

# Физикийн загвар лаборатори бүтээхэд тулгуур хуулийн түгээмэл чанарыг хэрэглэхүй

П.Энхцэцэг<sup>1\*</sup>, О.Лхагва<sup>2</sup>, Т.Уламбаяр<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ХААИС, Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль, Физик математикийн тэнхим

<sup>2</sup>МУИС, Шинжлэх ухааны сургууль, Физикийн тэнхим

<sup>3</sup>МУБИС, Математик байгалийн ухааны сургууль

Орчлонгийн хувьслын ноён оргилд бүтээлч сэтгэхүйтэй хүмэн цэгцэрчээ. Харамсалтай өнөөгийн сургалт энэхүү бүтээлч сэтгэхүйг хөгжүүлэх эрхэм зорилтоос хөндийрчээ. Шим шүүсгүй хуурай мэдээлэл сонсгож, “хөлдүү” томъёо тулган нүдлүүлж байгаа нь нийгэм хийгээд шинжлэх ухаан технологийн дэвшил дэх хүмүүний хам сэтгэлгээний шаардлагаас хол хоцроод байна. Энэ ажилд загвар лаборатори бүтээхэд классик физикийн тулгуур хуулиудын түгээмэл чанарт суурилсан математик загвар, тооцооллын аргыг хэрхэн хэрэглэснийг харуулав.

**Түлхүүр үг:** Физик загварчлал, мэдээллийн технологи, виртуаль лаборатори, тооцоот туршилт

## I. ФИЗИК БИЕТИЙН ГЕОМЕТР БА СУДАЛГАА, СУРГАЛТ

Судалгаа-сургалт хоёр бол нэг амьтай. Сургалт нь ямарч шатанд судлах учрыг олохоос эхэлж судалгаа нь сэтгэлгээ хөгжүүлэх аргад шилжиж байх нь эдүгээ жам болоод байна. Үзэгдэх гэрлийн муж дахь бодис, юмсын тусгаар ангид юм шиг “хуурмаг” ахуйд аргамжаатай төсөөллөөс хүмүүн орчлонгийн бүхий л юмс, бүрдэл амь нэг, нийлмэл заяатайтайг илчлэн нотолсон квант физикийн үзлийн дор ангижирч байна. Энэ санаа физик төдийгүй байгаль, нийгмийн ухаан, шинжлэх ухаан технологийн олон салбарт нэвтэрлээ. Энэ дэвшил нь сургалтын арга барилыг шинэчлэх тулгуур асуудлыг дэвшлүүлээд байна.

Физик сургалтаар суралцагчдын ой ухааныг задалж, сэтгэлгээг хөгжүүлэх “Физикийн 3D загвар лаборатори”-ийг ашиглан суралцагсад тооцоо-дүрслэлт туршилт үйлдэн, тоон баримтыг хамтаар шүүн хэлэлцсэнээр тулгуур хуулиудыг өөрснөө “нээж” томъёог бичиж, томъёоллыг гаргах боломжтой болов. Суралцагсад мэдээллийг сонсгох бус харин тулгуур туршилтуудыг тооцоо-дүрслэлт туршилтаар өөрснөө үйлдэн физик мөн чанарыг тодруулаад түүнийг математкаар илэрхийлэх арга томъёо, хуулийн томъёоллыг өөрснөө “томъёолох” боломж ийнхүү бүрдээд байгаа юм. Шинжлүүлэн сургах нь сэдэх, бүтээх сэтгэлгээг хөгжүүлэх гол арга зам боллоо.

Ер нь суурь туршилтын баримтаас классик физикийн тулгуур хуулиудыг томъёолсон юм. Эйнштэйн харьцангуйн ерөнхий онолдоо орчлон бол ньютонь номлол дахь их агуулах доторх од, гаригийн хөдөлгөөн бус жинхэнэдээ нэг амь “геометр” бүтэц болохыг нээсэн юм. Эдүгээ хумхи ертөнцийн аливаа бүрэлдлийн “геометрийг” туршилт, онолын мэдээллээс бүтээж байна. Тэгснээр тооцоо дүрслэлт туршилт нь жинхэнэ туршилт лугаа шууд дүйх боллоо. Үзэл, аргын энэхүү дэвшлийг хэрэглэн молекул, атом, эс, ДНХ, уураг тархины геометр бүтцийг бүтээж тооцоо дүрслэлт туршилт нь шинжлэх ухааны нэг тулгуур аргад хувирав. Тухайлбал биологийн биет, ДНХ, Уураг тархины нейроны геометр, цөмийн цацрагийн харилцан үйлчлэлийг судалдаг тооцоо-дүрслэлт туршилтаа судалгаа хөгжиж, дэлхий даяар 100 орчим лаборатор ажиллаж байна. Энэ тэргүүлэх судалгаанд Geant4-DNA багц програмыг ашигладаг.

Биет, үзэгдэл хувирлын геометр болон физик математик, мэдээллийн технологийн аргыг 3D загвар лаборатор бүтээхэд хэрэглэсэн юм. Тэгж бүтээхэд классик физикийн тулгуур хуулиудын түгээмэл буюу инвариант чанар шийдвэрлэх үүрэгтэй болов. Өнөөг хүртэл томъёо хэрэглэн график дүрлэлийн аргаар загвар зохиож байгаа хуучин аргыг халж байгаа юм.

Нэгдүгээрт: Геометр нь бодит системд дүйж орлоно.

Хоёрдугаарт: Физик харилцан үйлчлэлээр өрнөх хувирал нь тулгуур хуулиудын дагуу явна.



Зураг 1. Физикийн 3D загвар лаборатори

Физик үзэгдэл хувирлын геометрийг хэрэглэн физикийн 70 орчим туршилтыг ажил бүхий 3D загвар лаборатори бүтээгээд байна.

## II. КЛАССИК ФИЗИКИЙН ТУЛГУУР ХУУЛИЙН ТҮГЭЭМЭЛ ЧАНАР

Сонгодог механикт хүчний орны үйлчлэлд өртсөн биеийн хөдөлгөөний хууль зүйг судалдаг. Хөдөлгөөний механик тэгшитгэлийг хамгийн бага үйлчлэлийн зарчмаар гаргажээ.  $F$  хүчний потенциал орны  $\Phi(x, t)$  энергийн “саадын” үйлчлэлээр биеийн кинетик энерги хувирна.  $L(x, x', t) = T(x', t) - \Phi(x, t)$  ялгавар нь хамгийн бага байх мөрлөл дагуу хөдөлгөөн явна. Энэ бол энергийг хэмнэх байгалийн зарчим. Энэ функцийг санаачлагч эрдэмтний нэрээр Лагранжийн функц гэж нэрлэнэ. Биеийн мөрлөлийн тэгшитгэлийг гаргахын тулд  $S(x, x') = \int dt L(x, x', t)$  функционал байгуулжээ.  $S(x, x')$  функционалийн вариацийн хамгийн бага буюу  $\delta S(x, x') = 0$  нөхцлөөс Лагранжийн [1] функцийг  $L(x, x', t) = \frac{m}{2} \dot{x}^2 - \Phi(x)$  хэлбэрийг ашиглавал:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{\partial \Phi(x)}{\partial x} \quad (1)$$

(1) бол Ньютоны алдарт тэгшитгэл. Ньютоны динамик тэгшитгэл нь Галилейн харьцангуй зарчим инвариант буюу хугацаа нь хаана ч ижил бөгөөд өөр хоорондоо харьцангуй шулуун замын хөдөлгөөнд оршиж буй (инерциал) системд Ньютоны тэгшитгэл (1) түгээмэл чанартай. Энэ нь механикийн аливаа хувирал туйлын адил жамтайг илтгэж байгаа юм. Энэ бол Ньютоны хууль орон зай дахь биеийн байрлал, хугацаанаас хамаарахгүй түгээмэл буюу маштабын хувиргалтаас

$$E = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\phi}) + \Phi(r) = \frac{m}{2} \dot{r}^2 + \frac{L^2}{2mr^2} + \Phi(r) \quad (5)$$

хамаарахгүй юм. Үүнийг механик хөдөлгөөний давтан дуурайх чанар гэдэг. Дээр өгүүлсэнийг таталцлын орон дахь биеийн Ньютоны тэгшитгэлд хэрэглэе.

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} \xrightarrow{r' = \alpha r} \frac{d^2r'}{dt^2} = \alpha^2 \cdot G \frac{m \cdot M}{r'^2} \quad (2)$$

(2)-оос харвал радиусыг тогтмол тоогоор үржүүлэхэд (эсвэл хэмжүүрийн хуваарийг өөрчлөхөд) тэгшитгэл инвариант буюу түгээмэл чанараа хадгална. Товчхондоо бол таталцлын болон Кулоны төвт оронд Ньютоны тэгшитгэл координатын ямарч утгад эн тэнцүү буюу түгээмэл чанартай юм. Энэхүү хуваарийн өөрчлөлт нь масс, цэнэг болон холбоос тогтмолын утгыг л хувиргаснаар хууль түгээмэл чанараа хадгалдаг ажээ.

Кеплерийн хуулиудад хэрэглэх нь: Төвт орон нь бүх зүг чиглэлд ижил буюу нэгэн төрөл учир потенциал нь зөвхөн радиусаас хамаарсан  $\Phi(r)$  функц болно. Энэ тохиолдолд хөдөлгөөн орбитын хавтгайд өрнөнө.

Лагранжийн функц:

$$L(r, \dot{r}, \dot{\phi}, t) = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\phi}^2) + \Phi(r) \quad (3)$$

$\phi, \dot{\phi}$ -азимутын өнцөг ба азимутал өнцөг хурд Таталцлын орон нэгэн төрөл учир тангенциал хөдөлгөөний чигт хүч үйлчлэхгүйг тооцвол Лагранжийн функцээс азимутал өнцгөөр авсан уламжлал хадгалагдах хэмжигдэхүүн болно.

$$\vec{L} = \frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}} = m \vec{r} \times \vec{v} = m r^2 \dot{\phi} = m r v = \text{const} \quad (4)$$

Энд  $\vec{v}_\perp \vec{r}$  бөгөөд  $v = r \dot{\phi}$ .

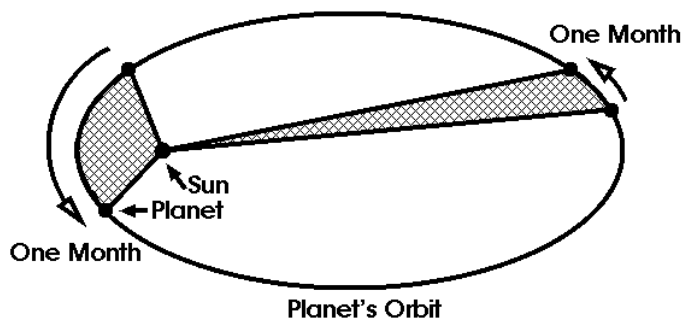
(4) бол хөдөлгөөний тооны буюу өнцөг момент хадгалагдах хууль мөн. Таталцлын орон нь хугацаанаас хамаарахгүй буюу тогтонги бөгөөд энергээ үл алдана. Гиймээс биеийн бүтэн энерги ч хугацаа улирахад үл хувирах тул:

Энд  $L^2 = m^2 r^4 \dot{\phi}^2$   $L = mrv$  –нь өнцгийн момент.  $v = r\dot{\phi}$

Өнцөг моментын хадгалагдах хуулийн түгээмэл чанарын геометр утга дүрслэлийг тодруулая.

Нарыг гариг зууван тойруугаар эргэнэ. Гаригийн радиус  $\Delta t$  хугацаанд тойрууд  $v \cdot$

$\Delta t$  урттай нум дагуу шилжинэ. Нуман гурвалжны талбай нь тойруугийн хаана ч адил байна.



Зураг 2. Кеплерийн хууль

$$S = \frac{1}{2}rv \cdot \Delta t \quad (6)$$

Өмнө дурьдсанаар  $L = mrv = const$  учир гаригийн радиусаас ижил хугацаанд тэнцүү талбай зурна. Энэ бол Кеплерийн II хуулийн түгээмэл чанар мөн. Тойруугаар эргэж буй бие нийлбэр

$$\Phi(r) = \Phi(r) + \frac{L^2}{2mr^2}$$

Потенциал оронд хөдөлнө. Өнцөг моментын квадрат  $L^2$  тойруу дахь гаригийг нарны татах хүчийг тэнцвэржүүлж буй хүчийг үүсгэнэ. Гаригийн хөдөлгөөн ялгавар тэгрүү тэмүүлэх тэнцвэрт тойруугаар хөдөлнө. Хэрэв  $r < r_T$  бол төвөөс зугатаах хүч, таталтын хүч харгалзан давамгайлж гариг тэнцвэрт мөрлөлд буцаж орно. Энд ярилцсан түгээмэл хууль нь Борын зэрэмдэг квант онол дахь электроны Кулоны төвт орон дахь хөдөлгөөнтэй нэгэн адил илэрхийлнэ.

Судалгааны арга үзэл нарийсахад өнгөцхөн судалсан физикийн чиглэлүүд нийлэхэд түгээмэл чанартай хуулиуд тус тус шинэ масштаб бүхий онол болон өргөжсөн юм. Тухайлбал, харьцангуй ерөнхий онол хөгжихөд таталцлын түгээмэл хуулийг идэрхийлж байсан G тогтмол нь орчлонгийн

таталцлын метрик орны холбоос, Максвеллийн тэгшитгэл дэх C нь Лоренцын хувиргалтанд инвариант электродинамик дахь тохируулалт хувиргалтын зангилаа болов. Мөнөөх механикийн үйлчлэлийн функцийн утга  $\hbar$  лугаа жишим хэмжээтэй болоход хумх ертөнцөд шилжинэ. Тэгэхэд классик механик нь квант механикт хувирав. Харьцангуй ерөнхий онолд Шварцшилдийн радиус ( $r = \frac{26H}{c^2}$ ) болон T температур бүхий системд дулааны хувирлын ангилал нь  $k_b T$  жишиг масштабыг тус тус хэрэглэх болов.

### 3. ФИЗИКИЙН ЗАГВАР ЛАБОРАТОРИОС ТУЛГУУР ХУУЛИУДЫН ТҮГЭЭМЭЛ ЧАНАРЫГ ИЛРҮҮЛЭХ ТООЦООТ ТУРШИЛТЫН ЖИШЭЭ

#### Идеал хийн үндсэн тэгшитгэл

[2] Хийн хуулийг судлах загвар лабораторийн ажлыг ашиглан тооцоот туршилтаас суралцагчид идеал хийн үндсэн хуулийг томъёолно.

Хүснэгт 1.  $T = const$  үед 1 моль хий дэх хэмжилт.

№	Хийн төрөл	Бодисын тоо хэмжээ $\nu$ (моль)	T (К)	P (кПа)	V (л)
1	Устөрөгч	1	273.15	53.58	42.40
2			273.15	35.00	64.90
3			273.15	24.59	92.40

Туршилтын тоон баримтаас дүгнэвэл:  $PV \sim T^n$ . Пропорционалийн коэффициентоор тэнцүүлбэл:  $PV = kT^n$ . Энд  $k, n$ -мэдэгдэхгүй

$PV = kT$  болж байна. Эндээс  $k$ -г олбол:

$$k = \frac{PV}{T} = 8.31. \text{ Эндээс харвал: } k = R \text{ байна.}$$

Хоёр тохиолдлолд бичвэл:  $P_1V_1 = kT_1^n$  ба  $P_2V_2 = kT_2^n$ .

Тэгэхээр 1 мол хийд:  $PV = RT$

Харьцуулбал:

Туршилтын баримт-2: Аливаа хий ямагт нэг моль байх боломжгүй. Иймээс дурын моль хийд хэмжигддэг.

$$\frac{P_1V_1}{P_2V_2} = \frac{RT_1^n}{RT_2^n} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^n \quad n = \frac{\ln\left(\frac{P_1V_1}{P_2V_2}\right)}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}$$

Тоон баримтаас тооцоолж үзвэл:  $n = 1$ .

Хүснэгт 2. Дурын моль хийд дэх хэмжилт.

№	Хийн төрөл	Бодисын тоо хэмжээ $\nu$ (моль)	$T$ (К)	$P$ (кПа)	$V$ (л)
1	Устөрөгч	1	273.15	53.58	42.40
2	Гели	2	335.55	202.84	34.70
3	Агаар	3	384.75	428.57	22.40

Туршилтын тоон утгууд нь  $PV \sim RT$  болж тоон утга тэнцэхгүй байна. Иймээс пропорционалийн коэффициентоор тэнцүүлбэл:

Дэлхийн масс тогтмол болохыг тооцвол хүндийн хүч биеийн масст шууд хамааралтай байна. Орчлон өөрөө масс тиймээс массын харилцан үйлчлэл үзүүлнэ.

$$PV = cRT. \text{ Энд: } c_1 = 1, c_2 = 2, c_3 = 3$$

$$F \sim Mm$$

Энэ тоон үзүүлэлтээс харахад  $c = \nu$  байна. Дээрх дүгнэлтүүдийг нэгтгэвэл:  $PV = \nu RT$ . Менделеев Клапейроны тэгшитгэлийг томъёолов.

Маштабын өөр өөр хувиргалтанд хүчний үйлчлэл хэрхэн өөрчлөгдөх талаар судлавал.

### Бүх ертөнцийн таталцлын хууль

[2] Бүх ертөнцийн хуулийг судлах загвар лабораторийн ажлыг ашиглан (2) тэгшитгэлийг тооцоот туршилтаас суралцагчид өөрснөө судлан зүй тогтол, томъёоллыг гаргана.

Хүснэгт 4. Хүчний үйлчлэл

№	1	2	3	4
$r \cdot 10^3$ , м	6381	63815	3682	6380
$F$ , Н	98.0042	97.9889	97.9735	98.0350

**Хүндийн хүчийг нээхүй.** Тогтмол радиус дээр маштабын өөрчлөлтгүй хүндийн хүч болон биеийн масс хоорондын хамаарал.

Классик физикийн хуулийн түгээмэл чанар ёсоор өөр өөр маштабтай үед уг хуулийн ерөнхий зүй тогтол хадгалагдаж байна.

$$F \sim \frac{1}{r^n} \text{ эндээс } F \sim \frac{Mm}{r^n} \text{ болно. } F = G \frac{Mm}{r^n} .$$

Хүснэгт 3. Хүндийн хүч болон биеийн масс

№	1	2	3
$m$ , кг	2	5	10
$F$ , Н	19.6038	49.0098	98.0188
$F/m$ , м/с <sup>2</sup>	9.8019	9.8019	9.80188

Энд:  $n, G$ - тодорхойгүй.

Таталцлын орны хэмжүүрийн хуваарийг өөрчлөхөд тэгшитгэл инвариант буюу түгээмэл чанараа хадгална. Товчхондоо бол таталцлын төвт оронд Ньютоны тэгшитгэл

координатын ямарч утгад эн тэнцүү буюу түгээмэл чанартай юм.

Хэмжүүрийн хуваарийг өөрчилж буй тогтмол тоо нь орчлонгийн таталцлын метрик.

**Тооцоо:** Хүндийн хүчний зайн хамаарлын ( $n$ ) болон орчлонгийн метрик  $G$  зэргийг туршилтын баримтыг ашиглан тодорхойлно.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{98.0042}{97.9735} = \left( \frac{6382000}{6381000} \right)^n$$

$$1.0003134 = 1.0001567^n,$$

$$n = \frac{\ln(1.0003134)}{\ln(1.0001567)} = 2$$

$$G = \frac{F \cdot r^2}{m \cdot M}$$

$$G = \frac{97.9735 \text{ Н} \cdot 6382^2 \cdot 10^6 \text{ м}^2}{10 \cdot 5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг}^2} = 6.673 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Харьцангуй ерөнхий онол хөгжихөд таталцлын хуулийн түгээмэл чанарыг илэрхийлж байсан энэхүү тогтмол нь орчлонгийн таталцлын метрик орны холбоост хувирсан.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

1. Энэ загварыг хийхэд зэрэмдэг квант хувирах зүй тогтолд тулгуурласан.
2. Физик загвар нь бодит туршилтанд байдаг нөхцөлөөс илүү боломжит нөхцөлтэй юм.
3. Энэ аргаар физикийн 70 орчим загвар лаборатори бүтээгээд байна.
4. Физикийн загвар лаборатори бүтээхэд тулгуур хуулийн түгээмэл шинж, хэмжигдэхүүний инвариант буюу дүрс хадгалагдах чанарыг бүх хуульд хэрэглэсэн.

#### REFERENCES

- [1] Ландау Лифшиц “Механик”
- [2] О.Лхагва .. нар Физикийн 3D загвар лаборатори, 2017
- [3] Lhagva et al, Modeling Laboratory for Physics and Distance Learning, Proc. Int. Confer. Future of Open and Distance Learning in Mongolia, 2-4, Nov, 2005
- [4] Lhagva et al. Virtual Laboratory and Physics Training, Proc. International Conference on e-Learning for National Development. 2006