



ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
ХЭРЭГЛЭЭНИЙ ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ФИЗИКИЙН ТЭНХИМ

Физик I (S.PH101)



Лекц №1



Сэдэв: Агуулга



Механик

- Механикийн судлах зүйл
- Орон зай. Тооллын систем
- Радиус вектор
- Материал цэгийн хөдөлгөөн, түүний тэгшитгэл
- Хурд хурдатгал

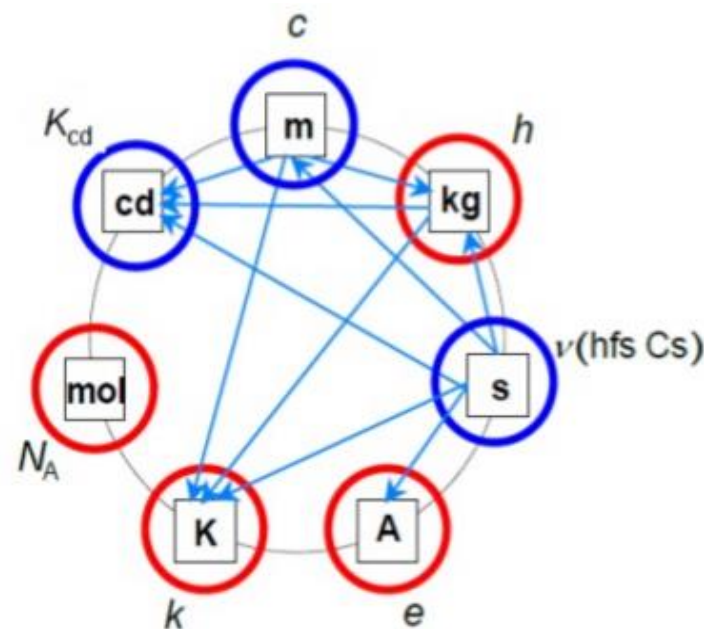


Сэдэв: Олон улсын нэгжийн систем

Si- System International unit,
(Олон улсын нэгжийн систем нь Монголоор СИ систем) - метрийн системийн орчин үеийн хувилбар.

Хуучины метрийн систем нь
(сгс) - сантиметр-грамм-секунд
(мкс)- метр-килограмм-секунд
нэгжээр илэрхийлэгдэж байв.

СИ системийн үндсэн 7 нэгж



Физикийн **суурь тогтмол**
эсвэл **томьёолсон утга**
дээр үндэслэсэн:

- метр (c)
- килограмм (h)
- Ампер (e)
- кандела (K_{cd})
- Кельвин (k)
- моль (N_a)

Материалын шинж чанар
дээр үндэслэсэн
• секунд (^{133}Cs)

- СИ-н уламжлагдсан нэгжүүд (Вебер-
 $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{сек}^2} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{сек}}{\text{А}}$, Вольт $1 \text{ В} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}}{\text{А}}$) Генри- $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А}^2 \cdot \text{сек}^2} = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = 1 \frac{\Omega \cdot \text{сек}}{\text{А}}$



Сэдэв: Ерөнхий зүйл

Орчлон ертөнцийн од эрхсээс эхлээд өчүүхэн атом молекул хүртэлх бүх л орчинд механик хөдөлгөөн оршино. Хүн төрөлхтөн орчлон ертөнцийг танин мэдэж өөрийн оюун санаандаа төсөөлөхийн тулд хөгжүүлж ирсэн шинжлэх ухааны нэг нь физикийн шинжлэх ухаан юм. Физикийн бүлэг сэдвүүдийн эхэнд судлах механик нь нэг биетэй харьцангуй нөгөө биеийн байрлалын өөрчлөлт болох механик хөдөлгөөнийг судална.

Механикийн бүлэг нь

- кинематик ба
- динамик гэсэн хоёр үндсэн бүлгээс тогтоно.

Кинематик нь хөдөлгөөний шинж чанарыг геометрийн талаас нь судалдаг. Энэ бүлэгт бид хөдөлгөөний тэгшит-гэл, хурд, хурдатгал тэдгээрийн хоорондын хамаарлын талаар судлан, цаашид хэрэглэх боломжийн талаар мэдлэг олж авна.

Динамик нь хөдөлгөөнийг үүсэх ба саатах шалтгааныг нь тодорхойлох замаар судалдаг. Энэ бүлэгт хөдөлгөөний хуулиудыг танин, механик системүүдийн хөдөлгөөнүүдийг шинжлэн судална.



Сэдэв: Механикийн бүлэгт судлах хөдөлгөөнүүд

Механикийн бүлэгт

- жигд ба хувьсах хөдөлгөөн,
- эргэх хөдөлгөөн, түүний тэгшитгэлүүдээр тодорхойх
- тооллын системүүд, тэдгээрийн хооронд шилжих координатын хувиргалтууд,
- хатуу биеийн эргэх хөдөлгөөн,
- хадгалагдах хуулиуд,
- хувьсах масстай биеийн хөдөлгөөн,
- инерциал бус тооллын систем,
- харьцангуй тусгай онол,
- хэлбэлзэх хөдөлгөөнүүдийг судална.



Сэдэв: Орон зай

Бид цаашид хэмжих гэсэн ойлголтыг хэрэглэх бөгөөд энэ ойлголт нь ямар нэг жишиг үлгэртэй тухайн ижил төрлийн зүйлийг жишиж үзэхийг хэлнэ. Одоо орон зай цаг хугацааг хэрхэн хэмжих талаар авч үзье. Ертөнцийн бүх матер, материалууд нь биелэг шинж чанартай байдаг. Энэ шинж чанар нь гурван хэмжээстэй харилцан перпендикуляр гурван чиглэлийн дагуух биелэг шинж чанарыг мэдсэнээр биеийн эзлэхүүний тухай төсөөллийг бүрэн авна. Аль нэг чиглэлийн дагуух биелэг шинж чанарын хэмжээг тэр биеийн шугаман хэмжээ гэнэ. Биеийн хоёр шугаман хэмжээг жишиж уртыг хэмждэг. Уртын нэгж нь метр.

Орон зайг бүрдүүлэгч (вакуум) нь дараах шинж чанартай.

1. Нэгэн төрөл-хаана ч ижил
2. Тасралтгүй-хаана ч байгаа
3. Изотроп-бүх чиглэлд ижил
4. Вакуум дотор биелэг зүйл тавихад хоорондоо огт нөлөөлөхгүй.

Ийм вакуумын шугаман хэмжээг тодорхойлж болно. Вакуумыг биеийн хөдөлгөөнтэй харьцуулан судлахыг Ньютон абсолют хөдөлгөөн гэнэ. Гэвч энэ арга нь хэрэглэхэд хэцүү. Учир нь вакуумд онцгой цэг байхгүй, сэрэлд мэдрэгдэхгүй. Энэ шалтгаанаас болон абсолют хөдөлгөөний тухай ярилтгүй болж харьцангуй хөдөлгөөнийг л бид мэдэрч, судалдаг.



Сэдэв: Орон зай

Хөдөлгөөнийг судлахад тооллын бие авах бөгөөд тэр нь орон зайг төлөөлөн харьцуулагддаг. Тооллын бие орон зай хоёрын хоорондын холбоог координатын системийг хэрэглэн тогтоодог. Энэ нь орон зайн бүх цэгийг хаяглах арга юм.

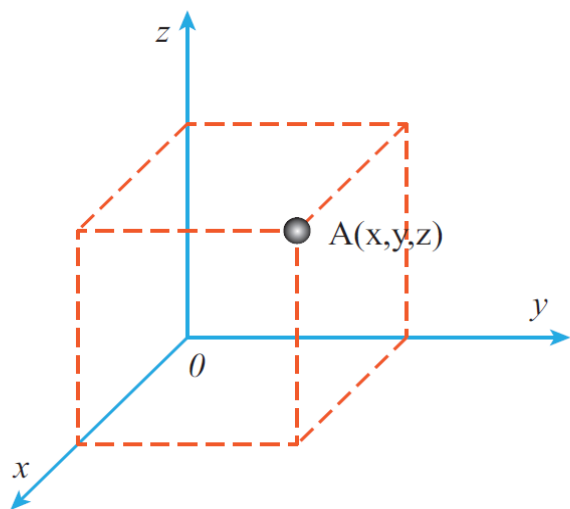
Орон зайд хөдлөх биеийн байрлалыг төсөөлөх, илэрхийлэхэд огторгуйн тухайн цэгийг тооллын биетэй харьцангуйгаар координатуудаар тодорхойлж байгаа нь тухайн цэгийн нэр хаяг болно.

Огторгуйн орон зай нь гурван хэмжээстэй учир ямар ч координатын систем авсан гурван байгуулагч буюу гурван координатаар цэгийн байрлал тодорхойлогдоно. Дараах координатын системүүдийг өргөн хэрэглэдэг.

1. Тэгш өнцөгт Декартын координатын систем $(x; y; z)$
2. Цилиндр координатын систем $(r; \varphi; z)$
3. Сфер (бөмбөрцөг) координатын систем $(\rho; \varphi; \Theta)$

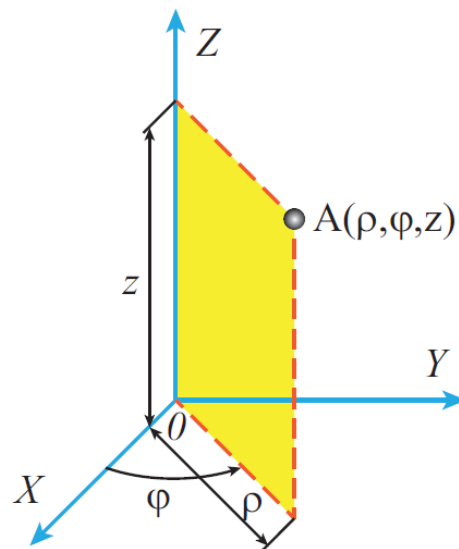


Сэдэв: Координатын системүүд



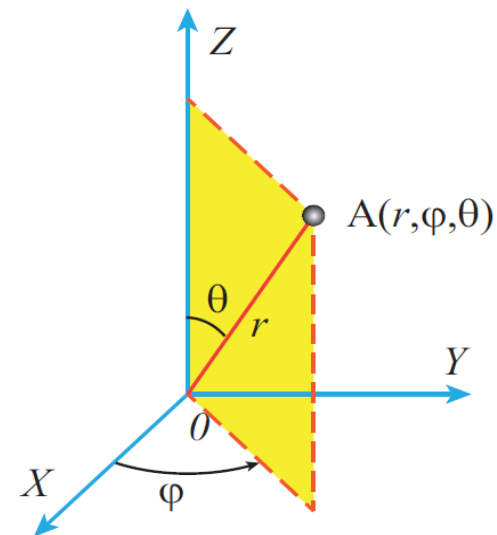
Зураг 1.1. Тэгш өнцөгт Декартын координатын систем

Декартын координатын системд А цэгийн байрлалыг түүний тэнхлэгүүд дээрх проекцын x ; y ; z гурван координатаар тодорхойлно



Зураг 1.2. Цилиндр координатын систем

Цилиндр координатын системд А цэгийн байрлалыг ба z зай болон хэрчим ρ тэнхлэгтэй үүсгэх φ өнцөг тодорхойлно.



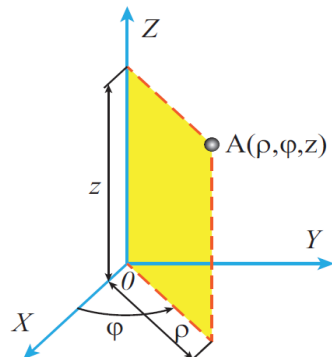
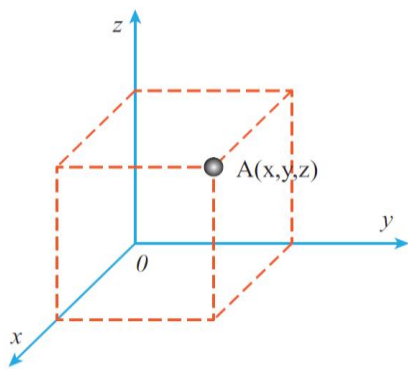
1.3. Бөмбөлөг координатын систем

Бөмбөлөг координатын системд А цэгийн байрлалыг ба радиус вектороор тэнхлэгтэй үүсгэх θ өнцөг тодорхойлно.



Сэдэв: Координатын системүүдийн шилжүүлэлтүүд

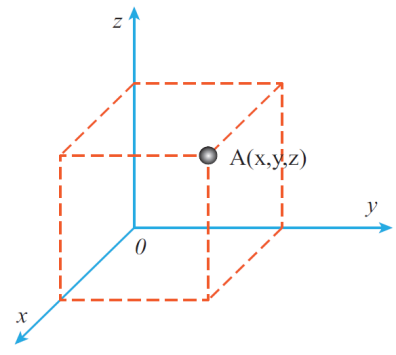
Тэгш өнцөгт координатын системээс Цилиндр координатын систем рүү шилжүүлбэл



$$\begin{cases} x = \rho \cos \varphi \\ y = \rho \sin \varphi \\ z = z \end{cases}$$

φ өнцөг ба түүний OXY хавтгай дээрх проекцын x тэнхлэгтэй үүсгэх өнцөг тодорхойлно.

Харин A цэг сфер координатын системд $A(r; \theta; \varphi)$ координаттай бол тэгш өнцөгт координатын системд шилжүүлье.



$$\begin{aligned} & \rho \sin \theta \\ & = \rho \sin \theta \\ & z = r \cos \theta \end{aligned}$$

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \varphi \\ y = r \sin \theta \sin \varphi \\ z = r \cos \theta \end{cases}$$



Сэдэв:

Координатын системүүдэд биеийн хэмжээ болон, хөдөлгөөний орон зайг тодорхойлоход өчүүхэн бага эзлэхүүний элементүүдийг тодорхойлох шаардлага тулгардаг.

Тэгш өнцөгт координатын системд $(x; x + dx), (y; y + dy), (z; z + dz)$ мужид харгалзах эзлэхүүн нь

$$dV = dx \cdot dy \cdot dz$$

Цилиндр координатын системд $(\rho, \rho + d\rho), (\varphi, \varphi + d\varphi), (z, z + dz)$ мужид харгалзах эзлэхүүн нь

$$dV = \rho \cdot d\varphi \cdot d\rho \cdot dz$$

Сфер координатын системд $(r, r + dr), (\varphi, \varphi + d\varphi), (\theta, \theta + d\theta)$ мужид харгалзах эзлэхүүн нь

$$dV = r^2 \sin \theta d\varphi d\theta dr$$





Сэдэв: Цаг хугацаа

Материйн хоёр дахь шинж чанар нь цаг хугацаанд үйл явдал үргэлжлэх явдал юм.

Бүх матер үйлийн шинж чанартай. Үйл явцын үргэлжлэх хэмжээг хугацаагаар хэмжинэ.

Хугацааг хэмжихдээ үелэх үзэгдлийг ашигладаг. Үүнийг цаг гэнэ. Атомын цацрагийн давтамжийг ашиглаж цагийн эталоныг зохиодог байна. Олон улсын нэгжийн системд 1сек-ийг Цезий 133 атомын хэт нарийн төвшний хоорондох шилжилтээр цацаргах долгионы үеийг 9192631770 дахин авсантай тэнцүү хэмээн 1997 онд тогтоожээ. Орон зай, цаг хугацаа нь салшгүй холбоотой. Үүний нэг жишээ нь цагийн явцаар огторгуй нэгэн төрөл эсэхийг шалгаж болно. Өөрөөр хэлбэл огторгуй нэгэн төрөл байх нөхцөл нь нэг цагтай байх явдал юм.

Цагийн явц огторгуйн бүх цэг дээр ижил байвал энэ нь нэгэн төрөл огторгуй болдог бол цаг хугацааны үргэлжлэх хэм хэмжээ алдагдахгүй байвал хугацаа нэгэн төрөл гэнэ. Жишээлбэл өглөө хийгдэх үйлдэл, өдөр хийгдэх мөн үйлдэлтэй хугацааны хувьд зөрүүгүй байгаа нь хугацаа нэгэн төрлийн шинжийг илтгэнэ.



Сэдэв: Инерциал ба инерциал бус тооллын систем

Тооллын системд аливаа үзэгдлийг судална. Тооллын биетэй харьцангуй тайван буюу бэхлэгдсэн координатын систем сонгон авч, хугацааг тоолох цагийг авснаар тооллын систем үүснэ.

Нэгэн төрлийн огторгуйтай, хугацаа нь нэгэн төрөл байх тооллын системийг **Инерциал тооллын систем** гэнэ. Инерциал тооллын систем мөн эсэхийг Ньютоны нэгдүгээр хууль биелж байгаа эсэхээр тодорхойлно. Нэг инерциал тооллын системтэй харьцангуй тогтмол хурдтай хөдлөх тооллын системүүд бүгд инерциал тооллын систем байна.

Инерциал бус тооллын системүүдэд цаг хугацаа нэгэн төрөл биш байна.

Нэг биетэй харьцангуй нөгөө биеийн байрлал өөрчлөгдөхийг механик хөдөлгөөн гэнэ.

Механик хөдөлгөөнийг судахдаа бие **хэзээ?**, **хаана?** байхыг тодорхойлох явдал юм.

- Хэзээ? гэсэн асуултанд хариулахын тулд бидэнд цаг хэрэгтэй
- Хаана? гэсэн асуултад хариулахын тулд координатын системийг ашиглана.

Өөрөөр хэлбэл хөдөлгөөнийг цагтай координатын системд буюу ямагт тооллын системд судална.

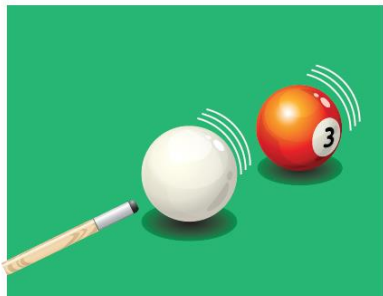
Кинематик нь биеийн огторгуйн байрлал нь хугацаанаас хэрхэн хамаарч байгааг л судална.



Сэдэв: Кинематик

Хөдөлгөөнийг судлахдаа биеийн шугаман хэмжээ l , хөдөлгөөн хийж байгаа орон зайн хэмжээ L -ээс олон дахин бага бол цэгээр төлөөлүүлэн судалдаг ($l \ll L$). Энэ тохиолдолд биеийг материал цэг гэнэ. Жишээ нь хот хооронд нислэг хийх онгоц, автомашин нь хөдөлгөөнийг цэгээр төлөөлүүлэн судалдаг.

Аливаа биеийн мөргөлдөөн харилцан үйлчлэлийн үед биеийн хэлбэр өөрчлөгдөх боловч түүний хэв гажилт (x) тооцохооргүй бага буюу түүний шугаман хэмжээсээс ($\Delta x \ll l$) олон дахин бага бол биеийг **абсолют хатуу бие** мэтээр авч үзнэ.



a)

Жишээ нь:

Бильярдн шарууд мөргөлдөх үед тэдгээрийг тулж байгаа хэсэг деформацлагдах боловч анзаарагдахгүй бага тул абсолют хатуу шарууд дөнгөж тулаад ойж байгаа мэтээр загварчлан ойлгоно.



b)

Газрын теннисний бөмбөгийг цохих үед илэрхий деформацлагдаж байгаа нь өндөр хурдны камераар ажиглахад харагдана. Иймд энэхүү бөмбөгийг абсолют хатуу бие гэж үзэж болохгүй боловч харин тоглолтын үед бөмбөгний хөдөлгөөнийг материал цэг хэмээн загварчлан ойлгож болно. Материал цэгийг хэмжээний хувьд тэг боловч масстай байна гэж үзнэ.



Сэдэв: **Хөдөлгөөний тэгшитгэл**

Хөдөлгөөн нь орон зайд хугацаанаас хамааран тасралтгүйгээр тодорхойлогдоно. Иймд хөдөлгөөн хийж байгаа биеийн байрлал хугацааны хувьд тасралтгүй тодорхойлогдох функцээр илэрхийлэгдэнэ.

Биеийн хэзээ? хаана? байхыг математикийн хувьд нэгэн утгатай тодорхойлж чадах тэгшитгэлийг ***хөдөлгөөний тэгшитгэл*** гэнэ.

Хөдөлгөөний тэгшитгэл нь биеийн байрлал хугацааны хамаарлыг шууд ба шууд бусаар илэрхийлж байж болох юм.

хөдөлгөөнийг шууд илэрхийлэх

- Вектор арга
- Координатын арга
- Траекторын арга

гурван хэлбэрийг авч үзье.



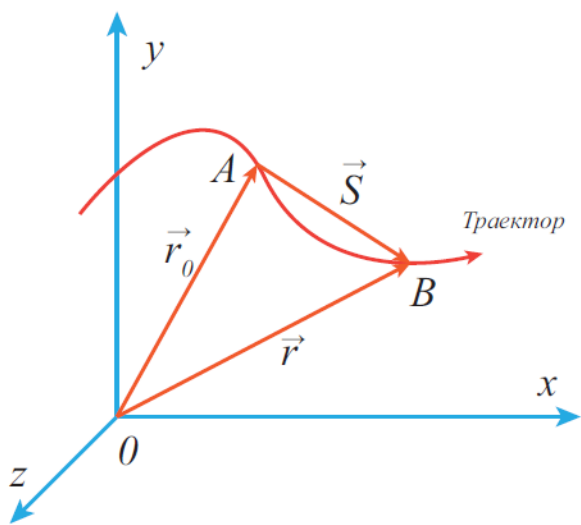
Сэдэв: Вектор арга

Биеийн дайрч өнгөрүүлэх цэгүүдийг холбоход үүсэх мурийг траектор нь тасралтгүй мурийг үүсгэдэг. Траекторын дагуу авсан биеийн тодорхой хугацаанд дайрч өнгөрсөн буюу дайрч өнгөрөх траекторын уртыг зам гэнэ.

Тодорхой хугацааны завсарт биеийн хугацааны эхний агшин дахь байрлал хүртэл татсан векторыг шилжилтийн вектор гэнэ. Харин координатын эхээс биеийн байрлал хүртэл татсан векторыг **радиус вектор** гэнэ.

Хөдөлгөөний тэгшитгэл нь $\vec{r} = \vec{r}(t)$ эсвэл $\vec{S} = \vec{S}(t)$

Явсан зам нь $\vec{S} = \vec{r} - \vec{r}_0$ буюу радиус вектор болон шилжилтийн векторууд нь вектор функцээр тодорхойлогдоно. Өөрөөр хэлбэл тодорхойлогдсон векторуудын тусламжтайгаар радиус эсвэл шилжилтийн векторыг илэрхийлж байна.



Зураг 1.5. Материал цэгийн траектор

$$\vec{r} = St \cdot \vec{i} + (6t^2 + 2) \vec{j} + 3\vec{k} \quad \text{эсвэл}$$

$$\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

$$\vec{r} = \vec{b} \sin(\omega t + \varphi_0) + \vec{c}$$

Биеийн хөдөлгөөнийг тодорхойлохдоо түүний хугацааны тухайн эгшин бүрд байрлалыг нь тодорхойлох векторыг илэрхийлж чадах вектор тэгшитгэлийг хөдөлгөөний вектор тэгшитгэл буюу **хөдөлгөөнийг тодорхойлох вектор арга** ГЭНЭ.



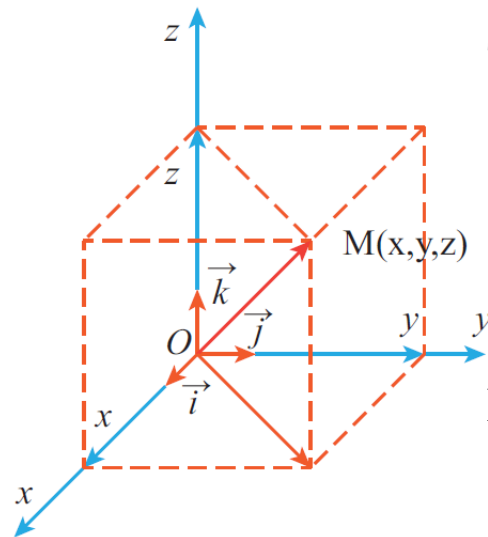
Сэдэв: Координатын арга

Энэ арга нь биеийн байрлалыг хугацааны эгшин бүрд координат бүрээр нь тодорхойлох арга юм. зурагт үзүүлснээр нь М цэгийн координат нь тэгш өнцөгт координатын системд дараах байдлаар тодорхойлогдож байвал координатын арга гэнэ.

Тэгш өнцөгт координатын системд
$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

Цилиндр координатын системд
$$\begin{cases} \rho = \rho(t) \\ \varphi = \varphi(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

Бөмбөлөг координатын системд
$$\begin{cases} r = r(t) \\ \varphi = \varphi(t) \\ \theta = \theta(t) \end{cases}$$



Тэгш өнцөгт координатын системд

$$\begin{cases} x = x_0 + \overrightarrow{v_{0x}}t + \frac{\overrightarrow{a_x}t^2}{2} \\ y = y_0 + \overrightarrow{v_{0y}}t + \frac{\overrightarrow{a_y}t^2}{2} \end{cases}$$

Цилиндр координатын системд

$$\begin{cases} \rho = 4t^2 \\ \varphi = 3t \\ z = 0 \end{cases}$$

Хөдөлгөөний тэгшитгэлийг координатын аргаас вектор хэлбэрт шилжүүлбэл

$$\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - нь x, y, z-тэнхлэгүүд дээрх нэгж вектор



Сэдэв: Траекторын арга

Энэ аргаар тодорхойлохдоо траекторыг гаргасны дараа түүн дээр дурын нэг цэг сонгон авч түүнээс эхлэн траектор дээр тогтоосон чиглэлд шилжих замаар биеийн хөдөлгөөнийг тодорхойлно.

$$S = S(t)$$

Энэ аргыг траектор нь тодорхойлогдох хөдөлгөөний хувьд ашигладаг.

Жишээ нь: бие шулуунаар хөдлөх үед зам нь $S=7+2t^2$ хуулиар хувьсана. Тойргоор эргэх биеийн зам $S=3t^2$ гэх мэт.





Сэдэв: Хурд

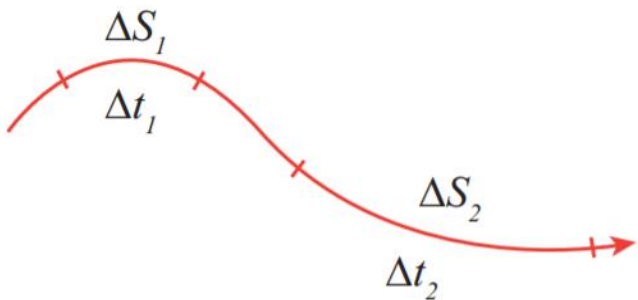
Биеийн хөдөлгөөнийг судлахад түүний байрлал хэрхэн хувьсан өөрчлөгдөж байгааг илэрхийлэх нэг хэмжигдэхүүн нь хурд юм.

Хурд нь нэгж хугацаанд туулах замаар тодорхойлогдоно. Биеийн туулсан нийт замыг нийт хугацаанд хуваавал дундаж хурд гарна.

$$v_0 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Хурд нь тогтмол хөдөлгөөнийг **жигд хөдөлгөөн** гэнэ. Шулуунаар жигд хөдлөх, тойргоор жигд эргэх гэх мэт хөдөлгөөний хувьд хөдөлгөөний траекторын аль ч хэсэгт дундаж хурд нь адилхан байна.

$$v_0 = \frac{\Delta S_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta S_2}{\Delta t_2}$$



Зураг 1.7. Хөдөлгөөний траектор

Хөдөлгөөний траекторын олон хэсэг болгон хувааж хэсэг бүрд нь дундаж хурдыг тодорхойлоход өөр өөр хэмжээтэй байвал ийм хөдөлгөөнийг жигд бус хөдөлгөөн буюу **хувьсах хөдөлгөөн** гэнэ.

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta t_1} \neq \frac{\Delta S_2}{\Delta t_2}$$

Хувьсах хөдөлгөөний траекторын цэг бүрийг бие дааран өнгөрөх хурд нь ялгаатай байна. Тухайн цэгийг дайран өнгөрөх хурдыг эгшин зуурын хурд гэнэ.

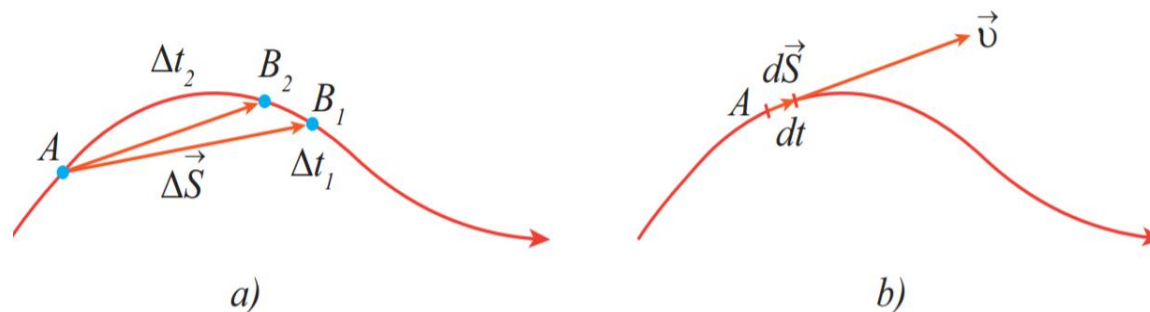


Зураг 1.8. Шилжилт ба хурд



Сэдэв: Эгшин зуурын хурд

Одоо эгшин зуурын хурдыг тодорхойлъё. Материал цэгийн траекторын хэсгийг дараах зурагт үзүүлжээ. А цэгийг дайран өнгөрөх хурдыг олъё.



Зураг 1.8. Шилжилт ба хурд

А цэгийг Δt , B_1 цэгийг $t + \Delta t_1$ хугацааны эгшинд дайран өнгөрнө. Харин $\Delta t_1 > \Delta t_2$ хугацаанд B_2 цэгт хүрнэ. А цэгээс цааш хөдлөх хугацаа Δt -г багасгах замаар А цэгийн орчим хурдыг олбол

$$v_A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$

Энд хугацааны өчүүхэн бага өөрчлөлтийг dt , түүнд харгалзах зам нь dS болно. Иймд t хугацааг маш бага авбал түүнд харгалзах замын хэмжээ, шилжилтийн хэмжээтэй давхцна. Мурийн өчүүхэн бага хэсгийг шулуунаар төсөөлж болох бөгөөд түүнийг агуулсан шулууныг **шүргэгч шулуун** гэдэг. Энэ үед өчүүхэн бага шилжилтийн вектор $d\vec{S}$ нь траектортой давхцах ба түүнд харгалзах хугацаа нь dt бол шилжилтийн хэмжээ нь замын хэмжээтэй тэнцэхийн зэрэгцээ чиглэл нь хөдөлгөөний буюу хурдны чиглэлийг тодорхойлно.



Сэдэв: Хурд

Иймд хурдыг вектор хэлбэрээр тодорхойлбол $\vec{v}_A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} = \frac{d\vec{S}}{dt}$

Энэхүү томъёонд шилжилтийн өөрчлөлтийг хугацааны өөрчлөлтөд харьцуулсан хязгаарыг товчлон $\frac{d\vec{S}}{dt}$

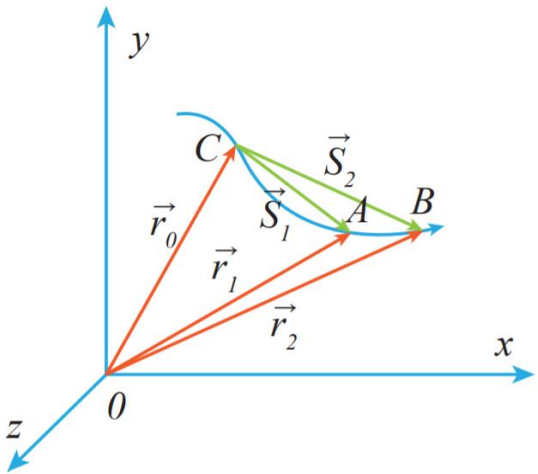
гэж тэмдэглэх ба энэ хязгаар нь математикийн хувьд шилжилтийн вектороос хугацаагаар авсан уламжлал юм.

Шилжилтийн өөрчлөлтийг радиус вектороор илэрхийлье. Доорх зурагт дүрсэлснээр материал цэг А цэгээс В цэгт шилжих үед $\overrightarrow{AB} = \vec{S}_2 - \vec{S}_1 = \Delta \vec{S}$, $\overrightarrow{AB} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta \vec{r}$

$\Delta \vec{S} = \Delta \vec{r}$ нь хугацааны өчүүхэн бага өөрчлөлтийн хувьд $d\vec{S} = d\vec{r}$

Эгшин зуурын хурд нь $\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt}$

Эгшин зуурын хурд нь шилжилт, эсвэл радиус вектороос хугацаагаар авсан уламжлалаар тодорхойлогдох траекторын шүргэгчээр чиглэх вектор юм. Радиус векторыг байгуулагчаар нь илэрхийлж дээрх томъёогоор хурдыг олъё.



Зураг 1.9. Шилжилт

$$\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k} = x(t) \vec{i} + y(t) \vec{j} + z(t) \vec{k}$$

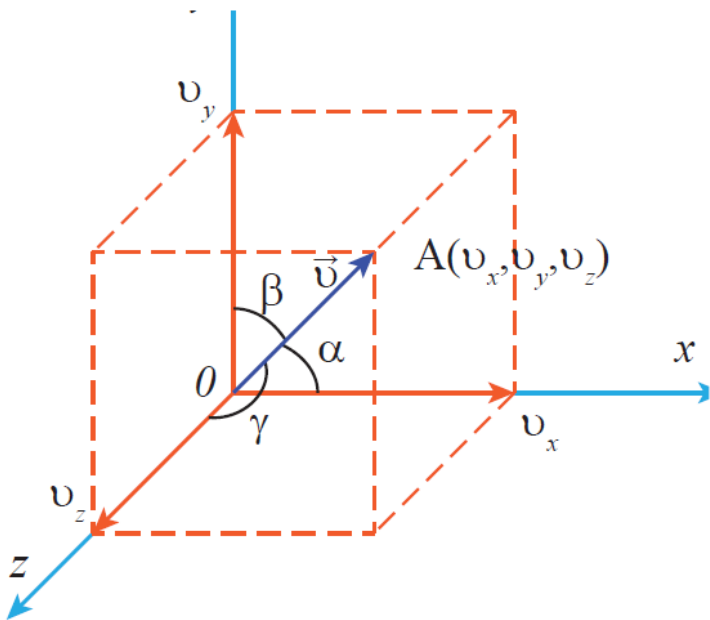
$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k}$$



Сэдэв: Хурд

Хурдны байгуулагчдыг олвол $\vec{v}_x = \frac{d\vec{x}}{dt} = \dot{x}$, $\vec{v}_y = \frac{d\vec{y}}{dt} = \dot{y}$, $\vec{v}_z = \frac{d\vec{z}}{dt} = \dot{z}$

x ; y ; z байгуулагчдаас хугацаагаар авсан уламжлалууд нь харгалзах тэнхлэг дээрх хурдны байгуулагч болно. Физикт заримдаа хугацааны уламжлалыг товчлон цэгээр тэмдэглэдэг. $(\dot{x}; \dot{y}; \dot{z})$



Хурдны вектор нь байгуулагчаараа $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$

болох тул хурдны хэмжээ буюу шугаман хурд нь $v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

Хурдны байгуулагчдыг хурдны хэмжээ ба тэнхлэгтэй үүсгэх өнцгөөр илэрхийлбэл

$$v_x = v \cos \alpha, \quad v_y = v \cos \beta, \quad v_z = v \cos \gamma$$

α, β, γ

өнцгүүдийн хувьд
адилтгал биелнэ.

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

тул хурдны хувьд



Сэдэв: Хурд

Хөдөлгөөний тэгшитгэлийг **вектор хэлбэрээр**

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad \vec{S} = \vec{S}(t)$$

гэж илэрхийлсэн бол

$$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

гэж илэрхийлсэн бол

$$\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k} = x(t) \vec{i} + y(t) \vec{j} + z(t) \vec{k}$$

$$\vec{r} = x(t) \vec{i} + y(t) \vec{j} + z(t) \vec{k}$$

гэж илэрхийлсэн бол

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k}$$

Хөдөлгөөний тэгшитгэлийг **траекторын аргаар**

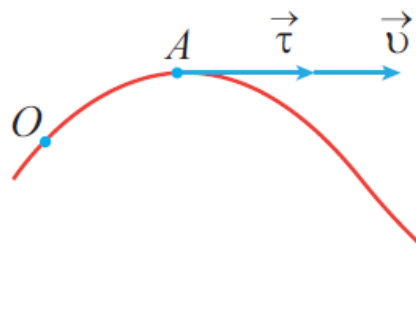
$$S = S(t)$$

хэлбэрээр өгсөн

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dS} \cdot \frac{dS}{dt}$$



Сэдэв: Хурд



Энд S зам учир давхар функцын уламжлалын томъёогоор хурдыг олно.

$$\frac{d\vec{r}}{dS} = \vec{\tau}$$

Зурагт үзүүлснээр шүргэгчийн дагуу чиглэх нэгж вектор байх ба **үүнийг тангенциал нэгж вектор** гэнэ.

Зураг 1.11. Хурд ба траектор

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dS} \cdot \frac{dS}{dt} \quad \text{тэгшитгэлийг шугаман хурдаар илэрхийлбэл} \quad \vec{v} = \frac{dS}{dt} \cdot \vec{\tau} = v \cdot \vec{\tau}$$

Биеийн шугаман хурд буюу хурдны хэмжээ нь замаас хугацаагаар авсан уламжлалтай тэнцүү болох нь харагдаж байна. Эндээс dt хугацаанд туулсан зам нь $dS = v dt$ болох учир. Нийт замыг дараах байдлаар интегралчилж олно.

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v dt$$

Дундаж хурд нь

$$v_0 = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$$



Сэдэв: Хурдатгал

Хурд нь хэрхэн хувьсан өөрчлөгдөж байгааг хурдатгалаар илэрхийлнэ. Өөрөөр хэлбэл хурдатгал нь нэгж хугацаан дахь хурдны өөрчлөлт буюу хурднаас хугацаагаар авсан уламжлал юм.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Хурдатгал нь хурдны хэмжээ болон чиглэлийн өөрчлөлтөөр үүсэх хэмжигдэхүүн болно.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \text{илэрхийллээс уламжлал авч хурдатгалыг олбол:} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{v}) = \frac{d}{dt}\left(\frac{d}{dt}\vec{r}\right) = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$$

Хурдатгал нь радиус вектороос хугацаагаар авсан хоёрдугаар эрэмбийн уламжлал болох нь байна. Хурдатгал нь вектор хэмжигдэхүүн учир түүний байгуулагчдыг дараах байдлаар илэрхийлж болно.

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y}$$

$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z}$$

Хурдатгалын хэмжээ нь

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

вектор хэлбэрээр бичвэл

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$$



Оюутны кодын сүүлийн орон сондгой бол сондгой асуултанд, тэгш бол тэгш асуултанд физик үндэслэлтэйгээр хариулна.

1. Олон улсын нэгжийн системийн тухай?
2. Хөдөлгөөн гэж юу вэ?
3. Траектор гэр юу вэ?
4. Орон зай гэж ямар ойлголтыг хэлэх вэ?
5. Зам, шилжилтийн вектор хоёрын ялгаа нь юу вэ?
6. Радиус вектор гэж юу вэ?
7. Дундаж хурд эгшин зуурын хурд ямар ялгаатай вэ?
8. Нэгж вектор гэж ямар ойлголт вэ?
9. Тангенциал хурдатгал хурдны ямар өөрчлөлтийг илэрхийлэх вэ?
10. Нормаль хурдатгал хурдны ямар өөрчлөлтийг илэрхийлэх вэ?
11. Хурдатгал болон хурдны чиглэл ямар байх ёстой вэ?
12. Хурд хурдатгалын хамаарлын тэгшитгэлийг бичнэ үү.
13. $a_t = 0, a_n = \text{const}$ бол ямар хөдөлгөөн вэ?
14. $a_t = \text{const}, a_n \neq 0$ бол ямар хөдөлгөөн вэ?
15. Материал цэгийн хөдөлгөөний тэгшитгэл гэж юу вэ?
16. Материал цэгийн хөдөлгөөний тэгшитгэл юуг илэрхийлэх вэ?
17. Хүндийн хүчний оронд чөлөөтэй унаж байгаа биеийн хурдатгал нь ямар байх вэ?
18. Хүндийн хүчний оронд эгц дээш шидэгдсэн биеийн хурдатгал ямар байх вэ?
19. Хурдыг байгуулагч болгон задлах, радиус вектороор илэрхийлэх
20. Хурдатгалын байгуулагчид болгон задлах



Анхаарал тавьсанд баярлалаа

