек⁻²·К⁻¹ –тэй тэнцүү бөгөөд кг, м, сек. нь h, $сек$, $\Delta\nu_{cs}$ –аар тодорхойлогдоно.</p> $1K = \left(\frac{1.380649 \times 10^{-23}}{k} \right) \text{кг м}^2 \text{сек}^{-2}$
	<p>“Кандел” - тэмдэглэгээ нь [кд] Кандел нь тодорхой чиглэл дэх гэрлийн эрчмийн нэгж бөгөөд энэ нь $540 \cdot 10^{12}$ Гц давтамж бүхий монохроматик цацаргалтын $K_{cd}=683$ Лм·Вт⁻¹ гэрлийн хүчний тогтмол утгаар тодорхойлогдоно. Үүнд Лм·Вт⁻¹ нь кд·стр·Вт⁻¹ эсвэл кг⁻¹·м⁻²·сек³·кд·стр –тай тэнцүү ба килограмм, метр, секунд нь h, $сек$, $\Delta\nu_{cs}$ –аар тодорхойлогдоно.</p> $1\text{кд} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{кг м}^2 \text{сек}^{-3} \text{стр}^{-1}$
	<p>“Моль” – тэмдэглэгээ нь [моль] Моль нь бодисийн тоо хэмжээний нэгж бөгөөд нэг мольд Авогадрын тогтмол $6.02214076 \cdot 10^{23}$ тооны жижиг хэсгүүд агуулагдана. Авогадрын тоог моль⁻¹ нэгжээр илэрхийлнэ.</p> $1\text{моль} = \left(\frac{6.02214076 \times 10^{23}}{N_A} \right)$

Тогтмолууд	Тэмдэглэгээ	Тоон утга	Нэгж	SI –ийн нэгжийн уялдаа
Цезий-133 атомын цацаргалтын давтамж	$\Delta\nu_{(Cs-133)}$	9192631770	Гц	Гц=сек ⁻¹
Гэрлийн хурд	c	299792458	м·сек ⁻¹	м·сек ⁻¹
Планкийн тогтмол	h	$6.62607015 \cdot 10^{-34}$	Ж·сек	Ж сек= кг· м ² ·сек ⁻¹
Эгэл цэнэг	e	$1.602176634 \cdot 10^{-19}$	Кл	Кл= А·сек
Больцманы тогтмол	k	$1.380649 \cdot 10^{-23}$	Ж· К ⁻¹	Ж· К ⁻¹ = кг·м ² · сек ⁻² ·К ⁻¹
Авогадрын тоо	N_A	$6.02214076 \cdot 10^{23}$	моль ⁻¹	моль ⁻¹
Гэрлийн хүч	K_{cd}	683	Лм· Вт ⁻¹	Лм· Вт ⁻¹ = кг ⁻¹ ·м ² ·сек ³ ·кд·стр

Ашигласан материал:

- ВІРМ-н цахим хуудаснаас орчуулав.

“КИЛОГРАММ” - түүх, тодорхойлолт, дахин тодорхойлолт

Орчуулсан

Ц.Алтанцэцэг, Д.Өнөрбилэг

Стандарт, хэмжил зүйн газар, Хэмжил зүйн хүрээлэн

Түүх сөхвөл: “Килограмм” нь SI системийн массын нэгж бөгөөд энэ нь “метр”-ийн тодорхойлолттой адил гэрлийн хурдаар тодорхойлогдож байгалийн хуультай холбоодоогүй биет хэлбэрээр үлдсэн цорын ганц нэгж юм. Францын XVI Луис хаан 1790 онд Францын шинжлэх ухааны академид жин хэмжүүрийн тогтвортой систем бий болгох санал тавьжээ. 1791 оны 3 сарын 19-нд Францын шинжлэх ухааны академид вакуумд Цельсийн тэг градууст 1 дм^3 нэрсэн усны эзэлхүүнээр илэрхийлэгдэх массын нэгж бүхий шинэ системийг танилцуулсан байна. Эдгээр нэгж нь байгалийн тогтмол дээр үндэслэгдсэн боловч тухай үеийн хэрэгцээг хангаж чадаагүй байлаа. Үүнээс зуун жилийн дараа массын нэгжийн энэ тодорхойлолтыг боловсронгуй болгож, ойролцоо масстай олон тооны туухайг үйлдвэрлэв. 1879 онд Лондонгийн “Жонсон Матью” компани маш тогтвортой материал болох платиниум ба иридиумын хайлшийг амжилттай гаргаж авчээ. Ингээд “усны эзэлхүүнээр” тогтоосон тодорхойлолтыг платиниум буюу цагаан алтан туухай буюу “килограммын” прототипоор солилоо. 1889 он гарахад 40 ширхэг ийм цагаан алтан прототипыг үйлдвэрлэж томоохон улсуудад тараасан байна.

1901 онд CGPM-ын 3-р ерөнхий бага хурлаас “килограмм нь олон улсын килограммын прототипын масстай тэнцүү” гэж тодорхойлжээ. Олон улсын килограммын прототипыг (International Prototype of the Kilogram) платиниум (90%) ба иридиум (10%)-ын хайлшаар хийсэн ба Франц улсын Париж хотын ойролцоо жин ба хэмжүүрийн олон улсын товчоо (BIPM)-д маш цэвэр орчинд, шүүлтүүр бүхий, бөмбөгдөлтөнд тэсвэртэй сейфэнд хадгалагдаж байдаг. IPK-ын утгаас дэлхий нийтийн массын хэмжлийн нэгж дамжуулалтад ашигладаг туухайны утгууд хамаардаг гэж хэлж болно.



Биет эталоны дутагдалтай тал

Биет хэмжүүрийн хувьд гол дутагдалтай тал нь материалын элэгдэл болон хүрээлэн байгаа орчны бохирдлоос хамааран масс өөрчлөгдөх, алдагдах, гэмтэх боломжтой юм. IPK прототипын масс 1884 оны анхны утгаас өчүүхэн багаар нэмэгдсэн эсвэл багассан байж болох ч үүнийг нарийн тодорхойлох аргагүй юм. Өөр нэгэн чухал асуудал бол нэгж дамжуулалтын тасралтгүй хэлхээг хадгалах юм.

Тогтвортой “Килограмм”-ын эрэлд

Өнгөрсөн 100 гаруй жилийн хугацаанд массын бүх эталонд ганцхан энэ биет эталонгоос нэгжийг дамжуулж байв. Гэвч шинжлэх ухаан болон үйлдвэрлэлд шинэ технологи нэвтэрч массын хэмжлийг илүү нарийвчлалтайгаар хэмжих шаардлага гарлаа. Иймээс дэлхийн тэргүүлэх орны хэмжил зүйн хүрээлэнгүүд физикийн суурь тогтмол дээр үндэслэгдсэн “килограмм”-ыг илүү өндөр нарийвчлалтайгаар гаргаж авахаар судалгаа

шинжилгээний ажлыг эрчимтэй хийж эхлэв. Эрдэмтэд “килограмм”-ыг суурь тогтмол дээр үндэслэн гаргаж авах олон жилийн оролдлого хичээл зүтгэлийн дүнд дараах хоёр аргын туршилт судалгааг зэрэг хийсэн байна. Энэ нь

а) “Ватт балансын арга”

б) “Силиконы атомыг тоолох” ба эдгээрийн талаар товч өгүүлье.

“Ватт балансын арга”

Планкийн тогтмол ба эгэл цэнэг дээр суурилсан хүчдэл ба эсэргүүцлийн квант цахилгааны эталонуор “килограмм”-ыг илүү тогтвортой гаргах боломжтой. Өөрөөр хэлбэл 1-р зурагт үзүүлсэн хөдөлгөөнт ороомог бүхий төхөөрөмж буюу “Ватт балансын” ашиглан эдгээр эталонуудтай илүү нарийвчлалтайгаар харьцуулж болно. “Ватт баланс”-ын санааг анх 1975 онд Английн эрдэмтэн В.Р.Кibble гаргаж тавьсан. В.Р.Кibble-ийн нэрээр нэрлэгдсэн “Ватт баланс”-ын туршилт нь жинлэх буюу “статик”, хөрвүүлэх буюу “динамик” гэсэн хоёр хэсгээс бүрддэг. Статик туршилт нь жингийн тэгнүүрийн нэг талд 1 кг масс бүхий туухай, нөгөө талд соронзон ороомгийг дүүжилж тэнцүүлэх юм. L урттай ороомог нь B соронзон урсгалын нягт бүхий соронзон орон дотор байрлана. Массатай туухайнд үйлчлэх хүндийн хүчийг ороомгийн хөдөлгөөнөөр үүсэх цахилгаан соронзон хүчтэй тэнцүүлнэ.

$$mg = ILB$$

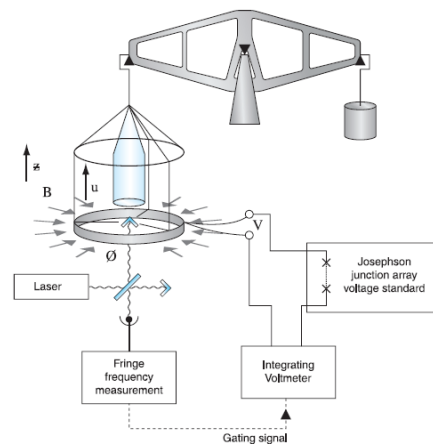
Динамик туршилт гэдэг нь ороомог нь соронзон орны босоо тэнхлэгийн дагуу v хурдаар шилжихэд үүсэх U хүчдлийг дараах томъёогоор илэрхийлбэл:

$$U = BLv$$

Гүйдэл, соронзон орны индукц ба ороомгийн геометр хэмжээсээс хамаарах хүчний хоорондох хамаарал нь хязгаарлагдмал ба эдгээрийн аль алийг нь хангалттай нарийвчлалтайгаар тодорхойлох боломжгүй байв. Үүнийг сайжруулах арга нь ороомгийг соронзон орны дагуу тогтмол хурдтайгаар хөдөлгөх явдал юм. Ингэснээр эхний хэмжлийн ижил параметруудээс хамаарах хүчдэл үүсэх бөгөөд энэ нь соронзон орны индукц (B) болон ороомгийн урт (L)-ыг хураах байдлаар дараах тэгшитгэлийг гаргаж болно. Мөн түүнчлэн хэрэв ороомгийн болон соронзон орны шинж чанарууд болох L ба B нь хоёр туршилтын хооронд өөрчлөгдөхгүй гэж үзвэл дээрх хоёр тэгшитгэлээс дараах тэгшитгэлийг гаргаж болно.

$$UI = mgv$$

Энэ тэгшитгэлийн зүүн талынх нь цахилгаан чадал, баруун гар талынх механик чадлыг илэрхийлнэ. Энэ хоёр төрлийн чадал зөвхөн "хийсвэр ойлголт" бөгөөд энэ нь дээрх хоёр туршилт нэг үе шатаар гарахгүй гэсэн утгатай юм. Цахилгаан чадлын хүчдлийг динамик туршилтын үед, гүйдлийн хүчийг статик туршилтын үед хэмжинэ.



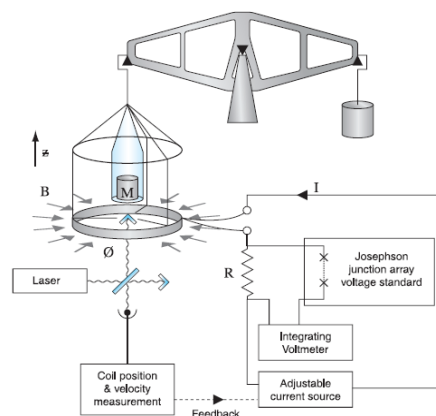
1-р зураг. Kibble “Ватт баланс”-ын зарчим.

Силиконы (Si) атомыг тоолох

Энэ арга нь “килограмм”-ыг атомын масстай холбон цахиур буюу силиконы (^{28}Si) тогтвортой изотопын тодорхой тооны атомын массаар тогтоож болно гэсэн санаа юм. Үүнийг хэрэгжүүлэхдээ маш цэвэр, тогтвортой силиконы талстад агуулагдах атомын тоог 1 кг силикон бөмбөрцөгийн эзэлхүүнийг хэмжиж нэгж эзэлхүүнд агуулагдах атомын тоон харьцаагаар тооцож болно. Силикон бөмбөрцгийн эзэлхүүнийг рентген туяа ба үзэгдэх гэрлийн интерференцийн техник ашиглан хэмжих юм. Ийм маягаар Авогадрын тоон утгыг маш өндөр нарийвчлалтай хэмжиж тогтоосон. Авогадрын тоо N_A нь нүүрстөрөгчийн изотопын 0.012 кг дах атомын тоогоор тодорхойлогдох ба энэ нь нэг моль бодисд агуулагдах жижиг хэсгүүдийн тоо юм.

Дүгнэлт

Эдгээр аргын аль аль нь “килограмм”-ыг суурь тогтмолтой холбож дахин тодорхойлсон ба хэмжлийн эргэлзээний шаардагдах утгыг илүү сайн хангаж байгаа нь “Ватт баланс”-ын арга байна. Тиймээс SI системийн массын нэгжийг Планкийн тогтмолын утгаар тодорхойлно.



2-р зураг.

Ашигласан материал:

- Олон улсын жин хэмжүүрийн товчоо (BIPM) –ны www.bipm.org сайт.

Физикийн дидактикийн чиглэлээр хэрэгжсэн судалгааны ажлын тойм

Б.Бурмаа, М.Ганбат, Ж.Дөлгөөн

МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

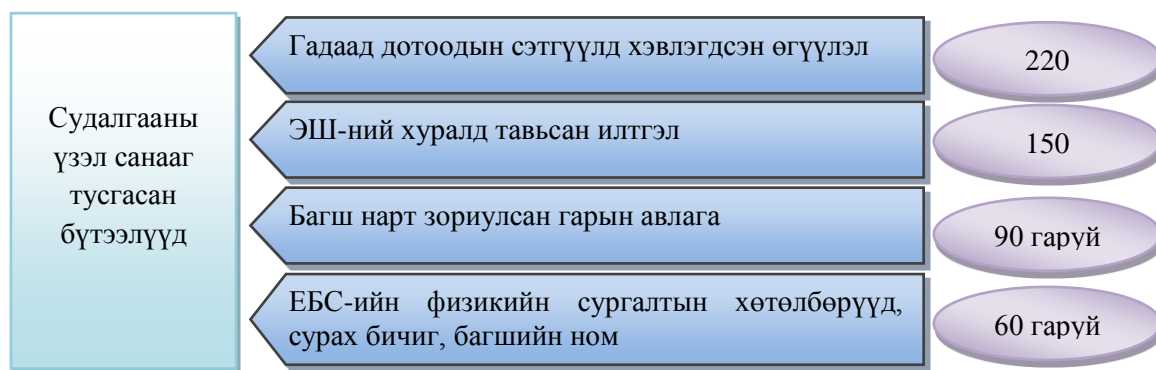
Физикийн дидактикт физикээс гадна дидактикийн шинжлэх ухааны онол, үзэл баримтлал чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Ерөнхий дидактикийн сургалт судалгааны үндсэн чиглэлүүдийн үзэл санааг физик боловсролын онцлогтойгоор нарийвчлан физикийн сургалтын хөтөлбөр, физикийн хичээл, физикийг сурах ба багшлах процессийг судлах чиглэлээр хэрэгжүүлж байгаа судалгаа болон сургалтын ажлын талаар товч тоймыг танилцуулж байна.

НЭГ. Сургалтын хөтөлбөрийн судалгаа:

XXI зуунд хүн төрөлхтөний тогтвортой хөгжилд боловсролын гүйцэтгэх үүргийг тодруулж, ирээдүйн иргэдэд насан туршдаа тогтвортой амьдрахад дэмжлэг болохуйц мэдлэг, чадвар, үнэт зүйл, хандлагатай болгохын тулд цэцэрлэгээс их сургууль хүртэлх **бүх түвшний сургалтын хөтөлбөрийг өөрчлөх** зорилт дэлхийн түвшинд дэвшигдсэн. Монгол улс НҮБ ба ЮНЕСКО-ийн гишүүн орны хувьд энэхүү зорилтыг хэрэгжүүлэхэд өөрийн гэсэн онцлогтой хувь нэмэр оруулах учиртай. Монголын бага дунд боловсролын бодлогыг боловсруулахад чиг баримжаа болох онол, үзэл баримтлалын талаар суурь судалгаа хийх төслийг БСШУЯ-ны захиалгаар МУИС-ийн МДССТ дээр хэрэгжүүлсэн. Судалгааны үр дүнгийн талаарх тайланг ном хэлбэртэйгээр гаргаж бага дунд боловсролын салбарын хэмжээнд тараасан. Үүнд:

- Сургууль соёлын хөгжлийн шинэ чиг хандлага (*кирриkyолим хөгжлийн онол, арга зүй*), 2002
- Багш боловсролын хөгжлийн шинэ чиг хандлага (*стандарт, кирриkyолимийн онол, арга зүй*), 2003

Монголын бага дунд боловсролын шинэ стандартыг боловсруулах үзэл баримтлалд баримжаалсан физикийн боловсролын стандарт, түүнийг хэрэгжүүлэх зөвлөмжийг боловсруулсан. Бид анх удаа физикийн хичээлээр үзэх шинжлэх ухааны агуулга, сэдвүүд буюу сургалтын оролтод (input) төвлөрсөн хөтөлбөрөөс сургалтын амжилтын хүлээгдэж буй үр дүн буюу сургалтын гаралтад (output) төвлөрсөн стандартад шилжих эхлэлийг тавьсан. Физикийн боловсролын стандартад сурагчдын эзэмших ёстой цогц чадамж (competence)-ын мужуудыг сонгохдоо ЮНЕСКО-оос гишүүн орнуудад санал болгож байсан суралцахуйн 4 багананд баримжаалж, цогц чадамж (competence)–ухагдахууныг ЭЗХАХБ (OECD), 2002-д хэрэгжүүлсэн “Definition and selection of competencies: Theoretical and conceptual foundations”-сэдэвт судалгааны төсөлд тусгасан тодорхойлолтын дагуу хэрэглэсэн. Улмаар физикийн боловсролын стандартад тусгагдсан цогц чадамжуудыг эзэмшүүлэх чиглэлээр сургалтын хөтөлбөр ба сурах бичгийн агуулга арга зүйг боловсруулсан. Сургалтын хөтөлбөрийн судалгааны хүрээнд гарсан бүтээлүүдийг товч байдлаар танилцуулав. (2000-2017 он).



ХОЁР. Хичээлийн судалгаа

20-р зууны сүүл үеэс эхлэн физикийн хичээл ба физикийг сурах, багшлах үйл ажиллагааг физик, сурган хүмүүжүүлэх ухаан, сэтгэл судлал зэрэг олон шинжлэх ухааны уулзвар дээр авч үздэг физикийн дидактикийн шинжлэх ухаан хөгжиж эхэлсэн. Бид анх удаа их дээд сургуулиар физикийн багш бэлтгэх хөтөлбөрт “физикийн дидактик”–хичээлийг оруулж лекц ба семинарын хичээлийн хөтөлбөрийг нь боловсруулан хэрэгжүүлсэн. Орчин үеийн дидактикийн суурь судалгаанд *багш мэргэжилтэн бол сургууль гэдэг байгууллагад, хичээл гэдэг ажлыг хийж, сурч буй хүнд үйлчилдэг мэргэжилтэн* гэж тодорхойлж байна. Физикийн хичээлийн гол мэргэжилтэн болох физикийн багш хүний физикийн хичээлийн талаарх мэдлэг чадварыг эзэмшүүлэх зорилготой физикийн дидактик хичээл дээр ЕБС-д физикийн хичээл орох хэрэгцээ шаардлага, физикийн хичээлийн зорилго, агуулга, арга зүй, хэрэглэгдэхүүн, үнэлгээ гэх мэт физикийн хичээлтэй холбоотой бүхий л асуудлын талаар авч үздэг. Энэхүү мэдлэг, чадвар дээрээ суурилан багшлах ажлын туршлага хуримтлуулан, хичээлээ хөгжүүлэх чиглэлээр практик судалгаанууд хийж багш хөгждөг.

2006 оноос Японы Жайка байгууллагын дэмжлэгтэйгээр БСШУЯ-д хэрэгжсэн төслийн хүрээнд Токио хотын Гакугей их сургуулийн багш нартай хамтран Монгол ба Японы физикийн хичээлийн талаар харьцуулсан судалгаа хийж, улмаар японы багш нарын арга зүйгээс суралцах чиглэлээр туршилт судалгааны ажлыг дунд сургуулийн физикийн багш нарыг оролцуулан гүйцэтгэсэн.

Хичээлийн судалгааны үр дүнд боловсрогдсон бүтээлүүдийн тоймыг дараах хүснэгтээр харуулав.

Их дээд сургуулийн оюутнуудад зориулсан физикийн дидактикийн сурах бичиг	4
Физик, байгалийн ухааны багш нарын хичээлийн судалгааны талаар өгсөн модуль зөвлөмжүүд	15
Физикийн хичээлийн судалгааны төсөлд хамрагдсан аймаг хотын загвар сургуулиуд	7 аймаг, УБ хот

ГУРАВ: Суралцахуй ба багшлахуйн үйл ажиллагааны судалгаа

Физикийг сурах багшлах үйл ажиллагаа нь суралцахуйн сэтгэл судлалын онол, үзэл баримтлал дээр суурилдаг. Бид суралцахуйн сэтгэл судлалын онолын шинэ парадигм болох когнитив конструктив үзэл баримтлалын хүрээнд судалгааны ажлаа явуулж

байна. Судалгааг бакалавр ба магистрын ажлын судалгааны хэлбэрээр явуулж ирсэн. Физикийг сурах багшлах асуудлын талаар хийгдсэн судалгааны бүтээлийн тоймыг дараах хүснэгтээр харуулав.

Бакалаврын ажил	48
Магистрын ажил	24

Бид физик дидактикийн шинжлэх ухааны судалгааны империк чиглэлүүдийг өөрийн оронд нутагшуулан, ерөнхий боловсролын дунд сургуулийн физик сургалтын онол аргазүй, шинэчлэлийг манлайлан, МУИС-д физикийн багшийн ангийг байгуулан улам хөгжүүлж байна.

Хамгийн анхны халуун цөмийн цахилгаан станц хэзээ ашиглалтад орох вэ?

А.А.Акатов, Ю.С.Коряковский

Орчуулсан

Б.Алтанхүү¹, М.Чадраабал²

¹МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

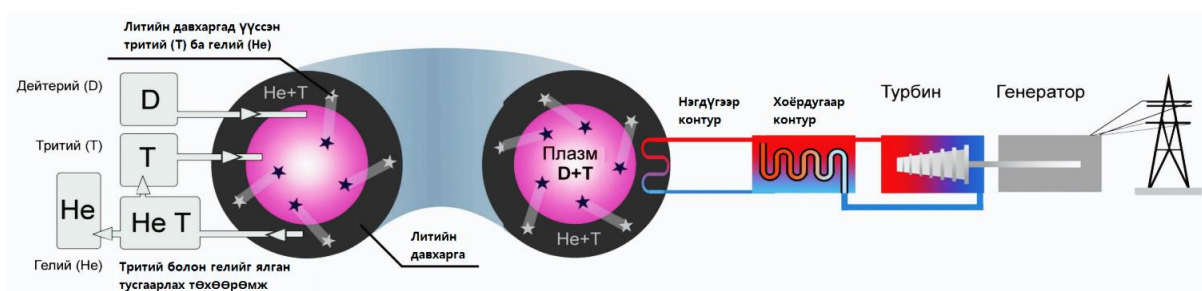
²Цөмийн Энергийн Комисс

Токамак дээр суурилсан ITER туршилтын реакторыг 2019 он гэхэд барьж угсарч дуусна гэж тооцоолж байгаа. Ингэсний дараагаар эрдэмтэд өндөр температурын плазмын янз бүрийн горим дахь төлөв байдлыг судлах туршилтуудыг хийж эхлэх юм. Судалгааны эхний үе шатуудад плазмыг ердийн устөрөгчөөс (H) гаргаж авна тиймээс дейтерий, тритийн материалтай ажиллах шаардлага гарахгүй гэж үзэж байгаа. Өөрөөр хэлбэл реакторын хана, хэсгүүдийг нейтроны урсгалаар цацрагжуулахаас зайлсхийхийн тулд эхлээд халуун цөмийн урвал явуулахгүйгээр судалгаа хийнэ гэсэн үг.



ITER реакторын харагдах гадаад байдал (3D загвар). Реактор улбар шар өнгөтэй барилга дотор байрлана. Бусад нь дагалдах барилгууд байх юм.

Харин 2026 оноос яг халуун цөмийн урвалыг явуулж эхлэхээр төлөвлөж байгаа. Тэр хүртэл ITER дээр плазмыг турших судалгаа явуулах бөгөөд үүнтэй нэгэн зэрэг Японд тусгай стэнд дээр янз бүрийн материалын нейтроны хүчтэй шарлагат тэсвэртэй шинж чанарыг судлах туршилтууд хийгдэх ажээ.



Халуун цөмийн реактороор цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх процессын схем: Токамак доторх дейтерий-тритийн плазмд цөмийн нэгдэх урвал явагдахад гелий үүсч, нейтрон сугарна. Урвалын явцад ялгарсан энергийн 80% нь нейтроноор зөөгдөн литий бүхий давхаргад хүрч очно. Үүний улмаас уг давхарга халж литий нь тритий болон гелий болж хувирна. Тритий нь эргээд түлшний материал болно. Харин халсан литийн давхарга өөрийн дулааныг I контурын (дулаан дамжуулах систем) дулаан зөөгчид (хий юм уу шингэн металл) ишлжүүлнэ. Эндээс дулаан II контурын дулаан зөөгчид (ус) дамждаг. Ус ууршихад уур нь турбиныг эргүүлнэ. Турбин эргэж цахилгаан үүсгэнэ.

Бүх туршилт судалгааны ажил амжилттай болсон тохиолдолд 2037 оноос реактор цахилгаан эрчим хүчийг үйлдвэрлэж эхлэх юм. Мөн тэр үед халуун цөмийн салбарт дараагийн шинэ үеийн реакторуудыг үйлдвэрлэж эхлэхэд хүрэлцэхүйц хэмжээний мэдлэг, туршлага хуримтлагдсан байх болно гэж тооцоолж байгаа.

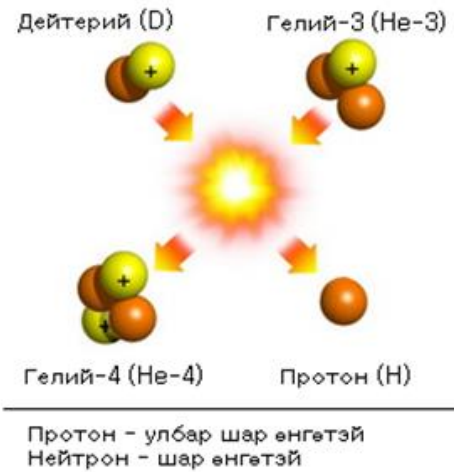
Гэсэн хэдий ч дэлхийн анхны бүрэн хэмжээний халуун цөмийн цахилгаан станц ашиглалтад орох хүртэл бид нэлээн удаан хүлээх хэрэгтэй бололтой. Хамгийн өөдрөг таамгаар бол дор хаяж л 2050 хүртэл, харин тийм ч өөдрөг биш таамгаар бол 2090 он хүртэл хүлээх шаардлагатай гэнэ.

Хэтдээ халуун цөмийн реакторыг дейтерий-тритий биш харин дейтерий ба гелий-3 агуулсан түлшээр ажилладаг болно гэж үзэж байгаа. Дейтерий болон тритий нь нэгдэх урвалд ороход их хэмжээний нейтрон ялгарч реакторын ханыг цацраг идэвхитэй болгон бат бэх чанары нь бууруулдаг байна. Ийм нейтроноос ангижрахын тулд тритийн оронд гелий-3 хэрэглэх юм. Гэхдээ ингэснээр бас нэг “жижиг” асуудалтай тулгарнаа.

Гелий-3 урвалд орохын тулд плазмыг хэдэн тэрбум градус хүртэл халаах хэрэгтэй болно. Одоохондоо энэ бидний хүчин чадлаас давсан хэрэг авч хагас зуун жилийн дараа бол байдал өөр болсон байна гэж үзэх үндэс бий.

Гелий-3-тай холбоотой өөр нэг асуудал бол түүнийг хэрхэн гаргаж авах (олборлох) явдал. Дэлхий дээр гелий-3 нь тоо хэмжээний хувьд бага биш ч маш сийрүү тархсан байдаг. Жишээ нь жилд дөнгөж хэдхэн арван грамм гелий-3-ыг л агаар мандлаас гаргаж авч байна. Мэдээж энэ бол маш бага тоо. Олборлолтыг сансраас хийх бас нэг хувилбар бий. Гелий-3 нь нарны салхинд агуулагдаж байдаг учраас агаар мандалгүй гариг, дагуулын гадаргад хуримтлагдах боломжтой. Тухайлбал сарны гадаргад (реголит) гелий-3 тэрбум тэрбум жилийн туршид алгуур хуримтлагдсаар одоо сарны 1 тонн хөрсөн дэхь агууламж нь 0.01 г хэмжээнд хүрчээ. Энэ нь бид саран дээрээс нийт 500.000 тонн (хамгийн ихдээ бол бүр 10 сая тонн хүртэлх) хэмжээний гелий-3-ыг олборлох боломжтой гэсэн үг юм. Гэтэл дэлхийн агаар мандалд дөнгөж 35.000 тонн орчим агуулагддаг. Гэхдээ сарнаас гелий-3 олборлохын тулд маш их “хар ажил” хийх шаардлагатай ажээ. Нэг тонн гелий-3 гаргаж авахын тулд 100 сая тонн хөрсийг ухаж боловсруулах хэрэгтэй гээд төсөөл дөө. Үүний тулд жишээ нь 20 км² талбай бүхий газрыг 3 м хүртэл гүн ухах ёстой болно. Өөрөөр хэлбэл бид одоохондоо сарнаас гелий олборлох талаар яриад хэрэггүй гэсэн үг юм аа. Тийм ч учраас “хоол болтол шийр зугаа” гэгчээр саран дээрээс ашигт малтмал олборлож эхлэх тэрхүү “гэрэлт” ирээдүйг хүлээх зуураа эрдэмтэд гелий-3 гаргаж авах харьцангуй хямд төсөр нэгэн аргыг олсон байна. Энэ нь гелий-3-ыг литий-6-аас гаргах арга юм. Литий-6 байгальд бас АЦС-ын реакторуудад элбэг тархсан изотоп.

Яг өнөөдөр халуун цөмийн эрчим хүч нь хурц ширүүн маргааны сэдэв болоод байгаа. Халуун цөмийн эрчим хүчийг эсэргүүцэгчдийн байр суурийг зарчмын хувьд ойлгож болно. Анхны токамак дээр өндөр температурт плазмыг гаргаж авч чадсанаас хойш



Дейтерий ба гелий-3-ын нэгдэх урвал

даруй хэдэн арван жил өнгөрчээ. Гэвч энэ хугацаанд дорвитой ахиц дэвшил дахиж ер гарсангүй. Тулгарах бүх саад бэрхшээлийг бүгдий нь амжилттай шийдэж чадна гэх зуун хувийн баталгааг хэн ч өгч чадахгүй учраас хэтийн зорилт төлөв тодорхойгүй, ажил маш удаан эрэмбээр урагшилж байгаа юм.



Шинжлэх ухааны уран зөгнөлт “Moon” (2009, АНУ) киноны гелий-3 олборлох машин (gavinrothery.com сайтаас авав).

Гэхдээ эрдэмтдийн зорилго бол зөвхөн эдийн засгийн хувьд үр ашигтай халуун цөмийн цахилгаан станц бүтээх явдал биш, үүний хажуугаар мөн өндөр температурт плазм, хөнгөн цөмийн нэгдэх урвалын процесс зэргийг судлах өргөн хүрээтэй суурь судалгаанууд явагдаж байдаг гэдгийг санах хэрэгтэй болов уу. Ийм судалгаа хийснээр эрдэмтэд байгалийн хууль зүй тогтлыг улам л гүнзгий танин мэдэж мэдлэгийн сангаа баяжуулж байгаа хэрэг. 20-р зууны эхэнд эрдэмтэд цацраг идэвхийн үзэгдлийг судалж эхэлж байх үед энэ нь практик хэрэглээ бараг байхгүй тийм судалгааны салбар байв. Гэтэл одоо цацраг идэвхит бодис болон цацраг туяаг ашиглаагүй шинжлэх ухаан, аж үйлдвэрийн салбар байхгүй болсон байна. Тийм л учраас хэзээ нэгэн цагт хүн төрөлхтөн халуун цөмийн урвалыг ч бас жолоодож сурна гэдэгт та бараг эргэлзэхгүй байж болно.

Ном зүй

- А.А.Акатов, Ю.С.Коряковский, “Будущее ядерной энергетики. Термоядерные реакторы”, М. : АНО “Информационный центр атомной отрасли”, 2012, 16-19 тал.

Латтис квантхромодинамик ба глюоны урсгалын хоолой

Ч. Содбилэг, Г. Энхтуяа* , Э. Лаэрманн

Шинжлэх Ухааны Академи, Физик технологийн хүрээлэн

*enkhtuya.galsandorj@gmail.com

Их температур дахь материйн шинж чанарын судалгаа нь туршилтын болон онолын их энергийн физикт маш сонирхолтой сэдэв байсаар байгаа бөгөөд хүнд ионы мөргөлдөөний туршилт ба мөн космологитой холбоотой юм. Энэ нөхцөлд матери хэрхэн бүрэлдэн бий болсныг тайлбарладаг физикийн үндсэн онол нь хүчтэй харилцан үйлчлэлцэгч кварк глюоны онол буюу Квант хромодинамик (КХД) юм. Байгаль дээр дангаар орших салангид кварк одоог хүртэл ажиглагдаагүй байгаа бөгөөд адрон буюу кваркийн холбоост төлөвөөс дан кваркийг салгахыг оролдсон бүх оролдлогууд амжилтгүй болсон. Үүнийг кварк конфайнментийн үзэгдэл гэж нэрлэдэг бөгөөд үүний механизм нь хараахан бүрэн тайлбарлагдаагүй хэвээр байна. Үүнийг КХД-т, кваркуудын хоорондох харилцан үйлчлэлийг зөөгч глюонууд нь харилцан үйлчлэл дамжуулахаас гадна мөн өөрөө өөртэйгөө харилцан үйлчлэлцдэгээс шалтгаалдаг ба мезон доторх кваркуудын хоорондох глюоны урсгал нь кваркуудыг холбож байгаа нарийхан хоолой дотор шахагдсан хэлбэртэй байдаг. Хязгааргүй нарийхан урсгал буюу string конфайнмент нь өөрөө статик кварк, анти кварк хоорондын шугаман өсдөг потенциалын нотолгоо болдог. Тиймээс конфайнмент үзэгдлийн талаар илүү мэдээлэл авахын тулд глюоны урсгалын хоолойг нарийвчлан дэлгэрэнгүй судлах шаардлагатай юм. Их температурт дахь статик кваркуудын хооронд орших глюоны урсгалын хоолойн анализ буюу түүний нэгж урт дахь энергийн хэмжээ, өргөн зэргийг судлах нь конфайнмент үзэгдлийн талаар мэдээлэл авахад маш сонирхолтой судалгаа болдог.

Бид энэ ажилд адронжсон төлөвөөс деконфайнмент төлөв рүү шилжих фазын шилжилтийг туулах үед глюоны урсгалын хоолой хэрхэн өөрчлөгдөж, ямар шинж чанартай болохыг судлах болно. Үүний тулд, урсгалын хоолой доторх орны хүчлэгийн хромо цахилгаан ба хромо соронзон компонентуудыг өөр өөр температурын утганд, Поляковын гогцоо ба плакетын корреляцаас хэмжиж авна. Эдгээр компонентуудын тууш ба хөндлөн түгэлтээс урсгалын хоолойн физик өргөн температураас хэрхэн хамаардаг хамаарлыг гаргаж харах боломжтой. Мөн тэг бус температур дээрх хүнд кварк ба анти кваркийн хоорондох өнгөөр дундажлагдсан потенциал нь температураас хамааралтай таталцлын коэффициентын утгуудыг тодорхойлох боломжийг бидэнд олгодог. Тасралтгүй физиктэй илүү ойр байх урсгалын хоолойн геометрийг судлахын тулд бид латтисын нягтаршил болон латтисын хэмжээг өмнөх ажлаасаа нэлээд хэмжээгээр нэмэгдүүлсэн. Ингэхэд компьютерын хүчин чадал болон багтаамж маш ихээр шаардагддаг. Иймээс бид GPU тооцоолол хурдасгагчийг ашиглан гэж орны конфигураци үүсэх хурдыг нэмэгдүүлсэн. GPU хурдасгагчийг ашиглахын тулд бид өөрсдийн глюоны урсгалын хоолойн симуляцийн кодыг CUDA програмчлалын хэл дээр хөрвүүлэн бичсэн. Ингэснээр бид богино хугацаанд маш өндөр статистиктай үр дүнг гаргаж авах боломжтой болсон ба өмнөх ажлаасаа бараг хоёр дахин хол зайд тод сигналыг ялган авч чадсан. Монте Карло тоон симуляцийг SU(2) цэвэр гэж онолоор

кварк анти кваркийн хоорондох зайн $0.2\text{fm} - 2.3\text{fm}$ байх мужид, $0.75T_c - 1.29T_c$ хүртэлх утгууд дээр гүйцэтгэв. $32 \times 12^2 \times 6$, $32 \times 18^2 \times 6$, $40 \times 16^2 \times 8$ гэсэн гурван өөр хэмжээтэй латтисууд дээр хэмжилт хийв.

Эхлээд бид $32 \times 12^2 \times 6$ ба $40 \times 16^2 \times 8$ хэмжээтэй латтисуудын хувьд урсгалын хоолой доторх хромоцахилгаан орны параллел компонентын тууш болон хөндлөн түгэлтийг хоёр кваркын хоорондох зайн хэд хэдэн утганд, температураас хамааруулан зурж харуулсан. Тууш түгэлтийн үр дүнгээс харахад хоёр кваркийн хоорондох яг голын цэг дээрх орны хүчлэгийн утга буюу өөрөөр хэлбэл, урсгалын хоолойн өндөр нь температур ихсэхэд буурч байгаа нь маш тодорхой харагдсан ба температур T_c -д хүрэхэд хоёр тусгаарлагдсан кваркийн түгэлтийг харуулж байсан. Энэ үр дүн нь глюоны урсгалын хоолой зөвхөн конфайн фазад л оршин байдаг гэсэн онолтой тохирч байна.

Мөн латтисын хөндлөн чиглэлийн хэмжээ нь физик үр дүнд хэрхэн нөлөөлдөг болохыг $32 \times 12^2 \times 6$ болон $32 \times 18^2 \times 6$ латтисуудын хувьд шалгасан. Ингэхэд, β -ын бага утга буюу бага температуртай үед хөндлөн чиглэлийн хэмжээ нь үр дүнд нөлөөлдөг болох нь харагдсан. Харин температур их болж критик температурын ойролцоо болоход үр дүн нь латтисын хөндлөн чиглэлийн хэмжээнээс хамаарахгүй болж байсан. Бид критик температурын эргэн тойрон дахь температурын утгуудад хэмжилт хийх учраас энэ хөндлөн чиглэлийн нөлөөг тооцохгүй байж болно гэсэн дүгнэлтэнд хүрсэн.

Бид хөндлөн түгэлтэнд функционал фит хийснээр глюоны урсгалын хоолойн физик өргөнийг кваркуудын хоорондох зайнаас болон температураас хамааруулан тооцож гаргасан. Температураас хамаарах хамаарлын хувьд, хоёр өөр хэмжээтэй латтис дээр тооцоолсон урсгалын хоолойн физик өргөний утгуудын аль аль нь T_c хүртэл өргөсөж байгаад критик температураас цааш буурч байсан. Энэ нь бидний өмнөх ажилд тодорхойлсон температураас хамааран аажмаар буурч байсан хамаарлаас нэлээд ялгаатай байсан. Одоогийн үр дүн нь өмнө бусад судлаачдын харуулсан температур өсөхөд зайнаас хамаарч глюоны урсгалын хоолой өргөсөх өсөлтийн мурийн налалтын өнцөг ихсэж байгааг өндөр нарийвчлалтайгаар дахин баталсан. Иймээс T_c -с бага температурын утганд урсгалын хоолойн өндөр ба өргөн нэгэн зэрэг буурдаггүй харин температур T_c -с их болоход дээрх хамаарал ажиглагддаг гэсэн дүгнэлтэнд хүрлээ.

Бид мөн температураас хамааралтай таталцлын коэффициентын утгыг хоёр кваркийн хоорондох потенциалас, хоёр ялгаатай латтисаас гарган авсан потенциалын датанд гурван төрлийн потенциалын хэлбэрээр фит хийснээр гарган авахыг зорьсон. Бүх потенциалын хувьд таталцлын коэффициентын утгууд нь температур ихсэхэд маш тодорхой буурч байсан. Хоёр өөр латтисаас гарган авсан таталцлын коэффициентын үр дүнг $24 \times 12^2 \times 6$ латтисаас гарган авсан бидний өмнөх үр дүн, мөн түүнчлэн тэг температур дахь потенциалын зайнаас шугаман хамааралтай хэсгийн хамгийн бага эрэмбийн температурын нөлөөтэй харьцуулан харсан. Ингэхэд, таталцлын коэффициентын утгууд нь тэг температуртай байх үеийн мурийгаас нэлээд хазайж байгаа хазайлт ажиглагдсан. Энэ нь таталцлын коэффициент нь температураас хамаардаг гэдгийг батлан харуулж байна. Мөн латтис илүү том ба нягт болж нарийвчлал сайжрахад температураас хамааралтай таталцлын коэффициентын утга нь өмнөх жижиг, сийрэг латтисын үр дүнтэй харьцуулахад буурах хандлагатай байсан.

Глюоны урсгалын хоолойн талаар дэлгэрэнгүй мэдээллийг олж авснаар бид конфайнмент үзэгдлийн механизмыг тайлбарлах судалгаанд тодорхой хувь нэмэр оруулж чадаж байгаа юм.

Урт удаан хугацааны хайгуул – Хигс бозон

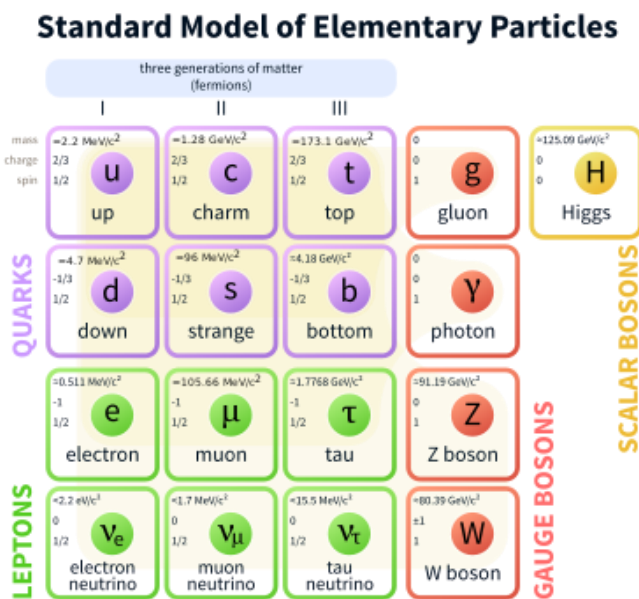
Б.Билгүүн

ШУА, Физик Технологийн Хүрээлэн, Эгэл бөөм цөмийн физикийн салбар

Өдгөөгөөс 50 гаруй жилийн өмнө их энерги, эгэл бөөмийн физикчид мухардалд ороод байлаа. Тэднийг мухардалаас Петер Хигс гэх 30 шүргэж явсан залуухан Британи гаралтай физикч аварсан юм. Түүний санаа тун энгийн: Материал судлал дахь тэгш хэм аяндаа эвдрэх үзэгдлийг яагаад эгэл бөөмийн физикт ашиглаж болохгүй гэж?

2013 онд физикийн салбар дахь нобелийн шагналыг Франсуа Энглерттэй хамт хүртсэн тэрбээр 1929 онд мэндэлсэн Их Британи гүрний онолын физикч юм. 1960 онд эрдэмтэд цахилгаан соронзон харилцан үйлчлэл болон цөмийн сул харилцан үйлчлэлийн тухай идэвхитэй судлах болжээ. Улмаар эдгээр хоёр харилцан үйлчлэл нь өдгөө цахилгаан сул гэж нэрлэгдэх нэг харилцан үйлчлэлийн хоёр өөр төрх гэдгийг олж нээсэн юм. Гэвч асуудлууд ар араасаа цуварч эхлэв...

Хэрвээ Салам-Вейнберг-Глашоу нарын цахилгаан сул онол үнэн бол ертөнц дэхь бүх эгэл бөөмс массгүй байх ёстой байв. Гэвч туршилтын физикч нар сул харилцан үйлчлэлийг зөөгч бөөмс нь протоноос хүнд масстай гэдгийг таамаглаж байсан төдийгүй материйн үндсэн бүрэлдэхүүнд багтах электрон нь маш бага ч масстай гэдгийг нэгэнт нотолсон юм. Тэдний онолд масс дутагдаж байв.



Зураг 1. Эгэл бөөмийн физикийн стандарт онол.

Хигс бөөм гэж болно. Хигс бөөмийн улмаас цахилгаан сул харилцан үйлчлэл цөмийн сул болон цахилгаан соронзон гэсэн хоёр өөр харилцан үйлчлэл болон салцгаах бөгөөд үр дүнд нь сул харилцан үйлчлэлийг зөөгч бөөмс Хигс бөөмтэй харилцан үйлчлэлд орсноор масстай болно. Хигс механизм – гэж нэрлэгддэг энэ механизм бусад эгэл бөөмсийн хувьд ч хүчинтэй. Электрон, протоныг бүтээгч кварк зэрэг бөөмс нь Хигс бөөмтэй харилцан үйлчлэлд орсноор масстай болно. Ийнхүү орчин үеийн эгэл бөөмийн

Петер Хигс, Франсуа Энглерт тэргүүтэй эрдэмтэд материал судлал дахь тэгш хэм аяндаа эвдрэх үзэгдлийг эгэл бөөмийн физикт ч мөн хэрэглэж болно гэж үзжээ. Энэ санаа нь цахилгаан сул харилцан үйлчлэлийн тухай Салам-Вейнберг-Глашоу нарын онол дахь нүхийг амжилттай бөглөсөн юм. Үр дүнд нь цахилгаан сул харилцан үйлчлэлийн тэгш хэм аяндаа эвдэрвэл сул харилцан үйлчлэл төдийгүй бусад бүх эгэл бөөмсүүдэд ч масс олгох боломжтой. Харин тэгш хэм хэрхэн эвдрэх билээ?

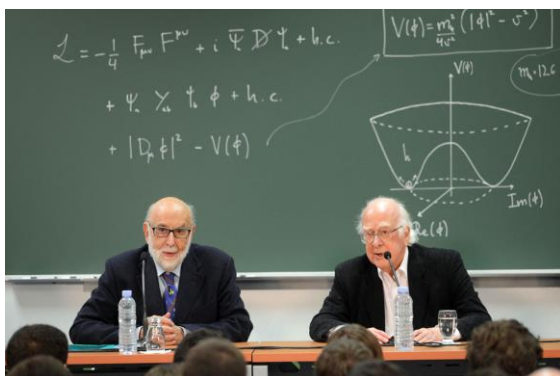
Тэгш хэмийн эвдрэлийг бий болгохын тулд бидэнд – Хигсийн орон хэрэгтэй. Үүнийг хялбараар

физикийн Стандарт Онолын суурь тавигджээ. Стандарт Онолын амин сүнс нь Хигсийн механизм юм. Ганц л асуудал үлдэв: Түүнийг хэрхэн илрүүлэх вэ?



Зураг 2. CERN – LHC.

Цахилгаан сул харилцан үйлчлэлийн тэгш хэмийн аяндаа эвдрэлийг бий болгогч Хигс орон үнэхээр бий бол түүнд хамаарах Хигс бөөм ч мөн оршин байна. Энэхүү бөөм нь бүхий л масстай бөөмстэй харилцан үйлчлэлд орохоос гадна тэдгээр бөөмсүүд рүү задардаг. Тэгвэл асуудал хялбар биш гэж үү? Хигс бөөм хоёр фотон (гэрлийн бөөм) эсвэл хоёр электроны хос (электрон – анти электрон) болон задрах дохиог л илрүүлцгээе. Хялбархан сонсогдож байж болох ч бодит байдал үүнээс төвөгтэй. Учир нь Хигс бөөмийг лабораторын орчинд бий болгохын тулд эрдэмтдэд асар том хэмжээтэй, их энергитэй хурдасгуур хэрэгтэй юм. Аз болж 1980-аад оны төгсгөл үеэс Европийн цөмийн шинжилгээний нэгдсэн төв – Хигс бөөмийг бий болгох чадвартай протон-протоныг мөргөлдүүлэгч Аварга Адроны Хурдасгуур – LHC –г барьж эхлэв. Тэвчээртэй хүлээх л үлдлээ...



Зураг 3. Зүүн талаас Франсуа Энглерт болон Петер Хигс нар.

Тиймээ ердөө 50-хан жил л тэвчээртэй хүлээх хэрэгтэй болсон. LHC хурдасгуурын барилгын ажил 2008 оныг хүртэл үргэлжилж, 2008 оны 9-р сарын 10-ны өдөр LHC анхны протонуудаа хурдасгалаа. Бүгд догдлон булгилах зүрхээ чангалцгаан үр дүнг хүлээж байв. Харамсалтай нь гамшиг тохиолдов. Ердөө хэдхэн сарын дараа хурдасгуур дээр осол гарч дахин завсарлах ажил нэг жил орчим өрнөв. Ингээд LHC 2010 оноос эхлэн анх төлөвлөсөн энергээс хоёр дахин бага энергээр (7 ТэВ) ажиллаж эхэлжээ. Бүгд чих тавин хүлээж байлаа. Эхний нэг жил юу ч дуулдсангүй. Хоёр дахь жил эхэллээ.

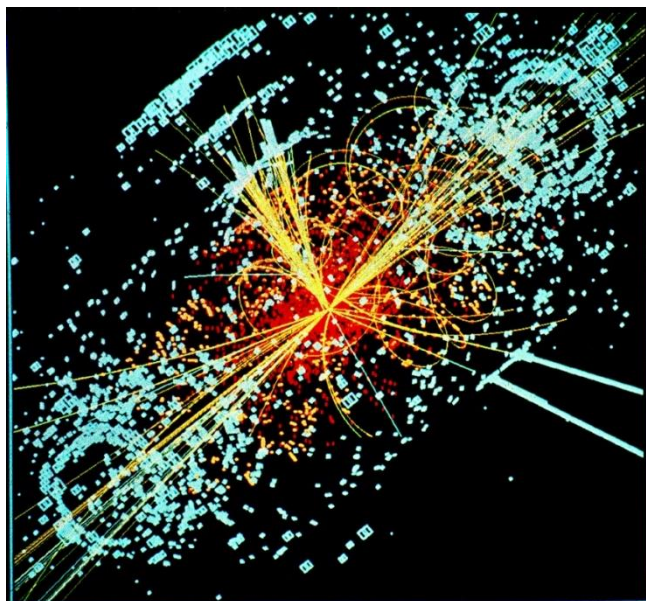
2012 оны 7-р сарын 4-н CERN – LHC Хигс бозон байж болзошгүй шинэ бозон нээснээ бахдалтайгаар зарлав. Петер Хигс, Франсуа Энглерт нар энэ өдөр уйлж байсан гэдэг. Тавин жилийн дараа эцэст нь Хигс бөөмийг нээснээ 2013 оны 10-р сарын 8-ны өдөр CERN-LHC тунхаглав. Энэхүү нээлт нь тэднийг тухайн жилийн Нобелийн шагналын

ээд болгосон юм. Нэгэн хагас зууны хүлээлт болсон Хигс бозоны нээлт нь дэлхийн өнцөг булан бүрээс цугласан 5000 орчим судлаачид, эрдэмтэдийн багаас бүтсэн хүмүүсийн нөр их хөдөлмөрийн үр дүн юм. Туршилтын багийнханы бичсэн эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд багтсан хүмүүсийн тоо л гэхэд дангаараа арван хуудас давж байсан гэдэг. Өдгөө CERN-LHC дээр ажиллах судлаачид Хигс бозоны задралын сувгуудыг гүнзгийрүүлэн судалж байна.



Зураг 4. CERN – LHC дээрх ATLAS туршилтын багийн гишүүд.

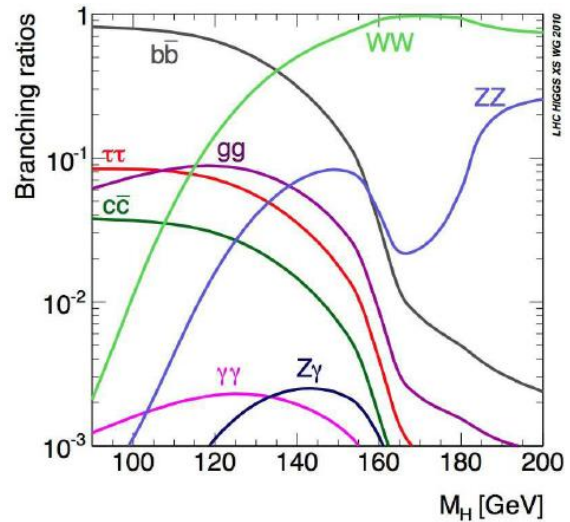
Ердөө ганцхан хоногийн өмнө буюу 2018 оны 8-р сарын 28-ны өдөр, Хигсийн нээлтээс 6-н жилийн дараа Хигс бөөм bottom кваркын (боттом кварк – анти боттом кварк) хос руу задрах үзэгдлийг бүртгэж авсанаа дэлхий нийтэд заралжээ. Хигс бөөм нь бусад бөөмсүүд рүү задарч болохыг өмнө дурьдсан. Гэхдээ тэдгээр бөөмсүүдээс хамгийн ихдээ буюу нийт задарлынхаа 50% д нь Хигс бөөм bottom кваркын хос руу задардаг. Хигс бозоны нээлт нь Хигс бөөм фотоны хос руу задрах үзэгдлийг ажиглажээ. Хигс нийт задралынхаа ердөө 2 хүрэхгүй хувьд нь фотоны хос руу задардаг. Хамгийн өндөр задарлын сувгийг ажиглах нь яагаад ийм хэцүү байв?



Зураг 5. CERN – LHC дээрх протоны мөргөлдөөний үр дүнг дүрсжүүлсэн байдал. Хигс хаана байна вэ?

LHC дээр мөргөлдөж буй протоны мөргөлдөөнөөс төрөл бүрийн бөөмс үүсдэг. Эдгээр нь бидний сонирхон судалж буй үзэгдэлтэй ижил төстэй харагдаж болох бөгөөд сонирхож буй үзэгдлээ бусад “дэвсгэр” үзэгдлээс салгах нь судлаач нарын шүдний өвчин юм. Фотоны хувьд тэд хангалттай сайн ялгаж чаддаг бол bottom кваркын хувьд нөхцөл байдал эсрэгээрээ. Маш их хэмжээний bottom кварк үүсгэх үзэгдлүүд

мөргөлдөөний үед бий болох ба ихэнх нь Хигстэй адил “харагдаж” болно. Энэ хүндрэлтэй байдал нь тэднээс ахин 6-н жилийн нөр их хөдөлмөрийг шаардсан юм. Яагаад бүх задралын сувгийг бүртгэж авах хэрэгтэй вэ? Ганцийг бүртгэж аваад Хигс бөөм байгааг баталсан нь хангалттай биш гэж үү? Тиймээ энэ нь хангалтгүй. Эгэл бөөмийн физикийн Стандарт Онолд Хигс бөөм бусад бөөмс рүү задрах задралын хэмжээг маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон байдаг. Маш багахан хэмжээний зөрүү гарах нь гайхамшиг руу хөтөлж болно. Шинжлэх ухаанд онолын таамаглалыг батлахын сацуу онол буруу болохыг эсвэл онолоос зөрөх багахан хэмжээний ялгааг олж тогтоох нь тун чухал юм. Учир нь энэхүү зөрүү нь эрдэмтэдийг өөр нэгэн үл мэдэгдэх ертөнц рүү нэвтрэх үүд болдог. Тиймээс ч дэлхийн өнцөг булан бүр дэх эрдэмтэд, судлаачид энэхүү бяцхан хэмжээний зөрүүг харц салгалгүй хүлээж байна. Тэд шинэ мэдлэг, шинэ физикээр цангаж байна.



Зураг 6. Хигс бөөмийн задралын сувгууд.

Радикалын тухай дахин бодохуй

Европын Химийн Роял Нийгэмлэгийн “Химийн ертөнц” сэтгүүлээс
орчуулсан

С. Мөнхцэцэг

МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

Чөлөөт радикалууд бидний боддогчлон шиг тийм ч муу биш байж болох юм. Антони Кинг тэдгээрийн эрүүл мэндэд сайн байж болох тухай тайлагнав.

“Урвалын идэвхт хүчилтөрөгч бүхий нэгдлүүдийг бидний эрүүл мэндэд муу нөлөөтэй ялангуяа хөгшрөлтийг түргэсгэдэг. Эдгээр их энергитэй радикалууд нь протейн ба DNA болж задрахаас гадна тэдгээрийг эвдрэлд оруулах, даралт үзүүлэх чадалтай. Жимс жимсгэнэ, хүнсний ногоо болон үрлэн эм зэрэгт агуулагдах анти-оксидантууд нь ийм чөлөөт радикалуудыг бууруулах, саармагжуулах чадвартай байна.” Харамсалтай нь энэхүү нийтлэг томъёолол нь худал юм: анти-оксидант агууламж бүхий нэгдлүүд нь бидний төсөөлж байсанчлан шиг тийм ч сайн эд биш бөгөөд эрдэмтэд ихэвчлэн тэдгээрийн их-энергитэй, урвалын идэвхтэй г.м. чанараар хүний биед эерэг нөлөөтэй байж болох тухай дурдаж байжээ. Үнэхээр ч хүний биед үүссэн элдэв идээ шарх болон бүх төрлийн стресс зэрэгт урвалын идэвхт хүчилтөрөгч бүхий нэгдлүүд эерэг нөлөөтэй юм. Эдгээрээс хамгийн чухал хоёр нэгдлүүд нь устөрөгчит пероксид ба супероксид юм. 1940-өөд онд Америкийн химич Денам Харман чөлөөт радикал ба хөгшрөлтийн эсрэг үйлчилгээ хоорондох холбоосыг судлах явцдаа “хөгшрөлтийн процесс нь исэлдэгч нэгдлийн улмаас идэвхждэг өөрөөр хэлбэл чөлөөт радикалууд DNA-г эвдэлж мутацид оруулдаг” гэсэн дүгнэлтэд хүрчээ. Энэ процессын үед биологийн том эсийг олзлох шаардлагагүй багөөд чөлөөт радикалууд жижиг хэсгийг нь эвдэлснээр хөгшрөлтийн процессыг түргэсгэж болох ажээ. Энэ онол нь маш их дэлгэрсэн хэт хүчирхэг байгаагийн улмаас өнөөдөр ч эмийн үйлдвэрлэлд хэрэглэгдсэн хэвээр байгаа тул үрлэн эмүүд, витамин E шиг анти-оксидант нь хэрэглээгээрээ тэргүүлж, түүнийг клиникүүдэд ямар ч эерэг үр дүн өгөөгүй байсан ч хэрэглэсээр байна.

Үрлэн эмийг хог сав руу шидэх үү?

Чөлөөт радикалууд нь Алцгеймер болон Паркинсон өвчний явцыг түргэсгэх, мэдрэлийн эсүүдийг эвдлэх, зүрхний титэм судасны өвчин, диабет, болон бүр хавдарын эсийн өсөлтөд нөлөөтэй болохыг Өмнөд Калифорнийн Их Сургуулийн эрдэмтэй Келвин Давис баталж байна. Тэднийг зогсоох амархан биш бөгөөд хэрэв та зүрхний нээлттэй мэс засалд орж байгаа бөгөөд таны зүрхэн дэх анти-оксидантууд өндөр агууламжтай болбол эдгээр нь исэлдэмтгий урвал үүсэхээс хамгаалах юм. Үүнтэй ижлээр ликопин (каротиноидын пигмент) болон бета-каротин нь улаан лооль, лууван зэрэгт өндөр концентрацтай олдох ба эдгээр ургамлыг өөрийнх нь эс дэх чөлөөт радикалаас хамгаалдаг байна.

Энэхүү туршлагыг жилийн өмнөөс хийсэн бөгөөд ликопин ба бусад ургамлын молекулууд нь хүний биеийг хамгаалж болох тухай шинэ санаа өгөв. Туршилтын маш том шилэн хоолойд нүүрсустөрөгчийн радикал мэтийн урвалын идэвхт бодис, дээр нь жаахан DNA юмуу протейн нэмж хийхэд ликопины агууламж нь DNA юмуу протейны

исэлдэлтийг зогсоох үйлчлэл үзүүлэхийг харж болно. Гэхдээ хүний биед ийм хэмжээний ликопины агууламжийг бий болгох нь боломжгүй юм. Анти-оксидант хангамжтай үрлэн эм нь хүний биед маш бага хэмжээний ликопиныг биеийн аль нэгтээ тарааж байхад, ургамалд буй ликопин нь түүний өнгийг хувиргах (жишээ нь, улаан лооль) хэмжээнд хүртэл өндөр агууламжтай байна. Үүн шиг витамин Е нь анти-оксидант үйлчилгээтэй боловч энэ үйлчлэл нь яг хөхний эсийн мембраны хажууд орших липидэд хүрч исэлдэгч урвалын гинжин хэлхээнд нөлөөлнө гэдэг нь асуулт юм.

Асуудлыг өргөн хүрээнд авч үзвэл ихийг баталдаг. Бета-каротин, витамин А ба Е –ийн нийт 2007 мета анализийн дүнг нэгтгэн харвал нийт 68 витамин судалгаа байх ба нийт 47 хэрэглээний оролдлогоос жилийн дундаж эрт нас баралтад үзүүлсэн эерэг нөлөө нь 5% өсөлттэй байжээ.

Тиймээс витамин хэрэглэгчид залуу бөгөөд эрүүл чийрэг байх нь баттай биш байна.

Хүний бие дэх урвалжид идэвхт хүчилтөрөгч бүхий нэгдлүүд (УИХН)

Хүний бие дэх УИХН –ийг бий болгох хоёр гол зам бий. Эхнийх нь, энзимийн нэгдэл нь УИХН –г макрофаг, нейтрофил (цусны цагаан бөөмсүүд) мэтийн дархлааны эсэд бий болгоно. Эдгээр нь патогенийг (өвчин үүсгэгч жижиг организм) устгах зорилготой. Хоёрдугаарх нь, УИХН –ууд нь метаболизмын үр дүнд бий болсон митохондрт үүснэ. Митохондрын электрон тээвэрлэгч гинжнээс 5% хүртлэх электрон нь салж хүчилтөрөгч рүү урсдаг. Эндээс нэг электроноо алдсан хүчилтөрөгч үүссэний улмаас супероксид ионт радикалууд төрнө. Супероксид нь бууруулагч үйлчилгээтэй боловч супероксидын задралын мутантаас устөрөгчит пероксид болж хувирах нь элбэг бөгөөд ийм хүчтэй энзим бүх организмд олдоно. Таны хэрэглэж байгаа хүчилтөрөгчийн 1-5% нь ийм замаар алга болно. Тиймээс үүний дүнд үүсч буй дагавар бүтээгдэхүүнүүд нь чухал юм.

Тэгэхээр митохондрууд нь л ажиллаад таны организм дахь исэлдэх процессыг нэмэгдүүлээд байна уу гэвэл бас үгүй юм. Таныг идэвхтэй хөдөлгөөнтэй буюу дасгал хийж байх үед митохондрууд хэвийн ажиллаж байдаг, энэ үед исэлдэх процесс үүсэхгүй шахам байна. Харин таныг буйдан дээр хэвтээд шарсан төмс идээд, пиво ууж цагийг зугаатай өнгөрүүлж байх үед митохондрууд чөлөөт радикалууд ихээр төрүүлж байдаг байна. Электроны зөөлтөөс зөөлтийг электрон давж гарах үед аденозин трифосфат (АТ) үүсэхгүй байвал электронууд хүчилтөрөгчтэй урвалд орон супероксид үүсгэдэг. Супероксидын бүтээгдэхүүн үүсэх урвалын хурд болон янз бүрийн физиологийн нөхцөлд мянга мянган эсийн исэлдэх урвалын түвшнийг судлах нь онолын төдийгүй, технологийн хувьд ч хүндрэлтэй юм. 1996 онд Монреалын Макжилийн Их сургуулийн эрдэмтэн С. Хекийн баг нилээд удаан амьдрах чадвартай *Caenorhabditis elegans* (ойролцоогоор 1 мм-ийн урттай, генетик болон биологийн загвар болж ашиглагддаг организм/өт) –ийг нээснээр супероксидын мутацид орсон бүтээгдэхүүн үүсэх нь митохонд хэвийн бус байгааг илэрхийлнэ гэжээ. Мөн түүнчлэн үүнээс шалтгаалж УИХН-ний гарц ихэссэний улмаас нематод мутант удаан амьдрах чадвартай болдог байна. Эндээс бидний нас ахих тусам митохондронуудын хэвийн бус ажиллаж чөлөөт радикалууд ихээр бий болдог гэсэн томъёолол үнэн биш болов. Судлаачдын цаашхи ажлаас “УИХН бол ашигтай бөгөөд таны өндөр наслалтыг дэмжих хариу механизмыг дэмждэг. УИХН нь эс дэх урвалын замыг хувиргаж, протейныг дамжуулагч болгон, улмаар генийн эсийг өөрчилдөг гэжээ. Харин гений эсийг өөрчилснөөр эс ба организм

яаж удаан амьдрах чадвартай болоод байгааг бид мэдэхгүй хэвээр байна гэж С. Хекими хэлжээ. Гэхдээ их энергитэй урвалын идэвхт нэгдлүүдийг энэхүү процессыг ойлгох, түүний эсрэг эмчилгээний арга гарган авах гэх мэт судалгааны дохионы молекул болгон ашиглаж байна.

Чөлөөт радикалийн тухай өмнөх зарчим үгүйсгэгдэв

Жимсний нисдэг ялаанууд болон өтнүүд, зебра загас, хэвлийгээр явагчдад хийсэн судалгаагаар УИХН –ууд таны биед муу гэж бидэнд тогтсон ойлголт үгүй болов.

5 жилийн өмнөх тогтсон ойлголт юу байв? Урвалын идэвхт хүчилтөрөгч бүхий нэгдлүүд нь эсийг гэмтээдэг бөгөөд өтлөлтийн шалтгаан болдог.

Харин бидний болон бусад эрдэмтэдийн судалгаанаас УИХН –ийн их ч биш бага ч биш харин дундаж түвшин нь эсийг сэргээх, дахин үүсгэх үйлчлэлтэй байхыг тэмдэглэж байна гэж Манчестерийн Их сургуулийн Энрика Амаяа хэлэв.

Зенопус (Xenopus) мэлхийг ампутацлахад аль гений түвшин УИХН –ний улмаас хэрхэн өөрчлөгдөх механизмийг Амаяагийн багийнхан сонирхжээ. Ампутацласанаас хойшхи хэдхэн долоо хоногийн дараа бүх эд эсүүд болон бүр нуруу нугас хүртэл сэргэж, эргэн нөхөгдсөн байсныг тэмдэглэв. Хэдэн мянган гений эсүүд өөрчлөгдсөнөөс гадна олон энзимүүд УИХН үүсэхэд оролцсон байв. Эргэн нөхөгдөх процессын үеэр УИХН үүсч буйг бид тэмдэглэхээс гадна гэмтлийн үеэр УИХН үүсэхгүй бол эд эс мөн эргэн нөхөгдөхгүй байсан гэж нематод төрлийн (*C elegans*) өгийг ашиглан шархны нөхөн сэргэлтийг судлах явцдаа (шарх бол нэг том арьсны эс юм) Амаяа хэлэв. Гэхдээ арьсны урагдсан хэсгээр нематод төрлийн өтнүүд амархан нэвчин гарч болох тул шарх түргэн аних эсэх эргэлзээтэй ч, митохондрын УИХН нь шархны эдгэрэх явцыг түргэсгэх үйлчилгээтэй болохыг тэмдэглэв. Кальци нь митохондрыг хордуулдаг буюу электроны урсгалд саад болдог нь супероксид үүсэх шалтгаан болно. Харин кальциг зогсоох мутантууд бий болговол шарх анина. Богино настай супероксид хувирч шархны захаар байрлах (F-actin) протейны бөөгнөрлийг зогсоох, энзимтэй холбоотой гуанозинтрифосфат (пурины нуклеотид) үүсэхээс сэргийлнэ. Бүх төрөл зүйлд (F-actin) протейны бөөгнөрөл үүсч байж шарх анина, тиймээс митохондрын супероксидууд шарх эдгэрэлтийг удаашруулагчийг түр зуур зогсоох үйлчилгээтэй юм гэж Hydra (нэгэн төрлийн усны бичил биет) судалж буй Женевийн Их Сургуулийн Г. Бригите тайлбарлав. Тэрээр хэлэхдээ усны бичил биетийн шарханд олдсон эсийн доторх УИХН –ын өгөх дохио ба тэдгээрийн хамгаалах үүргийг судлахад УИХН нь магадгүй эсээс эсэд үсэрхийлэн бөөгнөрөл үүсгэдэг гэжээ. Чишхолм ба Сүхонг Зү нарын эрдэмтэд мэдрэгч (sensor) бүхий супероксидуудын нэгдэл үүсэх процессыг дүржүүлэн митофлаш (митохондрын химийн ба цахилгаан дэлбэрэлтийн үзэгдэл) бүрийн давтамж ба гэрлийн эрчмийг бүртгэж чадсан нь архаг шархны эмчилгээний шинэ аргыг олох замыг нээв. Хэдийгээр архаг шарханд УИХН эерэг нөлөөтэй гэдгийг аль эрт тогтоосон боловч түүний механизм тодорхой биш хэвээр байв, харин одоо супироксидын нэгдлийг дэмжин, түүний задралыг зогсоосноор митохондрыг организмын стрессийн детектор буюу эсийн гэмтлийн эсрэг хариу дохио өгөгч дамжуулагч болгон ашиглаж болох боломжтой боллоо гэж Г. Бригите болон Нью Йоркийн Хавдрын Төвийн Ф. Нитхаммер нар хэлэв. Ф. Нитхаммерын баг нь дөнгөж шарх үүссэний дараах үеийн дохионы молекулуудыг судалжээ. Зебра загасны шарханд устөрөгчит пероксидыг үүсгэхийн тулд

цусны цагаан эсийг хуримтлуулсан нь үнэндээ эсрэгээр устөрөгчит пероксид нь цусны цагаан эсийг шарханд хуримтлуулсан байхыг нээжээ. УИХН их концентрацтай байх нь эсэд хортой. Бага хэмжээний УИХН нь организмд биохимийн аяндаа болох эдгэрэлт болон организмын өөрийгөө хамгаалах механизмийг дэмжинэ гэж Ф. Нитхаммер хэлэв.

Тэнцвэрийн зөв нөхцөл

Супероксиддисмутаза ба пероксидаза мэтийн энзимүүд нь эсийн доторх супероксид ба устөрөгчит пероксидын урсгалыг сатааруулах үйлчлэлтэй боловч ялангуяа устөрөгчит радикалууд хэлбэржсэн үед, устөрөгчит пероксид нь гурав дахь электроноо алдах үед эсэд эвдрэл гарна. Бие организм нь эхлээд супероксидтой, дараа нь устөрөгчит пероксидтой үйлчлэлцэх илүүдэл энзимтэй байна. Ихэнх организмд эдгээр энзимийг устгах нь аюултай. Сүүлийн 20 жилийн судалгаа нь энзимийг устгах буюу гэмтээх эсвэл нөхөн төлжүүлэх явдал нь хамгийн чухал бөгөөд эрүүл байхын үндэс гэдгийг тодорхойлоод байна. Устөрөгчит радикал нь хамгийн аюултай бөгөөд липид, протейн, нүүрст-устөрөгчүүд болон DNA ч ялгалгүй гэмтээдэг байна. Энзимийн бас нэг илүүдэл хэсэг нь исэлдсэн протейныг сонгон задралд оруулж, amino хүчлийг ашиглан шинэ протейн үүсгэнэ. Протезсом нь ийм энзимийн нэг бөгөөд митохонд оршин байх эсэд олдоно. Хөгшрөлт ба чөлөөт радикал нь энэхүү эсийн эвдрэлийг нөхөн сэргээх процессд холбогдоно. Энэхүү процессыг ерөнхийд нь адаптив хомотаз гэнэ. Хэрэв та утаагаар амьсгалбал хоромхон хугацаанд таны протейн бага хэмжээний эвдрэлд орно, гэвч энэ нь устөрөгчит пероксид бага хэмжээгээр нэмэгдэхэд эргээд нөхөн сэргээгдэх юм. Энэхүү адаптив хомотаз процессын дүнд хэдэн цаг үргэлжлэх биеийн ядаргаа эргээд хэвийн болох ба супероксид ялангуяа устөрөгчит пероксидын нэгдэл үүсэх юм. Исэлдсэн протейныг устгах чанартай энзим нь хөгшрөлтийн функцээ алддаг өөрөөр хэлбэл хөгшин эсийн протезсомүүд бага ажиллагаатай байна. Залуу организм дахь адаптив хомотаз процесс маш эрчимтэй ба хөгширөх тусам эрчим буурна.

Дохиот молекулын үүрэг

Эрүүл эс дэх урвалын идэвхт нэгдлүүд нь стрессийн дохиот молекулууд юм.

Эс бол маш прагматик. Харин эдгээр урвалын идэвхт молекулууд түүний эргэн тойронд байх тул организм түүнийг дохио болгон ашиглана.

Нематоод төрлийн (*C elegans*) өгийг судалж байх явцдаа Хекими нар митохондрт байрлах чөлөөт радикалууд нь эсийн мөхлийн дохио өгдөгийг илрүүлжээ. Урвалын идэвхт хүчилтөрөгчит нэгдлүүд нь амьдралыг уртасгах чанартай тул организмийн хөгшрөлтийн эсрэг дохио болдог. Биологт хоёр холбоост гадаргуу уулзахад дохио үүснэ гэж үзнэ, гэвч УИХН –ийн хувьд буюу жижиг молекулын химийн исэлдэлтийн үүднээс авч үзвэл энэ нь хүндрэлтэй боловч протейнүүдийн өргөн сувагт дохио хүрч болох юм.

Amino хүчлийн фосфоржилтийн бүтээгдэхүүнүүд нь протейны үйлчлэлийг өөрчлөх чадалтай. Үүнтэй адил amino хүчлийн цистейн ба түүний десульфидийн холбоос нь УИХН –ийн исэлдэлтэд маш мэдрэмтгий байдаг бөгөөд протейны хэлбэр, бүр үйлчлэлийг өөрчлөн өөр протейнтэй холбоос үүсгэх эсэхүл тэднээс хамгаалах чадалтай. Чөлөөт радикалууд нь биологийн хувьд дохиот молекулууд юм. Харин чөлөөт радикалын энэхүү оптимал чанарыг түүний эсрэг чанараас ялгах нь чухал юм. Өөрөөр хэлбэл “сайн антиоксидантуудын эсрэг зогсох муу чөлөөт радикалууд” буюу хэрэглэж

буй агуулга ба хэмжээнээс (концентрац) хамаарч урвалын идэвхт нэгдлүүд сайн ч, бас муу ч байж болохнээ.

Ашигласан материалууд

1. G. Bjelakovic et al., J. Am. Med. Assoc., 2007, 297, 842
2. B. Lakowski and S. Hekimi, Science, 1996, 272, 1010
3. N. R. Love et al., BMC Dev. Biol., 2011, 11, 70
4. N. R. Love et al., Nat. Cell Biol., 2013, 31, 48
5. S. Xu and A. D. Chisholm, Dev. Cell, 2014, 31, 48
6. P. Niethammer et al., Nature, 2009, 459, 996
7. N. Jiang et al., J. Biol. Chem., 2003, 278, 21678

Гинжин гүүрийн бодлого

П.Түвшинтөр*, Д.Эрдэнэбаатар, Д.Улам-Оргих, Г.Шилагарди

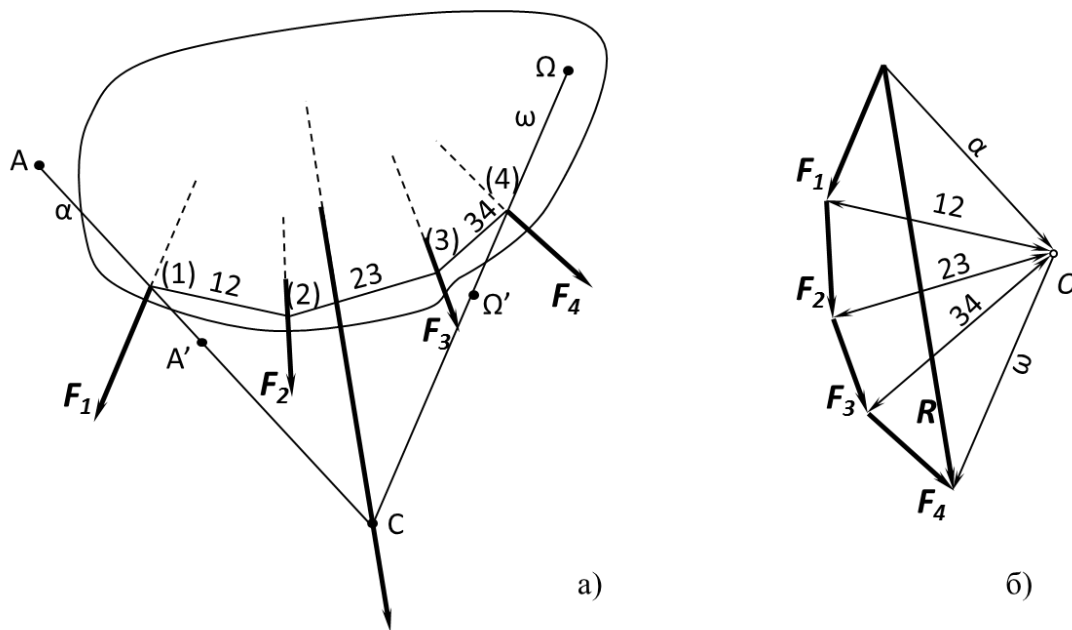
МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

*tuvshintur@num.edu.mn

1. Нэгэн хавтгай дээр орших хүчнүүдийн тэнцүү үйлчлэгчийг графикийн аргаар олох

Доош чиглэсэн хүнд ачаалалын доор тэнцвэрт орших татлага буюу дээсний татах хүчийг графикийн аргаар тооцох онолыг 1725 онд Вариньон эцсийн хэлбэрээр томъёолжээ. Үүнийг дээсэн олон өнцөгтийн арга гэдэг [1, 2].

Эхлээд бид хатуу биед үйлчилж байгаа нэгэн хавтгай дээр орших F_1, F_2, \dots, F_n бүл хүчний тэнцүү үйлчлэгч R - ыг олъё. Эдгээр хүч тэнцвэрт оршихгүйгээс гадна, хос хүч болгон эмхэтгэж болдоггүй байг. Энэ бодлогыг бодохын тулд уул биед үйлчлэх хүчүүдийг үзүүлсэн зургаас гадна (1-р зургийн,а) хажуу талд нь хүчний олон өнцөгтийг байгуулдаг (1-р зургийн,б).



Зураг 1. Биед үйлчлэх хүчүүд ба хүчний олон өнцөгт.

1-р зургийн а) - д хатуу биед үйлчлэх F_1, F_2, \dots, F_n хүч ба тэдгээрийн тэнцүү үйлчлэгч R , б) - д эдгээр хүчнүүдээс байгуулсан хүчний олон өнцөгт ба тэдгээрийг битүү болгон хаагч тал R -ыг тус тус дүрслэн үзүүллээ. Хүчний олон өнцөгтийг битүүлэн хаагч тал R нь эдгээр хүчний тэнцүү үйлчлэгч болдог:

$$R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

Одоо тэнцүү үйлчлэгчийн үйлчлэлийн чиг буюу шугамыг тодорхойлоё. Үүний тулд туйл хэмээн нэрлэгдэх ямар нэгэн O цэгээс хүчний олон өнцөгтийн оройнууд руу туяа татъя. Анхны хүчний эх руу татсан туяаг α ; F_1 ба F_2 хүчний огтлолцлын цэг болох олон өнцөгтийн орой руу татсан туяаг 12 гэх мэт нэрэлсээр эцсийн хүчний төгсгөл ба O цэгийн холбосон туяаг ω гэж тэмдэглэе.

1-р зургийн a –д үзүүлснээр дурын A цэгээс F_1 хүчний үйлчлэлийн шугамыг (1) цэгт огтлох α туяатай параллель шулууныг татаж, энэ огтлолцлын цэгээс 12 туяатай параллель шулууныг F_2 хүчний үйлчлэлийн шугамыг (2) цэгт огтлох шулууныг татах гэх мэтээр бусад шулуунуудыг үргэжлүүлэн татсаар байгаад эцсийн ω туяаг сүүлчийн хүчний үйлчлэлийн шугамыг эцсийн туяаны урьдах туяа (34 туяа) огтлох (4) цэгийг дайруулан татна. Ийм маягаар хүчнүүдийн үйлчлэлийн шугамыг дайруулан татсан битүү олон өнцөгтийг $A, (1), (2), (3), (4), \Omega$ - ийг дээсэн олон өнцөгт гэнэ. Одоо дээсэн олон өнцөгтийн эхний ба эцсийн талын огтлолцох цэг, хүчнүүдийн тэнцүү үйлчлэгчийн чигийг тодорхойлох шугам дээр оршихыг батлан үзүүлье. Үүний тулд дээсэн олон өнцөгт (1), (2), (3), (4) -ийн оройг холбон байрласан F_1, F_2, F_3, F_4 хүч тус бүрийг, харгалзах (1), (2), (3), (4) оройнууд дээр огтлолцох хоёр хүчний дагуу чиглэсэн байгуулагчууд болгон задалъя. Энэ задаргааг 1-р зургийн б) - д дүрсэлсэн хүчний олон өнцөгт дээр тодорхой харууллаа. Үнэхээр F_1 хүчний дээсэн олон өнцөгтийн α ба 12 дагуу чиглэсэн байгуулагчууд, O туйлаас F_1 хүчний эх ба төгөсгөл руу татсан α , 12 туяа болон F_1 хүч оролцон байгуулсан гурвалжны талууд болохыг 1-р зургийн б) дээр дүрсэлсэн хүчнүүдийн диаграммаас тод харагдаж байна. Мөн F_2 хүчний дээсэн олон өнцөгтийн 12 ба 23 дагуу чиглэн байгуулагчууд нь 12 ба 23 тал болохыг энэ диаграммаас харж болно. Харин 12 тал дагуу чиглэсэн F_1 ба F_2 хүчний байгуулалчууд хэмжээгээрээ тэнцүү харилцан эсрэг чиглэсэн ерөнхий байгуулагч болох тул нэг нь нөгөөгөө тэнцүүлэх учраас F_1 ба F_2 хүчний үйлчлэл дээсэн олон өнцөгтийн α ба 23 тал дагуу үйлчлэх α ба 23 хэмээх хоёр байгуулагчаар тодорхойлогдоно. Гэх мэтчилэн F_2, F_3 хүчний дээсэн олон өнцөгтийн 23 тал руу чиглэсэн, мөн F_3, F_4 хүчний 34 тал руу чиглэн байгуулагчууд өөр хоорондоо тэнцүүлэгдэнэ.

Ингэхээр F_1, F_2, F_3, F_4 хэмээх хүчнүүдийн үйлчлэл (статикийн хувьд) нэгдүгээр хүч F_1 - ийн дээсэн олон өнцөгтийн α тал руу чиглэсэн α хэрчмээр дүрслэгдэх байгуулагч, эцсийн F_4 хүчний дээсэн олон өнцөгтийн эцсийн тал ω руу чиглэсэн ω хэрчмээр дүрслэгдэх байгуулагчийн үйлчлэлээр тодорхойлогдох ажээ. Энэ хоёр хүчний тэнцүү үйлчлэгч R –ийн чиглэл мөн F_1, F_2, F_3, F_4 бүл хүчний тэнцүү үйлчлэгчийн чиг болох ба энэ чиглэл дээсэн олон өнцөгтийн α ба ω талын огтлолцоллын цэг C - г дайрна. б) диаграмм дээр тэнцүү үйлчлэгчийн хэмжигдэхүүн ба чиглэл R вектораар тодорхойлогдоно. Энэ R вектор нэгэн зэрэг F_1, F_2, F_3, F_4 хүчний олон өнцөгт ба хүчний гурвалжин α, ω - ын битүүлэн хаагч тал болж чадна.

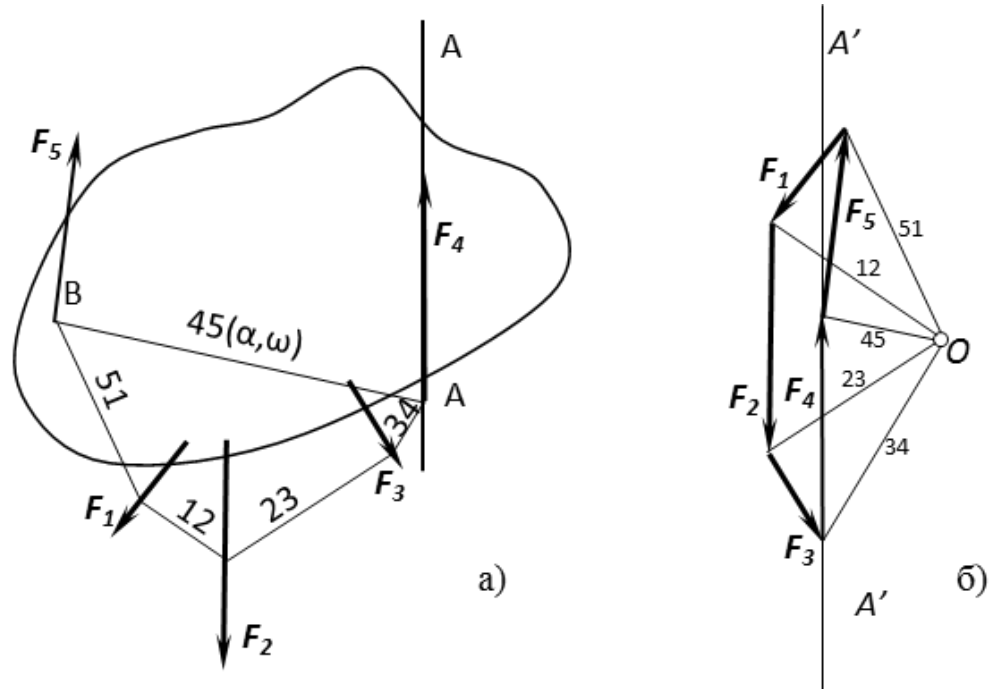
$\alpha, 12, 23$ гэх мэтийн хүчнүүдийн үйлчлэх чиглэлийг хянан үзвэл, эдгээр хүч бүгдээрээ сунгаж татах үйлчлэлтэй тул $A, (1), (2), (3), (4), \Omega$ дүрсийн A, Ω цэгтэй бэхлэгдсэн (1), (2), (3), (4) цэгүүдэд нь F_1, F_2, F_3, F_4 хүчнүүд үйлчилж байгаа тэнцвэртэй төлөвдөө байгаа унжсан дээс мэт төсөөлж болно. Үүнээс болж “дээсэн олон өнцөгт” хэмээн нэрлэсэн ажгуу.

Хэрэв F_1, F_2, F_3, F_4 хүчний чиглэлийг эсрэгээр өөрчилбөл, энэ олон өнцөгтийг нугасаар холбогдон шахагдсан саваануудаас тогтох систем мэт төсөөлж болох тул энэ тохиолдолд “саваан олон өнцөгт” гэж нэрлэнэ.

2. Тэнцвэрт орших бүл хүч

Хэрвээ хатуу биед үйлчилж байгаа нэг хавтгай дээр орших бүл хүч тэнцвэрт оршиж байвал харгалзах хүчний олон өнцөгт ба дээсэн олон өнцөгт нь битүү байна. Одоо

график статикийн аргыг хэрхэн хэрэглэдгийг үзүүлье. Үүний тулд биед үйлчилж байгаа бүл хүчийг (2-р зурагт зөвхөн гурван хүч авав) өгөгдсөн B цэгийг дайрсан ба үйлчлэлийн шугам нь AA' дагуу чиглэн хоёр хүчээр тэнцүүлэх бодлогыг авч үзье. B цэгт үйлчлэх хүчийг энэ цэгт бэхлэгдсэн нугасны реакцын хүч, AA' дагуу үйлчлэх хүчийг гулган хөдлөх боломжтой нугасны зүгээс үйлчлэх реакцын хүч гэе. Өгөгдсөн хүчийг F_1, F_2, F_3 , B цэгт үйлчлэх реакцын хүчийг F_5 (тулгуурын эсэргүүцэл) AA' дагуу үйлчлэх реакцын хүчийг F_4 гэж тэмдэглэе (2-р зургийн,а). Дараа нь F_1, F_2, F_3 хүчнээс тогтох хүчний олон өнцөгтийг байгуулж, F_3 хүчний төгсгөлийг дайруулан F_4 хүчний үйлчлэлийн шугамтай параллель байрласан AA' шулууны татъя (2-р зургийн,б).



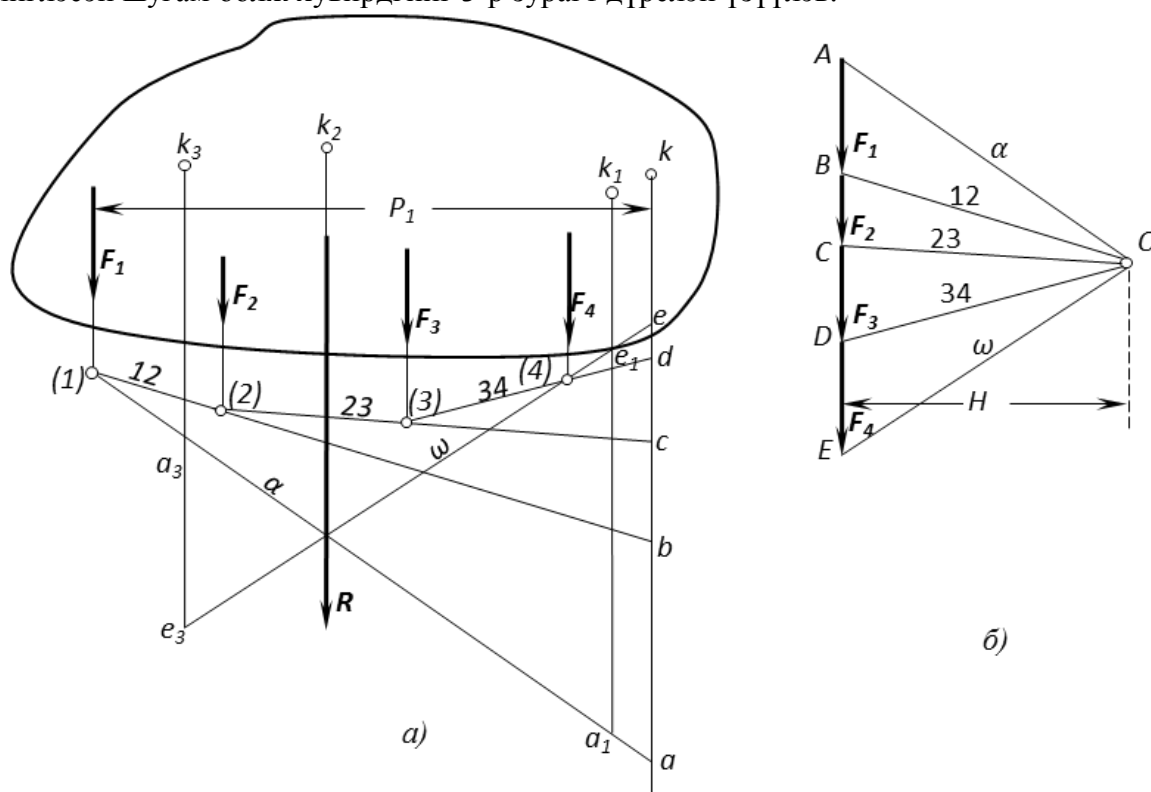
Зураг 2. B цэгт үйлчлэх реакцын хүч ба хүчний олон өнцөгт.

Олох ёстой F_4 ба F_5 хүчний хэмжигдэхүүн ба чиглэлийн аль алийг бид мэдэхгүй. Гэвч дээр дурдсан дүрмээр тэнцвэрт орших эдгээр хүчнүүдээс байгуулсан хүчний олон өнцөгт битүү байхаас гадна F_5 хүчний төгсгөл F_1 хүчний эхтэй давхцах ёстой билээ. Хүчний олон өнцөгтөө байгуулахын тулд O туйлаас F_1 хүчний эх рүү чиглэн туяа татаж, түүнийг 51 гэж тэмдэглэе. Гэх мэтчилэн 12, 23, 34 туяануудыг татъя. Одоохондоо F_4 хүчний төгсгөл, F_5 хүчний эх мэдэгдэхгүй байгаа, түүнийг хүчний олон өнцөгтийг байгуулж, энэ олон өнцөгт битүү байх нөхцөлөөс олно. 45 туяаг олоод түүнийг AA' шулуунтай огтлолцуулж, хайж байгаа хүчний олон өнцөгтийнхөө оройг олох ёстой. Мэдэгдэхгүй энэ оройг олохын тулд дээсэн олон өнцөгтөө байгуулъя. Эхлээд чиглэл ба хэмжигдэхүүн нь үл мэдэгдэх F_5 хүчний индекс 5-г агуулсан 51 туяатай параллель талыг байгуулна. Энэ тал B цэгийг дайрахаас гадна F_1 хүчний үйлчлэлийн шугамыг тодорхой цэгт огтолно. Цаашид 12, 23, 34 туяатай параллель байрлалтай дээсэн олон өнцөгтийн талуудыг байгуулна. Нэгэнт дээсэн олон өнцөгт битүү байх тул 34 тал F_4, F_5 хүчний хооронд байрлахаас гадна B цэгийг дайран гарах ёстой. Мөн дээсэн олон өнцөгтийн 45 тал, B цэг ба F_4 хүчний үйлчлэлийн шугам 34 тал хоёрын огтлолцлын цэгийн дайран өнгөрнө. Хүчний олон өнцөгтийн O туйлаас 45 талтай параллель татсан

туяа, F_4 хүчний төгсгөл, F_5 хүчний эхийг холбосон цэгт AA' шулууныг огтолно. Бүл хүч тэнцвэрд оршино. Яагаад гэвэл нэгдүгээрт, хүчний олон өнцөгт битүү; хоёрдугаарт, 45 туяа бол анхны α туяа болохын хамт бас эцсийн ω туяа болж чадна (хүчний олон өнцөгт битүү учраас). Нөгөө талаас дээсэн олон өнцөгтийн α ба ω талууд байгуулалт ёсоор давхцана.

3. Дээсэн олон өнцөгтийн аргыг нэгэн хавтгай дээрх параллель байрласан хүчнүүдэд хэрэглэх

Нэгэн хавтгай дээр орших параллель хүчнүүдийн тэнцүү үйлчлэгчийг дээсэн олон өнцөгтийн аргаар олбол түүнд харгалзах хүчний олон өнцөгт нь нэгэн шулуун дагуу чиглэсэн шугам болж хувирдгийг 3-р зурагт дүрслэн үзүүлэв.



Зураг 3. Нэгэн хавтгай дээр орших параллель хүчнүүдийн тэнцүү үйлчлэгчийг дээсэн олон өнцөгтийн аргаар олсон байдал.

Дээсэн олон өнцөгтийг хэрэглэн F_1, F_2, \dots гэх мэт хүчнүүдийн, дурын K цэгтэй харьцуулсан хүчний моментыг олж болно. Жишээлбэл F_1 , хүчний моментыг олъё. F_1 хүчний үйлчлэлийн шугам дээр (1) цэгт огтлолцох дээсэн олон өнцөгтийн α ба 12 талыг, K цэгийг дайруулан F_1 хүчтэй параллелаар татсан шулуун хүртэл үргэлжлүүлбэл, түүн дээр ab урттай хэрчмийг огтолно. Дээсэн олон өнцөгтийн зураг дээрх $a(1)b$ гурвалжин ба хүчний олон өнцөгтийн OAB гурвалжны төстэй байх нөхцөлөөс дараах харьцааг бичиж болно.

$$\frac{p_1}{H} = \frac{ab}{F_1} \quad (1)$$

Эндээс K цэгтэй харьцуулан F_1 хүчний моментыг олбол:

$$m_K(F_1) = p_1 F_1 = ab \cdot H$$

Цааш үргэлжлүүлэн бусад хүчний моментийг олбол:

$$m_K(F_2) = p_2 F_2 = bc \cdot H$$

$$m_K(\mathbf{F}_3) = p_3 F_3 = cd \cdot H$$

$$m_K(\mathbf{F}_4) = p_4 F_4 = de \cdot H$$

болох ажээ. K цэгтэй харьцуулсан эдгээр хүчнүүдийн моментийг вектор нийлбэрийг тоон утга буюу гол момент:

$$m^{(K)} = ab \cdot H + bc \cdot H + cd \cdot H + de \cdot H = ae \cdot H_0$$

Энэ момент, тэнцүү үйлчлэгч хүч \mathbf{R} - ын моменттой тэнцүү байна. Иймээс ae хэрчим нь тэнцүү үйлчлэгч хүч \mathbf{R} -ын үйлчлэлийн шугам дээр огтлолцсон α ба ω талын үргэлжлэл, K цэгийг дайрсан шулуун дээр огтлох хэрчмийн урттай тэнцэнэ.

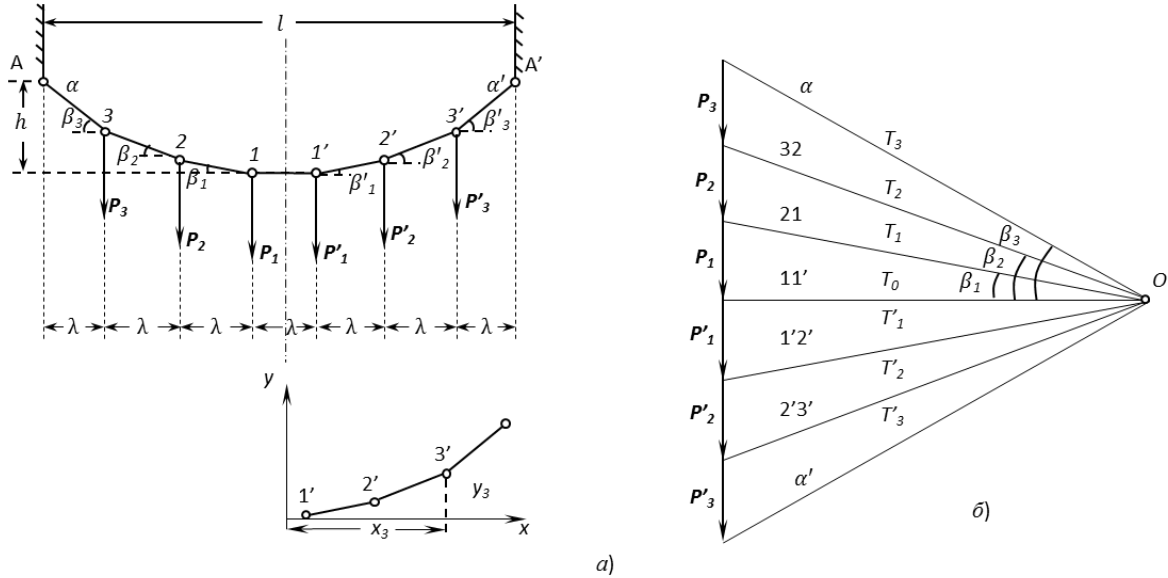
Гол моментыг илэрхийлэлд хүч бүхэн, хүчний олон өнцөгтийн туйл O - оос “туйлын зай” хэмээн нэрлэгдэх, AE шулуун хүртлэх зай H -ыг агуулна. Эндээс үндэслэн дараах дүрмийг томъёолж болно. *K цэгтэй харьцуулсан $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots$ гэх мэтийн параллель хүчнүүдийн момент хэмжээгээрээ, K цэгийг дайруулан уул хүчнүүдтэй параллелиар татсан шулуун дээр хүч тус бүрийн үйлчлэлийн шугамд оройтой дээсэн олон өнцөгтийн талуудын үргэлжлэлийн огтлох хэрчмийн урт ab, bc, \dots –тэй пропорционал байна.* Бүл хүчний гол момент мөнхүү K цэгийг дайруулан татсан шулууны дээсэн олон өнцөгтийн анхны (α) ба эцсийн (ω) талаар огтлоход үүссэн цэгүүдийн хоорондох хэрчмийн уртад пропорциональ байх ажээ. Хүчний моментыг тоон утгыг тодорхойлоходоо H ба p_1 - ыг уртын нэгжээр, \mathbf{F}_1 -ийг хүчний нэгжээр илэрхийлсэн тул ab хэрчмийг бас хүчний нэгжээр илэрхийлнэ. Одоо бид K цэгийг зүүн тийш нь K_1, K_2, \dots гэх мэт цэгт шилжүүлбэл, K_1 цэгтэй харьцуулсан гол момент доорх томъёогоор илэрхийлэгдэнэ:

$$m^{(K_1)} = a_1 e_1 \cdot H$$

Тэнцүү үйлчлэгч \mathbf{R} -ын үйлчлэлийн шугам дээрх K_2 цэгтэй харьцуулбал гол момент тэгтэй тэнцэнэ. Яагаад гэвэл дээсэн олон өнцөгтийн α ба ω тал энэ шугам дээр огтлолцоно ($a_2 e_2 = 0$). Хэрэв K_2 цэгийг \mathbf{R} -ээс зүүн тийш авбал бүл хүчний гол момент $m^{(K_2)}$ хасах тэмдэгтэй болно. Бид гинжин гүүрийн бодлогыг бодоход хүрэлцээтэй статик механикийн зарим ойлголт ба дүрэмтэй танилцлаа.

БОДЛОГО: Өөр хоорондоо адилхан λ зайнд ($\lambda = \frac{1}{(2n+1)}$) орших нугасаар холбогдсон саваануудаас тогтох олон өнцөгтийн $1, 2, \dots, n; 1', 2', \dots, n'$ цэгүүдэд эгц доош чиглэсэн адилхан P хэмжээтэй $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \dots, \mathbf{P}_n; \mathbf{P}'_1, \mathbf{P}'_2, \dots, \mathbf{P}'_n$ хүч үйлчилдэг бол саваануудад үйлчлэх хүчлэг ба тэнцвэртэй байх үеийн хэлбэр дүрсийг тодорхой (4-р зурагт, $n = 3$ гэж авлаа). Дунд талын саваа хэвтээ хавтгайтай параллель байрлах ба бусад саваанууд энэ савааны дундуур татсан босоо тэнхлэгтэй симметр байрлалтайгаас гадна хамгийн захын саваа хэвтээ хавтгайтай β_n өнцгийг үүсгэнэ. 4-р зургийн а,б-д энэ бодлогод хэрэглэгдэх зургийг дүрслэн үзүүлнэ. Нугаснуудад үйлчлэх хүчнүүд өөр хоорондоо параллель тул тэдгээр нь хүчний олон өнцөгт дээр нэг шулуун дагуу байрлана (4-р зургийн, б). Дунд талын саваа хэвтээ хавтгайтай параллель байрлалтай тул олон өнцөгтийн $11'$ туяаг бас хэвтээ хавтгай дагуу чиглүүлэн зурах хэрэгтэй. Цаашдаа α туяаг \mathbf{P}_n хүчний эхээс β_n өнцгөөр $11'$ туяатай огтлолцтол үргэлжлүүлэн хүчний олон өнцөгтийн туйл O –г олно. Үүний дараа 32, 21 гэх мэтийн хүчний олон өнцөгтийн бусад туяануудын байгуулаад, параллель хүчнүүдийг дүрсэлсэн зураг дээр эдгээр туяануудын тусламжтай саваануудын чиглэлийг тодорхойлно. Хамгийн захын савааг A цэгээс эхлэн \mathbf{P}_3 хүчний үйлчлэлийн шугамтай огтлолцтол татаж, энэ огтлолцлолын цэгээс \mathbf{P}_2 хүчний

үйлчлэлийн шугамтай огтлолцтол 32 савааг татах гэх мэтээр бүх савааг дэс дараалан татаж байгуулна. 11', 12 гэх зэргээр бүх саваанд үйлчлэх хүчлэг (татагтын хүч) T_0, T_2 ба бусад хүчлэгүүдийг хүчний олон өнцөгтийн адилхан индексстэй туяануудын уртаар тодорхойлно. Хүчний олон өнцөгтийн нэгж урт бүхэнд хичнээн хэмжээний хүч харгалзуулсан бол, туяануудын нэгж урт бүхэнд мөн төдий чинээ хүч харгалзуулна.



Зураг 4. Гинжин гүүрийн загвар.

Хүчний олон өнцөгтөөс олбол:

$$P = T_0 \operatorname{tg} \beta_1, 2P = T_0 \operatorname{tg} \beta_2, \dots nP = T_0 \operatorname{tg} \beta_n$$

Эндээс үндэслэн

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \beta_2 = \dots = \frac{1}{n} \operatorname{tg} \beta_n$$

Хэрэв AA' –ийн уртыг l , энэ хооронд байх савааны тоог $2n + 1$, нийт саваануудын доошоо унжсан хэмжээг h хэмээн тэмдэглэвэл:

$$h = (1 + 2 + \dots + n) \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{n(n + 1)}{2(2n + 1)} \cdot l \cdot \operatorname{tg} \beta_1$$

дээрх илэрхийллийн $\operatorname{tg} \beta_1$ -ийн оронд $\frac{P}{T_0}$ -ийг орлуулаад, T_0 -ийг олбол:

$$T_0 = \frac{l \cdot P}{2h} \frac{n(n + 1)}{2(2n + 1)}$$

Бусад саваануудад үйлчлэх хүчлэгийг дараах тэнцэтгэлүүдээс олж болно.

$$T_0 = T_1 \cos \beta_1 = T_2 \cos \beta_2 = \dots = T_n \cos \beta_n$$

Саваан олон өнцөгтийн оройнуудын координатыг 4-р зургийн, a -д харуулсан зургыг хэрэглэн тодорхойлбол:

$$x_1 = \frac{\lambda}{2}, y_1 = 0,$$

$$x_2 = \frac{\lambda}{2} + \lambda, y_2 = \lambda \cdot \operatorname{tg} \beta_1,$$

$$x_3 = \frac{\lambda}{2} + 2\lambda, y_3 = \lambda(\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2),$$

.....

$$x_{i+1} = \frac{\lambda}{2} + i\lambda, y_{i+1} = \lambda(tg\beta_1 + tg\beta_2 + \dots + tg\beta_i),$$

.....

$$x_{n+1} = \frac{\lambda}{2} + n\lambda, y_{n+1} = \lambda(tg\beta_1 + tg\beta_2 + \dots + tg\beta_n).$$

($i + 1$) дугаар оройн координатыг бичээд бага зэрэг эмхтгэвэл:

$$x_{i+1} = \frac{2i + 1}{2} \lambda, y_{i+1} = \lambda \cdot tg\beta_1 (1 + 2 + \dots + i) = \frac{i(i + 1)}{2} \lambda \cdot tg\beta_1.$$

Дээрх хоёр илэрхийллийн абцисс x_{i+1} –ээс i –ийг олж ординат y_{i+1} –д орлуулбал:

$$y_{i+1} = \frac{tg\beta_1}{2\lambda} \cdot \left(x_{i+1}^2 - \frac{\lambda^2}{4}\right) = \frac{(2n+1)^2}{n(n+1)} \frac{h}{l^2} \left(x_{i+1}^2 - \frac{\lambda^2}{4}\right),$$

Дээрх илэрхийллээс n –ийг хязгааргүй ихэсгэж хязгаар авбал:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda = 0, \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{2n + 1}{n(n + 1)}\right)^2 = 4$$

болох тул тэгшитгэлийг индексгүй бичвэл оройнуудын координатыг илэрхийлэх тэгшитгэл гарна:

$$y = \frac{4h}{l^2} x^2$$

Эндээс үндэслэн дүгнэвэл: жингүй гинжийн, элемент бүхэн дээр энэ элементийн хэвтээ хавтгай дээр буулгасан проекцтой пропорционал хэмжээний ачаа тохогдсон байвал түүний тэнцвэрт хэлбэр нь парабол муруй байна.

Бид гинжин гүүрийн тухайн тохиолдлыг авч үзлээ. Энэ бодлогын ерөнхий шийдийг 1927 онд Ляме ба Клапейрон нар графикайн аргаар олжээ.

Ном зүй:

1. Л. Т. Лойцянский и А. И. Лурке, Курс теоретической механик, Том 1, Москва, 1953, стр.107-117
2. В. Л. Кирпичев. Основания графической статика. С-Петербург, 1900.

Физикийн сонирхолтой бодлого

М.Отгонбаатар, Г.Мөнхбаяр

МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

Цахилгаан дамжуулагч материалын хувийн эсэргүүцэл температураас хамаарч дараах хуулиар өөрчлөгдөнө:

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

Үүний ρ_0 нь T_0 , $\rho(T)$ нь T температур дахь хувийн эсэргүүцэл, α нь **хувийн эсэргүүцлийн** температурын коэффициент.

Босоо цилиндр хэлбэртэй шилэн гуурсанд мөнгөн ус байрлана. Анх 20°C температурт мөнгөн усны баганы өндөр $L = 12$ см байв. Мөнгөн усны баганы диаметр $d = 1.6$ мм ба шилний дулаан тэлэлтийн коэффициент бага учраас уг диаметрийн хэмжээг температураас хамаарч өөрчлөгдөхгүй гэж үзнэ. Мөнгөн усны эзлэхүүн тэлэлтийн коэффициент $\beta = 18 \cdot 10^{-5} (\text{C}^\circ)^{-1}$; $T_0 = 20^\circ\text{C}$ температур дахь хувийн эсэргүүцэл $\rho_0 = 95 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ба **хувийн эсэргүүцлийн** температурын коэффициент $\alpha = 0.00088 (\text{C}^\circ)^{-1}$.

- a) Мөнгөн усны баганы орой болон ёроол хоорондын R_0 эсэргүүцлийг тодорхойл (томъёон болон тоон хариуг бич).
- b) Мөнгөн усыг $T = 60^\circ\text{C}$ температуртай болтол халаав. Хувийн эсэргүүцэл ρ ямар утгатай болох вэ?
- c.1) Мөнгөн усны баганы өндөр ямар ΔL хэмжээгээр өөрчлөгдөх вэ (томъёон болон тоон хариуг бич)?
- c.2) Өмнөх даалгаварт өндрийн өөрчлөлтийг тооцоходоо яагаад шугаман тэлэлтийн коэффициент ашиглалгүй, эзлэхүүн тэлэлтийн коэффициент ашиглах ёстойг тайлбарла.
- d) Мөнгөн усны эсэргүүцлийн өөрчлөлт ΔR -г $L, \Delta L, \rho_0, \Delta \rho, d$ хэмжигдэхүүнүүдээр илэрхийлж, тоон утгыг тодорхойл (хувийн эсэргүүцлийн өөрчлөлт $\Delta \rho = \rho - \rho_0$ болон өндрийн өөрчлөлт ΔL -г харьцангуй бага гэж ойролцоолж болно).
- e) Мөнгөн усны баганы эсэргүүцэл температураас хамаарч дараах хуулиар өөрчлөгддөг гэвэл

$$R(T) = R_0(1 + \alpha'(T - T_0))$$

уг илэрхийлэл дэх α' -г **эсэргүүцлийн** температурын коэффициент гэж нэрлэж болно. α' -г $R_0, \Delta R, T, T_0$ хэмжигдэхүүнүүдээр илэрхийлж тоон утгыг тодорхойл.

- f) **Эсэргүүцлийн** температурын коэффициент болон **хувийн эсэргүүцлийн** температурын коэффициентүүдийг хооронд нь жишээд, уртын өөрчлөлтийг тооцох шаардлагатай эсэхэд дүгнэлт гарга.

БОДОЛТ:

№	Томъёон хариу	Тоон хариу	Оноо
a	$R_0 = \rho_0 \frac{4L}{\pi d^2}$	$\approx 5.67 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$	1.0+0.5
b	-----////////-----	$\rho = \rho(60^\circ\text{C}) = 98.344 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	1.0
c.1	$\Delta L = L\beta(T - T_0)$	$= 0.864 \text{ мм}$	1.0+0.5
c.2	Мөнгөн ус шингэн төлөвт байгаа учраас тэлэлт агуулагдаж буй сав буюу шилэн гуурсны өндрийн дагуу явагдана.		1.0
d	$\Delta R = \frac{4((\rho_0 + \Delta\rho)(L + \Delta L) - \rho_0 L)}{\pi d^2}$ $\approx \frac{4}{\pi d^2} (\rho_0 \Delta L + \Delta\rho L)$	$\approx 0.24 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$	1.0+1.0
e	$\alpha' = \frac{\Delta R}{R_0(T - T_0)}$	$\approx 0.00106 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$	1.0+1.0
f	$\alpha = 0.00088 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$ ба $\alpha' = 0.00106 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$ гэсэн утгууд хоорондоо ойролцоогоор 20%-ийн зөрүүтэй байна. Иймд энэ бодлогын хувьд буюу мөнгөн усны нарийн баганы хувьд температурын өөрчлөлтөөс болж шугаман урт өөрчлөгдөхийг тооцох шаардлагатай.		1.0

Позитрон эмиссийн томограф

Н.Норов

МУИС, ХШУИС, Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим

Хэд хэдэн үзүүлэлтийн тоон утга адил боловч зарим нь эсрэг тэмдэгтэй эгэл бөөмийг тухайн эгэл бөөмийн антибөөм гэж нэрлэдэг. Бөөм ба антибөөмийн масс, спин, изоспин, амьдрах нас адилхан, харин цахилгаан цэнэг, барионы болон лептоны тоо, соронзон момент, изоспины тусгал, тэгшлэг эсрэг тэмдэгтэй байдаг. Жишээ нь эгэл бөөм электроны антибөөм нь позитрон юм. 1932 онд АНУ-ын физикч К.Андерсон сансрын туяанд позитроныг илрүүлсэн байна.

Сүүлийн жилүүдэд цөмийн анагаах ухааны салбарт позитрон цацрагийг өргөн хэрэглэх болжээ. Позитрон эмиссийн томограф (ПЭТ) нь позитрон цацруулах хэт богино настай цацраг идэвхт изотопууд тэмдэглэгдсэн цацраг идэвхт эм бэлдмэлийг дүрс гарган авахад зориулж ашигладаг цөмийн анагаах ухааны аргад хамаарна.

Улаанбаатар хотод ашиглалтад орохоор бэлтгэгдэж байгаа Үндэсний оношлогоо, эмчилгээний төвийн үндсэн хэсэг нь компьютер томографтой хосолсон PET/CT, позитрон цацруулах цацраг идэвхт изотоп ^{18}F үйлдвэрлэх циклотрон хурдасгуур бүхий цөмийн оношлогооны тасаг юм.

Хэт богино настай изотопуудыг хэрэглэснээр шинжилгээний хугацаа ба өвчтөний авах цацрагийн ачааллыг бууруулана, учир бэлдмэлийн ихэнх хэсэг шинжилгээний хугацаанд задарч дуусдаг. Түүнээс гадна ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F зэрэг хэт богино настай позитрон цацруулах изотопууд бүхий элементүүд хүний бие махбодын биологийн ихэнх процесст хамгийн идэвхтэй оролцоно. ПЭТ шинжилгээ хийхийн тулд өвчтөний бие махбодод хэт богино настай цацраг идэвхт изотоп агуулсан шингэн-цацраг идэвхт эм бэлдмэлийг судсаар оруулж, ПЭТ сканраар позитрон цацрагийг бүртгэнэ. Гарган авсан дүрслэл аль нэг эрхтэн буюу эдийн үйл ажиллагааг үнэлэх боломж олгох бөгөөд эмгэгийг эрхтэний ноцтой гэмтлээс урьд зарим нэг эсийн гэмтэх үе шатанд байх үед нь илүүлэх ба үсэрхийллийг харуулна.

ПЭТ нь нэг фотон эмиссийн компьютер томограф (НФЭКТ) шиг сонгосон эрхтэн буюу бүх биед явагдах эд эсийн солилцооны процессыг судлах замаар тэдгээрийн үйл ажиллагааны тухай мэдээлэл авах цацраг идэвхт оношлогооны арга юм. Гэвч ПЭТ-т НФЭКТ шиг гамма квант цацруулах изотоп ашиглахгүй харин электроной адил масстай, нэмэх цэнэгтэй эгэл бөөм позитроныг ашиглана.

ПЭТ аргаар бие махбодын дурын үүргийг шинжилж болно. Зөвхөн тухайн үүргийг гүйцэлдүүлэхэд зориулсан критик чухал химийн нэгдлийг сонгох шаардлагатай.

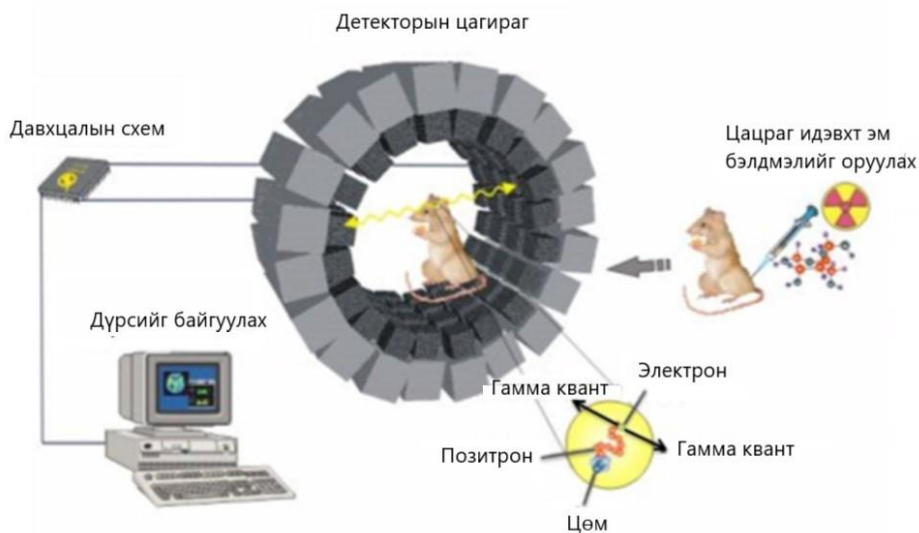
Цөмийн оношлогооны ПЭТ/CT төхөөрөмж нь хавдрын оношлогооны дэвшилтэт технологи бөгөөд хавдрыг эрт оношлох боломж олгох, хоргүй хавдраас хортой хавдрыг ялган оношлох, хорт хавдрын үе шатыг тогтоох, хавдрын цацрагийн эмчилгээний төлөвлөлтөнд хэрэглэх, эмчилгээний үр дүнг тооцоолох зэрэг өндөр чадамжтай юм. Уг төхөөрөмжийг хавдраас гадна хүний зүрхийг дүрслэн үзүүлэх, тархины зарим өвчинг оношлох гэх мэт бусад эрхтэний өвчин эмгэгүүдийн оношлогоонд өргөн хэрэглэнэ.

Позитрон эмиссийн томограф детекторуудын хөдөлгөөнгүй цагираг ба өвчтөнг байрлуулах хөдөлгөөнт ширээнээс бүрдэнэ. ПЭТ, КТ, МРТ-ийн гадаад байдал адилхан байдаг (1-р зураг).



Зураг 1. Томографууд (ПЭТ, КТ, МРТ)-ын гадаад хэлбэр.

ПЭТ шинжилгээний процесст өвчтөний судсаар эсвэл ууран утлагаар оруулах цацраг идэвхт эм бэлдмэлийн бүрэлдэхүүнд позитрон цацруулах цацраг идэвхт изотоп байна. Үүний дараа изотоп цусны голдрилд эргэлдэж судалж байгаа эрхтэнд хүрнэ. Жишээ нь толгойн тархи эсвэл зүрхний булчингийн эд эс. Цацарсан позитрон орчны электронтой мөргөлдөх үед аннигиляцийн процессоор энэ бөөм хатуу чанд эсрэг чигт нисэн гарах хоёр гамма квант болж хувирна. Эдгээр гамма квант нэгэн зэрэг детекторт хүрэх учраас аннигиляци (давхцах схем) болж байгаа 511 эВ энергитэй гамма шугамыг детекторуудаар бүртгэх бөгөөд эдгээр шугам олон бүртгэгдсэн хэсэгт өгөгдсөн изотоп их хуримтлагдаж байгааг илрүүлж болно.



Зураг 2. ПЭТ төхөөрөмж бүхий оношлогооны зарчим.

ПЭТ-т зориулж ашиглах богино наст изотопуудыг циклотрон дээр гарган авна. Эдгээр изотопууд хурдан задарч дуусах тул ПЭТ-ыг циклотроноос холгүй байрлуулна. Иймээс цацраг идэвхт изотоп үйлдвэрлэхэд зориулсан циклотрон, цацраг идэвхт эм бэлдмэл бэлтгэхэд зориулсан радиохимийн лаборатори, ПЭТ төхөөрөмж зэргийг багтаасан ПЭТ төвийг байгуулдаг. ^{18}F , ^{82}Rb , ^{11}C , ^{15}O , ^{13}N зэрэг позитроны изотопуудыг өргөн хэрэглэнэ.

Үндэсний оношлогоо, эмчилгээний төвд GE компанийн Optima PET/CT 560 төхөөрөмж суурилагдана 3-р зурагт харуулав. Түүний техникийн үзүүлэлт:

- ПЭТ/КТ төхөөрөмжид хамгийн өргөн ашиглагддаг ^{18}F FDG (фторжуулсан аналог глюкоз) тодосгогч бодис ашиглана;
- Шинжилгээний хугацаа хамгийн багадаа 15 минут;
- КТ-ын зүслэгийн тоо: 16.



Зураг 3. GE HealthCare Optima 560.

Толгойгоос хөл хүртэл нэг удаа бүрэн судалгаа хийх боломжтой. Сканэр хийх цар хүрээг ихэсгэсний ачаар сканэр хийх бүрт хугацааг 15 минут хүртэл хэмнэх боломжтой. Энэ нь өвчтөнг шилжүүлж тавих буюу түүний стол дээрх байрлалыг ямар нэг байдлаар засах шаардлаггүй. Түүнээс гадна столтой өвчтөн орох дугуй нүх (70 см) их болсон нь өвчтөнг эмхлэж оруулахад хурдан, тохиромжтой бөгөөд бие бялдар ихтэй ба сэтгэл санааны хямралтай өвчтөнд төрөл бүрийн эмчилгээ хийх боломж олгоно.

ПЭТ/КТ төхөөрөмжийг манай улсын оношлогооны салбарт хэрэглэсний ач холбогдол:

- Хорт хавдрын оношлогооны чанар дэлхийн жишигт хүрж, хүртээжм дээшилнэ;
- Хавдрын эрт илэрүүлэл сайжирна;
- Эмчилгээний сонголт оновчтой болж, өвчтөний амьдралын чанар сайжирна;
- Зүрх судас, мэдрэл зэрэг бусад өвчний оношлогооны чанар, хүртээжм сайжирна;
- Эмнэлгийн мэргэжилтэнгүүдийн чадавхи сайжирна;
- Гадаадад явж оношлогоо хийлгэх зардал хэмнэгдэнэ;
- Гадагш гарах мөнгөний урсгал буурна.

ПЭТ төхөөрөмжид ашиглах ^{18}F FDG цацраг идэвхт эм бэлдмэлийг GE компанийн Nini Trase циклотрон дээр гарган авна. Циклотрон – тогтмол нэг төрлийн соронзон оронд релятив биш цэнэгт хүнд бөөм протоны цикл хурдасгуур юм. Протоныг хурдасгахад зориулж давтамж нь өөрчлөгдөхгүй өндөр давтамжийн цахилгаан орныг ашиглана. Протоны энерги: 9,6 МэВ;

- Бай: 95% баяжуулсан хүчилтөрөгч ^{18}O
- Тодосгогч изотоп ^{18}F фтор-18;
- Цацрагийн хамгаалалттай;
- Төхөөрөмжийн нийт жин 100т.

ПЭТ-т зориулан түгээмэл ашигдагдах позитрон эммисийн изотопууд

Цацраг изотоп	идэвхт	Хагас задралын үе, мин	Позитроны хамгийн их энерги, МэВ	Зөөлөн эдэд позитроны хамгийн их гүйлт, мм
^{11}C		20,38	0,96	4,1
^{13}N		10,08	1,19	5,4
^{15}O		2,03	1,70	8,0
^{18}F		109,77	0,69	2,4
^{68}Ga		67,71	1,92	9,0

Цацраг идэвхт изотопууд хангах блокын цацраг идэвхт эм бэлдмэлийг синтезлэх систем болох синтезийн модуль-GE Healthcare FDG Modules (web page GE HEALTHCARE)-ийг 4-р зурагт харуулав. Синтезийн модуль нь ПЭТ оношлогоонд зориулж ашиглах ЦИЭБ-ийн радиохимийн синтезийн автомат суурь юм. Цацраг идэвхт индикатор үйлдвэрлэх байнга өөрчлөгдөх зорилгын шийдэл нь модуль юм. Орчин үеийн шаардлагыг биелүүлэхэд зайлшгүй хурд, ашигтай тал, эдийн засгийн ашиг гэх мэт давуу талаас гадна ийм систем орчин үеийн молекул технологийн манлайд байж олон зориулалттай, уян хатан байдалтай байна.



Зураг 4. Синтезлэх систем FASTlab™ ба синтезлэх модуль TRACERlab FFX-N.

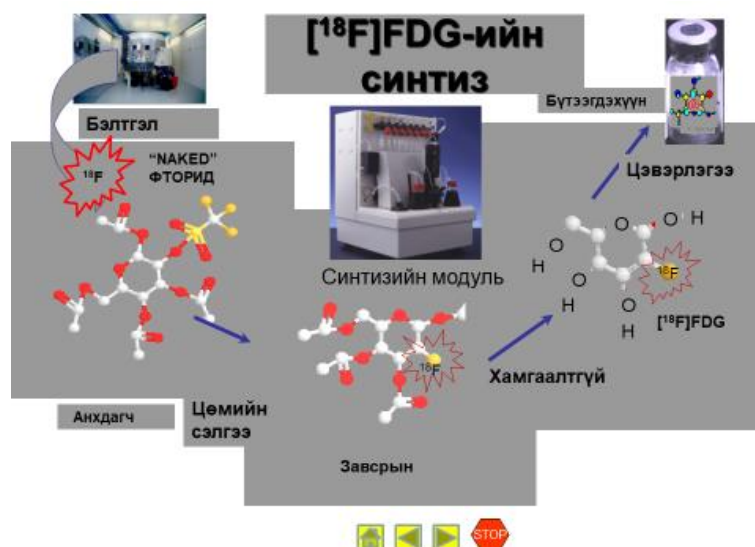
Циклотроны давуу тал:

- Цөмийн реактор шиг цацраг идэвхт изотопууд гарахгүй;
- Цацраг идэвхт ашигласан түлш гарахгүй;
- Цацраг идэвхт хайгдал бага ялгаран гарна;
- Бай болгон ашиглах материалын хэмжээ бага;
- Үйлдвэрлэх цацраг идэвхт изотопын хэмжээ бага бөгөөд гарган авсан изотопын маш их үр дүнтэй ашиглагдана.

ПЭТ/КТ оношлогоонд хэрэглэх цацраг идэвхт бодисын хэмжээ

ПЭТ/КТ оношлогоонд хэрэглэгдэх позитрон цацруулах цацраг идэвхт изотоп буюу тодосгогч нь ^{18}F FDG бөгөөд түүнийг гаргаж авах бүдүүвчийг 5-р зурагт харуулав.

Циклотрон хурдасгуур дээр цөмийн урвалаар гарган авсан цацраг идэвхт изотопыг химийн урвалд оруулан цацраг идэвхт тодосгогч гарган авна. ПЭТ оношлогоонд маш өргөн хэрэглэх цацраг идэвхт тодосгогч бол [^{18}F]fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) буюу фторжуулсан аналог глюкоз юм. FDG тодосгогч нь хүний бие доторх бодисын солилцооны үйл ажиллагааг шууд үнэлнэ. FDG тодосгогчтой бүх биеийн ПЭТ оношлогоо нэг үзлэгээр бүх эрхтэн системийн глюкозын бодисын солилцоог хэмжинэ.



Зураг 5. FDG тодосгогч үйлдвэрлэх бүдүүвч.

Өвчтөнд оруулах ^{18}F FDG цацраг идэвхт эм бэлдмэлийн цацраг идэвхийн тооцоолсон тугналтын хэмжээ 550 МБк, ПЭТ оношлогооны нэг ээлжийн ажлын ачаалал ойролцоогоор нэг ПЭТ дээр өдөрт 10 өвчтөн ба долоо хоногт 50 өвчтөн оношлогоонд орно гэвэл жилд хэрэглэх цацраг идэвхт бэлдмэлийн хэмжээ:

$50 \text{ өвчтөн/долоо хоног} \times 50 \text{ долоо хоног} \times 550 \text{ МБк} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ ГБк}$ идэвхтэй ^{18}F FDG цацраг идэвхт эм бэлдмэл хэрэглэнэ.

Исаак Ньютоны амьдралын замнал, гайхамшигт нээлт бүтээл

Орчуулсан

Проф. Н. Түгжсүрэн

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль



ИСААК НЬЮТОН

(1642-1727)

"...Байгалийн философийн замаар хийсэн алхам бүр биднийг анхдагч шалтгааныг танин мэдэхэд хүргэхгүй ч биднийг түүн рүү ойртуулж байдагараа эрхийн эрхэм юм..."

"... Би өмнөх үеийнхээ агуу ухаантнуудын бүтээл өмнөх судалж тэдний мөрөн дээр сууж байснаас арай илүү хэвч харсан болов уу"

"Шинжлэх ухаан бол зах хязгааргүй их ухаан далай юм. Харин би бол ухаан далайн эрэг дээр хясаагаар толгож суугаа л хүрээд..."

Is. Newton

Их хүн мэндэлсэн нь. “Энэ ертөнцийг түнэр харанхуй нөмөрч байлаа. Гэрэл цацарлаа. Ньютон төржээ” гэсэн нэг дуурсгалт өгүүлэмж гурван жарны тэртээгээс өнөөг хүртэлх намтар судлаачдын ном зохиолд бичгдэж иржээ. Агуу эрдэмтэн Галилей бурхны оронд залраад ганц жил ч өнгөрөөгүй байхад буюу тэртээ зургаан жарны өмнө тэр үеийн шинэ тооллоор 1643 оны 1дүгээр сарын 4-ны өдөр (англичуудын баримталдаг хуучин тооллоор бол 1642 оны 12 дугаар сарын 25) Английн Вульсторп хэмээх жижигхэн тосгонд амьсгаатай үгүй нь мэдэгдэхгүй дутуу төрсөн нэгэн “улаан цурам”-ыг ламтан ирж судсыг барьж үзээд “хөөрхий амьтанд хүн болох горьдлого алга даа, ганц өдрийн нас байна уу, үгүй юу “ хэмээн айлдан замыг нь засах ном уншиж, залбирал үйлдээд явсан гэдэг. Гэвч ламтны айлдал энэ удаа төөрч... Өнөөх муу амьгүй шахам улаан нялзрай амьтан чинь төдөлгүй амьсгал авч хөдлөх нь тэр. Нэг сар, гурван сар, хагас жил өнгөрч.Бурхан энэ амьтанд амьдрал хайрлаж Ньютон хэмээх нэрийг авч тосгоны хүмүүсийн нэрсийн дансанд бичигдэв. Сүүлд өөрийнх нь наргиа болгож хэлснээр чухам л “шар айрагны аяганд багтахаар амьтан” байж. Тэр үед аав ээж нь энэ “амьтныг” эсэн

мэнд өсч бойжиж хүн болно гэхэд ихэд эргэлзэж байсан гэдэг. Гэвч хүн болохоор барахгүй, уртнасалж удаан жаргасан, дэлхийн агуу ухаантан, байгалийн шинжлэлийн хосгүй том эрдэмтэн болж хүний нийгмийн түүхэнд алтан үсгээр бичигдсэн нь гайхалтай. Түүний эцэг Исаак нь жижиг хувийн аж ахуй эрхэлдэг, ээж Ханна Эйскоу нар хүүгээ удам залгаж гайгүй орлоготой аж ахуйгаа эрхлүүлэн амар жимэр амьдруулах бодолтой байсан гэдэг. Аав ээж нь тун эмзэг, их амархан гомддог, зожиг зантай бяцхан хүүгээ тэр үеийн нэрд гарсан том сургуульд оруулах гэж энэ тэрээ бололгүй хөдөөнийхөө бага, дунд сургуулиар явуулжээ. Харин бяцхан хүүгийн ой тогтоолт гаргуун, нэг юманд анхаарлаа төвлөрүүлэн оролдох нь тун сүрхий байж. Тэрээр хүүхэд байхдаа салхин тээрмийн загвар, ширээний цаг, дэнлүү, цаасан могой зэрэг юмны загварыг гарган өөрийнхөөрөө хийж суудаг байжээ. Түүнийг 17 нас хүрч бие хаа гайгүй торниун болж ирэх үед аав ээж нь аж ахуйн ажилдаа оролцуулж, амьдрах ухааны дөр суулгах гэтэл тэрээр айхтар дургүйцэж, цашид юу хийж яаж ийх нь тодорхойгүй болж ирсэн байна. Энэ үед нагац Уильям Эйскоугийн ятгаснаар Ньютон Кембрижийн их сургуулийн Тринити коллежийн оюутан болсон байна.



*Ньютоны төрсөн гэр
коллеж*

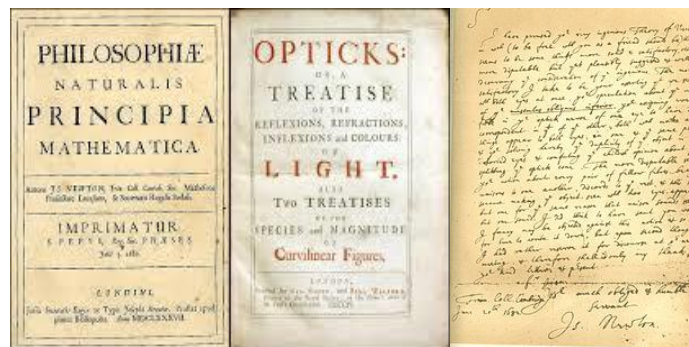


Ньютоны суралцаж байсан Тринити

Их хүний эрдэм ухаан ундрах эх суурь тавигдсан нь. Ньютон 21 настайдаа сургуулиа төгсөөд судалгаа шинжилгээний ажил хийх боломжтой болж, харин чухам юунаас эхлэхээ тунгаан бодож байгаад Евклид, Декартын геометр, Кеплерийн бүтээлүүдийг судалж гарчээ. Тэрээр цаашлаад, Галилейн “Ертөнцийн хоёр гол тогтолцоо-Птолемей ба Коперникийн системийн тухай харилцан яриа” хэмээх бүтээлийг тун ч анхааралтай уншиж судлаад сэтгэл ихэд хөдөлсөн гэдэг. Түүний сонихлыг маш их татаж байсан өөр нэг юм бол манай эриний VIII зууны үеэс арабад арвис хими буюу алхимийн үзэл санаа энэ үе хүртэл явжирснээс үүдэлтэйгээр цоо шинэ бодис гарган авахад чиглэгдэж байсан бөгөөд энэ зорилгоор лаборатори байгуулж түүндээ тасралтгүй сууж янз бүрийн туршилт хийж хамаг цагаа зориулж байжээ. Энэ цаг үед Англи оронд айхтар тахал гарч хүмүүсийн гадуур хамаагүй сэлгүүцэх боломж хаагдаж, тэгээд ч Ньютон ийш тийш явах тун ч дургүй (түүнийг амьдралдаа Кембрижээс 200 км-ээс холдож үзээгүй хүн хэмээн намтар түүхэнд нь бичигдсэн байдаг) нэгэн байсан тул гэртээ сууж математик, философийн их бясалгалд бие сэтгэлээрээ живсэн нь түүний агуу нээлтүүд ундрэн гарахын гол эх сурвалж болсон гэдэг. Хоёр гишүүний нийлбэр дурын бүхэл зэрэгтэй байхад эдгээр гишүүний зэргээр нь илэрхийлж олох томъёог гаргасан нь “Ньютоны бином” хэмээн өнө мөнхөд алдаршжээ. Гурван зууны гэртээ гаргасан эл томъёог өнөөдөр энэ дэлхийн бүх сургуульд үзэж, байгалийн

шинжлэл, техникийн ухааны хүмүүс “Ньютоны бином”-ын задаргааг хийсээр сууна. Уламжлалын арга, тодорхойгүй интеграл бодох аргуудыг гаргасан төдийгүй алдарт математикч Готтфрид Лайбницээс тусдаа интеграл, дифференциал тооллыг боловсруулсан байна. Өнөөдөр бүх л шинжлэх ухааны, тэр дундаас байгал, техникийн ухааны нарийн төвөгтэй бодлогыг интеграл, дифференциал тооллын аргад тулгуурлан бодохгүйгээр шийдвэрлэнэ гэж төсөөлөх аргагүй болохыг хэн бүхэн мэднэ. Тэрээр өөрийн бүтээл нээлтээ тэр доор нь хэвлүүлэн шинжлэх ухааны хүрээнийхэнд тараахыг урьдал болгодоггүй, дахин дахин нягт нямбай үзэж нягталдаг зантай хүн байсан тул хэдийн хийгдсэн хэрнээ олон нээлт бүтээл нь дарагдан хоцорсон байдгийг түүний их бүтээлийн өвийг судалсан хүмүүс сүүлд гаргаж тавьсан байдаг. Үүнийг өнгөрсөн зууны дундуур эмхэтгэн хэвлүүлж гаргасан “Ньютоны математикийн гар бичмэлүүд” хэмээх олон боть бүтээлтөв тодорхой гэрчилдэг.

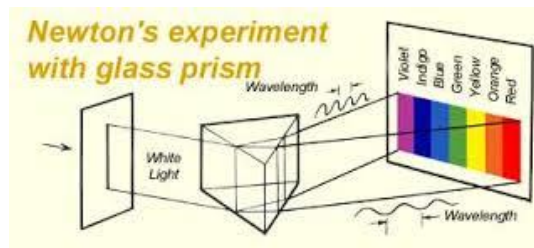
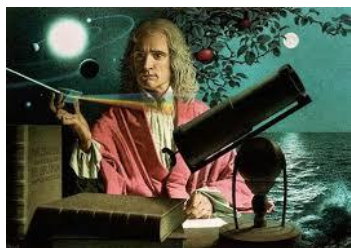
Агуу нээлт бүтээл ундарсан нь. Ньютоны турвисан “Эхлэл” (1687), “Оптик”(1704) зэрэг хосгүй гайхамшигт бүтээлүүд нь чухам энэ үеэс байгалийн шинжлэлийг шинжлэх ухаанчаар “эхлүүлсэн” төдийгүй өнөө үеийн эрдэмтэн судлаачдын ширээний ном болсон хэвээр юм. Тэрээр сонгодог механикийг үндэслэн хөгжүүлээд зогсоогүй. Ньютон гэрлийн дифракц, өнгөний эндүү гажигийг нээсэн төдийгүй гэрлийн интерференци, дифракцийн үзэгдлийг гүнзгий судалж түүний мөн чанарын талаар орчин үеийн физик үндэслэлийг гаргажээ. Тэрээр, “...гэрэл бол үүсгүүрээс гарч орчинд их хурдтай тарах бөөмсийн урсгал...” хэмээн гэрлийн бөөмслөг онолыг боловсруулж улмаар гэрэл бөөмслөг ба долгиолог хоёрдмол чанартай болох талаар бодит таамаглал дэвшүүлсэн нь хожим ягштал батлагдаж өнөөг хүртэл физикт баримталж буй онолын гол үндэслэл болсон хэвээр байна.



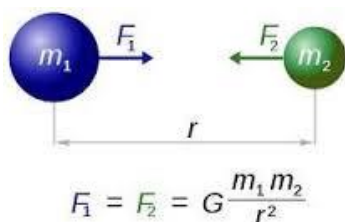
Ньютоны алдарт бүтээл “Байгалийн философийн математик эхлэл”, “Оптик” номын нүүр ба гар бичмэлийн хэсгээс.

Тэрээр агуу онолч, бясалгагч гүн ухаантан, физикч, математикч, одон оронч төдийгүй гайхамшигтай туршигч, зохион бүтээгч байв. Хар багаасаа л байгалийн үзэгдэл, одот тэнгэрийг онцгойлон сонирхож оюу ухаанаа билчээдэг байсан тэрээр оюутан байхдаа ердөө л 3 см диаметртэй, 15 см урттай анхны тольт дуран бүтээж тэнгэрийн эрхсийг дуранджээ.

Биесийн харилцан үйлчлэл орон хэмээх “юу ч биш юм”-аар дамжин үйлчлэх тухай ертөнц дахины таталцлын хууль нь тэр үедээ шашиныхны дургүйг ихэд хүргэж улмаар сургуулиудад энэ тухай хэрхэвч дуулгаж болохгүй хэмээн хатуу хорьж байсан гэдэг.



Гэвч агуу Ньютон байгалийн хуулийг нээсэн болохоос санаанаасаа хийсвэрлэн зохиогоогүй тул жам ёсоороо өөрийн байраа нэгэнт эзэлжээ. Тэрээр хөдөлгөөний хуулиуд болон таталцлын онолоо 25 нас хүрэхдээ хэдийн боловсруулчихсан байсан гэдэг. "... би өмнөх үеийнхээ агуу ухаантнуудын бүтээл онолыг судалж тэдний мөрөн дээр сууж байснаас арай илүү холыг харсан болов уу", "Шинжлэх ухаан бол зах хязгааргүй их ухаан далай юм. Харин би бол ухаан далайн эрэг дээр хясаагаар тоглож суугаа л хүүхэд..." хэмээн бараг гурван зууны тэртээ өгүүлж байсан нь түүхийн шарласан хуудсанд мөнхрөн үлджээ.



Кембрижийн Их сургууль байгуулагдаад гурван зуун жил болоход Ньютоныг хүртэл математикийн дагнасан тэнхимгүй явж иржээ. Анх Генри Люкас гэдэг хүний өв хөрөнгөөр математикийн тэнхим байгуулагдаж грек хэл заадаг Исаак Барроу гэдэг хүн эрхлэгч болсон боловч тэрээр 1669 онд хааны ордонд уригдан явахдаа Ньютоны математикийн авъяасыг ихэд үнэлдэг хүн байсан тул өөрийнхөө оронд тавих саналаа хаанд уламжилсан байна. Хаан ч энэ саналыг хүлээн авчээ.

И.Ньютон 1703 онд Лондоны Вангийн нийгэмлэгийн ерөнхийлөгч (манайхаар бол тэр үеийн шинжлэх ухааны академийн тэргүүн юм) болж улмаар хамгийн анхны тайжийн цолоор шагнуулж насан эцэстлээ энэ албыг хашчээ. Сүүлдээ агуу Ньютон Вангийн алтан санг эрхлэн хариуцсан үнэн итгэлт хүн болон өргөмжлөгдөж, хуурамч мөнгө үйлдэгчдийн эсрэг томоохон тэмцэл хийж, хэд хэдэн хүнийг дүүжлүүрт явуулж, гэмт хэрэгтнүүдийн зүрхийг үхүүлэн дарж чадсан гэдэг.

Ньютоны физик, астрономын ухаанд оруулсан их гавьяа. Эх дэлхийдээ эргэн төрсөн “агуу Галилейн сүнс” гэгддэг, гүнзгий бясалган тодорхой дүгнэлтэнд хүрэх их ухаан бурхнаас заяагдсан энэ хүн “Нарны аймгийн гаригуудын хөдөлгөөнөөс авахуулаад одот орчлонгийн тогтвортой орших зүй тогтлын талаар олон тулгуур хуулийг томъёолсон юм.1687 онд хэвлэгдэн гарсан “Байгалийн философийн математик эхлэл” хэмээх Ньютоны бүтээлийг ач холбогдлоороо Библийн дараа орох ном гэж үнэлсэн нь бий. Хүн төрлөхтний танин мэдэхүйн үнэт бүтээлийнх нь хувьд их математикч Ж.Л.Лагранж “математик эхлэл бол хүний оюун ухааны агуу бүтээл”, Вольтер “Ньютон бол хамгийн агуу хүн. Бурхнаас заяатай ийм хүн хэдэн арван зуунд ганц л төрөх байх” хэмээн онцгой их үнэлсэн байдаг.

Ньютон “Оптик” (1704) бүтээлдээ: “...байгалийн философиин гол үүрэг бол ... таамаглахгүйгээр үзэгдлийн мөн чанарын талаар дүгнэлт хийх, шалтгааныг илрүүлэх, ингэснээр хамгийн анхдагч шалтгааныг олох аргазүйг нээх, мөн дараах асуултуудад хариу өгөх явдал мөн. Матери бараг байхгүй газар юу байдаг, Нар болоод гарагууд, тэдгээрийн хооронд материгүй мөртөө яаж таталцдаг вэ? Байгаль яагаад юуг ч дэмий бүтээдэггүй вэ? Ертөнцийн бидэнд харагдаж байгаа эмх цэгц, гоо сайхан юунаас үүдэлтэй вэ? Сүүлт од байдгийн учир юу вэ? Бүх гаригууд яагаад зөвхөн нэг чиглэлд, нэг төвийг тойроод эргэж байхад сүүлт одод хаашаа ч хамаагүй хөдөлж байдаг, яагаад хөдөөгөнгүй одод нэг нэг рүүгээ татагдан унахгүй байна вэ? Амьтны бие яагаад ийм уран бүтэцтэй хийгээд түүний янз бүрийн хэсгүүд хэрхэн ийм нарийн зохицолдоот үүрэг гүйцэтгэдэг вэ? нүдийг оптик мэдэхгүйгээр бүтээсэн үү? Чихийг акустик мэдэхгүйгээр бүтээсэн үү? Бие хэрхэн оюу ухаанд захирагдан хөдөлдөг вэ? Яагаад амьтад ч гэсэн зөн мэдрэмжтэй байдаг вэ? ... Ийнхүү бүх зүйл зөв бүрэлдэн бүтсэнийг үзэхэд, бүхнийг чадагч, биегүй, тэгсэн мөртөө амьд оюу ухаант юм хязгааргүй огторгуйг эзлэн бүхнийг нэвт тольдож дэргэд байж бүхнийг ойлгож байдаг нь тодорхой болох бус уу? ... Байгалийн философиин замаар хийсэн алхам бүр биднийг анхдагч шалтгааныг танин мэдэхэд хүргэхгүй ч биднийг түүн рүү ойртуулж байдгаараа эрхмийн эрхэм юм...” хэмээн өгүүлсэн байдаг.

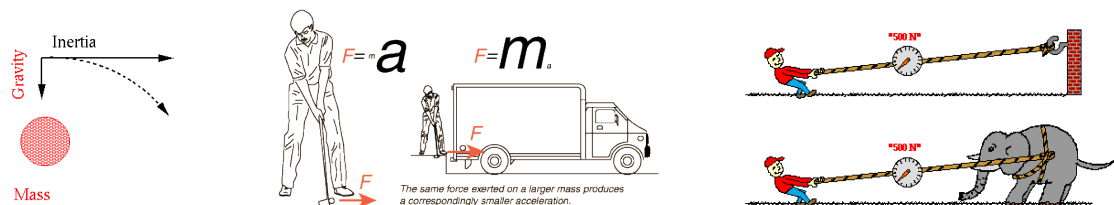
1684 онд Лондонгийн Вангийн нийгэмлэгийн нарийн бичгийн дарга, нэрт астрономч, геофизикч Эдмунд Галлей (1656-1742) -гийн санаачлагаар нэгэн зөвлөгөөн болжээ. Энэхүү зөвлөгөөнд Ньютоны шинжлэх ухааны байнгын шүүмжлэгч, байгаль судлаач, физикч Гүүк (1635-1703), математикч, Лондонгийн гэгээн Павлын сүмийг бариулсан уран барилгач Кристофер Рен (1632-1723) нар оролцож төвийн бие буюу нарны татах хүчний үйлчлэл дор хөдлөх гаригийн хөдөлгөөний траекторын талаар хэлэлцэхэд “ Гүүк, энэ асуудлыг би шийдчихсэн,цааших яриа хэрэггүй” гэж мэдэгдсэн гэдэг. Гэвч асуудлыг хэрхэн шийдсэн ажлаа Хааны нийгэмлэгт танилцуулж, үнэлэлт дүгнэлт гаргуулаагүй аж. Иймд Э.Галлей энэ асуудлаар Ньютонд хандахад “ би үүнийг аль хэдийн шийдчихсэн. Гаригууд эллипс замаар хөдлөх бөгөөд нэг голомт дээр нь Нар оршино” хэмээн шуудхан хариулсан гэдэг. Тэгээд Галлейн хүсэлтээр “Орбитаар хөдлөх биеийн хөдөлгөөний тухай” богино өгүүллэг бичин толилуулж, улмаар “Байгалийн философиин математик эхлэл” номын I ботгийн ихээхэн хэсгийгэнэ асуудалд зориулжээ. Ньютон энэ бүтээлийнхээ анхны хэвлэлийн оршилд “... шинжлэх ухааны бүх салбарт хэрэгтэй ухаалаг хүн Галлейн туслалцаа их, тэрээр номыг шүүн тунгааж, зураг чимэглэлийг хийсэн төдийгүй зөвхөн түүний шаардлага ятгалгаар энэ номыг хэвлэлд бэлтгэсэн юм. Тэр надаас орбитоор хөдлөх биеийн хөдөлгөөний талаарх баталгааг хүлээн аваад Хааны нийгэмлэгт танилцуулахыг ятгаж өөрийн халамж анхаарлыг тавьснаар би бүтээлээ хэвлүүлэхээр болсон юм...” хэмээн бичсэн байдаг. Тэрээр сонгодог механикийг үндэслэн хөгжүүлээд зогсоогүй алдарт математикч Г.Лейбницээс тусдаа интеграл, дифференциал тооллыг боловсруулсан байна.Физик, математикийн салбарын судлаач мэргэжилтнүүд дифференциал ба интеграл тооллыг холбож өгдөг Ньютон-Лейбницийн томъёог мэднэ. Өнөөдөр бүх л шинжлэх ухаан, тэр дундаас байгал, техникийн ухааны нарийн төвөгтэй бодлогыг интеграл, дифференциал тооллын аргад тулгуурлан бодохгүйгээр шийдвэрлэнэ гэж төсөөлөх аргагүй болохыг хэн бүхэн мэднэ. Ньютон хэдийгээр цахилгаан соронзон долгионы онолын бөөм талыг илүүтэй барьж

байсан хэдий ч долгион тал нь тод илрэх гэрлийн дифракц, өнгөний эндүү гажигийг нээсэн төдийгүй гэрлийн интерференци, дифракцийн үзэгдлийг гүнзгий судалж түүний мөн чанарын талаар орчин үеийн физик үндэслэлийг гаргажээ. Ийм учраас гэрэл бөөмслөг ба долгиолог хоёрдмол чанартай болох талаар бодит таамаглал дэвшүүлсэн нь хожим ягштал батлагдаж өнөөг хүртэл физикт баримталж буй онолын гол үндэслэл болсоор байна. Ньютоны эдгээр нээлт бүтээл астрономын ухааны онол, туршилт, ажиглалт судалгааны ахиц дэвшилд асар том хувь нэмэр оруулсан юм. Тэрээр агуу онолч, бясалгагч, гүн ухаантан, физикч, математикч, одон оронч төдийгүй гайхамшигтай туршигч, зохион бүтээгч байв. Хар багаасаа л байгалийн үзэгдэл, одот тэнгэрийг онцгойлон сонирхож оюу ухаанаа билчээдэг байсан тэрээр оюутан байхдаа анхны тольт дуран (рефлектор) бүтээж тэнгэрийн эрхсийг дуранджээ. Ньютон 1672 онд хааны нийгэмлэгийн гишүүн болсны дараахан нь астрономын шинэ дуран хийснээ танилцуулж багагүй шуугиан дэгдээсэн гэдэг. Энэхүү дуран хэдийгээр жижигхэн хэдий ч гэрэл ойх хууль долгионы уртаас үл хамаарах тул дурангийн объективийг хүнхэр толиор солих нь чухал гэж үзээд ийм дуранг өөрийн гараар хийсэн нь орчин үеийн тольт дурангийн үндэс болсноороо дуурсалтай юм. Тольт дуранд өнгөний абerraц байдаггүй. Ньютоны боловсруулсан механикт огторгуй хугацаа, абсолют болох тухай үндсэн ойлголт нь их сэтгэгчдийн “аазгайг хөдөлгөж” чухамдаа харьцангуй механик төрөх шимтэй хөрс нь болсон гэж үздэг. Үүнийг дараа үеийнх нь ухаантнууд, “агуу Ньютон хүн төрлөхтөнд орчлонг нээж өгсөн” хэмээн үнэлдэг. Гурван зууны тэртээнээсэн ертөнц дахины таталцлын хууль, сонгодог механикийн гурван хуулийг дэлхийн өнөөгийн дэлхийн олон орны дунд болоод их, дээд сургуулийн физикийн сурах бичигт өөр өөрийнхөө хэлэн дээр өчүүхэн ч өөрчлөлтгүйгээр буулган түүний физик үндэслэлийг хойч үеийнхэндээ зааж сургасаар... Агуу Ньютоны нээсэн эдгээр гурван хууль нь:

Нэгдүгээр хууль. *Аливаа бие, өөрийн тайван байдал буюу шулуун жигд хөдөлгөөнөө, гадны хүч үйлчлэн тэр байдлаас нь гаргах хүртэл хэвээр хадгална.*

Хоёрдугаар хууль. *Аливаа биеийн хөдөлгөөн өөрчлөгдөх нь үйлчлэх хүчтэйгээ шууд хамааралтай бөгөөд тэрхүү хүчнийхээ үйлчлэх чигийн дагуу хийгдэнэ* (Энд хөдөлгөөн өөрчлөгдөх гэдэг нь биеийн хурд өөрчлөгдөхийг хэлж байгаа болно).

Гуравдугаар хууль. *Хоёр биеийн харилцан үйлчлэх хүч нь ямагт тэнцүү бөгөөд эсрэг зүг чиглэсэн байдаг.*



Ньютоны энэ гурван хууль, хурдны хувьд гэрлийн хурдтай харьцуулахад тооцомгүй бага буюу хөдөлгөөнийхөө явцад масс нь ямагт тогтмол байх биедтуйлын үнэн байдгаараа онцгой юм. Энэ бол манай гаригийнхны үхэр тэрэг хөллөн газар хагалах, морь машин унан давхихаас авахуулаад барилга байгууламж барих, сансрын хөлөг бүтээн эх дэлхийгээ тойрон нисэх зэрэг бүхий л үйл ажиллагааны шинжлэх ухааны үндсийн үндэс болох тулгуур хууль зүй болно гэсэн үг юм.

Ньютон хэдийгээр цахилгаан соронзон долгионы онолын бөөм талыг илүүтэй барьж байсан хэдий ч долгион тал нь тод илрэх гэрлийн дифракц, өнгөний эндүү гажигийг нээсэн төдийгүй гэрлийн интерференци, дифракцийн үзэгдлийг гүнзгий судалж түүний мөн чанарын талаар орчин үеийн физик үндэслэлийг гаргажээ. Ийм учраас гэрэл бөөмслөг ба долгиолог хоёрдмол чанартай болох талаар бодит таамаглал дэвшүүлсэн нь хожим ягштал батлагдаж өнөөг хүртэл физикт баримталж буй онолын гол үндэслэл болсоор байна. Тэрээр, бидэнд харагддаг тэнгэрийн биес яагаад нэг л тойрог замаар хөдөлдөг, эхлэл төгсгөлгүй орчлонгийн уудамд аль нэг тийшээ уусан алга болдоггүй талаар ухан ухан бодсоор тодорхой дүгнэлтэнд хүрчээ. “Одон ертөнцөөс авахуулаад бичил бөөм хүртэлх бүх биес өөр хоорондоо таталцах бөгөөд энэхүү таталцлын хүч нь тэдгээр биеийг бүтээсэн “юм” (масс)-ны үржвэртэй шууд, хоорондох зайн хоёр зэрэгтэд урвуу хамааралтай” хэмээх ертөнц дахины таталцлын хуулийг нээсэн нь чухамдаа хүн төрлөхтөнд орчлонг нээж өгчээ.

“Хүн төрөлхтний од хийморь болсон энэ хүн та бидний дунд амьдарч байсанд бахархъя”. Тухайн үедээ ертөнцийг ухаанаараа эзэгнэсэн энэ суут хүн төрсөн тэр дороо “хойдохоо уншуулах”-аар байсан ч бурхны авралаар өлзий хутаг оршин ямар ч өвчин зовлонгүй явсаар наян таван насныхаа босгонд тулахын өмнөхөн авсан нэгэн айхтар хатгалгаат ханиад “дэлхийн өвгөн”-ий морийг эмээллэжээ. Ертөнцийн жамыг дагах болсон ухаант өвгөн эрдэм ухаанаа шингээн буулгасан байгалийн шинжлэлийн хосгүй үнэ цэнэтэй нээлт бүтээл юугаа хойч үеийнхэндээ гэрээслэн орхиод, оюун бодолдоо ургуулан учир жанцанг нь нээн олсон дэндүү алсын тэр ертөнцөд бараг гурван зууны тэртээ “үүрд нойрсохоор” одсон ч өнөөдрийн өдөр болоход амьд юм шигээр дурсагддаг нь түүний агуу гайхамшигт бүтээл нээлтийн ид шид болой. Дэлхийн олон улс Ньютонд зориулж хөшөө дурсгал босгох, бүтээлүүдийг нь ном болгон хэвлэх, зоос болоод марк гаргах, энгэрийн тэмдэг, мөнгөн тэмдэгт хийх, дарцаг болон зурагт наамалд харуулах зэргээр алдар нэрийг нь мөнхжүүлж, агуу нээлт бүтээлийг нь даян дэлхийд алдаршуулсаар байна. Манай гарагийн олон улсын байгалийн шинжлэлийн ном сурах бичигт байнга бөгөөд хамгийн ихээр бичигдэн олон янзын түвшний сургуульд бүтээл нээлтийг нь судалсаар ирсэн агуу хүмүүсийн эхний эгнээнд Исаак Ньютон хэмээх нэр дархлагджээ.

Дэлхийн шинжлэх ухааны түүхэнд мөнхөд алдаршин үлдсэн энэ агуу хүнийг тэнгэрт халихад шарилыг нь түмэн олны өмнө, хүндэтгэлийн тусгай тавцан дээр байрлуулан олон хоног салах ёслолыг үйлдсэний эцэст Английн алдар цуутай хүмүүсийг оршуулдаг Вестминстерийн сүмд нутаглуулж бунхан дээр нь “Энд өөрийн математик аргаа хэрэглэн бурханлаг оюун ухааныхаа хүчээр гаригийн хөдөлгөөн, сүүлт одны зам, далай тэнгисийн түрлэг, татлагыг тайлбарласан Исаак Ньютон нойрсож байна. Тэрбээр гэрлийн цацрагийн ялгаа, түүнээс үүдэн гэрлийн янз бүрийн шинж чанаруудыг нээжээ. Хичээл зүтгэлтэй, суу зальтай, байгалийг, мөн эртний үйлийг, Ариун Гэрээсийг үнэнээр тайлбарлагч, өөрийн гүн ухаанаар бүхнийг чадагч Бүтээгч эзний тухай баталсан энэ хүн Библийн сургаалд нийцсэн эгэл даруу нэгэн байв. Бидний дунд хүн төрлөхтний чимэг болсон ийм хүн амьдарч байсанд бахархъя” гэсэн өгүүлбэрийг сийлжээ.

“Гэрлэн диодын хүчдэл, гүйдлийн хамаарал” ээлжит хичээлийн ТӨЛӨВЛӨГӨӨ

А.Батцэцэг

Өвөрхангай аймгийн Арвайхээр сумын ЕБ-ын 1-р сургууль

eb1battsetseg@gmail.com



Амгаланбаатарын Батцэцэг нь 2011 онд МУИС-ийг ФЭС-ийг физик, байгаль шинжлэлийн багш мэргэжлээр төгссөн. Өвөрхангай аймгийн Арвайхээр сумын ЕБ-ын I сургуульд физикийн багшаар ажилладаг бөгөөд ажиллах хугацаандаа аймгийн “Багшлах ур чадварын уралдаан”, улсын физикийн олимпиад, үндэсний хэмжээний эрдэм шинжилгээний болон онол практикийн бага хурлуудад амжилттай оролцож ирсэн идэвхтэй, залуу багш нарын нэг юм. Тэрээр 2017 оны 1 дүгээр сарын 23-аас 2 дугаар сарын 3-ны хооронд Япон улсын Нагоя хотод болсон “Хичээлийн судалгааны онол, арга зүй” сургалт семинарт амжилттай оролцон, япон багш нарын хичээлийн судалгааг хэрхэн хийдэг туршлагыг судалж, тэдний арга зүйгээс сурч иржээ. Энэхүү арга зүй нь хичээлийн судалгааны үр дүнг илүү нарийн, бодитой гаргадаг төдийгүй тухайн хичээлийг сайжруулах боломжуудыг багшид харуулж өгдөг олон давуу талтайгаараа дэлхийд хэдийнээ танигдсан билээ. Түүнчлэн 2018 оны 1 дүгээр сард “Монголын хичээлийн судалгааны нийгэмлэг”-ээс зохион байгуулсан “Хүүхдийн хөгжлийг дэмжсэн багшлах арга зүй” онол практикийн V бага хуралд Б. Сундуй, Г. Зууннаст нартай хамтран бичсэн “Сурагчдын графиктай ажиллах чадварыг явцын үнэлгээгээр хөгжүүлэх нь” сэдэвт судалгаат итгэлээр оролцож, Байгалийн ухааны салбар хуралдаанд 1-р байранд шалгарсан. Тэрээр тэмдэглэлд суурилсан хичээлийн судалгааг өөрийн хичээл сургалтад, цаашлаад бусад багш нарт түгээн дэлгэрүүлэх зорилго тавин ажиллаж байна. Жишээ болгон дараах нэгж хичээлийн хөтөлбөр, тэмдэглэлийг танилцуулж байна. Та бүхэн санаа авах зүйлээ тэмдэглэн авч, санал зөвлөмжөө дээрх мэйл хаягаар илгээгээрэй.

Бүлэг сэдвийн нэр: 4.1. Электрон систем

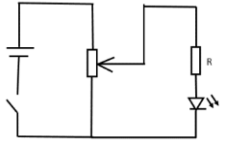
Нэгж хичээлийн нэр: Хагас дамжуулагч диодын ажиллагаа

Анги: 10а анги

Хугацаа: 40 минут

Хичээлийн зорилго:	Гэрлэн диодны хүчдэл, гүйдлийн хамаарлыг элбэг олдцотой хэрэглэгдэхүүн ашиглан судлах
Сургах үйл ажиллагааны зорилт:	<ul style="list-style-type: none"> • Сэргээн санах, сэдэл төрүүлэх • Таамаглал дэвшүүлэх • Схемийн дагуу хэлхээ угсарах • Хэмжилт хийх явцад анхаарах зүйлс, хэмилтийн дарааллын талаар танилцуулах • Хэмжилт хийх, хэмжилтийн утгаар хамаарлын график байгуулах

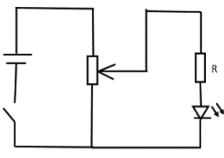
	<ul style="list-style-type: none"> • Байгуулсан график, хэмжилтийн утгыг шинжлээд үр дүнг хэлэлцэх • Хичээлийг нэгтгэн дүгнэх • Сурагчдын чадвар, оролцоог үнэлэх 		
Арга зүй:			
Элбэг олдцотой хэрэглэгдэхүүн ашиглан хэмжилт хийнэ. Хэмжилтийн утгаар хамаарлын график байгуулж, графикийг унших, шинжлэх замаар шинэ мэдлэг бүтээнэ.			
Өмнөх хичээлийн агуулга:			
Цахилгаан хэлхээний элементүүдийн нэр, үүрэг зориулалт, ахуйн хэрэглээтэй танилцсан. Мультиметрээр доорх элементүүдийн хүчдэлийг хэмжих аргад сургасан.			
<ul style="list-style-type: none"> • Диод • Конденсатор • Потенциометр 		<ul style="list-style-type: none"> • Транзистор • Фоторезистор • Терморезистор гэх мэт... 	
Хичээлийн шинжлэх ухааны гол санаа:			
Гэрлэн диод нь цахилгаан энергийн нөлөөгөөр p-n шилжилтээр гүйдэл дамжих үед гэрэл цацруулдаг. 1.7В-2.5В хооронд гэрлэн диод асна. Энэ үед диодын гүйдлийн хүчний утга маш бага байна. Хүчдэлийг нэмэгдүүлэхэд (ойролцоогоор 1.8В орчимд) гэрлэн диодын гүйдлийн хүч огцом өснө. Хүчдэлийг цааш нэмэгдүүлэхэд гүйдлийн хүч тогтмол утгатай болно. Иймээс гэрлэн диодны хүчдэл, гүйдлийн хамаарлын график экспоненциал муруй байна. Гэрлэн диодны асах хүчдэл нь өөр өөр байдаг нь түүний өнгөтэй (улаан, хөх, шар) холбоотой.			
Сурагчдын өмнөх хичээлээс эзэмшсэн мэдлэг, чадварыг урьдчилан таамаглах:			
Ихэнх сурагчид		Цөөн сурагчид	
Диод нь хагас дамжуулагч буюу гүйдлийг нэг чиглэлд дамжуулдаг болохыг мэдэх боловч гэрлэн диодны талаар мэдэхгүй. Зөвхөн ахуйн төсөөлөлтэй. Элементүүдийн хүчдэлийг хэрхэн хэмжих аргыг сурсан.		Диодны талаар мэдэхгүй. Зөвхөн ахуйн төсөөлөлтэй. Элементүүдийн хүчдэлийг хэрхэн хэмжих аргыг сураагүй.	
Хичээлийн зохион байгуулалт:			
Ангийн сурагчдыг 4 баг болгон хувааж, хичээлд оролцуулна.			
Хэрэглэгдэхүүн:			
<ul style="list-style-type: none"> • Цахилгаан хэлхээ угсрах хавтан - (4-5 ш) • Төрөл бүрийн өнгөтэй LED – (4-5ш) • 1 кОм резистор – (4-5 ш) • Потенциометр – (4-5 ш) • Мультиметр – (4-5 ш) 		<ul style="list-style-type: none"> • Зай – (8-10 ш) • Зайны суурь – (4-5 ш) • Түлхүүр – (4-5 ш) • Холбох утас (матар хавчаартай утас) • Миллиметрийн хуваарьтай цаас – (4-5 ш) 	
Суралцахуйн үйл ажиллагаа			
Төлөвлө	Багшийн чиглүүлэх үйл ажиллагаа	Сурагчдын мэдлэг бүтээх үйл ажиллагаа	Анхаарах зүйлс, санамж
I алхам: Сэргээн санах, сэдэл төрүүлэх үе			

<p style="text-align: center;">4 мин</p>	<p>Эхлэл: Өнөөдрийн хичээлээр цахилгаан хэлхээтэй холбоотой нэгэн туршилт хийх болно. Хичээлд баримтлах дэгүүд, гэрлэн дохионы арга, найзыгаа тойрч үнэлэх үнэлгээ зэргийг танилцуулна.</p> <p>Сэргээн санах: Ширээн дээр байгаа хайрцагтай цахилгаан хэлхээний элементүүдийн үүрэг зориулалтыг бичээрэй.</p> <p>Сэдэл төрүүлэх: Баг бүрт 4 дугаартай элементийн нэр, үүрэг зориулалтыг бичихээр өгсөн. Диод гэдэг үгэн дээр тогтож ярилцаж гэрлэн диодны сэдэл төрүүлнэ.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Бусдыгаа анхааралтай сонсох - Найзыгаа үнэлэх - Багаараа хамтарч ажиллах - Хичээлд идэвхтэй оролцох дэгүүд, хажуудах найзыгаа үнэлгээний хуудсан дээр стикер нааж үнэлэхийг мэдэж авна. <p>Сурагч бүр дэвтэртээ бичнэ, үүний дараа багаараа ярилцаад багийн самбарт бичиж бусдадаа танилцуулна.</p> <p>Боломжит хариулт:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Гэрэл - Чийдэн - Диод гэх мэт. <p>Гэрлэн диодны схемийн тэмдэглэгээг зурж авна.</p>	<p>Сурагч-баг-анги гэсэн дүрмээр хичээлийг хөтөлнө.</p> <p>Самбарт эдгээр түлхүүр үгсийг бичнэ. Эндээс диодны тухай ярилцана.</p>
<p>II алхам: Таамаглал дэвшүүлэх үе</p>			
<p style="text-align: center;">3 мин</p>	<p>Асуулт 3: Гэрлэн диодны ахуйн хэрэглээний талаар юу мэдэх вэ?</p> <p>Асуулт 4: Гэрлэн диодын онцлогийн талаар юу мэдэх вэ?</p>	<p>Боломжит хариулт:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Асаагуурны гэрэл - Гэрэлтдэг самбар - Гэрлэн дохио гэх мэт... <p>Боломжит хариулт:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Цахилгаан бага зарцуулдаг - Удаан ажилладаг - Бага гүйдэлд ажиллах - Гүйдэл бага, хүчдэл бага - Хүчдэл, гүйдэл их гэх мэт... 	<p>Гэрлэн диодны хүчдэл, гүйдэл, чадлын талаарх хүүхдийн хариултанд тулгуурлан хүчдэл, гүйдлийн хамаарал ямар байхыг таамаглуулна. Эндээс хичээлийн гарчгийг самбарт бичнэ.</p>
<p>III алхам. Туршилтын үе</p>			
<p>А) Схемийн дагуу хэлхээг угсрах</p>			
<p style="text-align: center;">5 мин</p>	<p>Ажлын хуудсан дээрх схемийн дагуу хэлхээг угсарч диодны ажиллагааг шалгах</p> 	<p>Хэлхээг угсрахад сурагчдаас гарч болзошгүй алдаа:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Тэжээлийн үүсгүүрийн туйлыг буруу холбох - Хавтан дээр LED, резисторын хөлийг буруу байрлуулах - LED-ны туйлыг сольж холбох 	<p>Хэлхээг угсрахад дэмжлэг хэрэгтэй багууд дээр очиж тусалж, цаг хэмнэхийг хичээнэ.</p>
<p>III алхам. Туршилтын үе Б) Хэмжилт хийх, тооцоолох</p>			

<p style="text-align: center;">15 мин</p>	<p>А) Хэмжилт хийх үед анхаарах зүйлс, хэрхэн хэмжилт хийх дарааллыг хэлнэ.</p> <p>Б) Тооцоо хийхдээ Эсэргүүцлийн хүчдэлийг $V_R = V_{\text{Нийт}} - V_D$ тооцоолоод, эсэргүүцлийн гүйдлийн хүчийг $I_R = \frac{U_R}{R}$ томъёогоор тооцоолохыг тайлбарлана.</p> <p style="text-align: center;">$I_R = I_D$</p>	<p>1. Хэмжилт хийхдээ потенциометрийг хамгийн бага утганд тулгаж диодны хүчдэл болон нийт хүчдэлийг хэмжиж авна.</p> <p>2. Дараа нь потенциометрийг алгуур эргүүлж диодны хүчдэл, диод эсэргүүцлийн нийт хүчдэлийг тус тус хэмжиж авна. Энэ мэтчилэн хэмжилтийг 8-9 удаа хийнэ.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">V_D (В)</th> <th style="width: 25%;">V_{Нийт} (В)</th> <th style="width: 25%;">I (мкА)</th> <th style="width: 25%;">V_R (В)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	V _D (В)	V _{Нийт} (В)	I (мкА)	V _R (В)																																									<p>Эсэргүүцэл, диод нь хоорондоо цуваа холбогдсон учраас эсэргүүцлээр гүйх гүйдлийн хүчийг тооцолж олох нь диодын гүйдлийн хүчийг олж байна гэдгийг ойлгуулах</p> <p style="text-align: center;">$I_R = I_D$</p>
V _D (В)	V _{Нийт} (В)	I (мкА)	V _R (В)																																												
<p>III алхам. Туршилтын үе В) Хамаарлын график байгуулах</p>																																															
<p style="text-align: center;">6 мин</p>	<p>Хэмжилтийн утгыг ашиглан $I_D \sim U_D$ хамаарлын график байгуулах</p>	<p>График байгуулахдаа</p> <ul style="list-style-type: none"> - Масштаб зөв сонгох - Хэмжигдэхүүний нэгж, тэмдэглэгээг зөв сонгох - Цэгийг зөв хатгах - Цэгийг холбох зэргийг анхааран график байгуулна. 	<p>Сурагч бүр график багуулсан ажлын хуудсыг дэвтэрт наана.</p>																																												
<p>IV алхам. Хэмжилтийн утга, хамаарлын графикийг шинжилж үр дүнг тооцох үе</p>																																															
<p style="text-align: center;">4 мин</p>	<p>Хичээлийн гол зорилго нь хүчдэл, гүйдлийн хамаарлыг судлах учир хэмжилтийн утга, графикыг тайлбарлаж үр дүнг хэлэлцээрэй.</p>	<p>Сурагч бүр хэмжилтийн утга, хамаарлын графикийг шинжлээд дэвтэртээ үр дүнг бичнэ. Дараа нь багаараа хэлэлцээд бусаддаа танилцуулна.</p>	<p>Хэмжилтийн утгаар график байгуулах, байгуулсан графикийн шинжлэх, үр дүнг хэлэлцэхэд хугацааг нэлээд их байхаар төлөвлөсөн.</p>																																												
		<p>Боломжит хариултууд:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Гэрлэн диод асахаас өмнө диод, эсэргүүцлийн ялгавар тэг байгаа нь гүйдэл гүйхгүй байгааг харуулж байна. - Гэрлэн диод 1.6В орчмоос 1.7В орчмын хүчдэлд асаж байна - Асаж эхэлснээс хойш хүчдэлийн ялгавар их болж байна. 																																													
<p>V алхам. Хичээлийг нэгтгэн дүгнэх үе (3 минут)</p>																																															
<p>Гэрлэн диодыг асах хүртэл хүчдэлийн зөрүү тэг байсан. Асаж эхэлснээс хойш хүчдэлийн зөрүү нэмэгдэж гэрлэн диод нээгдэж буюу түүгээр бага гүйдэл гүйж эхэлсэн. Потенциометрийг цаашид эргүүлэхэд гүйдлийн хүчний утга огцом өсч байна. Түүнээс цааш гүйдлийн хүч бага багаар өсч буюу бараг тогтгооржиж байна. Иймээс гэрлэн диодны хүчдэл гүйдлийн хамаарал экспоненциал муруй байна.</p>																																															
<p>VI алхам. Сурагчдын чадвар, оролцоог үнэлэх</p>																																															

Сурагчдын хэмжилт хийх чадварыг хичээл дээр үнэлсэн сурагчдын өөрийн үнэлгээгээр үнэлнэ.	Сурагчдын тооцоо хийх чадварыг үнэлэхдээ дэвтрийг үзэж рубрикийн аргаар үнэлнэ.
--	---

Самбар төлөвлөлт:

Хичээлийн гарчиг		Тооцоо хийх аргачлал	
Элементийн нэр, үүрэг Диодны тэмдэглэгээ, хэрэглээ, онцлог	Таамаглал I-U хамаарал ? Хэлхээний схем 	$V_R = V_H - V_D$ $I_R = \frac{U_R}{R}$ $I_R = I_D$ Сайн хэмжилт хийсэн багийн хэмжилтийн утга	Багуудын хэмжилт, график I баг II баг III баг IV баг Дүгнэлт

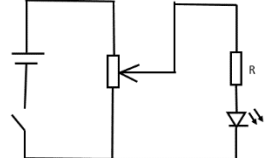
Ажлын хуудас

Даалгавар №1. Дараах элементүүдийн нэр ба үүргийг бичнэ үү.

	Нэр	Үүрэг зориулалт
№1 дугаартай элемент		
№4 дугаартай элемент		

Даалгавар №2

1. Схемийг дагуу хэлхээг угсарна уу.

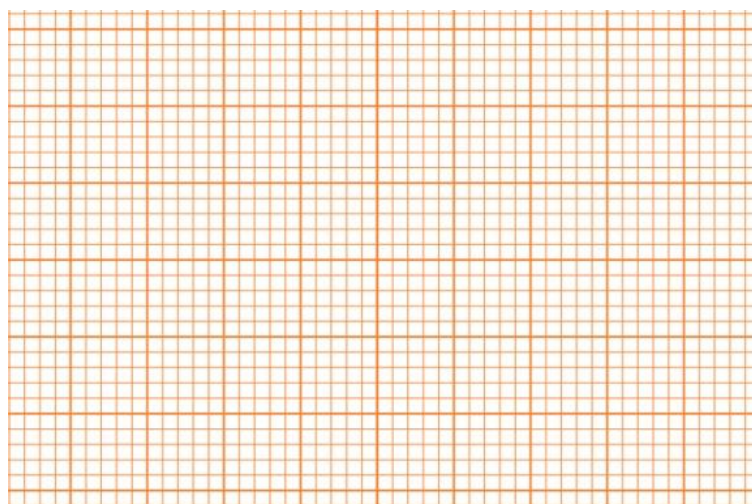


2. Хэмжилт хийхдээ дараах зүйлсийг анхаараарай.
 Хэлхээг угсрахдаа түлхүүрийг салгаастай угсарна. Хэмжилт хийж эхлэх үед түлхүүрийг залгана.
 Потенциаметрийг алгуур эргүүлж хэмжилтийг хийнэ. Хэмжилт хийж дуусгаад хэлхээг салгана, амперметрийг унтраана.

V _D (В)	V _{Нийт} (В)	I (мкА)	V _R (В)

LED асах үе			

Хэмжилтийн утгаар хамаарлын график байгуулна уу.

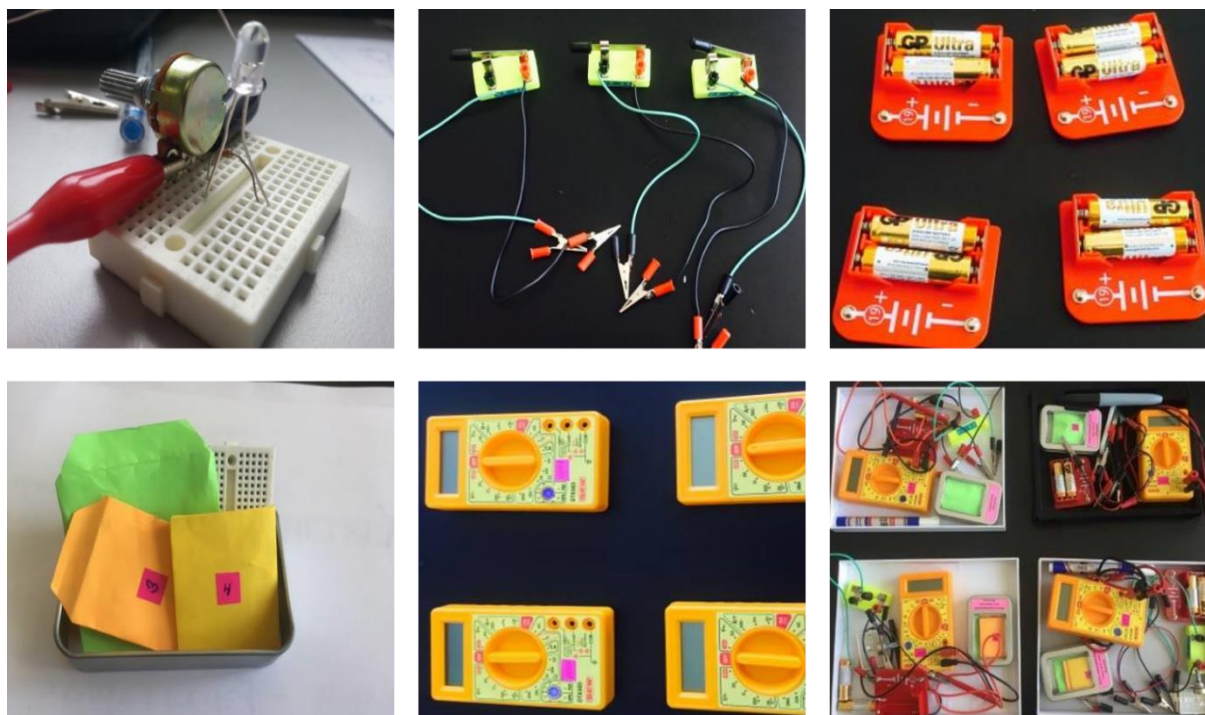


Хичээлд хүүхдийн чадварыг үнэлэх үнэлгээний рубрик

Чадвар	Дэмжлэг хэрэгтэй (1 оноо)	Ахиж байгаа (2 оноо)	Хангалттай (3 оноо)	Маш сайн (4 оноо)
Таамаглал дэвшүүлэх	Таамаглалын санаа гаргахгүй байх	Багшийн дөхүүлсэн асуултын тусламжтай таамаглал дэвшүүлэх	Гэрлэн диодны тод асах нь түүний гүйдэлтэй (чадалтай) холбоотой.	Гэрлэн диодын гүйдэл, хүчдэл нь хоорондоо холбоо хамааралтай
Туршилтыг төлөвлөх, гүйцэтгэх	Цахилгаан хэлхээг угсрахад оролцохгүй байх	Схемийн дагуу хэлхээг алдаагүй угсардаг байх	Схемийн дагуу хэлхээг алдаагүй угсардаг байх, зөвхөн диодын хүчдэл, эсвэл нийт хүчдэлийг утгын аль нэгийг хэмжиж чаддаг байх	Схемийн дагуу хэлхээг алдаагүй угсардаг байх, диодын хүчдэл, нийт хүчдэлийг утгыг хэмжиж чаддаг байх
Үр дүнг боловсруулах	Хэмжилтийн утгыг томъёонд орлуулж тооцоо хийж чадахгүй байх, График байгуулахдаа	Хэмжилтийн утгыг томъёонд орлуулж тооцоо хийж чаддаг байх, График байгуулахдаа	Хэмжилтийн утгыг томъёонд орлуулж тооцоо хийж чаддаг байх, График байгуулахдаа	Хэмжилтийн утгыг томъёонд орлуулж тооцоо хийж чаддаг байх, График байгуулахдаа масштаб сонгож чаддаг байх,

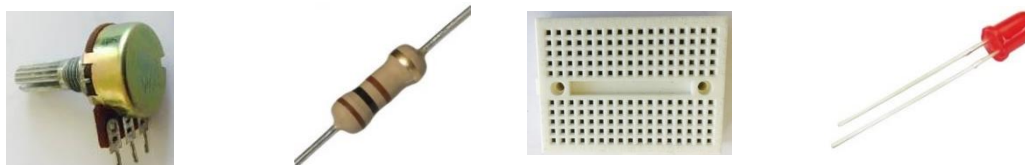
	масштаб сонгож чадахгүй байх	масштаб сонгож чадахгүй байх	масштаб сонгож чаддаг байх	хатгасан цэгүүдийг зөв холбох
Таамаглалтай харьцуулан нэгтгэн дүгнэх	Туршилт хийх дараалал, туршилтын утгыг тайлбарлах	Туршилт хийх дараалал, туршилтын утгыг тайлбарлах	Таамаглалтай харьцуулан дүгнэлтийг гүйцэт гаргах	Таамаглалтай харьцуулан дүгнэлт гаргаж байгаа боловч гүйцэт биш

Хичээлд ашигласан хэрэглэгдэхүүн:



ҮНЭЛГЭЭНИЙ ДААЛГАВАР

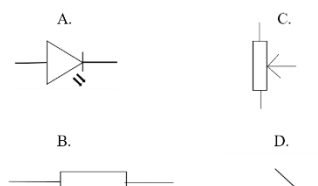
1. Дараах элементүүдийн үүргийг бичнэ үү.



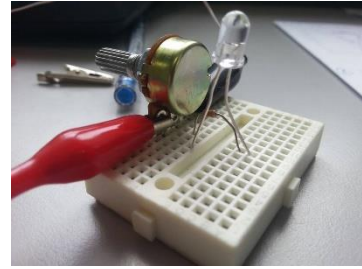
1)..... 2)..... 3)..... 4).....

2. Элементүүдийг схемийн тэмдэглэлгээтэй зөв харгалзуулна уу.

- 1) Гэрлэн диод
- 2) Резистор
- 3) Потенциометр
- 4) Түлхүүр

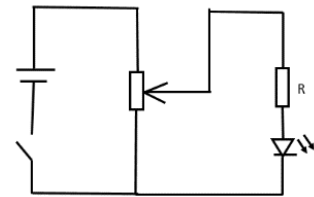


3. Зургийг сайтар ажиглаад гэрлэн диод, резистор нь хоорондоо ямар холболтоор холбогдсоныг тайлбарлан бичээрэй.



.....

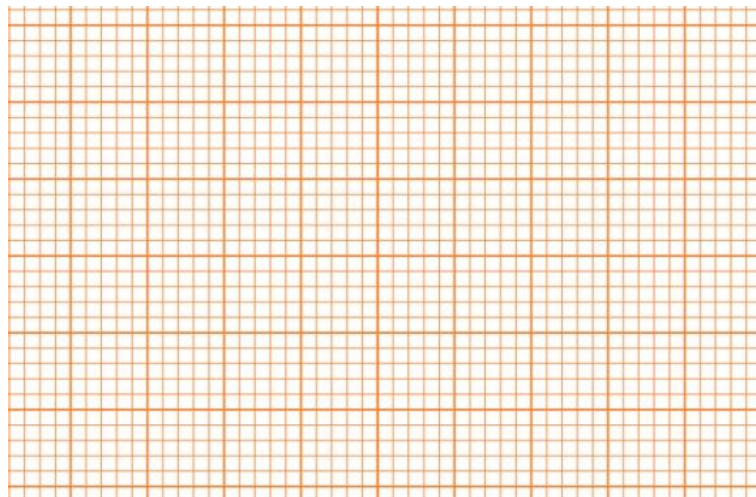
4. Дараах схемд резисторын гүйдлийн хүч 0.07 мА бол диодын гүйдлийн хүч хэд байх вэ? Яагаад диодын гүйдлийн хүч энэ утгатай байгааг тайлбарлан бичнэ үү.



.....

5. Дараах хэмжилтийн утгыг ашиглан гүйдэл, хүчдэлийн хамаарлын график байгуулна уу.

V_D (В)	$V_{Нийт}$ (В)	I (мкА)	V_R (В)
0	0	0	0
0.40	0.40	0	0
0.78	0.79	10	0.01
1.31	1.33	20	0.02
LED асах үе 1.72	1.80	80	0.08
1.90	2.36	220	0.22
1.94	2.51	670	0.67
2.17	3.13	960	0.96
2.25	3.22	970	0.97



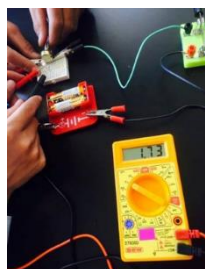
6. Гэрлэн диодтой холбоотой дараах өгүүлбэрүүдээс аль нь буруу вэ?

А. Гэрлэн диодны асах хүчдэл нь өөр өөр байдаг нь түүний өнгөтэй (улаан, хөх, шар) холбоотой.

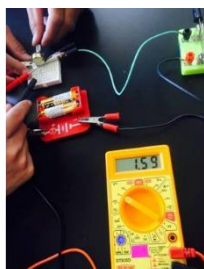
В. Гэрлэн диод нь цахилгаан тусгаарлагч элемент.

С. Гэрлэн диодны хүчдэл, гүйдлийн хамаарлын график муруй байна.

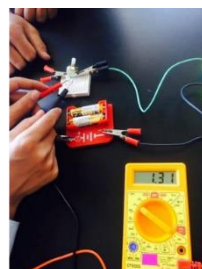
7. Дараах хүчдэлийн утгуудын алинд нь гэрлэн диод асахгүй вэ?



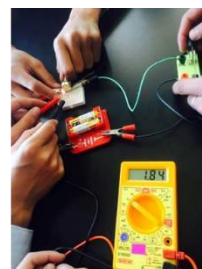
A. 1.73V



B. 1.59V



C. 1.31V

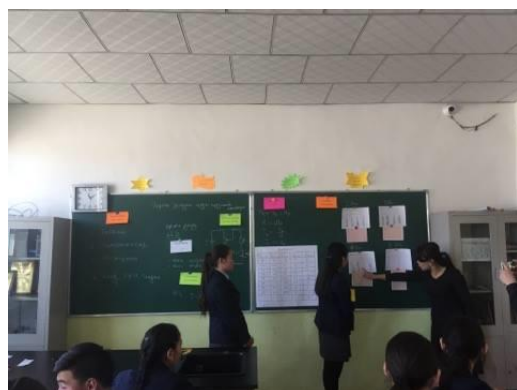
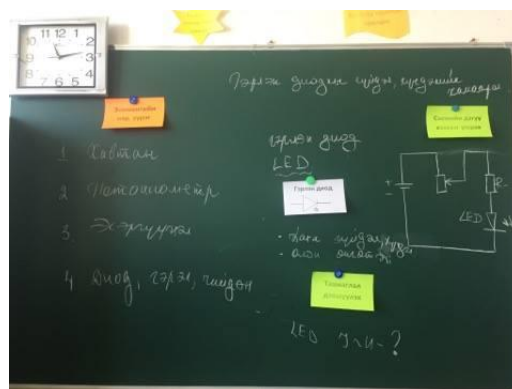


D. 1.84V

Хичээлийн явц:

ХЭМНИЛТ

$V_D (В)$	$V_{\text{ВЫЛТ}} (В)$	$I (\mu A)$	$V_R (В)$	$R (k\Omega)$
0	0	0	0	1
0.4	0.4	0	0	1
0.5	0.5	0	0	1
1.2	1.2	100	0.1	1
1.2	2.4	500	0.5	1
1.3	2.3	300	0.3	1
1.3	3.0	1100	1.1	1
2.0	3.5	1500	1.5	1
				1



МУИС-ийн биофизикийн сургалт судалгааны ажлын үүсэл, хөгжил

М.Цогбадрах*, Т.Гун-Аажав, С.Дамдинсүрэн, Д.Төмөрбаатар, О.С.Борданова,

П.Энхбаяр, Ч.Баттулга, Б.Мижиддорж, Ө.Энэрэлт, Н.Ариунтуяа

Монгол улсад биофизикийн шинжлэх ухааны сургалт, судалгааны чиглэл үүсгэх санаачлага гаргаж, түүний үндэс суурийг тавьсан түүхэн гавъяатай хүн бол МУ-ын шинжлэх ухааны гавъяат зүтгэлтэн доктор профессор Даржаагийн Чүлтэм юм. 1964 онд МУИС-ийн ФМФ-ийн Ерөнхий физикийн тэнхмийн харъяанд түүний санаачлагаар Биофизикийн лаборатори анх байгуулагдсан байна. Тухайн үед ФМФ-ийн Ерөнхий физикийн тэнхимд ажиллаж байсан залуу багш Т.Гун-Аажав нь Д.Чүлтэм багшийн зөвлөмж, удирдлагаар МУИС-ийн Биофизикийн сургалт, эрдэм шинжилгээний лабораторийг байгуулж эрхлэгчээр нь ажиллаж, биофизикийн хичээлийг заасан анхны багш юм.



Зураг 1. Монгол улсын Шинжлэх ухааны гавъяат зүтгэлтэн, доктор профессор Д. Чүлтэм

1965-1966 оны хичээлийн жилээс МУИС-ийн Байгалийн ухааны факультетийн Биологийн 3-р ангийн оюутнуудад биофизикийн хичээл зааж эхэлсэн бөгөөд 1966-1967 оны хичээлийн жилээс Физик-математикийн факультетийн физикийн салбараас физикч-биофизикч гэсэн мэргэжлийн бүлэг шинээр нээгдэн, 1969 онд Д.Дариймаа, Д.Жаргалсайхан, Д.Сэрээтэр, Д.Цэнд-Аюуш, Б.Нацагдорж, О.С Борданова (доктор), Н.Дамдинсүрэн нар, 1970 онд Ж.Бэх-Очир (доктор, төрийн шагналт), Ж.Батбаяр, Л.Дашням, Д.Сүрэнхор, Л.Чимиддорж (МУ-ын Гавъяат багш), Ж.Чулуун нар төгсжээ.

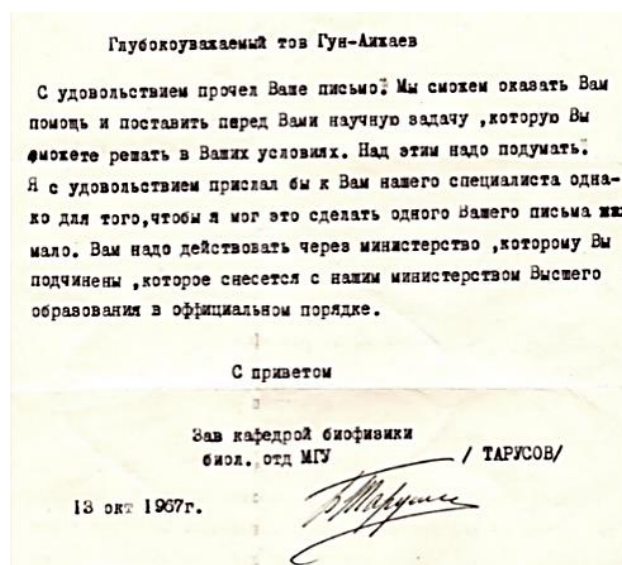
Биофизикийн сургалт, судалгаа явуулж эхэлсэн эхний жилүүдэд биофизикийн мэргэжлийн оюутнуудад Т.Гун-Аажав, доцент А.Самдан, доктор, профессор Д.Чүлтэм, академич Ду.Баатар, дэд эрдэмтэн генетикч П.Хорлоо, дэд эрдэмтэн биохимич Ж.Цэрэндэндэв, академич биологич Н.Даваа нар хичээл зааж байлаа. Мөн ЗХУ-ын Ленинградын УИС-ийн багш доцент Э.П.Шайтор тус лабораторит урилгаар ирж, багш, оюутнуудад лекц уншиж, сенсорын системийн биофизикийн судалгааны багаж бүтээж, туршилт хийж, Д.Чүлтэм, Т.Гун-Аажав нар цөмийн диэлектрик детекторын аргаар ураны ион замагийн эсэд нэвтрэх кинетикийн судалгаа хийж, хамтарсан эрдэм шинжилгээний өгүүлэл хэвлүүлж байв.

Багш Т.Гун-Аажав 1966 онд Москвагийн УИС-ийн Биологийн факультетийн Биофизикийн тэнхмийн эрхлэгч, ЗХУ-ын ШУА-ийн сурвалжлагч гишүүн Б.Н.Тарусовт хамтран ажиллахыг хүссэн захидал бичиж, улмаар профессор Б.Н.Тарусов тэр хүсэлтийг халуунаар дэмжин хүлээн авч, Москвагийн УИС-ийн Биологийн



Зураг 2. Монгол улсын Гавъяат багш, доктор профессор Т.Гун-Аажав

факультетийн профессорыг урьж ажиллуулахыг зөвлөснөөр Москвагийн УИС-ийн Биологийн факультетийн Биофизикийн тэнхмийн профессор О.Р.Кольс томилолтоор ирж ажиллаж байлаа. Ингэж Москвагийн УИС ба МУИС-ийн хоорондын биофизикийн хамтын ажиллагааны эхлэл тавигдсан түүхтэй. Тухайн үед манай орон ЭЗХТЗ /СЭВ/ -ийн гишүүн орнуудтай идэвхитэй хамтын ажиллагаатай байсан ба биофизикийн салбарт ч хамтын ажиллагаа амжилттай хөгжиж эхэлсэн үе байлаа. 1969 онд ЭЗХТЗ - ийн



Зураг 3. Профессор Б.Н.Тарусовын захидал

гишүүн орнуудын Биофизикийн судалгааны зохицуулах төвийн хоёрдугаар хуралдаанд манай орноос Т.Гун-Аажав, Д.Нямаа нар төлөөлөгчөөр оролцож, хамтын ажиллагааны гэрээнд гарын үсэг зурж байжээ. Энэ хурал дээр манай төлөөлөгчид ОХУ-ын Г.М.Франк, М.Б. Волькинштейн, Герман улсын Р.Глазер, Чехословак улсын В.Драшил, Унгар улсын Ж.Теди зэрэг олон нэрт эрдэмтэн биофизикчидтэй танилцаж, олон жилийн хамтын ажиллагааныхаа эхлэлийг тавьсан байна.



Зураг 4. Москвагийн УИС-иас манайд ирж ажилласан анхны багш, профессор О.Р.Кольс багш С.Самдан, Т.Гун-Аажав, ажилтан О.С.Бордановагийн хамт. 1970 он.

1972-1974 онд Т.Гун-Аажав Москвагийн УИС-ийн Физикийн факультетийн Биофизикийн тэнхимд мэргэжил дээшлүүлэх сургалтанд суралцаж, тус тэнхмийн эрхлэгч ЗХУ-ын ШУА-ийн сурвалжлагч гишүүн, профессор Л.А.Блюменфельд, доктор А.К.Кукушкин нарын удирдлагаар “Фотосинтезлэх объектын флуоресценцийн хроматик шилжилтийн судалгаа” сэдвээр физик-математикийн ухааны дэд докторын зэргийг биофизикч мэргэшлээр хамгаалж, манай орны анхдагч биофизикч эрдэмтэн төржээ.

МУИС-д 1977 оноос дахин физикч- биофизикч, 1978 оноос биологич-биофизикч мэргэжилтэн бэлтгэн, Москвагийн их сургуультай хамтран явуулах фотосинтезийн биофизикийн судалгаа эрчимтэй хийгдэж, манай сургуульд биофизикийн тэнхим байгуулах нөхцөл бүрдэж байлаа. 1976 онд Т.Гун-Аажав Москвагийн УИС-д

томилолтоор ажиллаж байхдаа тус сургуульд биофизикийн мэргэжлээр докторантурт суралцаж байсан Цэдэнбалын Зоригтой танилцан МУИС-д биофизикийн тэнхим байгуулах талаар санал солилцож байв. 1978 оны 11-р сард Ц.Зоригийн докторын ажлын удирдагч, Москвагийн УИС-ийн Биологийн факультетийн Биофизикийн тэнхмийн эрхлэгч профессор А.Б.Рубин манай улсад уригдан ажиллах завшаан тохиож, энэ үеэр МУИС-ийн ректор, академич Н.Содном, доктор Т.Гун-Аажав, профессор А.Б.Рубин нар нам, төрийн тэргүүн Ю.Цэдэнбал даргатай уулзан МУИС-ийн нөхцөл байдлыг танилцуулсан түүхт үйл явдал болсон юм.



Зураг 5. МУИС-ийн ректор, академич Н.Содном, доктор Т.Гун-Аажав, профессор А.Б.Рубин нар нам, төрийн тэргүүн Ю.Цэдэнбал даргад бараалхаж байгаа нь. 1978 он.

Энэ уулзалтаар яригдсан асуудлуудын нэг нь МУИС-д биофизикийн тэнхим байгуулах тухай байлаа. Ю.Цэдэнбал дарга энэ асуудалд ач холбогдол өгч, чиглэл өгснөөр БНМАУ-ын СнЗ-ийн УДТДТМБХ-ны 1978 оны 11-р сарын 30-ны 420 тоот тогтоолоор МУИС-ийн ФМФ-д Биофизикийн тэнхим байгуулагдав.



Зураг 6. Биофизикийн тэнхимийн хамт олон. Урд эгнээ зүүн гараас Тэнхмийн эрхлэгч, дэд эрдэмтэн Т.Гун-Аажав, багш Н.Алтанхуяг, эрдэм шинжилгээний ажилтан О.С.Борданова, арын эгнээ зүүн гараас эрдэм шинжилгээний ажилтан Д.Төмөрбаатар, багш С.Дамдинсүрэн, туслах ажилтан Д.Пунцаг, багш М.Цогбадрах, эрдэм шинжилгээний туслах ажилтан Л.Болорболд. 1982 он.

МУИС-ийн Биофизикийн тэнхмийн анхны эрхлэгчээр доктор Т.Гун-Аажав, багшаар С.Дамдинсүрэн, эрдэм шинжилгээний ажилтнаар О.С.Борданова, Д. Төмөрбаатар, туслах ажилтнаар Д.Пунцаг нар томилогдов. Улмаар тус тэнхимд 1980 оноос М.Цогбадрах, 1981 оноос Н.Алтанхуяг нар багшаар, Л.Болорболд, Д.Доржнямбуу нар туслах ажилтнаар, 1990 оноос П.Энхбаяр багшаар, Ч.Баттулга эрдэм шинжилгээний ажилтнаар тус тус ажиллаж эхэлсэн юм.

Биофизикийн тэнхим байгуулагдсаны анхны жилүүдэд буюу 1980 онд физикийн ангийг физикч-биофизикч мэргэжлээр Д.Алтанцэцэг, Ч.Бадамханд, Ш.Батчулуун, Л.Болорболд, З.Доржгочоо, М.Цогбадрах (доктор, профессор) нар, 1981 онд Н.Алтанхуяг (нам, төрийн зүтгэлтэн), П.Даваасумъяа, Ч.Пунсалдулам, Б.Тэрбиш, У.Энхээ нар төгссөн ба 1981 биологийн ангийг биологич-биофизикч мэргэжлээр Л.Ажнай (доктор, профессор), Н.Алтангэрэл, П.Алтанцэцэг, Ц.Цолмон, Б.Цэрэндолгор, Г.Эрдэнэ нар, 1982 онд Б.Батбаяр буюу Баабар (төрийн шагналт, нэрт нийтлэлч), Х.Батмягмар, П.Сарангэрэл, Д.Суран (доктор, профессор), Ж.Цэцэгээ, С.Шар (доктор, профессор), Н.Элдэв-Очир, Д.Энхзаяа нар төгссөн байна.



Зураг 7. МУИС-ийн биофизикийн бүлгийн оюутнууд МУИС, МУБИС, ШУА-ийн ФТХ-ийн багш ажилтнуудын хамт. 1980 он.

МУИС-д биофизикийн сургалт судалгааны ажлыг үүсгэн хөгжүүлэх эхний жилүүдэд Ленинградын ИС, Москвагийн УИС, Гумбольдтийн УИС гол үүрэг гүйцэтгэснийг онцлон дурьдах ёстой юм. Москвагийн УИС-ийн профессор, ШУА-ийн сурвалжлагч гишүүн Л.А. Блюменфельд, академич А.Б.Рубин, доктор профессор В.А.Твердислав, А.К.Кукушкин, Г.Н.Зацепина, О.Р.Кольс, С.П.Погосян, Г.Ю.Ризниченко, С.В.Тульский, В.А.Веселовский, Т.В.Веселова, А.Н. Тихонов, М.К.Соленцев, С.П.Куприн, С.В.Маринков, А.Н.Чурин, Гумболдтийн их сургуулийн профессор Р.Глазер, Р.Хайнрих, И.Бернхардт нарын олон доктор профессор биофизикийн тэнхимийг үүсгэн хөгжүүлэх, багш оюутнуудад сургалт, судалгааны арга зүйг зааж сургах, судалгааны тоног төхөөрөмж хийж ашиглахад болон хамтарсан судалгаа шинжилгээний ажил хийхэд үнэлж баршгүй хувь нэмэр оруулсан ба эдгээрийн ихэнх эрдэмтэд тус тэнхимд удаа дараа томилолтоор ирж ажиллаж байлаа.

ЗХУ-ын ШУА-ийн сурвалжлагч гишүүн Л.А. Блюменфельд, академич А.Б.Рубин, А.К.Кукушкин, С.П.Погосян, Г.Ю.Ризниченко, С.В.Тульский, В.А.Веселовский, Т.В.Веселова, А.Н. Тихонов, С.П.Куприн, С.В.Маринков, А.Н.Чурин нар Т.Гун-Аажав, С.Дамдинсүрэн, Н.Алтанхуяг, О.С.Борданова, Д.Төмөрбаатар нарын хамт фотосинтезийн биофизикийн судалгааг, Л.А. Блюменфельд, Г.Н.Зацепина, С.В.Тульский, Р.Глазер нар М.Цогбадрах, Т.Гун-Аажав нарын хамт биоцахилгааны судалгааг, Р.Хайнрих, И.Бернхардт, Г.Ю.Ризниченко нар Н.Алтанхуяг, С.Дамдинсүрэн, П.Энхбаяр нарын хамт математик биофизикийн судалгааг хөгжүүлж, биофизикийн шавь сургууль үүсгэхэд гол үүрэг гүйцэтгэсэн ба А.Б.Рубин, Р.Глазер, А.К.Кукушкин нарын хөдөлмөрийг үнэлж МУИС хүндэт профессор цолоороо шагнасан юм.

1990-ээд оноос Япон улсын Хоккайдогийн ИС, БНСУ-ын Сөүлийн Үндэсний их сургууль, Донгугийн их сургуультай идэвхитэй хамтран ажиллаж, С.Дамдинсүрэн, П.Энхбаяр нар Хоккайдогийн ИС-д, М.Цогбадрах Сөүлийн Үндэсний их сургуульд, Ө.Энэрэлт Донгугийн их сургуульд докторын зэрэг хамгаалсан. Хоккайдогийн ИС-ийн профессор С.Дамдинсүрэнгийн хамт экологийн биофизик судалгааг, Н. Мацүшима П.Энхбаяр, Б.Мижиддорж нарын хамт биоинформатикийн судалгааг, Сөүлийн Үндэсний их сургуулийн профессор Канг Са-Уг, Бонг Жин-Ли нар М.Цогбадрахын хамт молекул биофизикийн судалгааг, Донгугийн их сургуулийн профессор Пак Жон-Г Ө.Энэрэлт, М.Цогбадрах нарын хамт молекул биофизик, биотехнологийн судалгааг үүсгэн хөгжүүлж байна.

Монгол улсын Гавъяат багш, доктор, профессор Т.Гун-Аажав: 1963 оноос багшаар ажиллахдаа 1975-1977 онд ФМФ-ийн декан, 1979-1989, 1997-2006 онд биофизикийн тэмхимийн эрхлэгч. 1974 онд Москвагийн УИС-д кандидат, 1999 онд МУИС-д шинжлэх ухааны докторын зэрэг хамгаалж, фотосинтезийн биофизик, эсийн мембраны бодис нэвтрүүлэлт, биоцахилгааны чиглэлээр судалгааны ажил хийж; доктор, профессор, С. Дамдинсүрэн 1979 оноос багшаар ажиллахдаа 1989-1992, 2006-2008 онд биофизикийн тэмхимийн эрхлэгч, 1990 онд ХБНГУ-ын Хүмбольдтын их сургуульд, 1998 онд Японы Хоккайдогийн их сургуульд докторын зэрэг хамгаалж, биоэнергетик: фотосинтез, экологийн биофизик чиглэлээр судалгааны ажил хийж; доктор О.С.Борданова 1969 оноос МУИС-д ажиллахдаа 1969-1978 онд туслах ажилтан, 1979-1996 онд эрдэм шинжилгээний ажилтан, 1996-1997 онд багш. 1989 онд Москвагийн улсын их сургуульд кандидат хамгаалж, фотосинтезийн чиглэлээр судалгааны ажил хийж; доктор профессор Д.Төмөрбаатар 1979 оноос МУИС-д ажиллахдаа 1979-1999 онд эрдэм шинжилгээний ажилтан, 1991-1992 онд тэнхимийн эрхлэгч, 1999 онд МУИС-д дэд эрдэмтний зэрэг хамгаалж, фотосинтез, биостатистик, хатуу биеийн материал судлалын чиглэлээр судалгааны ажил хийж; доктор профессор М.Цогбадрах 1980 оноос МУИС-д багшлахдаа 1985-1990 онд МУИС-ийн ХЗЭ-ийн хорооны нартйн бичгийн дарга, 2003-2010 онд Биологийн факультетийн декан, 2006-2010 онд Экологийн боловсролын төвийн захирал /хавсран/. 2010-2013 МУИС-ийн Магистр доктоын сургалтын албаны эрхлэгч, 2013-2014 онд МУИС-ийн Төгсөлтийн дараах сургуулийн захирал, 2014 оноос Биофизикийн хөтөлбөр хариуцсан профессор, 1996 онд МУИС-д дэд эрдэмтэн, 2002 онд БНСУ-ийн Сөүлийн үндэсний их сургуульд биологийн ШУ-ны шинжлэх ухааны докторын зэрэг хамгаалж, биоцахилгаан, молекул биофизикийн чиглэлээр судалгааны ажил хийж; Төр нийгмийн зүтгэлтэн, Монгол улсын 27 дахь Ерөнхий сайд Н.Алтанхуяаг 1981 – 1990 онд МУИС-д багшаар ажиллахдаа фотосинтез, математик биофизикийн чиглэлээр судалгааны ажил хийж; доктор, профессор П.Энхбаяр 1990 оноос МУИС-д багшаар ажиллахдаа 1992-1993, 1995-1997, 2008-2014 онуудад тэнхимийн эрхлэгч, 2009-2010 онд МУИС-ийн Магистр доктоын сургалтын албаны эрхлэгч, 2014-2015 онд мэдээлэл, компьютерийн ухааны тэнхимийн эрхлэгч, профессор, 2015 оноос Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургуулийн дэд захирал, биоинформатикийн хөтөлбөр хариуцсан профессор, 2015-2016 Шинжлэх ухаан технологийн үндэсний зөвлөлийн нарийн бичгийн дарга, 2004 онд Хоккайдогийн ИС-д докторын зэрэг хамгаалж, структурын биоинформатик, лейцин баялаг давталт агуулсан уургийн структур, функц, эволюцийн

чиглэлээр судалгааны ажил хийж; ахлах багш, магистр Ч.Баттулга. 1990 оноос МУИС-д ажиллахдаа 1990-1993 эрдэм шинжилгээний туслах ажилтан, 1994-2000 онд эрдэм шинжилгээний ажилтан, 2000 оноос багш, амьсгал, фотосинтезийн чиглэлээр судалгааны ажил хийж; багш, магистр Б. Мижиддорж МУИС-д ажиллахдаа 2009-2010 тэнхмийн туслах ажилтан, 2010-2011 тэнхмийн инженер багш, 2013-2016 багш, 2016 оноос Япон улсын Ёкохамагийн ИС-д докторант, структурын биоинформатик, уураг, пептидын молекул динамикийн тооцоолол, симуляц чиглэлээр судалгааны ажил хийж; ахлах багш, доктор Ө.Энэрэлт 2017 оноос МУИС- багш, 2017 онд БНСУ-ийн Донггүкийн их сургуульд доктор, молекул биофизик, нейробиофизик, биотехнологийн чиглэлээр судалгааны ажил хийж тус тус хийж байна.

Биофизикийн мэргэжлийн багш ажилтнууд *Cell, Биофизика, Studia Biophysica, Journal of Radioanalytical Chemistry, Soil Science and Plant Nutrition, Biopolymers, Molecular Life Science, Drug Design Reviews, Biochimica et Biophysica Acta, Cellular and Molecular Life Science, BMC Genomics, Computational Biology and Chemistry, The Protein Journal, Molecular Cell, The Protein Journal, Nucleic Acids Research, Archives of Pharmacal Research, Molecules, Expert Review of Anti-infect. Therapy, Proteomics Bioinform., Polar Science, Biomolecules, Applied Biochemistry and Biotechnology, Life Sciences, Molecular Biophysics and Biochemistry, Protein and Peptide Letter* зэрэг олон улсын мэргэжлийн нэр хүндтэй 30-аад сэтгүүлд 40 гаруй өгүүлэл хэвлүүлснээс 2000 гаруй удаа ишлэгдсэн. Мөн эрдэм шинжилгээний 20 гаруй сэдэвт ажил төсөл хэрэгжүүлж, 10 гаруй шинэ бүтээл, пациент авч, 2 удаа МУИС-ийн судалгааны шилдэг шавь сургуулиар шалгарч байсан.

Биофизикийн тэнхимд Н.Ариунтуяа, Д.Эрдэнэбат нар сургалтын инженерээр, Д. Пунцаг Б.Доржсамбуу, Б.Алтанцэцэг, Н.Батцэрэн, О.Нямсүрэн, Н.Мөнхцэцэг, Г.Өнөржаргал, Б.Мөнхцэцэг, А.Нандинцэцэг, Д.Оюун, С.Мөнхцэцэг, Ц.Оргилмаа, Ж.Алтанчимэг нар туслах ажилтнаар, Л.Болорболд, Г.Алтантүлхүүр нар эрдэм шинжилгээний туслах ажилтнаар ажиллаж байсан ба биофизикийн хөтөлбөрийн туслах ажилтнаар, Б.Нямдаваа ажиллаж байна.



Зураг 8. МУИС-ийн Биофизикийн тэнхмийн хамт олон. 2013 он.

МУИС нь өнөөдрийн байдлаар 116 физикч-биофизикч, 176 нь биологич-биофизикч, 51 биоинформатикч бэлтгэн гаргаснаас 46 нь магистр, 16 нь докторын зэрэг хамгаалсан ба ОХУ, ХБНГУ, Япон, БНСУ зэрэг орны олон их дээд сургуультай хамтын ажиллагаатай болж, фотосинтез, биоцахилгаан, молекул биофизик, эсийн биофизик, экологийн биофизик, биоинформатик зэрэг чиглэлээр судалгааны ажил идэвхитэй явуулж байна.



Зураг 9. МУИС-ийн Биофизикийн хөтөлбөрийн хамт олон ахмад багш нарын хамт. 2017 он.

МУИС-ийн биофизикийн сургалтын лаборатори байгуулагдснаас өнөөг хүртлэх хагас зуу гаруй жилийн хугацаанд МУИС-ийн биофизикчид Европ, Ази зэрэг тив тивийн биофизикчидтэй биофизикийн шинжлэх ухааны өргөн салбарт идэвхитэй хамтран ажилладаг, мэргэжлийн нэр хүндтэй сэтгүүлд судалгааны ажлаа хэвлүүлэн олон улсын эрдэмтдэд судагааны ажлын үр дүнгээ хэлэлцүүлдэг, өөрийн орны биофизикч мэргэжилтэнг өндөр түвшинд бэлтгэдэг сургалт, судалгааны баг хамт олон болж өссөн юм.