



Гарчиг

1	Кинематик	3
1.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	3
1.2	Жишээ бодлого	6
1.3	Шинжлэх даалгавар	12
1.4	Тооцоот даалгавар	13
1.5	Тест	15
1.6	Бие даалтын бодлого	17
2	Динамик, Ажил ба энерги	22
2.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	22
2.2	Жишээ бодлого	25
2.3	Шинжлэх даалгавар	30
2.4	Тооцоот даалгавар	31
2.5	Тест	33
2.6	Бие даалтын бодлого	36
3	Эргэх хөдөлгөөн, Хэлбэлзэл	41
3.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	41
3.2	Жишээ бодлого	47
3.3	Шинжлэх даалгавар	51
3.4	Тооцоот даалгавар	53
3.5	Тест	57
3.6	Бие даалтын бодлого	60
4	Хэлбэлзэл, хий шингэний урсгал	65
4.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	65
4.2	Жишээ бодлого	68
4.3	Шинжлэх даалгавар	71
4.4	Тооцоот даалгавар	73
4.5	Тест	75
4.6	Бие даалтын бодлого	78
5	Термодинамик	83
5.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	83
5.2	Жишээ бодлого	87
5.3	Шинжлэх даалгавар	92
5.4	Тооцоот даалгавар	94
5.5	Тест	96
5.6	Бие даалтын бодлого	98



6	Цахилгаан статик орон	103
6.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	103
6.2	Жишээ бодлого	106
6.3	Шинжлэх даалгавар	110
6.4	Тооцоот даалгавар	112
6.5	Тест	114
6.6	Бие даалтын бодлого	117
7	Тогтмол гүйдэл	122
7.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	122
7.2	Жишээ бодлого	125
7.3	Шинжлэх даалгавар	130
7.4	Тооцоот даалгавар	132
7.5	Тест	134
7.6	Бие даалтын бодлого	137
8	Металл, шингэн болон хий дахь цахилгаан гүйдэл	142
8.1	Томъёо ба тодорхойлолтууд	142
8.2	Жишээ бодлого	144
8.3	Шинжлэх даалгавар	147
8.4	Тооцоот даалгавар	148
8.5	Тест	150
8.6	Бие даалтын бодлого	152

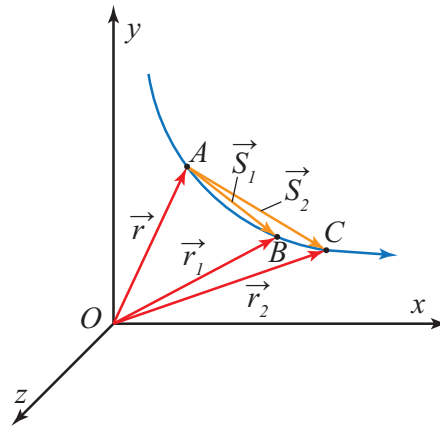
Семинар 1

Кинематик

1.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Кинематик нь механик хөдөлгөөнийг цаг хугацаа орон зайн хувьд геометр талаас нь судлах механикийн бүлэг юм. Биеийн явж өнгөрсөн ба явах цэгүүдийг холбоход үүсэх муруй шугамыг траектор гэнэ.

Зураг 1.1 дээр бие $A \rightarrow B \rightarrow C$ цэгүүдийг дамжин өнгөрч байна гэвэл координатын



Зураг 1.1

эхээс тухайн цэгийн байрлал хүртэлх $\vec{r}, \vec{r}_1, \vec{r}_2$ векторууд нь радиус векторууд, анхны байрлалаас эцсийн байрлалруу татсан \vec{S}_1, \vec{S}_2 векторууд нь шилжилтийн векторууд юм. Нэгж хугацаанд биеийн туулах замыг хурд гэнэ.

$$v_d = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Жигд хөдөлгөөний үед энэхүү дундаж хурд нь траекторын цэг бүр дээрх хурдны утгатайгаа адилхан байна. Хурд нь хувьсах үед траекторын цэг бүр дээр хурд өөр өөр байх учир эгшин зуурын хурдыг дараах байдлаар тодорхойлно.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt}; \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1.2)$$

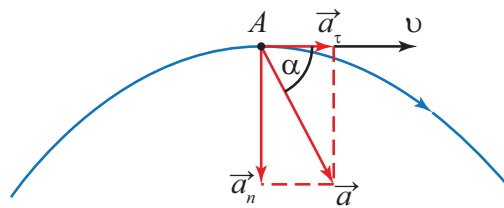
энд dt –өчүүхэн бага хугацаанд биеийн шилжилтийн өөрчлөлт $d\vec{S}$ ба радиус векторын өөрчлөлт $d\vec{r}$ -үүд нь ижилхэн (Зураг 1.1 \vec{BC}) бөгөөд хэмжээ нь тухайн эгшинд биеийн явсан зам dS –тэй тэнцүү болно. (1.2) нь эгшин зуурын хурд нь шилжилт буюу радиус

векторээс хугацаагаар авсан уламжлалаар тодорхойлогдохыг харуулж байна. Нэгж хугацаан дахь хурдны өөрчлөлтийг хурдатгал гэх бөгөөд энэ нь хурднаас хугацаагаар авсан уламжлалаар тодорхойлогдоно.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1.3)$$

Хурдны хэмжээний өөрчлөлтөөр үүсэх хурдатгалыг тангенциал хурдатгал (a_τ) гэх ба энэ хурдатгал нь траекторын шүргэгчийн дагуу чиглэнэ. Тангенциал хурдатгал нь хурдсах хөдөлгөөнд хурдны дагуу, удаашрах хөдөлгөөнд хурдны эсрэг чиглэж байдаг. Хурдны чиглэлийн өөрчлөлтөөс (муруй замаар хөдлөх үед) болж үүсэх хурдатгалыг нормаль хурдатгал буюу төвд тэмүүлэх хурдатгал (a_n) гэнэ. Нормаль хурдатгал нь траекторын муруйлтын радиусын эсрэг буюу шүргэгчид перпендикуляр чиглэнэ. (Зураг 1.2)

Бүрэн хурдатгал



Зураг 1.2

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau \quad (1.4)$$

Бүрэн хурдатгалын хэмжээ

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \quad (1.5)$$

Тангенциал хурдатгал

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2} \quad (1.6)$$

Нормаль хурдатгал

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1.7)$$

энд v нь шугаман хурд буюу хурдны хэмжээ, R нь траекторын муруйлтын радиус болно. Хурдны өөрчлөлт

$$\vec{v} - \vec{v}_0 = \int_0^t \vec{a} \cdot dt \quad (1.8)$$

Шилжилт

$$\vec{S} = \int_0^t \vec{v} \cdot dt \quad (1.9)$$

Дээрх хэмжигдэхүүнүүдийг проекцуудаар нь задалбал:

$$\vec{S}(S_x, S_y, S_z), \quad \vec{r}(r_x, r_y, r_z), \quad \vec{v}(v_x, v_y, v_z), \quad \vec{a}(a_x, a_y, a_z)$$

x тэнхлэг дээрх проекц буюу байгуулагч нь:

$$S_x = x - x_0, \quad r_x = x, \quad v_x = \frac{dS_x}{dt}, \quad a_x = \frac{dx}{dt} \quad (1.10)$$

Хурдатгалын x тэнхлэг дээрх байгуулагч нь:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_x = \frac{d^2S_x}{dt^2} \quad (1.11)$$



y, z тэнхлэгүүд дээрх проекцуудын хувьд (1.10), (1.11) илэрхийлэлүүдийг x -ийг y болон z -ээр сольж бичихэд гарна. Эргэх хөдөлгөөний үед эргэлтийн өнцөг нь

$$\varphi = \frac{l}{R} \quad (1.12)$$

$l = \varphi \cdot R$ эргэсэн нумын урт, эргэлтийн өнцгийн векторын чиглэл нь эргэлтийн хавтгайд перпендикуляр зөв шургийн давших чиглэлээр тодорхойлогдоно. Өнцөг хурд:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (1.13)$$

Өнцөг хурдатгал:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (1.14)$$

Хурд, хурдатгалууд нь өнцөг хурд ба өнцөг хурдатгалаар дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R} \quad \text{хэмжээ нь} \quad v = \omega \cdot R \cdot \sin \alpha \quad (1.15)$$

$$\vec{a}_\tau = \vec{\varepsilon} \times \vec{R} \quad \text{хэмжээ нь} \quad a_\tau = \varepsilon \cdot R \cdot \sin \alpha \quad (1.16)$$

$$\vec{a}_n = \vec{\omega} \times \vec{v} = \vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{R}] \quad \text{хэмжээ нь} \quad a_n = \omega^2 \cdot R \cdot \sin \alpha \quad (1.17)$$

Энд \vec{R} нь эргэлтийн тэнхлэгээс татсан радиус вектор байна. Вектор үржвэрийн чиглэл нь үржигдэхүүн векторүүдэд перпендикуляраар нэгдүгээр үржигдэхүүнээс хоёрдугаар үржигдэхүүнрүү эргэх бага эргэлтийн өнцгийн хувьд зөв шургийн давших чиглэлээр тодорхойлогдоно. Хэмжээ нь тэдгээрийн хэмжээнүүдийн үржвэрийг хоорондох өнцгийн синусээр үржүүлсэнтэй тэнцэнэ. \vec{R} -радиус векторууд нь муруйлтын радиус вектор байвал $\alpha = 90^\circ$ болно.

Энэ үед

$$v = \omega \cdot R \quad \omega = \frac{v}{R} \quad (1.18)$$

$$a_\tau = \varepsilon \cdot R \quad \varepsilon = \frac{a_\tau}{R} \quad (1.19)$$

$$a_n = \omega \cdot v = \omega^2 \cdot R = \frac{v^2}{R} \quad (1.20)$$



1.2 Жишээ бодлого

Жишээ 1.1

Хүндийн хүчний оронд хэвтээ чигт 60° өнцөг үүсгэж, 20м/с хурдтай шидэгдсэн бие $t=2\text{с}$ хугацааны дараа

- Хаана байх вэ?
- Ямар хурдтай байх вэ?
- Биеийн хөөрөх өндөр болон унах зайг ол.
- Тухайн эгшин дэх нормаль болон тангенциал хурдатгалыг ол.
- Муруйлтын радиус, өнцөг хурд, өнцөг хурдатгалыг ол.

Бодолт:

- Хүндийн хүчний оронд чөлөөтэй шидэгдсэн бие нь $\vec{a} = \vec{g}$ тогтмол хурдатгалтай хөдлөх учир жигд хувьсах хөдөлгөөн (ЖХХ) юм. $\vec{a} = \text{const}$ буюу жигд хувьсах хөдөлгөөний тэгшитгэлийг гаргая.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1.21)$$

Эндээс хурдны дифференциалыг олж $d\vec{v} = \vec{a} \cdot dt$ интегралчилбал $\int_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} d\vec{v} = \int_0^t \vec{a} \cdot dt \Rightarrow \vec{v} \Big|_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} = \vec{a} \cdot t \Big|_0^t \Rightarrow \vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{a} \cdot t$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t \quad (1.22)$$

болж хурд хугацаанаас хамаарах хууль нь тодорхойлогдлоо.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} \quad (1.23)$$

$$d\vec{S} = \vec{v} \cdot dt$$

$\int_0^{\vec{S}} d\vec{S} = \int_0^t \vec{v} \cdot dt$ энд \vec{v} -д 1.22 -г орлуулбал

$$\vec{S} \Big|_0^{\vec{S}} = \int_0^t (\vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t) \cdot dt \Rightarrow \vec{S} = \left(\vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2} \right) \Big|_0^t$$

$$\vec{S} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2} \quad (1.24)$$

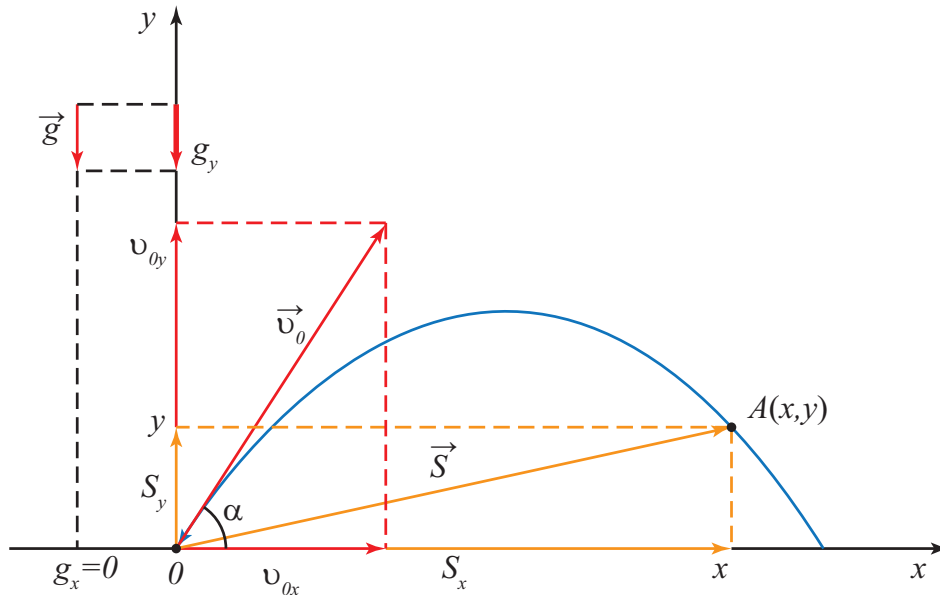
ЖХ хөдөлгөөний шилжилтийн тэгшитгэл

Бодлогын нөхцөлөөр $\vec{a} = \vec{g}$ учир

$$\vec{S} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{g} \cdot t^2}{2} \quad (1.25)$$

босоо тэнхлэгийг y , хэвтээ тэнхлэгийг x гээд 1.25-г x ба y тэнхлэг дээр проекцол-

бол: (Зураг 1.3)
$$\begin{cases} S_x = v_{0x} \cdot t + \frac{g_x t^2}{2} \\ S_y = v_{0y} \cdot t + \frac{g_y t^2}{2} \end{cases}$$



Зураг 1.3

1.3-р зургаас проекцийн утгуудыг олж тавибал.

$$\begin{cases} x = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t + \frac{0 \cdot t^2}{2} \\ y = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t + \frac{-g \cdot t^2}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t \\ y = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (1.26)$$

бодлогын нөхцөлөөр $v_0 = 20\text{м/с}$, $\alpha = 60^\circ$, $t = 2\text{с}$, $g = 9.81\text{м/с}^2 \approx 10\text{м/с}^2$ учир орлуулан 1.26-г бодвол:

$$\begin{cases} x = 20\text{м/с} \cdot \cos 60^\circ \cdot 2\text{с} = 20\text{м} \\ y = 20\text{м/с} \cdot \sin 60^\circ \cdot 2\text{с} - \frac{10\text{м/с}^2 \cdot (2\text{с})^2}{2} = 14\text{м} \end{cases}$$

(b) Биеийн хурд хөдөлгөөний явцад 1.22 томъёоноос $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t$ хуулиар хувьсах учир энэхүү тэгшитгэлийг x, y тэнхлэгүүд дээр проекцлох эсвэл 1.26 томъёоноос

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} \end{cases} \quad \text{уламжлалуудыг авбал}$$

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cdot \cos\alpha \\ v_y = v_0 \cdot \sin\alpha - gt \end{cases} \quad (1.27)$$

болно.

$v_x = v_0 \cos\alpha = 20\text{м/с} \cdot \cos 60^\circ = 10\text{м/с}$ хурдны хэвтээ байгуулагч

$v_y = v_0 \sin\alpha - gt = 20\text{м/с} \cdot \sin 60^\circ - 10\text{м/с} \cdot 2\text{с} = -3\text{м/с}$ хурдны босоо байгуулагч

$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(10 \cdot \text{м/с})^2 + (-3 \cdot \text{м/с})^2} = 10.4\text{м/с}$ шугаман хурд

Энд $v_y = -3\text{м/с} < 0$ байгаа нь хамгийн их хөөрөлтийн цэгээ өнгөрч уруудаж яваа буюу y босоо тэнхлэг дээрх хурдны проекцийн чиглэл доош чиглэсэн болохыг харуулж байна.



- (с) Бие хамгийн их өндөрт хөөрөх үед хурдны y тэнхлэг дээрх проекц $v_y = 0$ болно.
 $v_y = v_0 \sin \alpha - gt = 0 \Rightarrow$

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (1.28)$$

t_1 хамгийн их өндөрт хөөрөх хугацаа. 1.26-гийн 2-р тэгшитгэлд 1.28-г тавибал
 $h_{max} = y = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} \Rightarrow$

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} \quad (1.29)$$

максимум хөөрөх өндөр $h_{max} = \frac{(20\text{м/с})^2 \cdot \sin^2 60^\circ}{2 \cdot 10\text{м/с}^2} = 15\text{м}$

Эргэж газарт тусах үед $y = 0$ болох учир 1.26-аас $y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0 \Rightarrow$
 $t \left(v_0 \sin \alpha - \frac{gt}{2} \right) = 0$

$$t_2 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (1.30)$$

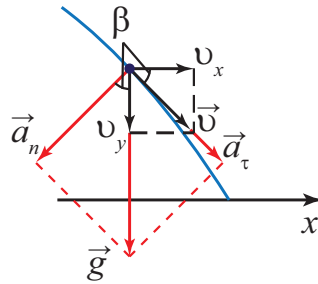
t_2 нисэлтийн хугацаа. Үүнийг ашиглан унах зайг олбол:

$$l_0 = x = v_0 \cos \alpha \cdot t_2 = \frac{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{g} \Rightarrow$$

$$l_0 = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \quad (1.31)$$

$$l_0 = \frac{(20\text{м/с})^2 \cdot \sin 120^\circ}{10\text{м/с}^2} = 34.6\text{м}$$

- (d) Чөлөөтэй шидэгдсэн биеийн бүрэн хурдатгал траекторын бүх цэг дээр тогтмол \vec{g} учир тангенциал болон нормаль хурдатгалуудыг траекторын шүргэгч буюу хурдны чиглэл, түүнд перпендикуляр тэнхлэгүүд дээр проекцлон олно. \vec{v} хурдны хэвтээ тэнхлэгтэй үүсгэх өнцгийг β гээ. (Зураг 1.4)
 Нормаль ба тангенциал хурдатгалууд нь



Зураг 1.4

$$\begin{cases} a_n = g \cdot \cos \beta \\ a_\tau = g \cdot \sin \beta \end{cases} \quad \text{ЭНД} \quad \begin{cases} \cos \beta = \frac{|v_x|}{v} \\ \sin \beta = \frac{|v_y|}{v} \end{cases}$$

$$a_n = \frac{g \cdot |v_x|}{v} = \frac{10\text{м/с}^2 \cdot 10\text{м/с}}{10.4\text{м/с}} = 9.6\text{м/с}^2$$

$$a_\tau = \frac{g \cdot |v_y|}{v} = \frac{10\text{м/с}^2 \cdot 3\text{м/с}}{10.4\text{м/с}} = 2.88\text{м/с}^2$$

байна.



(е) Муруй траектороор хөдлөх хөдөлгөөнийг тухайн эгшинд эргэх хөдөлгөөн хийж байна гэж үзэж болно. Энэ үед $a_n = \frac{v^2}{R}$

Эндээс траекторын муруйлтын радиус $R = \frac{v^2}{a_n} = \frac{109\text{м}^2/\text{с}^2}{9.6\text{м}/\text{с}^2} = 11.3\text{м}$

Өнцөг хурд $\omega = \frac{v}{R} = \frac{10.4\text{м}/\text{с}}{11.35\text{м}} = 0.92\text{с}^{-1}$

Өнцөг хурдатгал нь $\varepsilon = \frac{a_\tau}{R} = \frac{2.88\text{м}/\text{с}^2}{11.35\text{м}} = 0.25\text{с}^{-2}$ болж байна.

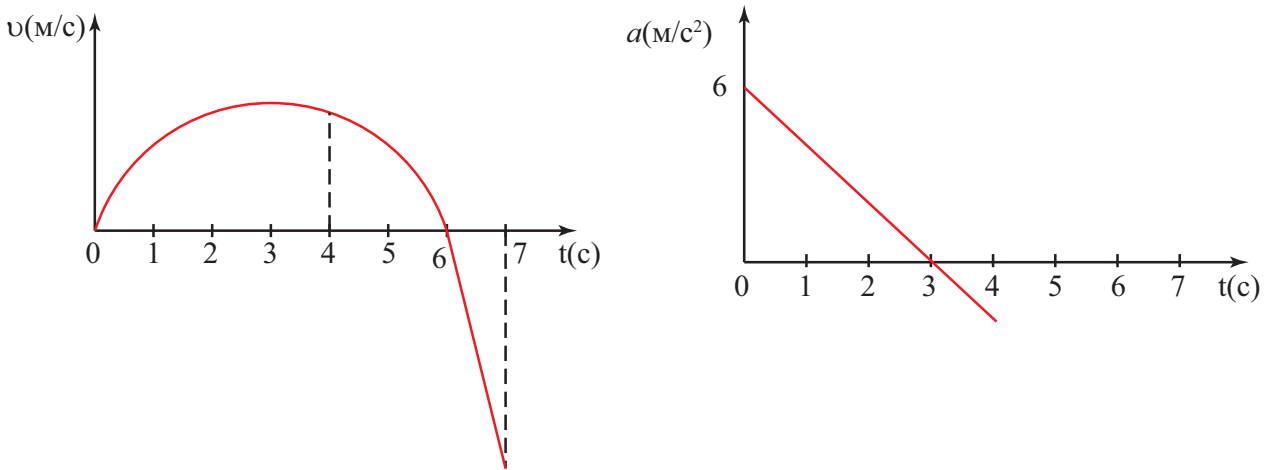
Жишээ 1.2

Шулуун замаар $a = 6(\text{м}/\text{с}^2) - 2(\text{м}/\text{с}^3)t$ хуулиар хувьсах хурдатгалтай хөдөлж эхэлсэн биеийн 9 секундын хугацаанд туулсан зам, шилжилтийн хэмжээг ол.

Бодолт: $a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow \int_0^v dv = \int_0^t a \cdot dt$

$v|_0^v = \int_0^t (6 - 2t)dt \Rightarrow v = \left(6t - 2\frac{t^2}{2}\right)|_0^t = 6t - t^2$ хурд хугацаанаас хамаарах хамаарлын графикийг байгуулбал: (Зураг 1.5)

Графикаас хурд нь $(0\text{с}, 6\text{с})$ хугацаанд эерэг утга авч байгаа учир давших хөдөлгөөн



Зураг 1.5

үргэлжилсээр байх болно. Харин 6с -ээс цааш буцаж хөдөлж эхэлнэ. Шилжилт нь:

$$|\vec{S}| = \int_0^t v \cdot dt = \int_0^t (6t - t^2)dt = 6\frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3}$$

$$t = 9\text{с} \Rightarrow |\vec{S}| = 3 \cdot 9^2 - \frac{9^3}{3} = 3 \cdot 81 - 3 \cdot 81 = 0$$

буцаж байрандаа ирж байна. Иймд

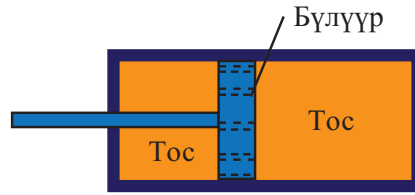
$$S = 2 \cdot \int_0^6 v dt = 2 \cdot \int_0^6 (6t - t^2)dt = 2 \cdot \left(3t^2 - \frac{t^3}{3}\right)|_0^6 = 72\text{м}$$

Жишээ 1.3

Тайвшруулагч механизм (амортизатор) –ыг зарим буунд цилиндрт бэхлэгдсэн гол төмөр бүхий бүлүүрээр хийж тийрэлтийн хүчийг багасгах зорилгоор ашигладаг. (Зураг 1.6) Гол төмөрийн түлхэлтээр сүвэрхэг бүлүүр нь буунд бэхлээтэй тосоор дүүргэгдсэн цилиндр дотор хөдлөх бөгөөд анхны хурд нь v_0 . Тосны зүгээс бүлүүрийн хурданд пропорциональ хүч үйлчилснээр бүлүүрийг удаашруулна. Хурдатгал нь $a = -kv$ байна. Тэгвэл

(а) Гол төмөрийн хурд v , хугацаа t –ээс хамаарах хамаарал,

(b) Бүлүүрийн координат x нь хугацаа t –ээс хамаарах хамаарал,



Зураг 1.6

- (с) Бүлүүрийн хурд v координат x -ээс хамаарах хамаарлуудыг олж графикуудыг байгуул.

Бодолт:

$$(a) a = \frac{dv}{dt} = -kv \Rightarrow \frac{dv}{v} = -kdt \Rightarrow \int_{v_0}^v \frac{dv}{v} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{v}{v_0} = -kt \Rightarrow v = v_0 \cdot e^{-kt} \text{ (Зураг 1.7 a)}$$

$$(b) v = \frac{dx}{dt} = v_0 \cdot e^{-kt} \rightarrow dx = v_0 \cdot e^{-kt} \cdot dt$$

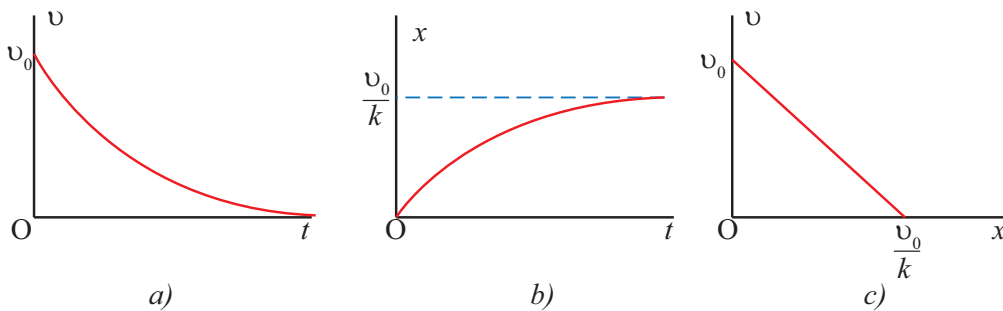
$$\int_0^x dx = v_0 \int_0^t e^{-kt} dt \rightarrow x = -\frac{v_0}{k} e^{-kt} \Big|_0^t = -\frac{v_0}{k} (e^{-kt} - 1)$$

$$x = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}) \text{ (Зураг 1.7 b)}$$

$$(c) a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx/v} \Rightarrow -kv = v \frac{dv}{dx} \Rightarrow dv = -kdx$$

$$\int_{v_0}^v dv = -k \int_0^x dx \Rightarrow v - v_0 = -kx \Rightarrow v = v_0 - kx \text{ (Зураг 1.7 c)}$$

c -ийг зөв эсэхийг өөр аргаар шалгая. a -аас харвал $e^{-kt} = \frac{v}{v_0}$ энэ томъёог b -ийн хариунд орлуулбал $x = \frac{v_0}{k} (1 - e^{-kt}) = \frac{v_0}{k} (1 - \frac{v}{v_0}) \rightarrow v = v_0 - kx$ болж хариу нь ижилхэн байна.



Зураг 1.7

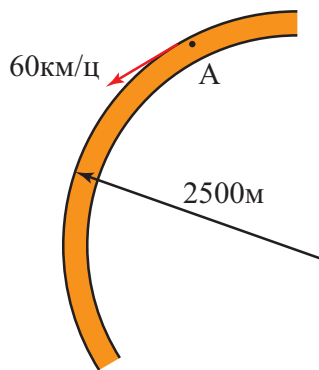
Жишээ 1.4

Машинтай хүн замын 2500 м радиустай муруйсан хэсгээр 60 км/ц хурдтай явж байв. (Зураг 1.8) Жолооч тоормослон хурдаа жигд бууруулж 8 с -ийн дараа хурд 45 км/ц болсон гэж үзээд тормозлож эхлэх үеийн хурдатгалыг ол.

Бодолт:

Хурдаа м/с нэгжтэй болгоё.

$$60 \frac{\text{км}}{\text{ц}} = \frac{60000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 16.67 \text{ м/с}$$



Зураг 1.8

$$45 \frac{\text{км}}{\text{ц}} = \frac{45000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 12.5 \text{ м/с}$$

Машин жигд удааширсан гэвэл хурдатгалын тангенциал утга a_τ

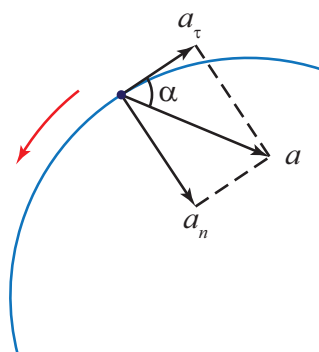
$$a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12.5 \text{ м/с} - 16.67 \text{ м/с}}{8 \text{ с}} = -0.52 \text{ м/с}^2$$

Хурдатгалын нормал утга

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(16.67 \text{ м/с})^2}{2500 \text{ м}} = 0.11 \text{ м/с}^2$$

Бүрэн хурдатгал (Зураг 1.9)

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = 0.55 \text{ м/с}^2$$



Зураг 1.9



1.3 Шинжлэх даалгавар

1. Хурдсах ба удаашран эргэх хөдөлгөөний үед ямар хурдатгал үүсэх вэ?
2. Биеийн байрлалыг хугацааны эгшин бүрд координатаар нь тодорхойлдог аргыг ямар арга гэх вэ?
3. Кинематикийн судлах зүйл юу вэ?
4. Үл хөдлөх тэнхлэг тойрон хурдсан эргэх биеийн бүрэн хурдатгал хаашаа чиглэх вэ?
5. Тойргоор ижил өнцөг хурдтай эргэх биес ямар тохиолдолд өөр өөр шугаман хурдтай байж болох вэ?
6. Хурдатгалыг яаж тодорхойлох вэ?
7. Ямар хөдөлгөөний үед биеийн хурд хурдатгал хоёрын чиглэл давхцах вэ?
8. Ямар хэмжигдэхүүн тогтмол үед бие хурдатгалгүй хөдлөх вэ?
9. Орон зайн изотроп шинж чанар нь ямар шинж чанар болохыг тайлбарлана уу?
10. Механик хөдөлгөөн гэж юу вэ?
11. Хөдөлгөөний тэгшитгэл юуг илэрхийлдэг вэ?
12. Хөдөлгөөнийг тодорхойлох вектор аргын онцлог юу вэ?
13. Координатын арга гэж юу вэ?
14. Эргэлтийн өнцгийг олохдоо тойргийн нумын уртыг юунд нь харьцуулдаг вэ?
15. Өнцөг хурдны векторын чиглэл эргэлтийн өнцгийн векторын чиглэлтэй давхцах уу?
16. Тойргоор эргэх материал цэгийн шугаман хурд өнцөг хурднаас хэрхэн хамаарах вэ?
17. Муруйгаар хөдлөх материал цэгийн хөдөлгөөнийг хэрхэн загварчилах вэ?
18. Нормаль хурдатгал үүсэх шалтгааныг тайлбарлана уу?
19. Тангенциал хурдатгал үүсэх шалтгааныг тайлбарлана уу?
20. Жигд удаашрах хөдөлгөөний тэгшитгэлийг бичнэ үү.



1.4 Тооцоот даалгавар

1. Биеүд 4м радиустай тойргоор 3м/с ба 2м/с хурдтай хөдөлж байв. Хугацааны эхэнд тэд зэрэгцэж байсан бол ямар хугацааны дараа 1 -р бие 2 -р биеийг гүйцэж түрүүлэх вэ?
2. Бие $R=4\text{м}$ радиустай тойргоор жигд хурдсан эргэж эхэлснээс хойш 2с -ийн дараа 10м/с -ийн хурдтай болсон бол энэ үед биеийн бүрэн хурдатгал ямар байхыг ол.
3. Материал цэгийн хөдөлгөөний радиус вектор $\vec{r} = 3t^2\vec{i} + 2t^2\vec{j} + 7\vec{k}$ гэж өгөгдсөн. Түүний хурдатгалыг тодорхойно уу.
4. Вагон 0.2м/с^2 хурдатгалтай удаашран хөдөлнө. Анхны хурд нь 36км/ц бол ямар зам яваад зогсох вэ?
5. Хурдны вектор $\vec{v}(0, 4, 2t)$ гэж тодорхойлогдсон бол 0 сек -ээс 3сек -ийн хооронд бөөмийн шилжилтийг олно уу.
6. Материал цэгийн радиус вектор $\vec{R}(1, 4, 0)\text{м}$ байх үед өнцөг хурдатгал $\vec{\varepsilon}(2, 0, 1)\frac{1}{\text{с}^2}$ бол тангенциал хурдатгалыг ол.
7. Материал цэгийн радиус вектор $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + 3t\vec{j} + \vec{k}$ гэж өгөгдсөн. Түүний хурд нь яаж илэрхийлэгдэх вэ?
8. 6м радиустай тойргоор хөдлөх материал цэгийн хурд $v = 20t(\text{м/с})$ тэгшитгэлээр тодорхойлогдоно. 2с -ийн дараа нормаль хурдатгал нь ямар байх вэ?
9. Материал цэгийн хөдөлгөөний радиус $\vec{r} = 6t\vec{i} + t^2\vec{j} + 2t^2\vec{k}$ гэж өгөгдсөн. Түүний шилжилтийн хэмжээг илэрхийлээрэй.
10. Уулын оройд зогсох цаначин 2м/с^2 хурдатгалтайгаар доош гулсаж эхэлсэн бөгөөд уулын бэлд ирэхэд хурд нь 20м/с болсон бол ямар зам туулсан бэ?
11. Биеийн шугаман хурд $\vec{v}(2, 4, 0)\text{м/с}$ үед өнцөг хурд нь $\vec{\omega}(0, 2, 2)\frac{1}{\text{с}}$ бол нормаль хурдатгалыг ол.
12. Биеийг эгц дээш 4м/с хурдтай шидэв. Хөөрөх өндрийг ол.
13. Биеийг хэвтээ чигээс дээш 30° өнцөг үүсгэн 20м/с анхны хурдтай шидэв. Тусгалын зайг ол.
14. Материал цэг 4м/с хурдтайгаар 2м радиустай тойргоор жигд эргэж байснаа сүүлийн 2с -ийн дотор жигд хурдсан хурд нь 6м/с болж нэмэгдэнэ. Энэхүү эцсийн агшинд цэгийн бүрэн хурдатгал ямар байх вэ?
15. Хурдны вектор $\vec{v}(3t, 2, 3t^2)$ гэж тодорхойлогдсон бол $t = 1\text{с}$ эгшинд хурдатгалыг тодорхойл.
16. Анх 5м/с хурдтай хөдлөх бие 3м/с^2 хурдатгалтайгаар хурдассан бол 2 сек хугацаанд ямар зам туулах вэ?
17. Бие 4м/с хурдтайгаар π метр радиустай тойргоор эргэнэ. Биеийн нэг бүтэн эргэлт хийх хугацааг ол.
18. 20м радиустай тойргоор 10м/с хурдтайгаар хөдөлж буй автомашины хурдатгалыг ол.



19. Хурдны вектор $\vec{v}(4t, 6, 3t^2)$ гэж тодорхойлогдсон бол $1c$ -ээс $2c$ -ийн хоорондох бөөмийн шилжилтийг ол.
20. $R=3m$ радиустай тойргоор жигд хурдсан эргэж эхэлснээс хойш $3c$ -ийн дараа $9m/c$ -ийн хурдтай болсон бол энэ үед биеийн бүрэн хурдатгал ямар байхыг ол.



1.5 Тест

1. Бие нэг буудлаас нөгөө буудал хүртэл 2000м замыг туулахдаа хугацааны эхний хагасыг 20км/ц хурдтай, үлдсэн хагасыг 50км/ц хурдтай туулсан бол дундаж хурдыг ол.
А. 25км/ц В. 35км/ц
С. 22км/ц Д. 32км/ц
2. Материал цэгийн радиус вектор $\vec{r} = t^2\vec{i} + 5t\vec{j} + 3\vec{k}$ гэж өгөгдсөн. Түүний $t = 2$ с дэх шугаман хурдыг ол.
А. $\sqrt{41}$ В. $\sqrt{45}$
С. $\sqrt{48}$ Д. $\sqrt{52}$
3. Биеийн явсан зам хугацаанаас $x = 1.5t^2$ хэлбэрээр хамаардаг бол түүний хурд ямар байх вэ?
А. $v = 15t$ В. $v = 3t^2$
С. $v = 1.5t$ Д. $v = 3t$
4. Эгц дээш h өндөрт хөөргөхөөр шидсэн чулууны анхны хурдыг ол.
А. $v_0 = 0$ В. $v_0 = hgt$
С. $v_0 = 2gh/t$ Д. $v_0 = \sqrt{2gh}$
5. Эгц дээш h өндөрт хөөргөхөөр шидсэн биеийн хурд нь 2 дахин багасах өндрийг ол.
А. $h/4$ В. $8h/9$
С. $3h/4$ Д. $h/3$
6. Хурдны вектор $\vec{v}(2, 0, 4t)$ гэж тодорхойлогдсон бол 1сек-ээс 2с-ийн хооронд бөөмийн шилжилтийг ол.
А. $\vec{S}(6, 2, 0)$ В. $\vec{S}(0, 2, 6)$
С. $\vec{S}(2, 0, 6)$ Д. $\vec{S}(6, 0, 2)$
7. Бие тойргоор тогтмол хурдтай хөдөлнө. Хэрэв тойргийн радиусыг хэвээр байлгаад хурдыг 4 дахин ихэсгэвэл түүний нормаль хурдатгал яаж өөрчлөгдөх вэ?
А. 4 дахин ихэснэ. В. 4 дахин багасна.
С. 16 дахин ихэснэ. Д. 16 дахин багасна.
8. Галт тэрэг $1\text{м}/\text{с}^2$ хурдатгалтай удаашран хөдөлнө. Анхны хурд $18\text{км}/\text{ц}$ бол ямар зам яваад зогсох вэ?
А. 11.5м В. 12.5м
С. 10.5м Д. 9.5м
9. $R = 20\text{см}$ радиустай тойргоор эргэх биеийн эргэлтийн өнцөг хугацаанаас $\phi = a + bt + ct^2 + dt^3$ ($b = 1\text{рад}/\text{с}$, $c = 1\text{рад}/\text{с}^2$, $d = 1/3\text{рад}/\text{с}^3$) хуулиар хамаарах бол хөдөлгөөн эхэлснээс хойш 1сек дэх нормаль хурдатгалыг ол.
А. $28.9\text{м}/\text{с}^2$ В. $5\text{м}/\text{с}^2$
С. $3.2\text{м}/\text{с}^2$ Д. $7.2\text{м}/\text{с}^2$
10. Материал цэгийн өнцөг хурдны вектор $\vec{\omega}(0, 1, 2)\text{с}^{-1}$, радиус вектор $\vec{R}(0, 4, 2)\text{м}$ гэж өгөгджээ. Түүний хурдны векторыг ол.
А. $\vec{v}(-6\text{м}/\text{с}, 0, 0)$ В. $\vec{v}(-6\text{м}/\text{с}, 6\text{м}/\text{с}, 0)$
С. $\vec{v}(0, 0, 6\text{м}/\text{с})$



11. Автомашин замын эхний хагасыг 60км/ц хурдтай, үлдсэн хагасыг 50км/ц хурдтай туулсан бол дундаж хурдыг ол.
А. 54.5км/ц В. 56.5км/ц
С. 52.5км/ц D. 55км/ц
12. Цэгийн хөдөлгөөний x ба y координатууд $x = a + bt$, $y = d + ct$ гэж өгөгджээ. Хурдны модулыг ол. (a, b, c, d -тогтмол, t -хугацаа)
А. $v = \sqrt{b^2 + a^2}$ В. $v = 0$
С. $v = \sqrt{b^2 + c^2}$
13. 5м/с анхны хурдтай шулуун замаар хөдлөх бие 3сек-ийн дараа хурд нь 20м/с болж өссөн бол хурдны өөрчлөгдөх хуулийг бич.
А. $v = 2t$ В. $v = 5 + 5t$
С. $v = 5 + 7.5t$ D. $v = 5 + 2t$
14. Бие замын эхний хагасыг 6м/с хурдтай, үлдсэн хагасыг 4м/с хурдтай туулав. Биеийн дундаж хурдыг ол.
А. 4.8м/с В. 4.5м/с
С. 5м/с D. 4.7м/с
15. Биеийг эгц дээш 8м/с хурдтай шидэв. Хөөрөх өндрийг ол.
А. 0.8м В. 1.8м
С. 3.2м D. 2.45м
16. Материал цэгийн өнцөг хурдатгал $\vec{\varepsilon}(0, 3, 1)c^{-1}$, радиус вектор $\vec{R}(1, 2, 0)m$ гэж өгөгджээ. Түүний тангенциал хурдатгалыг ол.
А. $\vec{a}_\tau(3, 0, -2)m/c^2$ В. $\vec{a}_\tau(-2, 0, 1)m/c^2$
С. $\vec{a}_\tau(-2, 1, 3)m/c^2$
17. Хурд $v = 5 + 6t$ хуулиар өгөгдсөн бол 1сек-ээс 2сек-ийн хооронд бөөмийн явсан замыг ол.
А. 17 В. 11
С. 9 D. 12
18. $R = 25cm$ радиустай тойргоор 10м/с тогтмол хурдтай эргэж байгаа биеийн нормаль хурдатгалыг ол.
А. $0.2m/c^2$ В. $2m/c^2$
С. $1m/c^2$ D. $4m/c^2$
19. Биеийг хэвтээ чигт 30° өнцөг үүсгэн 30м/с анхны хурдтай шидэв. Тусгалын зайг ол.
А. $3\sqrt{45}m$ В. $4.5\sqrt{3}m$
С. $45\sqrt{3}m$
20. $R = 20cm$ радиустай тойргоор эргэх биеийн эргэлтийн өнцөг хугацаанаас $\phi = a + bt + ct^2 + dt^3$ ($b = 1rad/c$, $c = 1rad/c^2$, $d = 1/3rad/c^3$) хуулиар хамаарах бол хөдөлгөөн эхэлснээс хойш 1сек дэх тангенциал хурдатгалыг ол.
А. $1.4m/c^2$ В. $14m/c^2$
С. $0.8m/c^2$ D. $2.8m/c^2$



1.6 Бие даалтын бодлого

1. Автомашин $2\text{м}/\text{с}^2$ хурдатгалтай хөдөлж эхлэв. Түүний дугуйны радиус 40см ба хөдөлж эхлэх эгшинд дугуйны газарт шүргэх цэгт тэмдэг тавив. 1с ба 2с эгшинд тэмдэглэсэн цэгийн хурд ба хурдатгалыг олно уу.

2. Чулууг хэвтээ чиглэлд 60° өнцөг үүсгэн $20\text{м}/\text{с}$ анхны хурдтай шидэв. Хөдөлгөөн эхэлснээс хойш ямар хугацааны эгшинүүдэд нормаль ба тангенциал хурдатгалуудын харьцаа $a_n : a_\tau = 4 : 3$ болох вэ? Энэ үед траекторын мурийлтын радиусыг олоорой.



3. Усан оргилуураас ус 5м/с хурдтай оргилон гарна. Оргилуур боломжит бүх чиглэлд ус шүрших бол агаарын эсэргүүцлийг үл тооцон усны дуслууд хурч болох хязгаарын гадаргуугийн тэгшитгэлийг олоорой.

4. Материал цэг координатын эхийг дайрах тэнхлэгийг тойрон эргэх өнцөг хурд $\vec{\omega}(0, 0, 4)\frac{1}{\text{с}}$, өнцөг хурдатгал нь $\vec{\varepsilon}(0, 0, 2)\frac{1}{\text{с}^2}$ байв. Материал цэгийн радиус вектор $\vec{r}(3, 4, 12)\text{м}$ байх үед шугаман хурд, нормаль болон тангенциал хурдатгалыг ол.



5. Бие $x = 0.2 \sin(0.5t)$ хуулиар хэлбэлзэх хөдөлгөөн хийнэ. Хугацааны $t_1 = \pi/3$ болон $t_2 = \pi/2$ эгшнүүдэд биеийн хурд болон хурдатгалуудыг олоорой.

6. Хэвтээ чигт 50м зайд байрлах байны төв рүү чиглүүлэн буудахад сумны анхны хурд 510м/с байснаа байнд 490м/с болж тусав. Сум хэвтээ чигт ямар хурдатгалтай хөдөлсөн бэ? Мөн сум байнд тусах үед байны төвөөс ямар хэмжээгээр доошилж туссан бэ? $g = 9.8\text{м/с}^2$



7. Шулуун замаар хөдлөх биеийн хурдны проекц $v_x(t) = 6t - 3t^2$ хуулиар хувьсана. $2c$ болон $3c$ хугацааны эгшнүүдэд биеийн байрлал болон биеийн туулсан замыг тус тус олно уу.

8. Хоорондоо 30° өнцөг үүсгэн 4м/с , 10м/с хурдтай хөдлөх биеүдийн траекторын огтлолцлын цэгийг дайран өнгөрөх эгшнүүд 3сек -ийн зөрүүтэй бол тэдгээрийн хамгийн их ойртох зайг олно уу. Мөн 1-р биетэй харьцангуй 2-р биеийн хурдыг олоорой.



9. Унаж буй биеийн хурдатгал агаарын эсэргүүцлийн улмаас $a = 10 - 0.2v$ хуулиар хувьсана. Биеийн тогтворжих хурд v_T -г олно уу. Унаж эхэлсэн биеийн хурд хугацааны хамаарлыг олж графикаар дүрслээрэй. Биеийн хурд $v_T/2$ болох хүртэл туулах замыг олоорой.

10. Материал цэгийн хөдөлгөөний тэгшитгэл дараах байдлаар өгөгдөв.

$$\begin{cases} x = t^2 + 5 \\ y = 8t - 2t^2 \end{cases}$$

$t = 3$ с эгшинд цэгийн бүрэн хурдатгал, нормаль хурдатгал болон траекторын муррийлтын радиусыг тодорхойлоорой.



Семинар 2

Динамик, Ажил ба энерги

2.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Хүч гэдэг нь харилцан үйлчлэлийн хэмжээг илэрхийлэгч хэмжигдэхүүн юм.

Ньютоны 1 –р хууль: Аливаа бие тайван байдал буюу шулуун, жигд хөдөлгөөнөө гадны хүч үйлчлэх хүртэл хадгална.

Бие тайван буюу шулуун замын жигд хөдөлгөөний төлөвөө хадгалах энэ шинж чанарыг инерцит чанар гэнэ.

Ньютоны 1 –р хууль биелэх тооллын системийг инерциал тооллын систем гэнэ.

Импульс: Биеийн импульс нь хөдөлгөөний тоо хэмжээг илэрхийлдэг бөгөөд биеийн массыг хурдаар үржүүлсэн үржвэртэй тэнцүү байна.

$$\vec{P} = m\vec{v} \quad (2.1)$$

Ньютоны 2 –р хууль: Биед үйлчилж байгаа хүч нь тэр биеийн импульсээс хугацаагаар авсан уламжлалтай тэнцүү байна.

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (2.2)$$

Тогтмол масстай биед үйлчлэгч хүч нь массыг биеийн хөдөлгөөний хурдатгалаар үржүүлсэнтэй тэнцүү байна.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2.3)$$

Ньютоны 3 –р хууль: Хоёр биеийн харилцан үйлчлэлийн хүчнүүд нь хэмжээгээрээ тэнцүү чиглэлээрээ эсрэг чиглэнэ.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (2.4)$$

Биеийн ямар нэг гадаргатай шүргэлцсэний улмаас үүсэх хөдөлгөөнийг саатуулах хүчийг үрэлтийн хүч гэнэ.

Бие харьцах гадаргуутай харьцангуй тайван үед үүсэх үрэлтийн хүчийг **тайвны үрэлтийн хүч** гэнэ. Харин бие харьцах гадаргуутай харьцангуй гулсан хөдлөх үед түүний хөдөлгөөний эсрэг чиглэсэн үрэлтийн хүчийг **гулсахын үрэлтийн хүч** гэнэ.

$$F_{\text{гулсах}} = \mu \cdot N \quad (2.5)$$

Тухайн системийн массын тархалтаар тодорхойлогдох, дараах вектороор тодорхойлогдох цэгийг системийн **массын төв** гэнэ.

$$\vec{R}_0 = \frac{1}{M} \cdot \int_M \vec{r} \cdot dm \quad (2.6)$$



dm – системийн жижиг хэсгийн масс, \vec{r} – жижиг хэсгийн радиус вектор, M – системийн нийт масс. Массын төвүүд нь \vec{r}_i байх нь m_i масстай биеүдээс тогтох системийн массын төв нь:

$$\vec{R}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{r}_i}{M} \quad (2.7)$$

Дээрх томъёонууд нь проекцуудынхаа хувьд хүчинтэй байна.

Хувьсах масстай биеийн хөдөлгөөн

Урсан гарах хий буюу шингэний тийрэлтээр ажилладаг хөдөлгүүрийг тийрэлтэт хөдөлгүүр гэнэ.

$$m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{u} \cdot \frac{dm}{dt} = \vec{F} \quad (2.8)$$

Дээрх тэгшитгэлийг хувьсах масстай биеийн динамикийн тэгшитгэл буюу Мещерскийн тэгшитгэл гэнэ. Мещерскийн тэгшитгэл дэх $u \cdot \frac{dm}{dt} = F_T$ хэсгийг тийрэлтийн хүч гэх бөгөөд энэ нь биеийн масс хувьсах нөхцөлтэй холбоотой.

$$v = u \cdot \ln \frac{m_0}{m} \quad (2.9)$$

(2.9) томъёог Э.Циолковскийн тэгшитгэл гэх бөгөөд пуужингийн хурд массаас хамаарлыг харуулна. Энд: v – пуужингийн хурд, m – пуужингийн масс, u – пуужингаас тийрэгдэн гарах хийн хурд, m_0 нь $v = 0$ байх үеийн масс.

Аливаа механик хөдөлгөөний өөрчлөлтийн үед харилцан үйлчилж байгаа биеүдийн хооронд энерги солилцох буюу биеийн энерги өөрчлөгдөх процессыг тоон талаас нь тодорхойлох хэмжигдэхүүнийг ажил гэнэ.

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S} = F \cdot dS \cdot \cos \alpha \quad (2.10)$$

α – бол хүчний вектор ба шилжилт хоёрын хоорондох өнцөг. Хувьсах хүчний ажил

$$A = \int_0^S \vec{F} d\vec{S} = \int_0^S F \cdot dS \cdot \cos \alpha \quad (2.11)$$

Нэгж хугацаанд хийх ажлын хэмжээг чадал гэх ба энэ нь биед үйлчлэх хүч, хурд хоёрын скаляр үржвэртэй тэнцүү байна.

$$N = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (2.12)$$

Биеийн янз бүрийн хөдөлгөөн харилцан хувирахдаа тодорхой тоо хэмжээтэй байх бөгөөд үүний хэмжүүр буюу ажил хийх чадварыг энерги гэнэ. Кинетик энерги: Биеийн хөдөлгөөнийхөө улмаас олж авах ажил хийх чадварыг кинетик энерги гэнэ.

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (2.13)$$

Потенциал энерги: Бие төлөв байдал буюу байрлалаасаа хамааран олж авсан ажил хийх чадварыг потенциал энерги гэнэ. Хүндийн хүчний орон дахь биеийн потенциал энерги:

$$E_{\text{II}} = mgh \quad (2.14)$$

Харимхай деформацийн потенциал энерги:

$$E_{\text{II}} = \frac{kx^2}{2} \quad (2.15)$$



Механик дахь хадгалагдах хуулиуд

Импульс хадгалагдах хууль: Системд гаднаас харилцан үйлчлээгүй буюу үйлчлэх гадаад хүчнүүдийн нийлбэр тэгтэй тэнцүү үед, системийн нийт импульс хадгалагдана.

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = 0, \quad \vec{P} = \sum_i \vec{P}_i = const \quad (2.16)$$

Энерги хадгалагдах хууль: Энерги нь устаж үгүй болохгүй шинээр бий болдоггүй нэг хэлбэрээс нөгөө хэлбэрт шилжих хадгалагдах хэмжигдэхүүн юм. Иймд аливаа тусгаарлагдсан битүү системийн бүтэн энерги хадгалагдана.

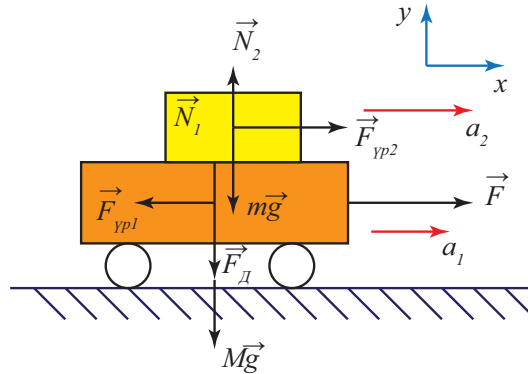
Хүндийн хүчний оронд системийн кинетик, потенциал энергийн нийлбэр тогтмол байна.

$$E_0 = E_k + E_n = \frac{mv^2}{2} + mgh = const \quad (2.17)$$

2.2 Жишээ бодлого

Жишээ 2.1

$M=20\text{кг}$ масстай тэргэнцэр хэвтээ тэгш гадаргаар \vec{F} хүчний үйлчлэлээр үрэлтгүй хөдлөх ба түүн дээр $m=10\text{кг}$ масстай ачаа байрлана. Тэргэнцэр ба ачаа хоорондын үрэлтийн коэффициент $\mu=0.1$ Хүчний чиглэл хэвтээ гадаргатай параллель. \vec{F} хүч 20Н ба 60Н байх тохиолдол бүрд тэргэнцэр ба ачааны хурдатгал, мөн тэргэнцэр ба ачаа хоорондын үрэлтийн хүч ямар байх вэ?



Зураг 2.1

Бодолт: $m=10\text{кг}$ масстай ачааны хөдөлгөөний тэгшитгэлийг вектор хэлбэрт бичвэл:

$$\vec{N}_2 + \vec{F}_{\text{yp}2} + m\vec{g} = m\vec{a}_2$$

Үрэлтийн хүч $\vec{F}_{\text{yp}2}$ нь \vec{F} хүчний дагуу чиглэх ба m масстай ачаа, M масстай тэргэнцэрт даралт учруулах бөгөөд энэ хүч Ньютоны III хууль ёсоор тулгуурын хариу /реакци/ хүч N_2 – той тэнцүү. Ачааны хувьд харгалзах тэнхлэгүүд дээрх проекцоор дараах систем тэгшитгэл бичигдэнэ.

$$F_{\text{yp}2} = ma_2$$

$$N_2 - mg = 0$$

M масстай тэргэнцэрт хөдөлгөөний тэгшитгэлийг бичвэл:

$$\vec{F} + \vec{N}_1 + M\vec{g} + \vec{F}_d + \vec{F}_{\text{yp}1} = M\vec{a}_1$$

$F_{\text{yp}1}$ үрэлтийн хүч нь тэргэнцэрийн хөдөлгөөний эсрэг чиглэх ба Ньютоны III хууль ёсоор: $|\vec{F}_{\text{yp}2}| = |\vec{F}_{\text{yp}1}| = |\vec{F}_{\text{yp.r}}|$ Дээрхи хүчнүүдийг харгалзах тэнхлэгүүд дээр нь проекцлож дараах систем тэгшитгэлийг бичиж болно. $F - F_{\text{yp}1} = Ma_1$ $N_1 - F_d - Mg = 0$ Хэрэв ачаа гулсаж эхэлбэл тэдний хооронд гулсалтын үрэлтийн хүч үйлчилнэ. Энэ хүчийг $F_{\text{yp.r}} = \mu N_2$ томъёогоор олно. Харин $N_2 = mg$ учираас гулсалтын үрэлтийн хүч $F_{\text{yp.r}} = \mu mg$; $F_{\text{yp.r}} = 0.1 \cdot 10 \cdot 9.8 = 9.8\text{Н}$ гэж тодорхойлогдоно. Хэрэв ачаа гулсахгүй бол тэд нэг /бүхэл, бүтэн/ бие болж хөдлөх учираас тэдний хооронд тайвны үрэлтийн хүч $F_{\text{yp.t}}$ үйлчилнэ. Энэ тохиолдолд тэргэнцэр ба ачааны хурдатгалууд тэнцүү байна. Өөрөөр хэлбэл, $a_1 = a_2 = a$ болно. Энэ тохиолдолд дараах систем тэгшитгэлийг ашиглан хурдатгал a болон тайвны үрэлтийн хүч $F_{\text{тайв}}$ – ыг олно.

$$F - F_{\text{yp.t}} = Ma \Rightarrow F_{\text{yp.t}} = ma$$

$$a = \frac{F}{(M+m)} \quad F_{\text{yp.t}} = \frac{Fm}{(M+m)}$$

- $F_1 = 20\text{Н}$ байх үед $F_{\text{yp.t}} = \frac{20 \cdot 10}{30} = 6.7\text{Н}$ харин хурдатгал $a = 0.67\text{м/с}^2$ гэж тодорхойлогдож байна. энэ үед $F_{\text{yp.t}} < F_{\text{yp.r}}$ учир биеүд хамт хөдлөнө.

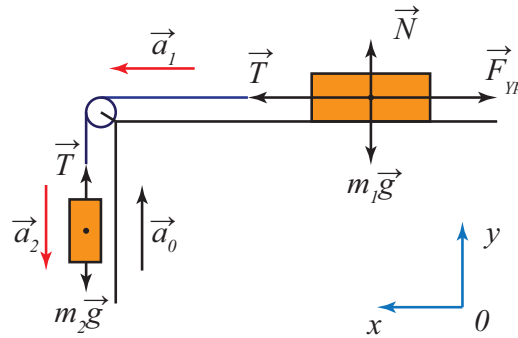
2. Харин $F_2 = 60\text{Н}$ байх үед $F_{\text{Үр.г}} = \frac{60 \cdot 10}{30} = 20\text{Н}$ байна. Эндээс харахад $F_2 = 60\text{Н}$ байх тохиолдолд ачаа тайван байх боломжгүй байна. Энэ тохиолдолд тэргэнцэр ба ачааны хооронд $F_{\text{Үр}} = 9.8\text{Н}$ гулсалтын үрэлтийн хүч үйлчилнэ. Энэ үед тэргэнцэрийн хурдатгал

$$a_1 = \frac{F - F_{\text{Үр.г}}}{M} = \frac{60 - 9.8}{20} = 2.51\text{м/с}^2$$

Харин ачааны хурдатгал $a_2 = \frac{F_{\text{Үр.г}}}{m} = \frac{9.8}{10} = 0.98\text{м/с}^2$ гэж тодорхойлогдож байна.

Жишээ 2.2

Үрэлтгүй эргэлдэх дамар дээр тохогдсон үл сунах, жингүй утсаар хоорондоо холбогдсон $m_1 = 0.5\text{кг}$ ба $m_2 = 0.6\text{кг}$ масстай ачаануудын систем эгц дээшээ $a_0 = 4.9\text{м/с}^2$ хурдатгалтай хөдлөж байгаа цахилгаан шатан дотор байрлана. (Зураг ??) Хэрэв тавцан ба m_1 ачаа хоорондын үрэлтийн коэффициент $\mu = 0.1$ бол утасны татах хүч T ба m_2 ачааны тооллын үл хөдлөх системтэй харьцуулсан хурдатгалыг олно уу.



Зураг 2.2

Бодолт: m_1 ба m_2 ачаануудын зүгээс үйлчлэх утасны татах хүчнүүд тэнцүү, нэгэн ижил T байна. Утас үл сунах учраас ачаануудын хурдатгал цахилгаан шаттай харьцуулахад нэгэн ижил $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$ тэнцүү байна. Тооллын үл хөдлөх системтэй харьцуулахад m_1 ба m_2 ачаануудын хөдөлгөөний тэгшитгэл

$$m_1 \vec{g} + \vec{T} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{Үр}} = m_1 (\vec{a}_0 + \vec{a}_1)$$

$$m_2 \vec{g} + \vec{T} = m_2 (\vec{a}_0 + \vec{a}_2)$$

гэж бичигдэнэ.

Харин харгалзах тэнхлэгүүд дээр нь проекци нь:

$$N - m_1 g = m_1 a_0$$

$$T - m_2 g = m_2 (a_0 - a)$$

$T - F_{\text{Үр}} = m_1 a$ Үрэлтийн хүч g ба a_0 хурдатгалуудаар:

$F_{\text{Үр}} = \mu N$; $N = m_1 (g + a_0)$; $F_{\text{Үр}} = \mu m_1 (g + a_0)$ гэж тодорхойлогдоно. Дээрх систем тэгшитгэлийг бодож утасны татах хүчийг олъё:

$$T = \frac{m_1 m_2 (g + \mu (g + a_0) + a_0)}{m_1 + m_2}$$

$$T = \frac{m_1 m_2 (1 + \mu) (g + a_0)}{m_1 + m_2} = \frac{0.5 \cdot 0.6 (1 + 0.1) (9.8 + 4.9)}{0.5 + 0.6} = 4.41\text{Н}$$

Харин m_2 ачааны тооллын үл хөдлөх системтэй харьцуулсан хурдатгалыг олохын тулд цахилгаан шаттай харьцуулсан хурдатгалыг тодорхойлох зайлшгүй шаардлагатай. Энэ хурдатгалыг $T - g m_2 = m_2 a_0 - m_2 a$ томъёогоор олно. Эндээс:

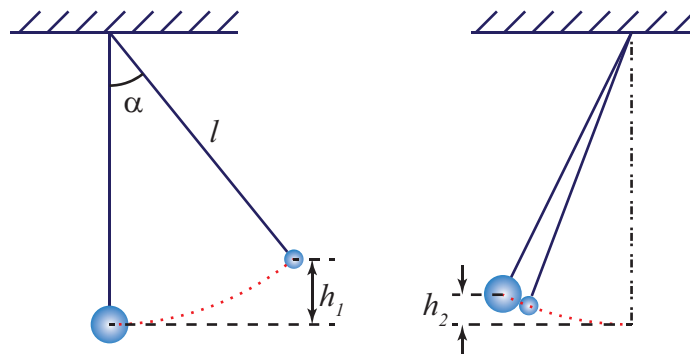
$$a = \frac{m_2 (a_0 + g) - T}{m_2} = \frac{0.6 (9.8 + 4.6) - 4.41}{0.6} = 7.35\text{м/с}^2$$
 Тооллын үл хөдлөх системтэй харьцуулахад

цахилгаан шат дээшээ, харин m_2 ачаа доошоо хөдлөж байгаа учраас \vec{a} хурдатгалын тэмдэгийг сөрөгөөр авна. Тооллын үл хөдлөх системтэй харьцуулсан a' хурдатгал нь \vec{a}_0 ба \vec{a} хурдатгалуудаар: $\vec{a}' = \vec{a}_0 + \vec{a}$; $a' = 4.9 - 7.35 = -2.45 \text{ м/с}^2$ гэж тодорхойлогдож байна. Хурдатгалын хасах тэмдэг нь тооллын үл хөдлөх системтэй харьцуулахад m_2 ачаа доошоо хөдлөж байгааг илэрхийлж байна.

Жишээ 2.3

Тус бүрдээ 1.5 м утсанд нэг цэгээс дүүжлэгдсэн 9кг ба 12кг масстай ган бөмбөлөгүүд тайван байв. Харин 9кг масстай бөмбөлөгийг 37° өнцгөөр хазайлгаж h_1 өндөрт хүргээд тавьжээ. Хоёр бөмбөлөг харимхай биш төвийн мөргөлдөөн хийж h_2 өндөрт хүрчээ.

1. Хоёр бөмбөлөгийн хазайлтын h_2 өндрийг
2. Хоёр бөмбөлөг мөргөлдөх үеийн деформацид алдсан энергийг тус тус олно уу.
 R_1 ба $R_2 \ll 1$ гэж үзнэ.



Зураг 2.3

Бодолт: m_1 масстай бөмбөлөгийн хувьд энерги хадгалагдах хуулийг хэрэглэвэл:
 $m_1gh_1 = \frac{m_1v_1^2}{2}$

Энэ тэгшитгэлээс v_1 хурдыг олохын тулд h_1 -ийг α өнцөг ба l уртаар $\frac{l-h_1}{l} = \cos\alpha$; $h_1 = l(1 - \cos\alpha)$ гэж илэрхийлснээр хоёр бөмбөлөг мөргөлдөхийн өмнөх агшны m_1 масстай бөмбөлөгийн хамгийн их v_1 хурд $v_1 = \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)}$ гэж тодорхойлогдоно. Харина m_1 масстай бөмбөлөг v_1 хурдтай ирж m_2 масстай бөмбөлөгтэй харимхай биш төвийн мөргөлдөөн хийх тул импульс хадгалагдах хууль ёсоор:

$$m_1v_1 = (m_1 + m_2)v_2 \text{ байх учраас хоёр бөмбөлөгийн } v_2 \text{ хурд}$$

$$v_2 = \frac{m_1v_1}{m_1+m_2} = \frac{m_1\sqrt{2gl(1-\cos\alpha)}}{m_1+m_2}$$

гэж олдоно. Мөргөлдөөний дараа ган бөмбөлөгүүд нэгэн ижил v_2 хурдтай учраас механик энерги хадгалагдах хуулийг ашиглан

$$\frac{(m_1+m_2)v_2^2}{2} = (m_1 + m_2)gh_2$$

тэгшитгэлээс h_2 -ыг олбол:

$$h_2 = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{m_1^2 2gl(1-\cos\alpha)}{2g(m_1+m_2)^2} = \left(\frac{m_1}{m_1+m_2}\right)^2 l(1 - \cos\alpha) \text{ болно. Эндээс: } h_2 = \left(\frac{9}{9+12}\right)^2 \cdot 1.5(1 - \cos 37^\circ) = 0.055 \text{ м гэж олно.}$$

Бөмбөлөгүүдийн мөргөлдөх үеийн деформацид алдагдсан энерги нь мөргөлдөхийн өмнөх бөмбөлөгүүдийн нийт кинетик энерги ба мөргөлдөөний дараах бүх кинетик энергийн зөрүүгээр тодорхойлогддог. Мөргөлдөхийн өмнөх бөмбөлөгүүдийн нийт кинетик энерги m_1 масстай бөмбөлөгийн хамгийн их кинетик энергиэр:

$$E_{k1} = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1}{2} 2gl(1 - \cos\alpha) \text{ гэж тодорхойлогдоно. Эндээс: } E_{k1} = 9\text{кг} \cdot 9.8\text{Н/кг} \cdot 1.5\text{м}(1 - \cos 37^\circ) = 26.46\text{Ж}$$

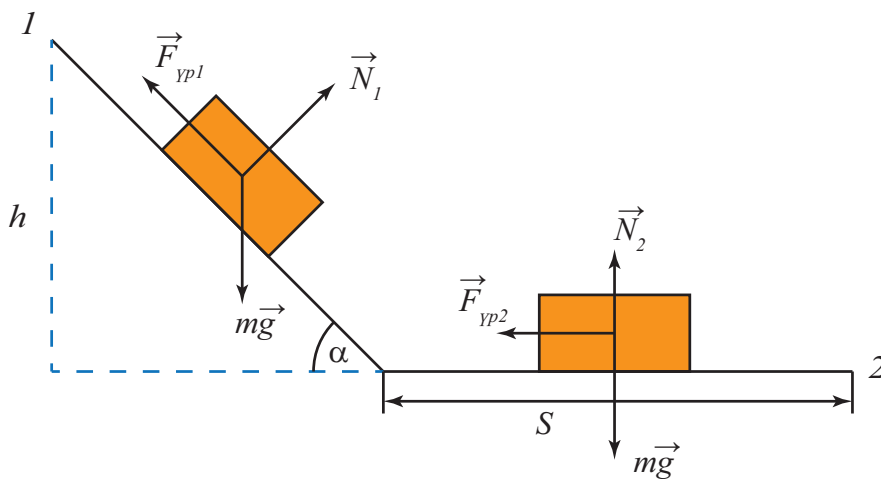
Мөргөлдөөний дараах бүх кинетик энерги v^2 хурдтай хөдлөж байгаа бөмбөлөгүүдийн нийт кинетик энергиэр: $E_{k2} = \frac{m_1+m_2}{2} v^2$ гэж тодорхойлогдоно.

$$\text{Эндээс: } E_{k2} = \frac{m_1+m_2}{2} \left(\frac{m_1 \sqrt{2gl(1-\cos\alpha)}}{m_1+m_2} \right)^2 = 11.32\text{Ж}$$

Энэ хоёр энергийн зөрүүгээр деформацид зарцуулагдсан энерги: $\Delta E = E_{k1} - E_{k2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1+m_2}{2} v^2 = 26.46\text{Ж} - 11.32\text{Ж} = 15.14\text{Ж}$ гэж тодорхойлогдоно.

Жишээ 2.4

Бие $\alpha = 45^\circ$ налуу өнцөгтэй, $h = 10$ м өндөртэй налуу хавтгайгаас доошоо хэвтээ гадарга хүртэл гулсаж улмаар цааш хөдөлгөөнөө үргэлжлүүлнэ. (Зураг-??) Бүх замын туршид үрэлтийн коэффициент тогтмол $\mu = 0.1$ байх бол бие хэвтээ гадаргаар зогсох хүртлээ явсан замыг олно уу.



Зураг 2.4

Бодолт: Налуугаар явсан замыг S_1 , тэгш хэвтээ гадаргаар явсан замыг S_2 гэж тэмдэглэе. Биеийн кинетик энергийн өөрчлөлт нь хүчний хийсэн ажлаар тодорхойлогддог учраас шилжилтийн явцад биед үйлчилсэн бүх хүчнүүдийн хийсэн ажил

$$E_{K.эц} - E_{K.эх} = A \text{ гэж тодорхойлогдоно. Энэ ажлыг хүч тус бүрээр задалбал:}$$

$$E_{K.эц} - E_{K.эх} = A_{N_1} + A_{1mg} + A_{F_{yp1}} + A_{N_2} + A_{2mg} + A_{F_{yp2}}$$

гэж бичигдэнэ. Зурагаас харахад хүчнүүд: $F_{yp2} = \mu mg$, $N_2 = mg$, $F_{yp1} = \mu N_1 = \mu mg \cos\alpha$, $N_1 = mg \cos\alpha$ гэж илэрхийлэгдэнэ. Одоо эдгээр хүчнүүдийн хийх ажлуудыг томъёолоё. N_1 ба N_2 —ээр ажил хийгдэхгүй тул $A_{N_1} = A_{N_2} = 0$ байна.

$$\text{Харин } A_{1mg} = mgsin\alpha \cdot S_1, \quad A_{2mg} = 0$$

$A_{F_{yp1}} = -mg\mu\cos\alpha \cdot S_1$, $A_{F_{yp2}} = -mg\mu S_2$ гэж тус тус илэрхийлэгдэнэ. Энерги хадгалагдах хууль ёсоор дээрх 3-н ажлын нийлбэр тэгтэй тэнцүү учраас: $0 = (mgsin\alpha - mg\mu\cos\alpha)S_1 - mg\mu S_2$ гэсэн тэгшитгэл бичигдэнэ. Харин S_1 замыг $S_1 = \frac{h}{sin\alpha}$ гэж хялбархан олно. Энэ хоёр томъёог ашиглан S_2 буюу S - ийг олбол:

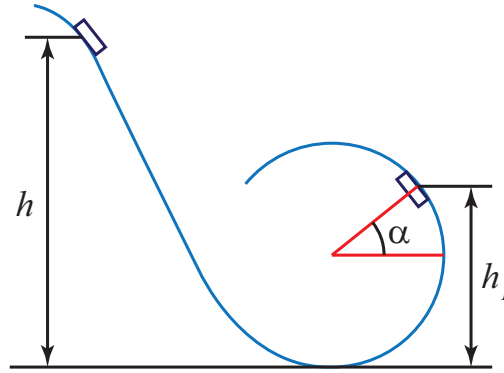
$$S_2 = \left(\frac{sin\alpha}{\mu} - \cos\alpha \right) \frac{h}{sin\alpha} = \frac{h}{\mu} - h \cdot ctg\alpha = h \left(\frac{1}{\mu} - ctg\alpha \right)$$



Эндээс: $S = 10 \left(\frac{1}{0.1} - 1 \right) = 90\text{м}$ биеийн зогсох хүртэлээ явсан зам олдоно.

Жишээ 2.5

M масстай бие h өндөртэй налуугаас үрэлтгүйгээр гулсан бууж улмаар R радиустай цагирагаар үрэлтгүйгээр хөдөлгөөнөө үргэлжлүүлнэ. Зурагт үзүүлснээр масстай биеийн зүгээс α өнцгөөр тодорхойлогдох цэг дэх тулгуурт учруулах даралтын хүчийг олно уу.



Зураг 2.5

Бодолт:

Механик энерги хадгалагдах хуулийг ашиглавал: $mgh = \frac{mv^2}{2} + mgh_1$ болно. Бие цагирагаар явж h_1 өндөрт хүрсэн тул энэ өндрийг $h_1 = R(1 + \sin\alpha)$ гэж олоод дээрхи томъёонд орлуулбал: $mgh = \frac{mv^2}{2} + mgR(1 + \sin\alpha)$ болно.

$$mv^2 = 2mgh - 2mgR(1 + \sin\alpha)$$

төвд тэмүүлэх хурдатгал олгох хүч нь: $F_{\text{тт}} = \frac{mv^2}{R} = \frac{2mgh - 2mgR(1 + \sin\alpha)}{R}$ гэж олно. Хүндийн хүчний төврүү чиглэсэн проекц нь $F_{\text{xx}} = mgsin\alpha$ Одоо бид тулгуурт учруулах даралтын хүч $F_{\text{д}}$ -г олох боломжтой болно. Тодруулбал:

$$F_{\text{д}} = F_{\text{тт}} - F_{\text{xx}} = \frac{mv^2}{R} - mgsin\alpha = mg \left[\frac{2(h - R(1 + \sin\alpha))}{R} - \sin\alpha \right]$$

гэж олдоно.

$$\text{Хариу: } F = mg \left[\frac{2(h - R(1 + \sin\alpha))}{R} - \sin\alpha \right]$$



2.3 Шинжлэх даалгавар

1. Хүч гэдэг физик хэмжигдэхүүн юуг илэрхийлдэг вэ?
2. Биед гадны хүч үйлчлэхэд түүний хурд өөрчлөгдөхгүй байж болох үү?
3. Гадны хүчний үйлчлэлээр бие хурдатгалтай болох уу? Яагаад?
4. Биеийн хурдатгал түүнд үйлчилсэн хүчтэй шууд пропорциональ хамааралтай юу?
5. Хүч үйлчлэхэд биеийн импульс өөрчлөгдөх үү?
6. Хэд хэдэн хүчний үйлчлэлийн дүнд бие тайван байдлаа хадгалж болох уу? Ямар тохиолдолд ийм байх вэ?
7. Хэд хэдэн хүчний үйлчлэлийн дүнд бие жигд хурдтай хөдлөж болох уу? Ямар тохиолдолд ийм байх вэ?
8. Хоёр бие хоорондоо харилцан үйлчлэлцэх хүч ямар байх вэ?
9. Биед үйлчлэх хүчнүүдийн геометр нийлбэр тэгээс ялгаатай үед бие тайван байдлаа, эсвэл жигд хөдөлгөөнөө хадгалах уу?
10. Биеийн импульсийн өөрчлөлтийн хурд түүнд үйлчилсэн хүчтэй тэнцүү байх уу?
11. Биеийн нэгж хугацаандах хурдны өөрчлөлт түүнд үйлчилсэн хүчтэй урвуу хамааралтай юу?
12. Хүндийн хүчний үйлчлэлээр биеийн потенциал энерги өөрчлөгдөх үү?
13. Хүндийн хүчний үйлчлэлээр чөлөөт уналт хийж байгаа биеийн кинетик ба потенциал энергүүдийн өөрчлөлт хоорондоо тэнцүү юу?
14. Хурднаас үүдэлтэй механик энерги нь кинетик энерги мөн үү?
15. Таталцлын оронд байгаа биеийн байрлалаас үүдэлтэй энерги потенциал энерги мөн үү?
16. Механик энерги гэж зөвхөн потенциал энергийг хэлэх үү?
17. Потенциал энергийн хамгийн их утга нь биеийн нийт механик энергитэй тэнцүү байх уу?
18. Кинетик энерги хамгийн их утгаа авч байхад потенциал энерги хамгийн бага утгандаа хүрэх үү?
19. Биеийн кинетик энергийн өөрчлөлт нь түүнд үйлчилсэн хүчний хийсэн ажилтай тэнцүү байх уу?
20. Агаарын эсэргүүцлийн хүчний улмаас механик энерги дулааны энергид шилжих үү?



2.4 Тооцоот даалгавар

1. 8кг ба 2кг масстай биеүд харилцан үйлчилсэний үр дүнд 8кг бие $2\frac{m}{c^2}$ хурдатгалтай болжээ. Тэгвэл 2кг масстай бие ямар хурдатгалтай болох вэ?
2. Гөлгөр хэвтээ гадаргууд 5 м урт үл сунах утасны нэг үзүүрийг бэхлээд нөгөө үзүүрт нь 0.4 кг масстай бөмбөлөг уяжээ. Бөмбөлөгийг $\omega = 2\frac{v_{\text{бад}}}{c}$ цикл давтамжтай эргүүлсэн бол утасны татах хүчийг олно уу.
3. $600\frac{H}{M}$ хаттай бууны пүршийг 5 см агшааж байгаад 10 г масстай сумыг хэвтээ чиглэлд түлхэн гаргажээ. Сумны хамгийн их хурд ямар байх вэ? Үрэлтийг тооцохгүй.
4. Математик дүүжингийн утасны урт L , харин бөмбөлөгийн масс m байна. Бөмбөлөгийг тэнцвэрийн байрнаас нь 60° өнцгөөр хазайлгаад тавихад бөмбөлөг тэнцвэрийн байрлалаа дайран өнгөрөх агшинд утасны татах хүч T ямар байх вэ?
5. Хэвтээ тэгш замаар $3\frac{m}{c}$ хурдтай явсан 50 кг масстай тэргэнцэр дээр 25 кг шороо асгажээ. Тэргэнцэрийн хурдны өөрчлөлтийг олно уу.
6. 4кг ба 6кг масстай хоёр бие харгалзан $5\frac{m}{c}$ ба $3\frac{m}{c}$ хурдтайгаар бие биенээ угтан ирж төвийн харимхай биш мөргөлдөөн хийжээ. Тэд мөргөлдсөнийхээ дараа ямар чиглэлд ямар хурдтай хөдлөх вэ?
7. 50тн масстай, $0.4\frac{m}{c}$ хурдтай явсан вагоныг 30тн масстай $1.0\frac{m}{c}$ хурдтай явсан вагон гүйцэн очиж харимхай биш мөргөлдөөн хийжээ. Тэд цаашаа ямар хурдтай явсан бэ?
8. 45° Бие налалтын өнцөгтэй, L урттай налуу хавтгайруу тайвнаас гулсан хөдөлжээ. Хэрэв гулсалтын үрэлтийн коэффициент $\mu = 0.5$ бол налуу хавтгайн бэлд бие ямар хурдтай болох вэ?
9. Дэлхийн масс $6 \cdot 10^{24}$ кг, нарны масс $2 \cdot 10^{30}$ кг. Нар, Дэлхий хоёрын хоорондын зай дунджаар $1.5 \cdot 10^{11}$ м байдаг. Тэгвэл дэлхийн тойрог замын шугаман хурдыг олно уу.
10. Чарга $L = 13$ м урттай, $h = 5$ м өндөртэй уулын уруу гулсан хөдөлжээ. Тэр уулын бэлээс цаашаа $S = 38$ м яваад зогссон бол гулсалтын үрэлтийн коэффициентийг олно уу.
11. 1.2 тн масстай машин замын тэгш хэвтээ гадарга дээрх 20м радиустай тойрог хэсгээр хамгийн ихдээ ямар хурдтайгаар эргэж чадах вэ? Үрэлтийн коэффициент 0.5.
12. 37° налалтын өнцөгтэй налуу хавтгайгаар бие жигд хурдтай доошоо гулсаж байсан бол гулсалтын үрэлтийн коэффициентийг олно уу.
13. 100г масстай бие 60° өнцгөөр налсан налуу хавтгайгаар хүндийн хүчний үйлчлэлээр уруугаа гулсаж байв. Хэрэв үрэлтийн коэффициент $\mu = 0.3$ бол реакцийн хүч ба үрэлтийн хүчийг олно уу.
14. Бие хэвтээ тэгш гадаргаар гулсан хөдөлнө. Хэрэв биеийн масс 30кг, үрэлтийн коэффициент 0.4 бол үрэлтийн хүчийг олно уу.
15. 10м муруйлтын радиустай хотгор гүүрээр 10м/с хурдтай яваа 10тн масстай машин гүүрний дунд хэсэгт ямар хүчээр дарах вэ?



16. 0.5м өндөртэй, 1.3м урт налуугаар 390г масстай бие гулсаж байсан бол реакцийн хүчийг олно уу.
17. 10см сунасан 5 Н/м хаттай пүрш анхныхаа төлөвт орохын тулд харимхайн хүчний зүгээс ямар хэмжээний ажил хийх вэ?
18. 800г масстай бие 6Н үрэлтийн хүчний үйлчлэлээр жигд удааширсаар зогссон бол хэвтээ гадарга ба бие хоорондын үрэлтийн коэффициентийг олно уу.
19. 500г масстай бие $2\text{м}/\text{с}^2$ хурдатгалтайгаар жигд удааширсаар 5м зам яваад зогссон бол үрэлтийн хүчний ажлыг олно уу.
20. 10 тн масстай машин 10м өндөртэй, 200м урт налуу өөд жигд өгсөв. Хэрэв машины хөдөлгөөний үед эсэргүүцлийн үрэлтийн коэффициент 0.1 бол зүтгэх хүчний ажлыг олно уу.



2.5 Тест

- Дараах тодорхойлтуудаас буруу тодорхойлтуудыг ол .
 - Хүч -харилцан үйлчлэлийг тодорхойлогч
 - Биед үйлчлэгч хүчний чиглэл шилжилтийн чигтэй тохирдог.
 - Тэнцүү үйлчлэгч хүчний чиглэл хурдатгалын чиглэлтэй тохирдог.
 - Биеийн масс бодисын тоо хэмжээтэйг илэрхийлнэ.

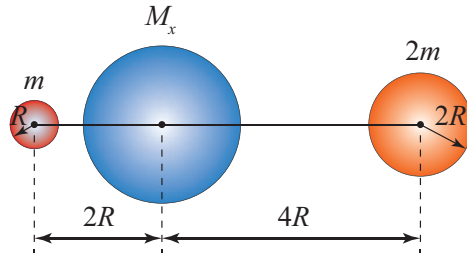
A. 1 ба 2 В. 2 ба 3
C. 1 ба 3 А. 2 ба 4
- 4кН/м хаттай пүршинд дүүжилсэн 100г масстай ачааг дүүжилжээ. Энэ системийг 2м/с^2 хурдатгалтай эгц дээш хөдөлгөхөд пүршний уртсалт ямар хэмжээгээр өөрчлөгдөх вэ?
A. 0.05мм В. 2мм
C. 0.25мм D. 37.5мм
- 2кг масстай бие гадны хүчний нөлөөгөөр хөдлөх бөгөөд түүний хурд хугацаанаас хамаарах хамаарал нь $v = 6 + 10t(\text{м/с})$ бол 2 секундын хугацаанд биед гаднаас хийх ажлыг ол.
A. 676Ж В. 1352Ж
C. 640Ж D. 3380Ж
- 5кг масстай бие хувьсах хүчний үйлчлэлээр $x = at + bt^2 + ct^3$ тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэх хөдөлгөөн хийнэ. $t = 3\text{с}$ хугацааны агшинд энэ хүчний ямар утга байх вэ? Үүний $a = 1\text{м/с}$, $b = 4\text{м/с}^2$, $c = 5\text{м/с}^3$
A. 16.5Н В. 0.165кН
C. 980Н D. 490Н
- $m_1 = 1\text{кг}$ ба $m_2 = 8\text{кг}$ масстай биеүдийг утсаар оосорлон жингүй дамарт тохжээ. Ачааны хурдатгалыг ол. (үрэлтийг тооцохгүй)
A. 7м/с^2 В. 3м/с^2
C. 2.5м/с^2 D. 6м/с^2
- $\alpha = 60^\circ$ өнцөг бүхий налуугаар гулсах $m = 2\text{кг}$ масстай биед үйлчлэх реакцийн хүчийг ол.
A. 10Н В. 45Н
C. 40Н D. 35Н



7. Чулууг эгц дээш v_0 хурдтай шидэхэд газарт унах үед хамгийн бага байх энергийг ол.
А. потенциал энерги В. кинетик энерги
С. потенциал ба кинетик энергүүд тэнцүү
8. Импульс хадгалагдах хуулийн илэрхийллийг ол.
А. $\vec{F} = 0 \implies \vec{P} = const$
В. $\vec{P} = 0 \implies \vec{F} = const$
С. $\vec{F} = const \implies \vec{P} = 0$
D. $\vec{F} \neq 0 \implies \vec{P} = const$
9. Тус бүр $4m$ ба $8m$ масстай хоёр бие харилцан үйлчилэхэд $4m$ масстай бие $2m/c^2$ хурдатгалтай болсон бол нөгөө бие ямар хурдатгалтай болох вэ?
А. $0.5m/c^2$ В. $2m/c^2$
С. $0m/c^2$ D. $4m/c^2$
E. $1m/c^2$
10. $10m/c$ хурдтай явж байсан $500kg$ масстай машин $12.5kN$ хүчний үйлчлэлээр тоормозлосон бол хэдэн метр зам явж зогсох вэ?
А. $2m$ В. $1m$
С. $4m$ D. $8m$
11. Инерциал системд m масстай биед F хүч үйлчлэхэд тэрээр a хурдатгалтай болсон бол хүчний хэмжээг 5 дахин бууруулж, хурдатгалыг 10 дахин бууруулахын тулд массыг хэрхэн өөрчлөх вэ?
А. $2m$ В. $3m$
С. $6m$ D. өөрчлөх хэрэггүй
12. $2kN/m$ хаттай пүршийг $10cm$ -ээр сунгахын тулд ямар ажил хийх вэ?
А. $20Ж$ В. $20kЖ$
С. $10Ж$ D. $10kЖ$
13. $m_1 = 15kg$ ба $m_2 = 25kg$ масстай биеүүдийг утсаар оосорлон жингүй дамарт тохжээ. Ачаануудын хурдатгалыг ол. (үрэлтийг тооцохгүй)
А. $4.2m/c^2$ В. $7m/c^2$
С. $2.5m/c^2$ D. $4m/c^2$



14. Биеийг налуу болон хэвтээ хавтгайгаар тус тус гулгуулахад аль тохиолдолд үрэлтийн хүч бага байх вэ? Хоёр хавтгайн үрэлтийн коэффициент ижил хэмээн тооц.
- А. Налуу хавтгайгаар
В. Хэвтээ хавтгайгаар
С. Хоёуланд нь ижил
15. Дараах зургийг ашиглан m ба $2m$ масстай биеүүд M_x масстай биетэй татлцах таталцлын хүчний харьцааг ол.



- А. 9 : 1 В. 1 : 8
С. 1 : 4 Д. 1 : 2
16. Эгц дээш 10м/с анхны хурдтай шидэгдсэн биеийг газарт унах хугацааг ол.
- А. 8с В. 6с
С. 4с Д. 2с
17. Биеийн кинетик энергийн томъёог ол.
- А. $E = \frac{kx^2}{2}$ В. $E = \frac{mv^2}{2}$
С. $E = maS$ Д. $E = m \frac{dv}{dt}$
18. Уулын оройгоос гулсаж эхэлсэн чарга эхний 10 секундэд 20м хурдтай болсон бол энэ хугацаанд ямар зам туулсан бэ?
- А. 120м В. 160м
С. 100м Д. 50м
19. Нэг хэмжээст потенциал орны хүч $F = k \sin bx$ хуулиар тодорхойлогдсон бол энэхүү потенциал энергийг ол. ($k, b, c > 0$)
- А. $E_n = -3kb \sin 2bx$ В. $E_n = kb \sin 2bx$
С. $E_n = kb \cos bx$ Д. $E_n = \frac{k}{b} \cos bx$
20. $\alpha = 60^\circ$ өнцөг бүхий налуугаар $m = 4\text{кг}$ масстай бие гулсана. Үрэлтийн коэффициент $\mu=0.8$ бол үрэлтийн хүчийг ол.
- А. 16Н В. 33Н
С. 5Н Д. 45Н

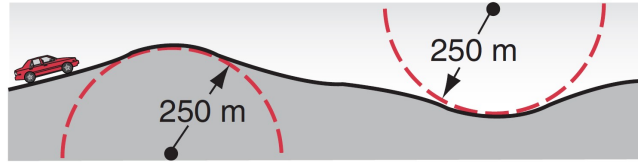


2.6 Бие даалтын бодлого

1. Шалан дээр байгаа $m = 136$ кг масстай хайрцгийг ажилчин $F_1 = 412$ Н хүчээр хэвтээ чигт түлхэнэ.
 - а) Хайрцаг ба шалны хоорондох тайвны үрэлтийн коэффициент $\mu_T = 0.37$ бол хайрцгийг хөдөлгөж чадахгүй болохыг харуулна уу.
 - б) Өөр нэг ажилчин босоо чиглэлийн дагуу хамгийн бага ямар F_L хүчээр үйлчилбэл хайрцгийг шалны дагуу хөдөлгөх вэ?
 - с) Уг (хоёр дахь) ажилчин босоо чиглэлээс гадна хэвтээ чиглэлийн дагуу, $F_1 = 412$ Н хүч дээр нэмж хамгийн бага ямар F_2 хүчээр үйлчилбэл хайрцгийг хөдөлгөх вэ?

2. m масстай бөөмд $\vec{F}(t) = F_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \vec{i}$ хүч үйлчилнэ. $t = 0$ үед $F = F_0$ байх ба шугаман хамаарлаар T хугацаанд тэг болтлоо буурна. Бөөм координатын $x = 0$ эхийг $v_0 \vec{i}$ хурдтай дайран өнгөрөх бол $t = T$ агшинд $F(t)$ хүчний үйлчлэл байхгүй болохыг харуулж, бөөмийн $v(t)$ хурд ба явсан $x(t)$ зайг олно уу. Хугацааны эхэн дэхь хурдатгал $a_0 = \frac{F_0}{m}$ болно.

3. $W = 16 \text{ кН}$ жинтэй машин ижил $R = 250 \text{ м}$ радиустай уулын орой болон хотгор газраар тогтмол хурдтай шулуун замаар хөдөлнө. а) Машин уулын оройгоор

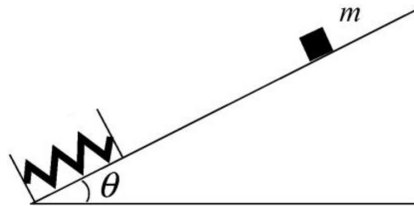


өнгөрөх үед машинд машины жингийн хагастай тэнцүү нормаль тулгуурын хүч үйлчилсэн бол хотгор газраар өнгөрөх үед машинд үйлчлэх нормаль тулгуурын хүчийг тодорхойлно уу.

б) Уулын оройгоор машин ямар v хурдтай өнгөрвөл газраас хөндийрөхгүй байх вэ?

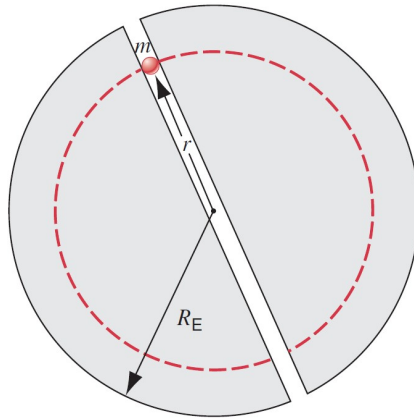
с) Ийм v хурдтайгаар хотгор газраар өнгөрөхөд машинд үйлчлэх нормаль тулгуурын хүч ямар байх вэ?

4. $\theta = 30^\circ$ өнцөг бүхий налуу хавтгайгаар $m = 12 \text{ кг}$ масстай бие үрэлтгүй гулсаж, налуугийн эхэнд бэхэлсэн пүршийг $x_0 = 55 \text{ мм}$ хэмжээгээр агшааж, түр зогсоод, буцаж налуу өөд хөдлөв. $F = 270 \text{ Н}$ хүчээр шахахад пүрш $x = 2 \text{ см}$ хэмжээгээр агшина.



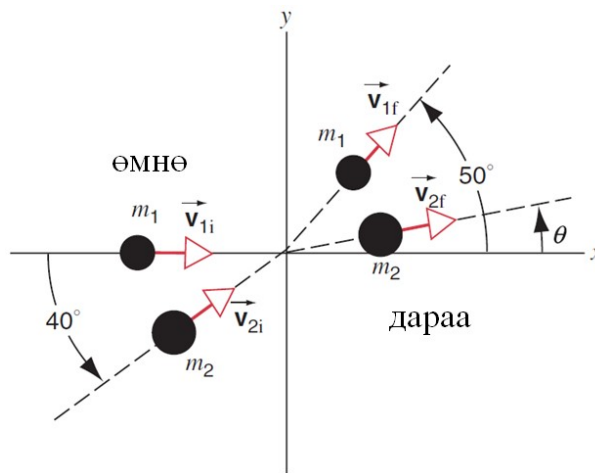
- (а) Бие налуугийн эх хавьд түр зогсолт хийх хүртлээ ямар l зай туулах вэ?
 (б) Пүршинд хүрэх үеийн биеийн v хурдыг олно уу.

5. Дэлхийг диаметрийн дагуу нэвт нүхэлж, m масстай бөөмийг дэлхий гадаргаас уг нүх руу унагав.

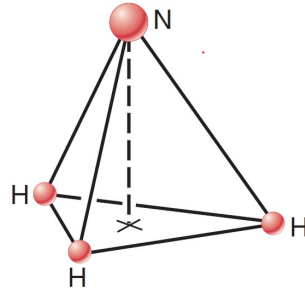


- а) Бөөм дэлхийн төвөөс r зайд байх үед түүнд үйлчлэх хүчийг олно уу.
 б) Дэлхийн төвөөс r зайд бөөм ямар хурдтай байх вэ? $r = 0$ үед уг хурдыг үнэлнэ үү. Дэлхийг нэгэн төрөл гэж үзэж, үрэлтийг үл тооцно уу.

6. Мөсөн дээр $v_{1i} = 2.48 \text{ м/с}$ хурдтай үрэлтгүй гулсаж байсан шайбыг, 1.5 дахин их масстай $v_{2i} = 1.86 \text{ м/с}$ хурдтай шайб 40° өнцгөөр уян харимхай мөргөв. Мөргөлдөөний дараа эхний шайб анхны чиглэлээсээ 50° өнцгөөр хазайж, $v_{1f} = 1.59 \text{ м/с}$ хурдтай хөдөлсөн бол мөргөлдөөний дараах хоёр дахь шайбны v_{2f} хурд ба чиглэлийг олно уу.



7. Аммиакийн NH_3 молекулд азотын атом пирамидын орой нь болж, гурван устөрөгчийн атом суурь нь болдог. Устөрөгчийн атомууд хоорондоо ижил $a = 16.28 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ зайд байрлаж адил талт гурвалжин үүсгэнэ. Устөрөгчийн атом бүрээс гурвалжины төв хүртлэх зай $b = 9.4 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, азотын атом хүртлэх зай $l = 10.14 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, азотын атом устөрөгчийн атомаас 13.9 дахин их масстай бол азотын атомтай харьцангуй уг молекулын массын төвийг олно уу.

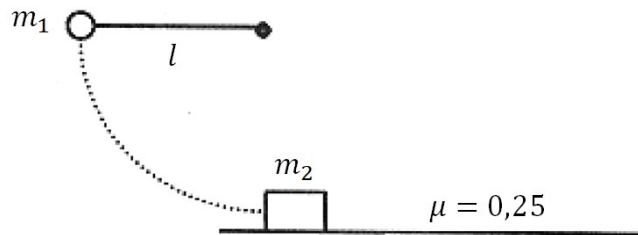


8. Тэсрэх бөмбөг гурван хэлтэрхий болон дэлбэрэв. Нэг нь нөгөөгөөсөө хоёр дахин их масстай хоёр хэлтэрхий нь харилцан перпендикуляр чиглэлд ижил $v = 31.4 \text{ м/с}$ хурдтай шидэгджээ. Гурав дахь хэлтэрхий нь хамгийн хөнгөн хэлтэрхийнээс гурав дахин их масстай бол түүний u хурд болон чиглэлийг (хамгийн хөнгөн хэлтэрхийн чиглэлтэй харьцангуйгаар) олно уу.



9. Өчүүхэн бага таталцлын оронд инерциал тооллын системтэй харьцангуй $v = 960$ м/с хурдтай хөдөлж байгаа $m = 13600$ кг масстай сансрын хөлөг хөдөлгүүрээ асааж, уг хурдны чиглэлийн дагуу хурдаа нэмэв. Хий сансрын хөлөгтэй харьцангуй тогтмол $u = 1520$ м/с хурдтай, тогтмол 146 кг/с хэмжээтэй тийрэгдэн гарах ба 9100 кг шатахуун зарцуулагджээ.
- а) Сансрын хөлгийн тийрэлтийн хүчийг олно уу.
б) Тийрэлтийн дүнд сансрын хөлгийн хурд ямар болсон вэ?

10. $m_1 = 1$ кг масстай үрлийг хөнгөн $l = 1$ м урт хатуу савааны нэг үзүүрт бэхэлж, нөгөө үзүүрийг таазанд бэхэлжээ. Савааг хэвтээ байрлалаас буулгахад үрэл ширээний гадарга дээр тайван байгаа $m_2 = 3$ кг масстай биеийг харимхай мөргөв. Гадаргын үрэлтийн коэффициент $\mu = 0.25$ бол бие ямар зай яваад зогсох вэ? Үрэлтийн хүчний эсрэг хийх ажлыг олно уу.





Семинар 3

Эргэх хөдөлгөөн, Хэлбэлзэл

3.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Биеийн эргэх хөдөлгөөнийг судлахад хүчний момент ба импульсийн момент гэдэг ойлголт оруулна.

Үл хөдлөх цэг O -той харьцангуй \vec{F} хүчний момент

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}] \quad \text{модуль нь} \quad M = F \cdot r \cdot \sin \alpha = F \cdot l \quad (3.1)$$

α нь \vec{r} ба \vec{F} -ийн хоорондох өнцөг, l -нь хүчний мөр Аливаа тэнхлэгтэй харьцуулсан хүчний момент нь тэр тэнхлэг дээрх хүчний моментын проекц болно. Жишээ нь: z тэнхлэгтэй харьцуулсан хүчний моментыг олбол :

$$M_z = [\vec{r} \times \vec{F}]_z \quad (3.2)$$

Аливаа үл хөдлөх O цэгтэй харьцуулсан материал цэгийн импульсийн момент \vec{L} нь

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{P}] = [\vec{r} \times m\vec{v}] \quad (3.3)$$

\vec{r} нь \vec{v} хурдтай хөдөлж байгаа цэгийн радиус вектор Эргэх хөдөлгөөний динамикийн үндсэн тэгшитгэл

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (3.4)$$

Хэрвээ $\vec{M} = 0$ бол

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{L} = const \quad (3.5)$$

импульсийн момент хадгалагдах хууль

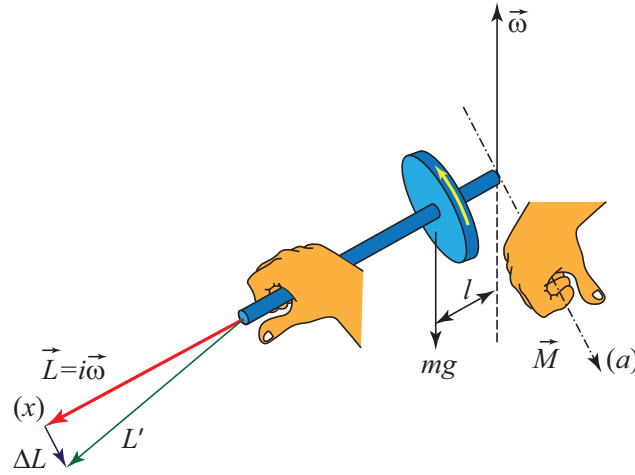
$$\text{Инерцийн момент} \quad I = \int r^2 dm \quad (3.6)$$

dm -биеийн жижиг хэсгийн масс, r -эргэлтийн тэнхлэгээс dm масс хүртэлх зай, I хатуу биеийн эргэх хөдөлгөөний инерцит шинж чанарыг илэрхийлэх эргэлтийн тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент

Инерцийн моментийн хялбар жишээ

Цагирагийн тэнхлэгээ тойрон эргэх инерцийн момент

$$I_0 = mR^2 \quad (3.7)$$



Зураг 3.1

Цул цилиндрийн эргэлтийн тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент

$$I_0 = \frac{1}{2}mR^2 \quad (3.8)$$

Бөмбөрцгийн хүндийн төвийг дайрсан тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент

$$I_0 = \frac{2}{5}mR^2 \quad (3.9)$$

Саваанд перпендикуляр хүндийн төвийг дайрсан тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент

$$I_0 = \frac{m}{12}l^2 \quad (3.10)$$

Штейнерийн теорем

$$I = I_0 + md^2 \quad (3.11)$$

I_0 –хүндийн төвийг дайрсан тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент , I нь хүндийн төвийг дайрсан тэнхлэгээс d зайд байрлах түүнтэй параллель тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент.

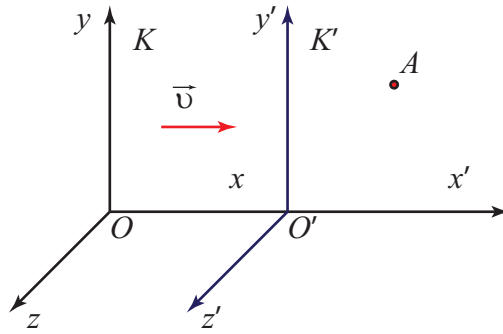
Гироскоп: Тэгш хэмийн тэнхлэгээ тойрон их хурдтай эргэх биеийг гироскоп буюу ээрүүл гэдэг. Гироскопын тэнхлэг нь инерцийн гол тэнхлэгүүдийн нэг байна. Иймээс тэнхлэг нь огторгуйд эргэхгүй бөгөөд импульсын момент нь $\vec{L} = I\vec{\omega}$ байна.

Үүнд I нь гироскопын тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент. Гироскопын тэнхлэгийг эргүүлэх хүчний момент үйлчлэх үед прецессийн үзэгдэл ажиглагдана.

Прецессын момент: Зурагт импульсийн момент x тэнхлэгийн дагуу чиглэнэ. Тулах цэгтэй харьцангуй хүндийн хүчний момент импульсийн моментын чиглэлд перпендикуляр. Энэ момент нь \vec{L} –г түүний чиглэлд перпендикуляраар өөрчилнө. Энэ өөрчлөлтийн дүнд \vec{L} чиглэлээ өөрчлөх боловч хэмжээгээ өөрчлөхгүй. Үүнийг прецесс гэнэ.

Хэрэв дугуй эргэхгүй байсан бол гироскоп доош эргэх байв. Баруун гарынхаа хуруунуудыг энэ (a) тэнхлэгийн эргэлтийн чиглэл дагуулан атгавал эрхий хуруу хүндийн хүчний моментын чиглэлийг заана. Иймээс импульсын моментын \vec{L} вектор буюу гироскопын тэнхлэг энэ зүгт чиглэлээ өөрчлөн босоо тэнхлэгийг тойрон эргэх энэ үзэгдлийг прецесслэх гэнэ. dt хугацааны дараа гироскопын момент \vec{L} нь

$$d\vec{L} = \vec{M}dt \quad (3.12)$$



Зураг 3.2

гэж өөрчлөгдөнө. Үр дүнгийн момент нь $\vec{L}' = \vec{L} + d\vec{L}$ болно. Импульсийн моментыг векторын эргэх өнцөг

$$d\varphi = \frac{|dL|}{L} = \frac{Mdt}{L} \quad (3.13)$$

эндээс импульсийн моментыг векторын эргэх өнцөг хурд буюу прецессийн өнцөг хурд . Энэ гурван вектор нь хоорондоо перпендикуляр байна.

$$\vec{M} = \vec{\omega}' \times \vec{L} \quad (3.14)$$

Харьцангуйн тусгай онол

K тооллын системтэй харьцангуйгаар K' тооллын систем нь x тэнхлэгийн дагуу v хурдтай хөдөлнө. A цэг нь K системд $A(x, y, z, t)$ координаттай ба K' -д $A(x', y', z', t')$ байна гэвэл эдгээр координатууд нь Лоренцын хувиргалтаар шилжинэ. (Зураг 3.11)

Лоренцын хувиргалт

$$\begin{cases} x' = \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t-\frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \end{cases} \quad \begin{cases} x = \frac{x'+vt'}{\sqrt{1+v^2/c^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t'+\frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1+v^2/c^2}} \end{cases} \quad (3.15)$$

Лоренцын хувиргалтын мөрдлөгүүд

Аливаа бие буюу үйл явдалтай харьцангуй тайван тооллын системд тодорхойлогдсон биеийн масс, урт, үйл явдлын үргэлжлэх хугацааг харгалзан хувийн масс (m_0), хувийн урт (l_0), хувийн хугацаа (t_0) гэнэ. Лоренцын агшилт

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (3.16)$$

Хугацааны удаашрал

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (3.17)$$

Хурдтай хөдөлж байгаа биеийн масс

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (3.18)$$

Хурд нэмэх:

K' тооллын системд $\vec{v}'(v'_x, v'_y, v'_z)$ хурдтай хөдлөх биеийн хурд K тооллын системд $\vec{v}(v_x, v_y, v_z)$



ГЭВЭЛ

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1 + vv'_x/c^2} \quad v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + vv'_x/c^2} \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + vv'_x/c^2} \quad (3.19)$$

Инерциаль бус тооллын систем:

Ньютоны 1-р хууль биелэхгүй байгаа тооллын системийг инерциаль бус тооллын систем гэнэ (ИБТС). Үүнд: инерциаль тооллын системтэй харьцангуй хурдатгалтай хөдлөх, эргэлдэх тооллын системүүд багтана. ИБТС-д инерцийн хүч гэж нэрлэгдэх хийсвэр хүчийг тооцоолох замаар инерциаль тооллын системтэй адилхан физикийн хуулиудыг хэрэглэх боломжтой болдог. ИБТС-д биед үйлчлэх хүч нь

$$\vec{F}' = m\vec{a}'$$

$$\vec{F}' = \vec{F} - m\vec{a}_0 - m[\vec{\varepsilon} \times \vec{r}'] - m[\vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{r}']] - 2m[\vec{\omega} \times \vec{v}'] \quad (3.20)$$

Энд m – биеийн масс, $\vec{a}_0, \vec{\varepsilon}, \vec{\omega}$ хэмжигдэхүүнүүд нь биеэс хамаарахгүй ИБТС-д хамаарагдах хэмжигдэхүүнүүд

- $m\vec{a}_0$ тооллын систем хурдатгалтай хөдөлсний улмаас үүсэх инерцийн хүч

- $m[\vec{\varepsilon} \times \vec{r}']$ ИБТС-ийн тангенциаль хурдатгалаар үүсэх инерцийн хүч

- $[\vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{r}']]$ ИБТС-ийн нормаль хурдатгалаар үүсэх инерцийн хүч. Үүнийг төвөөс зугтаах хүч гэнэ.

- $2m[\vec{\omega} \times \vec{v}']$ эргэлдэх ИБТС-д \vec{v}' – хурдтай хөдлөх биед үйлчлэх инерцийн хүч. Үүнийг Кориолисын хүч гэнэ.

Хэлбэлзэл: Синус (эсвэл косинус)-ын хуулиар хувьсах хэлбэлзэлийг гармоник хэлбэлзэл гэнэ. Тогтвортой тэнцвэрийн байрлалын орчим аливаа харилцан үйлчлэлийн хүч $F = f(x)$ –ийг бага хэлбэлзлэлийн үед $F = f(x) \approx -k \cdot x$ шугаман байдлаар ойролцоолж болно. Энд:

$$k = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_0 \quad (3.21)$$

Гармоник хэлбэлзлийн дифференциал тэгшитгэл:

$$ma = -kx \quad \text{буюу} \quad \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (3.22)$$

Тэгшитгэлийн шийд нь:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (3.23)$$

x – биеийн координат, k – харимхай төст хүчний коэффициент, A – хэлбэлзлийн далайц (амплитуд), $\omega_0 t + \varphi_0$ – гармоник хэлбэлзлийн аргумент – фаз, ω_0 – хувийн хэлбэлзлийн тойрох давтамж, φ_0 – анхны фаз.

$$\text{шугаман давтамж} \quad \nu = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (3.24)$$

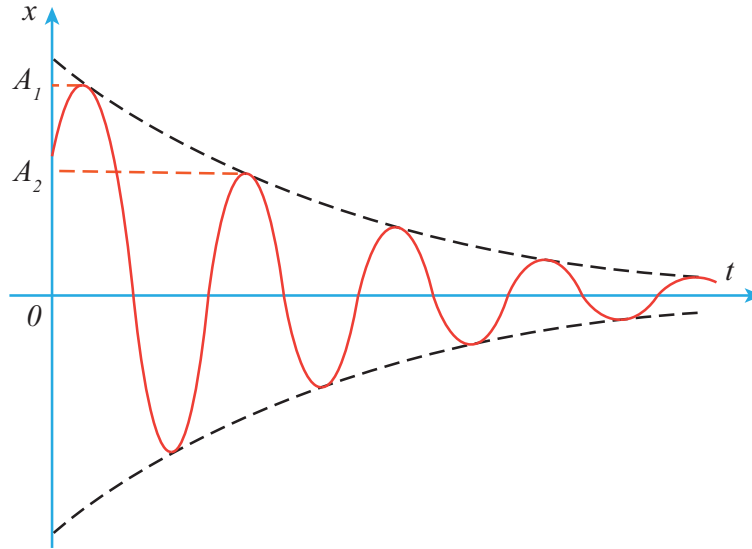
$$\text{улирал буюу үе} \quad T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (3.25)$$

Гадны эсэргүүцлийн хүчний улмаас энергээ алдах хэлбэлзлийг замхрах хэлбэлзэл гэнэ. Замхрах хэлбэлзлийн дифференциал тэгшитгэл: $ma = -kx - \eta v$ буюу

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (3.26)$$

Тэгшитгэлийн шийд нь:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.27)$$



Зураг 3.3

Энд: ω_0 –хувийн хэлбэлзлийн давтамж, $\beta = \eta/2$ –замхралын коэффициент, η – үрэлтийн хүчний коэффициент, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - замхрах хэлбэлзлийн тойрох давтамж. Замхралын логарифм декремент: $\delta = \beta T$

$$T = 2\pi/\omega \quad \text{үе} \quad (3.28)$$

Гадны хүчний үйлчлэл доор хийх хэлбэлзлийг албадмал хэлбэлзэл гэнэ. Албадмал хэлбэлзлийн дифференциал тэгшитгэл:

$$ma = -kx - \eta v + F_0 \cos \omega_A t \quad (3.29)$$

буюу

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega_A t \quad (3.30)$$

Тэгшитгэлийн шийд нь:

$$x = A \cos(\omega_A t + \varphi) \quad (3.31)$$

Албадмал хэлбэлзлийн далайц:

$$A = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_A^2)^2 + 4\beta^2\omega_A^2}} \quad (3.32)$$

φ –албадах хүч ба албадмал хэлбэлзлийн фазын ялгавар

$$\text{tg } \varphi = \frac{2\beta\omega_A}{(\omega_0^2 - \omega_A^2)} \quad (3.33)$$

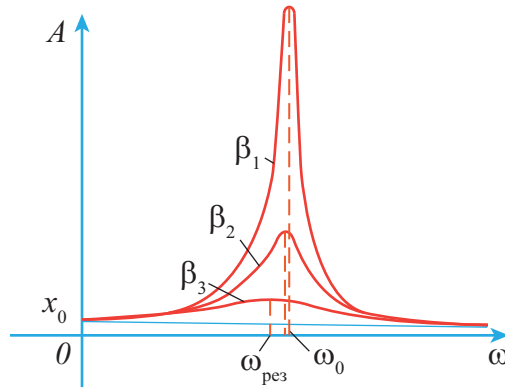
ω_A –гадны хүчний тойрох давтамж.

Гадны үелэх хүчний давтамж нь биеийн хувийн хэлбэлзлийн давтамжтай ойртох үед албадмал хэлбэлзлийн далайц (амплитуд) эрс өсөх үзэгдлийг **резонанс** гэнэ

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad \text{--резонансын давтамж} \quad (3.34)$$

$\beta = 0$ үед буюу үрэлтгүй системд $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$

$$A_{\text{рез}} = \frac{F}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \quad \text{резонансын амплитуд} \quad (3.35)$$



Зураг 3.4

Нэг шулууны дагуух ижил давтамжтай хоёр хэлбэлзлийг нэмэхэд үүсэх нийлбэр хэлбэлзлийн далайц ба фаз:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (3.36)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2} \quad (3.37)$$

Харилцан перпендикуляр, ижил давтамжтай хоёр хэлбэлзлийг нэмэхэд үүсэх нийлбэр, хөдөлгөөний траекторын тэгшитгэл

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2\frac{xy}{A_1A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (3.38)$$



3.2 Жишээ бодлого

Жишээ 3.1

Налуу хавтгайн дагуу өнхөрч байгаа бөмбөрцөг

Налуу хавтгайгаар өнхөрч байгаа бөмбөрцөгийн массын төвийн хурд ба хурдатгалыг налуу хавтгайн төгсгөлд ол. (Зураг 3.5)

Бодолт: Энерги хадгалагдах хууль ёсоор

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} = mgh \quad (3.39)$$

Үүнд: v -массын төвийн хурд, ω -бөмбөрцөг төвөө тойрон эргэх хурд, I -бөмбөрцөгийн хүндийн төвтэй харьцуулсан инерцийн момент. $I = \frac{2}{5}mR^2$, $\omega = \frac{v}{R}$ -г дээрх томъёонд орлуулж хурдыг олно.

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{2mR^2}{5} \frac{v^2}{R^2} = mgh \quad (3.40)$$

$$\frac{7}{10}mv^2 = mgh$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}. \quad (3.41)$$

Жигд хурдсах хөдөлгөөний хурдатгал ба шилжилтийн томъёог бичье:

$$a = \frac{v^2}{2S}. \quad (3.42)$$

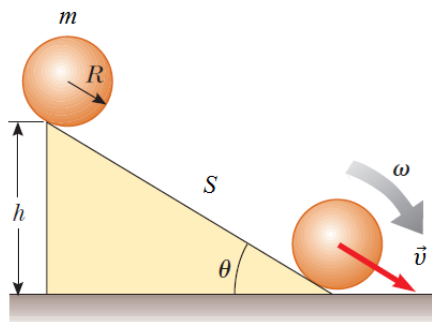
Үүнд S -налуу хавтгайн урт. Налуу хавтгайн уртыг түүний өндрөөр илэрхийлбэл:

$$S = h / \sin \theta. \quad (3.43)$$

3.41, 3.42 ба 3.43 тэгшитгэлүүдийг ашиглан хурдатгалыг олбол:

$$a = \frac{5}{7}g \sin \theta \quad (3.44)$$

болно.



Зураг 3.5

Жишээ 3.2

**Эргэвчийн өнцөг хурдатгал**

R радиус, M масс, I инерцийн момент бүхий эргэвчийг үрэлтгүй, хэвтээ голд бэхлэв (3.6 –р зураг). Эргэвчийг тойруулан хөнгөн утсаар ороож үзүүрт нь m масстай ачаа дүүжлэв. Эргэвчийн өнцөг хурдатгал, ачааны шугаман хурдатгал ба утасны татах хүчийг тус тус ол.

Бодолт

Эргэвчийг эргэлтийн тэнхлэгийг нь тойруулан эргүүлэх хүчний момент нь $\tau = TR$ болно. Энд T утаснаас эргэвчийн ирмэгт үйлчлэх хүч болно (Хүндийн хүч болон нормаль хүч нь эргэвчийн тэнхлэг дээр орших тул хүчний момент үүсэхгүй).

$$I\varepsilon = TR$$

$$\varepsilon = \frac{TR}{I} \quad (1)$$

болно. Ньютоны хоёрдугаар хуулийг бичье (Эгц доош чиглэлийг эерэг чиглэлээр сонгоё)

$$\sum F_y = mg - T = ma$$

$$a = \frac{mg - T}{m} \quad (2)$$

(1) болон (2) тэгшитгэл нь ε , a , T гэсэн гурван үл мэдэгчтэй. Эргэвч ба бие нь утсаар холбогдсон тул биеийн хурдатгалыг нь эргэвчийн ирмэг дээрх хурдатгалтай тэнцүү $a = R\varepsilon$ байх тул (1) ба (2) тэгшитгэл нь дараах хэлбэрт шилжинэ.

$$a = R\varepsilon = \frac{TR^2}{I} = \frac{mg - T}{m} \quad (3)$$

$$T = \frac{mg}{1 + \frac{mR^2}{I}} \quad (4)$$

(4) тэгшитгэлийг (2) тэгшитгэлд орлуулан өнцөг ба шугаман хурдатгалыг олно.

$$a = \frac{g}{1 + \frac{I}{mR^2}}$$

$$\varepsilon = \frac{a}{R} = \frac{g}{R + \frac{I}{mR}}$$

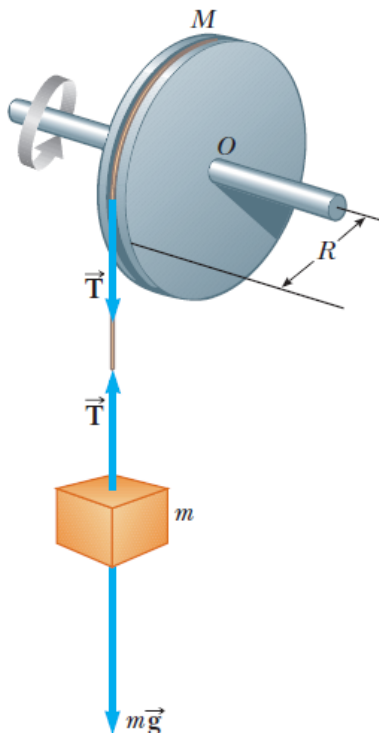
болно.

Жишээ 3.3**Нэгэн төрлийн цул цилиндр**

R радиустай L урттай, M масстай нэгэн төрлийн цилиндр төв тэнхлэгээ (z тэнхлэг-Зураг 3.7) тойрон эргэх үед инерцийн моментыг ол.

Бодолт. Цилиндрийг r радиустай, L урттай, dr зузаантай цилиндрүүдэд хуваая. (Зураг 3.7) Нимгэн цилиндр бүрийг dV эзэлхүүн нь хөндлөн огтлолын талбай ба уртын үржвэрээр тодорхойлогдоно. $dV = dS \cdot L = (2\pi r \cdot dr) \cdot L$ Нэгж эзэлхүүнд ноогдох масс нь ρ бол жижиг хэсгийн масс $dm = \rho dV = \rho 2\pi r \cdot L \cdot dr$ болно. dm массыг $I = \int r^2 dm$ тэгшитгэлд орлуулбал инерцийн момент

$$I_z = \int r^2 dm = 2\pi g L \int_0^R r^3 dr = \frac{1}{2} \pi \rho L R^4$$



Зураг 3.6

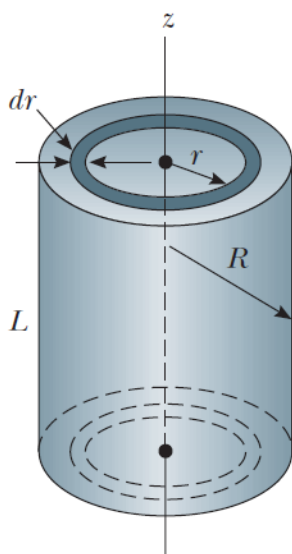
болно.

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \pi R^2 \cdot L$$

учраас инерцийн момент нь

$$I_z = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 L R^2 = \frac{m R^2}{2}$$

болно.



Зураг 3.7

Жишээ 3.4

**Хэлбэлзэж буй саваа**

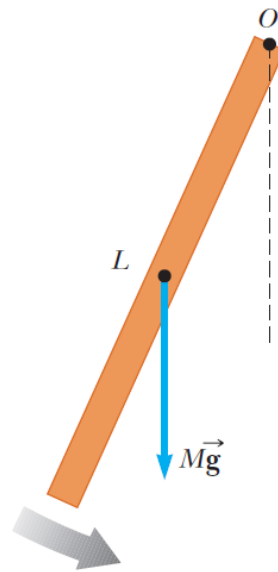
M масстай L урттай савааг нэг үзүүрээс нь бэхэлж босоо тэнхлэгтэй харьцангуй хэлбэлзүүлэв (3.8 –р зураг). Хөдөлгөөний далайц маш бага бол хэлбэлзлийн үеийг ол.

Бодолт. Бид өмнө нь саваа нэг үзүүрээ дайрсан тэнхлэгийг тойрон эргэх үед инерцийн момент нь $\frac{1}{3}ML^2$ байдаг тухай үзсэн. Массын төвөөс эргэлтийн тэнхлэг хүртэлх зай $L/2$ тул $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}}$ –р тэгшитгэлд орлуулж хэлбэлзлийн үеийг олно:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{1}{3}ML^2}{Mg\frac{L}{2}}} = 2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}}.$$

Дасгал. Метрийн урттай шугамын нэг үзүүрийг бэхэлж хэлбэлзлийн үеийг нь ол.

Хариулт. 1.64 с



Зураг 3.8

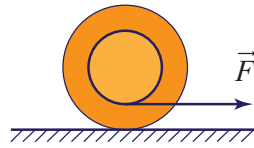


3.3 Шинжлэх даалгавар

1. Өнхөрч байгаа дугуйн хөдөлгөөнийг ямар хөдөлгөөнүүдийн нийлбэрт задалж болох вэ?
2. Өнхөрч байгаа R радиустай дугуй v хурдтай давшин хөдөлж байгаа бол түүний тэнхлэгээ тойрон эргэх өнцөг хурд ямар байх вэ?
3. Цагариг хэвтээ гадаргуу дээр тогтмол хурдтайгаар гулсахгүйгээр өнхөрнө. Цагаригийн эргэх ба давших хөдөлгөөний кинетик энергүүдийн харьцааг ол.
4. Тэнхлэгээ тойрон ω өнцөг хурдтай эргэн өнхөрч байгаа дугуйн давших хурдыг ол.
5. Нэгэн төрлийн 2 өөр цилиндрийг ижилхэн налуу хавтгайн орой дээрээс тайван байдлаас зэрэг гулсахгүйгээр өнхрүүлэв. Аль цилиндр түрүүлж налуу гадаргын ёроолд хүрэх вэ?
6. Дугуй хэвтээ хавтгай дээр v хурдтай хөдөлнө. Дугуйн хамгийн арын цэгийн хурдыг ол.
7. Дугуй хэвтээ хавтгай дээр v хурдтай хөдөлнө. Дугуйн хамгийн урд цэгийн хурдыг ол.
8. Биеийн массын төв гэж юу вэ? Түүнийг яаж олох вэ?
9. Хүчний момент гэж юу вэ? Түүний чиглэлийг яаж тогтоох вэ?
10. Эргэх биеийн тэнцвэрийн нөхцөлийг бичнэ үү?
11. Импульсын моментыг тодорхойл.
12. Эргэх хөдөлгөөний инерцийн хэмжигдхүүнийг тодорхойл.
13. Эргэх хөдөлгөөний хувьд Ньютоны 2-р хуулийг бич.
14. Инерцийн моментийг өөрчилж болох уу?
15. Ямар нөхцөлд импульсын момент хадгалагдах вэ?
16. Штейнерийн теоремыг тайлбарла.
17. Өнхөрч байгаа биеийн кинетик энергийг яаж олох вэ?
18. Эргэж байгаа хатуу биеийн импульсыг моментыг тодорхойл.
19. Ямар тохиолдолд хатуу биеийн импульсын моментыг $\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$ хэлбэртэй бичиж болох вэ?
20. y тэнхлэгийн эерэг координат дээр байгаа биед z тэнхлэгийн эерэг чигт чиглэсэн хүч үйлчлэв. Энэ хүчний моментыг чиглэлийг ол.
21. x тэнхлэгийн эерэг координат дээр байгаа биед хүч үйлчлэв. Энэ хүчний координатын эхтэй харьцуулсан хүчний моментыг вектор z тэнхлэгийн сөрөг чигтэй давхцана. Хүчний чиглэлийг ол.
22. Биед z тэнхлэгийн эерэг чигт чиглэсэн хүч үйлчлэх ба энэ хүчний моментыг вектор y тэнхлэгийн сөрөг чигтэй давхцана. Бие хаана байх вэ?



23. Хувийн цаг гэж юу вэ?
24. Хувийн урт гэж юу вэ?
25. Эйнштейний харьцангуйн тусгай онолын постулатыг хэлнэ үү.
26. Лоренцын хувиргалтаас ямар мөрдлөгүүд гардаг вэ?
27. Саваа түүний төвийг дайрсан түүнд перпендикуляр тэнхлэгийг тойрон релятив өнцөг хурдтай эргэнэ. Саваа урт өөрчлөгдөх үү? Яагаад?
28. Утас ороосон дамар гөлгөр хэвтээ хавтгай дээр тайван байв. Утасны дагуу F хүч үйлчилсэн бол дамар хаашаа ямар хөдөлгөөн хийх вэ? (Зураг 3.9)

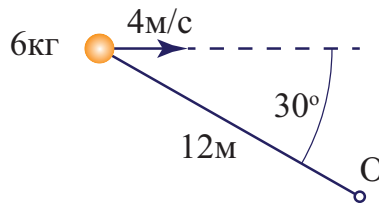


Зураг 3.9

29. Утас ороосон дамар үрэлттэй хэвтээ хавтгай дээр тайван байв. Утасны дагуу F хүч үйлчилсэн бол дамар хаашаа ямар хөдөлгөөн хийх вэ? (3.9 –р зураг)
30. Үрэлтгүйгээр эргэх сандал дээр байгаа эмэгтэй гараа алдлахад түүний кинетик энерги өөрчлөгдөх үү? Яагаад?

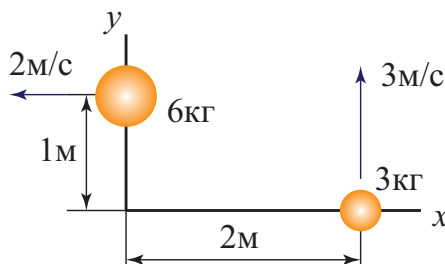
3.4 Тооцоот даалгавар

- 0.5м радиустай дугуй хэвтээ гадарга дээр гулсахгүйгээр өнхөрнө. Дугуй тайван байдлаас брад/с² тогтмол өнцөг хурдатгалтайгаар хөдөлсөн. $t = 0$ –ээс $t = 3$ с хооронд дугуйн төвийн явах замыг ол.
- Цилиндр ба шалны хоорондох статик үрэлтийн коэффициент 0.4 байв. Цилиндрийн тэгш хэмийн тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент $I = \frac{mR^2}{2}$ бол цилиндр гулсахгүйгээр өнхрөх максимум хурдатгалыг ол.
- Ижилхэн хоёр диск ($I = \frac{mR^2}{2}$ инерцийн моменттой) ижилхэн хурдтайгаар хэвтээ хавтгайгаар хөдөлж байгаад налуу нь ижил хавтгайнуудаар өгсөв. А диск гулсахгүйгээр харин В диск үрэлтгүйгээр өгссөн. А диск шалнаас дээш 12см өгсөөд буцаж өнхөрсөн бол В диск шалнаас дээш ямар өндөрт хүрээд буцаж гулссан бэ?
- $R = 6$ см радиустай цилиндр хэвтээ барзгар гадаргуу дээр байв. Цилиндр ба гадаргын хоорондох кинетик үрэлтийн коэффициент 0.3 байв. Анх цилиндр эргэхгүй ба массын төвийн хурд нь 7м/с байсан. 2с –н дараа массын төвийн хурд ба өнцөг хурд ямар болох вэ?
- 6кг масстай бие баруун тийш 4 м/с хурдтай хөдөлнө. Биеийн О цэгтэй харьцуулсан импульсын моментыг ол. (Зураг 3.10).



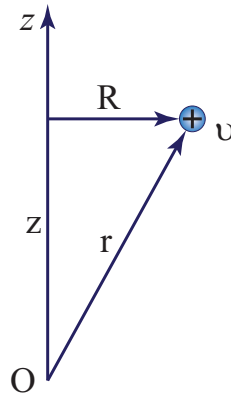
Зураг 3.10

- Зурагт үзүүлснээр x, y хавтгайд 2 бие хөдөлнө. Координатын эхтэй харьцуулсан системийн нийт импульсын моментыг ол. (Зураг 3.11)

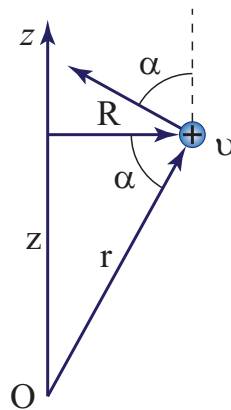


Зураг 3.11

- 2кг масстай бие 0.5м радиустай тойргоор 12 рад/с өнцөг хурдтайгаар эргэнэ. Тойрог x, y хавтгайтай параллель байх ба түүний төв нь z тэнхлэг дээр координатын эхээс 0.75м зайтай байна. Биеийн координатын эхтэй харьцуулсан импульсын моментыг ол. (Зураг 3.12)
- 2кг масстай бие 0.5м радиустай тойргоор 12 рад/с өнцөг хурдтайгаар эргэнэ. Тойрог x, y хавтгайтай параллель байх ба түүний төв нь z тэнхлэг дээр координатын



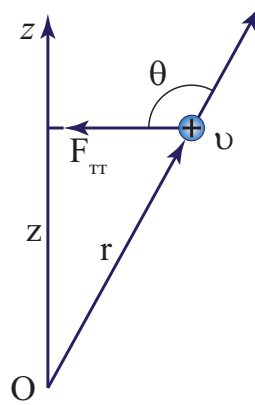
Зураг 3.12



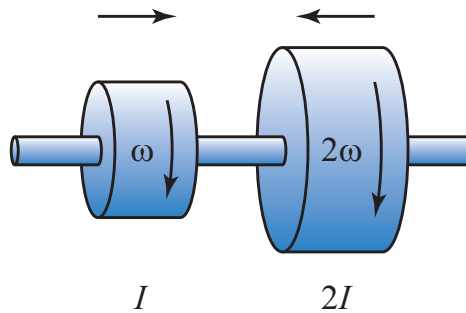
Зураг 3.13

эхээс 0.75м зайтай байна. Биеийн координатын эхтэй харьцуулсан импульсын моментын z байгуулагчийг ол. (Зураг 3.13)

9. 2кг масстай бие 0.5м радиустай тойргоор 12 рад/с өнцөг хурдтайгаар эргэнэ. Тойрог x, y хавтгайтай параллель байх ба түүний төв нь z тэнхлэг дээр координатын эхээс 0.75м зайтай байна. Биеийн координатын эхтэй харьцуулсан импульсын моментын x, y хавтгай дахь байгуулагчийг ол. (Зураг 3.13)
10. 2кг масстай бие 0.5м радиустай тойргоор 12 рад/с өнцөг хурдтайгаар эргэнэ. Тойрог x, y хавтгайтай параллель байх ба түүний төв нь z тэнхлэг дээр координатын эхээс 0.75м зайтай байна. Биед үйлчлэх хүчний моментыг координатын эхтэй харьцуулан ол. (Зураг 3.14)
11. Хоёр диск нэг гол дээр суусан ба үрэлт багатайгаар эргэнэ. 1-р диск I инерцийн моменттой ба ω өнцөг хурдтайгаар эргэнэ. 2-р диск $2I$ инерцийн моменттой ба зурагт үзүүлснээр 1-р дисктэй ижил чиглэлд 2ω өнцөг хурдтайгаар эргэнэ. Хоёр дискийг голын дагуу аажмаар түлхэн нийлүүлж холбов. Системийн өнцөг хурд ямар болох вэ? (Зураг 3.15)
12. 2кг масстай бие x тэнхлэг дээр координатын эхлэлээс эерэг чиглэлд 3м зайд тайван байсан ба $\vec{a} = 4\vec{i} - 3\vec{j}$ хурдатгалтайгаар хөдлөв. 2с-н дараа биеийн координатын эхлэлтэй харьцуулсан импульсын момент ямар болох вэ?
13. 2кг масстай бие x тэнхлэг дээр координатын эхлэлээс эерэг чиглэлд 3м зайд тайван



Зураг 3.14

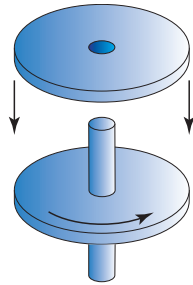


Зураг 3.15

байсан ба $\vec{a} = 4\vec{i} - 3\vec{j}$ хурдатгалтайгаар хөдлөв. 2с-н дараа координатын эхлэлтэй харьцуулсан биед үйлчлэх хүчний момент ямар болох вэ?

14. Хоорондоо 100м зайтай байрлал дээр 0.6мс-н хугацааны завсартай 2 үйл явдал болов. 2 үйл явдал нэг цэгт болох координатын системийн хурдыг ол.
15. 0.95с хурдтай хөдлөх 1м урттай шугамын уртыг үл хөдлөх тэнхлэг дээр түүний урд ба хойд төгсгөлүүдийн цэгүүдийн координатыг нэгэн зэрэг хэмжиж олов. Шугамтай хамт хөдөлж байгаа цагаар урд ба хойд төгсгөлүүдийн цэгүүдийн координатыг хэмжсэн хугацааны зөрүү ямар байх вэ?
16. Электроны хурдыг 0.9с –с 0.95с болтол ихэсгэхэд шаардагдах ажлыг ол.
17. 0.95с хурдтай электроны импульсыг ол.
18. 1кг масстай блок 0.5м радиустай тойргоор 10рад/с өнцөг хурдтай тойрно. Тойрог xy хавтгайтай параллель ба z тэнхлэг дээр координатын эхээс 0.5м зайтай төвтэй байна. Координатын эхтэй харьцангуй импульсын моменты z байгуулагчийг ол.
19. 1кг масстай блок 0.5м радиустай тойргоор 10рад/с өнцөг хурдтай тойрно. Тойрог xy хавтгайтай параллель ба z тэнхлэг дээр координатын эхээс 0.5м зайтай төвтэй байна. Координатын эхтэй харьцангуй импульсын моменты xy хавтгай дахь байгуулагчийг ол.
20. Харьцангуй онолоор m_0 масстай бөөм ямар хурдтай хөдөлбөл импульс нь $2m_0c$ болох вэ?

21. I инерцийн моменттой дугуй босоо тэнхлэгийг тойрон ω_0 өнцөг хурдтай эргэнэ. $2I$ инерцийн моменттой дугуй зурагт үзүүлснээр түүнийг дээрээс унасан бол дугуйнууд хамтдаа эргэх өнцөг хурдыг ол. (Зураг 3.16)



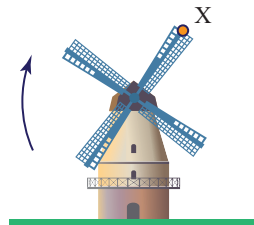
Зураг 3.16

22. Нэгэн төрлийн диск ба бөмбөрцөг нь тэнцүү масстай, ижил радиустай тэдгээрийн төвийг дайрсан тэнхлэгүүдийг тойрон чөлөөтэй эргэх боломжтой. Тэдгээрийн ирмэгт шүргэгчээр ижилхэн хүч үйлчилсэн бол t хугацааны дараа аль нь их импульсын моменттой болох вэ?
23. R радиустай I инерцийн моменттой эргэвчийн дээгүүр тохсон утасны нэг үзүүрт m_1 масстай ачаа нөгөө үзүүрт m_2 масстай ачааг бэхлэв. m_1 масстай ачаа v хурдтайгаар доош хөдлөв. Утас эргэвчин дээгүүр гулсахгүй бол энэ системийн эргэвчийн төвтэй харьцуулсан импульсын моментыг ол.
24. R радиустай эргэвч түүний төвийг дайрсан хэвтээ тэнхлэгийг тойрон чөлөөтэй эргэх боломжтой. Эргэвчийн дээгүүр тохсон утасны нэг үзүүрт m_1 масстай ачаа нөгөө үзүүрт m_2 масстай ачааг бэхлэв. Ачаануудад үйлчлэх гадны хүчний моментыг эргэвчийн төвтэй харьцуулан ол.
25. x тэнхлэгийн дагуу $0.6c$ хурдтай хөдөлж байгаа цаг $x = 0$ координатыг дайрах үед хугацаа тэгийг зааж байв. x тэнхлэг дээр $x = 180m$ координатыг дайрах үе дэх цагийн заалт ямар байх вэ?
26. Хоёр электрон лабораторын системд эсрэг чиглэн $0.7c$ хурдтай хөдөлнө. Электронуудын бие биетэйгээ харьцангуй хурд ямар байх вэ?
27. m тайвны масстай бие $0.6c$ хурдтай хөдөлнө. Түүний кинетик энерги ямар байх вэ?
28. m масстай биеийг хэвтээ чигт α өнцөг үүсгэн v_0 хурдтай шидэв. t хугацааны дараах биеийн импульсын моментыг түүний анх шидсэн цэгтэй харьцуулан олно уу.
29. m масстай биеийг хэвтээ чигт α өнцөг үүсгэн v_0 хурдтай шидэв. t хугацааны дараах биед үйлчлэх хүчний моментыг түүний анх шидсэн цэгтэй харьцуулан олно уу.
30. Тодорхой өндрөөс m масстай биеийг хэвтээ чиглэлд v_0 хурдтай шидэв. t хугацааны дараахь биеийн импульсын моментыг түүний анх шидсэн цэгтэй харьцуулан олно уу.



3.5 Тест

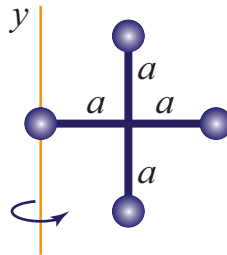
1. Жигд эргэж байгаа дугуй 10с-д 100 удаа эргэнэ. Өнцөг хурд нь:
А. 0.31рад/с В. 0.63рад/с
С. 31рад/с D. 63рад/с
2. Дугуй хүрд π рад/с² өнцөг хурдатгалтай эргэнэ. Хүрд π рад өнцөг эргэсний дараа өнцөг хурд нь 2π рад/с болсон бол хугацааны энэ завсрын эхэнд ямар өнцөг хурдтай байсан бэ?
А. 0 В. 1рад/с
С. π рад/с D. $\pi\sqrt{2}$ рад/с
3. Жигд удаашран эргэж байсан сэнсний тухайн эгшин дэх өнцөг хурд 12эрг/с байсан ба 6с-н дараа зогсов. Энэ хугацаан дахь дундаж өнцөг хурдатгалыг рад/с²-аар илэрхийл.
А. $\frac{1}{\pi}$ В. 2
С. 4 D. 4π
4. Дугуйны анхны өнцөг хурд 18рад/с байв. Дугуй 2рад/с² хурдатгалтайгаар удаашран эргэсэн бол ямар хугацааны дараа түүний өнцөг хурд анхны өнцөг хурдны эсрэг чиглэлтэй 18рад/с хэмжээтэй болох вэ?
А. 3с В. 6с
С. 9с D. 18с
5. Дугуй тайван байдлаас $6\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}t^2$ өнцөг хурдатгалтай эргэв. t хугацаанд ямар өнцгөөр эргэх вэ?
А. $\frac{1}{8}t^4$ рад В. $\frac{1}{4}t^4$ рад
С. $\frac{1}{2}t^4$ рад D. t^4 рад
6. Дугуй тайван байдлаас $6\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}t^2$ өнцөг хурдатгалтай эргэв. 10 бүтэн эргэх хугацааг ол.
А. 2.8с В. 3.3с
С. 4с D. 5с
7. Зурагт үзүүлсэн сэнс удаашран эргэнэ. Х цэгийн хурдатгал хаашаа чиглэх вэ? (Зураг 3.17)
А. ✓ В. ↘
С. ↓ D. ←



Зураг 3.17

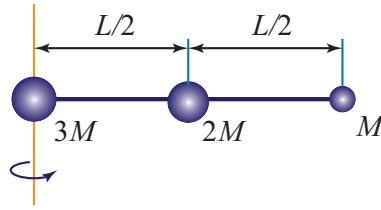
8. 3см диаметртэй дугуйг 4м урт утсаар ороов. Дугуй анх тайван байсан ба 2рад/с² хурдатгалтай эргэсэн бол утас хөвөрч дуусах хугацааг ол.
А. 0.82с В. 2с
С. 8с D. 16с

9. Эргэх дугуйн захын цэгийн тангенциал хурдатгалыг радиусын яг дундах цэгийн тангенциал хурдатгалд харьцуулсан харьцаа байна.
 А. 1 В. 2
 С. 4 D. 1/4
10. Эргэх дугуйн захын цэгийн нормаль (төвд тэмүүлэх) хурдатгалыг радиусын яг дундах цэгийн нормаль хурдатгалд харьцуулсан харьцаа байна.
 А. 1 В. 2
 С. 4 D. 1/4
11. Үл хөдлөх тооллын системд x тэнхлэг дээр $x = -a$ ба $x = a$ координаттай цэгүүдэд хоёр үйл явдал зэрэг болсон. x тэнхлэгийн эерэг чиглэлд хөдөлж байгаа ажиглагчид
 А. $x = a$ цэгт болсон үйл явдал түрүүлнэ.
 В. $x = -a$ цэгт болсон үйл явдал түрүүлнэ
 С. a ба ажиглагчийн хурдаас хамаарна
 D. хоёр үйл явдал зэрэг болно.
12. Сансрын хөлгийн аялсан хугацааг үл хөдлөх тооллын системээс хэмжихэд Δt байв. Хөлгийн багийнхны цагаар хэмжсэн хугацаа $\Delta t'$ байв. Зөв хариуг олно уу.
 А. Δt нь хувийн цаг болох ба $\Delta t'$ -ээс бага
 В. Δt нь хувийн цаг болох ба $\Delta t'$ -ээс их
 С. $\Delta t'$ нь хувийн цаг болох ба Δt -ээс бага
 D. $\Delta t'$ нь хувийн цаг болох ба Δt -ээс их
13. Дугуй тогтмол $\pi \frac{\text{рад}}{c^2}$ өнцөг хурдатгалтайгаар эргэнэ. Тодорхой хугацаанд π рад өнцөг эргэх үед эцсийн хурд $2\pi \frac{\text{рад}}{c}$ болсон бол хугацааны энэ завсрын эхэнд өнцөг хурд ямар байсан бэ?
 А. тэг В. $1 \frac{\text{рад}}{c}$
 С. $\pi \frac{\text{рад}}{c}$ D. $\pi\sqrt{2} \frac{\text{рад}}{c}$
14. Тус бүр нь m масстай ижилхэн бөмбөгүүдийг хөнгөн саваагаар холбов. $m = 2\text{кг}$, $a = 1\text{м}$ бол y тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн моментийг ол. (Зураг 3.18)
 А. $4\text{кг} \cdot \text{м}^2$ В. $12\text{кг} \cdot \text{м}^2$
 С. $9.6\text{кг} \cdot \text{м}^2$ D. $4.8\text{кг} \cdot \text{м}^2$



Зураг 3.18

15. M , $2M$, $3M$ масстай бөмбөгүүдийг зурагт үзүүлснээр L урттай саваанд бэхлэв. Зүүн үзүүрт перпендикуляр тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн моментийг ол. (Зураг 3.19)
 А. $\frac{ML^2}{2}$ В. $\frac{3ML^2}{2}$
 С. ML^2 D. $\frac{3ML^2}{4}$



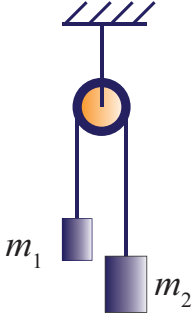
Зураг 3.19

16. M масстай R радиустай бөмбөрцгийн гадаргад шүргэгч тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн моментыг ол.
- A. MR^2 B. $\frac{2}{5}MR^2$
 C. $\frac{3}{5}MR^2$ D. $\frac{7}{5}MR^2$
17. Тодорхой хүчээр дугуйнд үйлчлэв. Хүчний моментыг ихэсгэхийн тулд:
- A. хүч радиусын дагуу үйлчилнэ.
 B. хүч дугуйны ирмэгт үйлчилнэ.
 C. хүч дугуйны ирмэгт шүргэгчээр үйлчилнэ
 D. хүч дугуйны тэнхлэгт чиглэн үйлчилнэ.
18. Цилиндрийн радиус 0.1м ба өндөр нь 0.2м болно. Түүний тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн момент $0.02\text{кг} \cdot \text{м}^2$. Цилиндрийг утсаар ороож 1Н хүчээр татав. Цилиндрийн өнцөг хурдатгал:
- A. $2.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ B. $5 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$
 C. $10 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ D. $15 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$
19. Хоорондоо 100м зайтай цэгүүд дээр болсон 2 үйл явдал хугацааны зөрүү 0.37мкс болно. Хоёр үйл явдлын хувийн цагийг хэмжих цагийн хурдыг ол.
- A. 0 B. 0.45с
 C. 1.5с D. 0.9с
20. Пуужин $8.4 \cdot 10^{15}\text{м}$ зайг тогтмол хурдтайгаар 1 жилд туулав. Аяллын эхлэл ба төгсгөлд болсон 2 үйл явдлын хоорондох хугацааг пуужингийн цагаар олно уу.
- A. 0.21жил B. 0.49жил
 C. 1жил D. 2.2жил



3.6 Бие даалтын бодлого

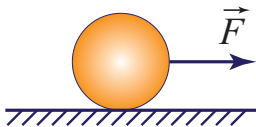
1. Зурагт үзүүлснээр массыг нь тооцохгүй байж болох үл сунах утас $m_1 = 1\text{кг}$ ба $m_2 = 2\text{кг}$ масстай ачаануудын үйлчлэлээр эргэвч дээгүүр үрэлтгүй гулсана. Ачаануудын хүндийн төвийн хурдатгалыг ол.



2. Нэгэн төрлийн бөмбөрцөг налуу хавтгайгаар уруудан өнхөрнө.
 - а) Бөмбөрцгийн төвийн хурдатгал $0.1g$ бол хавтгай хэвтээ чиглэлтэй үүсгэх өнцгийг ол.
 - б) Энэ хавтгайгаар үрэлтгүй гулсах блокын хурдатгал $0.1g$ –ээс их үү?, бага уу?, тэнцүү юу? Яагаад?



3. Зурагт үзүүлснээр хэвтээ чиглэсэн 10Н хүч 0.3м радиустай 10кг масстай дугуйнд үйлчилнэ. Дугуй хэвтээ гадарга дээгүүр өнхрөх ба түүний төвийн хурдатгал $0.6\text{м}/\text{с}^2$ байв.
- Дугуйнд үйлчлэх үрэлтийн хүчний хэмжээ ба чиглэлийг ол.
 - Дугуйн эргэлтийн тэнхлэгтэй харьцуулсан инерцийн моментийг ол.



4. 1000кг масстай машин 10кг масстай 4 дугуйтай. Машин хөдөлж байх үед түүний дугуйнуудын эргэлтийн кинетик энерги нийт кинетик энергийн хэдэн хувьтай тэнцэх вэ?

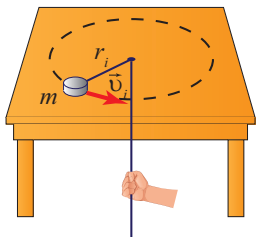


5. $(-2\text{м}, 0, 4\text{м})$ координаттай цэгт үйлчлэх
- а) $F_{1x} = 2\text{Н}, F_{1y} = F_{1z} = 0$ байгуулагчтай \vec{F}_1 хүч,
б) $F_{2x} = 0, F_{2y} = 2\text{Н}, F_{2z} = 4\text{Н}$ байгуулагчтай \vec{F}_2 хүчний моментуудыг координатын эхтэй харьцуулан ол.

6. Биед координатын эхтэй харьцангуй хоёр хүчний момент үйлчилнэ: x тэнхлэгийн эерэг тэнхлэг рүү чиглэсэн $2\text{Н} \cdot \text{м}$ хэмжээтэй \vec{M}_1 , y тэнхлэгийн сөрөг тэнхлэг рүү чиглэсэн $4\text{Н} \cdot \text{м}$ хэмжээтэй \vec{M}_2 . Координатын эхтэй харьцуулсан биеийн импульсын момент \vec{L} ба $(d\vec{L})/dt$ –г ол.



7. Зурагт үзүүлсэн биеийн масс $m = 0.12\text{кг}$. Бие анх эргэлтийн тэнхлэгээс 40см зайтай байсан ба 80 см/с хурдтай үрэлтгүйгээр гулсан эргэнэ. Утсыг ширээнд байгаа нүхээр доош 15см доош татав. Ачаан дээр хийсэн ажлыг ол.



8. 0.95с хурдтай электроны импульсыг ол.



9. Хоёр электрон лабораторын системд эсрэг чиглэн 0.7c хурдтай хөдөлнө. Электро-нуудын бие биетэйгээ харьцангуй хурд ямар байх вэ?

10. Тэрбумтан 1992 онд түүнд 15 жилийн нас үлдсэн гэж хэлсэн. Тэрээр дэлхийгээс 0.8c хурдтай сансрын хөлгөөр аялан буцаж ирсэн бол түүний сүүлийн шинэ жил хэдэн онд болох вэ?



Семинар 4

Хэлбэлзэл, хий шингэний урсгал

4.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Нил орчны механик: Гукын хууль

$$F = -kx \quad (4.1)$$

$$k = E \frac{S}{l} \quad (4.2)$$

Энд: F –харимхайн хүч, k –уян харимхайн коэффициент, x –шилжилт, E –Юнгийн модуль, l –биеийн урт, S –хүч үйлчилж байгаа биеийн хөндлөн огтлолын талбай

$$E = \frac{F}{S} \quad (4.3)$$

F –деформацлах хүч, S –деформацын хүч үйлчилж буй талбай, E –деформацийн хүч дэл.

Бернуллийн тэгшитгэл: Идеал шингэний стационар урсгалын шугамын дагуу:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = const \quad (4.4)$$

ρ –шингэний (хий) нягт, h –өндөр, g –хүндийн хүчний хурдатгал, v –хоолойн хөндлөн огтлолоор урсан өнгөрөх шингэний (хий) урсгалын хурд, P –статик даралт (хий ба шингэний молекулын дулааны хөдөлгөөний үйлчлэлээр үүсэх даралт), $\frac{\rho v^2}{2}$ –динамик даралт (хий ба шингэний урсгалд перипендикуляр гадаргууд учруулах даралт), ρgh –гидростатик даралт (хий ба шингэний хүндийн хүчний үйлчлэлээр ёроолд учруулах даралт) **Хий шингэний урсгалын эсэргүүцэл:** Шингэний урсгалын үеүдийн хооронд үүсэх зууралтын үрэлтийн хүч

$$dF = -\eta \frac{dv}{dx} dS \quad (4.5)$$

$\frac{dv}{dx}$ –хурдны градиент, dS –шингэний үеүдийн харьцах гадаргын талбай, η –зуурамтгайн коэффициент

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda \rho \quad (4.6)$$

\bar{v} –дулааны хөдөлгөөний дундаж хурд, λ –чөлөөт замын дундаж урт, ρ –нягт. Орчин дотор v хурдтай хатуу бие хөдлөхөд үүсэх эсэргүүцлийн хүч нь:

а) Орчинд ламинар урсгал үүсэх үед

$$F = -k\eta b v \quad (4.7)$$



η –зуурамтгайн коэффициент, b –биеийн хөндлөн шугаман хэмжээ, k –биеийн хэлбэрээс хамаарах эсэргүүцлийн коэффициент.

b) Биет нь r радиустай бөмбөлөг байвал (Стоксын томъёо):

$$F = -6\pi\eta r v \quad (4.8)$$

c) Орчны урсгал нь хуйларсан (турбулент) бол:

$$F = C_x S v^2 \rho \quad (4.9)$$

S -биеийн хөндлөн огтлолын талбай, ρ -орчны нягт, C_x –биеийн хэлбэрээс хамаарах эсэргүүцлийн коэффициент. Пуазейлийн томъёо:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta l} \quad (4.10)$$

Q нь l урттай r радиустай хоолойн хөндлөн огтлолоор нэгж хугацаанд урсан өнгөрөх зуурамтгай шингэний эзлэхүүн. Энд η шингэний зуурамтгайн коэффициент, ΔP хоолойн хоёр үзүүр дэх даралтын зөрүү.

Рейнольдсын тоо:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu} \quad (4.11)$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (4.12)$$

v шингэний (хий) хурд, R –хоолойн радиус, ν –кинематик зуурамтгайн коэффициент, η –динамик зуурамтгайн коэффициент, $Re_{\text{эг}}$ –Рейнольдсын тооны эгзэгтэй утга. Энэ нь шингэний урсгалын орчноос хамаарна. $Re_{\text{эг}} < Re$ –турбулент урсгал, $Re_{\text{эг}} > Re$ –ламинар урсгал

Идеал хий: Бойль-Мариотын хууль (температур тогтмол процессыг изотерм процесс гэх бөгөөд даралт эзлэхүүний үржвэр хадгалагдана)

$$PV = const \quad (4.13)$$

Энд: P –хийн даралт, V –эзлэхүүн

Гей-Люсакийн хууль (даралт тогтмол процессыг изобар процесс гэх бөгөөд эзлэхүүн ба температурын харьцаа хадгалагдана)

$$\frac{V}{T} = const \quad (4.14)$$

Шарлийн хууль (эзлэхүүн тогтмол процессыг изохор процесс гэх бөгөөд даралт температурын харьцаа хадгалагдана)

$$\frac{P}{T} = const \quad (4.15)$$

Идеал хийн төлвийн тэгшитгэл:

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (4.16)$$

m –хийн масс, M –хийн молийн масс, $\frac{m}{M}$ харьцаа нь хийн молийн тоо, R –хийн түгээмэл тогтмол $R = 8.31 \text{Ж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$

Дальтоны хууль

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (4.17)$$



P –хийн даралт, P_i нь хольцод орж байгаа хий тус бүрийн парциал даралт.

Хийн молекул кинетикийн онолын үндэс: Хийн молекулын давших хөдөлгөөний дундаж кинетик энерги ба температурын холбоо :

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT \quad (4.18)$$

k –Больцманы тогтмол. Молекул кинетик онолын үндсэн тэгшитгэл:

$$P = \frac{1}{3}n \cdot m_0 \cdot \bar{v}^2 \quad (4.19)$$

m_0 - молекулын масс, n –бодисын концентраци $n = \frac{N}{V}$. Хийн даралт P ба хийн молекулын давших хөдөлгөөний дундаж кинетик энерги \bar{E}_k хоёрын холбоо:

$$P = \frac{2}{3}n\bar{E}_k \quad (4.20)$$

Хийн молекулын чөлөөт замын дундаж урт:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n_0} = \frac{kT}{\sqrt{2}\sigma^2 P} \quad (4.21)$$

Энд: σ - молекулын эффиктив диаметр

Хүндийн хүчний орон дахь молекулын концентрацийн түгэлт буюу Больцманы түгэлт:

$$n = n_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}} \quad P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}} \quad (4.22)$$

Молекулын хурдаараа хуваарилагдах буюу Максвеллийн түгэлтийн хууль:

$$f(v) = \frac{dn}{ndv} = \left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot 4\pi v^2 \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} \quad (4.23)$$

Хамгийн их магадлалт хурд:

$$v_m = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} \quad (4.24)$$

Арифметик дундаж хурд:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \quad (4.25)$$

Дундаж квадрат хурд:

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad (4.26)$$

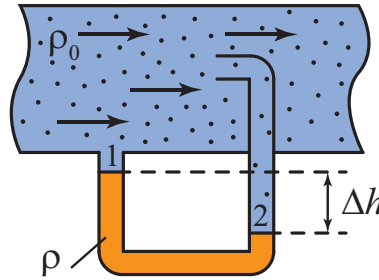
m_0 –нэг молекулын масс.



4.2 Жишээ бодлого

Жишээ 4.1

S хөндлөн огтлол бүхий хий дамжуулах хоолойд тэнхлэгийн дагууд Питогийн хоолойг байрлуулжээ. Шингэнт манометр дэх түвшний зөрүү Δh , хий ба манометрийн шингэний нягт ρ ба хийн нягт ρ_0 бол хоолойн огтлолоор нэгж хугацаанд урсах хийн эзэлхүүнийг ол.



Зураг 4.1

Бодолт: Шингэнт манометрийн шингэний 1 ба 2 –р гадаргууд учрах даралтууд нь:
 $P_1 = P_0$,

$$P_2 = P_0 + \frac{\rho_0 v^2}{2} \quad (4.27)$$

Энд: P_0 –хийн статик даралт, $\frac{\rho_0 v^2}{2}$ –динамик даралт болно. Шингэний статик тэнцвэрийн нөхцлөөс: $\Delta P = \rho g \Delta h = P_2 - P_1$

(4.27) –г тооцвол: $\rho g \Delta h = \frac{\rho_0 v^2}{2}$

Хийн урсгалын хурд:

$$v = \sqrt{\frac{2\rho g \Delta h}{\rho_0}} \quad (4.28)$$

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta x \cdot S}{\Delta t} = v \cdot S = S \cdot \sqrt{\frac{2\rho g \Delta h}{\rho_0}}$$

Жишээ 4.2

Тасалгааны агаарын молекулын хамгийн их магадлалт хурд, арифметик дундаж хурд, дундаж квадрат хурдыг тус тус ол. Температур нь 27°C , агаарын моль масс 0.029 кг/моль.

Бодолт: Температурын утга цельсээр байгаа учраас абсолют температурт шилжүүлвэл.

$$T = t^\circ\text{C} + 273 = 27^\circ\text{C} + 273 = 300\text{K}$$

а. Хамгийн их магадлалт хурд:

$$v_m = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8.31 \cdot 300}{0.029}} = 414.6 \text{ м/с}$$



$R = 8.31 \text{ Дж/К} \cdot \text{моль}^{-1}$ – хийн универсаль тогтмол

б. Арифметик дундаж хурд:

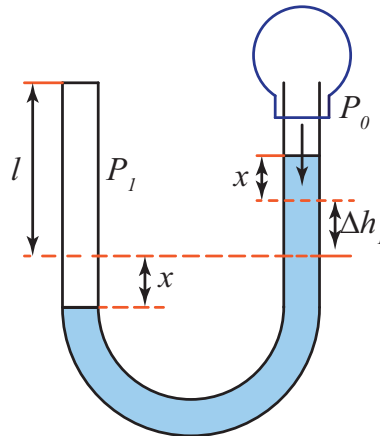
$$\vec{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 8.31 \cdot 300}{3.14 \cdot 0.029}} = 467.99 \text{ м/с}$$

в. Дундаж квадрат хурд:

$$\vec{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8.31 \cdot 300}{0.029}} = 507.8 \text{ м/с}$$

Жишээ 4.3

Мөнгөн устай U хэлбэртэй шилэн манометрийн онгорхой дахь мөнгөн усны түвшин нь битүү хоолойныхоос $\Delta h_1 = 10$ см өндөр байжээ. Онгорхой хоолой дээр дарах даралт нь агаарын хэвийн даралт юм. Энэ үед битүү хоолойн үзүүрт орших хийн баганын урт $l = 20$ см байв. Манометрийн онгорхой хоолойн үзүүрийг сийрэгжсэн агаартай баллонд холбоход мөнгөн усны түвшнүүдийн ялгаа $\Delta h_2 = 26$ см болж нэмэгджээ. Баллон доторх агаарын даралтыг ол.



Зураг 4.2

Бодолт:

$$\Delta h_2 = \Delta h_1 + 2x \quad x = \frac{\Delta h_2 - \Delta h_1}{2} = \frac{26 \text{ см} - 10 \text{ см}}{2} = 8 \text{ см}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Битүү хоолой дахь анхны ба эцсийн даралт нь $P_1 = P_0 + \rho g \Delta h_1$

$$P_2 = P + \rho g \Delta h_2 \quad P_0 = 760 \text{ мм.у.б}$$

$$\rho g \Delta h_1 = \Delta P_1 = 100 \text{ мм.у.б} \quad \rho g \Delta h_2 = \Delta P_2 = 260 \text{ мм.у.б}$$

Изотермийн тэгшитгэлээр

$$(P_0 + \Delta P_1) S l = (P + \Delta P_2) S (l + x)$$

$$P = (P_0 + \Delta P_1) \frac{l}{l + x} - \Delta P_2 =$$

$$= (760 \text{ мм.у.б} + 100 \text{ мм.у.б}) \frac{20 \text{ см}}{28 \text{ см}} - 260 \text{ мм.у.б} = 354.28 \text{ мм.у.б}$$

**Жишээ 4.4**

$M = 10$ г масс бүхий хүчилтөрөгч $P = 304$ кПа даралттай $t_1 = 10^\circ\text{C}$ температуртай байв. Түүнийг тогтмол даралттайгаар халаахад эзлэхүүн нь $V_2 = 10$ л болж тэлэв. Хийн анхны эзлэхүүн, халаасны дараах температур, халаахын өмнөх ба дараах нягтыг тус тус ол.

Бодолт:

$$\begin{aligned} PV_1 &= \frac{m}{M}RT_1 & PV_2 &= \frac{m}{M}RT_2 \\ \text{изобар процесс} & \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{T_1}{T_2} \end{aligned}$$

$$V_1 = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_1}{P} = \frac{10\text{г}}{32\text{г/моль}} \cdot \frac{8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{К}\cdot\text{моль}} \cdot 283\text{ К}}{304 \cdot 10^3\text{Па}} = 2.4 \cdot 10^{-3}\text{м}^3$$

$$T_2 = \frac{PV_2M}{mR} = \frac{304 \cdot 10^3\text{Па} \cdot 10^{-2}\text{м}^3 \cdot 32\text{г/моль}}{10\text{г} \cdot 8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{К}\cdot\text{моль}}} = 1170.6\text{ К}$$

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} = 4.16\text{кг/м}^3 \quad \rho_2 = \frac{m}{V_2} = 1\text{кг/м}^3$$



4.3 Шинжлэх даалгавар

1. Ижил хэлбэр, ижил хэмжээтэй хоёр өөр материалтай бөмбөг агаарт унана. Агаарын эсэргүүцлийг тооцохгүй бол аль нь их хурдатгалтай байх вэ? Өргөх хүчийг тооцох.
2. Шингэнд хөвж байгаа биед үйлчлэх хүчний моментыг тооцохын тулд өргөх хүчийг биеийн түрсэн усны төвд үйлчлэнэ гэж үзнэ. Яагаад ?
3. Ойж байгаа бөмбөг гармоник хөдөлгөөн хийх үү?
4. Стакантай усанд хэсэг мөс хөвж байв. Хэрэв мөс бүрэн хайлбал усны төвшин өөрчлөгдөх үү? Яагаад ?
5. Гармоник хэлбэлзэл хийж байгаа системийн далайцыг хоёр дахин нэмэгдүүлсэн бол үеийн өөрчлөлтийг ол.
6. Осцилляторт гаднаас синусоид хүч үйлчилнэ. Резонансын үеийн далайц албадмал хүчээр тодорхойлогдоно. Яагаад ?
7. Ердийн гармоник хэлбэлзэл хийж буй биеийн хурд ба хурдатгалын фазуудын зөрүү нь ямар байх вэ?
8. Торричеллын томъёоны гаргалгааг хийнэ үү
9. Онгоцны далавчийг ажигла. Яагаад доод тал нь шулуун байхад дээд тал нь төмбөгөр байдаг вэ? Шалтгааныг тайлбарла.
10. Пүршин дүүжинд түүний хурдтай пропорциональ эсэргүүцлийн хүч ба синусоид гадны хүч үйлчилнэ. Хэлбэлзлийн энергийн алдагдлыг хэрхэн нөхөх вэ?
11. Ердийн гармоник хэлбэлзлийн тэнцвэрийн байрлалын орчим хурд нь ямар байх вэ?
12. Шингэнийг нэг савнаас нөгөө саванд юүлэхдээ аажмаар тонгойлговол савны гадна ханыг дагаж асгардаг. Яагаад ?
13. Гармоник хэлбэлзэл хийж байгаа системийн далайцыг хоёр дахин нэмэгдүүлсэн бол хамгийн их хурд хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
14. Физик дүүжингийн тойрог давтамж ямар байх вэ?
15. Ямар шингэнийг үл шахагдах шингэн гэж үзэх вэ?
16. Оюутан өдөр бүр сургуульдаа очиж сургуулиасаа гэртээ харих үйлдэл нь гармоник хөдөлгөөн мөн үү?
17. Хэлбэлзэгч биед түүний хурдад пропорциональ эсэргүүцлийн хүч ба синусоид гадны хүч үйлчилнэ. Хангалттай хугацааны дараа далайц тогтмол болно. Яагаад ?
18. Юүлүүрийг хоолойд завсаргүй шахаж хийгээд ус хийхэд урдаас усаа тургиад байдагийн шалтгаан юунд байдаг вэ?
19. Бернуллийн хуулийг ямар хадгалах хуулиас гаргах вэ?



20. Гармоник хэлбэлзэл хийж байгаа системийн далайцыг хоёр дахин нэмэгдүүлсэн бол хамгийн их хурдатгал хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
21. Шингэн хэвтээ хоолойгоор урсана. Энэ үед урсгалын хурд ихсэхэд даралт багасгахыг ямар хуулиар тайлбарлах вэ?
22. Математик дүүжингийн уртыг хоёр дахин ихэсгэвэл хэлбэлзлийн үе нь хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
23. Ердийн гармоник хэлбэлзлийн тэнцвэрийн байрлалын орчим хурдатгал нь ямар байх вэ?
24. Математик дүүжингийн утасны татах хүч ямар байх вэ?
25. Гармоник хэлбэлзэл хийж байгаа системийн далайцыг хоёр дахин нэмэгдүүлсэн бол бүрэн энерги хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
26. Шингэний урсгал тасралтгүйн тэгшитгэлийг ямар хадгалах хуулиас гаргах вэ?
27. Ердийн гармоник хэлбэлзлийн шилжилт нь максимум байх үед хурдатгал ямар байх вэ?
28. Хэлбэлзлийг унтраагч хүч нь түүний хурдал пропорциональ. Түүнд синусоид хүч үйлчилбэл далайц нь хангалттай хугацааны дараа далайц ямар байх вэ?
29. Ижил хэлбэр, ижил хэмжээтэй хоёр өөр материалтай бөмбөг агаарт унана. Агаарын эсэргүүцлийг тооцохгүй бол аль нь бага хурдатгалтай байх вэ? Өргөх хүчийг тооцох.
30. Ердийн гармоник хэлбэлзлийн шилжилт нь максимум байх үед хурд ямар байх вэ?



4.4 Тооцоот даалгавар

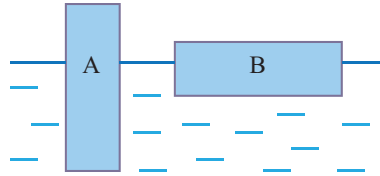
1. U хэлбэртэй харилцах савны 2 хоолойн нэг нь нөгөөгөөсөө 2 дахин их диаметртэй. Хоолойг үл шахагдах шингэнээр дүүргэсэн ба бүлүүрүүдээр тагласан. W ажлаар нарийн хоолойн бүлүүрийг доош шилжүүлсэн бол шингэн өргөн хоолойн бүлүүр дээр ямар ажил хийх вэ?
2. Усанд $750\text{кг}/\text{м}^3$ нягттай үрэл дээш түлхэгдэн хөөрнө. Усны дотоод үрэлтийг тооцохгүй бол ямар хурдатгалтай хөөрөх вэ?
3. Савтай усны түвшин ёроолоосоо 170см өндөрт байна. Савны ёроолд жижиг нүх гаргахад ус нүхээр ямар хурдтай гарах вэ?
4. Цилиндр хоолойгоор ус урсана. 1см диаметртэй огтлолоор ус $3\text{м}/\text{с}$ хурдтай урсана. Тэгвэл 3см диаметртэй огтлолоор ус ямар хурдтай урсах вэ?
5. Хатуу биеийн эзэлхүүн 8см^3 , масс нь 20г байв. Түүнийг $2\text{г}/\text{см}^3$ нягттай шингэнд хийхэд масс нь хэд болох вэ?
6. 210г масстай биеийг $2\text{г}/\text{см}^3$ нягттай шингэнд хийхэд масс нь 30г -аар багассан. Биеийн нягтыг ол.
7. Цилиндр хоолойн радиус 1.5см ба түүгээр $7\text{ м}/\text{с}$ хурдтай ус урсана. Хоолойн хөндлөн огтлолоор нэгж хугацаанд урсах усны массыг ол.
8. Хэлбэлзэл $x = (3\text{м}) \cos(40t)$ тэгшитгэлээр өгөгдөв. Энд x нь метрээр, t нь секундээр өгөгдөв. Хамгийн их хурдатгалыг ол.
9. Цилиндр хоолойн радиус 1.5см ба түүгээр $7\text{ м}/\text{с}$ хурдтай ус урсана. Хоолойн хөндлөн огтлолоор нэгж хугацаанд урсах усны эзэлхүүнийг ол.
10. Хоолойгоор урсах шингэний хувьд v_2/v_1 харьцааг ол.
11. Цилиндр хоолойгоор ус урсана. 4см диаметртэй огтлолоор ус $8\text{м}/\text{с}$ хурдтай урсана. Тэгвэл 2см диаметртэй огтлолоор ус ямар хурдтай урсах вэ?
12. M масстай k хаттай пүрш A далайцтай хэлбэлзэнэ. Пүршний хэлбэлзлийн максимум хурдатгалыг ол.
13. Усанд $650\text{кг}/\text{м}^3$ нягттай үрэл дээш түлхэгдэн хөөрнө. Усны дотоод үрэлтийг тооцохгүй бол ямар хурдатгалтай хөөрөх вэ?
14. Цилиндр хоолойгоор ус урсана. 6см диаметртэй огтлолоор ус $5\text{м}/\text{с}$ хурдтай урсана. Тэгвэл 8см диаметртэй огтлолоор ус ямар хурдтай урсах вэ?
15. Усаар дүүргэсэн том савны ёроолд 2 нүх гаргав. Нэг нь нөгөөгөөсөө 2 дахин их радиустай. Аль нүхээр гарах усны хурд их байх вэ?
16. Ердийн гармоник хэлбэлзэлийн үе нь T болно. $t = 0$ үед бие тэнцвэрийн байраа дайрна. Дараах хугацаануудын алинд нь тэнцвэрийн байрнаасаа хамгийн хол байх вэ?
17. Пүршин дүүжин 10сек -д 20 бүтэн хэлбэлзэл хийнэ. Хэлбэлзлийн үеийг ол.
18. Цилиндр хоолойгоор ус урсана. 5см диаметртэй огтлолоор ус $4\text{м}/\text{с}$ хурдтай урсана. Тэгвэл 6см диаметртэй огтлолоор ус ямар хурдтай урсах вэ?



19. Пүршин дүүжин 10сек-д 20 бүтэн хэлбэлзэл хийнэ. Хэлбэлзлийн давтамжийг ол.
20. U хэлбэртэй харилцах савны хоёр хоолойн нэг нь нөгөөгөөсөө 3 дахин их диаметр-тэй. Нарийн хоолойг бөглөсөн бөглөөг сугалахад 15Н хүч шаардагдана. Хоолойг усаар дүүргэсэн ба ямар хүчээр үйлчилбэл бөглөөг сугалах вэ?
21. 250Н/м хаттай пүршний үзүүрт бэхэлсэн 0.3кг масстай блок хэлбэлзэнэ. Системийн энерги 8Ж бол бөөмийн хамгийн их хурдыг ол.
22. 200г масстай биеийг $2\text{г}/\text{см}^3$ нягттай шингэнд хийхэд масс нь 20г-аар багассан. Биеийн нягтыг ол.
23. Пүршин дүүжин 10сек-д 20 бүтэн хэлбэлзэл хийнэ. Хэлбэлзлийн өнцөг давтамжийг ол.
24. x тэнхлэгийн дагуу ердийн гармоник хэлбэлзэл хийж байгаа бие $x = 10\text{см}$ -ээс $x = 150\text{см}$ -ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Нэг төгсгөлөөс нөгөө төгсгөлд очиход 0.25сек зарцуулсан бол хэлбэлзлийн далайц, давтамжийг ол.
25. Пүршин дүүжингийн хэлбэлзлийн үе T байв. Хэлбэлзлийн далайцыг 2 дахин ихэсгэвэл үе нь ямар болох вэ?
26. Хэлбэлзэл $x = (2\text{м}) \cos(50t)$ тэгшитгэлээр өгөгдөв. Энд x нь метрээр, t нь секундээр өгөгдөв. Хамгийн их хурдыг ол.
27. M масстай k хаттай пүрш A далайцтай хэлбэлзэнэ. Пүршний хэлбэлзлийн максимум хурдыг ол.
28. Хатуу биеийн эзэлхүүн 6см^3 , масс нь 30г байв. Түүнийг $3\text{г}/\text{см}^3$ нягттай шингэнд хийхэд масс нь хэд болох вэ?
29. 200Н/м хаттай пүршний үзүүрт бэхэлсэн 0.25кг масстай блок хэлбэлзэнэ. Системийн энерги 6Ж бол бөөмийн хамгийн их хурдыг ол.
30. 0.2кг масстай 500Н/м хаттай пүрш 5м/с хурдтай хэлбэлзэнэ. Пүршний хэлбэлзлийн далайцыг ол.

4.5 Тест

1. Хоёр ижилхэн мөс зурагт үзүүлснээр хөвж байв (4.3 –р зураг). Аль нь зөв дүгнэлт вэ?
А. А мөсөнд үйлчлэх Архимедийн хүч В мөсөнд үйлчлэх Архимедийн хүчнээс их
В. А мөсөнд үйлчлэх Архимедийн хүч В мөсөнд үйлчлэх Архимедийн хүчнээс бага
С. А мөсөнд үйлчлэх Архимедийн хүч В мөсөнд үйлчлэх Архимедийн хүчтэй тэнцүү
D. Тодорхойлох боломжгүй



Зураг 4.3

2. Хэвтээ хоолойгоор урсаж байгаа үл шахагдах идеал шингэний статик даралт 7Па -аар багассан бол динамик даралт нь яаж өөрчлөгдөх вэ?
А. 7Па -аар ихэснэ В. 7Па -аар багасна
С. 3Па -аар багасна D. өөрчлөгдөхгүй
3. Устай савны ёроолд жижиг нүх гаргахад нүхээр ус 3м/с хурдтай урсан гарах бол усан баганы өндрийг ол.
А. 10см В. 30см
С. 45см D. 35см
4. Модон бөмбөгний эзэлхүүний 60% нь усан дотор байсан бол модны нягтыг ол.
А. 750кг/м^3 В. 700кг/м^3
С. 600кг/м^3 D. 500кг/м^3
5. 50Н жинтэй металл биеийг усанд живүүлэхэд жин нь 45Н болов. Хүндийн хүчний (татах) хурдатгал ямар байх вэ?
А. 6м/с^2 В. 8м/с^2
С. 10м/с^2 D. 9м/с^2
6. U хэлбэртэй харилцах савны 2 хоолойн нэг нь нөгөөгөөсөө 2 дахин их диаметртэй. Нарийн хоолойг бөглөсөн бөглөөг сугалахад 16Н хүч шаардагдана. Хоолойг усаар дүүргэсэн ба ямар хүчээр үйлчилбэл бөглөөг сугалах вэ?
А. 4Н В. 16Н
С. 32Н D. 64Н
7. Савтай усны түвшин ёроолоосоо 150см өндөрт байна. Савны ёроолд жижиг нүх гаргахад ус нүхээр ямар хурдтай гарах вэ?
А. 5.5м/с В. 7.5м/с
С. 8.5м/с D. 6.5м/с
8. Шингэний урсгал ямар үед жигд байх вэ?
А. Шингэний тухайн молекулын хурд өөрчлөгдөхгүй
В. Шингэний цэгүүдэд даралт өөрчлөгдөхгүй
С. Тухайн цэгт шингэний хурд өөрчлөгдөхгүй
D. Шингэний нягт шингэний цэгүүдэд өөрчлөгдөхгүй



9. Ямар шингэнийг үл шахагдах шингэн гэж үзэх вэ?
- А. Тухайн цэгт шингэний даралт хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөхгүй
В. Тухайн цэгт шингэний хурд хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөхгүй
С. Шингэний хурд бүх цэгт ижил
D. Шингэний нягт бүх цэгт ижил хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөхгүй
10. Пүршин жинлүүрт өлгөсөн болд бөмбөрцгийг өөр өөр шингэнд живүүлж жинг хэмжив. Аль тохиолд жинлүүр их хэмжээг заах вэ?
- А. Бага нягттай шингэнд
В. Их нягттай шингэнд
С. Живүүлсэн гүн их үед
D. Живүүлсэн гүн бага үед
11. Хоолойн нэг хэсэгт 0.1м/с хурдтай урсаж байгаа ус хоолойн 3 дахин бага диаметр-тэй хэсэгт ямар хурдтай урсах вэ?
- А. 0.3м/с В. 0.9м/с
С. 0.66м/с D. 10.76м/с
12. Болд ба хөнгөнцагаан биеүдийн усан доторх жингүүд ижилхэн байсан. Аль нь их эзэлхүүнтэй вэ?
- А. Болд В. Хөнгөн цагаан
С. Тэнцүү D. Тодорхойлох боломжгүй
13. Цахилгаан шатны шалан дээр байгаа хувинтай усанд бие хөвж байв. Цахилгаан шат дээш хурдатгалтай хөдөлсөн бол биеийн живсэн хэмжээ нь:
- А. Ихэснэ В. Багасна
С. Хэвээрээ D. Тодорхойлох боломжгүй
14. Ижил хэлбэр, хэмжээтэй хоёр өөр материалтай бөмбөг агаарт унана. Агаарын эсэргүүцлийг тооцохгүй бол аль нь их хурдатгалтай байх вэ?
- А. Хүнд нь В. Ижил хурдатгалтай
С. Хөнгөн нь D. Тодорхойлох боломжгүй
15. Ижил хэлбэр, хэмжээтэй хоёр өөр материалтай бөмбөг агаарт унана. Агаарын эсэргүүцлийг тооцохгүй бол аль нь их хурдатгалтай байх вэ?
- А. Нягт багатай нь В. Ижил хурдатгалтай
С. Нягт ихтэй нь D. Тодорхойлох боломжгүй
16. Пүршин хэлбэлзэл $x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi)$ тэгшитгэлээр өгөгдөв. Анхны шилжилт тэгтэй тэнцүү, анхны хурд x тэнхлэгийн сөрөг чиглэлд байсан бол анхны фаз ϕ :
- А. 0 В. $\frac{\pi}{2}$ рад
С. π рад D. $\frac{3\pi}{2}$ рад
17. Хэлбэлзэл $x = 2 \cos(50t)$ тэгшитгэлээр өгөгдөв. Энд x нь метрээр, t нь секундээр өгөгдөв. Хамгийн их хурдыг ол.
- А. 5.2м/с В. 20.5м/с
С. 100м/с D. 50м/с
18. Пүршин хэлбэлзэл $x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi)$ тэгшитгэлээр өгөгдөв. Бие анх x тэнхлэгийн сөрөг чиглэлд, анхны хурд нь x тэнхлэгийн сөрөг чиглэлд байсан бол анхны фаз ϕ нь ямар утгуудын хооронд байх вэ?
- А. π -ээс 2π рад В. $\frac{\pi}{2}\pi$ -ээс π рад
С. $\frac{\pi}{4}$ -ээс π рад D. $\frac{\pi}{2}$ -ээс 2π рад



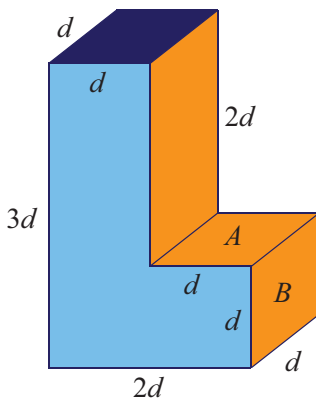
19. 50Н жинтэй металл биеийг усанд живүүлэхэд жин нь 45Н болов. Хүндийн хүчний (татах) хурдатгал ямар байх вэ?
- A. $6\text{м}/\text{с}^2$ B. $8\text{м}/\text{с}^2$
C. $10\text{м}/\text{с}^2$ D. $9\text{м}/\text{с}^2$
20. Савтай усны түвшин ёроолоосоо 180см өндөрт байна. Савны ёроолд жижиг нүх гаргахад ус нүхээр ямар хурдтай гарах вэ?
- A. $5\text{м}/\text{с}$ B. $7\text{м}/\text{с}$
C. $8\text{м}/\text{с}$ D. $6\text{м}/\text{с}$



4.6 Бие даалтын бодлого

1. Физик дүүжин 0.45Гц давтамжтай гармоник хэлбэлзэл хийнэ. Дүүжингийн масс 2.2кг , эргэлтийн тэнхлэгээс массын төв хүртлэх зай 0.35м бол дүүжингийн инерцийн моментийг ол.

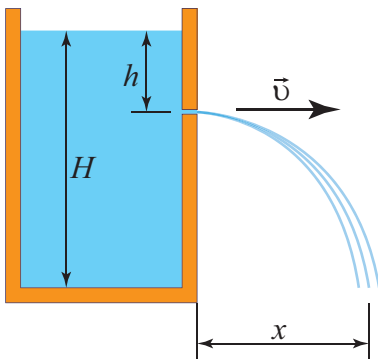
2. L хэлбэрийн загасны аквариумыг усаар дүүргэж дээд талыг нь таглаагүй орхив. $d = 5\text{м}$ бол ус (а) А тал, (b) В талуудад ямар хүчээр үйлчлэх вэ?





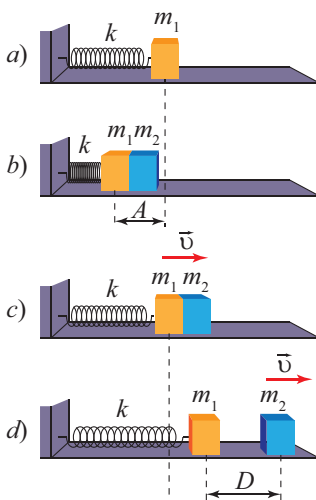
3. Бие 3м радиустай тойргоор цагийн зүүний эсрэг 8рад/с өнцөг хурдтай эргэнэ. $t = 0$ үед биеийн x координат 2м байсан ба баруун тийш хөдлөв. (а) x координатын хугацааны хамаарлыг ол. (b) Дурын t хугацаанд биеийн хурд, хурдатгалын x тэнхлэг дээрх байгуулагчуудыг ол.

4. Саван дахь усны түвшин 40см байв. Усны түвшинээс доош $h = 10\text{см}$ зайд нүх гаргахад ус v хурдтай олгойдон гарав. (а) Ус нүхнээс хэвтээ чиглэлийн дагуу ямар x зайд шалан дээр асгарах вэ? (b) x -ийн утга ижил байхын тулд хоёр дах нүхийг дээрээс ямар зайд цоолох вэ?



5. 1.9см дотоод диаметртай уян хоолойг нэг бүр нь 0.13 см диаметр бүхий 24 нүхтэй зүлэг услагчид холбов. Хоолойгоор урсах усны хурд 0.91м/с бол зүлэг услагчийн ус нүх бүрээр ямар хурдтай шүршигдэн гарах вэ?

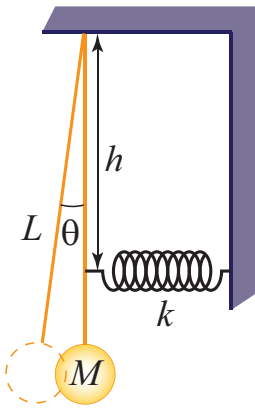
6. $m_1 = 9\text{кг}$ масстай биеийг $k = 100\text{Н/м}$ хаттай пүршинд холбож хананд бэхлэхэд тэнцвэрт байсан (Зураг *a*). $m_2 = 7\text{кг}$ масстай хоёр дах биеийг аажмаар m_1 масстай бие рүү түлхэн пүршийг 0.2м хэмжээгээр шахав (Зураг *b*). Системийг суллан тавихад хоёр бие баруун тийш үрэлтгүй хөдлөв. m_1 масстай бие тэнцвэрийн байранд очиход m_2 масстай бие m_1 -ээс салах ба (Зураг *c*) v хурдтай баруун тийш хөдөлнө. Пүршний хамгийн их суналтын үед биеүд хоорондоо ямар зайтай байх (Зураг *d*) вэ?





7. Биеийг тэнцвэрийн байрнаас 1см хазайлгаж барьж байгаад суллан тавив. Хэлбэлзлийн унтралтын логарифм декремент 0.02 бол хэлбэлзэл зогстол бие ямар зам туулах вэ? Унтралтыг бага гэж үзнэ.

8. L урттай савааны үзүүрт M масстай бөмбөгийг бэхэлж дүүжлэв. Бэхэлсэн цэгээс h зайд k хаттай пүршийг холбов. Системийн хэлбэлзлийн үеийг ол. Хэлбэлзлийг бага гэж үз. Савааны массыг тооцохгүй.





9. Материал цэг $\omega = 25$ рад/с давтамжтай хэлбэлзэнэ. Анхны эгшинд цэгийн хурд тэг байсан ба түүний шилжилт далайцаас $\eta = 1.02$ дахин бага байсан бол унтралтын коэффициентийг ол.

10. $l = 50$ см урттай математик дүүжингийн энерги $\tau = 5.2$ мин-д $\eta = 4 \cdot 10^4$ дахин багассан бол хэлбэлзлийн чансааг ол.



Семинар 5

Термодинамик

5.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Термодинамикийн 1 –р хууль. Системийн авсан дулаан нь (δQ) түүний дотоод энергийн нэмэгдүүлэх (dU) болон гадагшаа хийх ажилд (δA) зарцуулагдана. Энэ нь энерги хадгалагдах хууль юм.

$$\delta Q = dU + \delta A \quad (5.1)$$

Дулааны хөдөлгөөнд нөөцлөгдөж байгаа нийт энергийг дотоод энерги гэнэ.

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT \quad (5.2)$$

i –чөлөөний зэргийн тоо, M –молийн масс, m –биеийн масс.

Дотоод энергийн өөрчлөлт нь:

$$dU = \frac{i}{2} \nu R dT \quad (5.3)$$

Молекулийг давших, эргэлдэх, хэлбэлзэх хөдөлгөөнд оршдог материал цэгүүдийн систем гэж үзэж болно. Огторгуй дахь биеийн хөдөлгөөний бүрэн тодорхойлоход хүрэлцээтэй хамгийн бага үл хамаарах координатын тоо буюу хөдөлгөөний тоог чөлөөний зэрэг гэнэ. Ажил нь механик хөдөлгөөний өөрчлөлтийг үнэлэх скаляр хэмжигдэхүүн бөгөөд термодинамик системд

$$A = \int P dV \quad (5.4)$$

Нэг биеэс нөгөө биед ажил хийхгүйгээр шилжих энергийг дулааны тоо хэмжээ буюу дулаан гэнэ. Биеийн температурыг нэгжээр нэмэгдүүлэхэд шаардагдах дулааны тоо хэмжээг биеийн дулаан багтаамж гэнэ.

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (5.5)$$

Нэгж масстай биеийн дулаан багтаамжийг хувийн дулаан багтаамж гэнэ.

$$C_0 = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} = \frac{C}{m} \quad (5.6)$$

1моль бодисын дулаан багтаамж буюу молийн дулаан багтаамж :

$$C_M = \frac{dQ}{\nu dT} = \frac{C}{\nu} \quad (5.7)$$



Молийн ба хувийн дулаан багтаамжийн холбоо:

$$C_M = M \cdot C_0 \quad (5.8)$$

Хийн эзлэхүүн тогтмол үеийн молийн дулаан багтаамж:

$$C_V = \frac{i}{2}R \quad (5.9)$$

Тогтмол даралттай хийн молийн дулаан багтаамж:

$$C_P = \frac{i+2}{2}R, \quad C_P = C_V + R \quad (5.10)$$

Изотерм процесст $T = const$ тул $dU = 0$ термодинамикийн 1-р хуулиар $\delta Q = \delta A$ болно. Изотерм процессын ажил:

$$A = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (5.11)$$

Изобар процесст $P = const$ бөгөөд ажил нь :

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) \quad (5.12)$$

Гадаад орчинтой дулаан солилцоогүйгээр ($\delta Q = 0$) явагдах процессыг адиабат процесс гэнэ. $\delta A = -dU$ Адиабат процессын тэгшитгэл:

$$PV^\gamma = const, \quad TV^{\gamma-1} = const, \quad TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = const \quad (5.13)$$

Адиабатын илтгэгч :

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (5.14)$$

Адиабат процессын ажил:

$$A = -\Delta U = -\nu \cdot C_V \Delta T \quad \text{буюу} \quad A = \frac{\nu RT}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (5.15)$$

Дулаан багтаамж нь тогтмол байх процессийг политроп процесс гэнэ. Политроп процессын тэгшитгэлүүд:

$$PV^n = const, \quad TV^{n-1} = const, \quad TP^{\frac{1-n}{n}} = const \quad (5.16)$$

$$n = \frac{C_P - C}{C_V - C} \quad \text{- политропын илтгэгч}$$

энд C нь политроп процессийн молийн дулаан багтаамж

Дулаан дамжих явцад тодорхой хэсгийг механик ажил болгон хувиргадаг төхөөрөмжийг дулааны машин гэдэг. Дулааны машин гурван биеэс тогтоно. Үүнд: T_1 – температур бүхий бие – халаагч, T_2 - температур бүхий бие - хөргөгч, халаагчаас дулаан аван тэлж ажил хийдэг-ажлын бие. Дулааны машины ашигт үйлийн коэффициент:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (5.17)$$



Q_1 –халаагчаас авсан дулаан, Q_2 –хөргөгчид өгсөн дулаан. Хоёр изотерм, хоёр адиабатаас тогтсон циклийг Карногийн цикл гэнэ. Карногийн циклийн ашигт үйлийн коэффициент:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (5.18)$$

T_2 –хөргөгчийн температур, T_1 –халаагчийн температур. Системийн бүрдүүлж буй молекулуудын хөдөлгөөний эмх цэгцгүйн (замбараагүй) хэмжээсийг энтропи гэнэ. S –энтропи. Термодинамик системийн энтропийн өөрчлөлт:

$$\delta S = \frac{\delta Q}{T}; \quad \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (5.19)$$

Адиабат процессийн явцад идеал хийн энтропийн өөрчлөлт: $\Delta S = 0$
Термодинамикийн үндсэн тэгшитгэлийг энтропи ашиглан бичвэл

$$TdS = PdV + dU \quad (5.20)$$

Системийн энтропи ба термодинамик магадлалын холбоо:

$$S = k \cdot \ln W \quad (5.21)$$

W –системийн термодинамик магадлал. Буцах температур даралтын хамаарлыг тодорхойлох Клапейрон-Клазиусын тэгшитгэл:

$$dT = \frac{T(V_2 - V_1)}{L} \cdot dP \quad (5.22)$$

L –фазын шилжилтийн молийн дулаан, $(V_2 - V_1)$ –нэгдүгээр фазаас хоёрдугаар фазад шилжих үеийн молийн эзлэхүүний өөрчлөлт, T –шилжилтийн температур. Шингэний даралт dP -ээр нэмэгдэхэд буцлах температур dT -ээр ихсэнэ.

Бодит хийн төлвийн тэгшитгэл буюу Ван-дер-Ваальсын тэгшитгэл:

$$\left(P + \nu^2 \frac{a}{V^2} \right) (V - \nu \cdot b) = \nu RT \quad (5.23)$$

Үүнд: a –даралтын засвар, $b = 4\nu N_A$ эзлэхүүний засвар, $\nu = \frac{1}{6}\pi \cdot d^3$ нэг молекулын хувийн эзлэхүүн, $\nu = \frac{m}{M}$ –молийн тоо. Ван-Дер-Ваальсийн a, b засвар ба 1 моль хийн критик параметруудын хоорондох хамаарал: $T_k = \frac{8a}{27bR}$, $V_k = 3b$, $P_k = \frac{a}{27b^2}$ Үүний P_k –нэг моль хийн критик даралт, T_k –критик температур, V_k –критик эзлэхүүн.

Диффузын тэгшитгэл:

$$dm = -D \left(\frac{dn}{dx} \right) m_0 dS dt \quad (5.24)$$

dm нь dt хугацаанд dS талбайгаар шилжсэн масс, m_0 нэг молекулын масс, $\frac{dn}{dx}$ –концентрацийн градиент, D –диффузын коэффициент:

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda \quad (5.25)$$

Дулаан дамжуулалтын тэгшитгэл буюу Фурьегийн хууль:

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dx} dS \cdot dt \quad (5.26)$$



dQ нь dt хугацаанд dS талбайгаар дамжих дулаан, $\frac{dT}{dx}$ температурын градиент, χ –дулаан дамжуулалатын коэффициент:

$$\chi = \frac{1}{3} C_V \cdot \rho \bar{v} \lambda \quad (5.27)$$

C_V –Эзлэхүүн тогтмол үеийн дулаан багтаамж, ρ –нягт, \bar{v} – дундаж хурд, λ – чөлөөт замын дундаж урт

Шингэний гадаргын l урттай хэсгийн таталцалын хүч нь

$$F_T = \sigma \cdot l \quad (5.28)$$

σ –гадарга таталцалын коэффициент

Шингэний гадаргуу муруйхад гадаргын дотор үүсэх нэмэлт даралт

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (5.29)$$

ΔP –Лапласын даралт, R_1, R_2 –нь гадаргын нормалыг агуулсан перпендикуляр хоёр хавтгайгаар огтлоход үүсэх муруйлтын радиусууд.

Нарийн хоолойгоор шингэний түвшин хөөрөх буюу буурах үзэгдлийг капиллярын үзэгдэл гэнэ.

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta \quad (5.30)$$

h –хөөрөлтийн өндөр, ρ –шингэний нягт, r –капиллярын радиус, θ –шингэний гадаргуу хоолойн ханатай үүсгэх өнцөг.

Бүрэн норгох бол:

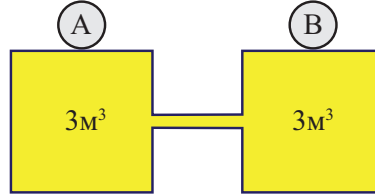
$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (5.31)$$



5.2 Жишээ бодлого

Жишээ 5.1

Тус бүр 3м^3 эзлэхүүнтэй хоорондоо холбоотой хоёр савны А-д 700кПа даралттай 95°C температуртай, В-д 350кПа даралттай 205°C температуртай агаар орших бөгөөд дулаан тусгаарлагдсан орчинд холиход энтропийн өөрчлөлт ямар байх вэ? (Зураг 5.1)



Зураг 5.1

Бодолт:

$V = V_1 + V_2 = 6\text{м}^3$ Хий тус бүрийн массыг олбол.

$$m_1 = \frac{P_1 V_1 M}{RT_1} = \frac{700 \cdot 10^3 \text{Па} \cdot 3\text{м}^3 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}}{8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 368\text{К}} = 19.91\text{кг}$$

$$m_2 = \frac{P_2 V_2 M}{RT_2} = \frac{350 \cdot 10^3 \text{Па} \cdot 3\text{м}^3 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}}{8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 478\text{К}} = 7.66\text{кг}$$

Дулаан тусгаарлагдсан учир холиход дотоод энерги нь хадгалагдана.

$$U = U_1 + U_2 \implies U = \frac{i}{2} \nu RT = \nu C_V T$$

Холисны дараах температур нь

$$\nu_1 C_V T_1 + \nu_2 C_V T_2 = (\nu_1 + \nu_2) C_V T \implies T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = 398.5\text{К}$$

Хий тус бүрийн парциал даралтыг олбол

$$P_{11} = \frac{m_1 RT}{MV} = \frac{19.91\text{кг} \cdot 8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 398.5\text{К}}{6\text{м}^3 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}} = 378.9\text{кПа}$$

$$P_{22} = \frac{m_2 RT}{MV} = \frac{7.66\text{кг} \cdot 8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 398.5\text{К}}{6\text{м}^3 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}} = 145.78\text{кПа}$$

Хий тус бүрийн хувьд энтропийн өөрчлөлтийг олбол

$$dQ = TdS$$

Энд $PdV + VdP = \nu RdT$ -ээс PdV орлуулбал

$$dS = \frac{1}{T} \left(\nu \frac{i}{2} R dT + \nu R dT - V dP \right) = \nu \frac{i+2}{2} R \frac{dT}{T} - \frac{V}{T} dP = \nu C_P \frac{dT}{T} - \frac{\nu R}{P} dP$$

үүнийг интегралчилбал $\Delta S = \nu C_P \cdot \ln \frac{T}{T_1} - \nu R \cdot \ln \frac{P_{11}}{P_1}$

$$\Delta S_1 = \nu_1 C_P \ln \frac{T}{T_1} - \nu_1 R \ln \frac{P_{11}}{P_1} = \frac{m_1}{M} R \left(\frac{i+2}{2} \ln \frac{T}{T_1} - \ln \frac{P_{11}}{P_1} \right) =$$



$$\frac{19.91\text{кг}}{29 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}} \cdot 8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \left(\frac{7}{2} \ln 1.08 - \ln 0.54 \right) = 4.963\text{кЖ/К}$$

$$\Delta S_2 = \nu_2 C_P \ln \frac{T}{T_2} - \nu_2 R \ln \frac{P_{22}}{P_2} = \frac{m_2}{M} R \left(\frac{i+2}{2} \ln \frac{T}{T_2} - \ln \frac{P_{22}}{P_2} \right) =$$

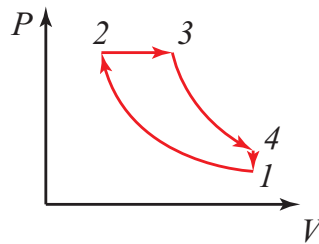
$$\frac{7.66\text{кг}}{29 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}} \cdot 8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \left(\frac{7}{2} \ln 0.83 - \ln 0.41 \right) = 0.57\text{кЖ/К}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 4.963\text{кЖ/К} + 0.57\text{кЖ/К} = 5.533\text{кЖ/К}$$

Системийн нийт энтропи өсч байна.

Жишээ 5.2

0.1МПа даралттай, 300К температуртай агаарыг Дизель циклээр шахахад шахалтын зэрэг, хамгийн их даралт, циклийн ашигт үйлийн коэффициент, гүйцэтгэсэн ажлыг тус тус ол. 1–2 ба 3–4 адиабат процесс, $T_3 = 1400\text{К}$, $T_4 = 700\text{К}$. (Зураг 5.2)



Зураг 5.2. Дизель цикл

Бодолт:

Дизель цикл нь адиабат шахалт, изобар тэлэлт, адиабат тэлэлт, изохор хөргөлтөөс тогтоно. Анхны төлвийн хувийн эзлэхүүнийг олъё

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \implies \frac{V_1}{m} = \frac{RT_1}{P_1 \mu} = \frac{8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300\text{К}}{10^5 \text{Па} \cdot 29 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}} = 0.85 \text{м}^3/\text{кг}$$

Адиабат процессийн тэгшитгэл:

$TV^{\gamma-1} = \text{const}$ $\gamma = \frac{i+2}{i} = 1.4$ Дээрх тэгшитгэлийг ашиглан 3-аас 4-р төлөвт шилжих адиабат процессоос 3-р төлвийн хувийн эзлэхүүнийг олъё.

Энд $V_1 = V_4$

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{1400\text{К}}{700\text{К}} = \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{0.4} \implies \frac{V_1}{V_3} = 2^{2.5} \implies \frac{V_3}{m} = \frac{V_1/m}{2^{2.5}} = 0.15 \text{м}^3/\text{кг}$$

3-р төлвийн даралт нь

$$P_3 = \frac{mRT_3}{\mu V_3} = \frac{RT_3}{\mu(V_3/m)} = \frac{8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 1400\text{К}}{29 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль} \cdot 0.15 \text{м}^3/\text{кг}} = 2.639 \text{МПа} \approx 2.64 \text{МПа}$$

2-оос 3-р төлөврүү изобар учир $P_2 = P_3 = 2.64 \text{МПа}$ Энэ нь циклийн хамгийн их даралт байна.



1-2 адиабат процессын тэгшитгэлээс T_2 -г олъё

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_2 = 764\text{К}$$

Шахалтын зэрэг:

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{2.639\text{Па}}{0.1\text{МПа}}\right)^{1/1.4} = 10.36$$

1-2-р төлөвт хий 10.36 дахин шахагдаж байна.

Циклийн туршид системийн авсан дулаан нь зөвхөн 2-оос 3-р төлөврүү изобараар тэлэх үед авсан дулаан байна.

$$Q_1 = Q_{23} = \nu C_P(T_3 - T_2) = \frac{m}{\mu} C_P(T_3 - T_2) = 638.84\text{кЖ}$$

4-өөс 1-р төлөвт изохороор хөрөх үед дулаан алдна.

$$Q_2 = Q_{41} = \nu C_V(T_4 - T_1) = \frac{m}{\mu} C_V(T_4 - T_1) = 287.2\text{кЖ}$$

Циклийн туршид хийх ажил нь

$$A = Q_1 - Q_2 = 638.84\text{кЖ} - 287.2\text{кЖ} = 351.64\text{кЖ}$$

Циклийн а.ү.к нь

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 55\%$$

Жишээ 5.3

0.1м^3 эзлэхүүнтэй 200°C температуртай азотын хий 1.2МПа даралттай төлвөөс эзлэхүүнийг 0.2м^3 болтол изотермээр тэлүүлэхэд гүйцэтгэсэн ажил, шилжүүлсэн дулаан, энтропийн өөрчлөлтийг тус тус ол.

Бодолт: Изотерм процессд дотоод энерги өөрчлөгдөхгүй

$$\Delta U = 0$$

Хийн масс нь идеаль хийн төлвийн тэгшитгэлээс

$$m = \frac{P_1 V_1 M}{RT} = \frac{1.2 \cdot 10^6 \text{Па} \cdot 0.1 \text{м}^3 \cdot 28 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}}{8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 473\text{К}} = 0.855\text{кг}$$

Изотермийн тэгшитгэлээс эцсийн төлвийн даралтыг олбол

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \Rightarrow P_2 = \frac{V_1}{V_2} P_1 = \frac{0.1\text{м}^3}{0.2\text{м}^3} \cdot 1.2\text{МПа} = 0.6\text{МПа}$$

Одоо тэлэгчийн ажлыг олбол

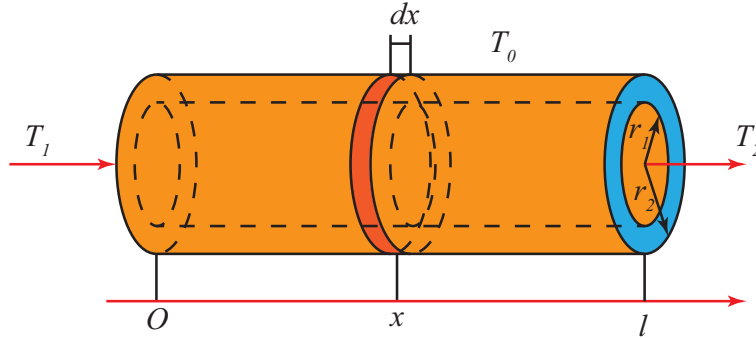
$$A = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{0.855\text{кг}}{28 \cdot 10^{-3} \text{кг/моль}} \cdot 8.31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 473\text{К} \ln 2 = 83.19\text{кЖ}$$

Энэхүү ажил нь гаднаас авсан дулаанаар хийгдэнэ $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = \Delta U + A \Rightarrow Q = A$
Энтропийн өсөлт нь

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{A}{T} = \frac{83.19\text{кЖ}}{473\text{К}} = 0.176\text{кЖ/К} = 176\text{Ж/К}$$

Жишээ 5.4

Гадна радиус нь 2.5см, дотор радиус нь 2см, 10м урт хоолойгоор халуун ус дамжуулна. Усны урсгалын хурд 1м/с ба хоолойд 80°C температуртай ус орж 70°C температуртай болж гарах ба хоолойн гадна орчны температур 20°C бол хоолойн дулаан дамжуулалтын коэффициентыг ол.



Зураг 5.3

Бодолт: Хоолойн dx урттай хэсгийн dt хугацаанд алдах дулаан нь Фурьегийн хуулиар:

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dr} \cdot dx \cdot 2\pi r \cdot dt \tag{5.32}$$

Эндээс хувьсагчаар ялгаж радиал чиглэлд интегралчилбал:

$$\int_{r_1}^{r_2} \left(\frac{dQ}{dt} \right) \cdot \frac{1}{r} \cdot dr = - \int_{T_x}^{T_0} \chi \cdot 2\pi \cdot dx \cdot dT_r$$

$$\frac{dQ}{dt} \cdot \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) = 2\pi\chi \cdot dx(T_x - T_0) \tag{5.33}$$

Энд r_1, r_2 хоолойн радиусууд, $T_x - x$ координаттай хэсгийн усны температур T_0 - гадна орчны температур dx урттай хэсгээр урсах усны dt хугацаанд dT_x температураар хөрөхдөө алдах дулаан нь

$$Q = c_0 m(t_2 - t_1) \quad dm = \rho dV = \rho(\pi r^2) \cdot (vdt)$$

Эдгээр илэрхийлэлүүдийг ашиглан алдсан дулааныг илэрхийлбэл

$$dQ = -\rho\pi r_1^2 v \cdot dt \cdot c_0 \cdot dT_x \tag{5.34}$$

5.34 –ийг 5.33 –р томъёонд орлуулбал:

$$\rho\pi r_1^2 v c_0 dT_x \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) = 2\pi\chi dx(T_x - T_0) \tag{5.35}$$

Эндээс хувьсагчаар ялгаж хоолойн дагууд интегралчилъя.

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{-\rho r_1^2 v c_0 \ln(r_2/r_1)}{2\chi} \cdot \frac{dT_x}{T_x - T_0} = \int_0^l dx \tag{5.36}$$

$$\frac{\rho r_1^2 v c_0 \ln(r_2/r_1)}{2\chi} \cdot \ln \left(\frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0} \right) = l \tag{5.37}$$



Энд T_1 оролтын, T_2 гаралтын усны температур, l хоолойн урт
Дулаан дамжуулалтын коэффициентийг олбол:

$$\chi = \frac{\rho r_1^2 v c_0 \ln(r_2/r_1)}{2l} \cdot \ln\left(\frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}\right)$$

$$\chi = \frac{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \text{ м/с} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 4200 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \ln\left(\frac{2.5 \text{ см}}{2 \text{ см}}\right)}{2 \cdot 10 \text{ м}} \cdot \ln\left(\frac{80^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}}{70^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}}\right)$$

$$\chi = 3.417 \frac{\text{Вт}}{\text{К} \cdot \text{м}}$$



5.3 Шинжлэх даалгавар

1. T температурт хоёр атомт молекултай m масстай идеал хийн дотоод энерги U ямар байх вэ?
2. Идеал хий ба бодит хийн ялгаа юу вэ?
3. Термодинамикийн I хуулийг тайлбарлан бичнэ үү.
4. Термодинамикийн II хуулийг тайлбарлан бичнэ үү.
5. Ажил төлөвийн функц биш болохыг жишээгээр тайлбарлана уу?
6. Хийг дулаан өгөхгүйгээр халааж болох уу? Яагаад?
7. Дулаан нь яагаад төлөвийн функц болдоггүй вэ?
8. Дотоод энергийг яагаад төлөвийн функц гэдэг вэ?
9. Битүү системд явагдах эргэх процессын энтропийн өөрчлөлт ямар байх вэ?
10. Хий адиабатаар тэлэх үед температур яаж өөрчлөгдөх вэ?
11. Хийг адиабатаар шахах үед температур яаж өөрчлөгдөх вэ?
12. Адиабат процессыг даралт температурын хамаарлыг тайлбарлана уу?
13. Политроп процессын дулаан багтаамжийг тодорхойлж, политропын илтгэгчээс хэрхэн хамаарахыг тайлбарлана уу?
14. Дулаан дамжуулалтын хуулийг бичиж, тайлбарлана уу?
15. Диффузийн үзэгдлээр зөөгдөх масс ямар хэмжигдэхүүнүүдээс хэрхэн хамаарахыг тайлбарлана уу?
16. Дотоод үрэлтийн үзэгдлээр зөөгдөх импульс ямар хэмжигдэхүүнүүдээс хэрхэн хамаарахыг тайлбарлана уу?
17. Изотерм процессийн үед энтропийн өөрчлөлтийг томъёолж тайлбарлана уу?
18. Изобар процессийн үед энтропийн өөрчлөлтийг томъёолж тайлбарлана уу?
19. Изохор процессийн үед энтропийн өөрчлөлтийг томъёолж тайлбарлана уу?
20. Критик температур гэж юу вэ?
21. Критик изотерм гэж юу вэ?
22. Хэт халсан төлөвийг хэрхэн гарган авах вэ?
23. Критик температураас их температурт шингэн хийн төлөвт изотермээр хэрхэн шилжихийг тайлбарлана уу.
24. Критик температураас бага температурт шингэн изотермээр хийн төлөвт шилжих үзэгдэлийг тайлбарлана уу.
25. Ван-дер-ваальсын тэгшитгэл ба изотермийг тайлбарлана уу.



26. Шингэний гадарга таталцалыг тайлбарлана уу.
27. Капилярын үзэгдэлийг тайлбарлана уу.
28. Ханасан уурын температур даралтаас хамаарах хамаарлыг тайлбарлана уу.
29. Битүү чанагчинд хоол яагаад хурдан болдог вэ?
30. Усыг буцалгахгүйгээр 700°C хүртэл халааж болох уу? Яаж?



5.4 Тооцоот даалгавар

1. 560г азотыг 50К –ээр хөргөхөд дотоод энерги нь хэдээр хорогдох бэ?
2. 3 моль хүчилтөрөгчийг изобар процессоор 20К –ээр халаав. Хийн тэлэлтийн ажлыг олно уу.
3. Битүү саванд орших 100⁰С температуртай хийн даралтын 3 дахин ихэсгэхийн тулд ямар температуртай болтол халаах вэ?
4. 20л эзлэхүүнтэй 23⁰С температурт орших хийг 2л эзлэхүүнтэй болтол изобараар шахжээ. Эцсийн температурыг олно уу.
5. 20⁰С температуртай агаарын концентраци дэлхийн гадаргаас ямар өндөрт 2 дахин буурах вэ?
6. Далайн түвшин дээрх агаарын даралт 1атм бол далайн түвшинээс дээш 5км өндөрт агаарын даралтыг олно уу. Агаарын температур 20⁰С, молийн масс 29г/моль.
7. Далайн түвшин дээрх агаарын даралт 1атм бол далайн түвшинээс дээш 3км өндөрт агаарын нягт ямар байх бэ? Агаарын температур 20⁰С, молийн масс 29г/моль.
8. 80кПа даралттай хийн молекулын хамгийн их магадлалт хурд хурд 510м/с бол хийн нягтыг олно уу.
9. 25м³ эзлэхүүнтэй саван дотор 27⁰С температуртай 1 атм даралттай устөрөгчийн хий байв. Нэгж хугацаанд савны ханны 1м² талбайг мөргөх молекулын тоог ойролцоолон олно уу.
10. 37⁰С температурт орших 4г масстай устөрөгч хийн молекулын квадрат дундаж хурд ямар байх вэ?
11. 50л эзлэхүүнтэй 23⁰С температурт орших 2моль 3атомт идеал хийг 5л эзлэхүүнтэй болтол изобараар шахжээ. Шахах үеийн ажлыг олно уу.
12. 200г усыг 20⁰С –ээс 100⁰С хүртэл халаахад энтропийн өөрчлөлт ямар байх бэ?
13. Ижил температурт байх хүчилтөрөгчийн хий болон азотын хийн молекулуудын арифметик дундаж хурдны харьцааг олно уу.
14. 100г усыг 0⁰С –ээс 100⁰С хүртэл халааж 100⁰С температурт бүрэн ууршуулахад нийт энтропийн өөрчлөлт ямар байх вэ?
15. Капилляр хоолойн радиус нь нэг нөгөөгөөсөө 2 дахин бага бол эдгээр хоолойгоор хөөрсөн усны өндрүүдийн харьцаа ямар байх вэ?
16. 3 моль 2 атомт идеал хий 300К температурт оршино. Хийн эзлэхүүн 50л ээс 150л хүртэл изобараар тэлэхэд хийн шингээсэн дулааныг олоорой
17. Ердийн нөхцөлд 27⁰С температурт орших 2моль 1 атомт идеал хийг 5л эзлэхүүнтэй болтол изотермээр шахжээ эцсийн температур ба шахах үеийн ажлыг ол.
18. 2кг масстай усны температурыг 5⁰С –ээр нэмэгдүүлэхэд шаардагдах дулааныг олно уу. Усны хувийн дулаан багтаамж $4200 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}^{\circ}\text{C}}$



19. CO_2 , He, H_2 - хийнүүд ижилхэн температурт байгаа бол аль нь хамгийн их квадрат дундаж хурдтай байх вэ?
20. Хоёр атомт хий 40м^3 эзлэхүүнтэй саванд 2атм даралттай байсан бол хийн дотоод энергийг олно уу.
21. 100г усыг 20°C - 100°C хүртэл аажмаар халаасан бол энергийн өөрчлөлтийг олно уу
22. 30г масстай -10°C температуртай мөсийг 120°C температуртай уур болоход энтропи яаж өөрчлөгдөх вэ?
23. 20°C температуртай 3л усыг 12 минутанд буцалгадаг халаагуурын чадлыг олно уу.
24. Хийн молекулын дундаж квадрат хурд 9 дахин ихсэхэд хөдөлгөөний кинетик энерги хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
25. Хийн концентраци өөрчлөхгүйгээр дундаж квадрат хурдыг 4 дахин багасгахад савны ханан дахь даралт яаж өөрчлөгдөх вэ?
26. 10л эзлэхүүнтэй хийг изобараар 80°C - 50°C хүртэл хөргөсөн бол ямар эзлэхүүнтэй болох вэ?
27. 20°C температуртай 1атм даралттай 5моль агаарыг адиабатаар эзлэхүүнийг 10 дахин багасгаж шахахад ямар ажил хийх вэ?
28. Хийг изобараар 17°C - 145°C температуртай халаахад түүний нягт хэд дахин буурах вэ?
29. Хоёр атомт хийг изобараар халаахад 180кЖ дотоод энергитэй болсон бол хийн авсан дулаан ба гүйцэтгэсэн ажлыг ол.
30. 400К температуртай, 20л эзлэхүүнтэй, хоёр атомт, 5 моль хийг политроп процессоор шахахад эзлэхүүн 4 дахин багасаж, даралт 8 дахин өссөн бол политропын илтгэгчийг олно уу



5.5 Тест

- 30°C температурт орших аргоны молекулын квадрат дундаж хурдыг ол.
А. 434.8 м/с В. 547.8 м/с
С. 747.8 м/с Д. 352.1 м/с
- 20°C температуртай 75л усыг, ямар температуртай 53л устай холивол, хольцын температур нь 40°C байх вэ?
А. 68.3°C В. 58.3°C
С. 78.3°C Д. 38.3°C
- Нэг атомт хийг изобараар халаахын тулд 300Ж дулаан өгсөн бол хийн дотоод энергийн өөрчлөлтийг ол.
А. 120Ж В. 160Ж
С. 180Ж Д. 200Ж
- Алтны хувийн дулаан багтаамжийг ол. Алтны молийн масс 197г/моль.
А. $126.5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ В. $226.5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$
С. $326.5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ Д. $24.93 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$
- 5моль идеал хийг изотермээр шахахад 120кЖ ажил гүйцэтгэсэн бол хийн температур 270К үед энтропийн өөрчлөлтийг ол.
А. 0.69кЖ/К В. 0.57кЖ/К
С. 0.44кЖ/К Д. 0.33кЖ/К
- $n = 2.5 \cdot 10^{26} \text{м}^{-3}$ концентраци бүхий 1.38МПа даралттай хийн температурыг ол.
А. 500К В. 300К
С. 400К Д. 200К
- 3моль хийг 8л-ээс 2л эзэлхүүнтэй болтол изотермээр шахжээ. Хийн температур 360К бол хийг шахсан ажлыг ол.
А. $6.9(\ln 4)\text{кЖ}$ В. $8.9(\ln 4)\text{кЖ}$
С. $7.9(\ln 4)\text{кЖ}$ Д. $9.9(\ln 4)\text{кЖ}$
- Шилэн хананы нэгж талбайгаар нэгж хугацаанд $30 \frac{\text{К}}{5\text{см}}$ температурын градиенттэй үе $660 \frac{\text{Ж}}{\text{с}\cdot\text{м}^2}$ дулаан зөөгдөх бол хананы материалын дулаан дамжуулалтын коэффициентийг ол.
А. $1.1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ В. $0.69 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$
С. $1.29 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ Д. $0.89 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$
- Агаарын хувьд политроп процессын молийн дулаан багтаамжийг ол. Политропын илтгэгч $n = 2$
А. $12.46 \frac{\text{Ж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$ В. $1.24 \frac{\text{Ж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$
С. $1.07 \frac{\text{Ж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$ Д. $3.07 \frac{\text{Ж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$
- Нүүрсхүчлийн хийн даралтын Ван-дер-Ваальсын засвар $a = 3.96 \cdot 10^{-1} \text{Па} \cdot \text{м}^3$, критик эзлэхүүн 128см^3 бол нүүрсхүчлийн хийн критик температурыг ол.
А. 330.9К В. 429.9К
С. 549.9К Д. 374К
- 25°C температурт орших нүүрсхүчлийн хийн молекулын арифметик дундаж хурдыг ол.
А. 128.6 м/с В. 258.6 м/с
С. 378.6 м/с Д. 452.1 м/с



12. 27°C температуртай агаарын концентраци дэлхийн гадаргаас ямар өндөрт 1.5 дахин буурах вэ?
А. 3.55км В. 9.58км
С. 5.44км Д. 11.54км
13. 2моль нэг атомт идеал хийг 20°C –ээс 27°C хүртэл халаахад дотоод энерги нь ямар хэмжээгээр өөрчлөгдөх вэ?
А. 174.5Ж В. 110.5Ж
С. 330.5Ж Д. 50.5Ж
14. 2.5кПа даралттайгаар хийн эзлэхүүн 4м^3 -ээр тэлсэн бол хийн гүйцэтгэсэн ажлыг олно уу.
А. 10кЖ В. 8кЖ
С. 2кЖ Д. 4кЖ
15. 29л эзлэхүүнтэй саванд шахагдсан, 2кг хүчилтөрөгчийн хийн температур 17°C бол даралтыг олно уу.
А. 7.19МПа В. 1.19МПа
С. 3.59МПа Д. 5.19МПа
16. 1.5МПа даралттай 37°C температуртай хийн эзлэхүүн 10л байсан бол хийн молийн тоог олоорой.
А. 5.82 моль В. 2 моль
С. 1.82 моль Д. 3 моль
17. 1 атм даралтанд $0.2\text{кг}/\text{м}^3$ нягттай байх хийн молекулын хамгийн их магадлалт хурдыг олно уу.
А. 1км/с В. 550м/с
С. 751м/с Д. 1.2км/с
18. Термометрийн заалт 27°C зааж байх үед савтай хийн даралт нь 0.90атм бол 57°C болоход даралт нь ямар болох вэ?
А. 0.99атм В. 1.90атм
С. 0.92атм Д. 1.28атм
19. 27°C температурт байгаа хийн молекулын дундаж кинетик энергийг олно уу.
А. $6.2 \cdot 10^{-21}$ Ж В. $9.8 \cdot 10^{-23}$ Ж
С. $3.2 \cdot 10^{-21}$ Ж Д. $1.2 \cdot 10^{-26}$ Ж
20. Карногийн циклээр ажилладаг дулааны машины халаагчийн температур хөргөгчийн температураас 1.25 дахин их бол дулааны машины ашигт үйлийн коэффициентийг олно уу.
А. 0.20 В. 0.25
С. 0.15 Д. 0.4



5.6 Бие даалтын бодлого

1. Тодорхой нөхцөлд шахсан агаарт дуу тархах хурдыг хэмжихэд 450м/с байв. Энэ нөхцөлд хамгийн их магадлалт хурд, арифметик дундаж хурд, дундаж квадрат хурдыг олно уу.

2. $t = 27^\circ\text{C}$ -ийн температурт азотын молекулуудын чөлөөт зам дундаж урт 10 мкм ба 10 с хугацаанд $S = 0.01\text{ м}^2$ талбайгаар нэвтрэх нягтын градиент $d\rho/dx = 1.26\text{ кг/м}^4$ бол азотын массыг олно уу.

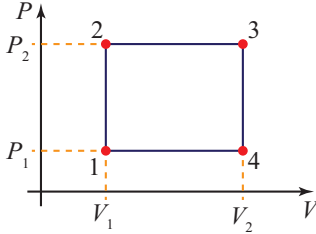


3. Хийн хольцын эзэлхүүн тогтмол үеийн хувийн дулаан багтаамж $430\text{Ж}/(\text{кг К})$ болгохын тулд 1кмоль хүчилтөрөгч дээр ямар масстай аргоныг нэмэх вэ? Хольцын массыг тооцоолно уу.

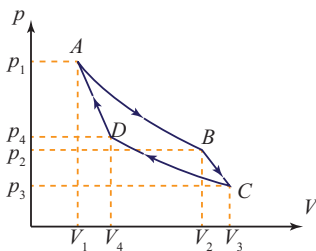
4. Халаагчаар $V = 600\text{см}^3$ эзэлхүүнтэй $t_0 = 9^\circ\text{C}$ температуртай усыг халаав. Халаагчийн эсэргүүцэл $R = 16\text{Ом}$ байна. Халаагчийн хүчдэл $U = 120\text{В}$, халаагчийн ашигт үйлийн коэффициент $\eta = 60\%$ бол усыг буцалгахад хэр хугацаа шаардах вэ?



5. 3 атомт молекултай хийн цикл процесс хоёр изохор ба хоёр изобараас бүрдэнэ. Энэ циклийн хамгийн их даралт нь хамгийн бага даралтаас хоёр дахин бага, хамгийн их эзлэхүүн нь хамгийн бага эзэлхүүнээс 4 дахин их байв. Циклийн ашигт үйлийн коэффициентийг тооцоолно уу.

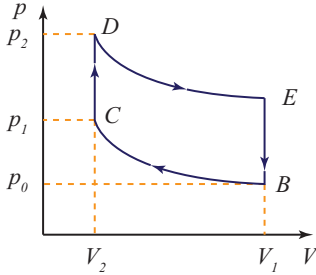


6. Карногийн циклээр ажиллах дулааны хөдөлгүүр зурагт үзүүлснээр А-В-С-D дарааллаар $P_1 = 708\text{кПа}$ даралттай, $t_1 = 127^\circ\text{C}$ температурт, $V_1 = 2\text{л}$ эзэлхүүнтэй агаар изотерм тэлэлт хийсний дараа $V_2 = 5\text{л}$ эзэлхүүнтэй болж, адиабат тэлэлтийн дараа эзэлхүүн $V_3 = 8\text{л}$ болов. (a) Изотерм процессоос адиабат процесд шилжих цэгийн параметрууд, (b) циклийн хэсэг бүрт гүйцэтгэсэн ажил, (c) бүтэн циклийн туршид гүйцэтгэх ажил, (d) циклийн ашигт үйлийн коэффициент, (e) нэг циклд халаагчаас авсан Q_1 дулааны хэмжээ, (f) нэг циклд хөргөгчид өгсөн Q_2 дулааны хэмжээг тус тус олно уу.





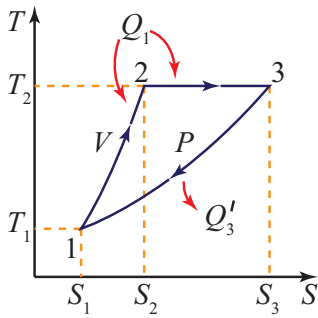
7. Зурагт 2 политроп, 2 изохор процессоос тогтох циклийн диаграммыг үзүүлэв. Энэ дулааны хөдөлгүүрийн циклийн нийт ажил болон тэсрэлтийн үеийн дулааныг томъёолж, шахалтын зэрэг $V_1/V_2 = 4$ ба $P_1/P_0 = 8$ байх тохиолдолуудад ашигт үйлийн коэффициентийг олно уу. Политропийн илтгэгч $n = 1.5$.



8. $t = 20^\circ\text{C}$ –ийн температуртай хөргөгчид байсан 10 г мөсийг уур болгон хувиргах хүртэлх энтропийн өөрчлөлтийг олно уу.



9. Изотерм, изобар ба изохороос бүрдэх циклийн ашигт үйлийн коэффициентийг тооц. Хэрэв изотерм процесст идиал хийн адиабат үзүүлэлттэй харьцуулахад (a) n удаа нэмэгдэх (b) n удаа буурсан бол А.Ү.К-г тооцоолно уу.



10. Хэрэв усны молекулуудын хоорондох таталцлын хүчийг байхгүй болговол савны хананд өгөх даралт хэр их нэмэгдэх вэ?



Семинар 6

Цахилгаан статик орон

6.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Цэгэн цэнэгийн хоорондын харилцан үйлчлэх хүч Кулоны хууль :

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (6.1)$$

q_1, q_2 –цэгэн цэнэгүүд, r –тэдгээрийн хоорондох зай, ϵ –орчны диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент. Вакуумд $\epsilon = 1$, керосинд $\epsilon = 2$, усанд $\epsilon = 81$ гэх мэт. ϵ_0 –цахилгаан тогтмол $8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Нм}^2}$

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}$ - тэй тэнцүү. Цахилгаан цэнэгүүдийн харилцан үйлчлэлийг дамжуулах орныг цахилгаан орон гэнэ. Цахилгаан орныг огторгуйн тухайн цэг дээр нэгж эерэг цэнэгт үйлчлэх хүчтэй тэнцэх (\vec{E}) хүчлэг вектороор тодорхойлно.

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}}{q} \quad (6.2)$$

Цэгэн цэнэгийн цахилгаан орон нь

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (6.3)$$

Олон цэнэгийн үүсгэх цахилгаан орны ерөнхий хүчлэг нь цэнэг тус бүрийн үүсгэх цахилгаан орны хүчлэгүүдийн нийлбэртэй тэнцүү байна. Үүнийг суперпозицийн зарчим гэнэ.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots \quad (6.4)$$

Гауссын теорем нь

$$\Phi_E = \oint_s \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0} \quad (6.5)$$

q –тухайн битүү гадаргын доторхи цэнэгүүдийн нийлбэр. Φ_E –нь битүү гадаргаар нэвтрэх хүчлэгийн шугаман тоо буюу урсгал юм.

$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E} \quad (6.6)$$

Нэг орчноос нөгөө орчинд урсгал нь тасралтгүй шилжих, урсгал нь орчноос хамаарахгүй байх цахилгаан орныг тодорхойлох хэмжигдэхүүн нь (\vec{D}) цахилгаан шилжилтийн вектор юм.

Гауссын теорем нь цахилгаан шилжилтийн векторын хувьд

$$\Phi_D = \oint_s \vec{D}_n d\vec{S} = q \quad (6.7)$$



Гауссын теоремд тулгуурлаж цэнэгтэй биеүдийн үүсгэх цахилгаан орны хүчлэгийг тодорхойлж болно.

а) Жигд цэнэглэгдсэн хязгааргүй хавтгайн цахилгаан орны хүчлэг:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} \quad (6.8)$$

$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$ –гадаргын цэнэгийн нягт

б) Хавтгай конденсаторын доторхи цахилгаан орон

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} \quad (6.9)$$

в) Гадаргаар нь q цэнэг жигд тархсан R радиустай бөмбөрцгийн төвөөс r - зайд орших цэгт уг бөмбөрцгийн үүсгэх цахилгаан орны хүчлэг цэгэн цэнэгийн цахилгаан оронтой адилхан байна .

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (6.10)$$

г) Хязгааргүй урт, цэнэгтэй шулуун дамжуулагчийн үүсгэх цахилгаан орны хүчлэг

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r} \quad (6.11)$$

Энд: $\tau = \frac{\Delta q}{\Delta l}$, τ –цэнэгийн шугаман нягт, r –дамжуулагчаас тухайн цэг хүртлэх зай.

Огторгуйн тухайн цэг дээр тодорхойлох нэгж эерэг цэнэгт ноогдох энергитэй тэнцэх хэмжигдэхүүнийг цахилгаан орны потенциал гэнэ .

$$\varphi = \frac{W_n}{q} \quad (6.12)$$

Цэгэн цэнэгийн потенциал:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} \quad (6.13)$$

r –цэнэгээс тухайн цэг хүртлэх зай. Цахилгаан орны хоёр цэгийн хоорондох потенциалын ялгаварыг хүчдэл гэнэ .

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (6.14)$$

A –цахилгаан орны нэг цэгээс нөгөө цэгт q цэнэгийг шилжүүлэхэд цахилгаан орны зүгээс гүйцэтгэх ажил. Ажил нь

$$A = q \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} \quad \text{буюу} \quad A = W_{n1} - W_{n2} = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = U \cdot q \quad (6.15)$$

Цахилгаан орны хүчлэг ба потенциалын холбоо

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi = -grad\varphi \quad (6.16)$$

Нэгэн төрлийн цахилгаан орон, тухайлбал хавтгай конденсаторын хувьд

$$E = \frac{\Delta\varphi}{d} \quad (6.17)$$

$\Delta\varphi$ –хавтгай конденсаторын ялтасуудын хоорондох потенциалын ялгавар, d -тэдгээрийн хоорондох зай. Ганц дамжуулагчийн багтаамж

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (6.18)$$



Бөмбөлөг дамжуулагчийн багтаамж

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 r \quad (6.19)$$

Техникт цэнэг хуримтлуулах хувьсах гүйдлийн хэлхээнд гүйдэл хүчдэлийн фазыг зөрүүлэх зорилгоор ашигладаг ойрхон байрлуулсан хос дамжуулагчдыг конденсатор гэнэ. Конденсаторын хүчдэлийг нэгжээр нэмэгдүүлэхэд шаардагдах цэнэгтэй тэнцэх хэмжигдэхүүнийг багтаамж гэнэ.

$$C = \frac{q}{U} \quad (6.20)$$

C -дамжуулагчийн цахилгаан багтаамж Хавтгай конденсаторын багтаамж:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 \cdot S}{d} \quad (6.21)$$

S –конденсаторын ялтасын талбай, d –ялтасуудын хоорондох зай. Бөмбөлөг конденсаторын багтаамж:

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 r R}{R - r} \quad (6.22)$$

r –дотор талын бөмбөлөгийн радиус, R –гадаад бөмбөлөгийн радиус. Цилиндр конденсаторын багтаамж:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot L}{\ln(R/r)} \quad (6.23)$$

L –цилиндрийн урт, R, r гадна ба дотор талын цилиндрийн радиус. $C = C_1, C_2, \dots, C_n$ багтаамжтай n ширхэг конденсаторыг зэрэгцээ холбосон бол конденсаторын батарейн нийт багтаамж

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (6.24)$$

(угсраа) цуваа холбосон бол нийт багтаамж C нь

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (6.25)$$

Конденсаторын энерги

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{U \cdot q}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (6.26)$$

Цахилгаан орны энергийн нягт:

$$W = \frac{1}{2}\epsilon\epsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{2}\vec{E}\vec{D} = \frac{1}{2} \cdot \frac{D^2}{\epsilon\epsilon_0} \quad (6.27)$$



6.2 Жишээ бодлого

Жишээ 6.1

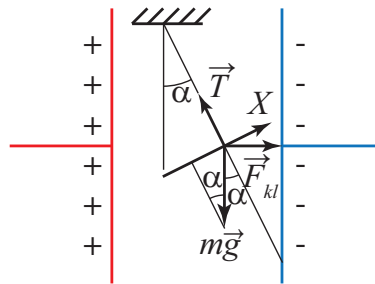
Босоо байршилтай байгаа хавтгай конденсаторын ялтасуудын хооронд 10 гр жинтэй 50 нКл цэнэг бүхий үрлийг мяндсан ялтсаар дүүжилжээ. Конденсаторын ялтаст ямар хэмжээний цэнэг өгвөл үрлийг дүүжилсэн утас босоо чигээс хазайх өнцөг 45° болох вэ? Конденсаторын ялтасуудын талбай 400 см^2 ба үрлийг дүүжилсэн утасны жинг тооцохгүй.

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 1 \\ S &= 400 \text{ см}^2 = 400 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \\ q &= 50 \text{ нКл} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ m &= 10 \text{ гр} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \\ \alpha &= 45^\circ\end{aligned}$$

Олох нь:

$$q_0 \text{ -?}$$

Бодолт: Зураг дээр хүчнүүдийг дүрслээд үрлийн тэнцвэрийн нөхцлийг бичвэл: (Зураг 6.1)



Зураг 6.1

$$\vec{T} + F_{\text{кл}} + m\vec{g} = 0 \quad (6.28)$$

болно. Энд: $\vec{F}_{\text{кл}}$ – конденсаторын цахилгаан орны зүгээс үйлчлэх хүч бөгөөд хавтгай конденсаторын цахилгаан орны хүчлэг $E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{q_0}{S\varepsilon\varepsilon_0}$ –ийг тооцвол

$$F_{\text{кл}} = \frac{q_0 q}{S\varepsilon\varepsilon_0} \quad (6.29)$$

болно. Утсанд перпендикуляр X тэнхлэгийг авч 6.28 –ийг проекцловал: $T_X + F_X + mg_X = 0$, $T_X = 0$, $F_X = F_{\text{кл}} \cdot \cos \alpha$, $mg_X = -mg \sin \alpha$ тул $F_{\text{кл}} \cdot \cos \alpha - mg \cdot \sin \alpha = 0$ эндээс

$$F_{\text{кл}} = mg \tan \alpha \quad (6.30)$$

болно. Томъёо 6.29 –ийг 6.30 –д орлуулбал $\frac{qq_0}{S\varepsilon\varepsilon_0} = mg \tan \alpha$ эндээс $q_0 = \frac{mg \cdot \tan \alpha \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{q}$ болно.

$$q_0 = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \tan 45^\circ \cdot 400 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 1 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}}{5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}} = 0.69 \text{ мКл}$$

**Жишээ 6.2**

N ширхэг мөнгөн усны ижилхэн дуслуудыг адилхан φ_0 потенциалтай болтол нь цэнэглэв. Тэгвэл энэ дуслуудаас үүссэн том дуслын потенциал ямар болох вэ?

Бодолт: Дуслын потенциал нь цэгэн цэнэгийн потенциалаар

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0}{r} \quad (6.31)$$

гэж тодорхойлогдоно. Дуслуудыг нэгтгэхэд дуслын эзлэхүүн ба цэнэг хадгалах учир $V = V_0 \cdot N \Rightarrow \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot N$.

Эндээс

$$R = \sqrt[3]{Nr} \quad (6.32)$$

буюу

$$q = q_0 \cdot N \quad (6.33)$$

Үүссэн дуслын потенциал

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \quad (6.34)$$

болох тул 6.32 ба 6.33 –ийг оруулбал:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0 \cdot N}{r \cdot \sqrt[3]{Nr}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0}{r} N^{\frac{2}{3}} = \varphi_0 \sqrt[3]{N^2}$$

Жишээ 6.3

$\tau = -4$ мкКл/м цэнэгийн нягт бүхий шулуун дамжуулагчаас $R_1=1$ м –ээс $R_2=10$ м хүртэл электрон шилжихэд цахилгаан орны зүгээс хийх ажлыг ол.

Бодолт: Цэнэглэгдсэн хязгааргүй шулуун дамжуулагчийн үүсгэх цахилгаан орон нь $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 R}$ бөгөөд цахилгаан орны ажил

$$dA = \vec{E} \cdot e \cdot d\vec{R} = E \cdot e \cdot dR$$

$$A = \int_{R_1}^{R_2} E \cdot e \cdot dR = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\tau \cdot e}{2\pi\epsilon_0 R} \cdot dR = \frac{\tau \cdot e}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow$$

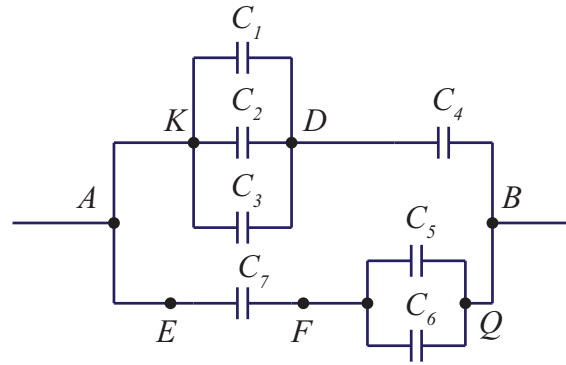
$$A = \frac{-4\text{мкКл/м} \cdot (-1.6) \cdot 10^{-19}\text{Кл}}{2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{В} \cdot \text{м}^2}} \cdot \ln \frac{10\text{м}}{1\text{м}} = 2.64 \cdot 10^{-13} \text{Ж} = 1.65 \text{МэВ}$$

Жишээ 6.4

Зурагт конденсаторын батерейгаас бүрдсэн хэлхээг харуулав. Конденсатор тус бүрийн багтаамж нь $C_1 = C_7 = 3\text{мкФ}$, $C_2 = C_4 = C_5 = 4\text{мкФ}$, $C_3 = 5\text{мкФ}$, $C_6 = 2\text{мкФ}$ болно. (Зураг 6.2)

(а) Конденсаторын батерейн ерөнхий багтаамжийг ол.

(б) Хэрэв 5 мкф багтаамжтай конденсаторын цэнэг 120 мкКл бол А ба F цэгийн хоорондох потенциалын ялгаврыг ол.



Зураг 6.2

Бодолт:

- (a) C_{AB} –конденсаторын батерейн ерөнхий багтаамжийг олохын тулд хэсэг тус бүрийн багтаамжийг олж.

Зэрэгцээ холбогдсон C_1, C_2, C_3 конденсаторуудын багтаамж нь $C_{123} = C_1 + C_2 + C_3 = 3 \text{ мкф} + 4 \text{ мкф} + 5 \text{ мкф} = 12 \text{ мкф}$, $C_{123} = 12 \text{ мкф}$ болно. C_{123} багтаамжтай конденсатор нь C_4 конденсатортай цуваа холбосон тул ерөнхий багтаамж C_{1234} нь $\frac{1}{C_{1234}} = \frac{1}{C_{123}} + \frac{1}{C_4}$ $C_{1234} = \frac{C_{123} \cdot C_4}{C_{123} + C_4} = \frac{12 \text{ мкф} \cdot 4 \text{ мкф}}{12 \text{ мкф} + 4 \text{ мкф}} = 3 \text{ мкф}$.

Зэрэгцээ холбогдсон C_5, C_6 конденсаторуудын багтаамж C_{56} дээрх адилаар $C_{56} = C_5 + C_6 = 4 \text{ мкф} + 2 \text{ мкф} = 6 \text{ мкф}$ болно. C_{56} багтаамжтай конденсатор нь C_7 конденсатортай цуваа холбогдсон тул

$$C_{567} = \frac{C_{56} \cdot C_7}{C_{56} + C_7} = 2 \text{ мкФ}$$

$$C_{AB} = C_{1234} + C_{567} = 5 \text{ мкФ}$$

- (b) $C_3 = 5 \text{ мкф}$, $q_3 = 120 \text{ мкКл}$, C_3 –ийн конденсатор хүчдэлийн уналт $U_3 = \frac{q_3}{C_3}$, C_1, C_2, C_3 зэрэгцээ учир хүчдэл ижил гэдгээс нийт цэнэг нь $q_{123} = C_{123} \cdot U_3 = 12 \text{ мкф} \cdot 24 \text{ В} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ ф} \cdot 24 \text{ В} = 288 \text{ мкКл}$.

C_3 –тэй цуваа учир $q_{123} = q_4$ –гэдгээс

$$U_4 = \frac{q_{123}}{C_4} = \frac{288 \text{ мкКл}}{4 \text{ мкф}} = \frac{288 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{4 \cdot 10^{-6} \text{ ф}} = 72 \text{ В}$$

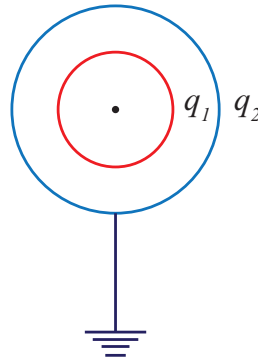
$$U_{AB} = U_3 + U_4 = 24 \text{ В} + 72 \text{ В} = 96 \text{ В}$$

C_7 нь C_5 ба C_6 конденсаторуудтай цуваа учир $q_7 = q_5 + q_6 = q_{567}$ $q_7 = q_{567} = C_{567} \cdot U_{AB} = 2 \text{ мкф} \cdot 96 \text{ В} = 192 \text{ мкКл}$

$$U_{AF} = U_7 = \frac{q_7}{C_7} = \frac{192 \text{ мкКл}}{3} = \frac{192 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{3 \cdot 10^{-6} \text{ ф}} = 64 \text{ В}.$$

Жишээ 6.5

Нэг төвтэй $r_1 = 10 \text{ см}$ ба $r_2 = 15 \text{ см}$ радиустай металл бөмбөлгүүдийн харгалзан $q_1 = 10 \text{ нКл}$, $q_2 = 20 \text{ нКл}$ цэнэгтэй байжээ. 2 –р бөмбөлгийг газардуулбал газардуулагчаар урсан цэнэгийн хэмжээ болон 1 –р бөмбөлгийн потенциалын өөрчлөлтийг ол. (Зураг 6.3)



Зураг 6.3

Бодолт: Бөмбөлгүүдийн хувийн потенциалууд нь цэгэн цэнэгийн потенциалгаар тодорхойлогдох учир

$$\varphi_{01} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r_1} = 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2 \cdot 10^{-8} \text{Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot 10^{-1} \text{м}} = 900 \text{В}$$

$$\varphi_{02} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_2} = 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2 \cdot 2 \cdot 10^{-8} \text{Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot 1.5 \cdot 10^{-1} \text{м}} = 1200 \text{В}$$

Газардуулахын өмнөх бөмбөлгүүдийн потенциал нь (цэнэглэгдсэн бөмбөлөг нь гадна талдаа цэгэн цэнэгтэй адилхан цахилгаан орон үүсгэх бөгөөд доторхи цахилгаан орон нь ямагт тэг байна гэдгийг тооцвол)

$$\varphi_1 = \varphi_{01} + \varphi_{02} = (900 \text{В} + 1200 \text{В}) = 2100 \text{В}$$

$$\varphi_2 = \varphi_{02} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_2} = \varphi_{02} + \varphi_{01} \cdot \frac{r_1}{r_2} = 1200 \text{В} + 900 \text{В} \cdot \frac{10^{-1} \text{м}}{1.5 \cdot 10^{-1} \text{м}} = 1800 \text{В}$$

Газардуулсанаар 2 –р бөмбөлөг өөрийн потенциал нь тэг болтол цэнэглэгдэж цэнэг нь q'_2 болсон гэвэл

$$\varphi'_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q'_2}{r_2} = 0 \tag{6.35}$$

$$\varphi'_1 = \varphi_{01} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q'_2}{r_2} = \varphi_{01} + \varphi_{02} \cdot \frac{q'_2}{q_2} \tag{6.36}$$

(6.35)-ээс $q'_2 = -q_1 = -10 \text{нКл}$

(6.36)-г q'_2 -ийг орлуулбал:

$$\varphi'_1 = 900 \text{В} + 1200 \text{В} \cdot \frac{-10 \text{нКл}}{20 \text{нКл}} = 300 \text{В}$$

1-р бөмбөлгийн потенциалын өөрчлөлт

$$\Delta\varphi_1 = \varphi'_1 - \varphi_1 = (300 - 2100) \text{В} = -1800 \text{В}$$

Газардуулагчаар урсган цэнэгийн хэмжээ

$$\Delta q = q'_2 - q_2 = -(q_1 + q_2) = -30 \text{нКл}$$



6.3 Шинжлэх даалгавар

1. Зарим үед хувцсыг хувцасны хатаагуураас авахад яагаад биед наалддаг вэ?
2. Манан, борооны дусал яагаад агаарт ион, электрон үүсгэдэг вэ?
3. Эерэг цэнэгтэй савааг цахилгаан саармаг цаасанд ойртуулахад таталцав. Үүний учрыг тайлбарлана уу?
4. Цахилгаан цэнэг гэж юу вэ?
5. Цэнэгийн хэмжээг хэрхэн олдог вэ?
6. Металлын цахилгаан ба дулаан дамжуулах чадвар яагаад сайн байдаг вэ?
7. Цахилгаан диполь гэж юу вэ?
8. Кулоны хүч консерватив хүч мөн үү?
9. Цахилгаан орныг хүчний талаас нь ямар хэмжигдэхүүнээр тодорхойлдог вэ?
10. Цахилгаан орныг энергийн талаас нь ямар хэмжигдэхүүнээр тодорхойлдог вэ?
11. Цахилгаан орны хүчлэгийн шугамууд яагаад огтлолцдоггүй вэ?
12. Остраградский-Гауссын теоремийг тодорхойлж бичнэ үү?
13. Цахилгаан орны хүчлэг ба потенциалын холбоог илэрхийлнэ үү?
14. Эквипотенциалт гадарга гэж ямар гадаргыг хэлэх вэ?
15. Дамжуулагч ямар нийтлэг шинж чанартай байдаг вэ?
16. Дамжуулагчийн цахилгаан багтаамж гэж юу вэ?
17. Конденсаторын багтаамж юунаас хамаардаг вэ?
18. Ямар зорилгоор диэлектрикийг конденсаторын хавтсуудын хооронд оруулдаг вэ?
19. Цахилгаан орны энерги хүчлэгээс хэрхэн хамаарах вэ?
20. Цахилгаан орны энергийн томъёог бичиж тайлбарлана уу?
21. Цэнэгийг ижил потенциалтай 2 цэгийн хооронд зөөхөд ажил хийх үү?
22. Цахилгаан потенциал ба хүчлэгийн ялгааг тайлбарлана уу?
23. Цахилгаан потенциал ба потенциал энергийн ялгааг тайлбарлана уу?
24. Хүчлэг ба потенциалын холбоо $E = -grad\phi$ томъёоны сөрөг тэмдэг ямар утгыг илэрхийлэх вэ?
25. Цэгэн цэнэгийн цахилгаан орны потенциал зайнаас хэрхэн хамаарах вэ?
26. Цэгэн цэнэгийн цахилгаан орны хүчлэг зайнаас хэрхэн хамаарах вэ?
27. Хавтгай конденсаторыг цэнэглэхэд энерги нь хаана агуулагдах вэ?
28. Цахилгаан шилжилтийн векторыг ямар зорилгоор хэрэглэдэг вэ?



29. Хувилагч машин ба лазерын принтерийн ажиллах зарчмыг тайлбарлана уу?
30. Зүрхний бичлэг хийхэд юуг хэмждэг вэ?



6.4 Тооцоот даалгавар

1. Хоорондоо 9.3см зайтай орших 3.6мкКл цэнэгүүдийн хоорондын цахилгаан хүчийг ол.
2. 30мкКл цэнэгт хэдэн электрон байх вэ?
3. Хоорондоо 10см зайтай электронуудын хоорондох цахилгаан хүчийг олно уу?
4. 80мкКл цэнэгт хэдэн электрон байх вэ?
5. Хоорондоо 1м зайтай 2 параллель цэнэгт ялтасны хоорондох потенциалын ялгавар 50В бол хавтаснуудын дунд үүсэх цахилгаан орныг тодорхойлно уу?
6. Зургийн аппарат 200В хүчдэлээр ажиллаж 150мкФ батаамжтай конденсатортоо энерги хуримтлуулдаг бол энэхүү хуримтлагдсан энергийг олно уу.
7. Протон 3.75×10^{-13} Н хүчний үйлчлэлээр нэгэн төрлийн цахилгаан оронд нисэн оров. Цахилгаан орны хэмжээг олно уу.
8. Цахилгаан халаагуур 220В хүчдэлээр ажиллаж 300мкФ багтаамжтай конденсаторт энерги хуримтлуулдаг бол энэхүү хуримтлагдсан энергийг олно уу?
9. 1.6×10^{-19} Кл цэнэгтэй элементар цэнэг 35В хэмжээтэй нэгэн төрлийн цахилгаан оронд нисэн орсон бол цахилгаан орны зүгээс цэнэгт үйлчлэх хүчийг олно уу?
10. Конденсатор дээрх хүчдэл 5В байсан бол 100мкФ багтаамжтай конденсаторын цахилгаан орны энергийг тооцоолно уу?
11. r_0 радиустай бөмбөлөг Q цэнэгээр жигд цэнэглэгдсэн бол бөмбөлгийн гадна болон дотор цахилгаан орныг олно уу?
12. Хавтгай конденсаторын 5.5см талтай тэгш өнцөгт хавтсыг 1.8мм парафинаар ($\epsilon = 2.2$) тусгаарласан бол түүний багтаамжийг олно уу?
13. Дамжуулагчид 10^{-7} Кл цэнэг шилжүүлэхэд цахилгаан орны потенциал 10В-оор өсөв. Дамжуулагчийн багтаамжийг олно уу?
14. Хавтгай хөндий конденсаторын хоорондох зайг 2 дахин ихэсгэн, ялтаснуудын хооронд $\epsilon = 5$ бүхий диэлектрик оруулбал конденсаторын багтаамж хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
15. Парафинд ($\epsilon = 2.2$) байгаа конденсаторын 2 ялтасны хоорондын зай 5мм ба хүчдэл нь 500В байв. Хавтсан дээрх цэнэгийн гадаргын нягтыг олно уу?
16. 1000пФ багтаамжтай конденсаторт 220В хүчдэл өгсөн бол хэр хэмжээний энерги хуримтлагдах вэ?
17. Хоорондоо 5см зайтай 1.8мкКл цэнэгтэй биеүдийн хоорондох цахилгаан хүчийг олно уу?
18. 25мкКл цэнэгт хэдэн электрон байх вэ?
19. Хоорондоо 0.5м зайтай 2 параллель цэнэгт ялтасны хоорондох потенциалын ялгавар 40В бол хавтаснуудын дунд үүсэх цахилгаан орныг тодорхойлно уу?



20. Уурын индүү 220В хүчдэлээр ажиллаж 150мкФ багтаамжтай конденсаторт энерги хуримтлуулдаг бол энэхүү хуримтлагдсан энергийг олно уу?
21. Электрон 5.6×10^{-18} Н хүчний үйлчлэлээр нэгэн төрлийн цахилгаан оронд нисэн оров. Цахилгаан орны хэмжээг олно уу?
22. Конденсатор дээрх хүчдэл 15В байсан бол 150мкФ багтаамжтай конденсаторын цахилгаан орны энергийг тооцоолно уу?
23. Хавтгай хөндий конденсаторын хоорондох зайг 2 дахин багасган, ялтаснуудын хооронд ($\epsilon = 6$) бүхий диэлектрик оруулбал конденсаторын багтаамж хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
24. Дамжуулагчид 10^{-8} Кл цэнэг шилжүүлэхэд цахилгаан орны потенциал 20В-оор өсөв. Дамжуулагчийн багтаамжийг олно уу?
25. Агаарт байгаа конденсаторын 2 ялтасны хоорондын зай 3мм ба хүчдэл нь 150В байв. Хавтсан дээрх цэнэгийн гадаргын нягтыг олно уу?
26. 500пФ багтаамжтай конденсаторт 220В хүчдэл өгсөн бол хэр хэмжээний энерги хуримтлагдах вэ?
27. 5см радиустай 2 бөмбөлөг конденсаторын хавтсыг 3.2мм гялтгануураар ($\epsilon = 7$) тусгаарласан бол түүний багтаамжийг олно уу?
28. 4мкКл цэгэн цэнэгийн 15см зайд үүсгэх цахилгаан орны потенциалыг олно уу?
29. Цэгэн цэнэгийн 15см зайд үүсгэх потенциал нь 125В бол цэнэгийн хэмжээг олно уу?
30. 2200пФ багтаамжтай конденсаторт 650В хүчдэл өгсөн бол хэр хэмжээний энерги хуримтлагдах вэ?



6.5 Тест

- Цахилгаан оронд $q = 5\text{Кл}$ цэнэгт $F = 30\text{Н}$ хүч үйлчлэх бол цахилгаан орны хүчлэгийг ол.
А. 6В/м В. 5В/м
С. 10В/м Д. 8В/м
- $E = 15\text{В/м}$ хүчлэгтэй цахилгаан орон цэнэгт 45Н хүчээр үйлчлэх бол цэнэгийн хэмжээ ямар байх вэ?
А. 6Кл В. 3Кл
С. 30Кл Д. 5Кл
- Цахилгаан орны хүчлэгийн координатын хамаарал $E = x + 2x^3$ гэж өгөгдсөн бол потенциалыг олно уу?
А. $\phi = 2x^3 + 6x^2 + C$
В. $\phi = \frac{3}{x} + \frac{2}{y} + C$
С. $\phi = \frac{1}{x} - \frac{x^4}{2} + C$
Д. $\phi = \frac{4}{x} + \frac{3}{y} + C$
- Цахилгаан орны $\phi = 8\text{В}$ потенциалтай цэгт байрлах цэнэгийн потенциал энерги $W = 56\text{Ж}$ бол цэнэгийн хэмжээг олно уу?
А. 8Кл В. 4Кл
С. 7Кл Д. 5Кл
- 8см радиустай металл бөмбөрцөгт $8 \times 10^{-9}\text{Кл}$ цэнэг өгөхөд түүний потенциал ямар болох вэ?
А. 500В В. 300В
С. 900В Д. 800В
- Тусгаарлагдсан хоёр дамжуулагчийн потенциалууд нь харгалзан $+110\text{В}$ ба -110В бол $5 \times 10^{-4}\text{Кл}$ цэнэгийг нэг дамжуулагчаас нөгөөд шилжүүлэхэд цахилгаан орон ямар ажил хийх вэ?
А. 0.11Ж В. 0.5Ж
С. 1000Ж Д. 10Ж
- Конденсатор дээрх хүчдэл 3В байсан бол 100мкФ багтаамжтай конденсаторын цахилгаан орны энерги ямар байх вэ?
А. 450Ж В. $9 \times 10^{-4}\text{Ж}$
С. $4.5 \times 10^{-4}\text{Ж}$ Д. 300мкЖ
- Хавтгай конденсаторын 2 хавтасны талбайг 2 дахин нэмж, хоорондох зайг 2 дахин багасгавал түүний цахилгаан багтаамж яаж өөрчлөгдөх вэ?
А. 2 дахин ихэснэ В. 4 дахин ихэснэ
С. 4 дахин буурна Д. өөрчлөгдөхгүй
- Дамжуулагчид 10^{-8}Кл цэнэг шилжүүлэхэд цахилгаан орны потенциал нь 100В -оор өсөв. Дамжуулагчийн багтаамжийг ол.
А. 100пФ В. 100мкФ
С. 10нФ Д. 10Ф
- Тус бүр нь 3С багтаамжтай конденсаторыг зэрэгцээ холбов. Конденсаторын батареин багтаамжыг ол.



- A. 3C B. 9C
C. 1/9C D. 5C
11. Цахилгаан оронд $q = 4\text{Кл}$ цэнэгт $F = 20\text{Н}$ хүч үйлчлэх бол цахилгаан орны хүчлэгийг ол.
A. 5В/м B. 7В/м
C. 10В/м D. 2В/м
12. $E = 8\text{В/м}$ хүчлэгтэй цахилгаан орон цэнэгт 40Н хүчээр үйлчлэх бол цэнэгийн хэмжээ ямар байх вэ?
A. 6Кл B. 3Кл
C. 8Кл D. 5Кл
13. Цахилгаан орны потенциал $\phi = 8x + 2y + 3z$ гэж өгөгдсөн бол хүчлэгийг олно уу?
A. $E = 8x + 2y + 3z$
B. $\vec{E} = 3\vec{i} + 2\vec{j} - 2\vec{k}$
C. $\vec{E} = -8\vec{i} - 2\vec{j} - 3\vec{k}$
D. $\vec{E} = -8x - 2y - 3z$
14. Цахилгаан орны $\phi = 10\text{В}$ потенциалтай цэгт байрлах цэнэгийн потенциал энерги $W = 150\text{Ж}$ бол цэнэгийн хэмжээг олно уу?
A. 8Кл B. 10Кл
C. 7Кл D. 15Кл
15. 4см радиустай металл бөмбөрцөгт 4нКл цэнэг өгөхөд түүний потенциал ямар болох вэ?
A. 500В B. 300В
C. 900В D. 800В
16. Тусгаарлагдсан хоёр дамжуулагчийн потенциалууд нь харгалзан 220В бол $8 \times 10^{-3}\text{Кл}$ цэнэгийг нэг дамжуулагчаас нөгөөд шилжүүлэхэд цахилгаан орон ямар ажил хийх вэ?
A. 1.8Ж B. 0.5Ж
C. 5Ж D. 10Ж
17. Конденсатор дээрх хүчдэл 8В байсан бол 100мкФ багтаамжтай конденсаторын цахилгаан орны энерги ямар байх вэ?
A. 45Ж B. $32 \times 10^{-3}\text{Ж}$
C. $9 \times 10^{-4}\text{Ж}$ D. 32мкЖ
18. Хавтгай конденсаторын 2 хавтасны талбайг 2 дахин багасгаж, хоорондох зайг 4 дахин багасгавал түүний цахилгаан багтаамж яаж өөрчлөгдөх вэ?
A. 2 дахин ихэснэ B. 4 дахин ихэснэ
C. 4 дахин буурна D. өөрчлөгдөхгүй
19. Дамжуулагчид $5 \times 10^{-8}\text{Кл}$ цэнэг шилжүүлэхэд цахилгаан орны потенциал нь 50В-оор өсөв. Дамжуулагчийн багтаамжийг ол.
A. 1нФ B. 1мкФ
C. 10Ф D. 100Ф
20. 3C ба C багтаамжтай конденсаторыг зэрэгцээ холбож 6C багтаамжтай конденсатортой цуваа холбов. Конденсаторын батарейн багтаамжыг олно уу? Конденсаторын батарейн багтаамжыг ол.



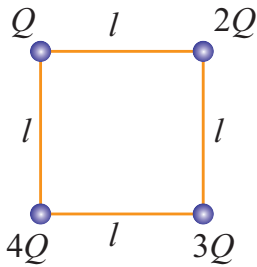
A. 2С
C. 4С

B. 2.4С
D. 10С

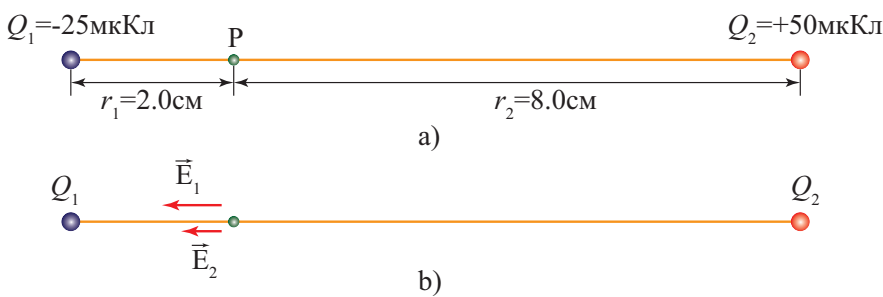


6.6 Бие даалтын бодлого

- Тэгш өнцөгтийн талын урт нь l бөгөөд оройнууд дээр нь Q , $2Q$, $3Q$, $4Q$ цэнэгүүд оршино. а) $2Q$ б) $3Q$ цэнэг тус бүрд нөгөө 3 цэнэгийн зүгээс үйлчлэх хүчийг олно уу.



- Хоёр цэгэн цэнэгийн хоорондох зай 10.0см бөгөөд нэг нь -25мкКл , нөгөө нь $+50.0\text{мкКл}$ цэнэгтэй. а) Сөрөг цэнэгээс 2.0см зайд орших Р цэгт цахилгаан орны хэмжээ болон чиглэлийг тодорхойлно уу. б) Хэрэв Р цэгт электрон оруулвал түүний хурдатгал ямар байх вэ?





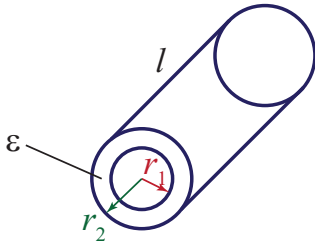
3. 18см радиустай цагирагийг $5.8 \times 10^2 \text{Н/Кл}$ хүчлэгтэй нэгэн төрлийн цахилгаан оронд оруулав. а) Хэрэв цагирагийн орших хавтгайд орны шугам перпендикуляр, б) Орны шугам 45° –аар, с) Орны шугам параллель чиглэлтэй үед цагиргаар нэвтрэх цахилгаан орны урсгалыг олно уу.
4. Хоорондоо 5.8мм зайтай төгсгөлгүй хоёр параллель ялтасны хоорондох потенциалын ялгавар нь 220 В бол цахилгаан орны хэмжээг олно уу.



5. $\tau = 1 \text{ нКл/см}$ шугаман нягттай төгсгөлгүй урт утасны үүсгэх цахилгаан оронд утаснаас 1.5 см зайд тайван байсан электрон утаснаас 1 см зайтай болтлоо радиал чиглэлд шилжихэд ямар хурдтай болох вэ?

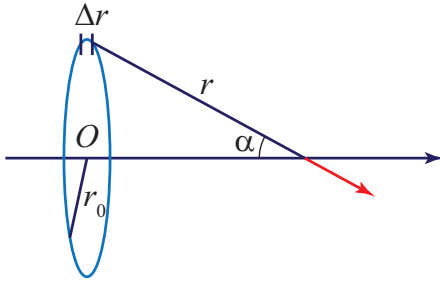
6. $\sigma = 1 \text{ нКл/м}^2$ гадаргын цэнэгийн нягттай, $R = 5 \text{ см}$ радиустай бөмбөрцгийн төвөөс 10 см ба 15 см зайд орших 2 цэгийн потенциалын ялгаврыг тодорхойлно уу.

7. Дотоод радиус нь 1см, гадаад радиус нь 1.5см байх 10м урттай коаксиаль кабелийн цахилгаан багтаамжийг тодорхойлно уу. Конденсаторын кабелийн тусгаарлагч нь $\varepsilon = 2.5$ резин материал байна.

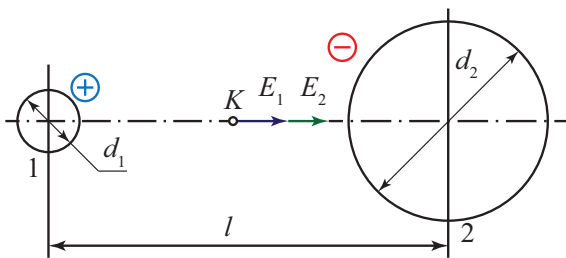


8. 8см талтай, 1.5мм агаараар тусгаарлагдсан хоёр квадрат ялтасны хооронд хуримтлагдсан энергийг тодорхойлно уу? Хоёр ялтасны цэнэгүүд ижил 420 мкКл бөгөөд эсрэг тэмдэгтэй болно.

9. r_0 радиустай τ шугаман нягттай цагирагийн цахилгаан орны хүчлэгийг түүний симметрийн тэнхлэг дээр тодорхойлно уу.



10. $d_1 = 0.20\text{м}$, $d_2 = 0.80\text{м}$ диаметртэй 2 бөмбөрцөг керосинтой саванд хоорондоо $l = 160\text{см}$ зайд оршиж байв. Нэгдүгээр бөмбөрцөгийг $\phi_1 = 250\text{В}$, хоёрдугаар бөмбөрцөгийг $\phi_2 = -100\text{В}$ потенциалтай болтол нь цэнэглээд, дамжуулагч утсаар холбоод дараа нь салгасан бол цахилгаан орны потенциалыг бөмбөрцгүүдийн төвийг холбосон хэрчмийн дундаж цэгт тодорхойлно уу. Керосины диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент $\epsilon = 2$ болно.





Семинар 7

Тогтмол гүйдэл

7.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Цэнэгүүдийн эмх цэгцтэй нэгэн зүгт чиглэсэн хөдөлгөөнийг цахилгаан гүйдэл гэнэ. Нэгж хугацаанд урсан өнгөрөх цэнэгийг хэмжээг гүйдлийг хүч гэнэ.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (7.1)$$

Дамжуулагчаар гүйж буй гүйдлийн хэмжээ хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөхгүй бол уг гүйдлийг тогтмол гүйдэл гэдэг.

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{q}{t} = const \quad (7.2)$$

Гүйдлийн хүчийг Ампер [A] гэдэг нэгжээр хэмжинэ. Дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоор 1с хугацаанд 1Кл цэнэг өнгөрч байвал түүнийг 1А гүйдэл гэж үзнэ.

$$1A = \frac{1\text{Кл}}{1\text{с}}$$

Дамжуулагчийн нэгж хөндлөн огтлолоор өнгөрч байгаа гүйдлийн хүчээр тодорхойлогдох физик хэмжигдэхүүнийг гүйдлийн нягт гэдэг.

$$j = \frac{dI}{dS} \quad \left[\frac{A}{\text{м}^2} \right] \quad (7.3)$$

Дамжуулагчаар гүйдэл гүйхэд учрах эсэргүүцэл нь дамжуулагчийг хийсэн материал болон хэлбэр дүрсээс хамаарна.

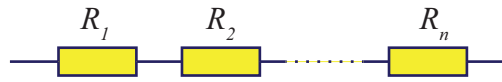
$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\text{Ом}] \quad (7.4)$$

ρ –тухайн материалын хувийн эсэргүүцэл, l –дамжуулагчийн урт, S –дамжуулагчийн хөндлөн огтлолын талбай. Дамжуулагчийн эсэргүүцэл нь температураас хамаардаг.

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (7.5)$$

Δt –температурын өөрчлөлт, α –дамжуулагчийн эсэргүүцлийн температурын коэффициент.

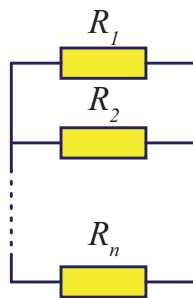
Эсэргүүцлүүдийг цуваа холбосон үеийн нийт эсэргүүцэл нь эсэргүүцэл бүрийн нийлбэртэй тэнцүү. Цуваа холболтын үед тэдгээрээр гүйх гүйдлийн хүчнүүд ижил бөгөөд хүчдлийн уналтууд нь эсэргүүцлүүддээ шууд пропорциональ байна.



Зураг 7.1

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i \quad (7.6)$$

Эсэргүүцлүүдийг зэрэгцээ холбосон үеийн нийт эсэргүүцлийн урвуу нь эсэргүүцлийн урвуунуудын нийбэртэй тэнцүү байна. Зэрэгцээ холболтын үед эсэргүүцлүүд дээрх хүчдлийн уналтууд ижил бөгөөд гүйдлийн хүчнүүд нь эсэргүүцэлдээ урвуу хамааралтай байна.



Зураг 7.2

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (7.7)$$

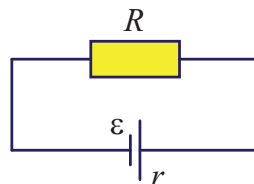
Хэлхээний хэсэг дэх Омын хууль:

$$I = \frac{U}{R} \quad (7.8)$$

U-хэлхээний тухайн хэсэг дээрхи хүчдлийн уналт
Бүрэн хэлхээний Омын хууль:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (7.9)$$

\mathcal{E} –хэлхээний Ц.Х.Х, R –гадаад эсэргүүцэл, r –үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцэл.



Зураг 7.3

Дамжуулагчаар гүйдэл гүйхэд уг дамжуулагч дээр дулаан ялгардаг. Хэлхээний хэсэг дээр цахилгаан гүйдлийн ажил нь тухайн хэсэгт ялгарах дулаантай тэнцүү байна үүнийг Жоуль-Ленцийн хууль гэнэ.

$$A = Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t = I U t \quad (7.10)$$



Хэлхээний хэсгийн нэгж хугацаанд хийх ажлыг чадал гэнэ.

$$p = \frac{dA}{dt} \quad (7.11)$$

Хэлхээний хэсгийн чадал: (ашигтай чадал)

$$P_A = I^2 R = \frac{U^2}{R} = IU \quad (7.12)$$

Хэлхээний бүрэн чадал:

$$P_\delta = \mathcal{E} \cdot I = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r} = I^2(R+r) \quad (7.13)$$

Энд P_δ нь бүрэн чадал ба $P_\delta - P_A = I^2 r$ нь үүсгүүрт ялгарах чадал бөгөөд энэ нь ашиггүй чадал юм.

Салаалсан хэлхээнд Кирхгофын 1 ба 2 –р дүрмийг ашиглан тооцоог хийнэ.

Кирхгофын 1-р дүрэм: Зангилаан дээрх гүйдлүүдийн алгебр нийлбэр тэг байна. Үүний тул хэлхээний хэсэг тус бүрээр гүйх гүйдлийн чигийг сонгон тэмдэглэнэ.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (7.14)$$

Энд зангилаа руу орж байгаа гүйдлийн хүчийг эерэг, гарч байгаа гүйдлийн хүчний сөргөөр тооцно.

Кирхгофын II дүрэм: Битүү хүрээний элементүүд дээрх хүчдэлийн уналтуудын алгебр нийлбэр хүрээн дэх цахилгаан хөдөлгөх хүчнүүдийн алгебр нийлбэртэй тэнцүү байна.

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_m = I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_n R_n$$

буюу

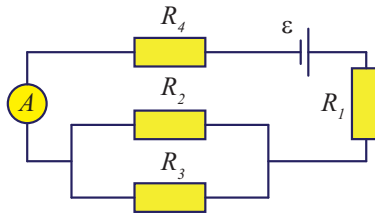
$$\sum_{j=1}^m \mathcal{E}_j = \sum_{i=1}^n I_i R_i \quad (7.15)$$

Хүрээний гүйдлийн чигийг сонгон тэмдэглээд ц.х.х-ний чиглэл болон эсэргүүцлээр гүйх гүйдлийн чиг хүрээний гүйдлийн чигтэй давхцаж байвал ц.х.х ба хүчдлийн уналтуудыг эергээр эсрэг бол сөргөөр тооцно.

7.2 Жишээ бодлого

Жишээ 7.1

Зурагт үзүүлсэн цахилгаан хэлхээний гүйдэл үүсгүүрийн ц.х.х 200 В ба $R_3=20$ Ом, $R_4=20$ Ом бөгөөд R_1 эсэргүүцэл дээрх хүчдлийн уналт 60 В, амперметр 4 А гүйдэл зааж байгаа бол R_2 эсэргүүцлийг ол. Амперметр ба гүйдэл үүсгэгчийн эсэргүүцлийг тооцохгүй. (Зураг 7.4)



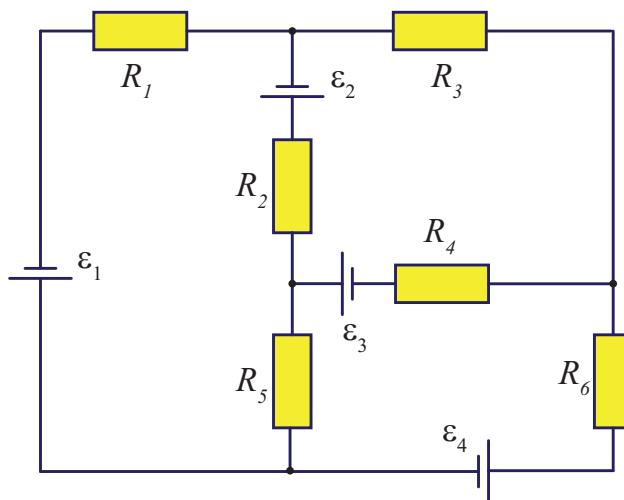
Зураг 7.4

Бодолт: Зургаас харахад R_4, R_1 эсэргүүцлүүд ба амперметрээр гүйж байгаа гүйдлүүд ижил бөгөөд R_2, R_3 эсэргүүцлүүдээр гүйх гүйдлүүдийн нийлбэртэй тэнцүү байна. Энэ нь хэлхээний гүйдэл буюу амперметрийн зааж байгаа гүйдэлтэй тэнцүү байна. $I_A = I_2 + I_3$ Мөн R_2, R_3 эсэргүүцлүүд зэрэгцээ холбогдсон тул тэдгээр дээрх хүчдлийн уналтууд нь тэнцүү байна. $U_2 = U_3$ Бодлогод гүйдлийн үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцэл, амперметрийн эсэргүүцлийг тооцохгүй учир $\mathcal{E} = U_1 + U_4 + U_2$ байна.

Хэлхээний хэсгийн Омын хууль ёсоор $U_4 = R_4 \cdot I_A = 20\text{Ом} \cdot 4\text{А} = 80\text{В}$ болно. $U_2 = \mathcal{E} - U_1 - U_4 = 200\text{В} - 80\text{В} - 60\text{В} = 60\text{В}$, $I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 3\text{А}$, $I_2 = I_A - I_3 = 1\text{А}$, $R_2 = \frac{U_2}{I_2} = 60$ Ом

Жишээ 7.2

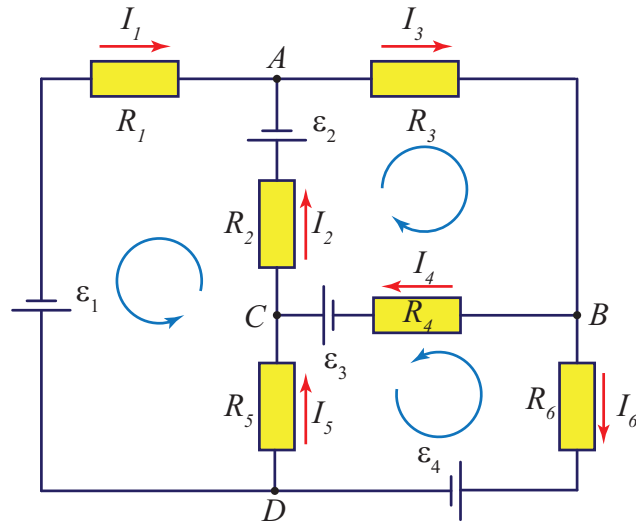
Зурагт үзүүлсэн салаалсан хэлхээний гүйдлийн үүсгүүрийн Ц.Х.Х нь $\mathcal{E}_1=6$ В, $\mathcal{E}_2=2$ В, $\mathcal{E}_3=4$ В, $\mathcal{E}_4=1$ В бөгөөд эсэргүүцлүүд нь $R_1=1$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=4$ Ом, $R_4=1$ Ом, $R_5=2$ Ом, $R_6=3$ Ом бол эсэргүүцэл тус бүрээр гүйх гүйдлийн хүчийг ол. Гүйдлийн үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцлийг тооцохгүй. (Зураг 7.5)



Зураг 7.5

Бодолт:

Дээрх хэлхээ нь салаалсан хэлхээ учир бодлогыг бодохдоо Кирхгофын I, II дүрмийг ашиглана. Зурагт үзүүлснээр гүйдлийн гүйдлийн чиг болон хүрээний гүйдлийн чигийг сонгож тэмдэглэе. Зангилааны тооноос нэгээр цөөн зангилаан дээр Кирхгофын 1 –р дүрмээр тэгшитгэлийг бичнэ. (Зураг 7.6)



Зураг 7.6

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (7.16)$$

$$-I_2 + I_5 + I_4 = 0 \quad (7.17)$$

$$I_3 - I_4 - I_6 = 0 \quad (7.18)$$

Кирхгофын II дүрмээр:

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = -I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_5 R_5 \quad (7.19)$$

$$\mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 \quad (7.20)$$

$$\mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_3 = I_4 R_4 - I_5 R_5 - I_6 R_6 \quad (7.21)$$

(7.17) ба (7.18) –аас I_2, I_3 –ийг олж (7.16) орлуулж I_1 –ийг олбол:

$$I_1 = I_6 - I_5 \quad (7.22)$$

$$I_2 = I_4 + I_5 \quad (7.23)$$

$$I_3 = I_4 + I_6 \quad (7.24)$$

эдгээрийг (7.19), (7.20), (7.21) –д орлуулж Өгөгдлийг тавибал:

$$-(I_6 - I_5) \cdot 1 + (I_4 + I_5) \cdot 2 + I_5 \cdot 2 = 6 - 2$$

$$(I_4 + I_5) \cdot 2 + (I_4 + I_6) \cdot 4 + I_4 \cdot 1 = 4 - 2$$

$$I_4 \cdot 1 - I_5 \cdot 2 - I_6 \cdot 3 = 4 + 1$$

$$2I_4 + 5I_5 - I_6 = 4 \quad (7.25)$$

$$7I_4 + 2I_5 - 4I_6 = 2 \tag{7.26}$$

$$I_4 - 2I_5 - 3I_6 = 5 \tag{7.27}$$

(7.27) –ийг 2 ба 7 –оор үржүүлж ((7.25),(7.26) –с харгалзан хасвал:

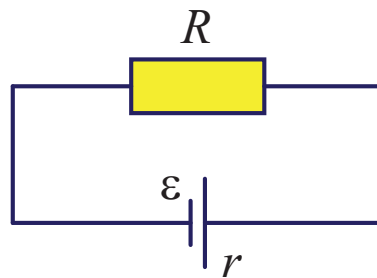
$$9I_5 + 5I_6 = -6 \tag{7.28}$$

$$16I_5 + 25I_6 = -33 \tag{7.29}$$

Жишээ 7.3

Хэлхээгээр гүйх гүйдэл 8 А байх үед хэлхээний гадаад хэсэг дээрх чадал 256 Вт, хэлхээний гүйдэл 12 А болоход гадаад хэсэг дээрх чадал 288 Вт байсан бол гүйдлийн үүсгүүрийн Ц.Х.Х, түүний дотоод эсэргүүцэл, богино холболтын үеийн гүйдэл, хэлхээний бүрэн чадал болон а.ү.к –ийг нь тодорхойл.

Бодолт: Цахилгаан хэлхээний ашигтай чадал нь зөвхөн гадаад эсэргүүцэл дээр ялгарч байгаа чадлаар тодорхойлогдоно. Иймээс гүйдлийн хүч өөрчлөгдөхөд чадал өөрчлөгдөж байгаа нь Ц.Х.Х тогтмол учир гадаад эсэргүүцэл өөрчлөгдсөн байна.(Зураг 7.7)



Зураг 7.7

Тухай бүрд нь хэлхээний ашигтай чадлыг бичвэл:

$$P_{1A} = I_1^2 \cdot R_1 \tag{7.30}$$

$$P_{2A} = I_2^2 \cdot R_2 \tag{7.31}$$

болно. Мөн бүрэн хэлхээний Омын хуулийг бичвэл:

$$\mathcal{E} = I_1(R_1 + r) \tag{7.32}$$

$$\mathcal{E} = I_2(R_2 + r) \tag{7.33}$$

байна. (7.30) ба (7.31) томъёоноос эсэргүүцлийг олж (7.32) ба (7.33) томъёонд орлуулан гүйдлийн үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцлийг олбол:

$$r = \frac{\frac{P_{2A}}{I_2} - \frac{P_{1A}}{I_1}}{I_1 - I_2} = 2 \text{ Ом}$$

байна. (7.30) томъёоноос Ц.Х.Х –ийг олбол: $\mathcal{E} = 48 \text{ В}$ болно.

Хэлхээний бүрэн чадал нь

$$P_{16} = \mathcal{E} \cdot I_1 = 384 \text{ Вт}, \quad P_{26} = \mathcal{E} \cdot I_2 = 576 \text{ Вт}$$

Хэлхээний а.ү.к нь $\eta = \frac{P_A}{P_6}$ гэдгээс

$\eta_1 \approx 0.667, \eta_2 \approx 0.5$ гэж гарч байна. 1234

**Жишээ 7.4**

Ороомгийн зэс утасны эсэргүүцэл 10.8 Ом ба зэс утасны жин нь 3.41кг байсан бол уг ороомгийн зэс утасны диаметр ба нийт уртыг тодорхойл. Зэсийн хувийн эсэргүүцэл $\rho = 1.7 \cdot 10^{-8} \text{Ом} \cdot \text{м}$.

Бодолт:

Ороомгийн нийт эсэргүүцэл нь

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ба энд ρ - зэсийн хувийн эсэргүүцэл, l - зэс утасны урт, S - зэс утасны хөндлөн огтлолын талбай. Харин зэс утасны масс нь

$$m = \rho_3 V$$

ба энд ρ_3 - зэсийн нягт, V - зэс утасны нийт эзлэхүүн болно. Зэс утасны эзлэхүүн

$$V = Sl \quad \text{тул} \quad m = \rho_3 Sl$$

болох ба эндээс зэс утасны уртыг олбол

$$l = \frac{m}{S\rho_3}$$

болно. Үүнийг эхний томъёонд орлуулбал

$$R = \rho \frac{m}{S^2 \rho_3}$$

болох ба эндээс хөндлөн огтлолын талбайг олбол

$$S = \sqrt{\frac{\rho m}{R\rho_3}}$$

гэж олдоно. Нөгөө талаар зэс утасны хөндлөн огтлолын талбай

$$S = \pi \frac{d^2}{4} \quad \text{учир} \quad \pi \frac{d^2}{4} = \sqrt{\frac{\rho m}{R\rho_3}}$$

болно. Энэ томъёоноос зэс утасны диаметрийг олбол

$$d = \sqrt[4]{\frac{16\rho m}{\pi^2 R\rho_3}} \quad \text{буюу} \quad d = 1\text{мм}$$

гэж олдоно. Мөн зэс утасны уртыг олбол

$$l = \frac{4m}{\pi d^2 \rho_3} \quad \text{буюу} \quad l = 505\text{м}$$

болно.



Жишээ 7.5

Зурагт үзүүлсэн l урттай дамжуулагч материалаар хийгдсэн огтлогдсон конусын суурийн радиусууд нь a ба b бол конусын хоёр төгсгөлийн хоорондох эсэргүүцлийг тодорхойл. (7.8 –р зураг)

Бодолт:

Огтлогдсон конус дотор $a < r < b$ радиустай, πr^2 гэсэн хөндлөн огтлолын талбайтай, dx зузаантай маш нимгэн үеийг сонгон аваад түүний эсэргүүцлийг dR гээ. Тэгвэл

$$dR = \rho \frac{dx}{\pi r^2}$$

болох ба энд ρ - дамжуулагчийн хувийн эсэргүүцэл. Зураг дээрх төсөөтэй хоёр гурвалжнаас

$$\frac{dr}{dx} = \frac{b-a}{l}$$

гэсэн харьцааг бичиж болох ба эндээс dx - ийг олбол

$$dx = \frac{dr \cdot l}{b-a}$$

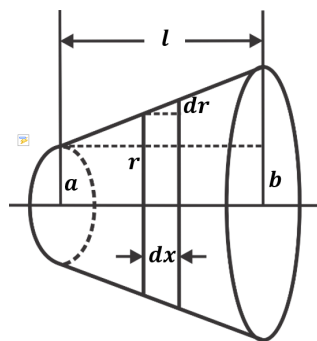
болно. Үүнийг dR - д орлуулбал

$$dR = \rho \frac{l}{\pi(b-a)} \frac{dr}{r^2}$$

болох ба үүнийг хоёр талаас нь интеграл авбал

$$R = \rho \frac{l}{\pi(b-a)} \int_a^b \frac{dr}{r^2} = \rho \frac{l}{\pi ab}$$

болно.



Зураг 7.8

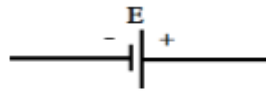


7.3 Шинжлэх даалгавар

1. Гүйдлийн хувийн чадал гэж юуг хэлэх вэ?
2. Хэлхээний хэсэгт унах хүчдэлийг хэрхэн тодорхойлох вэ?
3. Гадны хүч үйлчлээгүй үед хүчдэл ямар байх вэ?
4. Гадаад эсэргүүцэл дээрх чадлыг хэрхэн тодорхойлох вэ?
5. Дотоод эсэргүүцэл дээрх чадлыг хэрхэн тодорхойлох вэ?
6. Ашигтай чадлын максимум утга гэж юу вэ?
7. Хэдийд ашигтай чадал хамгийн их байх вэ?
8. Хэлхээний чадал хангалттай ашигтай байхын тулд эсэргүүцэл ямар байх вэ?
9. Хэлхээний чадал хамгийн их байхад $a.u.k$ ямар байх вэ?
10. Кирхгофийн аль дүрэм нь энерги хадгалагдах хуулийн мөрдөлгөө болох вэ?
11. Гүйдлийн дулааны чадлын нягтыг хэрхэн илэрхийлэх вэ?
12. Гүйдлийн хүчний томъёог бичиж тайлбарлана уу?
13. Нугалсан дамжуулагчаар гүйдэл гүйлгэхэд гүйдлийн нягт хаана хамгийн их байх вэ?
14. Гацуур модны гэрлүүдийг цуваа болон зэрэгцээ холбохын давуу ба сул талыг тайлбарлана уу?
15. R_1 ба $R_2 (R_1 < R_2)$ эсэргүүцэлтэй хоёр гэрлийн чийдэнг цуваа холбожээ. Аль нь тод гэрэлтэх вэ? Хэрвээ зэрэгцээ холбовол ямар байх вэ? Тайлбарлана уу?
16. Хоёр чийдэн ба хоёр батерейг яаж холбовол гаралтын чадал хамгийн их байх вэ? (Батерейн дотоод эсэргүүцлийг тооцохгүй)
17. Хэрэв хоёр резисторыг батерейтэй цуваа холбовол ганц резистор холбосон үеийнхээс чадал нь их байх уу? Бага байх уу?
18. Гүйдлийн нягт гэж юуг хэлэх вэ? Томъёог бичиж тайлбарлана уу?
19. Өрөөнд 60Вт-ын нэг чийдэн байв. Түүнийг 100Вт-ын чийдэнгээр сольж асаах үед хэлхээний эсэргүүцэл ямар болох вэ?
20. Батерейн цуваа болон зэрэгцээ холболтыг юунд ашиглах вэ?
21. Тогтмол гүйдлийн үүсгүүрийг цахилгаан хэлхээнд яаж дүрсэлдэг вэ?
22. Омын хууль бүх дамжуулагчид биелэх үү?
23. Дамжуулагчийн эсэргүүцэлд нөлөөлдөг хүчин зүйлүүд юу вэ?
24. Эсэргүүцэл ба хувийн эсэргүүцлийн ялгааг нэрлэнэ үү?
25. Омын хуулийн дифференциал илэрхийллийн гаргалгааг хийж тайлбарлана уу?



26. Батерейн хэрэглэгчид өгөх чадлыг нэмэгдүүлэхийн тулд батарейн дотоод эсэргүүцэл ямар байх вэ?
27. Кирхгофийн аль дүрэм нь цахилгаан хэлхээнд цэнэг хадгалагдах хуулийн мөрдлөгөө болох вэ?
28. Дээрх зурагт Ц.Х.Х-ний чиглэл гүйдлийн чиглэлийн эсрэг байвал потенциалын ялгавар нь ямар байх вэ?
29. Жоуль –Ленцийн хуулийн дифференциал илэрхийллээр юуг тодорхойлдог вэ?
30. Уг зурагт (7.9 –р зураг) Ц.Х.Х-ний чиглэл гүйдлийн чиглэлтэй тохирч байвал потенциалын ялгавар нь ямар байх вэ?



Зураг 7.9



7.4 Тооцоот даалгавар

1. 8см^2 талбайтай гадаргаар $q = 18t^3 + 3t + 8$ хуулиар цэнэг нэвтэрнэ. $t = 3\text{с}$ үед гадаргаар нэвтрэх гүйдлийн нягтыг олно уу?
2. Дамжуулагчийн $S = 10^{-4}\text{м}^2$ хөндлөн огтлолоор 20А гүйдэл гүйхэд хурд нь $v_d = 6 \cdot 10^{-4}\text{м/с}$ байсан бол чөлөөт электроны концентрацийг олно уу?
3. 20°C температуртай алтан утасны дотор 0.740В/м хүчлэгтэй цахилгаан орон байгаа бол гүйдлийн нягтыг олно уу?
4. Хэлхээ 40В Ц.Х.Х-тэй, 6 Ом дотоод эсэргүүцэл, 14 Ом гадаад эсэргүүцэлтэй байв. Хэлхээгээр гүйх гүйдлийн хүчийг олно уу?
5. Хэлхээний гүйдэл нь 2А , хүчдэл нь 5В бол 3 секунд хугацаанд хэдий хэмжээний дулаан ялгарах вэ?
6. Хэрэглэгчийг 24В хүчдэлд холбоход 5с хугацаанд 240Ж дулаан ялгарна. Хэрэглэгчийн гүйдлийг олно уу?
7. Хэлхээний Ц.Х.Х нь 40В ба гүйдэл нь 5А үед бүрэн чадал ямар байх вэ?
8. 6В Ц.Х.Х-тэй, 1 Ом дотоод эсэргүүцэлтэй гүйдэл үүсгэгч 12 Ом эсэргүүцэл бүхий хэлхээг тэжээж байсан бол 30 минутанд хэлхээнд ялгарах нийт дулааны хэмжээг олно уу?
9. 4 Ом ба 6 Ом эсэргүүцэлтэй хоёр дамжуулагчийг цуваа холбож 20В хүчдэлд залгав. Дамжуулагч дээр 10с хугацаанд ялгарах дулааны хэмжээг олно уу?
10. Дамжуулагч дээрх хүчдэл 24В байхад түүгээр 10с -ийн дотор 5Кл цэнэг урсан өнгөрчээ. Гүйдлийн чадлыг олно уу?
11. Хөнгөнцагаан дамжуулагчийн $S = 4 \cdot 10^{-6}\text{м}^2$ хөндлөн огтлолоор 5А гүйдэл гүйхэд электроны дрейфийн хурд ямар байх вэ? Атом тус бүрээс нэг электрон цахилгаан дамжуулалд оролцоно гэж үзнэ үү. Хөнгөнцагааны нягт $\rho_{Al} = 2.7\text{г/см}^3$.
12. Хэлхээний хүчдэлийг 2 дахин ихэсгэхэд тогтмол цахилгаан эсэргүүцэлтэй дамжуулагч дээр нэгж хугацаанд ялгарах дулааны хэмжээ хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
13. Хэлхээнд зэрэгцээ залгасан хоёр чийдэн 100Вт ба 300Вт чадалтай байв. Аль чийдэн нь хэд дахин их эсэргүүцэлтэй байна вэ?
14. Зэс дамжуулагчаар гүйх гүйдлийн хүчийг 3 дахин ихэсгэж, уул дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг 3 дахин багасгавал гүйдлийн нягт хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
15. Тогтмол гүйдлийн хэлхээнд хоёр ижил R эсэргүүцлийг цуваа ба зэрэгцээ холбоход ялгарах дулааны харьцааг олно уу?
16. Үүсгүүрийг 10 Ом эсэргүүцэлтэй хэрэглэгчид холбоход хэлхээний а.ү.к нь 0.6 байсан бол үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцлийг олно уу?
17. Цахилгаан индүү 800 Вт чадалтай. Хэрэв индүүний ороомог утсыг 3 дахин багасгавал түүний чадал ямар болох вэ?
18. 2м урттай, 4 Ом эсэргүүцэлтэй зэс утасны төгсгөлүүд дэхь потенциалын ялгавар 10В байсан бол утсаар гүйх гүйдлийн хүчийг олно уу?

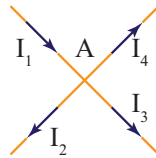


19. Дамжуулагч дээрх хүчдэл 12В байхад түүгээр 10с-ийн дотор 8Кл цэнэг урсан өнгөрчээ. Гүйдлийн чадлыг олно уу?
20. 8мм радиустай зэс дамжуулагчийн нэгж уртад ноогдох эсэргүүцлийг олно уу?
21. Хэлхээний хэсгийн эсэргүүцэл тогтмол байх үед гүйдлийн хүч 4 дахин өсөхөд хүчдэл хэрхэн өөрчлөгдсөн байх вэ?
22. 2 Ом дотоод эсэргүүцэлтэй гүйдэл үүсгэгч ба 1 Ом эсэргүүцэлтэй дамжуулагчаас тогтсон цахилгаан хэлхээнд гүйдлийн хүч 6А байсан бол гүйдэл үүсгэгчийн Ц.Х.Х-г олно уу?
23. 25м урттай никель дамжуулагчийн үзүүрүүд дээрх хүчдэлийн уналт 10В бол гүйдлийн нягтыг тодорхойлно уу?
24. 4см² талбайтай гадаргаар $q = 9t^3 + 5t + 16$ хуулиар цэнэг нэвтэрнэ. $t = 2$ с үед гадаргаар нэвтрэх гүйдлийн хүчийг олно уу?
25. Ижил урттай зэс ба хөнгөнцагаан утасны эсэргүүцлүүд ижил бол тэдгээрийн радиусын харьцааг олно уу?
26. Ижил хөндлөн огтлолтой, ижил урттай зэс ба төмөр цилиндр дамжуулагчийг зэрэгцээ холбов. Эдгээр дамжуулагчийн гүйдлийн ашигтай чадлын харьцааг тодорхойлно уу?
27. Дамжуулагчийн гүйдлийг 2 дахин ихэсгэхэд цэнэг зөөгчийн дрейфийн хурд хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
28. Дамжуулагчийн гүйдлийг 4 дахин ихэсгэхэд гүйдлийн нягт хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
29. 1.2см радиустай дамжуулагчийг 120В/м цахилгаан орноор үйлчлэхэд түүгээр 3А гүйдэл гүйнэ. Дамжуулагчийн хувийн эсэргүүцлийг олно уу?
30. 2000°С температуртай гянт дамжуулагчийн диаметр 0.02мм ба түүгээр 4А гүйдэл гүйж байв. Дамжуулагчийн цахилгаан орны хүчлэгийг тодорхойлно уу?



7.5 Тест

1. Дамжуулагчаар 5сек-д 90Кл цэнэг урсаж байгаа бол гүйдлийн хүчийг ол.
A. 450А В. 18А
C. 95А D. 85А
2. Хэрэглэгчид $U = 24\text{В}$ хүчдэл өгөхөд $I = 0.3\text{А}$ гүйдэл гүйж байгаа бол $t = 500\text{сек}$ хугацаанд ялгарах дулааныг ол.
A. 1080Ж В. 108Ж
C. 3600Ж D. 360Ж
3. $\varepsilon = 12\text{В}$ ц.х.х-тэй үүсгүүрийг хэрэглэгчид холбоход $I = 0.1\text{А}$ гүйдэл гүйв. Үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцэл $r = 20\text{Ом}$ бол хэрэглэгч дээрх хүчдлийг ол.
A. 10В В. 14В
C. 32.1В D. 21В
4. $\varepsilon = 40\text{В}$ ц.х.х-тэй $r = 5\text{Ом}$ дотоод эсэргүүцэлтэй үүсгүүрийн хэлхээнд үүсгэх ашигтай чадлын максимум утгыг ол.
A. 80Вт В. 8Вт
C. 320Вт D. 400Вт
5. Зурагт хэлхээний А зангилаан дээрх гүйдлүүдийн чиглэл болон гүйдлийн хүчнүүдийг тэмдэглэжээ. I_4 гүйдлийг илэрхийл.
A. $I_4 = I_3 - I_2 + I_1$ В. $I_4 = I_1 - I_2 - I_3$
C. $I_4 = I_1 + I_2 - I_3$ D. $I_4 = I_2 + I_1 - I_3$

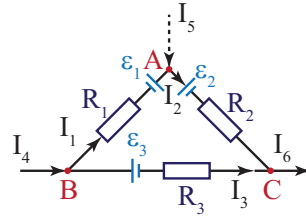


6. Ямар хугацаанд 8А гүйдэлтэй дамжуулагчаар 40Кл цэнэг урсан өнгөрөх вэ?
A. 48с В. 5с
C. 320с D. 32с
7. $R = 3\text{Ом}$ эсэргүүцэлтэй хэрэглэгчээр $I = 5\text{А}$ гүйдэл гүйж байгаа бол хэрэглэгч дээр ялгарах чадлыг ол.
A. 15Вт В. 75Вт
C. 45Вт D. 8Вт
8. $r = 15\text{Ом}$ дотоод эсэргүүцэлтэй үүсгүүрийг хэрэглэгчтэй холбоход $I = 0.3\text{А}$ гүйдэл гүйх ба хэрэглэгчийн эсэргүүцэл $R = 50\text{Ом}$ бол үүсгүүрийн ц.х.х-ийг ол.
A. 4.5В В. 1.5В
C. 65В D. 19.5В
9. $\varepsilon = 12\text{В}$ ц.х.х бүхий үүсгүүрийг $R = 4\text{Ом}$ эсэргүүцэлтэй хэрэглэгчид холбоход ашигтай чадал нь $P_a = 64\text{Вт}$ байсан бол хэлхээний бүрэн чадлыг ол.
A. 16Вт В. 48Вт
C. 76Вт D. 68Вт

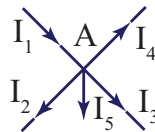


10. Дараах хүрээний хувьд Кирхгофын II-р хууль бичнэ үү.

- A. $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_1 R_1$
 B. $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_1 R_1$
 C. $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_1 R_1$
 D. $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_1 R_1$



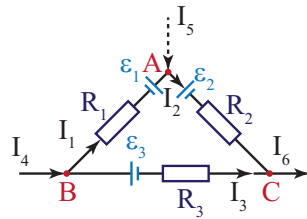
11. Хэлхээний хэсэгт 200В хүчдэлээр 5А гүйдэл гүйж байгаа бол энэ хэсгийн эсэргүүцлийг ол.
 A. 1000Ом B. 40Ом
 C. 205Ом D. 195Ом
12. $R_1 = 15\text{Ом}$ ба $R_2 = 50\text{Ом}$ эсэргүүцлийг цуваа холбож $R_3 = 30\text{Ом}$ эсэргүүцэлтэй зэрэгцүүлэн холбоход хэлхээний ерөнхий эсэргүүцэл ямар байх вэ?
 A. 10Ом B. 12Ом
 C. 50Ом D. 95Ом
13. Зэрэгцээ холбогдсон $R_1 = 12\text{Ом}$ ба $R_2 = 3\text{Ом}$ эсэргүүцлүүдийн R_1 эсэргүүцлээр $I_1 = 5$ гүйдэл гүйж байгаа бол R_2 эсэргүүцлээр гүйх гүйдлийн хүчийг ол.
 A. 36А B. 20А
 C. 1.2А D. 2А
14. $S = 2\text{мм}^2$ хөндлөн огтлолын талбайтай $R = 17\text{Ом}$ эсэргүүцэлтэй $\rho = 17\text{мкОм} \cdot \text{м}$ хувийн эсэргүүцэлтэй дамжуулагч утасны уртыг ол.
 A. 0.2м B. 20м
 C. 2м D. 200м
15. Зурагт хэлхээний А зангилаан дээрх гүйдлүүдийн чиглэл болон гүйдлийн хүчнүүдийг тэмдэглэжээ: I_3 гүйдлийг илэрхийл.
 A. $I_3 = I_1 - I_2 - I_4$ B. $I_3 = I_1 - I_2 + I_4 + I_5$
 C. $I_3 = I_1 + I_2 - I_4$ D. $I_3 = I_1 + I_2 + I_4 - I_5$



16. 160В хүчдэлд 40 Ом эсэргүүцэл залгахад гүйх гүйдлийн хүчийг ол.
 A. 6400А B. 200А
 C. 4А D. 120А



17. $R_1 = 12\text{Ом}$ ба $R_2 = 4\text{Ом}$ эсэргүүцлийг зэрэгцээ холбож $R_3 = 12\text{Ом}$ эсэргүүцэлтэй цуваа холбосон ерөнхий эсэргүүцэл ол?
- A. 4Ом B. 15Ом
C. 28Ом D. 20Ом
18. Цуваа холбогдсон хоёр эсэргүүцлийн эсэргүүцэл тус бүр дээр $U_1 = 10\text{В}$ ба $U_2 = 70\text{В}$ хүчдэл унаж байв. $R_1 = 3\text{Ом}$, R_2 эсэргүүцлийн хэмжээг ол.
- A. 10 Ом B. 21Ом
C. $1/3\text{ Ом}$ D. $1/7\text{ Ом}$
19. $S = 1\text{мм}^2$ хөндлөн огтлолын талбайтай $l = 2\text{м}$ дамжуулагч утасны хувийн эсэргүүцэл $\rho = 5\text{мкОм} \cdot \text{м}$ бол дамжуулагчийн эсэргүүцлийг ол.
- A. 10 Ом B. 20 Ом
C. 1 Ом D. 0.1 Ом
20. Дараах хүрээний AC хэсэг дэхь хүчдлийг олно уу.
- A. $U_{AC} = \varepsilon_2 + I_2 R_2$
B. $U_{AC} = I_2 R_2 - I_3 R_3 + I_1 R_1$
C. $U_{AC} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + I_1 R_1 + I_3 R_3$
D. $U_{AC} = \varepsilon_2 - I_2 R_2$





7.6 Бие даалтын бодлого

1. $S = 0.2\text{мм}^2$ хөндлөн огтлол бүхий хөнгөнцагаан дамжуулагчаар $I = 0.2\text{А}$ гүйдэл гүйж байв. Цахилгаан орны зүгээс чөлөөт электронд үйлчлэх хүчийг тодорхойлно уу? Хөнгөн цагааны хувийн эсэргүүцлийг $\rho = 2.6 \cdot 10^{-8}\text{Ом} \cdot \text{м}$ гэж тооцно уу.

2. a радиустай металл бөмбөлөг гадна талаараа b радиустай нимгэн металл бөмбөлөгөөр хүрээлэгдсэн. Хэрэв a ба b радиустай бөмбөлөг электродууд нь нэг цэг дээр төвтэй ба тэдгээрийн хоорондох зай нь ρ хувийн эсэргүүцэлтэй нэгэн төрлийн дамжуулагч бодисоор дүүргэгдсэн бол электродууд хоорондох завсарын эсэргүүцлийг олно уу?



3. $V = 10\text{см}^3$ эзлэхүүнтэй хөнгөнцагаан дамжуулагчаар $t = 5$ мин хугацаанд гүйдэл гүйхэд $Q = 2.3\text{кЖ}$ дулаан ялгарсан бол цахилгаан орны хүчлэгийг тодорхойлно уу? Хөнгөн цагааны хувийн эсэргүүцлийг $\rho = 2.6 \cdot 10^{-8}\text{Ом} \cdot \text{м}$ гэж тооцно уу.

4. 120В хүчдэлд ажиллах зориулалттай $P = 40\text{Вт}$ чадалтай цахилгаан чийдэн байлаа. Тэгвэл уг чийдэнг 220В хүчдэлд залгаж хэвийн гэрэлтэлт гарган авахын тулд чийдэнгийн хамт ямар хэмжээтэй нэмэлт эсэргүүцлийг хэрхэн холбох хэрэгтэй вэ? Ийм эсэргүүцлийг бий болгохын тулд $d = 0.3\text{мм}$ диаметртэй нихром утсыг ямар урттай авах ёстой вэ? Нихромын хувийн эсэргүүцлийг $\rho = 1 \cdot 10^{-6}\text{Ом} \cdot \text{м}$ гэж тооцно уу.



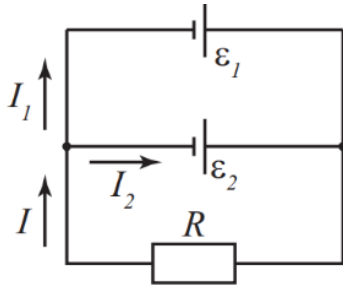
5. $\varepsilon = 500\text{В}$ Ц.Х.Х-тэй үүсгүүрээс $l = 2.5\text{км}$ зайд энерги дамжуулах шаардлагатай бөгөөд хэрэглэх чадал $P = 10\text{кВт}$. Хэрэв дамжуулагч зэс утасны хөндлөн огтлолын талбай $d = 1.5\text{см}$ бол чадлын хамгийн бага алдагдлыг олно уу? Зэсийн хувийн эсэргүүцлийг $\rho = 1.7 \cdot 10^{-8}\text{Ом} \cdot \text{м}$ гэж тооцно уу.

6. 5 Ом эсэргүүцэлтэй дамжуулагчийн үзүүрүүд дээрх хүчдэл 0.5 секундэд 0В -оос 20В болж шугаман хуулиар нэмэгдсэн бол энэ хугацаанд дамжуулагчаар гүйх цэнэгийн хэмжээг олно уу?

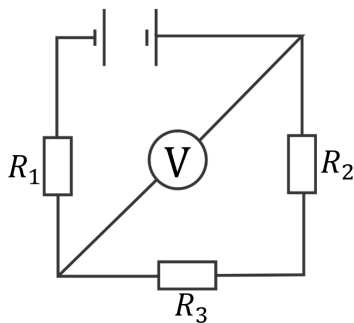


7. 5м урттай никель дамжуулагчийн үзүүрүүдийн хоорондох потенциалын ялгавар 12В ба дамжуулагчийн температур 540°C байсан бол түүгээр гүйх гүйдлийн нягтыг тодорхойлно уу? Никелийн хувийн эсэргүүцэл нь 0°C -д $\rho_0 = 4 \cdot 10^{-7}\text{Ом} \cdot \text{м}$, $\alpha = 10^{-4}\text{C}^{-1}$ гэж тооцно уу.
8. Машины аккумуляторын хоёр шонгийн хооронд вольтметр залгахад 12.60В зааж байв. Аккумуляторт гадаад эсэргүүцэл холбоход түүгээр 1.5А гүйдэл гүйж, вольтметр 12.58В зааж байсан бол аккумуляторын дотоод эсэргүүцлийг тодорхойлно уу.

9. Тус бүр нь $\varepsilon_1 = 2\text{В}$ ба $\varepsilon_2 = 1.5\text{В}$ Ц.Х.Х-тэй ба харгалзан $r_1 = 0.5\text{Ом}$ ба $r_2 = 0.4\text{Ом}$ дотоод эсэргүүцэлтэй хоёр гүйдэл үүсгүүрийг $R = 2\text{Ом}$ эсэргүүцэлтэй хэлхээнд зурагт үзүүлснээр зэрэгцээ холбожээ. Эсэргүүцлээр гүйх гүйдлийн хүчийг тодорхойлно уу.



10. Зурагт үзүүлсэн хэлхээний $R_1 = R_2 = R_3 = 100\text{Ом}$. Вольтметрийн эсэргүүцэл нь $R_V = 800\text{Ом}$ ба хүчдэл нь $U_V = 200\text{В}$ болно. Үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцлийг тооцохгүй бол Ц.Х.Х-ийг тодорхойлно уу.





Семинар 8

Металл, шингэн, хий дахь цахилгаан гүйдэл

8.1 Томъёо ба тодорхойлолтууд

Гүйдлийн нягт j , цэнэг зөөгчийн дундаж хурд $\langle v \rangle$ болон концентрац n нь хоорондоо дараах холбоотой байна.

$$j = ne \langle v \rangle$$

Омын хуулийн дифференциал хэлбэр нь:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

байна. Энд γ нь хувийн цахилгаан дамжуулалт, \vec{j} гүйдлийн нягт, \vec{E} цахилгаан орны хүчлэг.

Жоуль-Ленцийн хуулийн дифференциал хэлбэр:

$$w = \gamma E^2.$$

Энд w нь нэгж эзлэхүүнд ялгарах чадал.

Хувийн цахилгаан дамжуулалт γ нь:

$$\gamma = \frac{1}{2} \frac{e^2 n \langle l \rangle}{m u}$$

Энд e ба m нь электроны цэнэг болон масс, n электроны концентрац, $\langle l \rangle$ түүний чөлөөт нисэлтийн дундаж урт, u электроны эмх замбараагүй хөдөлгөөний хурд.

Фарадейн нэгдүгээр хууль:

$$m = kQ$$

Энд m нь электрод дээр ялгарах бодисын масс, Q – электролитээр дайран өнгөрсөн цахилгаан цэнэгийн хэмжээ, k – бодисын цахилгаан химийн эквивалент.

Фарадейн хоёрдугаар хууль:

$$k = \frac{M}{FZ}$$

Энд $F = 96.5 \text{кКл/моль}$ нь Фарадейн тогтмол, M – тухайн бодисын ионы молийн масс, Z – ионы валент.

Дээрх хоёр хуулийг нэгдсэн байдлаар

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} Q = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} It$$



гэж бичиж болно. Энд I – гүйдлийн хүч, t – гүйдэл гүйсэн хугацаа.

Ионы хөдлөц

$$b = \langle v \rangle / E$$

Энд $\langle v \rangle$ – электроны цэгцэрсэн хөдөлгөөний дундаж хурд, E – цахилгаан орны хүчлэг.

Хийн бие даасан ниргэлгийн болон электролитын хувьд бичсэн Омын хуулийн дифференциал хэлбэр:

$$\vec{j} = Qn(b_{\oplus} + b_{\ominus})\vec{E}$$

Энд Q – ионы цэнэг, n – ионы концентрац, b_{\oplus} ба b_{\ominus} нь харгалзан эерэг ба сөрөг цэнэгийн хөдлөц.

Ханасан гүйдлийн нягт:

$$j_x = Qn_0d$$

Энд n_0 – нэгж хугацаанд нэгж эзлэхүүнд иончлогчийн үүсгэж байгаа ионы хосын тоо, d – электродуудын хоорондын зай. n_0 –ийг цаашид задлан бичвэл $n_0 = N/(Vt)$ болно. Энд N нь t хугацаанд электродуудын хооронд иончлогчийн үүсгэсэн ионы тоо, V – электродуудын хоорондын орон зайн эзлэхүүн.



8.2 Жишээ бодлого

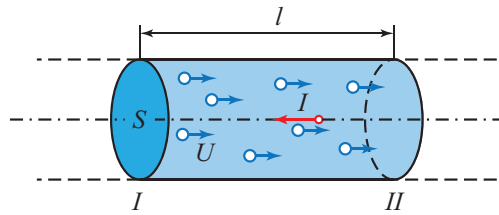
Жишээ 8.1

$d = 0.6$ мм диаметртэй төмөр дамжуулагчаар 16А гүйдэл гүйж байв. Чөлөөт электроны концентрац n нь дамжуулагч дахь атомын концентрац n' -тэй тэнцүү гэж үзээд электроны цэгцэрсэн хөдөлгөөний дундаж хурд $\langle v \rangle$ -г тодорхойл.

Бодолт: Цэгцэрсэн хөдөлгөөний дундаж хурд нь

$$\langle v \rangle = l/t \quad (8.1)$$

t нь l буюу дамжуулагчийн I огтлолоос II огтлол хүртэлх зайг туулсан хугацаа .



Энэ хугацаанд $Q = eN$ хэмжээний цэнэг урсан өнгөрнө. Энэ гүйдлийн хүч нь

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{eN}{t} \quad (8.2)$$

Энд N нь дамжуулагчийн зурагт үзүүлсэн хэсэг дахь цэнэг зөөгч электронуудын тоо.

Үүнийг

$$N = nV = nlS \quad (8.3)$$

гэж илэрхийлж болно. Бодлогын нөхцөл ёсоор $n = n'$. Үүнийг тооцвол:

$$n = n' = \frac{N_0}{V_m} = \frac{N_0}{M/\rho} = \frac{N_0\rho}{M} \quad (8.4)$$

Энд N_0 – Авогадрийн тоо, V_m – нэг моль металлын эзлэхүүн, M – тухайн металлын молийн масс, ρ – нягт. 8.3 болон 8.4 -ийг тооцвол

$I = \frac{N_0\rho l S e}{M t}$ болно. Эндээс $l = IMt/(N_0\rho S e)$. $S = \pi d^2/4$ болохыг тооцоод 8.1 томъёогоор олбол

$$\langle v \rangle = \frac{4IM}{\pi d^2 N_0 \rho e} = 4.2 \text{мм/с}$$

Жишээ 8.2

$\mathcal{E} = 6$ В ЦХХ бүхий хэлхээнд $R = 80$ Ом эсэргүүцэл залгав.

1) Тэдгээрийг холбосон талбай бүхий дамжуулагчаар өнгөрөх гүйдлийн нягтыг ол.

2) сек хугацаанд дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоор өнгөрөх электроны тоо -ийг ол.

Гүйдэл үүсгэгчийн дотоод эсэргүүцэл болон тэдгээрийг холбосон дамжуулагч утасны эсэргүүцлийг тооцохгүй.

Бодолт:

1. Гүйдлийн нягтын тодорхойлолт ёсоор

$$j = I/S \quad (8.5)$$



болно.

Омын хууль ёсоор энэ хэлхээгээр гүйх гүйдэл нь:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_i + r_i} \quad (8.6)$$

Энд R – резисторын эсэргүүцэл, R_i – дамжуулагч утасны эсэргүүцэл, r_i – гүйдэл үүсгэгчийн дотоод эсэргүүцэл. Сүүлийн хоёрыг нь тооцохгүй тул $I = \mathcal{E}/R$ болно. Үүнийг 8.5 илэрхийлэлд орлуулан тавивал:

$$j = \frac{6}{80 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \text{А/м}^2 = 3.75 \cdot 10^4 \text{А/м}^2$$

2. Электроны тоо нь $N = Q/e$. $Q = It$ болон $I = \mathcal{E}/R$ болохыг тооцвол

$$N = \frac{\mathcal{E}t}{Re} = 4.69 \cdot 10^{17}$$

болж байна.

Жишээ 8.3

Хавтгай конденсаторын хавтаснуудын хоорондын орон зайн нь $V = 375 \text{см}^3$ эзлэхүүнтэй. Уг орон зай гүйцэд биш иончогдсон устөрөгчөөр дүүргэгдсэн байв. Хавтасны талбай $S = 250 \text{см}^2$. Хавтас хооронд хүчдэл U -ын ямар утгад тэдгээрийн хоорондын гүйдэл $I = 2 \text{мкА}$ болох вэ? Хий дахь эерэг болон сөрөг ионы концентрац нь тэнцүү бөгөөд $n = 5.3 \text{см}^3$ -тай тэнцүү. Эерэг болон сөрөг ионуудын хөдлөц нь харгалзан $b_{\oplus} = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ болон $b_{\ominus} = 7.4 \cdot 10^{-4} \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Бодолт:

Конденсаторын хоорондын хүчдэл U нь тэдгээрийн хоорондох зай d ба цахилгаан орны хүчлэг E нь

$$U = Ed \quad (8.7)$$

хамааралтай.

Харин цахилгаан орны хүчлэг E нь гүйдлийн нягттай

$$j = Qn(b_{\oplus} + b_{\ominus})E$$

хамааралтай. Энд Q нь ионы цэнэг. Эндээс

$$E = \frac{j}{Qn(b_{\oplus} + b_{\ominus})} = \frac{I}{Qn(b_{\oplus} + b_{\ominus})S}$$

болно.

8.7 томьёо дахь d нь $d = V/S$ гэж олдоно. E ба d -г 8.7 -д орлуулбал

$$U = \frac{IV}{Qn(b_{\oplus} + b_{\ominus})S^2} = 110 \text{В} \quad (8.8)$$

Жишээ 8.4

Хэрэв электролитээр урсан өнгөрөх гүйдлийн нягт $j = 30 \text{А/м}^2$ электролизын үед электрод дээр ургах никелийн үеийн өсөлтийн хурд u -г мкм/ц нэгжээр илэрхийл. Никел нь хоёр валенттай.



Бодолт: Фарадейн хуулийг ашиглая.

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} It \quad (8.9)$$

Ялгарсан никел электродыг нэгэн жигд бүрхэнэ гэж үзье. Тэгвэл t хугацаанд ялгарсан никелийн масс m -ийг нягт, электродын талбай S , бүрхэлтийн зузаан h -аар илэрхийлж болно.

$$m = \rho Sh \quad (8.10)$$

Нөгөө талаас гүйдлийн хүчийг электродын талбай S ба гүйдлийн нягт j -ээр илэрхийлж болно.

$$I = jS \quad (8.11)$$

8.9 томъёонд массыг илэрхийлсэн 8.10, гүйдлийн хүчийг илэрхийлсэн 8.11 томъёонуудыг орлуулбал:

$$\rho h = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} jt \quad (8.12)$$

Гүйдлийн хүчийг өөрчлөхгүй бол никелийн үеийн зузаан нэгэн жигд u хурдаар нэмэгдэнэ. $u = h/t$ болох тул 8.12-өөс

$$u = \frac{1}{F} \frac{Mj}{Z\rho} = 3.74 \text{ мкм/цаг}$$

болж байна.



8.3 Шинжлэх даалгавар

1. Вакуумт хоолой дахь цэнэг зөөгч нь ямар бөөм бэ?
2. Вакуумт диодын аль электродыг нь халаадаг вэ?
3. Вакуумт диодын гүйдэл нь хүчдлээс ямар хуулиар хамаардаг вэ?
4. Вакуумт диодын катодын температурыг нэмэгдүүлбэл ханасан гүйдлийн утга хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
5. Ионы хөдлөц болон хурд нь ямар хамааралтай вэ?
6. Хийг ионжуулахын тулд халааж болох уу?
7. Нэл орчин дахь гүйдлийн хүчийг нэмэгдүүлэхийн тулд орчинд байрлуулсан электродын талбайг хэрхэн өөрчлөх вэ?
8. Нэл орчин дахь гүйдлийн хүчийг нэмэгдүүлэхийн тулд орчинд байрлуулсан электродуудын хоорондын зайг хэрхэн өөрчлөх вэ?
9. Вакуум дахь цахилгаан гүйдлийн ханалтын утга нь катодын материалын гаралтын ажлаас хэрхэн хамаарах вэ?
10. Вакуум дахь цахилгаан гүйдлийн ханалтын утгыг нэмэгдүүлэхийн тулд катодыг ямар материалаар хийх хэрэгтэй вэ?
11. Электрон лампан дахь ханалтын гүйдлийн хүч нь катодын температурыг ихэсгэхэд мөн багасгахад яаж өөрчлөгдөх вэ?
12. Шингэн дэх цахилгаан гүйдлээр электрод дээр нэгж хугацаанд ялгарах бодисын масс нь гүйдлийн хүчийг багасгахад хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
13. Гэрэлтүүлгийн шугамын утаснуудыг найдвартай тусгаарлагчаар бүрж байрлуулна. Өндөр хүчдэлийн шугамын утаснууд тусгаарлахгүйгээр байрлуулдгийн учир юу вэ?
14. Электролит бүхий саванд дүрсэн хоёр электродын хүчдэл тогтмол байх үед хугацаа өнгөрөх тутам цэнэг зөөгчийн концентраци яаж өөрчлөгдөх вэ?
15. Цэвэрээр ялгасан тохиолдолд хагас дамжуулагчийн цахилгаан дамжуулах чадвар ихсэх үү?
16. Нуман ниргэлэгийн үед гүйдэл нэмэгдэх тусам хүчдэл яагаад буурдагийг тайлбарла.
17. p төрлийн хагас дамжуулагчийн үндсэн цэнэг зөөгч нь юу вэ?
18. Фарадейн нэгдсэн хуулийг бичиж тайлбарла.
19. Төмөр дамжуулагчийг хөргөхөд цахилгаан дамжуулалт нь өөрчлөгдөх үү? Учрыг тайлбарла
20. Цэнэг зөөгчийн дрейфийн хурд гэж юуг ойлгох вэ?



8.4 Тооцоот даалгавар

1. 4мм^2 талбайтай дамжуулагчаар 0.8А гүйдэл гүйж байв. Уг дамжуулагчийн см куб бүрт $n = 2.5 \cdot 10^{22}$ тооны электрон байгаа бол тэдгээрийн цэгцэрсэн хөдөлгөөний хурдыг ол.
2. $j = 10 \text{ А/мм}^2$ нягттай гүйдэл гүйж байгаа дамжуулагч дахь цахилгаан орны хүчлэг 1м/Вм болно. Түүний нэгж эзлэхүүнд ялгарах дулааны чадлыг ол.
3. $I = 5\text{А}$ гүйдлээр электролиз явуулж буй саванд $t = 10$ мин хугацаанд $m = 1.02$ г масстай хоёр валенттай металл ялгарав. Түүний харьцангуй атом масс A_r -г ол.
4. Вакуумт диодын ханасан гүйдлийн утга нь 10мА болно. Лампын катодоос секунд бүрд сугаран гарах электроны тоог ол.
5. 8мм^2 хөндлөн огтлолын талбайтай, $2 \cdot 10^{-4}\text{Ом}\cdot\text{мм}$ хувийн эсэргүүцэлтэй дамжуулагчаар 1А гүйдэл гүйнэ. Түүн доторх цахилгаан орны хүчлэгийг ол.
6. $3/2$ -ын хууль биелэх мужид вакуум хоолой дахь гүйдлийг $I_2/I_1 = 2/3$ байхаар өөрчлөхөд хүчдэлүүдийн харьцаа нь хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?
7. $j = 20 \text{ А/мм}^2$ нягттай гүйдэл гүйж байгаа дамжуулагч дахь цахилгаан орны хүчлэг 3м/Вм болно. Түүний нэгж эзлэхүүнд ялгарах дулааны чадлыг ол.
8. Электролизын ванн дотор 5А гүйдэл гүйж байхад 10 минутад 1г металл ялгарах бол 1 цагт ямар хэмжээний металл ялгарах вэ?
9. Электрон лампын анодын ханасан гүйдэл 1.6мА болно. Лампын катодоос нэгж хугацаанд сугаран гарах электроны тоог ол.
10. Дамжуулагч дахь цэнэг зөөгчийн дрейфийн хурдыг 3 дахин ихэсгэвэл гүйдлийн нягт хэд дахин ихсэх вэ?
11. Ялтасыг 50мкм зузаантай хромоор бүрэв. Гүйдлийн нягт нь 2кА/м^2 , хромын нягт нь 7200кг/м^3 , цахилгаан химийн эквивалент нь $0.18 \cdot 10^{-6}\text{кг/Кл}$ бол бүрэхэд ямар хугацаа зарцуулсан бэ?
12. Цахилгаан химийн эквивалент нь 0.0104кг/Кл электролитийн электрод хооронд 5В хүчдэл өгч 2.5л устөрөгч гарган авав. Устөрөгчийн температур нь 250°C , даралт нь 100кПа бөгөөд төхөөрөмжийн АҮК нь 75% болно. Ашигтай зарцуулагдсан энергийн хэмжээг ол.
13. Аянганы гүйдлийн хүч 30кА бөгөөд үргэлжлэх хугацаа нь 1мс . Аянга буух үед шилжсэн цэнэгийн хэмжээг ол.
14. $R = 5\text{см}$ радиустай дамжуулагч бөмбөрцөгийг зэсийн сульфатын уусмалаар дүүргэсэн электролитийн ваннд байрлуулав. Бөмбөрцөг гадаргуугийн квадрат сантиметр тутамд 1секундэд $q = 0.01\text{Кл}$ цэнэг нийлүүлж, электролиз 30 минутын туршид үргэлжилжээ. Бөмбөрцөгийн жин хэд дахин нэмэгдэх вэ? Зэсийн молийн масс нь $\mu = 0.0635\text{кг/моль}$.
15. Нэг цаг үргэлжилсэн электролизийн үед гүйдэл 5А байв. Хэрэв 10^5Па даралтад ялгарсан устөрөгчийн эзэлхүүн 1.5л байвал температур нь ямар байх вэ? Устөрөгчийн цахилгаан химийн эквивалент 10^{-8}кг/Кл



16. Ялтасыг никелиэр бүрэхэд $l = 0.01$ мм-ийн зузаан никель давхаргыг 1 цагт бий болгодог. Хэрэв никелийн молийн масс $\mu = 0.0587$ кг/моль, валент нь $Z = 2$, никелийн нягт 8900 кг/м³ бол гүйдлийн нягтыг тодорхойлно уу.
17. 200г масстай мөнгө гарган авахын тулд зарцуулсан цахилгаан энергийг тодорхойл. Электролизийг 20В хүчдэлээр явуулдаг бөгөөд төхөөрөмжийн АҮК нь 80% болно. Мөнгөний цахилгаан химийн эквивалент $1.118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.
18. Электролизийн үед 300 А/м² гүйдлийн нягтийн нөлөөн дор электрод дээр 0.03мм зузаантай зэсийн давхарга үүсэв. Энэ электролиз хэр удаан үргэлжилсэн бэ? Зэсийн нягт нь 9000 кг/м³, цахилгаан химийн эквивалент нь $0.3 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл болно.
19. Хэвийн нөхцөлд 2кН өргөх хүч гаргах ёстой устөрөгчийн хийн бөмбөлгийг устөрөгчөөр дүүргэх хэрэгтэй болов. Усыг цахилгаанаар задалж устөрөгчийг нь гаргах бол электролиз явуулахад хэр хугацаа шаардагдах вэ? Электролизийн гүйдэл нь 200А байна.
20. Мөнгөний цахилгаан химийн эквивалент $k = 1.12 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл байдаг. Энэхүү өгөгдлийг ашиглан алтны цахилгаан химийн эквивалентийг тодорхойлно уу. Алт болон мөнгөний валент нь 1 болно.



8.5 Тест

- 2мм² хөндлөн огтлолтой, $2 \cdot 10^{-4}$ Ом · м хувийн эсэргүүцэлтэй дамжуулагчаар 5А гүйдэл гүйнэ. Түүний доторхи цахилгаан орны хүчлэгийг ол.
А. 200В/м В. 400В/м
С. 500В/м D. 80В/м
- Электрон лампын анодын ханасан гүйдэл 16мА болно. Лампын катодоос секунд бүрд хэдэн электрон сугаран гардаг вэ?
А. 10^{17} В. $16 \cdot 10^{16}$
С. $8 \cdot 10^{15}$ D. $1.6 \cdot 10^{19}$
- Вакуумын диодын хүчдэлийг 9 дахин ихэсгэвэл гүйдэл нь хамгийн ихдээ хэд дахин ихсэх вэ?
А. 3 В. 9
С. 27 D. 81
- $j = 20\text{А/мм}^2$ нягттай гүйдэл гүйж байгаа дамжуулагч дахь цахилгаан орны хүчлэг $E = 4\text{мВ/м}$ болно. Түүний нэгж эзлэхүүнд ялгарах дулааны чадал ω -г ол.
А. 10кВт/м^3 В. 80кВт/м^2
С. 5кВт/м^3 D. 16кВт/м^3
- Аль нь Фарадейн хуулинд хамаарахгүй вэ?
А. $Q = MA/Z$ В. $M = kQ$
С. $k = A/FZ$
- $4 \cdot 10^{-3}$ Ом · м хувийн эсэргүүцэлтэй дамжуулагчийн дотор 200В/м хүчлэг үүсэж байгаа бол гүйдлийн нягтыг ол.
А. 6А/см^2 В. 5А/см^2
С. 4А/см^2 D. 3А/см^2
- Электрон лампын катодаас секунд бүрд $3 \cdot 10^{18}$ электрон сугаран гарах бол гүйдлийн хүчийг ол.
А. 30А В. 1.6А
С. 4.8А D. 3А
- Вакуумын электрон лампын анодын гүйдэл 3мА болно. Анодын гүйдлийг 81мА болгохын тулд хүчдэлийг хэд дахин ихэсгэх хэрэгтэй вэ? Гүйдлийн хүч ханах хязгаарт хүрэхгүй.
А. 3 В. 9
С. 27 D. 81
- $j=40\text{А/мм}^2$ нягттай гүйдэл гүйж байгаа дамжуулагч дахь цахилгаан орны хүчлэг $E = 8\text{мВ/м}$ болно. Түүний нэгж эзлэхүүнд ялгарах дулааны чадал ω -г ол.
А. 320кВт/м^3 В. 80кВт/м^2
С. 20кВт/м^3 D. 32кВт/м^3
- n маягийн хагас дамжуулагчийн цэнэг зөөгч нь ямар бөөм бэ?.
А. Электрон В. Нүх
С. Ион D. Протон
- 20м урт дамжуулагчийн төгсгөлүүдэд 200В хүчдэл өгвөл дамжуулагчийн дотор үүсэх цахилгаан орны хүчлэгийг ол.



- A. 20Н/Кл В. 4кН/Кл
С. 10кН/Кл D. 10Н/Кл
12. Термохосын цахилгаан хөдөлгөгч хүч нь 4мА байв. Түүний залгаасуудын температурын зөрөөг хэд дахин нэмэгдүүлбэл ц.х.х нь 20мВ болох вэ?
A. 5 В. 80
С. 10 D. ln5
13. $S = 4\text{мм}^2$ талбайтай дамжуулагчаар $I=80\text{А}$ гүйдэл гүйж байв. Уг дамжуулагчийн куб сантиметр бүрт $n = 2.5 \cdot 10^{22}$ тооны электрон байх бол тэдгээрийн цэгцэрсэн хөдөлгөөний хурд $\langle v \rangle$ -г ол.
A. 0.5м/с В. 5мм/с
С. 8м/с D. 10^6м/с
14. Аль нь Омын хуулийн дифференциал хэлбэр вэ?
A. $\vec{j} = \gamma \vec{E}$ В. $\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\gamma}$
С. $j = \gamma E^2$ D. $I = \frac{\gamma U}{R}$
15. Электролитээр 60Кл цэнэг урсахад катод дээр 1.8г масс ялгарав. Электролитийн цахилгаан химийн эквивалентыг ол.
A. 48г/Кл В. 0.03г/Кл
С. 3г/Кл D. $4.8 \cdot 10^{19}\text{г/Кл}$
16. 40м урт дамжуулагчид ямар хүчдэл өгвөл дотор нь 2Н/Кл хүчлэг үүсэх вэ?
A. 20В В. 40В
С. 80В D. 10В
17. Термобатерейн ц.х.х нь 6В байгаа бол зэргэлдээ хоёр залгаасанд үүсэх ц.х.х нь 15мВ бол термобатерейд хэдэн термоахос байгаа вэ?
A. 100 В. 90
С. 400 D. 60
18. $S = 4\text{мм}^2$ талбайтай дамжуулагчаар $I=3.2\text{А}$ гүйдэл гүйж байв. Уг дамжуулагчийн куб сантиметр бүрт $n = 2.5 \cdot 10^{22}$ тооны электрон байх бол тэдгээрийн цэгцэрсэн хөдөлгөөний хурд $\langle v \rangle$ -г ол.
A. 5мм/с В. 0.05мм/с
С. 0.2мм/с D. 5000м/с
19. Аль нь хоёрны гурван хуулийн математик бичиглэл бэ?
A. $\vec{j} = \gamma \vec{E}$ В. $I_a = BU_a^{3/2}$
С. $E = \frac{3}{2}kT$
20. Цахилгаан химийн эквивалент нь 32мг/Кл электролитээр 10А гүйдэл 50с хугацаанд гүйхэд катод дээр ялгарах массыг ол.
A. 16г В. 3г
С. 2г D. 64г



8.6 Бие даалтын бодлого

1. $S = 4\text{мм}^2$ талбайтай дамжуулагчаар $I = 0.8\text{А}$ гүйдэл гүйж байв. Уг дамжуулагчийн куб сантиметр бүрт $n = 2.5 \cdot 10^{22}$ тооны электрон байх бол тэдгээрийн цэгцэрсэн хөдөлгөөний хурд $\langle v \rangle$ -г ол.

2. Хөнгөнцагаан дамжуулагч дахь гүйдлийн нягт $j = 1\text{А}/\text{мм}^2$ бол электроны цэгцэрсэн хөдөлгөөний хурд $\langle v \rangle$ -ыг ол. Нэгж эзлэхүүн дэх чөлөөт электроны тоо нь атомынхаа тоотой тэнцүү гэж бод.



3. $V = 6\text{см}^3$ эзлэхүүнтэй зэс дамжуулагчаар гүйдэл гүйсний улмаас $t = 1$ мин хугацаанд $Q = 216\text{Ж}$ дулаан ялгарав. Дамжуулагч дахь цахилгаан орны хүчлэг E -г тодорхойл.

4. Металл дамжуулагч $a = 100\text{м/с}^2$ хурдатгалтай хөдөлж байв. Дамжуулалтын чөлөөт электроны загварыг ашиглан дамжуулагч дахь цахилгаан орны хүчлэг E -г ол.



5. Металлын хувийн цахилгаан дамжуулалт нь $\gamma = 10 \text{ МСм/м}$. Металл дахь чөлөөт электроны концентрац нь $n = 10^{28} \text{ м}^{-3}$ бол электроны чөлөөт нисэлтийн дундаж урт $\langle l \rangle$ -ийг ол. Электроны эмх замбараагүй хөдөлгөөний хурд нь $u = 1 \text{ Мм/с}$ байна гэж үз.

6. Ямар T_2 температурт торитой вольфрамын ханасан гүйдлийн нягт $T_1 = 2500 \text{ К}$ температур дахь цэвэр вольфрамынхтай ижил байх вэ?



7. $l = 84\text{см}$ урттай, $S = 5\text{мм}^2$ хөндлөн огтлолын талбайтай ионжуулсан агаараар дүүргэсэн хоолойн эсэргүүцлийг ол. Нэгж эзэлхүүн дэх ижил тэмдэгтэй ион тус бүрийн концентраци $n = 10^{13}\text{м}^{-3}$. Эерэг болон сөрөг ионы хөдлөц нь харгалзан $U_+ = 1.3 \cdot 10^{-4}\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ба $U_- = 1.8 \cdot 10^{-4}\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ болно.

8. Ялтасыг мөнгөөр бүрэхийн тулд мөнгөний нитратийн уусмал дундуур $j = 2\text{кА}/\text{м}^2$ нягттай гүйдэл гүйлгэсэн бол бүрэх дундаж хурдыг ол. Мөнгөний харьцангуй атом масс $\mu = 108\text{гр}/\text{моль}$, валент нь $Z = 1$, нягт нь $\rho = 1.05 \cdot 10^4\text{кг}/\text{м}^3$ болно.



9. $T_1 = 2400\text{K}$ температурт байсан вольфрамын температурыг $\Delta T = 100\text{K}$ -ээр ихэсгэсэн бол термоэлектрон эмиссийн гүйдлийн нягт яаж өөрчлөгдөх вэ?

10. $T = 300\text{K}$ температуртай, $p = 100\text{kPa}$ даралттай, $V = 2.5 \cdot 10^{-3}\text{m}^3$ эзэлхүүнтэй уснаас устөрөгчийг нь ялгахад хэчнээн хэмжээний цахилгаан энерги шаардлагатай вэ? Электролиз нь $U = 5\text{V}$ хүчдлээр явагдах бөгөөд төхөөрөмжийн АҮК нь $\eta = 0.75$ болно.