



Гарчиг

1 Соронзон орон	3
1.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд	3
1.2 Жишээ бодлого	8
1.3 Шинжлэх даалгавар	11
1.4 Тооцоот даалгавар	13
1.5 Тест	15
1.6 Бие даалтын бодлого	19
2 Цахилгаан соронзон индукц	24
2.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд	24
2.2 Жишээ бодлого	27
2.3 Шинжлэх даалгавар	30
2.4 Тооцоот даалгавар	32
2.5 Тест	35
2.6 Бие даалтын бодлого	37
3 Цахилгаан соронзон орон	42
3.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд	42
3.2 Жишээ бодлого	47
3.3 Шинжлэх даалгавар	53
3.4 Тооцоот даалгавар	55
3.5 Тест	58
3.6 Бие даалтын бодлого	61
4 Геометр оптик	66
4.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд	66
4.2 Жишээ бодлого	70
4.3 Шинжлэх даалгавар	73
4.4 Тооцоот даалгавар	75
4.5 Тест	77
4.6 Бие даалтын бодлого	80
5 Долгион оптик	85
5.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд	85
5.2 Жишээ бодлого	88
5.3 Шинжлэх даалгавар	91
5.4 Тооцоот даалгавар	93
5.5 Тест	96
5.6 Бие даалтын бодлого	100



6	Квант оптик, Фотоэффект	105
6.1	Томьёо ба тодорхойлолтууд	105
6.2	Жишээ бодлого	108
6.3	Шинжлэх даалгавар	111
6.4	Тооцоот даалгавар	113
6.5	Тест	115
6.6	Бие даалтын бодлого	118
7	Атомын физик	123
7.1	Томьёо ба тодорхойлолтууд	123
7.2	Жишээ бодлого	129
7.3	Шинжлэх даалгавар	132
7.4	Тооцоот даалгавар	134
7.5	Тест	136
7.6	Бие даалтын бодлого	139
8	Цөмийн физик	144
8.1	Томьёо ба тодорхойлолтууд	144
8.2	Жишээ бодлого	147
8.3	Шинжлэх даалгавар	150
8.4	Тооцоот даалгавар	152
8.5	Тест	154
8.6	Бие даалтын бодлого	156

Семинар 1

Соронзон орон

1.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Соронзон орныг индукцийн вектор ба хүчлэг вектороор тодорхойлно.

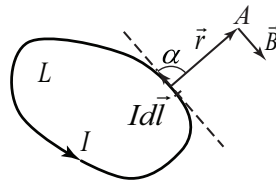
Соронзон индукцийн вектор \vec{B} ба хүчлэгийн вектор \vec{H} хоорондоо дараах холбоотой:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} \quad (1.1)$$

μ – орчны соронзон нэвтрүүлэх коэффициент, μ_0 – соронзон тогтмол, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м}$.

- Био – Савар – Лапласын хууль.

Гүйдэлтэй дамжуулагчийн $I d\vec{l}$ гүйдлийн элементээс \vec{r} радиус вектортой А цэгт үүсэх соронзон орны индукц $d\vec{B}$ нь



Зураг 1.1

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1.2)$$

Модуль нь:

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{r^2} \sin \alpha \quad (1.3)$$

- Гүйдэлтэй хүрээний А цэгт үүсэх соронзон орны индукц нь түүний $I d\vec{l}$ гүйдлийн элементүүдийн үүсгэх индукцийн векторуудын нийлбэртэй тэнцүү:

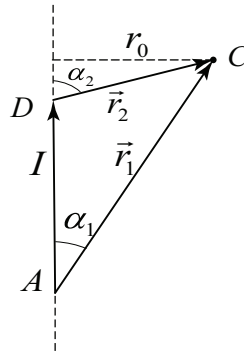
$$\vec{B} = \oint_L d\vec{B} = \oint_L \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1.4)$$

Шулуун гүйдлийн соронзон орон

- Гүйдэлтэй дамжуулагчийн төгсгөлөг урт бүхий AD шулуун хэсгээс C цэгт үүсгэх соронзон орны индукц:

$$B_C = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (1.5)$$

r_0 – дамжуулагчийн орших шулуунаас тухайн цэг хүртлэх зай, α_1 ба α_2 – тухайн цэг рүү дамжуулагчийн төгсгөлүүдээс татсан радиус векторууд ба гүйдлийн чигийн хоорондох өнцөг.



Зураг 1.2

- Төгсгөлгүй урт, гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчийн хувьд $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 180^\circ$ учир 1.5 –р томъёонд орлуулбал

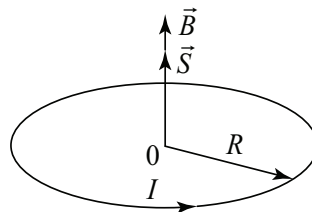
$$B_{\text{ш}} = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0} \quad (1.6)$$

Дугуй гүйдлийн соронзон орон

- R радиус бүхий дугуй гүйдлийн тойргийн төв дэх соронзон орны индукц

$$B_{\text{д}} = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} = \frac{\mu\mu_0 P_m}{2\pi R^3} \quad (1.7)$$

P_m – гүйдэлтэй хүрээний соронзон момент



Зураг 1.3

$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S} \quad (1.8)$$

\vec{S} – гүйдэлтэй хүрээний талбайн вектор

- Дугуй гүйдлийн төвөөс h зайд түүний тэнхлэг дээр орших цэгийн хувьд соронзон орны индукц:

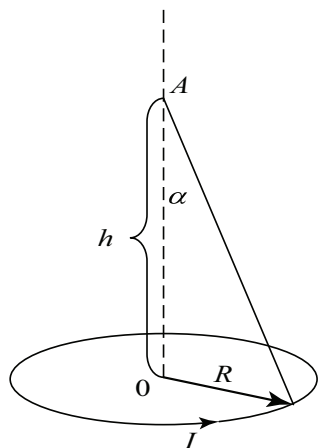
$$B_A = \frac{\mu\mu_0}{2} \frac{I \cdot R^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}} = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha \quad (1.9)$$

Соленоидын соронзон орон

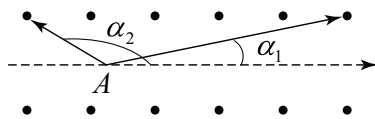
- N ороодстой шулуун ороомог буюу соленоидыг дугуй гүйдлийн систем гэж үзэж болох бөгөөд соленоидын дотор, түүний тэнхлэг дээр орших цэгт соронзон орны индукц нь:

$$B_A = \frac{\mu\mu_0}{2} nI(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \tag{1.10}$$

n – соленоидын нэгж уртад ноогдох ороодсын тоо, α_1 ба α_2 – тухайн цэгээс ороомгийн төгсгөлүүд рүү татсан векторууд ба соленоидын тэнхлэгийн эерэг чиглэл (соленоид дахь \vec{B} –ийн чиглэл) хоорондох өнцөг.



Зураг 1.4



Зураг 1.5

- Төгсгөлгүй урт соленоидын хувьд: $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 180^\circ$ болохыг 1.10 –р томъёонд орлуулбал

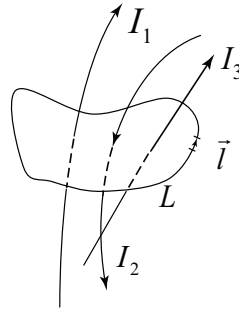
$$B = \mu\mu_0 nI \tag{1.11}$$

Битүү муруйн дагуух соронзон орны хүчлэг вектор \vec{H} –ийн циркуляци нь энэ муруйн дотуур нэвтрэх гүйдлүүдийн алгебр нийлбэртэй тэнцүү (Бүрэн гүйдлийн хууль)

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i; \quad \oint \vec{B} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n \mu\mu_0 I_i \tag{1.12}$$

Зураг 1.6 үзүүлсэн тохиолдолд

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I_1 - I_2 + I_3$$



Зураг 1.6

Соронзон орон дотор хөдөлж буй цэнэгт үйлчлэх хүч

- Соронзон орон дотор \vec{v} хурдтай хөдлөж буй цэнэгт үйлчлэх соронзон хүч:

$$\vec{F}_c = q[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (1.13)$$

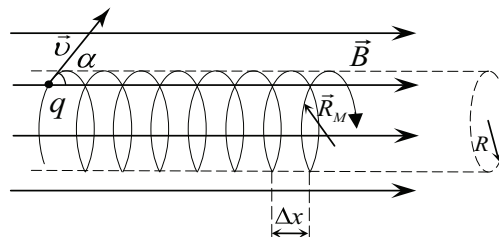
Цахилгаан соронзон оронд хөдөлж буй цэнэгт үйлчлэх Лоренцын хүч:

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (1.14)$$

Лоренцийн хүч нь инерциал тооллын системүүдэд инвариант байна. Нэгэн төрлийн соронзон оронтой өнцөг үүсгэн хөдлөх цэнэгт бөөмийн ороомог хэлбэрийн траекторын ороогч цилиндрийн радиус

$$R = \frac{mv}{qB} \sin \alpha \quad (1.15)$$

Соронзон орон дахь цэнэгт бөөмийн эргэлтийн үе нь хурднаас үлхямаарна.



Зураг 1.7

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad (1.16)$$

Соронзон орны дагуу шилжих алхам нь

$$\Delta x = \frac{2\pi mv}{qB} \cos \alpha \quad (1.17)$$

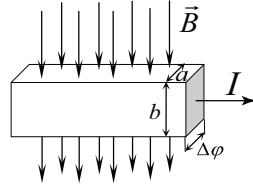
Ороомог хэлбэрийн траекторын муруйлтын радиус

$$R_m = \frac{mv}{qB \cdot \sin \alpha} \quad (1.18)$$

Холлын потенциалын ялгавар: Энэ нь соронзон орон дахь гүйдэлтэй дамжуулагчид гүйдэл ба соронзон оронд перпендикуляр чиглэлд үүсэх потенциалын ялгавар юм.

$$\Delta\phi_x = R_x \frac{IB}{S} a = R_x \frac{IB}{b} \quad (1.19)$$

$R_x = \frac{1}{ne}$ буюу цэнэг зөөгчдийн нягтын урвууг Холлын тогтмол гэнэ. I – гүйдлийн хүч, B – соронзон орны индукц, b – соронзон орны дагуу чиглэл дэх дамжуулагчийн зузаан, n – цэнэг зөөгчийн концентрац, e – электроны цэнэг.



Зураг 1.8

1.2 Жишээ бодлого

Жишээ 1.1

5А гүйдэл гүйж байгаа хязгааргүй урт шулуун дамжуулагчийг тэгш өнцөг үүсгэн нугалав. Түүний өнцгийн биссектрис дээр орших A ба аль нэг талын үргэлжлэл дээрх D цэгт соронзон орны индукцийг тус тус ол. Өнцгийн оройгоос цэг бүхэн $r = 10\text{см}$ зайд оршино. (Зураг 1.10)

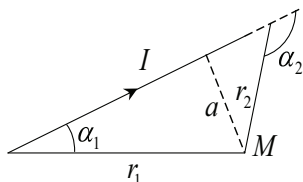
Бодолт: Соронзон орны индукц нь дамжуулагчийн 1 ба 2-р хэсгийн (босоо, хэвтээ байрласан) гүйдлээр үүсэх соронзон орны индукцын векторуудын нийлбэр байна.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \quad (1.20)$$

Төгсгөлөг урттай шулуун гүйдлийн үүсгэх соронзон орны томьёог хэрэглэвэл:

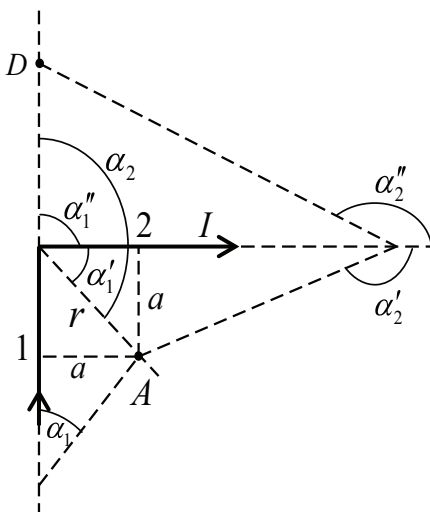
$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (1.21)$$

Үүнд Зураг 1.9 үзүүлснээр, a – гүйдэлтэй дамжуулагчаас M цэг хүртэлх зай, α_1 ба



Зураг 1.9

α_2 – дамжуулагчийн эхлэл ба төгсгөлөөс M цэг рүү татсан радиус векторын гүйдлийн чигтэй үүсгэсэн өнцгүүд. Одоо бодлогод өгсөн A цэгийн хувьд 1 –р дамжуулагчийн



Зураг 1.10

хувьд $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 135^\circ$, 2 –р дамжуулагчийн хувьд $\alpha_1' = 45^\circ$, $\alpha_2' = \pi$ ба $a = r \cdot \cos 45^\circ$ тулд 1.21 –р томьёонд өнцгийн утгуудыг орлуулбал:

$$B_{1A} = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r\sqrt{2}} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right), \quad B_{2A} = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r\sqrt{2}} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + 1\right) \quad (1.22)$$



Тэгэхээр дамжуулагчын 1, 2 –р хэсгээс A цэгт үүсэх соронзон орны индукцын векторууд зургийн хавтгайд перпендикуляр хоёулаа цаашаа чиглэх тул 1.20 –д тоон утга нь шууд нэмэгдэнэ.

$$B_A = B_{1A} + B_{2A} = \frac{\mu\mu_0}{\sqrt{2}\pi r} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) =$$

$$= \frac{1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м} \cdot 5\text{А}}{\pi \cdot 0.1\text{м} \cdot \sqrt{2}} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{Тл}$$

D цэгийн хувьд авч үзвэл, дамжуулагчийн 1 –р хэсэг соронзон орон үүсгэхгүй. Учир нь D цэг түүний үргэлжлэл дээр буюу $\cos \alpha_1 = \cos \alpha_2 = 1$ байх тул 1.21 –р томъёогоор $B_1 = 0$ болно. Тэгвэл D цэг дэх орон зөвхөн дамжуулагчийн 2 –р хэсгийн гүйдлээр үүсэнэ. Зураг 1.10 –аас үзвэл D цэгийн хувьд $\alpha_1'' = \pi/2$, $\alpha_2'' = \pi$, мөн $a = r$ байна. Эдгээр утгыг 1.21 –р томъёонд орлуулбал :

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} = \frac{1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м} \cdot 5\text{А}}{4\pi \cdot 0.1\text{м}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{Тл} = 5 \text{мкТл}$$

Жишээ 1.2

U потенциалын ялгавраар хурдассан α бөөм B индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон орон дотор түүнд перпендикуляр чиглэлээр нисэн оров. Тэгвэл бөөмд үйлчлэх хүч, бөөмийн хөдлөх тойргийн радиус, эргэлтийн үеийг тус тус ол.

Бодолт: Потенциалын ялгавраар хурдсах үед цахилгаан орны зүгээс хийгдэх ажил нь α бөөмд кинетик энерги олгоно.

$$E_K = \frac{mv^2}{2} = qU \Rightarrow v^2 = \frac{2qU}{m} \quad (1.23)$$

Нөгөө талаас соронзон орон дотор хөдлөх цэнэгт бөөмд үйлчлэх хүч нь

$$F = qBv \sin \alpha \quad (1.24)$$

Бодлогын нөхцөлөөс $\alpha = (\vec{v}, \vec{B}) = 90^\circ$ ба Лоренцийн хүч нь төвд тэмүүлэх хүчний үүрэг гүйцэтгэх тул:

$$\frac{mv^2}{R} = qBv \quad (1.25)$$

Тэгвэл 1.23, 1.24 –р тэгшитгэлээс бөөмд үйлчлэх хүч нь:

$$F = qB\sqrt{\frac{2qU}{m}} = B\sqrt{\frac{2q^3U}{m}} \quad (1.26)$$

1.23, 1.25 –р тэгшитгэлээс бөөмийн хөдлөх тойргийн радиус:

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}} \quad (1.27)$$

R радиустай тойргоор хөдлөх α бөөмийн шугаман ба өнцөг хурдны холбоо $v = \omega R = \frac{2\pi R}{T}$ байх тул эргэлтийн үеийг олбол

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi R\sqrt{m}}{\sqrt{2qU}} = \frac{2\pi m}{qB}$$

**Жишээ 1.3**

3А гүйдэлтэй, 10см радиустай цагираг оршино. Цагиргийн төв дэх болон түүний тэнхлэг дээр цагиргийн төвөөс 10см зайд соронзон орны индукцийг тодорхойл.

Бодолт: Цагиргийн тэнхлэг дээрх соронзон индукц нь (Зураг 1.4)

$$B = \frac{\mu\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (1.28)$$

байдаг. Үүний R – дугуй гүйдлийн (цагиргийн) радиус, h – түүний төвөөс тэнхлэг дээрх цэг хүртэлх зай. Цагиргийн төвд $h = 0$ тул

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м} \cdot 3\text{А}}{2 \cdot 0.1\text{м}} = 18.8 \cdot 10^{-6} \text{Тл} = 18.8 \text{мкТл}$$

$h = R$ үед

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\sqrt{2}R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м} \cdot 3\text{А}}{4\sqrt{2} \cdot 0.1\text{м}} = 6.7 \cdot 10^{-6} \text{Тл} = 6.7 \text{мкТл}$$



1.3 Шинжлэх даалгавар

1. Хоёр тогтмол соронзын туйлиудын харилцан үйлчлэлийн хүчний чиглэлийг цахилгаан цэнэгүүдийн харилцан үйлчлэлтэй харьцуул.
2. Дэлхийн соронзон орныг илрүүлэх туршлагын талаар жишээлэн тайлбарлана уу.
3. Атомын электроны орбитын хөдөлгөөнөөр үүсэх соронзон орныг тайлбарла.
4. Ямар тохиолдолд соронзон орон дахь бөөм тойрог радиусаар хөдлөх вэ?
5. Гүйдэл гүйж байгаа дамжуулагчийн ойролцоо соронзон зүү эргэж хөдлөхийг эрдэмтэн Эрстед туршлагаараа тогтоожээ. Туршлагын үр дүнг тайлбарла.
6. I гүйдэл гүйж буй $2a$ урттай шулууны тэг дундаас шулуунаас b зайд орших цэг дээрх соронзон орны индукцийн векторыг зураг дээр дүрслэнэ үү.
7. Соронзон орны индукц ихсэвэл соронзон орон дотор хөдлөх цэнэгт бөөмийн бүтэн эргэлт хийх үе хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
8. Ямар тохиолдолд соронзон орон дахь бөөм шурган траектороор хөдлөх вэ?
9. Био-Савар-Лапласын хуулийг бичиж тайлбарла.
10. Соронзон орон дотор цэнэггүй бөөм хөдлөвөл бөөмд соронзон орноос хүч үйлчлэх үү? Яагаад ?
11. Холлын потенциалын ялгавар ямар тохиолдолд үүсэхийг зурж тайлбарла.
12. Нэгэн төрлийн ба нэгэн төрлийн бус соронзон орныг зурж тайлбарла.
13. Соронзон оронд хөдөлж буй цэнэгт бөөмийн хурдыг багасгахад түүнд үйлчлэх соронзон хүч хэрхэн өөрчлөгдөхийг тайлбарла.
14. Соронзон орны нэмэгдэх зарчмыг тайлбарла.
15. Гүйдэлтэй соленоидын доторх соронзон орон ба шулуун гүйдлийн соронзон орнуудыг хооронд нь харьцуулж тайлбарла.
16. Төгсгөлөг урттай гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчаас тодорхой зайнд үүсэх соронзон орны хүчлэгийг хэрхэн илэрхийлэх вэ?
17. Соронзон орон хуйларсан орон болохыг тайлбарла.
18. Төгсгөлгүй урт гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчаас тодорхой зайнд үүсэх соронзон орны индукцийн илэрхийллийг бичиж тайлбарла.
19. Дугуй гүйдлийн төв дэх соронзон орны индукцын векторын илэрхийллийг бичиж тайлбарла.
20. Соленоидын дотор үүсэх соронзон орны хүчлэгийг хэрхэн илэрхийлэх вэ?
21. Хэрэглэгчийг хэлхээнд хос утсаар холбодог. Хэрэглэгчийг залгахад утасны эргэн тойронд соронзон орон ямар байхыг дүрслэн тайлбарлаарай.
22. Циклотроны бүтцийг зурж тайлбарла.



23. Нэг ижил гүйдэлтэй дамжуулагч вакуум ба орчинд байхад соронзон орон нь ижил байх уу?
24. Шулуун гүйдлийн соронзон индукцийн векторын чиглэлийг зурж тайлбарла.
25. Дугуй гүйдлийн төвийг дайрсан тэнхлэг дээр төвөөс тодорхой зайнд соронзон орныг хэрхэн тодорхойлох вэ? Зурж тайлбарла.
26. Соронзон оронд хөдөлж байгаа цэнэгт бөөмд орны зүгээс үйлчлэх хүчийг зурж тайлбарла.
27. Нэгэн төрлийн бус соронзон оронд хөдлөх цэнэгт бөөмийн траекторын мурийлтын радиус хэрхэн өөрчлөгдөхийг зурж тайлбарла.
28. Гүйдэлтэй дамжуулагчийн үүсгэх соронзон орныг баруун гарын дүрмээр тайлбарлаж, зурж үзүүл.
29. Соронзон орон дахь эерэг цэнэгт үйлчлэх Лоренцын хүч тэгтэй тэнцүү байхын тулд цэнэг ямар чиглэлд хөдлөх хэрэгтэйг зурж тайлбарла.
30. Тороидын доторх соронзон орныг хэрхэн тодорхойлох вэ? Зурж үзүүл.



1.4 Тооцоот даалгавар

1. 8см радиус бүхий гүйдэлтэй тойрог хүрээний соронзон момент $3A \cdot m^2$ бол түүний төвд соронзон орны индукцийг ол.
2. 2м радиустай цагираг дамжуулагчаар $3A$ гүйдэл гүйх үед төвд нь үүсэх соронзон хүчлэгийг ол.
3. 4см радиустай дугуй ороодсын төв дэх соронзон орны хүчлэг $0.6A/m$ болно. Ороодсын тэнхлэгийн дагуу төвөөс 8см алслагдсан цэг дээрх соронзон орны хүчлэгийг ол.
4. $0.8Tл$ индукцтэй соронзон орон дотор $10^5m/c$ хурдтай хөдлөх электронд үйлчлэх хүчийг ол. Хурдны чиглэл орны чиглэлд перпендикуляр гэж үз.
5. 34.2см талтай зөв зургаан өнцөгтийг үүсгэн нугалсан дамжуулагч утсаар $3.14A$ гүйдэл гүйж байгаа бол түүний төвд үүсэх соронзон орны хүчлэгийг ол.
6. $5Tл$ индукцтэй соронзон оронд $10нКл$ цэнэгтэй бөөм соронзон орны индукцийн чиглэлд 30° өнцөг үүсгэн хөдлөхөд соронзон орны зүгээс $12.5мкН$ хүч үйлчлэх бол бөөмийн хурдыг ол.
7. $12кэВ$ энергитэй цэнэгт бөөм $0.8Tл$ индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд 4см радиустай тойргоор $2m/c$ хурдтай хөдөлж байгаа бол түүний цэнэгийг тодорхойл.
8. Хоорондоо 12см зайтай, параллель ижилхэн чиглэлд $12A$ ба $6A$ гүйдэлтэй дамжуулагчдын хоорондох зайн дундаж цэг дээр соронзон орны индукцийг ол.
9. 20см радиустай гүйдэлтэй тойрог хүрээний соронзон момент $1.5A \cdot m^2$ бол түүний төвд соронзон орны хүчлэгийг олно уу.
10. $0.05Tл$ индукц бүхий нэгэн төрөл соронзон оронд $50000км/c$ хурдтай электрон соронзон индукцийн шугамд перпендикуляраар нисэн оров. Электроны траекторын мурийлтын радиусыг ол.
11. $2Tл$ индукцтэй соронзон орны индукцын чиглэлд 30° өнцгөөр $1км/c$ хурдтай хөдлөх $5нКл$ цэнэгтэй бөөмд соронзон орны зүгээс үйлчлэх хүчийг олно уу.
12. 10см талтай квадрат хэлбэртэй нугалсан дамжуулагч хүрээгээр $31.4A$ гүйдэл гүйж байгаа бол түүний төвд үүсэх соронзон орны хүчлэгийг тодорхойлно уу.
13. 12см радиустай гүйдэлтэй цагиргийн төв дэх соронзон орны хүчлэг $0.6A/m$ бол энэ цагиргийн тэнхлэгийн дагуу төвөөс 20см алслагдсан цэг дээрх соронзон орны хүчлэгийг олоорой.
14. $1Tл$ индукц бүхий нэгэн төрлийн соронзон оронд $10^6m/c$ хурдтай протон соронзон индукцийн шугамд перпендикуляраар нисэж оров. Протонд үйлчлэх хүчийг ол.
15. $8мкТл$ индукцтэй соронзон оронд электрон $0.15м$ радиустай тойргоор хөдлөнө. Электроны хувийн цэнэг нь $1.75 \cdot 10^{11}Кл/кг$ бол түүний хурдыг ол.
16. $0.2Tл$ индукцтэй соронзон оронд тойрог орбитоор эргэж байгаа электроны давтамжийг ол.



17. Соронзон оронд перпендикуляр дамжуулагчаар $\vec{v}(0, 0, 500)$ м/с хурдтай хөдлөх 1 Кл цэнэгт $\vec{B}(0.2, 0, 0)$ Тл индукцтэй соронзон орны зүгээс үйлчлэх хүчний векторыг ол.
18. 5А гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчийг 10см мурийлтын радиустайгаар хагас дугуй үүсгэн нугалж параллель болгов. Мурийлгасан хэсгийн мурийлтын төв цэг дээр соронзон индукцийг ол.
19. 1мТл индукц бүхий нэгэн төрлийн соронзон оронд $4 \cdot 10^7$ м/с хурдтай электрон орны чиглэлд перпендикуляраар нисэн оров. Электроны траекторын мурийлтын радиусыг ол.
20. 30см диаметртэй соленоидын ороодсын тоо 100 бөгөөд түүгээр 5А гүйдэл гүйнэ. Соленоидын урт нь 40см бол түүний тэнхлэгийн дунд орших цэгт үүсэх соронзон орны индукцийг ол.
21. 12мкТл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд электрон тойргоор эргэж байгаа бол түүний улирлыг тодорхойл.
22. Өдөөгдөөгүй устөрөгчийн атомын электроны орбитыг 0.053нм радиустай тойрог, электроны хурдыг 2100км/с гэж тооцоод хүрээний төвд электроны үүсгэх соронзон орны хүчлэгийг олно уу.
23. 5А гүйдэлтэй төгсгөлгүй урт хөндий солениод доторхи соронзон индукц 3.14Тл бол ороодосын иягтыг ол.
24. Төмөр зүрхэвчтэй ($\mu = 183$) соленоидын ороодсын тоо 400, түүгээр 8А гүйдэл гүйнэ. Соленоидын урт нь 40см бол түүний төвд үүсэх соронзон орны индукцийг ол.
25. Квадратын талуудаар 10А гүйдэл гүйлгэхэд түүний төвд 80А/м хүчлэг бүхий соронзон орон үүссэн бол квадратын талын уртыг ол.
26. 5Тл индукцтэй соронзон оронд электрон 2км/с хурдтай нисэж орсон бол түүнд үйлчлэх соронзон хүчийг олно уу.
27. Шулуун дамжуулагчаар 8А гүйдэл гүйнэ. Түүнээс 8см зайд үүсэх соронзон орны индукцыг ол.
28. Дугуй гүйдлийн төвд үүсэх соронзон орны хүчлэг 200А/м. Энэхүү гүйдлийн соронзон орны момент нь $1\text{А} \cdot \text{м}^2$ бол цагирагын радиус ба цагирагаар гүйх гүйдлийн хүчийг ол.
29. Бөөмийн анхны хурд тэгтэй тэнцүү. Соронзон орноос бөөмд үйлчлэх хүч 10^{-5}Н байхын тулд бөөмийг ямар потенциалын ялгавраар хурдасгах вэ? Бөөм 5гр масстай 2мкКл цэнэгтэй бөгөөд 5мТл индукцтэй соронзон оронд перпендикуляраар нисэн орно.
30. Электрон 0.02Тл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд 1см радиустай тойргоор эргэж байв. Түүний кинетик энергийг эВ-оор илэрхийл.



1.5 Тест

- 10см талтай квадратын талуудаар 20А гүйдэл гүйж байгаа бол түүний төвд үүсэх соронзон орны хүчлэгийг тодорхойл.
А. 1.8А/м В. 18А/м
С. 180А/м D. 180мА/м
- 3см радиустай цагиргаар гүйдэл гүйнэ. Цагиргын бүх цэгүүдээс ижилхэн 4см зайд орших цэгт соронзон орны индукц 0.18мТл бол цагиргаар гүйх гүйдлийг ол
А. 7.18А В. 50А
С. 40А D. 3.18А
- 5мм² хөндлөн огтлолтой соленойдыг нэвтрэн гарах соронзон урсгал 5мкВб бол түүний дотор үүсэх соронзон орны индукцийг тодорхойл.
А. 1мТл В. 0.1мТл
С. 10Тл D. 1Тл
- $9.58 \cdot 10^7$ Кл/кг хувийн цэнэгтэй протон 0.75Тл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд ороод 5мм радиустай тойргоор хөдөлж байгаа бол түүний хурдыг тодорхойл.
А. 360км/с В. 3.6км/с
С. 375м/с D. 479км/с
- 1кэВ кинетик энергитэй электрон 10мкТл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд тойргийн нумаар хөдөлж байгаа бол соронзон орноос электронд үйлчлэх хүчийг тодорхойл.
А. $3 \cdot 10^{-17}$ Н В. $3 \cdot 10^{17}$ Н
С. $0.3 \cdot 10^{17}$ Н D. $0.3 \cdot 10^{-17}$ Н
- Квадратын талуудаар 10А гүйдэл гүйлгэхэд түүний төвд 80А/м хүчлэг бүхий соронзон орон үүссэн бол квадратын талыг ол.
А. 23см В. 23м
С. 18см D. 190см
- 10см радиустай цагиргаар 80А гүйдэл гүйнэ. Цагиргын бүх цэгүүдээс ижилхэн 20см зайд орших цэгт соронзон орны индукцийг тодорхойл.
А. 6.2Тл В. 90Тл
С. 50мкТл D. 45мкТл



8. $B=1\text{Тл}$ соронзон орны индукцтэй, $S = 10\text{мм}^2$ хөндлөн огтлолтой соленоидыг нэвтрэн гарах соронзон урсгалыг ол.
А. 1мВб В. 0.1Вб
С. 10нВб D. 1нВб
9. $1.75 \cdot 10^{11}\text{Кл/кг}$ хувийн цэнэгтэй электрон 7.5мкТл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд 10см радиустай тойргоор хөдөлж байгаа бол түүний хурдыг тодорхойл.
А. 13км/с В. 1.3км/с
С. 130км/с D. 130км/с
10. Нэг төрлийн соронзон оронд тойргийн нумаар хөдөлж байгаа 1кэВ кинетик энергитэй электронд соронзон орноос $3 \cdot 10^{-17}\text{Н}$ хүч үйлчилж байгаа бол соронзон орны индукцийг тодорхойл.
А. 30мкТл В. 10Тл
С. 30мТл D. 10мкТл
11. 20см талтай зөв зургаан өнцөгтийн төвд 10А/м хүчлэг бүхий соронзон орон үүссэн бол зургаан өнцөгтийн талуудаар гүйх гүйдлийг ол.
А. 0.36А В. 36А
С. 36мА D. 4.18А
12. 4см радиустай гүйдэлтэй дугуй хүрээний соронзон момент $1.57\text{мА} \cdot \text{м}^2$ бол хүрээний төвөөс 3см зайд орших цэгт гүйдэлтэй хүрээний үүсгэх соронзон орны хүчлэгийг ол.
А. 7кА/м В. 2кА/м
С. 0.57кА/м D. 8.57кА/м
13. Соленоидыг нэвтрэн гарах соронзон урсгал 15мкВб түүний дотор үүсэх соронзон орны индукц $B=2\text{Тл}$ бол соленоидын хөндлөн огтлолын талбайг ол.
А. 7.5мм^2 В. 30мм^2
С. 17мм^2 D. 13мм^2



14. 13.3Мм/с хурдтай нисэж явсан электрон нэг төрлийн соронзон оронд 4см радиустай тойргоор хөдөлж эхэлсэн бол соронзон орны индукцийг ол.
- А. 53.2мТл В. 3.325мТл
С. 17.3мТл D. 18.9мТл
15. 9мкТл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд электрон тойргийн нумаар хөдөлж байгаа бол түүний улирлыг тодорхойл.
- А. 0.4мкс В. 4с
С. 4мкс D. 4Мс
16. 20см талтай зөв зургаан өнцөгтийн талуудаар 3.6А гүйдэл гүйж байгаа бол түүний төвд үүсэх соронзон орны индукцийг тодорхойл.
- А. 15.25мкТл В. 18.31мкТл
С. 12.56 мкТл D. 20мкТл
17. 3см радиустай гүйдэлтэй дугуй хүрээний тэнхлэг дээр түүний төвөөс 4см зайд орших цэгт 100А/м хүчлэг бүхий соронзон орон үүссэн бол хүрээний соронзон моментыг тодорхойл.
- А. $7.8\text{А} \cdot \text{м}^2$ В. $78\text{А} \cdot \text{м}^2$
С. $78\text{мА} \cdot \text{м}^2$ D. $7.8\text{мА} \cdot \text{м}^2$
18. Соленоидыг нэвтрэн гарах соронзон урсгал 36мкВб түүний дотор үүсэх соронзон орны индукц $B = 2\text{Тл}$ бол соленоидын хөндлөн огтлолын талбайг ол.
- А. 18мм^2 В. 30мм^2
С. 17мм^2 D. 13мм^2
19. 13.3Мм/с хурдтай нисэж явсан электрон нэг төрлийн соронзон оронд ороод 10см радиустай тойргоор хөдөлж эхэлсэн бол соронзон орны хүчлэгийг ол.
- А. 60А/м В. 600А/м
С. 0.6А/м D. 600мА/м



20. Нэг төрлийн соронзон оронд электрон тойргийн нумаар хөдөлнө. Түүний нэг бүтэн эргэх хугацаа буюу улирал 4мкс бол соронзон орны индукцийг тодорхойл.
- А. 9Тл В. 9мкТл
С. 4мкТл D. 4Тл



1.6 Бие даалтын бодлого

1. 400В потенциалын ялгавараар хурдсан протон $H = 10^3\text{А/м}$ хүчлэгтэй нэгэн төрлийн соронзон орон руу нисэж оров. Траекторын мурийлтын радиус, электроны эргэлтийн давтамжийг тус тус тодорхойл. Соронзон орон хурдны векторт перпендикуляр гэж үз.

2. Дамжуулагч утсыг нь 4см ба 6см талтай тэгш өнцөгт хэлбэртэй нугалав. Дамжуулагчаар ямар гүйдэл гүйхэд диагоналиудын огтлолцол дээрх цэгт хүчлэгийн хэмжээ 60А/м байх вэ?



3. Электрон нь 10^6 м/с хурдтайгаар 160 А/м хүчлэгтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд перпендикуляраар нисч оров. Электрон хөдлөх тойргийн радиусыг тооцоол.

4. $y = ax^2$ парабол хэлбэртэй дамжуулагч утсаар 1 А гүйдэл гүйнэ. $A(0, 1)$ м цэгт соронзон орны хүчлэгийг олно уу? $a = 1$ м $^{-1}$.



5. $a = 0.2\text{м}$ талтай квадрат хүрээний дагуу 6А гүйдэл гүйж байв. Хүрээний төвөөс 10см зайд диагональ дээр орших цэгт соронзон орны индукцийг тодорхойл.

6. Дамжуулагчийг $a = 30\text{см}$ талтай зөв гурвалжин хэлбэртэй нугалав. Төв дэх орны хүчлэг $H = 81.64\text{А/м}$ тэнцүү бол гурвалжны периметрийн дагуу ямар гүйдэл гүйх вэ? Дамжуулагч гурвалжнаар сууриа хийсэн тетраэдрин оройд харгалзах цэг дээр соронзон орны индукцийн векторыг олоорой.



7. $R = 40\text{см}$ радиустай дискийн гадаргуугаар $q = 0.1\text{мкКл}$ цэнэг жигд тархжээ. 600г масстай диск түүний хавтгайд перпендикуляр, төвийг нь дайрсан тэнхлэгтэй харьцангуйгаар $n = 60\text{с}^{-1}$ давтамжтайгаар жигд эргэлдэнэ. Дискний үүсгэсэн дугуй гүйдлийн соронзон момент, соронзон момент ба импульсийн моментийн харьцааг тус тус тодорхойл.
8. $m = 4\text{г}$ масстай нарийн утсаар хийсэн квадрат хэлбэртэй хүрээг хэвтээ чиглэлтэй жигд соронзон оронд перпендикуляр байрлалтайгаар нэг ирмэгээр нь дүүжлэн байрлуулжээ. Хүрээгээр $I = 5\text{А}$ гүйдэл гүйнэ. Бага хэлбэлзлийн үе $T = 2\text{с}$ бол соронзон орны индукцийг ол.



9. Цэнэгтэй бөөм 0.4Тл соронзон индукц бүхий нэгэн төрлийн соронзон оронд перпендикулярар тогтмол 500м/с хурдтайгаар 50см радиустай тойргоор хөдөлж байв. Соронзон оронтой параллель чиглэлд үйлчлэх 300В/м хүчлэг бүхий цахилгаан орноор 6 мкс-ийн турш үйлчлээд унтраав. Бөөмийн траекторийн алхамыг тодорхойл.

10. $I \cdot d\vec{l}_1(1, -1, 0)\text{А} \cdot \text{м}$ ба $I \cdot d\vec{l}_2(1, 1, 0)\text{А} \cdot \text{м}$ гүйдлийн элементүүд харгалзан координатын эх ба $B_2(2, 0, 0)\text{м}$ цэгт байрлана. Нэгдүгээр гүйдлийн элементээс хоёрдугаар гүйдлийн элементэд үйлчлэх хүч ба хоёрдугаар гүйдлийн элементээс нэгдүгээр гүйдлийн элементэд үйлчлэх хүчнүүдийг тус тус олоорой.



Семинар 2

Цахилгаан соронзон индукц

2.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Амперийн хууль: Гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид соронзон орноос үйлчлэх хүч

- \vec{B} индукцтэй соронзон оронд байгаа гүйдэлтэй дамжуулагчийн $I d\vec{l}$ гүйдлийн элементэд үйлчлэх хүч:

$$d\vec{F} = [I d\vec{l} \times \vec{B}] \quad (2.1)$$

- Гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид үйлчлэх амперийн хүч нь

$$F = I \cdot l \cdot B \sin \alpha \quad (2.2)$$

Соронзон орон дотор байгаа гүйдэлтэй хүрээнд үйлчлэх эргүүлэх хүчний момент:

$$\vec{M} = [\vec{P} \times \vec{B}] \quad (2.3)$$

Үүний \vec{P}_m – гүйдэлтэй хүрээний соронзон момент, $\vec{P}_m = I \cdot \vec{S}$, I – хүрээн дэх гүйдлийн хүч, \vec{S} – жаазын (хүрээ) талбай.

- Соронзон орон дотор гүйдэлтэй дамжуулагч шилжихэд Амперийн хүчний хийх ажил:

$$dA = I d\Phi \quad (2.4)$$

Үүнд: $d\Phi$ – дамжуулагч бага зайд шилжихэд нэвтрэх соронзон урсгал: Нэгэн төрөл соронзон орон дах хүрээний соронзон урсгалын өөрчлөлт

$$d\Phi = B \cdot dS \cdot \cos \alpha = B_n \cdot dS \quad (2.5)$$

Цахилгаан соронзон индукц, Фарадей – Ленцийн хууль

Битүү хүрээнд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х (ε) нь уг хүрээг нэвтрэх соронзон урсгал (Φ) –ын өөрчлөгдөх хурдтай тэнцүү бөгөөд сөрөг чиглэлтэй байна. Цахилгаан соронзон индукцийн үндсэн хууль (Фарадей – Ленцийн хууль) –ийн математик илэрхийлэл:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2.6)$$

$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ соронзон урсгал, энэ нь хүрээний талбай ба нэвтэрч байгаа соронзон индукцийн векторын скаляр үржвэр байна.

Ленцийн дүрэм: Битүү хүрээн дэх индукцийн гүйдэл нь уг гүйдлээр үүсэх соронзон орны индукц (гүйдлийг үүсгэх шалтгаан) соронзон урсгалын өөрчлөлтийг ямагт саатуулахаар чиглэнэ.



- Ороомгийн соронзон урсгал

$$\Phi = LI \quad (2.7)$$

Энд L нь ороомгийн хэлбэр хэмжээ ороодсын тооноос хамаарсан тогтмол бөгөөд үүнийг индукцлэл гэнэ. Энэ нь ороомгийн нэгж гүйдэлд харгалзах соронзон урсгалыг тодорхойлно.

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (2.8)$$

- Соленоидын индукцлэл

$$L = \mu\mu_0 n^2 V = \mu\mu_0 n^2 Sl \quad (2.9)$$

Үүнд: n – нэгж урт дахь ороодсын тоо, V – соленоидын эзлэхүүн, l – соленоидын урт, S – соленоидын талбай.

- Хүрээний гүйдлийн хүч I өөрчлөгдөхөд түүнд үүсэх өөрийн индукцийн Ц.Х.Х нь

$$\varepsilon_0 = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad (2.10)$$

Гүйдэлтэй ороомгийн соронзон орны энерги:

$$W = \frac{1}{2}LI^2 \quad (2.11)$$

- Соронзон орны энергийн нягт:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{1}{2}\mu\mu_0 H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0} = \frac{BH}{2} \quad (2.12)$$

Бодисын соронзон шинж чанар

- Соронзжилтын вектор (чанар):

$$\vec{J} = \frac{d\vec{P}_m}{dV} \quad (2.13)$$

Үүнд: V – бодисын эзлэхүүн, \vec{P}_m – бодисын атом молекулын нийлбэр соронзон момент.

$$\vec{J} = \chi\vec{H} \quad (2.14)$$

χ – бодисын соронзон хүлээн авалтын коэффициент.

Бодис дахь соронзон индукц:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} \quad (2.15)$$

$$\mu = 1 + \chi \quad (2.16)$$

μ – соронзон нэвтрүүлэх коэффициент. $\mu < 1$ диасоронзон, $1 < \mu \approx 1$ парасоронзон, $1 \ll \mu$ ферросоронзон материал гэнэ.

Трансформатор

Трансформаторыг хувьсах гүйдлийн хүчдэлийг өсгөх эсвэл бууруулахад ашигладаг. Тухайн трансформатор хүчдэлийг өсгөх эсвэл бууруулахыг илэрхийлдэг физик хэмжигдэхүүнийг трансформаци коэффициент гэнэ.

Трансформаци коэффициент:

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$



Энд: U_1 ба U_2 – 1 ба 2 –р ороомог дээр унаж буй хүчдэл.

N_1 ба N_2 нь 1 ба 2 –р ороомгийн ороодсын тоо. Трансформаторын А.Ү.К нь

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1}$$

Энд: I_1 ба I_2 нь 1 ба 2 –р ороомгийн гүйдэл.



2.2 Жишээ бодлого

Жишээ 2.1

Нэгэн төрлийн соронзон оронд 10см талтай, квадрат хэлбэрийн битүү дамжуулагч хүрээ тайван нөхцөлд хөдөлгөөнгүй байна. Соронзон орны индукц 2Тл , хүрээгээр гүйх гүйдэл 50А . Хүрээг түүний эсрэг талуудыг таллан дайрч өнгөрөх тэнхлэгийг тойруулан $\pi/2$ өнцгөөр эргүүлжээ. Ингэж эргүүлэхийн тулд хийсэн гадны хүчний ажлыг тодорхойлно уу.

Бодолт: Соронзон оронд байгаа гүйдэлтэй хүрээнд

$$M = P_c B \sin \alpha = IBS \sin \alpha \quad (2.17)$$

хуулиар эргүүлэх хүчний момент үйлчилнэ. Хүрээ тайван байх нөхцөл нь $\alpha = 0$ байх явдал юм. Иймээс хугацааны эхний агшинд $M = 0$ байна. Харин хүрээнд гадны хүч үйлчилж түүнийг эргүүлж эхэлбэл $\alpha \neq 0$, $M \neq 0$ болж өөрөөр хэлбэл, хүрээг эргүүлэх хүчний момент үүсч, түүнийг анхны байрлалд нь оруулахыг эрмэлзэнэ. Энэхүү эргүүлэх хүчний моментийн эсрэг гадны хүч ажил хийнэ. Гадны хүчний хийх өчүүхэн бага ажил:

$$dA = M d\alpha = P_c B \sin \alpha d\alpha \quad (2.18)$$

гэж тодорхойлогдоно. Хүрээг $\pi/2$ өнцгөөр эргүүлэх үед хийгдэх бүх ажил:

$$A = \int_0^{\pi/2} dA = \int_0^{\pi/2} b^2 IB \sin \alpha d\alpha \quad (2.19)$$

гэж олдоно. Энд: b – квадратын талын урт.

Дээрх интегралыг бодож ажлыг олбол:

$$A = b^2 IB (-\cos \alpha)|_0^{\pi/2} = Ib^2 B \quad (2.20)$$

Гадны хүчний ажил $A = 1 \text{ Ж}$ байна.

Жишээ 2.2

Нэг тал нь задгай тэгш өнцөгт хэлбэрийн металл дамжуулагч B индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд босоо байрлана. Түүний 2 хажуу талыг m масстай a урттай дамжуулагч саваа буюу хөндлөвч үрэлтгүйгээр чөлөөтэй шүргэлцэн гулсан хөдлөнө. Соронзон орны хүчний шугамууд хэвтээ байрлах ба тэгш өнцөгтийн талбайн нормаль вектортой параллель байна. Дамжуулагч саваа хос замаас дээрээс доошоо v тогтмол хурдтай үрэлтгүйгээр гулсан унана. Дамжуулагч саваа $v = \text{const}$ хурдтай доошлох тутам соронзон орон нэвтрэх битүү хүрээний талбай ихсэх тул энэ үед хүрээнд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х болон дамжуулагч саваагаар гүйх индукцийн гүйдлийн хүчийг тодорхойлно уу.

Бодолт: Фарадейн хууль ёсоор:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2.21)$$

Цахилгаан хөдөлгөгч хүчний модуль:

$$|\varepsilon_{\text{инд}}| = \frac{d(BS)}{dt} \quad (2.22)$$



Бодлогын нөхцөлөөр $B = const$, харин талбай хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөх тул 2.22 -р томьёо

$$|\varepsilon_{\text{инд}}| = B \frac{dS}{dt} \quad (2.23)$$

хэлбэрт бичигдэнэ. Талбайн өөрчлөлт нь

$$dS = avdt \quad (2.24)$$

илэрхийлэгдэх тул 2.23 –р томьёонд 2.24 –р томьёог орлуулбал:

$$|\varepsilon_{\text{инд}}| = B \frac{avdt}{dt} = Bav$$

хүрээнд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х олдоно. Металл хөндлөвчинд үйлчлэх гадны хүчнүүд тэнцэж байх тохиолдолд тэр тогтмол v хурдтай хөдөлнө. Ийм учраас

$$mg = aIB \quad (2.25)$$

тэнцэтгэл биелэнэ. Эндээс хөндлөвчөөр гүйх индукцийн гүйдлийн хүч:

$$I = \frac{mg}{aB} \quad (2.26)$$

гэж олдоно.

Жишээ 2.3

R эсэргүүцэлтэй, L индукцлэлтэй ороомог хувьсах соронзон оронд байрлана. Ороомгоор нэвтрэх гадны соронзон орны урсгал $\Delta\Phi$ –ээр жигд нэмэгдэхэд түүгээр гүйх индукцийн гүйдэл ΔI –ээр ихэссэн бол энэ үед ямар хэмжээний цэнэг ороомгийн хөндлөх огтлолоор өнгөрөх вэ?

Бодолт: Фарадейн хууль ёсоор ороомогт үүсэх индукцийн Ц.Х.Х:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.27)$$

гэж тодорхойлогдоно. Энэ индукцийн Ц.Х.Х –ний үйлчлэлээр ороомгоор I индукцийн гүйдэл гүйнэ. Индукцийн гүйдэл Δt хугацаанд ΔI –ээр өөрчлөгдөхөд ороомогт үүсэх өөрийн индукцийн Ц.Х.Х:

$$\varepsilon_{\text{ө.инд}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2.28)$$

Омын хууль ёсоор

$$\varepsilon_{\text{инд}} - \varepsilon_{\text{ө.инд}} = IR \quad (2.29)$$

тул эндээс индукцийн гүйдлийг олбол

$$I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}} - \varepsilon_{\text{ө.инд}}}{R} \quad (2.30)$$

болох ба

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (2.31)$$

томьёог ашиглан Δt хугацаанд ороомгоор урсан цэнэгийн хэмжээ нь:

$$\Delta q = I \Delta t$$

$$\Delta q = \frac{(\varepsilon_{\text{инд}} - \varepsilon_{\text{ө.инд}}) \Delta t}{R} = \frac{\Delta t}{R} \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} - L \frac{\Delta I}{\Delta t} \right) = \frac{\Delta\Phi - L \Delta I}{R}$$

**Жишээ 2.4**

Дан, завсаргүй ороосно зүрхэвчгүй соленоидыг 10В хүчдэлд холбоход түүгээр 1.5А гүйдэл гүйнэ. Соленоидын шугаман урт 0.5м, хөндлөн огтлолын талбай 60 см² бөгөөд соленоидыг хийсэн металл утасны диаметр 0.4мм бол соленоидын доторх соронзон орны энергитэй тэнцүү хэмжээний дулаан ямар хугацаанд түүний ороодсуудад ялгарах вэ?

Бодолт: Ороодсуудад ялгарах дулаан Жоуль – Ленцийн хууль ёсоор:

$$Q = IUt \quad (2.32)$$

Харин соленоидын доторх соронзон орны энерги нь

$$W = \frac{B^2 Sl}{2\mu\mu_0} \quad (2.33)$$

Соленоидын диаметр нь түүний шугаман урттай харьцангуйгаар олон дахин бага тул түүнийг төгсгөлгүй урт соленоид гэж үзэж болно. Тэгвэл түүний доторх соронзон орны индукци

$$B = \frac{\mu\mu_0 NI}{l} \quad (2.34)$$

болно. Харин ороодсын тоог $N = l/d$ гэж олбол ороомгийн соронзон орны энерги:

$$W = \frac{\mu\mu_0 I^2 l S}{2d^2} \quad (2.35)$$

томъёогоор олдох ба бодлогын нөхцөл ёсоор $Q = W$ учраас

$$IUt = \frac{\mu\mu_0 I^2 l S}{2d} \quad (2.36)$$

тэнцэтгэлээс хугацаа t –г олбол:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\mu\mu_0 l S}{2Ud^2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м} \cdot 1.5\text{А} \cdot 0.5\text{м} \cdot 60 \cdot 10^{-4}\text{м}^2}{2 \cdot 10\text{В} \cdot (0.4 \cdot 10^{-3}\text{м})^2} \\ &= 1.77 \cdot 10^{-3}\text{с} = 1.77\text{мс} \end{aligned}$$



2.3 Шинжлэх даалгавар

1. Ямар гүйдлийг өөрийн индукцийн гүйдэл гэдэг вэ?
2. Соронзон оронд байгаа гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид ямар нөхцөлд соронзон орны зүгээс үйлчлэх Амперийн хүч хамгийн их байх вэ?
3. Соронзон оронд тогтмол хурдтай хөдлөж шулуун дамжуулагчийн хоёр үзүүрт үүсэх индукцийн Ц.Х.Х. нь ямар тохиолдолд хамгийн их байх вэ?
4. Ямар тохиолдолд соронзон оронд байгаа гүйдэлтэй битүү хүрээнд хүчний момент үйлчлэхгүй вэ?
5. Гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид үйлчлэх амперын хүч тэг байх нөхцөлийг тайлбарлана уу?
6. Тогтмол гүйдлийн хөдөлгүүрийн ажиллах зарчмыг тайлбарлана уу?
7. Индукцийн гүйдэл хаана үүсдэг вэ?
8. Хувьсах гүйдэлтэй ороомгийн дэргэд байгаа битүү дамжуулагч хүрээнд индукцийн Ц.Х.Х. үүсэх үү?
9. Тогтмол гүйдэлтэй ороомгийн дэргэд түүнтэй ижил тэнхлэгт байгаа ороомгийг түүнд ойртуулахад ойртож буй ороомогт индукцийн Ц.Х.Х. үүсэх үү?
10. Соронзон орон дахь гүйдэлтэй хүрээний гүйдлийн чиглэл өөрчлөгдөхөд эргүүлэх хүчний моментыг чиглэл өөрчлөгдөх үү?
11. Соронзон орны индукц болон түүн дотор байгаа шулуун дамжуулагчийн хурд, уртыг өөрчлөхгүйгээр дамжуулагчид үүсэх индукцийн Ц.Х.Х.-г өөрчилж болох уу?
12. Амперийн хүчний математик илэрхийллийг бичнэ үү?
13. Соронзон орны индукцийг болон түүн дотор байгаа гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчийн гүйдэл, уртыг өөрчлөхгүйгээр түүнд үйлчлэх Амперийн хүчийг өөрчилж болох уу?
14. Фарадей-Ленцийн хуулийн математик илэрхийллийг бичнэ үү?
15. Соронзон орны индукц ба цагиргийн талбайг өөрчлөхгүйгээр цагиргаар нэвтрэх соронзон урсгалын хэмжээг яаж өөрчлөх вэ?
16. Ороомгийн гүйдлийг n дахин багасгаж, индукцлэлийг n дахин ихэсгэвэл түүгээр нэвтрэх соронзон урсгал ямар хэмжээгээр өөрчлөгдөх вэ?
17. Ороомгийн гүйдлийн өөрчлөлтийн хурдыг багасгавал ямар хэмжигдэхүүн яаж өөрчлөгдөх вэ?
18. Ороомгийн гүйдлийг багасгавал түүгээр нэвтрэх соронзон урсгал хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
19. Соронзон орны зүгээс тогтмол гүйдэлтэй битүү хүрээнд үйлчлэх хүчний момент нь дамжуулагчийн эсэргүүцлээс хамаарах уу?



20. Шулуун дамжуулагчид үүсэх индукцийн Ц.Х.Х. дамжуулагчийн хурднаас хамаарах уу?
21. Ямар үзэгдлийг харилцан индукцийн үзэгдэл гэдэг вэ?
22. Индукцийн Ц.Х.Х.-г тодорхойлох томъёоны хасах тэмдэгний физик утгыг тайлбарлана уу?
23. Ороомгийн индукцлэл түүний хийцээс хэрхэн хамаарах вэ?
24. Битүү дамжуулагч хүрээнд үүсэх индукцийн гүйдэл түүний эсэргүүцлээс хамаарах уу?
25. Трансформаторт төмөр зүрхэвчийг ямар учраас цул төмрөөр хийдэггүй вэ?
26. Трансформаторын трансформацилах коэффициентын физик утгыг тайлбарлана уу?
27. Трансформаторын $k < 1$ бол энэ трансформаторыг ямар зорилгоор ашиглах вэ?
28. Ямар зориулалттай трансформаторын коэффициент нь $k > 1$ байх вэ?
29. Трансформаторын трансформацилах коэффициентыг багасгахын тулд түүний ямар хэмжигдэхүүнийг яаж өөрчлөх вэ?
30. Генераторын ажиллах зарчмыг тайлбарла.



2.4 Тооцоот даалгавар

1. 30Тл индукцтэй соронзон орон 60см урттай, 80мА гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид 720мкН хүчээр үйлчилнэ. Дамжуулагч ба соронзон орны индукцийн векторын хоорондох өнцгийг тодорхойл.
2. Соронзон индукц нь 2Тл байх нэгэн төрлийн соронзон оронд 0.20м урттай дамжуулагч индукцийн векторт перпендикуляраар 5м/с хурдтай хөдөлнө. Дамжуулагчийн үзүүр хооронд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х.-г ол. Дамжуулагч өөртөө перпендикуляр чиглэлд хөдөлнө.
3. 1500см² талбайтай битүү хүрээгээр 50мА гүйдэл гүйж байв. Уг битүү хүрээг 2Тл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд оруулахад уг хүрээнд соронзон орны зүгээс үйлчлэх хүчний момент 12мН · м байсан бол хүрээний нормаль вектор ба соронзон орны чиглэлийн хоорондох өнцгийг ол.
4. 4Тл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд 15м² талбайтай битүү жааз оршино. Жаазны хавтгай индукцийн шугамд перпендикуляр бол жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал ямар байх вэ?
5. Трансформаторын 1-р ороомгийн гүйдэл нь 4А, хүчдэл нь 220В, харин 2-р ороомгийн гүйдэл нь 7.6мА, хүчдэл нь 110кВ байсан бол трансформаторын ашигт үйлийн коэффициент ба трансформацилах коэффициентийг ол.
6. Соронзон оронд 0.5м урттай дамжуулагч хүчний шугамтай 60⁰-ийн өнцөг үүсгэн байрлаж байв. Дамжуулагчаар 2А гүйдэл гүйхэд соронзон орны зүгээс дамжуулагчид 4.33Н хүч үйлчилсэн бол соронзон орны индукцийг ол.
7. 5А гүйдэл гүйж буй 0.8Гн индукцлэлтэй ороомгийн соронзон орны энергийг ол.
8. 2.5Тл индукцтэй нэгэн төрлийн оронд түүний хүчний шугаманд перпендикуляраар 120см урттай дамжуулагч хөдөлнө. Дамжуулагчийн үзүүрүүд хооронд 24В Ц.Х.Х. үүссэн бол дамжуулагч ямар хурдтай хөдөлж байна бэ?
9. 400см² талбайтай, 500 ороодостой жаазаар 150мА гүйдэл гүйж байв. Уг жаазыг 1.60Тл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд жаазын нормаль вектор ба соронзон орны чиглэлийн хоорондох өнцөг 60⁰ үүсгэхээр оруулсан бөгөөд уг жаазанд соронзон орны зүгээс хүчний момент үйлчилж жааз эргэн тэнцвэрийн байранд оруулахад соронзон орны зүгээс хийх ажлыг ол.
10. Битүү хүрээгээр нэвтрэх соронзон урсгал 0.2с хугацаанд 10Вб-ээр багассан. Хүрээний эсэргүүцэл 2Ом бол түүнд үүсэх индукцийн гүйдэл ямар байх вэ?
11. Ороомогт 0.1с-ийн турш гүйдлийн хүч 1А-аас 2.5А хүртэл жигд өөрчлөгдөхөд 15В-ийн өөрийн индукцийн Ц.Х.Х. үүссэн бол ороомгийн индукцлэлийг ол.
12. 0.8Тл индукцтэй соронзон оронд 4А гүйдэлтэй шулуун дамжуулагч индукцийн вектортой 30⁰-ийн өнцөг үүсгэн байрлахад 4Н Амперын хүч үйлчилсэн бол дамжуулагч ямар урттай байсан бэ?
13. 2.5Тл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд хөндлөн байрлах 40см урт дамжуулагч 15м/с хурдтай хөдлөх бөгөөд ба дамжуулагчийн үзүүрүүд дэх потенциалын ялгавар 9В байсан бол дамжуулагч соронзон орны хүчний шугамтай ямар өнцөг үүсгэн хөдөлж байна вэ?



14. 500см^2 талбайтай жааз орны чиглэлд перпендикуляр тэнхлэгийг тойрон 0.6Тл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон орон дотор жигд эргэн хөдөлнө. Эргэлтийн үе 0.8с , ороодсын тоо 250 бол уг жаазанд үүсэх Ц.Х.Х.-ний хамгийн их утгыг ол. Эргэлтийн тэнхлэг хүрээний хавтгайд дээр байрлана.
15. 1.5Гн индукцлэлтэй ороомгоор 16А гүйдэл гүйж байх үед ороомгоор нэвтрэх соронзон урсгалыг олно уу?
16. 0.5с үетэй эргэх ороомогт үүссэн индукцийн Ц.Х.Х.-ийн далайц 10В байсан бол ороомгийг нэвтрэх соронзон урсгалын хамгийн их утгыг олно уу.
17. 0.25мм диаметртэй утсаар завсаргүй, дан ороож хийсэн 75см урт, 1.2см радиустай ороомгийн индукцлэлийг ол.
18. Ороомгоор 5А гүйдэл гүйж байх үед түүний соронзон орны энерги нь 500мкЖ байсан бол ороомгийн индукцлэлийг ол.
19. Нэгэн төрлийн соронзон оронд, орны векторт перпендикуляраар 60см урт дамжуулагч 4м/с хурдтай хөндлөн хөдлөхөд түүний үзүүрүүд дээрх потенциалын ялгавар нь 12В байсан бол соронзон орны индукцийг ол.
20. Нэгэн төрлийн соронзон оронд 5см радиустай дамжуулагч хүрээ соронзон орны хүчний шугаманд 60° өнцөг үүсгэх тэнхлэгийг тойрон 50Гц давтамжтай жигд эргэж байхад индукцийн Ц.Х.Х.-ний хамгийн их утга 3.42В байсан бол соронзон орны индукцийн хэмжээг олно уу? Эргэлтийн тэнхлэг хүрээний хавтгайд оршино.
21. 0.5с -ийн хугацаанд ороомогт үүссэн индукцийн Ц.Х.Х. нь тогтмол 60В байсан бол ороомгоор нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөлтийг олно уу?
22. Индукц нь τ хугацаанд тэгээс B_0 хүртэл жигд хувьсаж байгаа соронзон оронд перпендикуляр хавтгай дээр дамжуулагч цагираг байрлана. Цагиргийн радиус r , эсэргүүцэл нь R бол гүйдлийн хүчийг ол.
23. Ороомогт зүрхэвч хийгээгүй үед ороомог доторх соронзон орны индукц 5мкТл байв. Ороомогт төмөр зүрхэвч хийхэд ороомог доторх соронзон орны индукц 9мТл болов. Төмөр зүрхэвчийн соронзон нэвтрүүлэх коэффициент болон зүрхэвчинд үүсч байгаа соронзжилтын векторын хэмжээг ол.
24. 80 хувийн а.ү.к.-тай трансформаторын хоёрдугаар ороомгоор гүйх гүйдлийг нэгдүгээр ороомгоор гүйх гүйдэлд харьцуулсан харьцаа 0.2 бол нэгдүгээр ороомгийн хүчдлийг хоёрдугаар ороомгийн хүчдэлд харьцуулсан харьцаа ямар байх вэ?
25. 600мТл индукцтэй соронзон оронд индукцийн векторт 60° өнцөг үүсгэн байрласан 20см урттай дамжуулагчид орны зүгээс 0.36Н хүч үйлчилсэн бол дамжуулагчийн гүйдлийг олно уу?
26. 10см ба 12см талтай тэгш өнцөгт хүрээ 150мТл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон орон дотор байна. Тэгш өнцөгтийн хавтгайн нормаль вектор соронзон индукцийн вектортой 45° өнцөг үүсгэх байрлалаас өнцөгөө ихэсгэн 90° - р эргэсэн бол түүгээр нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөлтийг олно уу?
27. 1000 ороодостой тэгш өнцөгт хэлбэрийн хүрээ 200мТл индукцтэй нэгэн төрлийн соронзон оронд 50Гц давтамжтай эргэлдэнэ. Эргэлтийн тэнхлэг ороомгийн нэг ирмэг ба соронзон орны хүчний шугамтай перпендикуляр байрлах бөгөөд ороодсын талбай 100см^2 бол ороомогт үүсэх индукцийн Ц.Х.Х.-ний хамгийн их утгыг ол.



28. 0.5мм диаметртэй утсаар завсаргүй, дан ороож хийсэн 50см урт, 1см радиустай солениодын голд соронзон нэвтрүүлэх коэффициент нь 2000 бүхий зүрхэвч хийсэн бол солениодын индукцлэлийг ол.
29. 50мГн индукцлэлтэй ороомгоор гүйж буй хувьсах гүйдэл $I = 0.2 \cdot \sin(50 \cdot t)$ хуулиар өөрчлөгдөж байгаа бол өөрийн индукцийн Ц.Х.Х.-ний өөрчлөлтийн хуулийг илэрхийлнэ үү.
30. Соронзон оронд перпендикуляраар байрлах дамжуулагчид индукцийн 15В Ц.Х.Х. үүсгэхийн тулд 1.2м урттай дамжуулагчийг 80мТл индукцтэй соронзон орны хүчний шугамд 60° өнцөг үүсгэн ямар хурдтай хөдөлгөх вэ?



2.5 Тест

- 1.6Тл индукцтэй соронзон орон 0.2м урттай, 5А гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид 0.8Н хүчээр үйлчлэв. Дамжуулагч ба соронзон орны индукцийн векторын хоорондох өнцгийг тодорхойл.
A. $\alpha = 60^\circ$ B. $\alpha = 15^\circ$ C. $\alpha = 90^\circ$ D. $\alpha = 30^\circ$
2. Нэгэн төрөл соронзон оронд 2м урттай дамжуулагч индукцийн векторт перпендикулярар 50м/с хурдтайгаар жигд хөдөлнө. Дамжуулагчийн үзүүрүүд хооронд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х –ийг ол. Соронзон орны индукц 1Тл.
A. $\varepsilon_i = 1\text{В}$ B. $\varepsilon_i = 10\text{В}$ C. $\varepsilon_i = 100\text{В}$ D. $\varepsilon_i = 1\text{кВ}$
3. 8Тл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд 100м² талбайтай битүү жааз оршино. Жаазны хавтгай индукцийн шугамд перпендикуляр бол жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал ямар байх вэ?
A. 1000Вб B. 800Вб C. 5.5Вб D. 500Вб
4. Битүү жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал 2с –ийн турш 1.6Вб –ээр хорогдов. Жаазын эсэргүүцэл 0.2Ом бол түүнд үүсэх индукцийн гүйдэл ямар байх вэ?
A. 4А B. 1А C. 2А D. 6А
5. 10А гүйдэл гүйж буй 0.8Гн индукцлэлтэй ороомгийн соронзон орны энергийг тодорхойл.
A. 10Ж B. 20Ж C. 25Ж D. 40 Ж
6. 0.5Тл индукцтэй соронзон орон 4м урттай, 5А гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид 10Н хүчээр үйлчлэв. Дамжуулагч ба соронзон орны индукцийн векторын хоорондох өнцгийг тодорхойл.
A. $\alpha = 60^\circ$ B. $\alpha = 15^\circ$ C. $\alpha = 90^\circ$ D. $\alpha = 30^\circ$
7. Нэгэн төрөл соронзон оронд 1м урттай дамжуулагч индукцийн векторт перпендикулярар 25м/с хурдтайгаар жигд хөдөлнө. Дамжуулагчийн үзүүрүүд хооронд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х –ийг ол. Соронзон орны индукц 2Тл.
A. $\varepsilon_i = 50\text{В}$ B. $\varepsilon_i = 10\text{В}$ C. $\varepsilon_i = 100\text{В}$ D. $\varepsilon_i = 1\text{кВ}$
8. 4Тл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд 25м² талбайтай битүү жааз оршино. Жаазны хавтгай индукцийн шугамд перпендикуляр бол жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал ямар байх вэ?
A. 100Вб B. 800Вб C. 5.5Вб D. 500Вб
9. Битүү жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал 4с –ийн турш 1.6Вб –ээр хорогдов. Жаазын эсэргүүцэл 0.2Ом бол түүнд үүсэх индукцийн гүйдэл ямар байх вэ?
A. 4А B. 1А C. 2А D. 6А
10. 10А гүйдэл гүйж буй 0.2Гн индукцлэлтэй ороомгийн соронзон орны энергийг тодорхойл.
A. 10Ж B. 20Ж C. 25Ж D. 40Ж
11. 1.2Тл индукцтэй соронзон орон 5м урттай, 5А гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид ямар хүч үйлчлэх вэ? Дамжуулагч ба соронзон орны индукцийн векторын хоорондох өнцөг $\alpha = 30^\circ$.
A. 120Н B. 60Н C. 15Н D. 30Н



12. Нэгэн төрөл соронзон оронд 0.5м урттай дамжуулагч индукцийн векторт перпендикулярар 20м/с хурдтайгаар жигд хөдөлнө. Дамжуулагчийн үзүүрүүд хооронд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х –ийг ол. Соронзон орны индукц 0.5Тл .
А. $\varepsilon_i = 1\text{В}$ В. $\varepsilon_i = 10\text{В}$ С. $\varepsilon_i = 100\text{В}$ D. $\varepsilon_i = 5\text{кВ}$
13. 8Тл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд 50м^2 талбайтай битүү жааз оршино. Жаазны хавтгай индукцийн шугамд перпендикуляр бол жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал ямар байх вэ?
А. 1000Вб В. 800Вб С. 400Вб D. 500Вб
14. Битүү жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал 2с –ийн турш 4.8Вб –ээр хорогдов. Жаазын эсэргүүцэл 0.4Ом бол түүнд үүсэх индукцийн гүйдэл ямар байх вэ?
А. 4А В. 1А С. 2А D. 6А
15. 5А гүйдэл гүйж буй 2Гн индукцлэлтэй ороомгийн соронзон орны энергийг тодорхойл.
А. 10Ж В. 20Ж С. 25Ж D. 40Ж
16. 6Тл индукцтэй соронзон орон 10м урттай, 2А гүйдэлтэй шулуун дамжуулагчид ямар хүч үйлчлэх вэ? Дамжуулагч ба соронзон орны индукцийн векторын хоорондох өнцөг $\alpha = 30^\circ$.
А. 120Н В. 60Н С. 15Н D. 30Н
17. Нэгэн төрөл соронзон оронд 2м урттай дамжуулагч индукцийн векторт перпендикулярар 20м/с хурдтайгаар жигд хөдөлнө. Дамжуулагчийн үзүүрүүд хооронд үүсэх индукцийн Ц.Х.Х –ийг ол. Соронзон орны индукц 1Тл .
А. $\varepsilon_i = 40\text{В}$ В. $\varepsilon_i = 10\text{В}$ С. $\varepsilon_i = 100\text{В}$ D. $\varepsilon_i = 1\text{кВ}$
18. 2Тл индукцтэй нэг төрлийн соронзон оронд 25м^2 талбайтай битүү жааз оршино. Жаазны хавтгай индукцийн шугамд перпендикуляр бол жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал ямар байх вэ?
А. 1000Вб В. 800Вб С. 5.5Вб D. 50Вб
19. Битүү жаазаар нэвтрэх соронзон урсгал 5с –ийн турш 10Вб –ээр хорогдов. Жаазын эсэргүүцэл 2Ом бол түүнд үүсэх индукцийн гүйдэл ямар байх вэ?
А. 4А В. 1А С. 2А D. 6А
20. 5А гүйдэл гүйж буй 6Гн индукцлэлтэй ороомгийн соронзон орны энергийг тодорхойл.
А. 36Ж В. 75Ж С. 25Ж D. 40Ж

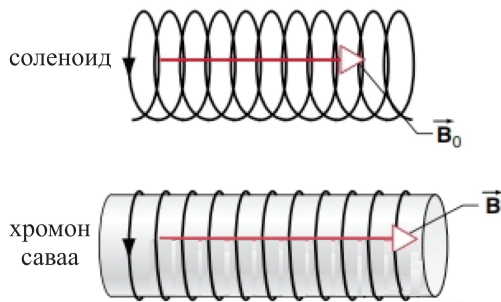


2.6 Бие даалтын бодлого

1. (Бодисын соронзон шинж чанар. Соронзжилтын вектор)

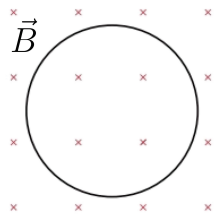
$n = 16$ ороодос/см ороодсын нягт бүхий соленоидоор $I = 1.3$ А гүйдэл дамжина.

- Соленоид дотор зайгүй багтах хромон савааг (зүрхэвчийг) байрлуулбал түүний доторх соронзон орон хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
- Хромон соронзон мэдрэх чадвар $\chi = 3.3 \cdot 10^{-4}$ бол савааны соронзжилтын векторын модулийг (тоон утгыг) олно уу.



2. (Цахилгаан соронзон индукцийн үзэгдэл, Фарадей - Ленцийн хууль)

$R = 2.5$ Ом эсэргүүцэл бүхий $r = 0.32$ м радиустай тойрог хэлбэрийн дамжуулагчийг t хугацаанаас хамаарч $B_z = -4.0$ Тл $- 5.6$ Тл/с $\cdot t + 2.2$ Тл/с² $\cdot t^2$ хуулиар өөрчлөгдөх нэгэн төрлийн соронзон оронд байрлуулав. Соронзон орон дамжуулагчийн хавтгайд перпендикуляр байх ба хугацааны эхэнд цааш чиглэнэ, харин z тэнхлэг нааш чиглэнэ. Хугацааны $t_1 = 1$ с ба $t_2 = 2$ с агшинд уг битүү дамжуулагч дахь индукцийн гүйдлийн хэмжээ ба чиглэлийг тодорхойлно уу.





3. (Өөрийн индукцийн үзэгдэл)

Идэвхит эсэргүүцэл бүхий L индукцлэлтэй соленоидын өөрийн индукцийн ц.х.х хугацаанаас хамаарч $\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-kt}$ хуулиар өөрчлөгдөнө. Гүйдэл зогсох хүртэл соленоидоор урсах нийт цэнэгийг олно уу.

4. (Хэлхээг залгах ба салгах үеийн хэлхээний гүйдэл)

$L = 50 \text{ мГн}$ индукцлэлтэй, $R = 180 \text{ Ом}$ эсэргүүцэлтэй ороомгийг 45 В потенциалын ялгавар бүхий үүсгүүрт залгасны дараа $t = 1.2 \text{ мс}$ хугацаанд гүйдэл ямар хурдтай нэмэгдэх вэ?

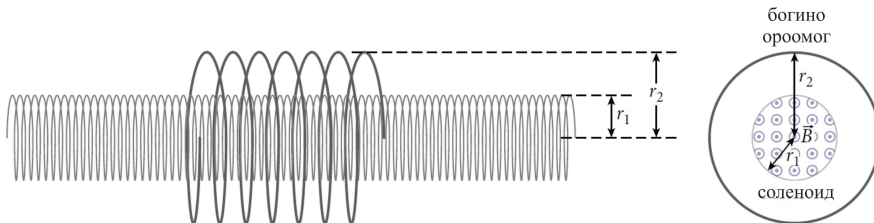
5. (Соронзон орны энерги)

Эмнэлэгийн MRI буюу соронзон резонансын томографийн хэт дамжуулагч соронзыг $d = 1\text{ м}$ диаметртэй, $l = 1.5\text{ м}$ урттай, нэгэн төрлийн $B = 3\text{ Тл}$ соронзон орон бүхий соленоид гэж адилтган үзэж болно. (а) Энэ соронзон орны энергийн эзлэхүүн нягт, (b) соленоид дахь соронзон орны бүрэн энергийг олно уу.



6. (Харилцан индукцийн үзэгдэл)

$r_1 = 2.8\text{ см}$ радиус бүхий хөндлөн огтлолтой, ороодсын $n = 290\text{ ороодос/см}$ нягттай соленоидын гадуур ижил тэнхлэгтэй $r_2 = 4.9\text{ см}$ радиус бүхий хөндлөн огтлолтой, $N = 31$ ороодостой богино ороомгийг байрлуулав (зургийг харна уу). Соленоидын гүйдэл тэгээс $i = 2.2\text{ А}$ болтол $\Delta t = 48\text{ мс}$ хугацааны турш жигд нэмэгдэн өөрчлөгдөх үед богино ороомогт бий болох потенциалын ялгаврыг олно уу.



7. (Хуйларсан (Фукогийн) гүйдэл)

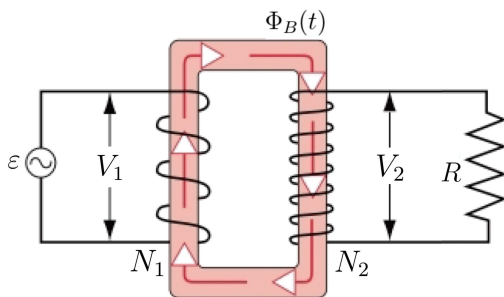
Цахилгаан соронзон индукцийн үзэгдэлд тулгуурлан ажилладаг индукцийн зууханд b зузаантай, R радиустай, хувийн цахилгаан ρ эсэргүүцэл бүхий хавтгай диск дамжуулагчид хуйларсан гүйдлийг бий болгож түүнийг өндөр температуртай болтол нь халаажээ. Хувьсах $B_m \cos \omega t$ соронзон орон дискэнд перпендикуляр чиглэх ба түүний давтамж нь скин-эффект явагдахааргүй бага болно. Дискэн дээр нэг төвт тойргууд байдлаар хуйларсан гүйдлүүд үүснэ гэж үзээд

- (a) дискэнд шилжүүлсэн дундаж $P_{ду}$ чадлыг тооцоолно уу.
- (b) Соронзон орны B_m далайцыг хоёр дахин ихэсгэхэд
- (c) өнцөг ω давтамжийг хоёр дахин ихэсгэхэд
- (d) дискний R радиусыг хоёр дахин их болгоход тус шилжүүлэх чадал хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?

8. (Трансформатор)

Цахилгаан түгээх сүлжээний трансформатор $V_1 = 8.5 \text{ кВ}$ хүчдэлийг бууруулж, хэрэглэгчид $V_2 = 220 \text{ В}$ хүчдэлийг хүргэнэ. Эдгээр хүчдэлийн утга нь үйлчлэгч утга юм. Хэрэглэгч дунджаар $P_{ду} = 78 \text{ кВт}$ чадлаар цахилгаан энерги хэрэглэнэ. Цэвэр идэвхт R эсэргүүцэлтэй ачаалал, чадлын коэффициент нь нэгтэй тэцүү байх идеал трансформатор гэж үзээд

- (a) уг бууруулагч трансформаторын нэгдүгээр ба хоёрдугаар ороомгийн ороодсын тооны $\frac{N_1}{N_2}$ харьцаа,
- (b) нэгдүгээр болон хоёрдугаар ороомог дахь гүйдлийн үйлчлэгч утга,
- (c) хоёрдугаар хэлхээний эквивалент эсэргүүцэл,
- (d) нэгдүгээр хэлхээний эквивалент эсэргүүцлийг тус тус олно уу.



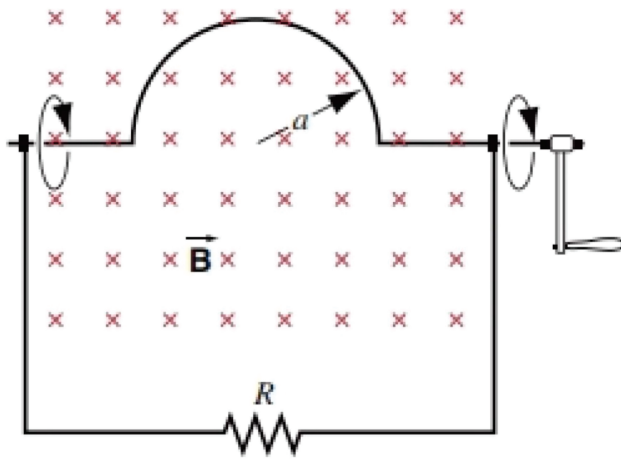
9. (Соронзон оронд жааз эргэх)

Нэгэн төрлийн $B = 3 \text{ мТл}$ соронзон оронд байрлах $d = 10 \text{ см}$ диаметртэй тойрог хүрээгээр $I = 5 \text{ А}$ гүйдэл дамжуулав.

- (a) Гүйдэлтэй хүрээнд үйлчлэх хамгийн их эргүүлэх хүчний момент,
- (b) хүрээний янз бүрийн байрлалын хувьд “гүйдэлтэй хүрээ – соронзон орон” системийн потенциал энергийн утгын завсрыг олно уу.

10. (Генератор)

Зурагт нэгэн төрлийн B соронзон оронд байрлах хатуу дамжуулагч утсаар хийсэн битүү хүрээг үзүүлэв. Энэ хүрээний a радиустай хагас дугуй хэсгийг f давтамжтай эргүүлэхэд хүрээнд индукцлагдэх ц.х.х -ний (a) давтамж, (b) далайцыг тодорхойлно уу.





Семинар 3

Цахилгаан соронзон орон

3.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Максвеллийн тэгшитгэлүүд

Хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөж буй цахилгаан орон соронзон орныг үүсгэж байдаг. Цахилгаан шилжилтийн векторын өөрчлөлтөд пропорциональ $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ хэмжигдэхүүнийг Максвелл шилжилтийн гүйдэл хэмээн нэрлэсэн бөгөөд ердийн дамжууллын гүйдлийн нэг адил соронзон орныг үүсгэдэг байна.

Шилжилтийн гүйдлийн нягт $\vec{j}_m = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$.

Дамжуулалтын ба шилжилтийн гүйдлийн нягтуудын нийлбэрийг бүрэн гүйдэл гэнэ. **Максвеллийн тэгшитгэлүүд** *Нэгдүгээр тэгшитгэл нь* соронзон орны циркуляцийн тодорхойлох бөгөөд өөрөөр хэлбэл соронзон орны циркуляц нь хуйлралыг бодож байгаа битүү муруйн дотуур нэвтрэх дамжууллын болон шилжилтийн гүйдлийн нийлбэртэй тэнцүү байна.

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} \quad (3.1)$$

Хоёрдугаар тэгшитгэл нь цахилгаан орны циркуляцийг тодорхойлох бөгөөд өөрөөр хэлбэл цахилгаан орны хуйлрал нь хуйлралыг бодож байгаа битүү муруйгаар нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөлтийн хурдаар тодорхойлогдоно.

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} d\vec{S} \quad (3.2)$$

Гуравдугаар тэгшитгэл нь цахилгаан орны битүү гадаргаар нэвтрэх урсгалыг тодорхойлох бөгөөд энэ нь битүү гадаргын доторх цэнэгээр тодорхойлогдоно.

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon \epsilon_0} \int_V \rho dV \quad (3.3)$$

Дөрөвдүгээр тэгшитгэл нь соронзон орны битүү гадаргаар нэвтрэх урсгал нь тэгтэй тэнцүү болохыг харуулна. Энэ нь соронзон орон хуйларсан орон бөгөөд соронзон орныг үүсгэгч соронзон цэнэг байдаггүй болохыг илэрхийлнэ.

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (3.4)$$

Максвеллийн тэгшитгэлийг ашиглан орны тооцоо хийхэд орны шинж чанарыг илэрхийлэх материалын тэгшитгэлүүд хэрэгтэй. Сегнето цахилгаан ба ферро соронзон агуулаагүй изотроп орчны материалын тэгшитгэлүүд

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} \quad \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad (3.5)$$

**Максвеллийн тэгшитгэлүүдийн дифференциал хэлбэр**

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0$$

div нь урсгал тодорхойлох оператор

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\partial}{\partial x} E_x + \frac{\partial}{\partial y} E_y + \frac{\partial}{\partial z} E_z \quad (3.7)$$

rot нь хуйлрал тодорхойлох оператор.

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} &= (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = \\ &= \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \vec{i} + (-1) \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \vec{k} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Чөлөөт ба албадмал цахилгаан соронзон хэлбэлзэл

Чөлөөт цахилгаан соронзон хэлбэлзэл индукцлэлийн L ороомог, C конденсатор хоёроос тогтох хүрээнд явагдах ба цахилгаан ба соронзон орны энергийн шилжилтийн хэлбэлзэл юм. Хүрээний хэлбэлзлийн тэгшитгэл нь

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \left(\frac{1}{LC} \right) q = 0 \quad (3.9)$$

Энд: q нь конденсаторын цэнэг.

Хувийн хэлбэлзлийн давтамж нь

$$\omega_0 = \left(\frac{1}{\sqrt{LC}} \right) \quad (3.10)$$

Идеал хэлбэлзлийн хүрээнд цахилгаан соронзон хэлбэлзэл нь гармоник, үл замхрах байна. Бодит хэлбэлзлийн хүрээнд энерги идэвхит эсэргүүцлийн улмаас халалтаар дулааны хэлбэрээр алдагдан хэлбэлзэл замхарч байдаг. R идэвхит эсэргүүцэл, L индукцлэлтэй ороомог, C багтаамжтай конденсатороос бүрдсэн хүрээнд үүссэн хэлбэлзлийн улирал дараах хэлбэртэй бичигдэнэ.

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L} \right)^2}} \quad (3.11)$$

Хүрээний эсэргүүцэл бага буюу $\left(\frac{R}{2L} \right)^2 \ll \frac{1}{LC}$ байвал хэлбэлзлийн улирлыг Томсоны томъёогоор тодорхойлдог.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (3.12)$$

Замхрах хэлбэлзлийн замхралын логарифм декрементийг

$$\delta = \beta T = \frac{R}{2L} T \quad (3.13)$$

томъёогоор тодорхойлно.

Гадны үүсгүүрийн хувьсах хүчдэл $U = U_0 \cos \omega t$ гэвэл албадмал хэлбэлзлийн тэгшитгэл дараах хэлбэртэй бичигдэнэ.

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \left(\frac{dq}{dt} \right) + \omega_0^2 q = \frac{U_0 \cos \omega t}{L} \quad (3.14)$$

Энд: $\beta = \frac{R}{2L}$ нь замхралын коэффициент. Хүрээнд үелэх хэлбэлзэл $L > \frac{CR^2}{4}$ нөхцөл хангагдсан үед явагддаг ба хангагдаагүй үед хэлбэлзэл үелэх биш байна.

Дифференциал тэгшитгэлийн шийд нь

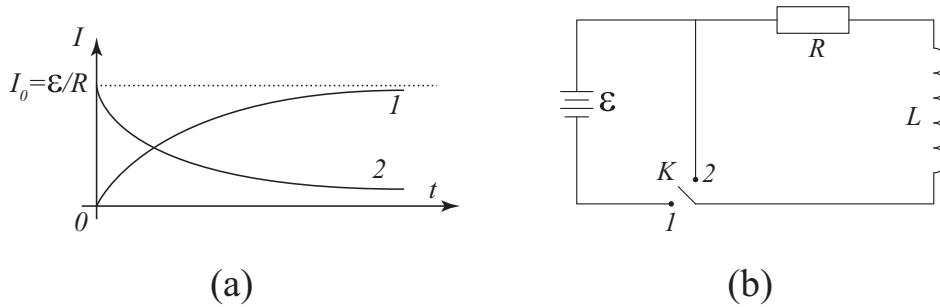
$$q = q_0 \cos(\omega t + \phi) \quad (3.15)$$

хэлбэртэй илэрхийлэгдэх далайц, анхны фазын утгууд нь албадмал хүчний давтамж ω ба хувийн хэлбэлзлийн давтамж ω_0 хоорондын харьцаанаас хамааралтай.

Гүйдлийн хүчний хувьд резонансын давтамж нь хувийн хэлбэлзлийн давтамжтай давхцаж $\omega L = \left(\frac{1}{\omega C} \right)$, гүйдлийн хүчний далайц $I_0 = \left(\frac{U_0}{R} \right)$ утга авна.

Хэлхээг залгах ба салгах үеийн гүйдэл

Ленцийн дүрмээр өөрийн индукцийн улмаас дамжуулагчид гүйдлийн өөрчлөлтийг саатуулах чиглэлд нэмэлт гүйдэл үүснэ. RL элементүүдийг үүсгүүрт залгах үед (К түлхүүр 1 байрлалд) гүйдэл нь өсөж ханалтын гүйдэл рүү шилжинэ. (Зураг 3.1)



Зураг 3.1

$$I = I_0(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}) \quad (3.16)$$

Харин хэлхээг тэжээлээс салган К түлхүүрийг 2 байрлалд шилжүүлбэл хэлхээний гүйдэл экспоненциал хуулиар буурна.

$$I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}} \quad (3.17)$$

Цахилгаан соронзон долгион (ЦСД) ба түүний хуваарь

Цахилгаан ба соронзон орон нь цахилгаан цэнэггүйгээр оршин байх боломж нь хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөж харилцан нэг нь нөгөөдөө хувирах цахилгаан соронзон долгионы хэлбэр юм.

Долгионы \vec{E} ба \vec{B} векторууд хоорондоо харилцан перпендикуляр төдийгүй тархалтын чиглэлд хоёулаа перпендикуляр, өөрөөр хэлбэл ЦСД нь хөндлөн долгион юм. Нэг



цэгт хугацааны нэг эгшинд цахилгаан ба соронзон орнууд ижил фазтай, өөрөөр хэлбэл максимум ба минимумын байрлал давхцана. Энэ хоёр орны далайцын хэмжигдэхүүнүүд дараах харьцаагаар холбогдоно.

$$E_0\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H_0\sqrt{\mu\mu_0} \quad (3.18)$$

Максвеллийн тэгшитгэлүүдээс ЦСД тархах хурдыг гаргавал

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} \quad (3.19)$$

Вакуумд энэ хурд тогтмол, долгионы урт буюу давтамжаас үл хамаарах доорх утгатай тэнцүү.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Энэ тоо нь гэрлийн хурдыг хэмжсэн үр дүнтэй нарийн таардаг байдал нь гэрлийн тухай ЦСД онол бий болох үндэс болж өгсөн. Цахилгаан соронзон долгионы энергийн эзлэхүүний нягт нь цахилгаан ба соронзон орны тус бүрийн энергийн нягтын нийлбэртэй тэнцүү.

$$W = W_{\text{Цах}} + W_{\text{Сор}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2 = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0} EH = \frac{\sqrt{\varepsilon\mu}}{c} EH \quad (3.20)$$

ЦСД –ны тархалтын чиглэлд нэгж хугацаанд нэгж талбайгаар зөөгдөх энергийг Умов – Пойтингийн вектороор тодорхойлно:

$$\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}] \quad (3.21)$$

Бүх төрлийн ЦСД нэг ерөнхий мөн чанартай учраас нэгдсэн хуваарьт оруулж болох ба нийт хуваарийг дараах 6 мужид хувааж үзнэ.

$$I = \langle |\vec{S}| \rangle = \frac{1}{T} \int |\vec{E} \cdot \vec{H}| dt = \frac{E_0 H_0}{2} \quad (3.22)$$

I –гэрлийн эрчим: ЦСД-ны тархах чиглэлд нэгж хугацаанд нэгж талбайгаар зөөгдөх энергийн дундаж утга. Хэмжих багажид I –ийг хэмждэг. Өөрөөр хэлбэл I нь $|\vec{S}|$ -ийн үйлчлэгч утга юм.

1. Радиодолгион (урт, дунд, богино)
2. Хэт улаан цацраг
3. Үзэгдэх гэрэл
4. Хэт ягаан цацраг
5. Рентген цацраг
6. Гамма цацраг

Радиодолгион нь хэлбэлзлийн хүрээгээр үүснэ. Хэт улаан, үзэгдэх, хэт ягаан цацрагуудыг атом, молекул, хурдан цэнэгт бөөмс цацруулна. Рентген цацраг нь атомын доторх процессуудаар, гамма цацраг нь цөмийн урвалын үед үүсдэг. Дээрх 6 муж хооронд нарийн хил байхгүй юм.

Хувьсах гүйдлийн хуулиуд



Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд эсэргүүцлээс гадна конденсатор буюу индукцлэлийн ороомог холбосон бол гүйдэл ба хүчдлийн максимум утгууд I_0 ба U_0 хугацааны хувьд давхцахгүй. Хувьсах гүйдлийг түүний дундаж чадалтай ижил чадал бүхий эквивалент тогтмол гүйдлээр дүйцүүлэн тооцоолдог.

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U_{\text{эф}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (3.23)$$

I_0, U_0 нь хувьсах гүйдлийн гүйдэл хүчдэлийн далайцууд, тэдгээрт харгалзах эффектив гүйдлийн хүч ба хүчдэл нь $I_{\text{эф}}, U_{\text{эф}}$. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд идэвхитэй эсэргүүцлээс ялгаатай дулаан ялгаруулдаггүй идэвхигүй эсэргүүцэл байна. Зөвхөн идэвхитэй эсэргүүцэл агуулсан хувьсах гүйдлийн хэлхээнд гүйдлийн хүч ба хүчдэл хоёр нь фазаараа давхцдаг, өөрөөр хэлбэл нэгэн зэрэг хязгаарын утгадаа хүрч байдаг. R эсэргүүцэл дээр ялгарах эгшин зуурын чадал

$$P = I^2 R = I_0^2 R \sin^2(\omega t) \quad (3.24)$$

Дундаж чадал

$$\langle P \rangle = \frac{I_0^2 R}{2} = \frac{U_0^2}{2R} \quad (3.25)$$

байна.

Зөвхөн конденсатор агуулсан хувьсах гүйдлийн хэлхээнд конденсаторт өгсөн хүчдэлтэй ижил фазтай цэнэглэгдэж хэлхээгээр гүйдэл гүйнэ. Гүйдлийн хүч нь хүчдлээс $\pi/2$ радиан буюу 90° өнцгөөр түрүүлнэ. Конденсаторын хувьд Омын хууль: $U_C = I_0 X_C$ ба үүний $X_C = \frac{1}{\omega C}$ нь багтаамжийн эсэргүүцэл юм. Зөвхөн индукцлэлийн ороомог агуулсан хувьсах гүйдлийн хэлхээнд гүйдлийн хүч нь хүчдлээсээ $\pi/2$ радианаар хоцорч хэлбэлзэнэ. Ороомог дээрх гүйдлийн хүч ба хүчдлийн максимум утгуудын хооронд $U_0 = I_0 X_L$ хамаарал байх ба үүний $X_L = \omega L$ -ийг индукцлэлийн эсэргүүцэл гэнэ. R, L, C -г цуваа холбосон хувьсах гүйдлийн хэлхээний бүрэн эсэргүүцэл:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3.26)$$

Үүсгүүрийн хүчдэл нь гүйдлийн хүчтэй харьцангуй фазаараа ϕ өнцгөөр зөрж буй бол чадлын коэффициент нь

$$\frac{P_{\text{ид}}}{P_{\text{бүр}}} = \cos \phi = \frac{U_{R_0}}{E_0} = \frac{R}{Z} \quad (3.27)$$

Дундаж чадал

$$\langle P \rangle = \frac{U_{\text{эф}}^2}{R} = I_{\text{эф}}^2 Z \cos \phi = I_{\text{эф}} U_{\text{эф}} \cos \phi \quad (3.28)$$

$\cos \phi$ – хэлхээний чадлын коэффициент юм.



3.2 Жишээ бодлого

Жишээ 3.1

Хэлбэлзлийн хүрээ $C = 2.22$ нФ багтаамжтай конденсатор, $d = 0.5$ мм диаметртэй зэс утсаар ороосон $l = 20$ см урт ороомгоос тогтоно гэвэл хэлбэлзлийн замхралын логарифм декрементийг тодорхойл.

Бодолт: Хэлбэлзлийн хүрээний ороомгийг зэс утсаар ороож хийсэн учраас хүрээний идэвхитэй R эсэргүүцлийг бага гэж үзье. Ийм нөхцөлд замхралын логарифм декрементийг

$$\delta = \beta T = \frac{R}{2L} 2\pi\sqrt{LC} = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3.29)$$

томъёогоор бодно. 3.29 –р томъёоны R ороомгийн эсэргүүцэл, L түүний индукцлэл бөгөөд эдгээр хэмжигдэхүүнүүд бодлогын нөхцөлд өгөгдөөгүй учраас тэдгээрийг бодлогын өгөгдсөн хэмжигдэхүүнүүдээр тодорхойлж болно.

Зэс ороомгийн R эсэргүүцэл

$$R = \rho \frac{l_0}{S} \quad (3.30)$$

гэж тодорхойлогдоно. Үүний ρ нь зэсийн хувийн эсэргүүцэл, S – ороосон зэс утасны хөндлөн огтлол. Үүнийг утасны d диаметрээр илэрхийлбэл:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.31)$$

болно. l_0 – ороомгийг ороосон зэс утасны урт. Утасны нийт урт нэг ороодсын уртыг ороодсын тоогоор үржүүлсэнтэй тэнцүү байна. Нэг ороодсын урт πd_1 (d_1 – ороомгийн диаметр), нийт ороосон тоог N гэвэл ороосон зэс утасны урт

$$l_0 = \pi d_1 N \quad (3.32)$$

байна. 3.31 ба 3.32 –р томъёог 3.30 –р томъёонд орлуулж ороосон зэс утасны эсэргүүцлийг олбол:

$$R = \frac{4\rho d_1 N}{d^2} = \frac{4\rho}{d^2} (d_1 N) \quad (3.33)$$

болно. Ороомгийн индукцлэлийг

$$L = \mu\mu_0 n_0^2 S_0 l \quad (3.34)$$

томъёогоор бодно. Бодлогын нөхцөлд ямар нэг орчныг онцлон дурьдаагүй учраас μ – ийг агаарынхаар авсан болно. μ_0 соронзон тогтмол, n_0 ороомгийн нэгж уртад ноогдох ороодсын тоо бөгөөд $n_0 = \frac{N}{l}$ байна. l – ороомгийн урт, S_0 ороомгийн хөндлөн огтлолийг түүнийг ороомгийн диаметр d_1 –ээр илэрхийлбэл $S_0 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ болно. Энэ бүгдийг 3.34 –р томъёонд орлуулбал ороомгийн индукцлэл

$$L = \frac{\mu\mu_0 N^2 \pi d_1^2}{4l} = \frac{\mu\mu_0 \pi}{4l} (d_1 N)^2 \quad (3.35)$$

болно. 3.33 ба 3.35 –р томъёог 3.29 –р томъёонд орлуулж бага зэрэг хувиргалт хийвэл замхралын логарифм декрементийг тодорхойлох эцсийн томъёо

$$\delta = \frac{8\rho}{d^2} \sqrt{\frac{\pi C l}{\mu\mu_0}} \quad (3.36)$$

байна. 3.36 –р томъёонд өгөгдсөн тоон утгуудыг орлуулж бодвол

$$\delta = 0.018$$

гарна.

**Жишээ 3.2**

Индукцлэлтэй ороомог, конденсаторыг цуваа холбосон хэлбэлзлийн хүрээний резонансын давтамж $\nu_p = 4\text{кГц}$ болно. Энэ хүрээний $\nu = 1\text{кГц}$ давтамжтай хувьсах гүйдэлд учруулах нийт эсэргүүцэл $Z = 1\text{кОм}$ ба хүрээний ороомгийн идэвхитэй эсэргүүцэл $R = 10\text{Ом}$ бол ороомгийн индукцлэлийг ол.

Бодолт: Хүрээний нийт эсэргүүцлийг

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (3.37)$$

томъёогоор бодно. Үүний X_L – хэлбэлзлийн хүрээний L индукцлэлтэй ороомгийн индукцлэлийн эсэргүүцэл, түүнийг

$$X_L = L\omega = L2\pi\nu \quad (3.38)$$

гэж тодорхойлно. X_C – хэлбэлзлийн хүрээний C багтаамжтай конденсаторын багтаамжийн эсэргүүцэл, энэ нь

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C2\pi\nu} \quad (3.39)$$

байна. R – ороомгийн идэвхитэй эсэргүүцэл.

Хэлбэлзлийн хүрээний X_L индукцлэлийн эсэргүүцэл, X_C багтаамжийн эсэргүүцэл тэнцүү үед резонанс болно. Хүрээний резонанс ν_p давтамжийн утганд үүснэ гэсэн учраас $L\omega_p = \frac{1}{C\omega_p}$ байх буюу эндээс C багтаамжийг олбол:

$$C = \frac{1}{L\omega_p^2} \quad (3.40)$$

байна. 3.40 –р томъёог 3.39 –р томъёонд орлуулбал багтаамжийн эсэргүүцэл

$$X_C = \frac{L\omega_p^2}{2\pi\nu} \quad (3.41)$$

болно. Тойрох давтамж ω_p –г резонансын ν_p шугаман давтамжаар илэрхийлж 3.41 –р томъёонд орлуулбал:

$$X_C = \frac{L2\pi\nu_p^2}{\nu} \quad (3.42)$$

болно. 3.37 –р томъёоны X_L , X_C –д 3.38 ба 3.42 –р томъёог орлуулж ороомгийн L индукцлэлийг олбол:

$$Z^2 - R^2 = (2\pi)^2 L^2 \left(\nu - \frac{\nu_p^2}{\nu} \right)^2 \rightarrow L = \frac{\nu \sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi |\nu^2 - \nu_p^2|}$$

болно. Өгөгдсөн тоон утгуудыг орлуулж бодоход ороомгийн индукцлэл

$$L = 10\text{мГн}$$

Жишээ 3.3

50Гц давтамжтай $U = 127\text{В}$ –ийн хүчдэлтэй хувьсах гүйдлийн хэлхээнд идэвхитэй эсэргүүцэл, $L = 56\text{Гн}$ индукцлэлтэй ороомгийг цуваа холбожээ. Идэвхитэй эсэргүүцэл дээр $P = 400\text{Вт}$ чадал ялгарсан бол идэвхитэй эсэргүүцлийг ол. Гүйдэл хүчдлийн фазын зөрүү $\phi = 60^\circ$ болно.

Бодолт:



Хувьсах гүйдлийн идэвхитэй чадал:

$$P = U_{\text{эф}} I_{\text{эф}} \cos \phi \quad (3.43)$$

томъёогоор тодорхойлогдоно. Үүний $U_{\text{эф}} I_{\text{эф}}$ – хүчдэл, гүйдлийн эффектив утга, $\cos \phi$ – чадлын коэффициент. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний Омын хуулиар хэлхээний гүйдлийг

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{Z} \quad (3.44)$$

гэж тодорхойлно. Үүний Z – хувьсах гүйдлийн хэлхээний нийт эсэргүүцэл. Энэ бодлогын хувьд нийт эсэргүүцэл

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (3.45)$$

байна. Үүний R – хэлхээний идэвхитэй эсэргүүцэл, X_L – хэлхээний ороомгийн индукцлэлийн эсэргүүцэл бөгөөд үүнийг

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L \quad (3.46)$$

гэж олно.

3.46 –р томъёог 3.45 –р томъёонд орлуулбал хэлхээний нийт эсэргүүцэл

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2} \quad (3.47)$$

болно. 3.47 –р томъёог 3.44 –р томъёонд орлуулбал хэлхээний гүйдэл:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{\sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2}}$$

болох бөгөөд үүнийг 3.43 –р томъёонд орлуулж идэвхитэй эсэргүүцлийг олбол:

$$R = \frac{\sqrt{U_{\text{эф}}^4 \cos^2 \phi - P^2 (2\pi\nu L)^2}}{P}$$

байна. Өгөгдсөн тоон утгуудыг орлуулж бодвол $R = 100\text{м}$ гарна.

**Жишээ 3.4**

$\varepsilon = 4$ ба $\mu = 1$ материалын үзүүлэлт бүхий орчинд шугаман туйлшралтай хавтгай ЦСД тархана. Долгионы цахилгаан векторынх нь максимум утга $E_0 = 200\text{В/м}$. Долгионы замд 300мм радиустай шингээгч дугуй гадаргууг тархалтын чиглэлд перпендикуляр байрлуулсан бол 1 минутын хугацаанд ямар энерги шингээгдэх вэ?

Бодолт: Цахилгаан ба соронзон векторуудын далайц хоорондын $E_0\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H_0\sqrt{\mu\mu_0}$ харьцааг ашиглан соронзон векторын харьцааг олж болно.

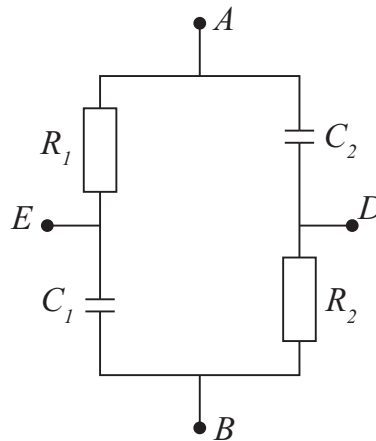
$$H_0 = E_0\sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}}$$

Шугаман туйлшралтай хавтгай ЦСД –ны хувьд $U_{\text{мов}}$ – Пойтингийн вектор нь дараах байдлаар бичигдэнэ. $\vec{S} = W\vec{v} = [\vec{E}\vec{H}]$ буюу модуль нь $P = E_0H_0$ байх ба Пойтингийн вектор нь нэгж хугацаанд перпендикуляр нэгж талбайгаар долгионоор зөөгдөн гарч буй энерги тул энэ энергийг олбол $W = \frac{H_0E_0St}{2}$ томъёогоор шингээгдсэн энергийн утгыг олно.

$$W = \frac{H_0E_0St}{2} = \frac{E_0^2}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} \pi r^2 t = 1.8 \cdot 10^3 \text{Ж}$$

Жишээ 3.5

Зураг 3.2 –д хүчдэлийн фазыг эргүүлэгч цахилгаан хэлхээний схемийг үзүүлжээ. А ба В үзүүрүүдийн хооронд $U_{AB} = U_0 \cos \omega t$ хувьсах хүчдэл өснө. а) E ба D цэгийн хоорондох U_{ED} хүчдэлийг тодорхойл. б) U_{ED} ба U_{AB} хүчдэлүүдийн далайц ижилхэн U_0 байх нөхцлийг тодорхойл. в) U_{ED} ба U_{AB} хүчдэлүүдийн далайц ижил үед фазын зөрүү нь ямар байх вэ?

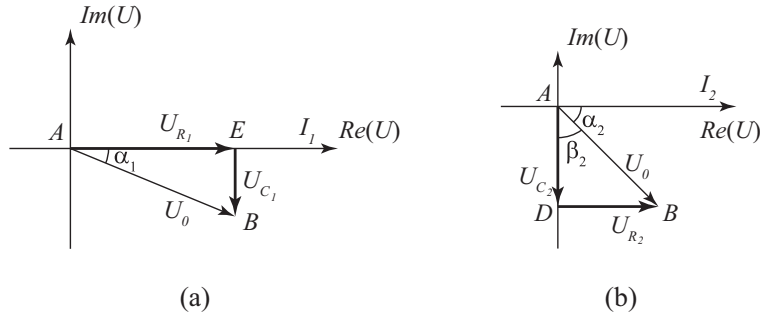


Зураг 3.2

Бодолт:

а) Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд хугацааны хувьд гүйдэл хүчдэлийн фазууд зөрдөг. Иймд фазын зөрүүг тооцоолох нэг арга нь комплекс тооны хавтгай дээр вектор диаграммын арга юм. AEB салаагаар I_1 гүйдэл, ADB салаагаар I_2 гүйдэл гүйнэ гэе. R_1 ба R_2 эсэргүүцлүүд дээр гүйдэл хүчдэлийн фазууд нь зөрөхгүй. C_1, C_2 дээрх хүчдэлийн фазууд нь гүйдлийнхээ фазаас 90° –аар хоцордог болохыг тооцох хэрэгтэй. Хүчдэлүүд нь потенциалын ялгавраар дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

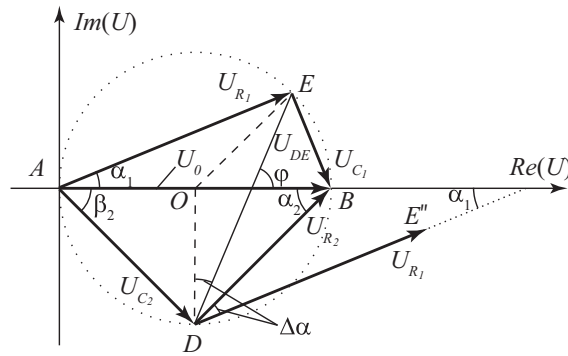
$$U_{R_1} = \phi_E - \phi_A \quad U_{C_1} = \phi_B - \phi_E$$



Зураг 3.3

$$U_{R_2} = \phi_B - \phi_D \quad U_{C_2} = \phi_D - \phi_A$$

AEB ба ADB салаагаар хүчдэлийн вектор диаграммыг харгалзан Зураг 3.3а, Зураг 3.3б –д үзүүлэв. Зураг 3.3а –д I_1 гүйдлийг бодит тэнхлэг дээр авсан ба ерөнхий хүчдлээс α_1 өнцгөөр фаз нь түрүүлж байгаа бол Зураг 3.3б –д I_2 гүйдэл нь ерөнхий хүчдлээс фазаараа α_2 өнцгөөр түрүүлж байна. Одоо U_0 хүчдлийг бодит тэнхлэг дээр авч хүчдлийн вектор диаграммыг Зураг 3.4 –д дүрслэв. I_1 ба I_2 гүйдлийн фазауд U_{R_1} ба U_{R_2} хүчдлийн фазаудтай харгалзан ижил байх учир гүйдлүүдийн фазын зөрүү



Зураг 3.4

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (3.48)$$

байна. AB гипотенузтай $\triangle AEB$, $\triangle ADB$ тэгш өнцөгтийн оройнууд нэг тойрог дээр байрлана. Тойргийн радиус

$$OE = OD = \frac{AB}{2} = \frac{U_0}{2} \quad (3.49)$$

болно. Иймд

$$U_{0DE} = 2 \frac{U_0}{2} \cos\left(\frac{180 - 2\alpha_1 - 2\beta_2}{2}\right) = U_0 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \quad (3.50)$$

Энд

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{U_{C_1}}{U_{R_1}} = \frac{1}{\omega R_1 C_1} \quad \text{tg } \alpha_2 = \frac{1}{\omega R_2 C_2} \quad (3.51)$$

байна.

U_{AB} ба U_{ED} хүчдлүүдийн фазын зөрүүг Зураг 3.4 –өөс олбол

$$\begin{aligned} \phi &= 180^\circ - 2\beta_2 - \angle ODE = 180^\circ - 2\beta_2 - (\alpha_2 - \alpha_1) = \\ &= 2\alpha_2 - \alpha_2 + \alpha_1 = \alpha_1 + \alpha_2 \end{aligned} \quad (3.52)$$



3.50 ба 3.52 –р томьёог ашиглан U_{ED} хүчдлийг олбол

$$U_{DE} = U_0 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \cos(\omega t + (\alpha_1 + \alpha_2))$$

b) $U_{0DE} = U_0$. Энд 3.50 –р тэгшитгэлийг орлуулбал $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = 0$ буюу

$$\alpha_2 = \alpha_1 \quad (3.53)$$

болно.

3.51 –р илэрхийлэлд 3.53 –р томьёог тооцвол

$$R_1 C_1 = R_2 C_2 \quad (3.54)$$

нөхцөл биелэх ёстой. Энэ үед $U_{0ED} = U_{AB}$ болно.

с) U_{AB} хүчдэлтэй тэнцүү U_{0ED} хүчдэл гарах үед тэдгээрийн фазын зөрүү нь 3.52 –р томьёоноос

$$\phi = \alpha_1 + \alpha_2 = 2\alpha = 2 \arctg\left(\frac{1}{\omega R_1 C_1}\right) \quad (3.55)$$

U_{ED} хүчдлийг олбол

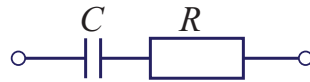
$$U_{ED} = U_0 \cos(\omega t + \phi) \quad (3.56)$$

Энэ нь хэлхээнд өгсөн U_0 хүчдлийн хэмжээг нь өөрчлөхгүйгээр фазыг нь ϕ өнцгөөр өөрчлөх учир фазыг эргүүлэгч гэж нэрлэжээ.



3.3 Шинжлэх даалгавар

1. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд залгасан C багтаамж бүхий конденсатор дээрх хүчдэлийн фаз нь гүйдлийн фазаас ямар зөрүүтэй вэ?
2. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд залгасан L индукцлэл бүхий ороомог дээрх хүчдэлийн фаз нь гүйдлийн фазаас ямар зөрүүтэй вэ?
3. Хэлхээний хувьсах гүйдлийн үүсгүүрийг тогтмол гүйдлийн үүсгүүрээр солиход багтаамжит эсэргүүцэл болон индукцын эсэргүүцэл хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
4. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний бодит эсэргүүцэл давтамжаас хэрхэн хамаарах вэ?
5. Вольтметр болон амперметрээр хүчдэл ба гүйдлийн ямар утга хэмжигддэг вэ?
6. Ороомог ба идэвхит эсэргүүцлээс тогтох хэлхээнд хувьсах гүйдэл гүйж байвал гүйдлийн хүч нь давтамжаас хэрхэн хамаарах вэ?
7. Хувьсах гүйдлийн RLC хэлхээнд ямар нөхцөлд резонансын үзэгдэл ажиглагдах вэ?
8. Дараах зурагт үзүүлсэн хэлхээгээр гүйх хувьсах гүйдлийн хүчийг ихэсгэхийн тулд хүчдэлийн давтамжийг хэрхэн өөрчилбөл зохих вэ?



9. Доорх зурагт үзүүлсэн хэлхээгээр гүйх хувьсах гүйдлийн хүчийг ихэсгэхийн тулд хүчдэлийн давтамжийг хэрхэн өөрчилбөл зохих вэ?



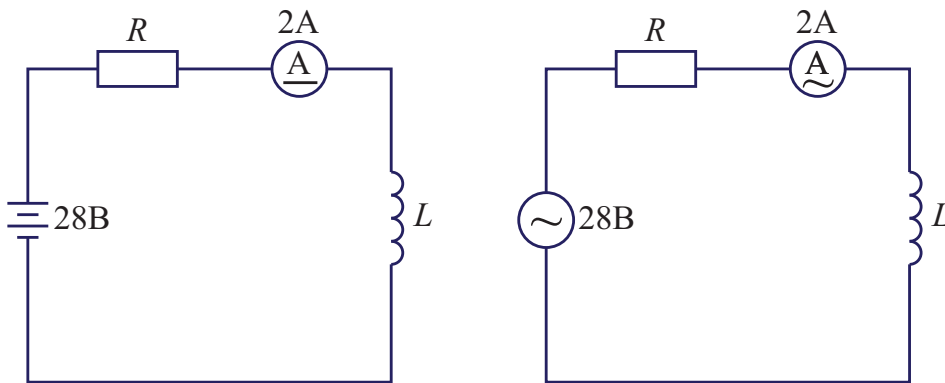
10. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний бүрэн эсэргүүцэл нь $z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ томъёогоор илэрхийлэгдэж байгаа бол ямар элементүүд хэрхэн холбогдсон бэ?
11. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний гүйдэл хүчдэлийн фазын зөрүү нь $\text{tg } \phi = \frac{R}{\omega L}$ томъёогоор илэрхийлэгдэж байгаа бол ямар элементүүд хэрхэн холбогдсон бэ?
12. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд хүчдэл, гүйдлийн хүчний далайц ба үйлчлэгч (эффектив) утгын хоорондох хамаарал ямар томъёогоор тодорхойлогдох вэ?
13. Эгшин зуурын чадал ба дундаж чадал гэж юу вэ? Эдгээр нь хоорондоо ямар ялгаатай вэ?
14. Цахилгаан соронзон хэлбэлзэлд цахилгаан орны энерги ба соронзон орны энерги нь бие биедээ хэрхэн ээлжлэн хувирдаг вэ?
15. Чөлөөт хэлбэлзлийн хүрээнд идэвхтэй эсэргүүцэл холбоход хэлбэлзэл яагаад аяндаа унтарч замхардаг вэ?
16. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний нийт эсэргүүцэл $z = \sqrt{(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$ бол хэлхээнд ямар элементүүдийг яаж холбосон бэ?



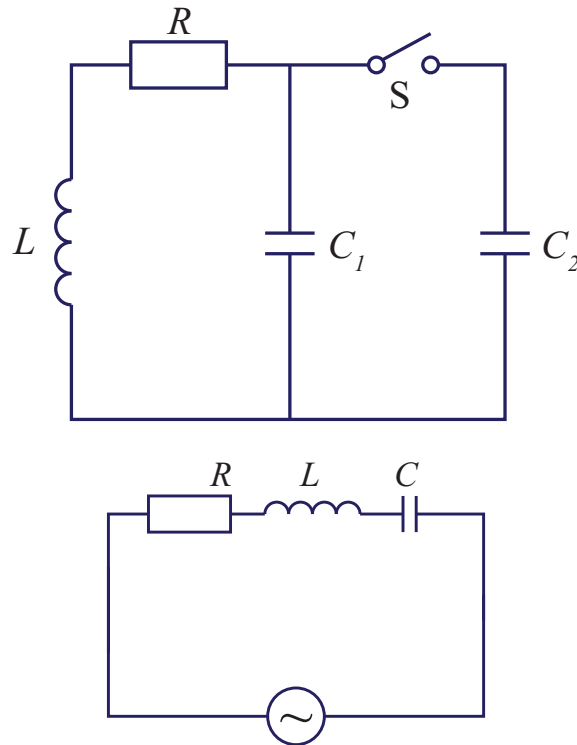
17. Цахилгаан соронзон индукцийн хуулийг Максвеллын тэгшитгэлийн системд интеграл хэлбэрээр яаж илэрхийлдэг вэ?
18. Идэвхитэй эсэргүүцэл дээр гүйдэл, хүчдэлийн фазын зөрөө ямар байх вэ?
19. Бүрэн гүйдлийн хууль юуг илэрхийлдэг вэ?
20. Цахилгаан ба соронзон орны энергийн урсгалыг тодорхойлдог илэрхийллийг бичнэ үү?
21. Манай улсад ямар давтамжтай хувьсах хүчдэл хэрэглэдэг вэ?
22. Вольтметр, амперметрээр хувьсах хүчдэл ба гүйдлийн хүчний ямар утгыг хэмждэг вэ?
23. Хувьсах гүйдэл ба хүчдэлийн далайц, эффектив утгын хоорондын хамаарал ямар томъёогоор тодорхойлогдох вэ?
24. Ахуйн хэрэглээний 220В хувьсах хүчдэлийн далайцын утга ямар вэ?
25. Максвеллын тэгшитгэлийн системд бүрэн гүйдлийн хууль хэрхэн илэрхийлэгдэх вэ?
26. Дууны долгион нь цахилгаан соронзон долгион мөн үү? Хэрэв биш бол ямар төрлийн долгион бэ?
27. Вакуумд цахилгаан соронзон долгион тархаж чадах уу, дууны долгион тархаж чадах уу?
28. Радио долгионы давтамж дууны долгионтой (20Гц-20000Гц) ижилхэн байж болох уу?
29. Максвеллын тэгшитгэлийн системд бүрэн гүйдлийн хууль хэрхэн илэрхийлэгдэх вэ?
30. Хуйларсан цахилгаан орны \vec{E} векторын циркуляци юутай тэнцүү байх вэ?

3.4 Тооцоот даалгавар

1. Хэлбэлзэлийн хүрээний ороомгийн индукцлэлийг 16 дахин ихэсгэвэл хүлээн авагчийн барих долгионы урт хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
2. Хэлбэлзэлийн хүрээний ороомгийн индукцлэлийг 9 дахин багасгавал чөлөөт цахилгаан соронзон хэлбэлзэлийн давтамж хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
3. 2мкФ багтаамжтай конденсатор бүхий хүрээнд 1000Гц давтамжтай хэлбэлзэл үүсэн бол хүрээнд холбосон ороомгийн индукцлэлийг олно уу?
4. Хэлбэлзэлийн хүрээний конденсаторын хүчдэл $U = 50\text{В} \cdot \cos 10^4\pi t$ хуулиар өөрчлөгдөж байв. Хэрэв конденсаторын багтаамж 0.1мкФ бол хүрээний хэлбэлзэлийн үе, хүрээний индукцлэл болон хүрээний цацруулах ЦСД-ны долгионы уртыг тус тус тодорхойлно уу?
5. Зураг 3а-д үзүүлсэнчлэн идэвхтэй эсэргүүцэл ба ороомог бүхий хэлхээг 28В хүчдэлтэй тогтмол гүйдлийн үүсгүүрт холбоход хэлхээгээр 2А гүйдэл гүйж байв. Харин Зураг 3б-д үзүүлсэнчлэн тус хэлхээний тогтмол гүйдлийн үүсгүүрийг ижил 28В хүчдэл бүхий хувьсах гүйдлийн үүсгүүрээр солиход хэлхээгээр 1А гүйдэл гүйсэн бол идэвхтэй эсэргүүцэл ба ороомгийн индукцлэлийн эсэргүүцлийг тус тус олно уу.



6. Зурагт үзүүлсэн хувьсах гүйдлийн хэлхээнд 10Ом идэвхтэй эсэргүүцэл, 5мГн индукцлэлтэй ороомог ба тус бүр нь $C_1 = 1\text{мкФ}$ ба $C_2 = 3\text{мкФ}$ багтаамжтай конденсаторууд холбогдсон байна. Хэлхээний S унтраалга салгаатай үед ν_1 давтамжтай, харин унтраалга залгаатай үед ν_2 давтамжтай гүйдэл хэлхээгээр гүйсэн бол давтамжуудын харьцаа ν_1/ν_2 - ыг олно уу.
7. Зурагт үзүүлсэн хувьсах гүйдлийн RLC хэлхээнд 80Ом эсэргүүцэлтэй идэвхтэй эсэргүүцэл, 100Ом индукцлэлийн эсэргүүцэлтэй ороомог, 160Ом багтаамжит эсэргүүцэлтэй конденсаторууд цуваа холбогдсон ба эдгээр дээр харгалзан 40В, 50В, 80В хүчдэлүүд унаж байгаа бол хувьсах гүйдлийн үүсгүүрийн хүчдэлийн далайцын утга, мөн хэлхээгээр гүйх гүйдлийн хүчний далайцын утгыг тус тус олно уу.
8. 220В хүчдэлтэй, 50Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд 100Ом идэвхтэй эсэргүүцэл, 0.7Гн индукцлэлтэй ороомог ба 1мкФ багтаамжтай конденсаторууд цуваа холбогдсон бол хэлхээгээр гүйх гүйдлийн үйлчлэгч утгыг олно уу?
9. 50Гц давтамжтай хэлхээнд 22мГн индукцлэлтэй ороомог ба идэвхтэй эсэргүүцлийг цуваа холбоход гүйдэл, хүчдэлийн фазын зөрүү нь 60° байсан бол идэвхтэй эсэргүүцлийн хэмжээг олно уу?



10. 50Гц давтамжтай хэлхээнд 30мкФ багтаамжтай конденсатор, 200Ом эсэргүүцэлтэй идэвхтэй эсэргүүцлүүд цуваа холбогдсон бол гүйдэл, хүчдэлийн фазын зөрүүг тодорхойлно уу?
11. 50Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээний ороомог нь 50см урттай 10см² хөндлөн огтлолын талбайтай бөгөөд 3000 ороодостой байв. Уг хэлхээний гүйдэл, хүчдэлийн фазын зөрүү нь 60° байсан бол идэвхтэй эсэргүүцлийн хэмжээг олно уу?
12. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд хэрэглэгчийн бүрэн чадал нь 13Вт ба идэвхтэй чадал нь 12Вт бол идэвхгүй чадлыг тодорхойлно уу?
13. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний бүрэн эсэргүүцэл нь 200Ом ба идэвхгүй эсэргүүцэл нь 120Ом бол хэлхээний чадлын коэффициентийг олно уу?
14. 6мГц индукцлэлтэй ороомог ба 10мкФ багтаамжтай конденсаторууд бүхий хувьсах гүйдлийн хэлхээний резонансын давтамжийг олно уу?
15. Хэлбэлзэлийн хүрээний үе нь 0.25с, хэлбэлзэлийн замхралын логарифм декремент нь 0.125 бол замхралын коэффициентийг олно уу?
16. $t = 0.01$ с хугацаанд ороомгийн соронзон орон жигд өсөх үед үүссэн индукцийн ЦХХ-ний дундаж $\varepsilon = 200$ В бол ороомгийг нэвтлэх соронзон урсгалын өөрчлөлт $\Delta\Phi$ - ыг олно уу.
17. $t = 0.05$ с хугацаанд ороомгийн соронзон орон жигд өсөх үед ороомгийг нэвтлэх соронзон урсгал 40Вб-ээр нэмэгдсэн бол үүссэн индукцийн ЦХХ-ийг олно уу?
18. 4Гн индукцлэлтэй ороомог, 0.9мФ багтаамжтай конденсатороос тогтох хэлбэлзлийн хүрээний хэлбэлзлийн үеийг олно уу?
19. 220В эффе́ктив хүчдэл бүхий хувьсах хүчдлийн далайцыг тодорхойлно уу?



20. 50Гц давтамжтай хэлхээнд 0.2Гн индукцлэлтэй ороомог ба 31.4Ом эсэргүүцэлтэй резисторуудын цуваа холбоход гүйдлийн фаз нь ерөнхий хүчидлийнхээ фазаас ямар өнцгөөр зөрөх вэ?
21. 50Гц давтамжтай хэлхээнд $C = 30\text{мкФ}$ багтаамжтай конденсатор, $R = 200\text{Ом}$ эсэргүүцлийг цуваа холбоход гүйдэл хүчдэлийн фазын зөрүүг тодорхойлно уу?
22. RC хэлхээнд $R = 50\text{Ом}$ байсан ба хүчдэлийн фаз нь гүйдлийн фазаас 30° хоцорч байгаа бол багтаамжийн эсэргүүцлийг тодорхойлно уу?
23. RL хэлхээнд $X_L = 50\text{Ом}$, $R = 120\text{Ом}$ бол бүрэн эсэргүүцлийг тодорхойлно уу?
24. Хувьсах гүйдлийн хэлхээний бүрэн эсэргүүцэл нь 200Ом ба идэвхгүй эсэргүүцэл нь 120Ом байсан бол хэлхээний чадлын коэффициентийг тодорхойлно уу?
25. Цахилгаан хөдөлгүүрийн бүрэн чадал нь 2кВт бөгөөд чадлын коэффициент нь 0.8 бол хөдөлгүүрийн идэвхгүй чадлын дундаж утгыг тодорхойлно уу?
26. Хувьсах гүйдлийн хэлхээнд төхөөрөмжийн идэвхитэй чадал нь 40Вт идэвхгүй чадал нь 30Вт бол төхөөрөмжийн бүрэн чадлыг олно уу?
27. Цахилгаан орны хүчлэг нь огторгуйн тухайн цэг орчим $\vec{E}(3xy, 4x^2z, 5zy)$ гэж тодорхойлогдох бол $A(x, y, z)$ цэгт цэнэгийн нягтыг тодорхойлно уу?
28. Цахилгаан орны хүчлэг нь огторгуйн тухайн цэг орчимд $\vec{E}(3zy, 2y^2x, 2zx)$ гэж тодорхойлогдох бол $A(x, y, z)$ цэгт индукцийн векторын өөрчлөгдөх хурдыг тодорхойлно уу?
29. Цахилгаан шилжилтын вектор нь $\vec{D}(2xt^2, 0, 4z \sin t)$ хуулиар хувьсах бол $A(x, y, z)$ цэгт t эгшин дэх шилжилт гүйдлийн нягтын векторын тодорхойлно уу?
30. Шилжилтийн гүйдлийн нягт нь $\vec{j}(3xt^2, 2 \cos \omega t, 6)$ гэж тодорхойлогдох бол цахилгаан шилжилтийн векторыг илэрхийлнэ үү?



3.5 Тест

1. Битүү муруйн дотуур нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөгдөх хурд нь 0.15Вб/с бол энэ муруйн дагуух цахилгаан орны хуйларлыг ол.
А. 0.15В В. 0.21В
С. 0.31В Д. 6.66В
2. Диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент нь $\varepsilon = 2$ ба соронзон нэвтрүүлэх коэффициент нь $\mu = 3$ байх нэгэн төрлийн орчинд тархах хавтгай гармоник цахилгаан соронзон долгион тархана. Цахилгаан соронзон долгионы тархах хурдыг ол.
А. $120 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ В. $68.7 \cdot 10^6 \text{ м/с}$
С. $38.7 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ Д. $78.7 \cdot 10^6 \text{ м/с}$
3. Цахилгаан соронзон хэлбэлзлийн хүрээний давтамж $\nu = 50\text{Гц}$, замхралын коэффициент $\beta = 0.75\frac{1}{c}$ бол хэлбэлзлийн замхралын логарифм декрементийг тодорхойл.
А. 0.28 В. 0.017
С. 0.015 Д. 0.005
4. $\varepsilon = 81$ тусгаарлагчаар дүүргэгдсэн конденсаторын хавтгайнуудын хоорондох завсрын цахилгаан орны хүчлэг $0.03\frac{\text{МВ}}{\text{м}\cdot\text{с}}$ хурдтай жигд өөрчлөгдөнө. Цахилгаан орны шилжилтийн гүйдлийн нягтыг ол.
А. 466.5нА/м^2 В. 342.7нА/м^2
С. 312.7нА/м^2 Д. 21.5мкА/м^2
5. 50Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд 12мГн индукцэлтэй ороомогийн индукцит эсэргүүцлийг ол.
А. 3.77Ом В. 5.77Ом
С. 6.77Ом Д. 8.77Ом
6. Битүү муруйн дотуур нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөгдөх хурд нь 0.56Вб/с бол энэ муруйн дагуух цахилгаан орны хуйларлыг ол.
А. 1.78В В. 0.21В
С. 0.56В Д. 0.18В
7. Диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент нь $\varepsilon = 81$ ба соронзон нэвтрүүлэх коэффициент нь $\mu = 2$ байх нэгэн төрлийн орчинд тархах хавтгай гармоник цахилгаан соронзон долгионы соронзон орны хүчлэг векторын далайц $H_0 = 5\text{А/м}$ бол цахилгаан орны хүчлэг векторын далайцыг ол.
А. 37.6В/м В. 43.6В/м
С. 296В/м Д. 93.6В/м
8. Цахилгаан соронзон хэлбэлзлийн хүрээний давтамж $\nu = 20\text{Гц}$, замхралын коэффициент $\beta = 0.4\frac{1}{c}$ бол хэлбэлзлийн замхралын логарифм декрементийг тодорхойл.
А. 0.28 В. 0.017
С. 0.56 Д. 0.02
9. Конденсаторын ялтасны талбай 15см^2 талбайтай конденсаторын хавтгайнуудын хоорондох завсрын цахилгаан шилжилтийн вектор нь $0.03\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2\cdot\text{с}}$ хурдтай жигд өөрчлөгдөнө. Цахилгаан орны шилжилтийн гүйдлийн хэмжээг ол.
А. 45мкА В. 35мкА
С. 15мкА Д. 5мкА



10. 30Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд 15мФ багтаамжтай конденсаторын багтаамжит эсэргүүцлийг ол.
А. 9.654Ом В. 8.254Ом
С. 0.354Ом D. 0.254Ом
11. Битүү муруйн дотуур нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөгдөх хурд нь 0.61Вб/с бол энэ муруйн дагуух цахилгаан орны хуйлралыг ол.
А. 0.39В В. 0.41В
С. 1.63В D. 0.61В
12. Диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент нь $\epsilon = 9$ ба соронзон нэвтрүүлэх коэффициент нь $\mu = 8$ байх нэгэн төрлийн орчинд тархах хавтгай гармоник цахилгаан соронзон долгионы цахилгаан орны хүчлэг векторын далайц $E_0 = 150\text{В/м}$ бол соронзон орны хүчлэгийн далайцыг ол.
А. 0.42А/м В. 3.33А/м
С. 6.33А/м D. 7.42А/м
13. Цахилгаан соронзон хэлбэлзлийн хүрээний индукцлэл нь $L = 450\text{Гн}$, замхралын коэффициент $\beta = 0.05^{\frac{1}{2}}$ бол хүрээний идэвхитэй эсэргүүцлийг ол.
А. 55Ом В. 45Ом
С. 35Ом D. 25Ом
14. $\epsilon = 4$ тусгаарлагчаар дүүргэгдсэн конденсаторын хавтгайнуудын хоорондох завсрын цахилгаан орны хүчлэг $0.07\frac{\text{МВ}}{\text{м}\cdot\text{с}}$ хурдтай жигд өөрчлөгдөнө. Цахилгаан орны шилжилтийн гүйдлийн нягтыг ол.
А. 2478нА/м² В. 4567нА/м²
С. 5827нА/м² D. 9027нА/м²
15. 30Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд 15мГн индукцлэлтэй ороомогийн индукцит эсэргүүцлийг ол.
А. 8.83Ом В. 6.83Ом
С. 2.83Ом D. 4.83Ом
16. Цахилгаан орны хуйлрал 0.61В бол битүү муруйгаар нэвтрэх соронзон урсгалын өөрчлөгдөх хурдыг ол.
А. 0.39Вб/с В. 0.41Вб/с
С. 1.63Вб/с D. 0.61Вб/с
17. Диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент нь $\epsilon = 4$ ба соронзон нэвтрүүлэх коэффициент нь $\mu = 1$ байх нэгэн төрлийн орчинд тархах хавтгай гармоник цахилгаан соронзон долгион тархана. Цахилгаан соронзон долгионы тархах хурдыг ол.
А. $67.41 \cdot 10^6\text{м/с}$ В. $47.41 \cdot 10^6\text{м/с}$
С. $87.41 \cdot 10^6\text{м/с}$ D. $150 \cdot 10^6\text{ам/с}$
18. Цахилгаан соронзон хэлбэлзлийн хүрээний идэвхитэй эсэргүүцэл нь $R = 90\text{Ом}$, замхралын коэффициент $\beta = 0.9^{\frac{1}{2}}$ бол хүрээний индукцлэлийг ол.
А. 55Гн В. 45Гн
С. 50Гн D. 25Гн
19. 45см² талбайтай конденсаторын хавтгайнуудын хоорондох завсрын цахилгаан шилжилтийн вектор нь $0.12\frac{\text{Кл}}{\text{м}^2\cdot\text{с}}$ хурдтай жигд өөрчлөгдөнө. Цахилгаан орны шилжилтийн гүйдлийн хэмжээг ол.

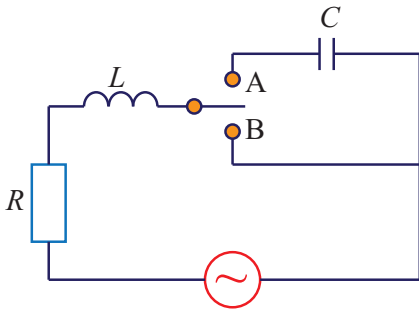


- A. 0.84mA B. 0.74mA
C. 0.64mA D. 0.54mA

20. 50Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд 12мФ багтаамжтай конденсаторын багтаамжит эсэргүүцлийг ол.
A. 0.265Ом B. 1.265Ом
C. 2.265Ом D. 3.265Ом



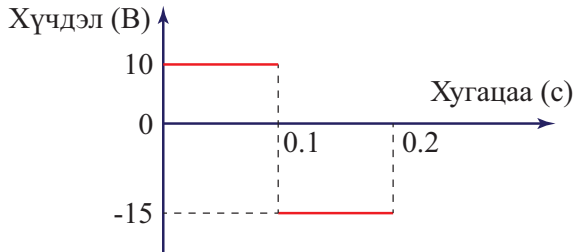
3. Зурагт үзүүлсэн хувьсах гүйдлийн хэлхээ нь R эсэргүүцэлтэй идэвхтэй эсэргүүцэл, L индукцлэлтэй ороомог, C багтаамжтай конденсатор ба U эффе́ктив хүчдэлтэй ν давтамжтай хувьсах гүйдлийн үүсгүүр болон сэлгэгчээс бүрдэнэ. а. Сэлгэгчийг А байрлалд холбоход хэлхээгээр гүйх гүйдлийн хүчний үйлчлэгч утгыг олно уу? б. Сэлгэгчийг А байрлалд холбоход ороомог ба конденсатор дээр унах хүчдэлийн далайцын утгуудыг олно уу? Сэлгэгчийг А ба В байрлалд холбоход үүсэх дундаж чадлуудыг тус тус олно уу? Хоёр тохиолдолд давтамжийг $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ гэж тооцоорой.



4. 127В хүчдэлтэй, 50Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд идэвхтэй эсэргүүцэл ба ороомог зэрэгцээ холбогдов. Хэрэв хүрээний дундаж чадал нь 404Вт ба гүйдэл хүчдэлийн зөрүү нь 60° бол идэвхтэй эсэргүүцлийн хэмжээ ба ороомгийн индукцлэлийг олно уу?



5. Тус бүр нь 0.5Гн индукцлэлтэй нэг ерөнхий зүрхэвчтэй хоёр ороомгийн эхний ороомгоор гүйж буй I гүйдлийн хүч хугацаанаас хамааран өөрчлөгдөхөд дараагийн ороомогт үүсэх индукцийн цахилгаан хөдөлгөгч хүч доорх зурагт (графикт) үзүүлсэн байдлаар үүсэв. Хугацааны эхний агшинд буюу $t = 0$ үед $I = 0$ байсан бол эхний ороомгоор 0 –оос 0.2 секундын турш гүйх I гүйдлийн хүчний t хугацаанаас хамаарах хамаарлыг олж графикаар зурж үзүүлнэ үү.



6. Диэлектрик нэвтрүүлэх коэффициент $\varepsilon = 1000$ бүхий тусгаарлагчаар дүүргэгдсэн 10см^2 талбайтай хавтгай конденсаторыг цэнэглэх үед холбосон утсаар 1мкА гүйдэл гүйж байв. Конденсаторын цахилгаан орны хүчлэгийн өөрчлөгдөх хурдыг ол ?



7. $t = 0$ агшинд LC хүрээнд $Q = Q_0$ ба $I = 0$ байсан бол хугацааны ямар агшинд энерги эхний удаа ороомог ба конденсаторт тэнцүү хуваарлагдах вэ? Хугацааны энэ агшинг T үеийн хувиар илэрхийл. Энэ үед конденсаторын цэнэг ямар байх вэ?

8. Вакуумд хавтгай цахилгаан соронзон долгион тархаж байхад цахилгаан орны хүчлэгийн далайц нь $E_0 = 100\text{В/м}$ байв. Долгионы тархалтын чиглэлд перпендикуляр 1м^2 гадаргад нэг секундэд ямар хэмжээний энерги ирэх вэ?



9. 50Гц давтамжтай хувьсах гүйдлийн хэлхээнд ороомог нь 20см урттай, 5см диаметртэй, 0.6мм^2 хөндлөн огтлолтой зэс утсаар 500 ороодостой байв. Бүрэн эсэргүүцлийн хэдэн хувийг ороомгийн эсэргүүцэл эзлэх вэ? Зэсийн хувийн эсэргүүцэл $\rho = 17\text{нОм} \cdot \text{м}$ гэж тооцно уу.

10. Хэлбэлзлийн хүрээ $C = 0.1\text{мкФ}$ багтаамжтай конденсатор, 10мГн индукцлэлтэй ороомог, $R = 20\text{Ом}$ идэвхтэй эсэргүүцлээс тогтоно. Хүрээний гүйдлийн далайц e дахин багасах хугацаанд хичнээн удаа хэлбэлзэх вэ?



Семинар 4

Геометр оптик

4.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Геометр оптикт гэрэл тарах үзэгдлийг цацрагийн тусламжтайгаар тодорхойлдог. Өөрөөр хэлбэл, цацраг нь гэрэл тарах чиглэлийг тодорхойлох шугамууд юм. Цацрагууд нь геометр оптикийн хувьд нэгэн төрлийн орчинд бие биенээсээ үл хамааран шулуун замаар тархана. Орчнуудын зааг дээр гэрэл ойх ба хугарах үзэгдэл зэрэг явагдана. Геометр оптикийн хуулиудыг Фермагийн зарчим дээр үндэслэн тайлбарлаж болно. Нэг цэгээс нөгөө цэг рүү гэрэл тарахдаа хамгийн бага хугацаа зарцуулах замыг сонгоно.

$$dt = \frac{dS}{v} \quad (4.1)$$

Энд: $v = c/n$ харьцааг орлуулбал

$$dt = \frac{1}{c} ndS \quad (4.2)$$

c – вакуум дахь гэрлийн хурд, n – орчны хугарлын илтгэгч.

Гэрэл нэгэн төрлийн орчинд тарж байвал оптик замын урт нь:

$$l = n \cdot S \quad (4.3)$$

Гэрлийн туулсан геометр замыг орчны хугарлын илтгэгчээр үржүүлсэнийг оптик зам гэнэ.

Гэрэл ойх ба хугарах хууль: Хоёр орчны зааг дээр туссан, ойсон, хугарсан цацраг, тусгалын цэг дэх гадаргын нормаль нэг хавтгайд оршино. Гэрэл ойхдоо тусгалын өнцөгтэй ижил өнцгөөр ойно.

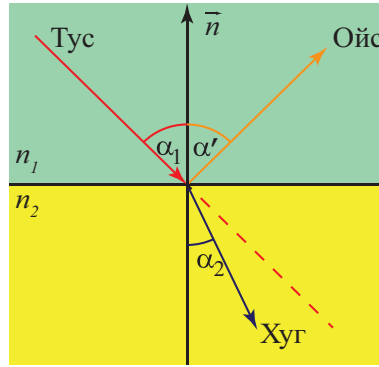
Гэрэл нэг орчноос нөгөө орчин руу хугарахдаа туссан өнцгийн синусийг хугарсан өнцгийн синус –д харьцуулсан харьцаа нь орчны хугарлын илтгэгчүүдийн урвуу харьцаатай тэнцүү. Хугарлын хуулийг томьёолж бичвэл (туссан өнцөг α_1 , ойсон өнцөг α_2)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.4)$$

Дотоод бүрэн ойлт:

Хугарлын хуулиас $n_1 > n_2$ үед $\alpha_2 > \alpha_1$ байна. (Зураг 4.1)

Иймд гэрэл хугарлын илтгэгч ихтэй орчноос хугарлын илтгэгч багатай орчин руу нэвтрэхэд тусгалын өнцөг ихэссээр тодорхой α_0 утганд хүрэхэд хугарлын өнцөг түрүүлж



Зураг 4.1

90° болох тул энэ үеэс эхлэн α_0 –оос их өнцгөөр туссан бүх цацраг хугарах боломжгүй тул бүгд бүрэн ойно. Энэ үзэгдлийг дотоод бүрэн ойлтын үзэгдэл гэнэ.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \quad \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.5)$$

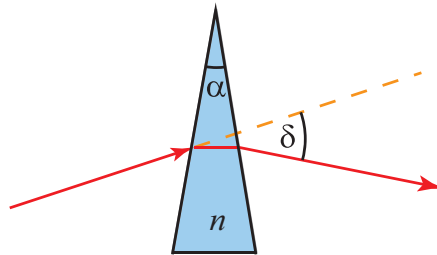
2 –р орчин агаар буюу вакуум бол

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} \quad (4.6)$$

α_0 – хязгаарын өнцгийг дотоод бүрэн ойлтын өнцөг гэнэ.

Гурвалжин призм (Зураг 4.2)

Гурвалжны призмийн оройн өнцөг α –г хугалагч өнцөг гэнэ. Хазайлтын өнцөг δ нь хугалах өнцөг бага үед $\delta = \alpha(n - 1)$ байна.



Зураг 4.2

$$\delta = \alpha(n - 1) \quad (4.7)$$

Линз:

Хоёр бөмбөлөг гадаргуугаар хязгаарлагдсан оптик тунгалаг орчныг линз гэнэ. Линзийн муруйлтын радиусуудын төвүүдийг дайрах тэнхлэгийг гол оптик тэнхлэг гэнэ. Гол оптик тэнхлэгтэй параллель туссан цацрагууд линзийг нэвтэрсний дараа цуглах эсвэл тэдгээрийн үргэлжлэл нь огтлолцох цэгийг фокусын цэг гэнэ. Линз нь хоёр фокусын цэгтэй байх бөгөөд хоёр талын гадна орчин ижил үед тэдгээр нь линзийн төвөөс ижилхэн f зайд байрлана.

Нимгэн линзийн фокусын зай:

$$\frac{1}{f} = \frac{n - n'}{n'} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (4.8)$$

n – линзийн материалын хугарлын илтгэгч, n' – гадна орчны хугарлын илтгэгч, R_1 , R_2 – линзийн гадаргуунуудын муруйлтын радиусууд. Энэ томьёонд радиусын тэмдэгийг тооцоходоо гүдгэр гадаргууд эерэг, хотгор гадаргууд сөрөг тэмдэгтэй тооцно. Фокусын зай $f > 0$ бол цуглуулагч, $f < 0$ үед сарниулагч линз гэнэ.

Нимгэн линзийн томьёо:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \tag{4.9}$$

a – биеэс линз хүртэлх зай, b – линзээс дүрс хүртэлх зай. Эдгээр зайг тоолох чиглэл гэрлийн цацрагийн дагуу бол эерэг, эсрэг бол сөрөг тэмдэгтэйгээр томьёонд тооцогдох бөгөөд f нь цуглуулагч линзэнд f эерэг, сарниулагчид f сөрөг утга авна.

Линзийн өсгөлт:

$\triangle OAB \sim \triangle OA'B'$ гэдгээс дүрсийн өсгөлт: (Зураг 4.3)

$$k = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a} \tag{4.10}$$

Линзийн оптик хүч:

$$D = \frac{1}{f} \tag{4.11}$$

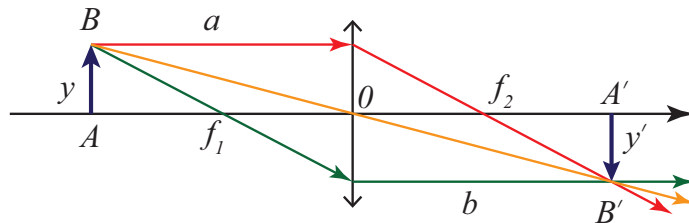
Ойрхон байрласан нимгэн линзүүдийн оптик хүчнүүд нь шууд нэмэгдэнэ.

$$D = D_1 + D_2 \tag{4.12}$$

Линзэнд дүрс байгуулах

Линзэнд дүрс байгуулахдаа цацрагийн хугарах дараах гурван шинж чанарыг ашигладаг.

Цуглуулагч линз: Зураг 4.3 –д үзүүлсэнээр



Зураг 4.3

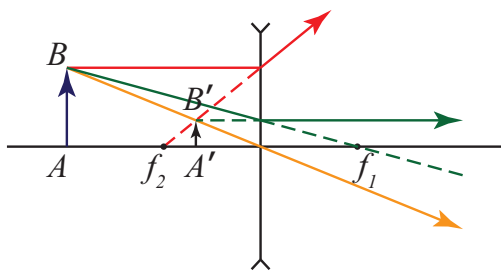
1. Гол оптик тэнхлэгтэй параллель туссан цацрагууд линзийг хойд фокусыг дайрах чиглэлд хугарч нэвтэрнэ.
2. Линзийн оптик төвийг дайрсан цацрагууд хугаралгүй чигээрээ нэвтэрнэ.
3. Урд фокусыг дайрах цацрагууд линзээр нэвтрэхдээ гол оптик тэнхлэгтэй параллель чиглэлд хугарна.

Сарниулагч линз: Сарниулагч линзэнд $f < 0$ учир урд ба хойд фокусын цэгүүд цуглуулагч линзтэй харцингуй байрлалаа сэлгэнэ. (Зураг 4.4)

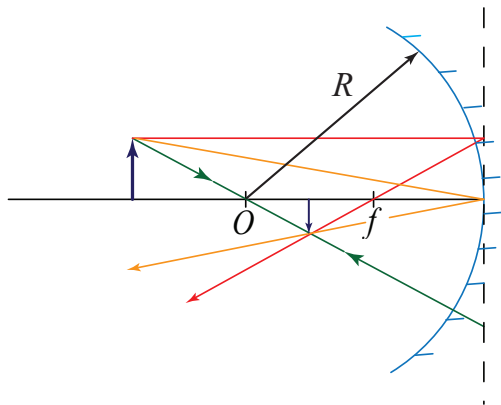
Бөмбөлөг толь

Бөмбөлөг толины томьёо

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f} \tag{4.13}$$



Зураг 4.4



Зураг 4.5

Үүнд: R – толины муруйлтын радиус ба томьёонд гүдгэр толинд сөрөг, хүнхэр толинд эерэг утгатай тооцогдоно. a нь биеэс толь, b нь толиноос дүрс хүртлэх зай бөгөөд зайг тоолох чиглэл цацрагийн чиглэлтэй ижил бол эерэг, эсрэг бол сөрөг утга авна. Бөмбөлөг толинд дүрс байгуулах нь линзэнд байгуулсан байгуулалтыг нугалж урд ба хойд фокусыг давхцуулсантай адилхан юм. Бөмбөлөг толинд гол оптик тэнхлэгтэй параллель цацраг фокусыг дайрах чиглэлд, фокусыг дайрах цацраг гол оптик тэнхлэгтэй параллелиар, толины муруйлтын радиусын төвийг дайрах цацраг эгц буцаж ойно.

Микроскопын өсгөлт:

$$k = b_0 \cdot L \cdot D_1 \cdot D_2 \quad (4.14)$$

Энд: b_0 – хүний нүдний ачаалалгүй харах зай ба хорин настай хүний хувьд тодорхойлогдох зай 25см –ээр авдаг, окуляр объективын хоорондох зай L ба тэдгээрийн оптик хүч нь D_1, D_2 .

Телескопын өсгөлт:

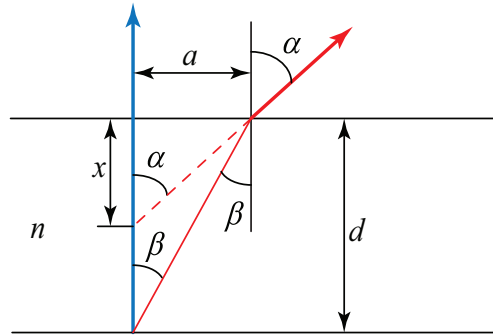
$$k = \frac{\text{tg } \alpha_2}{\text{tg } \alpha_1} = \frac{f_1}{f_2} \quad (4.15)$$

Үүнд: f_1, f_2 – объектив ба окулярын фокусын зай.

4.2 Жишээ бодлого

Жишээ 4.1

Ширээн дээр хавтгай шил тавиад эгц дээрээс нь харахад ширээний гадаргуу ямар хэмжээгээр шилжиж үзэгдэх вэ? Шилний зузаан $d = 5\text{мм}$, хугарлын илтгэгч нь $n = 1.6$



Зураг 4.6

Бодолт:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

α, β нь бага өнцөг учир Зураг 4.6 –гаас

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \beta} \approx \frac{a/x}{a/d} = n \rightarrow d \approx x \cdot n$$

$$\Delta d = d - x = d \left(1 - \frac{1}{n} \right) = \frac{d(n-1)}{n}$$

хэмжээгээр дээшилж ажиглагдана.

$$\Delta d = \frac{d(n-1)}{n} = \frac{5\text{мм}(1.6-1)}{1.6} = 1.87\text{мм}$$

Жишээ 4.2

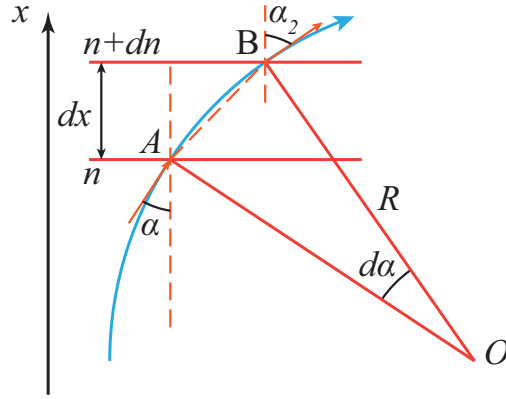
Агаарын хугарлын илтгэгч дээшлэх тусам багасч хугарлын илтгэгчийн градиент үүсэж гэрлийн цацраг муруйжээ. n хугарлын илтгэгчтэй цэгт хугарлын илтгэгчийн градиент $\frac{dn}{dx}$ өгөгдсөн ба энэ цэгт градиентийн чиглэлд гэрлийн цацраг α өнцгөөр тусах бол цацрагийн муруйлтын радиусыг олоорой.

Бодолт: Нэгэн төрлийн бус орчинд гэрэл хугарч гэрлийн цацраг муруйдаг. Энэ үзэгдлийн жишээ нь зэрэглээ юм. Одоо гэрлийн цацрагийн муруйлтын радиусыг тодорхойлъё. Босоо чигт dx зузаан үеэр гэрлийн цацрагийг нэвтрэхдээ α өнцгөөр тусч α_2 өнцгөөр хугарчээ. Цацраг dl зам туулах бол түүнийг тойргийн нум гэж үзвэл:

$$dl = R \cdot d\alpha \tag{4.16}$$

болох ба нөгөө талаас dl нь

$$dl = \frac{dx}{\cos \alpha} \tag{4.17}$$



Зураг 4.7

4.16 ба 4.17 –оос dx ба $d\alpha$ нь дараах байдлаар холбогдоно.

$$dx = R \cos \alpha d\alpha \quad (4.18)$$

Одоо хугарлын хуулийг авч үзье. Хугарлын үед

$$n \sin \alpha = \text{const} \quad (4.19)$$

нөхцөл хангагдах учир 4.19 –р томъёоноос дифференциал авбал

$$dn \sin \alpha - n \cos \alpha d\alpha = 0 \quad (4.20)$$

4.20 –р томъёоноос $\cos \alpha d\alpha$ –г олж 4.18 –р томъёонд орлуулбал

$$dx = -R \frac{dn \sin \alpha}{n} \quad (4.21)$$

Гэрлийн цацрагийн муруйлтын радиус R –ийг олбол

$$R = -\frac{n}{\sin \alpha \frac{dn}{dx}} \quad (4.22)$$

Жишээ 4.3

Нүдний шилээ авсан хүн номоо нүднээсээ 16см зайд барин уншиж байв. Нүдний шилний оптик хүчийг ол. Ачаалалгүй хэвийн харах зай 25см.

Бодолт: Хэвийн хараатай залуу хүн 25см зайд сайн хардаг ба

$$\frac{1}{25\text{см}} + \frac{1}{b_0} = D_0$$

b_0 – нүдний болроос шар толбо хүртлэх зай, D_0 – хэвийн хараатай хүний нүдний оптик хүч.

Хараа муудахад

$$\frac{1}{16\text{см}} + \frac{1}{b_0} = D$$

болох тул 16см –ийг 25см болгохын тулд D' оптик хүчтэй линз зүүвэл $D + D' = D_0$ болж харааны гажиг засагдана.

$$D' = D_0 - D = \frac{1}{25\text{см}} - \frac{1}{16\text{см}} = \frac{25 - 16}{25 \cdot 16\text{см}} = \frac{-9}{4\text{м}} = -2.25\text{дптр}$$

Сарниулагч линз зүүх бөгөөд холын харалган байна.



Жишээ 4.4

Хавтгай – гүдгэр линзийн бөмбөлөг талын муруйлтын радиус 50мм, шилний хугарлын илтгэгч 1.5 байв. Линзээс 50мм зайд оптик тэнхлэг дээр биеийг байрлуулахад ямар дүрс үүсэх вэ?

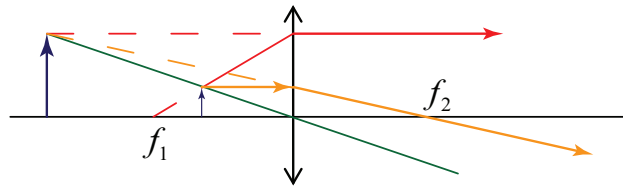
Бодолт: Нимгэн линзийн фокусын зай

$$\frac{1}{f} = \frac{n - n'}{n'} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

n – линзийн хугарлын илтгэгч, n' – гадна орчны хугарлын илтгэгч, R_1, R_2 – линзийн гадаргуунуудын муруйлтын радиусууд.

$$\frac{1}{f} = \frac{1.5 - 1}{1} \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{50\text{мм}} \right) = \frac{0.5}{50\text{мм}} \quad f = 100\text{мм}$$

$f = 100\text{мм}$, $a = 50\text{мм}$ учраас биеийг фокусын зайнаас ойр байрлуулжээ. Хуурмаг



Зураг 4.8

томорсон дүрс үүсч байна. Тооцоогоор бол

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} = \frac{1}{100\text{мм}} - \frac{1}{50\text{мм}} \quad b = -100\text{мм}$$

учир эндээс $b < 0$ учир хуурмаг $|b| > a$ томорсон дүрс үүснэ.



4.3 Шинжлэх даалгавар

1. Фермагийн зарчмыг тайлбарлан бичнэ үү.
2. Оптик зам гэж юу вэ?
3. Усанд гэрэл тархах хурд шилэнд тархах хурднаас их байх уу? Тайлбарлана уу.
4. Нимгэн призмийн хугарлын илтгэгч өөрчлөгдөхөд нэвтэрсэн гэрлийн хазайлтын өнцөг хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
5. Нимгэн призмийн хугалагч өнцөг ихэсч өөрчлөгдөхөд нэвтэрсэн гэрлийн хазайлтын өнцөг хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
6. Дотоод бүрэн ойлтын үзэгдлийг тайлбарлана уу.
7. Гэрэл нэг орчноос нөгөө орчинд шилжихдээ хугардаг. Нэгдүгээр орчны хугарлын илтгэгчийг ихэсгэвэл хугарлын өнцөг хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
8. Орчинд хугарлын илтгэгч нэгэн төрөл биш үед гэрлийн цацрагийн чиглэл өөрчлөгдөх үзэгдлийг тайлбарлана уу.
9. Ширээн дээр хавтгай шил тавиад дээрээс нь харахад дүрс өргөгдөж харагддаг. Шилний хугарлын илтгэгчийг нэмэгдүүлэхэд өргөгдөж харагдах зай өөрчлөгдөх үү? Тайлбарлана уу.
10. Шилэн кабельд гэрлийн дохио дамжуулалт хийх үзэгдлийн физик зарчмыг тайлбарлана уу.
11. Бодит дүрсийг байгуулалт хийж тайлбарлана уу.
12. Хуурмаг дүрсийг байгуулалт хийж тайлбарлана уу.
13. Цуглуулагч линзэнд хуурмаг дүрс үүсэх үү? Байгуулалт хийж тайлбарлана уу.
14. Сарниулагч линзэнд ботид дүрс үүсэх үү? Байгуулалт хийж тайлбарлана уу.
15. Параллель үеүдээр гэрэл хэрхэн хугарах вэ? Тайлбарлана уу.
16. Шил-усны зааг дээр дотоод бүрэн ойлт явагдах уу.
17. Линзийн фокусын зайн агаар дахь хэмжээс, усан орчин дахь хэмжээсүүд нь ялгаатай юу?
18. Цуглуулагч линзэнд фокусын зайнаас бага зайд байрлах биеийн дүрс ямар байх вэ?
19. $D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$. Энд $R_1 > 0$, $R_2 > 0$ байх линзийн геометр хэлбэрийг дүрсэлнэ үү. Цуглуулагч линз үү? сарниулагч линз үү?
20. $D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$. Энд $R_1 < 0$, $R_2 < 0$ байх линзийн геометр хэлбэрийг дүрсэлнэ үү. Цуглуулагч линз үү? сарниулагч линз үү?
21. Абераци гэж юу вэ? Байгуулалт хийж тайлбарлана уу.



22. Парабол толь ямар үүрэгтэй вэ?
23. Линзийн шугаман өсгөлтийг фокусын зай болон биеэс линз хүртлэх зайгаар илэрхийл.
24. $n_1 = 1.56$ ба $n_2 = 1.72$ хугарлын илтгэгчтэй ижилхэн геометр хэмжээстэй линзүүдийн оптик хүчний харьцааг харьцуулан бичнэ үү.
25. Ойрын харалган хүн ямар линз зүүх вэ? Энгийн үедээ ямар зайнд хамгийн сайн харах вэ?
26. Холын харалган хүн ямар линз зүүх вэ? Энгийн үедээ ямар зайнд хамгийн сайн харах вэ?
27. Солонго үүсэх физик зарчмыг тайлбарлана уу.
28. Зэрэглээ үүсэх физик зарчмыг тайлбарлана уу.
29. Микроскопийн бүтцийг тайлбарлана уу.
30. Телескопийн бүтцийг тайлбарлана уу.



4.4 Тооцоот даалгавар

1. Усан орчинд ($n = 1.33$) гэрэл тарах хурдыг ол.
2. Агаарт гэрэл 1 см зайд тархах хугацаанд усанд ямар зайд тархах вэ?
3. Агаараас гэрэл 40° өнцгөөр тусаж, орчинд 45° өнцгөөр хугарсан бол орчны хугарлын илтгэгчийг тооцоол.
4. Агаарын орчноос усанд туссан гэрлийн хурднуудын харьцааг тооцоол.
5. 20см мурийлтын радиустай толиноос 25 см зайд байх 5 см өндөртэй биеийн дүрсийн өсгөлтийг тооцоол.
6. 50см мурийлтын радиустай толины шугаман өсгөлтийг фокусын зай ба биеэс толь хүртлэх зайгаар илэрхийл.
7. Хоорондоо 60° өнцөг үүсгэсэн хавтгай толинуудын хооронд тэдгээрийн нэг толинд нь ойр цэгэн гэрэл үүсгүүр байрлана. Энэ толины системд хэдэн дүрс үүсэх вэ?
8. Гүдгэр бөмбөлөг толиноос $a = 15$ см зайд байгаа биеийн өндөр $h = 10$ см хэмжээтэй бол толиноос дүрс хүртэлх зай болон дүрсийн өндөр H -ийг ол. Мурийлтын радиус $R = 30$ см.
9. Хотгор бөмбөлөг толиноос $a = 15$ см зайд байгаа биеийн өндөр $h = 10$ см хэмжээтэй бол толиноос дүрс хүртэлх зай болон дүрсийн өндөр H - ийг ол. Мурийлтын радиус $R = 30$ см.
10. Цуглуулагч линзийн фокусын зай 60см ба 1м зайд бодит дүрс үүссэн бол бие линзнээс ямар зайд байрлаж байна вэ?
11. $n_1 = 1.5$ ба $n_2 = 1.63$ хугарлын илтгэгчтэй, ижил геометр хэмжээстэй линзүүдийн усан орчинд оптик хүчнүүдийн харьцааг ол.
12. Биеэс линз хүртэлх зай 6см байхад биеийн 4 дахин томорсон дүрс үүссэн бол линзний фокусын зайг ол.
13. Энгийн микроскопийн 2 линз 10см ба 8см фокусын зайтай бол 2 линзийн хоорондох зайг ямар хэмжээтэй байвал биеийн дүрсийг 10 дахин томруулж харах вэ?
14. Линзнээс 30см зайд бодит дүрс үүссэн бол бие линзнээс ямар зайд байрлах вэ? Оптик хүч нь 25дптр.
15. Линзээс 50см зайд байрлах биеийн дүрс линзээс 30см зайд үүсэв. Өгөгдсөн линзний фокусын зайг олж дүрсийг 80см зайд үүсгэхийн тулд биеийг байрлуулах зайг олно уу.
16. 25дптр оптик хүчтэй линзнээс 2см зайд байрлах биеийн дүрсийн өсгөлтийг ол.
17. Хотгор-хотгор линзний мурийлтын радиус харгалзан 8см ба 24см бол линзний фокусын зайг ол. $n = 1.5$.
18. Гүдгэр-хотгор линзний мурийлтын радиус харгалзан 8см ба 10см бол линзний оптик хүчийг ол. $n = 1.5$.



19. Хотгор-хотгор линзний мурийлтын радиус харгалзан 10см ба 40см бол линзний оптик хүчийг ол. $n = 1.5$.
20. Гүдгэр-гүдгэр линзний мурийлтын радиус харгалзан 6см ба 12см бол линзний фокусын зайг ол. $n = 1.5$.
21. Оптик хүч нь 5 дптр гүдгэр - хотгор линзний гадаргуугийн мурийлтын радиусууд нэг нь нөгөөгөөсөө 2 дахин их бол мурийлтын радиусуудыг ол. $n = 1.5$.
22. -2 дптр оптик хүчтэй нүдний шил зүүдэг хүн шилгүй үедээ хэдэн см-ийн зайнд хамгийн сайн харах вэ?
23. Агаарт байсан оптик биетийн дотоод бүрэн ойлтын хязгаарын өнцөг нь 43.6° бол хугарлын илтгэгчийг ол.
24. Агаарт дотоод бүрэн ойлтын өнцөг 53.6° байсан биетийн усан орчинд дотоод бүрэн ойлтын өнцгийг олно уу.
25. $n = 1.8$ хугарлын илтгэгчтэй 0.6° хугалах өнцөг бүхий призмийн гадаргууд перпендикулярар туссан цацрагийн хазайлтын өнцгийг ол.
26. $n = 1.6$ хугарлын илтгэгчтэй шилэн призмд туссан цацраг 15° -аар нэмэгдэж хазайж 45° болсон бол призмийн хугалагч өнцгийг ол.
27. Атмосферийн давхаргын хугарлын илтгэгчийн градиент босоо чиглэлд 0.05м^{-1} байхад босоо чиглэлтэй 30° өнцгөөр тусгасан цацрагийн мурийлтын радиус ямар байх вэ?
28. 12мм зузаан шил рүү 45° өнцгөөр гэрэл тусахад нэг хэсэг нь ойж нөгөө хэсэг нь шил рүү нэвтэрч, доод гадаргаас буцаж ойгоод хугарч анх ойсон цацрагтай параллелиар агаар руу гарав. Энэ 2 цацрагийн хоорондын зайг ол. Шилний хугарлын илтгэгч $n = 1.5$.
29. $n = 1.67$ хугарлын илтгэгчтэй шилэн дээр 60° -ийн өнцгөөр тусахад гэрлийн нэг хэсэг нь ойж нөгөө хэсэг нь шил рүү нэвтэрч ялтасны доод гадаргаас буцаж ойгоод хугарч анх ойсон цацрагтай параллелиар агаар руу гарав. Энэ 2 цацрагийн хоорондын зайг ол.
30. 6мм зузаан шил рүү гэрлийн цацраг 30° өнцгөөр тусахад нэвтэрсэн цацраг анхны туссан цацрагаас ямар зайд шилжих вэ? Шилний хугарлын илтгэгч $n = 1.5$.



4.5 Тест

1. Гэрэл агаараас n хугарлын илтгэгч бүхий орчин руу 60° –аар тусаж, 30° –ийн өнцгөөр хугарсан бол орчны хугарлын илтгэгч ямар байх вэ?
А. $\sqrt{2}$ В. $\sqrt{6}/2$
С. 1.3 Д. 2.0
2. Биеэс линз хүртэлх зай 30см байх үед линзээс 50см зайд биеийн бодит дүрс үүссэн бол линзийн фокусын зайг ол.
А. 18.75см В. 19.75см
С. 1.87см Д. 17.75см
3. Бие цуглуулагч линзээс 12см зайд байхад дүрс нь линзээс 8см зайд үүссэн бол оптик хүчийг ол.
А. 20.8Дптр В. 21.6Дптр
С. 12Дптр Д. 17.75Дптр
4. Гэрэл вакуумд 2.6см зайд тархах хугацаанд $n = 1.3$ хугарлын илтгэгчтэй усанд ямар зайд тархах вэ?
А. 6см В. 3см
С. 2см Д. 4см
5. $R = 10$ см муруйлтын радиустай хүнхэр толиноос $a_1 = 20$ см зайд $h_1 = 2$ см өндөртэй биеийг байрлуулав. Дүрсийн өндөр ба байрлалыг ол.
А. 10см, 2см В. 9.5см, 1см
С. 10см, 1.5см Д. 6.67см, 0.6см
6. Гэрэл агаараас n хугарлын илтгэгч бүхий орчин руу 60° –аар тусаж, 45° –ийн өнцгөөр хугарсан бол орчны хугарлын илтгэгч ямар байх вэ?
А. $\sqrt{2}$ В. $\sqrt{3}$
С. 1.3 Д. 2.0
7. Биеэс линз хүртэлх зай 20см байх үед линзээс 40см зайд биеийн бодит дүрс үүссэн бол линзийн фокусын зайг ол.
А. 18.75см В. 13.33см
С. 1.87см Д. 17.75см
8. Бие цуглуулагч линзээс 14см зайд байхад дүрс нь линзээс 8см зайд үүссэн бол оптик хүчийг ол.
А. 20.8Дптр В. 19.6Дптр
С. 12Дптр Д. 17.75Дптр



9. Гэрэл вакуумд 4.5см зайд тархах хугацаанд $n = 1.5$ хугарлын илтгэгчтэй шилэнд ямар зайд тархах вэ?
А. 6см В. 3см
С. 2см Д. 4см
10. $R = 15$ см муруйлтын радиустай хүнхэр толиноос $a_1 = 20$ см зайд $h_1 = 1$ см өндөртэй биеийг байрлуулав. Дүрсийн өндөр ба байрлалыг ол.
А. 15см, 0.5см В. 12см, 0.6см
С. 10см, 1.5см Д. 10см, 2см
11. Гэрэл агаараас n хугарлын илтгэгч бүхий орчин руу 45° -аар тусаж, 30° -ийн өнцгөөр хугарсан бол орчны хугарлын илтгэгч ямар байх вэ?
А. $\sqrt{2}$ В. $\sqrt{3}$
С. 1.366 Д. 2.0
12. Биеэс линз хүртэлх зай 10см байх үед линзээс 20см зайд биеийн бодит дүрс үүссэн бол линзийн фокусын зайг ол.
А. 18.75см В. 6.67см
С. 1.87см Д. 17.75см
13. Бие цуглуулагч линзээс 10см зайд байхад дүрс нь линзээс 8см зайд үүссэн бол оптик хүчийг ол.
А. 20.8Дптр В. 22.5Дптр
С. 12Дптр Д. 17.75Дптр
14. Гэрэл вакуумд 6см зайд тархах хугацаанд $n = 1.5$ хугарлын илтгэгчтэй шилэнд ямар зайд тархах вэ?
А. 6см В. 4см
С. 2см Д. 5см



15. $R = 20\text{см}$ муруйлтын радиустай хүнхэр толиноос $a_2 = 20\text{см}$ зайд $h_1 = 0.5\text{см}$ өндөртэй дүрс үүснэ. Биеийн өндөр ба байрлалыг ол.
А. 20см , 0.5см В. 15см , 1см
С. 10см , 1.5см D. 10см , 2см
16. Гэрэл агаараас n хугарлын илтгэгч бүхий орчин руу 75° –аар тусаж, 45° –ийн өнцгөөр хугарсан бол орчны хугарлын илтгэгч ямар байх вэ?
А. $\sqrt{5}$ В. $\sqrt{3}$
С. 1.366 D. 2.3
17. 5см фокусын зайтай цуглуулагч линзээс 20см зайд дүрс үүссэн бол бие линзээс ямар зайд байсан бэ?
А. 18.75см В. 13.33см
С. 6.67см D. 17.75см
18. Бие цуглуулагч линзээс 10см зайд байхад дүрс нь линзээс 6см зайд үүссэн бол оптик хүчийг ол.
А. 26.7Дптр В. 22.5Дптр
С. 12Дптр D. 17.75Дптр
19. Гэрэл вакуумд 3см зайд тархах хугацаанд $n = 1.5$ хугарлын илтгэгчтэй шилэнд ямар зайд тархах вэ?
А. 6см В. 3см
С. 2см D. 4см
20. $R = 10\text{см}$ муруйлтын радиустай хүнхэр толиноос $a_2 = 10\text{см}$ зайд $h_1 = 2\text{см}$ өндөртэй дүрс үүснэ. Биеийн өндөр ба байрлалыг ол.
А. 20см , 4см В. 10см , 2см
С. 10см , 1.5см D. 5см , 1см



3. Лааг асааж хүнхэр, гүдгэр толины дунд хүнхэр толиноос $a_1 = 4F/3$ зайд байрлуулав. Хүнхэр толинд үүссэн дүрс $F' = 2F$ фокусын зайтай гүдгэр толинд бие болох ба толинуудын төв хоорондын зай $d = 3F$, тэдгээрийн гол оптик тэнхлэгүүд давхцна. Биеийн хүнхэр толиноос ойж гүдгэр толинд үүсэх дүрсийн байгуулалтыг зурж нийт шугаман өсгөлтийг тооцоол.

4. Бие болон дүрсийн хамгийн бага байх зайг $f = 10\text{см}$ фокусын зайтай линзийн хувьд тооцоол.



5. Хоёр хавтгай толь хоорондоо $\phi = 179^\circ$ өнцөг үүсгэнэ. Толины заагаас $l = 10\text{см}$ зайд, толь тус бүрээс ижил зайд цэгэн гэрэл үүсгүүр байгаа бол хуурмаг гэрэл үүсгүүрүүдийн хоорондох зайг ол.

6. $n = 1.5$ хугарлын илтгэгчтэй шилэн шооны дээд тал руу ташуу туссан гэрлийн туяа хажуу талаар нэвтэрч гарах боломжит өнцгийн хязгаарын өнцгийг тооцоолно уу.

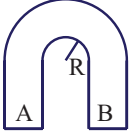


7. $f = 20\text{см}$ фокуын зайтай хотгор толинд үүсэх тууш абerraци нь фокусын урт зай f -ийн 2% -иас ихгүй байх биеийн хамгийн их өндрийг ол. Бие толиноос хязгааргүй хол байрлана.

8. $R_1 = R_2 = 8\text{см}$ мурийлтын радиустай гүдгэр линзний хугарлын илтгэгчийг тодорхойлоход улаан (760нм) өнгийн гэрэлд $n_{\text{ул}} = 1.5$ ба нил ягаан (430нм) өнгийн гэрэлд ба $n_{\text{ул}} = 1.8$ байв. Линзний уртааш хроматик абerraцийг ол.



9. Тэгш өнцөгт хөндлөн огтлолтой шилэн савааг зурагт үзүүлсэн хэлбэртэй нугалав. Гэрлийн параллель туяа А хавтгай гадаргууд перпендикуляр тусна. А гадаргуугаас шилэнд орж буй бүх гэрэл В гадаргуугаар шилнээс гарах R/d харьцааны хамгийн бага утгыг тодорхойлно уу. Шилний хугарлын илтгэгч нь 1.5.



10. Микроскоп нь $f_1 = 2\text{мм}$ фокусын зайтай объектив, $f_2 = 40\text{мм}$ фокусын зайтай окуляр линзнээс тогтоно. Линзнүүдийн хоорондын зай $d = 18\text{см}$ бол микроскопийн өсгөлтийг ол. Х600 өсгөлттэй болгохын тулд окуляр линзийг хэр зайнд шилжүүлэх вэ?



Семинар 5

Долгион оптик

5.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Орчинд гэрлийн тарах хурд:

$$v = \frac{c}{n} \quad (5.1)$$

Үүнд: c – вакуум дахь гэрлийн хурд, n – орчны хугарлын абсолют илтгэгч.

Гэрлийн интерференц Интерференцийн зурвасын өргөн:

$$\Delta y = \frac{L}{d} \lambda \quad (5.2)$$

Үүнд: L – дэлгэцээс үүсгүүр хүртэлх зай, d – когерент гэрэл үүсгүүрүүдийн хоорондох зай, λ – гэрлийн долгионы урт

Туяаны оптик замын урт:

$$\delta = n \cdot l \quad (5.3)$$

Үүнд: n – орчны хугарлын абсолют илтгэгч, l – гэрлийн замын геометр урт.

Хоёр хэлбэлзлийн фазын ялгавар $\Delta\varphi$ ба оптик замын ялгаа δ хоёрын хоорондох хамаарал:

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot \frac{\delta}{\lambda} \quad (5.4)$$

Интерференцийн максимум үүсэх нөхцөл:

$$\delta = k \cdot \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.5)$$

буюу $\Delta\varphi = 2k \cdot \pi$

Интерференцийн минимум үүсэх нөхцөл:

$$\delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.6)$$

буюу $\Delta\varphi = (2k + 1) \cdot \pi$

Хэрэв интерференц нь нимгэн ялтсыг нэвтрэх гэрэлд ажиглагдаж байвал интерференцийн максимум үүсэх нөхцөл:

$$2dn \cdot \cos \beta = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.7)$$

Интерференцийн минимум үүсэх нөхцөл:

$$2dn \cdot \cos \beta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.8)$$



Үүнд: d –ялтсын зузаан, n –түүний хугарлын илтгэгч, λ –гэрлийн долгионы урт, β – хугарах өнцөг.

Харин интерференцийн зурвасууд ялтсаас ойх гэрэлд ажиглагдаж байвал интерференцийн максимум, минимумын нөхцөл дээрхийн эсрэг байна. Ойсон гэрэлд ажиглагдах Ньютоны гэрэлт (эсвэл нэвтрэх гэрэл дэх бараан) цагиргийн радиус:

$$r_k = \sqrt{(2k + 1) \cdot R \cdot \frac{\lambda}{2}} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.9)$$

Ойсон гэрэлд ажиглагдах Ньютоны бараан (эсвэл нэвтрэх гэрэл ажиглагдах гэрэлт) цагиргийн радиус:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.10)$$

Үүнд: k –цагиргийн дугаар, R –линзийн муруйлтын радиус, λ –гэрлийн долгионы урт. **Гэрлийн дифракц** Нэг өнгө гэрлийн параллель туяанууд нарийн завсар дээр тусахад үүсэх дифракцын хувьд:

а) Дэлгэц дээр дифракцын минимум ажиглагдах нөхцөл:

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.11)$$

Үүнд: a –завсрын өргөн, φ –завсрын хавтгайн нормалиас туяануудын хазайх өнцөг, k –дифракцын минимум эрэмбэ

б) Дифракцын максимум ажиглагдах нөхцөл:

$$a \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.12)$$

Дифракцын торонд гэрлийн максимум ажиглагдах нөхцөл:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5.13)$$

Үүнд: k –дифракцын максимумын эрэмбэ, $d = a + b$ –торын тогтмол, φ -торын гадаргын нормаль ба дифракцлагч туяаны хоорондох өнцөг. Дифракцын торын тогтмол ба торын ялгаж чадвар:

$$d = \frac{1}{N_0} \quad R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = kN \quad (5.14)$$

Үүнд: N_0 –торын нэгж уртад ноогдох завсрын тоо, $\Delta \lambda$ –торын ялгаж чадах хөрш хоёр спектрын шугамын долгионы урт ялгавар, N –торын нийт завсрын тоо, k –нь спектрын дугаар

Дифракцын торын өнцгөн дисперс:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (5.15)$$

Гэрлийн туйлшрал Брюстериин хууль:

$$\operatorname{tg} i_B = n \quad (5.16)$$

Үүнд: i_B –хоёр орчны зааг гадарга дээр гэрэл тусах тусгалын өнцөг (буюу Брюстериин өнцөг).

Малюсын хууль:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (5.17)$$



Үүнд: φ – туйлшруулагч ба шинжлэгчийн гол хавтгайн хоорондох өнцөг, I_0, I – шинжлэгчид тусч байгаа ба шинжлэгчийг нэвтрэх гэрлийн эрчим
Туйлшралын хавтгайн эргэх өнцөг:

$$\varphi = \alpha \cdot l \quad (5.18)$$

Үүнд: α – эргүүлэх тогтмол, l – гэрэл нэвтрэх оптик идэвхит бодисын зузаан
Гэрлийн туйлшралын зэрэг:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (5.19)$$

Френелийн томьёо:

$$I_{\perp} = 0.5 \cdot I_0 \cdot \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \quad I_{\parallel} = 0.5 \cdot I_0 \cdot \frac{\text{tg}^2(\alpha - \beta)}{\text{tg}^2(\alpha + \beta)} \quad (5.20)$$

Үүнд: I_{\perp} – нь диэлектрикээс ойсон гэрлийн эрчмийн тусгалын хавтгайд перпендикуляр ба параллель байгуулагчид, I_0 – тусаж байгаа гэрлийн эрчим, α – гэрэл тусах өнцөг, β – хугарах өнцөг

Гэрлийн дисперс Фазын хурд v ба бүлгийн хурд u :

$$v = \frac{\omega}{k} \quad u = \frac{d\omega}{dk} \quad (5.21)$$

Фазын ба бүлгийн хурдны холбоо (Релейн томьёо):

$$u = v - \lambda \cdot \frac{dv}{d\lambda} \quad (5.22)$$

Гэрэл сулрах хууль:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (5.23)$$

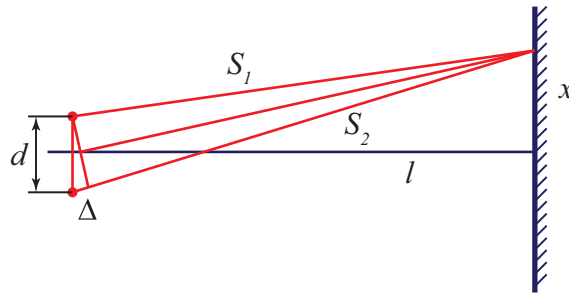
Үүнд: μ – сулралын шугамын илтгэгч, d – гэрэл нэвтрэх орчны зузаан

5.2 Жишээ бодлого

Жишээ 5.1

Юнгийн туршлагын завсруудын хоорондын зай $d = 1\text{мм}$, завсраас дэлгэц хүртэлх зай 3м болно. Хэрэв завсрыг $\lambda=0.5\text{мкм}$ долгионы урттай монохроматик гэрлээр гэрэлтүүлсэн бол 1-р гэрэлтэй зурвас болон 3-р харанхуй зурвасын байрлалыг олно уу.

Бодолт:



Зураг 5.1

$$\Delta = s_2 - s_1, \quad \Delta = \frac{xd}{l}$$

максимум:

$$\frac{xd}{l} = \pm \lambda m, \quad x_{max} = \pm m \frac{l}{d} \lambda, \quad x_{1max} = \pm \frac{l}{d} \lambda, \quad (m=1)$$

минимум:

$$\frac{xd}{l} = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad x_{min} = \pm (m + \frac{1}{2}) \frac{l}{d} \lambda$$

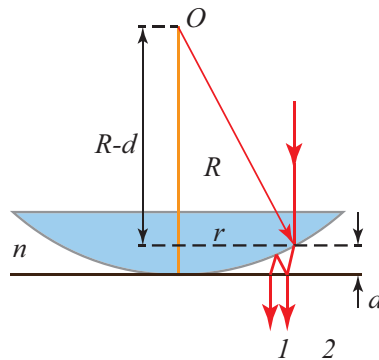
$$x_{3min} = \pm (3 + \frac{1}{2}) \frac{l}{d} \lambda$$

$$x_{1max} = \pm \frac{l}{d} \lambda = \pm 1.5\text{мм}, \quad x_{3min} = \pm 5.25\text{мм}$$

Жишээ 5.2

Ньютоны цагирагийг ажиглах төхөөрөмжийг $\lambda=0.6\text{мкм}$ долгионы урттай монохроматик гэрлийг нормалиар тусгаж гэрэлтүүлэв. Линз ба шилэн ялтасны хоорондох зайг шингэнээр дүүргэсэн бөгөөд линзний муруйлтын радиус $R=4\text{м}$ болно. Нэвтэрсэн гэрлийн интерференцийн хоёрдугаар гэрэлтэй цагирагийн радиус $r=1.8\text{мм}$ бол шингэний хугарлын илтгэгчийг тодорхойлно уу.

Бодолт:



Зураг 5.2

$$r = \sqrt{R^2 - (R - d)^2} \approx \sqrt{2Rd}$$

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad \Delta = 2dn \quad n = \frac{\Delta}{2d}$$

максимум: $\Delta = m\lambda$

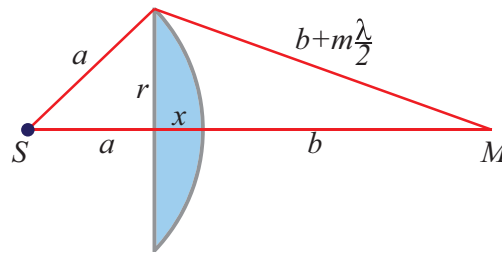
$$2dn = m\lambda$$

$$n = \frac{m\lambda}{2d} = \frac{m\lambda \cdot 2R}{2r^2} = \frac{m\lambda R}{r^2} = 1.48$$

Жишээ 5.3

$\lambda=0.5\text{мкм}$ гэрлийн цэгэн үүсгүүр $d=2\text{мм}$ диаметртэй дугуй нүхтэй диафрагмаас $a=1\text{м}$ зайд оршино. Хэрэв нүхэнд Френелийн 3 бүсэд багтаж байгаа бол диафрагмаас ажиглалтын цэг хүртэлх зайг олоорой.

Бодолт:



Зураг 5.3

$$\lambda \ll a, \quad \lambda \ll b, \quad x \ll a$$

үед

$$\left(1 \pm \frac{x}{a}\right)^2 \approx 1 \pm 2\frac{x}{a}$$

ойролцооллыг ашиглая.

$$r^2 = a^2 - (a - x)^2$$

$$r^2 = (b + m\frac{\lambda}{2})^2 - (b + x)^2, \quad x = \frac{bm\lambda}{2(a + b)}$$

$$r^2 = \frac{ab}{a + b}m\lambda - \frac{b^2}{4(a + b)^2}m^2\lambda^2$$

$\frac{b^2}{4(a+b)^2}m^2\lambda^2$ -маш бага тул орхийё.

$$r^2 = \frac{ab}{a + b}m\lambda, \quad b = \frac{ar^2}{am\lambda - r^2}$$

$$r = \frac{d}{2}b = \frac{ad^2}{4am\lambda - d^2} = 2\text{м}$$

Жишээ 5.4

Хэрэв туйлширсан гэрлийн эрчим нь байгалийн гэрлийн эрчимтэй тэнцүү бол байгалийн гэрэл хавтгай туйлширсан гэрэлтэй холилдсон гэрлийн туйлшралын зэргийг олно уу.

Бодолт:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

$$I_{max} = I_{туйл} + \frac{1}{2}I_{бай} = I_{туйл} + \frac{1}{2}I_{туйл} = \frac{3}{2}I_{туйл}$$

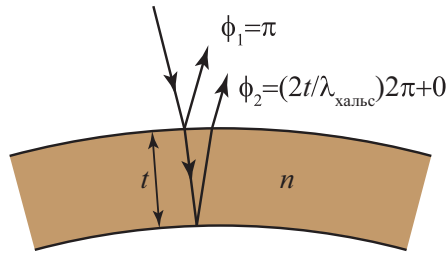
$$I_{min} = \frac{1}{2}I_{бай} = \frac{1}{2}I_{туйл}$$

$$P = \frac{\frac{3}{2}I_{туйл} - \frac{1}{2}I_{туйл}}{\frac{3}{2}I_{туйл} + \frac{1}{2}I_{туйл}} = \frac{I_{туйл}}{2I_{туйл}} = 0.5$$

Жишээ 5.5

Хэрэв $t=120\text{нм}$ зузаантай савангийн хөөсийг ердийн цагаан гэрлээр гэрэлтүүлж байгаа бол ойсон гэрлийн долгионы уртыг тодорхойлно уу. Хөөсний хугарлын илтгэгч нь 1.34 болно.

Бодолт: Фазын ялгаа 2π .



Зураг 5.4

Дээд гадаргаас ойж байгаа гэрлийн долгионы фазын өөрчлөлт $\phi = \pi$ болно. Доод гадаргаас ойсон гэрэл нэмэлт замын уртаас шалтгаалан фазаа өөрчилнө. Харин ойлтын фаз өөрчлөгдөхгүй.

$$\phi_2 = \left(\frac{2t \cdot n}{\lambda}\right)2\pi + 0$$

Интерференцийн нийлбэр фазын өөрчлөлт

$$\phi_2 = \left(\frac{2t \cdot n}{\lambda}\right)2\pi - \pi = m2\pi, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

эсвэл

$$t = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{n} \cdot \left(m + \frac{1}{2}\right), \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Ойсон долгионы урт нь

$$\lambda = \frac{2nt}{m + \frac{1}{2}} = \frac{4 \cdot 1.34 \cdot 120\text{нм}}{2m + 1} = \frac{643\text{нм}}{2m + 1}$$

$m=0$ үед үзэгдэх гэрлийн долгионы урт харгалзана.

$$\lambda = \frac{643\text{нм}}{0 + 1}$$

Иймд улбар шар+улаан гэрэл ойно.



5.3 Шинжлэх даалгавар

1. Хурц нартай үед хар өнгийн шил зүүдгийн учрыг тайлбарлана уу?
2. Улаан, цэнхэр, ногоон өнгийн гэрлүүдийн аль нь их давтамжтай вэ?
3. Нэг цэг дээр уулзаж буй когерент хоёр долгионы фазын ялгавар нь 5π бол интерференцийн максимум, минимумын аль нь үүсэх вэ?
4. Интерференцийн зурвасын өргөн гэж юу вэ?
5. Улаан, ногоон шар гэрлийн аль нь бага долгионы урттай вэ?
6. Орчинд гэрэл тарах хурд орчны хугарлын илтгэгчээс хэрхэн хамаарах вэ?
7. Улаан, ногоон, шар өнгийн гэрлийн аль нь шилэнд их хурдтай тарах вэ?
8. Гэрлийн долгионы далайцыг 2 дахин нэмэгдүүлэхэд энергийн урсгал нь хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?
9. Улаан ба шар өнгийн гэрлийн хоёр долгион тодорхой нөхцөл бүрдсэн үед интерференцэлж болох уу?
10. Усан дээрх савангийн хөөсний солонгорсон өнгө нь ямар үзэгдлийн үр дүн бэ?
11. Бодисын абсолют хугарлын илтгэгч гэж юу вэ?
12. Ньютоны цагариг интерференцийн аль төрөлд хамаарах вэ?
13. Солонго үүсэх үзэгдлийн физик үндсийг тайлбарлана уу?
14. Гэрлийн долгион замдаа тохиолдсон долгионы урттайгаа жишихүйц саадыг тойрон гарах үзэгдлийг юу гэж нэрлэдэг вэ?
15. Дифракцын үзэгдлийг тайлбарласан Гюйгенсийн зарчмын дутагдалтай талыг тайлбарлана уу?
16. Дифракцын торын тогтмол гэж юу вэ?
17. Монохроматик бус долгионууд тунгалаг орчинд өөр өөр хурдтай тарах нь ямар үзэгдэл вэ?
18. Вульф-Бреггийн томьёог тайлбарлана уу?
19. Тусаж буй гэрлийн долгионы урт ихсэхэд тухайн бодисын хугарлын илтгэгч багасаж байвал дисперсийн аль төрөлд хамаарах вэ?
20. Аномаль дисперсийн үзэгдлийг тайлбарлана уу?
21. Аномаль дисперсийн үед долгионы урт нь хугарлын илтгэгчээс ямар хамааралтай байх вэ?
22. Байгалийн ба туйлширсан гэрлийн ялгааг тайлбарлана уу?
23. Шинжлэгч гэж юу вэ?
24. Дугуй туйлширсан гэрлийн туйлшралын зэргийг тооцоолно уу?



25. Туйлшруулагч ба шинжлэгчийн гол хавтгайнуудын хоорондох өнцөг ямар үед нэвтэрсэн гэрлийн эрчим тэг байх вэ?
26. Туйлшруулагч ба шинжлэгчийн гол хавтгайнууд ямар өнцгөөр байрласан тохиолдолд нэвтэрсэн гэрлийн эрчим хамгийн их байх вэ?
27. Нэрмэл усан дундуур нэвтэрч буй туйлширсан гэрлийн туйлшралын хавтгай эргэх үү?
28. Сахарын уусмал дундуур нэвтэрч буй туйлширсан гэрлийн туйлшралын хавтгай эргэх үү?
29. Туйлшруулагч ба шинжлэгчийн гол хавтгайнууд 45 градус өнцгөөр байрласан тохиолдолд нэвтэрсэн гэрлийн эрчим ямар болох вэ?
30. Стерео кинонд дүрсийг 3 хэмжээст орон зайд буй мэт харуулахын тулд физикийн ямар үзэгдлийг ашигладаг вэ?



5.4 Тооцоот даалгавар

1. $n = 2$ хугарлын илтгэгч бүхий шилэн ялтас дээр 500нм урттай гэрлийн долгион тусав. Хугарсан өнцгийн косинус 0.5 бол нэвтэрсэн гэрэл харагдахгүй байх ялтасны хамгийн бага зузааныг олно уу?
2. Туссан гэрлийн долгионы урт 0.8мкм нүхнүүдийн хоорондох зай 2мм нүхнээс дэлгэц хүртэлх зай 4м бол Юнгийн туршилтаар үүссэн интерференцийн зурвасын өргөнийг ол.
3. Юнгийн туршилтад ногоон гэрлийг ($\lambda = 5 \cdot 10^{-5}\text{м}$), улаан гэрлээр соливол ($\lambda = 6.5 \cdot 10^{-5}\text{см}$) интерференцийн зурвасын өргөн хэд дахин ихсэх вэ?
4. Френелийн өгөгдсөн хоёр бүсийн хооронд 3 ширхэг бүс байна. энэ 2 бүсээс очих долгионуудын оптик замын ялгаа ямар байх вэ?
5. Хэрэв заримдаг туйлширсан гэрлийн хамгийн их эрчимд харгалзах гэрлийн векторын амплитуд нь хамгийн бага эрчимд харгалзах амплитудаас 3 дахин их бол туйлшралын зэргийг олно уу?
6. Туйлшруулагч ба шинжлэгчийн хавтгайнуудын хоорондох өнцөг 45° бол тэдгээрийг нэвтэрсэн гэрлийн эрчим яаж өөрчлөгдөх вэ?
7. $b = 200\text{нм}$ өргөн завсартай дифракцын тор дээр 400нм урттай хавтгай гэрлийн долгион нормалийн дагуу тусав. 1 -р эрэмбийн минимум харагдах өнцгийг олно уу?
8. Хавтгай шилэн ялтас дээр байрлах 8.6м муруйлтын радиустай хавтгай гүдгэр линзэнд нэг өнгийн гэрэл нормалиар тусахад ажиглагдах Ньютоны 4 -р бүдэг цагаригийн диаметр 9мм бол туссан гэрлийн долгионы уртыг олно уу?
9. Дифракцын тор дээр туссан 640нм урттай гэрлийн долгионы 3 -р эрэмбийн максимум 480нм урттай гэрлийн долгионы хэддүгээр эрэмбийн максимумтай давхацах вэ?
10. Сахарын уусмалын концентрац 4% үед уусмалаар нэвтрэх гэрлийн туйлшралын хавтгай 10° эргэж байгаа бол уусмалын концентрац 8% болоход туйлшралын хавтгайн эргэх өнцгийг олно уу?
11. $n = 1$ хугарлын илтгэгч бүхий шилэн ялтас дээр 600нм урттай гэрлийн долгион тусав. Нэвтэрсэн гэрэл харагдахгүй байх хамгийн бага зузаан нь 150нм бол хугарсан өнцгийн косинусыг олно уу?
12. Туссан гэрлийн долгионы урт 0.6мкм нүхнүүдийн хоорондох зай 2мм нүхнээс дэлгэц хүртэлх зай 3м бол Юнгийн туршилтаар үүссэн интерференцийн зурвасын өргөнийг олно уу?
13. Юнгийн туршилтад ногоон гэрлийг ($\lambda = 5 \cdot 10^{-5}\text{см}$), өөр өнгийн гэрлээр солиход интерференцийн зурвасын өргөн 1.3 дахин ихэссэн бол ямар өнгийн гэрлээр сольсон бэ?
14. Френелийн тухайн хоёр бүсийн хооронд 6 ширхэг бүс багтав. Ажиглаж буй энэ 2 бүсээс очих долгионуудын оптик замын ялгаа ямар байх вэ?



15. Заримдаг туйлширсан гэрэл эргэлдэж буй шинжлэгчээр нэвтрэв. Нэвтэрсэн гэрлийн хамгийн их эрчим нь хамгийн бага эрчмээс 4 дахин их бол туйлшралын зэргийг олно уу?
16. Хэрэв хамгийн их эрчимд харгалзах гэрлийн векторын амплитуд нь хамгийн бага эрчимд харгалзах амплитудаас 4 дахин их бол заримдаг туйлширсан гэрлийн туйлшралын зэргийг олно уу?
17. $b = 200\text{нм}$ өргөн завсартай дифракцын тор дээр 400нм урттай хавтгай гэрлийн долгион нормалийн дагуу тусав. 1-р эрэмбийн минимум харагдах өнцгийг олно уу?
18. Хавтгай шилэн ялтас дээр байрлах 2м муруйлтын радиустай хавтгай гүдгэр линзэд 500нм долгионы урттай гэрэл нормалиар тусахад ажиглагдах Ньютоны 3-р гэрэлт цагаригийн радиусыг олно уу?
19. Дифракцын тор дээр туссан λ_1 урттай долгионы урттай 2-р эрэмбийн максимум нь $\lambda_2 = 480\text{нм}$ урттай гэрлийн долгионы спектрийн 3-р эрэмбийн максимумтай давхцаж байгаа бол λ_1 -ийг олно уу?
20. Сахарын уусмалын концентрац 6% үед уусмалаар нэвтрэх гэрлийн туйлшралын хавтгай 9° эргэж байгаа бол уусмалын концентрац 4% болоход туйлшралын хавтгайн эргэх өнцгийг олно уу?
21. Хугарсан өнцгийн косинус нь 1 байх орчинд 600нм урттай гэрлийн долгион тусав. Нэвтэрсэн гэрэл харагдах байх хамгийн бага зузаан нь 200нм бол орчны хугарлын илтгэгчийг олно уу?
22. Туссан гэрлийн долгионы урт 0.8мкм , нүхнүүдийн хоорондох зай 2мм , нүхнээс дэлгэц хүртэлх зай 4м бол Юнгийн туршилтаар үүссэн интерференцийн зурвасын өргөнийг ол.
23. Заримдаг туйлширсан гэрэл эргэлдэж буй шинжлэгчээр нэвтрэв. Нэвтэрсэн гэрлийн хамгийн их эрчим нь хамгийн бага эрчмээс 3 дахин их бол туйлшралын зэргийг олно уу?
24. $b = 0.01\text{мм}$ өргөнтэй завсар дээр 500нм урттай хавтгай долгион нормаль тусав. ϕ өнцөг дифракцын хэддүгээр эрэмбийн минимумд харгалзах вэ? $\sin \phi = 0.225$ болно.
25. Туйлшруулагч ба шинжлэгчийн гол хавтгайнуудын хоорондох өнцөг 90° бол уг шинжлэгчээр нэвтрэн гарсан гэрлийн эрчим хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
26. Френелийн 2 ба 5-р бүсээс ажиглаж буй цэг дээр ирэх долгионуудын оптик замын ялгаа ямар байх вэ?
27. Заримдаг туйлширсан гэрлийн максимум ба минимум эрчмийн харьцаа 2 бол туйлшралын зэрэг нь хэд вэ?
28. Туйлшруулагч ба шинжлэгчийн ол хавтгайнуудын хоорондох өнцөг 60° бол уг шинжлэгчээр нэвтрэхдээ гэрлийн эрчим хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
29. Хавтгай шилэн ялтас дээр байрлах 12м муруйлтын радиустай хавтгай гүдгэр линзэд нэг өнгийн гэрэл нормалиар тусахад ажиглагдах Ньютоны 5-р гэрэлтэй цагаригийн диаметр 9мм бол туссан гэрлийн долгионы уртыг олно уу?



30. Сахарын уусмалын концентрац 3% үед уусмалаар нэвтрэх туйлширсан гэрлийн туйлшралын хавтгай 10° эргэж байгаа бол уусмалын концентрац 9% болоход туйлшралын хавтгайн эргэх өнцгийг олно уу?



5.5 Тест

- $n = 1.8$ хугарлын илтгэгч бүхий шилэн ялтас дээр 540нм урттай гэрлийн долгион тусав. Хугарсан өнцгийн косинус 0.3 бол нэвтэрсэн гэрэл харагдахгүй байх хамгийн бага зузааныг ол.
А. $d = 250\text{нм}$ В. $d = 350\text{нм}$
С. $d = 450\text{нм}$ D. $d = 550\text{нм}$
- Дифракцийн торон дээр туссан λ_1 урттай долгионы 2-р эрэмбийн максимум нь $\lambda_2 = 400\text{нм}$ урттай гэрлийн долгионы спектрийн 3-р эрэмбийн максимумтай давхцаж байгаа бол λ_1 -г ол.
А. $\lambda_1 = 400\text{нм}$ В. $\lambda_1 = 500\text{нм}$
С. $\lambda_1 = 550\text{нм}$ D. $\lambda_1 = 600\text{нм}$
- Туйлшруулагч ба шинжээчийг байгалийн гэрэл нэвтрэхгүй бол тэдгээрийн туйлшруулагч хавтгайнуудын хоорондох өнцгийг ол.
А. $\phi = 90^\circ$ В. $\phi = 60^\circ$
С. $\phi = 30^\circ$ D. $\phi = 45^\circ$
- Хавтгай туйлширсан гэрлийн туйлширлын зэрэг хэд вэ?
А. 1 В. 0
С. 2 D. 4
- $b = 0.05\text{мм}$ өргөн завсартай дифракцын тор дээр $\lambda = 750\text{нм}$ урттай хавтгай гэрлийн долгион нормаль тусав. 1-р эрэмбийн минимум харагдах өнцгийг ол.
А. $\phi = 0.86^\circ$ В. $\phi = 0.76^\circ$
С. $\phi = 0.56^\circ$ D. $\phi = 0.26^\circ$
- Нимгэн ялтас дээр $\lambda = 510\text{нм}$ урттай долгион туссан. Хугарсан өнцгийн косинус 0.15 ба энэ ялтасны зузаан 500нм бөгөөд энэ нь ойсон гэрлийн 1-р эрэмбийн максимумд харгалзана. Шилний хугарлын илтгэгчийг ол.
А. $n = 1.7$ В. $n = 1.5$
С. $n = 1.3$ D. $n = 1.4$



7. Дифракцийн торон дээр туссан 750нм урттай гэрлийн долгионы 3 –р эрэмбийн максимум 450нм урттай гэрлийн долгионы хэддүгээр эрэмбийн максимумтай давхцах вэ?
А. 5 В. 7
С. 6 D. 3
8. Туйлшралын хавтгайнуудын хоорондох өнцөг нь 60° байх туйлшруулагч ба шинжээчийг нэвтрэх байгалийн гэрлийн эрчим хэд дахин буурах вэ?
А. 8 В. 7
С. 6 D. 3
9. Дугуй туйлширсан гэрлийн туйлширлын зэрэг хэд вэ?
А. 0 В. 1
С. 3 D. $1/8$
10. $d = 0.01\text{мм}$ үетэй дифракцын тор дээр $\lambda = 450\text{нм}$ урттай хавтгай гэрлийн долгион нормаль тусав. $\phi = 2.6^\circ$ өнцгөөр харагдах масимумын эрэмбийг ол.
А. $m = 1$ В. $m = 2$
С. $m = 3$ D. $m = 4$
11. $n = 1.5$ хугарлын илтгэгч бүхий 250нм зузаантай нимгэн ялтас дээр $\lambda = 600\text{нм}$ урттай гэрлийн долгион тусахад ойсон гэрэл нь 1 –р эрэмбийн максимумд харгалзах бол хугарсан өнцгийн косинусыг ол.
А. 0.6 В. 0.4
С. 0.5 D. 0.7
12. Дифракцийн торон дээр туссан λ_1 урттай долгионы 3 –р эрэмбийн максимум нь $\lambda_2 = 540\text{нм}$ урттай гэрлийн долгионы спектрийн 4 –р эрэмбийн максимумтай давхцаж байгаа бол λ_1 –г ол.
А. $\lambda_1 = 580\text{нм}$ В. $\lambda_1 = 500\text{нм}$
С. $\lambda_1 = 720\text{нм}$ D. $\lambda_1 = 550\text{нм}$



13. Туйлшруулагч ба шинжээчийг нэвтэрсэн байгалийн гэрлийн эрчим 4 дахин буурсан бол тэдгээрийн туйлшруулагч хавтгайнуудын хоорондох өнцгийг ол.
- A. $\phi = 45^\circ$ B. $\phi = 60^\circ$
C. $\phi = 30^\circ$ D. $\phi = 90^\circ$
14. Заримдаг туйлширсан гэрлийн максимум ба минимум эрчмийн харьцаа 2 бол туйлшралын зэрэг хэд вэ?
- A. 1/3 B. 1/2
C. 1/4 D. 1/8
15. $b = 0.04\text{мм}$ өргөн завсар бүхий дифракцын тор дээр $\lambda = 700\text{нм}$ урттай хавтгай гэрлийн долгион тусав. 2 –р эрэмбийн минимум харагдах өнцгийг ол.
- A. $\phi = 2^\circ$ B. $\phi = 6^\circ$
C. $\phi = 3^\circ$ D. $\phi = 4^\circ$
16. $\lambda = 750\text{нм}$ урттай улаан гэрэл нимгэн шилэн ялтас дээр тусав. Ойсон гэрэл харагдах шилэн ялтасны хамгийн бага зузааныг ол. Хугарсан өнцгийн косинус 0.5. Шилний хугарлын илтгэгч 1.5.
- A. 250нм B. 350нм
C. 450нм D. 550нм
17. Дифракцийн торон дээр туссан λ_1 урттай долгионы 2 –р эрэмбийн максимум нь $\lambda_2 = 480\text{нм}$ урттай гэрлийн долгионы спектрийн 3 –р эрэмбийн максимумтай давхцаж байгаа бол λ_1 –г ол.
- A. $\lambda_1 = 720\text{нм}$ B. $\lambda_1 = 320\text{нм}$
C. $\lambda_1 = 420\text{нм}$ D. $\lambda_1 = 520\text{нм}$
18. Туйлшралын хавтгайнуудын хоорондох өнцөг нь 30° байх туйлшруулагч ба шинжээчийг нэвтрэх байгалийн гэрлийн эрчим хэд дахин буурах вэ?
- A. 8/3 B. 1/2
C. 1/4 D. 1/8

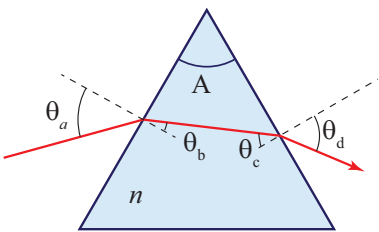
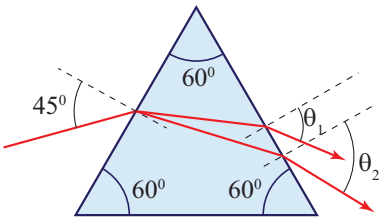


19. Заримдаг туйлширсан гэрлийн максимум ба минимум эрчмийн харьцаа 3 бол туйлшралын зэрэг хэд вэ?
- A. $1/2$ B. $1/3$
C. $1/4$ D. $1/8$
20. Дифракцын тор дээр $\lambda = 500\text{нм}$ урттай хавтгай гэрлийн долгион нормаль тусав. 2-р эрэмбийн максимум харагдах өнцөг $\phi = 2.9^\circ$ бол торын үеийг ол.
- A. $d = 0.02\text{мм}$ B. $d = 0.03\text{нм}$
C. $d = 0.04\text{нм}$ D. $d = 0.05\text{нм}$

5.6 Бие даалтын бодлого

1. Агаар дахь долгионы урт нь 480нм байх гэрэл хоорондоо $6 \cdot 10^{-2}\text{мм}$ зайтай 2 нарийн завсар бүхий ялтас дээр тусав. Ялтас нь усанд дүрээстэй бөгөөд түүнээс 40см зайд интерференцийг ажиглах дэлгэц байрлана. Дэлгэц дээрх интерференцийн зурвасуудын хоорондох зайг олно уу?

2. $\lambda_1 = 450\text{нм}$, $\lambda_2 = 650\text{нм}$ урттай 2 өөр өнгийн гэрлийг агуулсан гэрлийн параллель цацраг адил хажуут гурвалжин призм дээр тусав. Цацрагууд призмийг нэвтрэн гарах (гадаргын нормальтай үүсгэх) өнцгийг олно уу? Призмийг цэвэр цахиурын ислээр хийсэн бөгөөд хугарлын илтгэгч нь 450нм урттай гэрлийн хувьд 1.4656 , харин 650нм урттай гэрлийн хувьд 1.4565 болно.

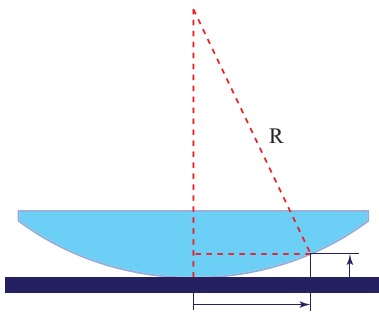
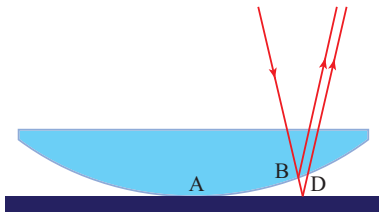




3. 520нм долгионы урттай гэрэл $3.2 \cdot 10^{-3}$ мм өргөнтэй завсар дээр тусав. Завсраас дэлгэц хүртэлх зай 10м бол дифракцын 1-р гэрэлтэй зурвас төвийн максимаасаа ямар зайд үүсэх вэ?

4. Спектрометр хэрэглэгддэг дифракцын торыг тохируулахдаа $\lambda = 6.328 \cdot 10^{-7}$ м долгионы урттай дан өнгийн гаралт бүхий He-Ne лазерыг ашигладаг. Нэгдүгээр эрэмбийн дифракцын максимум туссан туяатай 21.5° өнцөг үүсгэсэн бол дифракцын торын тогтмолыг (нэг метрт гаргасан зураасын тоо) олно уу?

5. Ньютоны цагираг ажиглах төхөөрөмжийг шингэнд дүрэхэд 8-р бараан цагирагийн диаметр 2.92см-аас 2.48см болж багассан бол шингэний хугарлын илтгэгчийг тодорхойлно уу

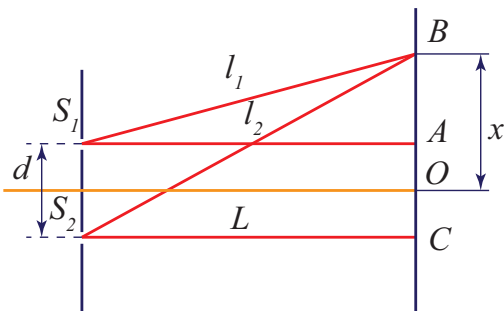


6. Туйлшралын тэнхлэг нь хоорондоо 38° үүсгэн байрлах хоёр туйлшруулагч дээр хавтгай туйлширсан гэрэл тусав. Гэрлийн туйлшралын хавтгай нь туйлшруулагч бүртэй 19° өнцөг үүсгэж байсан бол нэвтэрсэн гэрлийн эрчим нь хэдэн хувь буурсан бэ?



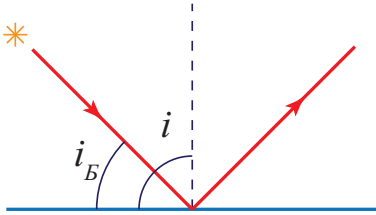
7. Торын тогтмол нь 2мкм дифракцын тороор гэрлийн спектрийг гарган авахад 2-р эрэмбийн максимум нь төвөөсөө 5см зайд, тороос 1м зайд үүссэн. Гэрлийн долгионы уртыг тодорхойлно уу?

8. Юнгийн туршлагын төхөөрөмжийн S_1 ба S_2 завсрын хоорондох зай d , завсраас дэлгэц хүртэлх зай L ($d \ll L$) болно. Интерференцийн 1-р максимумын зай x -г тодорхойлно уу?





9. Нар хэвтээ чигт ямар $i_б$ өнцөг үүсгэн тусвал нуурын гадаргаас ойсон гэрэл хамгийн ихээр туйлшрах вэ?



10. $\lambda_1 = 600\text{нм}$ долгионы урт бүхий дан өнгийн гэрлийн цэгэн үүсгүүрээс l зайд дифракцын зургийг ажиглаж байв. Үүсгэгчээс $a = 0.5l$ зайд байрлуулсан гэрэл үл нэвтрэх $D = 1\text{см}$ диаметртэй дугуй саад зөвхөн Френелийн төвийн бүсийг хааж байгаа бол l зайг олно уу?



Семинар 6

Квант оптик, Фотоэффект

6.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Гэрлийн квант: Фотоны (гэрлийн квантын) энерги ε , фотонд харгалзах импульс p :

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = c \cdot p \quad (6.1)$$

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (6.2)$$

Энд: ν ба λ –гэрлийн давтамж ба вакуум дахь гэрлийн долгионы урт, $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{Ж} \cdot \text{с}$ – Планкийн тогтмол, $c = 300000 \text{ км/с}$ –вакуум дахь гэрлийн хурд. Фотон нь тайвны массгүй бөөм юм.

Фотоны энергид харгалзах релятив масс нь

$$\varepsilon = mc^2 \quad m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} \quad (6.3)$$

фотоэффектийн Эйнштейний тэгшитгэл

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (6.4)$$

Үүнд: A –металлаас электрон гарах ажил, m ба v_{max} нисэн гарах электроны масс ба максимум хурд. Эйнштейний тэгшитгэл дэх сугарсан электроны кинетик энерги $\frac{mv^2}{2}$ –ыг саатуулах потенциалын ялгавар U_c ба A ажлаар илэрхийлбэл:

$$h\nu = A + eU_c, \quad (6.5)$$

Энд: e –ны электроны цэнэг.

Фотоэффектийн улаан хил ($v_{max}=0$ тохиолдолд)

$$\nu_0 = \frac{A}{h}; \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A} \quad (6.6)$$

Энд: ν_0 ба λ_0 –тусгах гэрлийн давтамж ба долгионы ургын критик утга буюу улаан хил. Гадарга дээр эгц тусах гэрлийн даралт:

$$P = \frac{\Phi}{s \cdot c}(1 + \rho) \quad \text{буюу} \quad P = w(1 + \rho) \quad (6.7)$$



Үүнд: Φ – нэгж хугацаанд гадаргын нэгж талбайд тусах гэрлийн энерги буюу урсгал; ρ – гэрэл ойх коэффициент, $w = \frac{\Phi}{s \cdot c}$ – гадаргуу нэгж хугацаанд нэгж талбайд тусах фотоны нийт импульс, S гэрэл тусаж буй гадаргын талбай.

Дулаан цацрал

Стефан –Больцманы хууль: Абсолют хар биеийн бүрэн цацаргалт буюу нэгж гадаргаас 1с –д цацрах энерги нь биеийн абсолют температур T –ын дөрвөн зэрэгтэд пропорциональ байна.

$$R_{\text{э}} = \sigma T^4 \quad (6.8)$$

Үүнд: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$ –Стефан –Больцманы тогтмол, $R_{\text{э}}$ –Абсолют хар биеийн бүрэн цацаргалт.

Бор биеийн бүрэн цацаргалт:

$$R = a_{\tau} \sigma T^4 \quad (6.9)$$

Үүнд: a_{τ} –бор биеийн цацралын коэффициент, $a_{\tau} < 1$ байна.

Винийн шилжих хууль:

$$\lambda_m = b/T \quad (6.10)$$

Үүнд: λ_m –долгионы уртын спектрал цацаргалтын $r_{\nu, T}$ нягтын максимумд харгалзах долгионы урт, Винийн тогтмол $b = 2.90 \cdot 10^{-3} \text{м} \cdot \text{К}$.

Кирхгофын хууль: Биеийн спектрал цацаргалт $r_{\nu, T}$ –г түүний спектрал шингээлтийн чадвар $\alpha_{\nu, T}$ –д харьцуулсан харьцаа нь давтамж ν , абсолют температураас хамаарсан, материалаас үл хамаарах функц байна.

$$\frac{r_{\nu, T}}{\alpha_{\nu, T}} = f(\nu, T) \quad (6.11)$$

$$r_{\nu, T} = \frac{\partial R}{\partial \nu}, \quad r_{\lambda, T} = \frac{\partial R}{\partial \lambda}$$

Эдгээр нь цацаргалтын спектрал нягт юм. Абсолют хар биеийн хувьд $\alpha_{\nu, T} = 1$ болно.

Абсолют хар биеийн спектрал цацаргалтыг Релей –Джинс нар судлаад $f(\nu, T)$ функцийг олохын тулд классик статистикийн энерги чөлөөний зэргээр жигд хуваарилагдах теоремыг (чөлөөний зэрэг бүрт $kT/2$ энерги ноогдоно) ашигласан. Релей –Жинсийн томьёо.

$$f(\nu, T) = r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot kT \quad (6.12)$$

Энэ нь бага давтамжийн мужид сайн тохирч байсан боловч их давтамжийн мужид таараагүй. Үүнийг ультра ягаан сүйрэл гэнэ. Карл Вин цацаргах давтамжууд нь Больцманы хуульд захирагдана гэж үзсэн. Винийн томьёо:

$$r_{\nu} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \cdot e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (6.13)$$

Энэ нь их давтамжийн мужид сайн тохирдог.

Планкийн томьёо:

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (6.14)$$

Энэ нь бүх мужид тохирно. **Комптоны эффект:** Гэрлийн бөөмлөг чанар Комптоны үзэгдлээр тод илэрнэ. 1923 онд А.Комптон янз бүрийн бодисоос сарних рентген цацрагийг судлах явцад сарнисан цацрагт анхны λ –аас гадна λ' –урттай долгион байсан. $\Delta\lambda$ –ялгавар туссан цацрагийн чиглэл ба сарнисан цацрагийн хоорондын өнцөг θ –өөс



хамаарах ба сарниулагч бодисын шинж чанараас хамаарахгүй.
Долгионы уртын шилжилт нь:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta) = 2\frac{2\pi\hbar}{m_e c} \sin^2 \frac{\theta}{2}. \quad (6.15)$$

Энд: $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{m_e c}$ -нь Комптоны долгионы урт. $\lambda_c = 0.0243 \text{ \AA}$ байна.



6.2 Жишээ бодлого

Жишээ 6.1

Нарны цацралыг судалсан спектрийн шинжилгээгээр цацралын энергийн максимумд $\lambda = 500\text{нм}$ долгионы урт харгалздагийг батлан харуулжээ. Нарыг абсолют хар бие гэж үзээд а) Нарны энергетик гэрэлтэлт R_\odot ; б) Нарны цацруулж байгаа энергийн урсгал Φ ; в) Нарны 1с –д цацруулж байгаа бүх цахилгаан соронзон долгионоор хорогдох масс m –ыг тус тус тодорхойл.

Бодолт: а) Абсолют хар биеийн энергетик гэрэлтэл Стефан –Больцманы хуулиар илэрхийлэгдэнэ.

$$R_\odot = \sigma T^4 \quad (6.16)$$

Цацруулагч гадаргын температурыг Винийн шилжих хууль $\lambda_m = b/T$ –ээс тодорхойлъё: $T = b/\lambda_m$. Иймд

$$R_\odot = \sigma (b/\lambda_m)^4 \quad (6.17)$$

Тоон утгуудыг орлуулан үйлдлийг гүйцэтгэвэл:

$$R_\odot = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4} \left[\frac{2.90 \cdot 10^{-3} \text{м} \cdot \text{К}}{500 \cdot 10^{-9} \text{м}} \right]^4 = 64.2 \text{МВт}/\text{м}^2$$

б) Нарны цацруулж буй энергийн урсгал нь $\Phi = R_\odot \cdot S$ байх ба $S = 4\pi r^2$ –нарны гадаргын талбай, $r = 6.95 \cdot 10^8 \text{м}$ –нарны радиус. Иймд:

$$\Phi = 4\pi r^2 R_\odot \quad (6.18)$$

$$\Phi = 4\pi \cdot (6.95 \cdot 10^8 \text{м})^2 \cdot 64.2 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 3.895 \cdot 10^{26} \text{Вт}$$

в) r , R_\odot , π –ын утгуудыг 6.18 –р томъёонд тавьж бодвол:

$\Phi = 3.9 \cdot 10^{26} \text{Вт}$ Масс, энергийн холбоо $E = mc^2$. Нөгөө талаас t хугацаанд цацрах цахилгаан соронзон долгионы энерги $E = \Phi t$ байна. $\Phi t = mc^2$. Эндээс

$$\begin{aligned} m &= \Phi t / c^2 = 4 \cdot 10^{12} \text{г} = \frac{3.895 \cdot 10^{26} \text{Вт} \cdot 1\text{с}}{(3 \cdot 10^8 \text{м}/\text{с})^2} \\ &= 4.327 \cdot 10^9 \text{кг} = 4.3 \text{сая Гн} \end{aligned}$$

Жишээ 6.2

1227°C температуртай болтол халаасан 10см диаметр бүхий төмөр бөмбөг агааргүй орчинд цацралаар хөржээ. Ямар хугацааны дараа температур нь 1000К болж буурах вэ? Бөмбөгийг 0.5 гэсэн шингээлтийн коэффициенттэй бор бие гэж үзээрэй. Агаарын дулаан дамжуулалтыг тооцохгүй.

Бодолт: Температур нь маш бага dT хэмжээгээр буурахад бөмбөг

$$dQ = C m dT \quad (6.19)$$

дулаан алдана.

Энд: $m = \rho V = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ –бөмбөгийн масс.

Иймд

$$dQ = -\frac{4}{3}\pi r^3 C \rho dT \quad (6.20)$$



Нөгөө талаас Стефан –Больцманы хуулийг ашиглавал

$$dQ = a_T \sigma T^4 S dt = 4\pi r^2 a_T \sigma T^4 dt \quad (6.21)$$

Үүнд: $4\pi R^2 = S$ бөмбөрцгийн гадаргын талбай. dt нь хугацааны дифференциал, dT нь температурын дифференциал.

Тэгшитгэлүүдийн баруун талуудыг тэнцүүлэн хувьсагчаар ялгавал

$$4dt = \frac{-C\rho r}{3a_T\sigma} T^{-4} dT \quad (6.22)$$

Энэ илэрхийллийг интегралчилж t –г олбол:

$$\begin{aligned} t &= \frac{C\rho r}{9a_T\sigma} \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right) = \\ &= \frac{460 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0.05 \text{м}}{9 \cdot 0.5 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}} \cdot \left[\frac{1}{(1000\text{К})^3} - \frac{1}{(1500\text{К})^3} \right] \approx 500\text{с} \end{aligned}$$

Жишээ 6.3

Мөнгөний гадарга дээр $\lambda = 0.155\text{мкм}$ долгионы урттай хэт ягаан гэрлийн долгион тусахад гадаргаас сугаран гарах фотоэлектроны максимум хурдыг тодорхойл. Мөнгөний хувьд электрон гарах ажил $A = 4.7\text{эВ}$ болно.

Бодолт: Эйнштейний тэгшитгэлийг бичвэл:

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (6.23)$$

Фотоны энерги нь:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (6.24)$$

томъёогоор бодно. (6.24) –ыг (6.23) –д орлуулан v_{max} –ыг олбол:

$$v_{max} = \sqrt{2 \frac{hc}{\lambda} - A} \quad (6.25)$$

Энд: $m = 9.1 \cdot 10^{-31}\text{кг}$ электроны масс
(6.25) –д тоон утгуудыг орлуулан тавьж максимум хурдыг олбол:

$$v_{max} = 1.08 \cdot 10^6 \text{м/с} = 1.08 \text{Мм/с} = 1080 \text{км/с}$$

Жишээ 6.4

$\lambda = 663\text{нм}$ долгионы урттай нэг өнгийн багц гэрэл хавтгай толин гадарга дээр эгц тусна. Энергийн урсгал нь $\Phi = 0.6\text{Вт}$ болно. Энэхүү гадарга дээр гэрлийн учруулах даралтын хүч ба $t = 5\text{с}$ –ийн хугацаанд гадарга дээр тусах фотоны тоог тодорхойл.

Бодолт: S гадарга дээр дарах гэрлийн даралтын хүч:

$$F = PS \quad (6.26)$$

Гэрлийн даралтыг:

$$P = \frac{\Phi}{s \cdot c} (1 + \rho) \quad (6.27)$$



Томьёогоор бодъё. (6.27) илэрхийллийг (6.26) томьёонд орлуулбал:

$$F = \frac{ES}{c}(1 + \rho)$$

$$F = \frac{\Phi}{c}(1 + \rho) \quad (6.28)$$

Томьёо 6.28 -д тоон утгуудыг орлуулж F -ыг олно:

$$F = \frac{0.6\text{Вт}}{3 \cdot 10^8\text{м/с}}(1 + 1) = 4 \cdot 10^{-9}\text{Н}$$

Δt -хугацаанд гадарга дээр тусах фотоны тоо N -ыг

$$N = \frac{\Delta E}{\varepsilon} = \frac{\Phi \Delta t}{\varepsilon}$$

томьёогоор тодорхойлно. Энд: $\Delta E - \Delta t$ хугацаанд гадаргын хүлээн авах цацралын энерги $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$ -квантын энергийг орлуулбал: $h = 6.63 \cdot 10^{-34}\text{Ж} \cdot \text{с}$

$$N = \frac{\Phi \lambda \Delta t}{hc} = \frac{0.6\text{Вт} \cdot 6.63 \cdot 10^{-9}\text{м} \cdot 5\text{с}}{6.63 \cdot 10^{-34}\text{Ж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8\text{м/с}} = 10^9$$

5с -ийн туршид тусах фотоны тоо нь $N = 10^9$ байна.



6.3 Шинжлэх даалгавар

1. Гудамжны чийдэнгийн шар гэрэл болон радио станцын АМ¹ долгионы фотонуудын аль нь их энергитэй вэ?
2. Комптоны үзэгдэл, фотоцахилгааны үзэгдлийн ялгааг бичнэ үү.
3. Гэрэл бөөм үү, долгион уу? Тайлбарла.
4. Ногоон гэрэл болон радио станцын FM² долгионы фотонуудын аль нь их импульстэй вэ?
5. Фотоцахилгааны үзэгдэлд хаагч потенциал гэрлийн давтамжаас хамаарах уу?
6. 1 мкм-ээс бага хэмжээтэй зүйлсийг ажиглахад оптик микроскопоос илүүтэй электроны микроскоп ашиглах нь тохиромжтой байна. Яагаад?
7. Радио станцын АМ ба FM долгионы фотоны аль нь бага энергитэй вэ?
8. Фотоны импульс долгионы уртаас хэрхэн хамаардаг вэ?
9. Де-Бройлын долгионы урт бөөмийн импульсээс хэрхэн хамаардаг вэ?
10. Электрон микроскоп нь электроны ямар шинж чанар дээр үндэслэгдсэн төхөөрөмж вэ?
11. Микродолгион болон радио станцын АМ долгионы фотонуудын аль нь их импульстэй вэ?
12. Электрон бөөм үү, долгион уу? Тайлбарла.
13. Ногоон ба шар гэрлийн фотоны аль нь бага энергитэй вэ?
14. Электроны байрлалын тодорхойгүйн хэмжээ өгөгдсөн бол импульсийг нь тодорхойлж болох уу?
15. Фотоцахилгааны үзэгдэлд хаагч потенциал нь гэрлийн эрчмээс хамаарах уу?
16. Электрон микроскоп нь бусад микроскопоос ялгах чадвараараа илүү байдгийн шалтгааныг тайлбарлана уу.
17. Хугацааны тодорхой агшинд үед бөөмийн тайвны энергийг олж болох уу?
18. Хар биеийн бүрэн цацаргалт абсолют температураас хэрхэн хамаардаг вэ?
19. Ультра ягаан сүйрэл гэж юу вэ?
20. Харанхуй газар байгаа зарим зүйл харагддаггүйн шалтгааныг тайлбарла.
21. Гэрлийн давтамж өгөгдсөн бол гэрлийн фотоны энерги, импульсийг хэрхэн олох вэ?
22. Саарал биеийн шингээх чадвар ямар байх вэ?

¹Amplitude Modulation буюу далайцын модуляц

²Frequency Modulation буюу давтамжийн модуляц



23. Абсолют хар биеийн ойлгох чадвар ямар байх вэ?
24. Халуун хэмжигч чихний термометрт физикийн ямар хууль ашигладаг вэ?
25. Фотон гэж юу вэ?
26. Металлын гаралтын ажил гэж юу вэ?
27. Комптоны үзэгдэлд фотоны бөөмлөг болон долгиолог шинж чанарын алийг нь чухалчлан авч үздэг вэ?
28. Комптоны долгионы уртын хэмжээг бичнэ үү.
29. Хар биеийн цацаргалтын Релей-Жинсийн классик загварт үндсэн хоёр дутагдал байсан. Үүнийг Планк хэрхэн шийдсэн бэ?
30. Электрон ба протон нь ижил де-Бройлын долгионтой байхаар релятив бус хурдтай хөдөлнө. Хоёр бөөмийн хувьд ямар хэмжигдэхүүнүүд нь ижил байх вэ?



6.4 Тооцоот даалгавар

1. Цацаргалтаар хэмжсэн температур $T = 1.4\text{кК}$ ба биеийн жинхэнэ температур $T = 3.2\text{кК}$ бол биеийн шингээх чадварыг ол.
2. Абсолют хар биеийн бүрэн цацруулах чадвар нь $R = 250\text{кВт/м}^2$ байв. Цацаргах чадварын максимумд харгалзах долгионы уртыг ол.
3. 700 нм долгионы урттай фотоны энергийг ол.
4. Кристаллын рентген дифракцийн судалгаанд 0.5Å долгионы урттай долгион ашиглав. а) Фотон, б) электрон, в) позитроны кинетик энерги нь ямар байх вэ?
5. 37°C температуртай орчинд буй биеийн температур ямар байхад биеийн цацаргасан энерги нь түүнд шингээгдсэн энергиэс 100 дахин их байх вэ?
6. Нарны цацаргалтын спектр нь абсолют хар биетэй төстэй бөгөөд цацаргалтын максимум нь $\lambda_{max} = 0.48\text{мкм}$ долгионы уртад харгалзана. Нарны цацаргалтаар 1 секунд тутамд алдагдах массын хэмжээг ол. Нарны масс 1% - иар буурах хугацааг тооцоол.
7. ν давтамжтай гэрлийн фотоны импульсийг ол.
8. 300К температуртай, 1.2см диаметртэй зэс бөмбөлгийн агаарыг соруулсан саванд хийв. Савны хананы температурыг 0К хэмд барьж байсан бол түүний температур 2 дахин буурах хугацааг ол. Бөмбөлгийг абсолют хар биет гэж үзээрэй.
9. Абсолют хар биеийн температур $T_1 = 2900\text{К}$. Бие хөрөхөд цацаргалтын максимумд харгалзах долгионы урт $\Delta\lambda = 9\text{мкм}$ -ээр өөрчлөгдөв. Бие ямар температуртай болтол хөрсөн бэ?
10. Металл ялтас дээр 3.5 эВ энергитэй гэрэл тусахад 1.5 эВ энергитэй электронууд сугаран гарсан бол энэ металаас электрон сугарах гаралтын ажлыг ол.
11. Вакуум фотоэлемент нь зэс ба цезий электродуудаас тогтоно. Цезий электродыг 0.22мкм долгионы урттай цахилгаан соронзон долгионоор үйлчлэхэд сугарч гарсан электрон зэс электрод руу хамгийн ихдээ ямар хурдтай очих вэ? Электродуудыг дотор талд богино холбоос үүсгэсэн гэж үз.
12. $\lambda = 490\text{нм}$ долгионы урттай дан өнгийн гэрэл гадарга дээр $P = 4.9\text{мкПа}$ даралт учруулна. Нэгж хугацаанд нэгж талбайтай гадарга дээр тусах фотоны тоог ол. Гэрэл ойлтын коэффициент нь 0.25 болно.
13. Материал дээр 3 ГГц давтамжтай цахилгаан соронзон долгион тусав. Гаралтын ажил 2.3 эВ бол сугарсан электронуудын кинетик энергийн хамгийн их утгыг ол.
14. 1МэВ энергитэй фотон тайван буй электроныг мөргөөд сарнилын дүнд фотоны долгионы урт $\eta = 25\%$ -аар багассан бол электронд шилжүүлсэн энергийн хэмжээг ол.
15. $\lambda = 6\text{пм}$ долгионы урттай фотон тайван байгаа электронд перпендикулярар тусав. а) Фотон сарнилын давтамж, б) Электронд олгогдсон кинетик энергийг тус тус ол.
16. Абсолют хар биеийн долгионы урт спектр дэх цацруулах чадварын максимумд харгалзах долгионы урт 15 мкм бол энэ биеийн температурыг ол.



17. $p = 1.02 \text{ МэВ}/c$ импульстэй фотон. Энд: c -гэрлийн хурд, тайван буй электронтой мөргөлдөн сарнилын дүнд фотоны импульс $p' = 0.255 \text{ МэВ}/c$ бол фотоны сарнилын өнцгийг ол.
18. $2 \times 3 \text{ см}^2$ талбайтай харах цонх бүхий хайлах зуух 1 минутад 2040 Ж энерги цацаргасан бол хайлах зуухны температурыг ол.
19. Натрийн хувьд фотоэффектийн улаан хил 589.6 нм бол гаралтын ажлыг ол.
20. Металыг $\lambda_1 = 0.35 \text{ мкм}$ ба $\lambda_2 = 0.45 \text{ мкм}$ долгионы урттай гэрлүүдээр ээлжлэн шарахад фотоэлектроны хурдны харьцаа $\eta = 2.0$ болсон. Металлаас электрон гаргах ажлыг ол.
21. Вакуум бүхий фотоэлементийн нэг электрод нь цези нөгөө нь зэс. Хэрэв 0.22 мкм долгионы урттай цахилгаан соронзон цацрагууд цезийн электродоос зэсийн электрод руу чиглэн ниссэн бол фотоэлектроны хамгийн их хурдыг тодорхойл.
22. Абсолют хар биеийн долгионы урт спектр дэх цацруулах чадварын максимумд харгалзах долгионы урт 25 мкм бол энэ биеийн температурыг ол.
23. Абсолют хар биеийн температур $T_1 = 2900 \text{ К}$. Биеийг хөргөхөд цацаргалтын спектрийн максимумд харгалзах долгионы уртын өөрчлөлт нь $\Delta\lambda = 9 \text{ мкм}$ болсон бол ямар температуртай болох вэ? Бүрэн цацаргалтын өөрчлөлтийг ол.
24. Мөнгөөр бүрхсэн катод бүхий фотоэлементээс электрон $4 \times 10^6 \text{ м}/c$ хурдтай нисэн гарав. Хэрэв мөнгөний улаан хил 0.65 мкм бол түүн дээр туссан гэрлийн долгионы уртыг ол.
25. Металлын фотоэффектийн улаан хил $2 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$ бол гаралтын ажлыг ол.
26. Фотоэлементийг шар гэрлээр ($\lambda_1 = 600 \text{ нм}$) гэрэлтүүлэхэд потенциалын ялгавар 1.2 В болов. Түүнийг ягаан гэрлээр ($\lambda_2 = 400 \text{ нм}$) гэрэлтүүлэхэд потенциалын ялгавар нь ямар болох вэ.
27. $\varepsilon = 0.25 \text{ МэВ}$ энергитэй фотон тайван байсан электронтой мөргөлдөн, сарнилын дүнд фотоны энерги нь $\varepsilon' = 0.2 \text{ МэВ}$ болсон бол фотоны сарнилын өнцгийг ол.
28. Хүний биеийн температуртай ижил 310 К температуртай абсолют хар биеийн цацаргалтын долгионы уртын спектр дэх цацруулах чадварын максимумд харгалзах долгионы уртыг тодорхойл.
29. Фотоны энерги электроны тайвны энергитэй тэнцүү бөгөөд сарнилын өнцөг 90° бол электроны олж авах кинетик энергийг ол. Мөн электроны хурдыг ол.
30. Вольфрамын гаралтын ажил 4.5 эВ . Хэрэв түүний гадаргууг 5.8 эВ энергитэй туяагаар шарахад сугарсан электронуудын хурдны хамгийн их утгыг ол.



6.5 Тест

1. Тайван байсан янз бүрийн масстай бөөмсөөс Комптоны сарнилыг ажиглахад долгионы уртын өөрчлөлт $\Delta\lambda$ нь аль бөөмийн хувьд хамгийн бага байх вэ?
А. их давтамжтай цацраг
В. бага давтамжтай цацраг
С. их масстай бөөм
D. бага масстай бөөм
2. А гэрлийн давтамж B гэрлийнхээс хоёр дахин их бол E_A/E_B фотоны энергиүдийн харьцааг ол.
А. 1/2
В. 1/4
С. 1
D. 2
3. Абсолют хар биеийн бүрэн цацаргалт $37.26\text{кВт}/\text{м}^2$ бол температурыг ол. $\sigma = 5.67 \times 10^8\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}^4$
А. 1000K
В. 900K
С. 800K
D. 700K
4. Комптоны сарнилыг ажиглах туршилтад үзэгдэх гэрэл ба рентген цацрагийг ашиглав. Дээрх хоёр тохиолдолд сарнилын өнцөг ижил байсан бол аль тохиолдолд долгионы уртын өөрчлөлт их байсан бэ?
А. рентген цацрагийнх их
В. үзэгдэх гэрлийнх их
С. Ижил
D. рентген цацрагийнх бага
5. 500нм долгионы урттай нэгэн төрлийн гэрлийн цацрагийн фотоны концентрац $1.7 \times 10^{13}\text{м}^{-3}$ бол цацрагийн эрчмийг ол.
А. $6.7 \times 10^{-6}\text{Вт}/\text{м}^2$
В. $1 \times 10^3\text{Вт}/\text{м}^2$
С. $2 \times 10^3\text{Вт}/\text{м}^2$
D. $4 \times 10^3\text{Вт}/\text{м}^2$
6. $6.8 \times 10^{14}\text{Гц}$ давтамжтай цахилгаан соронзон цацраг тусахад электронуудыг саатуулагч потенциал нь 1.8В байв. Сугаран гарсан электроны кинетик энергийг ол.
А. 1.8эВ
В. 2.8эВ
С. 0эВ
D. 3.8эВ



7. Металлын гадаргуугаас гэрлийн үйлчлэлээр электрон сугаран гарах нь
- A. термоэмиссийн үзэгдэл
 - B. фотоэффектийн үзэгдэл
 - C. гэрлийн туйлшралын үзэгдэл
 - D. люминесценцийн үзэгдэл
8. А гэрлийн энерги В гэрлийн энергиэс хоёр дахин их бол P_A/P_B импульсийн харьцааг ол.
- A. 1/2
 - B. 1/4
 - C. 1
 - D. 2
9. Катодоос сугарч электроны тоог ангижруулахын тулд яах вэ?
- A. Тусаж байгаа гэрлийн эрчмийг ихэсгэнэ
 - B. Тусаж байгаа гэрлийн эрчмийг багасгана
 - C. Тусаж байгаа гэрлийн долгионы уртыг ихэсгэнэ
 - D. Тусаж байгаа гэрлийн долгионы уртыг багасгана
10. Абсолют хар биеийн цацаргалтын спектр дэхь цацруулах чадварын максимумд харгалзах долгионы урт 10мкм бол энэ биеийн температурыг ол. Винийн тогтмол $b = 2.9 \times 10^{-3} \text{м} \cdot \text{К}$
- A. 290К
 - B. 2900К
 - C. 145К
 - D. 1450К
11. Планкийн тогтмолын нэгж юу вэ?
- A. Чадал
 - B. Энерги
 - C. Импульс
 - D. Импульсийн момент
12. А гэрлийн энерги В гэрлийн энергиэс хоёр дахин их бол P_A/P_B импульсийн харьцааг ол.
- A. 1/2
 - B. 1/4
 - C. 1
 - D. 2
13. Абсолют хар биеийн бүрэн цацаргалт $45.92 \text{кВт}/\text{м}^2$ бол температурыг ол. $\sigma = 5.67 \times 10^8 \text{Вт}/\text{м}^2 \text{К}^4$
- A. 300К
 - B. 400К
 - C. 500К
 - D. 600К
14. Фотоэффектийн үзэгдэл гэдэг нь үзэгдлийг хэлнэ.
- A. Когерент долгион уулзан давхцахдаа тод бүдэг зурвас үүсгэх
 - B. Гэрлийн долгион замдаа таарсан саадыг тойрох үзэгдэл
 - C. Орчны хугарлын илтгэгч долгионы уртаас хамаарах
 - D. Гэрлийн үйлчлэлээр металлын гадаргаас электрон сугарах



15. 1.6×10^{15} Гц давтамжтай фотоны үйлчлэлээр металлаас сугаран гарсан электроны гаралтын ажил нь $A = 3.5$ эВ бол сугаран гарсан электроны кинетик энергийг ол.
А. 4.5 эВ В. 1.6 эВ
С. 3.1 эВ Д. 6 эВ
16. Металл дээр 7×10^{14} Гц давтамжтай цахилгаан соронзон цацраг тусахад электро-нуудыг саатуулагч потенциалыг ол. Металлын гаралтын ажил 2.3 эВ.
А. 0 В. 0.6 В
С. 2.3 В Д. 2.9 В
17. $4000A$ долгионы урттай фотоны энергийг ол. $1000A$ долгионы урттай фотоны энерги 12.4 эВ болно.
А. 6.2 эВ В. 3.1 эВ
С. 2.48 эВ Д. 24.8 эВ
18. Тайван байсан электронуудаас Комптоны сарнилыг ажиглахад долгионы уртын өөрчлөлт $\Delta\lambda$ нь хамгийн их байхын тулд сарнилын өнцөг ямар байх вэ?
А. 0° В. 22.5°
С. 90° Д. 180°
19. Гэрлийн долгионы далайцыг 2 дахин нэмэгдүүлэхэд энергийн урсгал нь хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?
А. 2 дахин нэмэгдэнэ
В. 2 дахин багасна
С. 4 дахин нэмэгдэнэ
Д. өөрчлөгдөхгүй
20. Абсолют хар биеийн цацаргалтын спектр дэх цацруулах чадварын максимумд харгалзах долгионы урт 20 мкм бол энэ биеийн температурыг ол. Винийн тогтмол $b = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
А. 290 К В. 2900 К
С. 145 К Д. 1450 К



3. Дулааны цацаргалтын спектраль нягт нь $U(\omega, T) = A\omega^3 e^{-a\omega/T}$ Винийн хуульд захирагдана гэж үзээд $T=2000\text{K}$ үе дэх цацаргалтын хамгийн их магадлалтай а) давтамж, б) долгионы уртыг тус тус ол. Энд: $a = 7.61 \times 10^{-12}\text{c} \cdot \text{K}$ болно.

4. Фотоэффектийн үзэгдлийг ажиглах туршилтад 500nm долгионы урттай гэрлээр шарахад 0.25В саатуулагч хүчдэлд фотогүйдэл хаагдана. Харин 375nm долгионы урттай гэрлээр шарвал 1В саатуулагч хүчдэлд фотогүйдэл хаагдах бол дээрх өгөгдлийг ашиглан Планкийн тогтмолыг электроны цэнэгт харьцуулсан харьцааг ол.



5. $P = 1\text{кВт}$ чадал хэрэглэдэг зууханд $S = 100\text{см}^2$ талбайтай нүх гаргав. Зуухны дотор талын хананы температур 1000К бол зуухны ханаар ялгарах чадлын ашигт үйлийн коэффициентыг ол.

6. $E_0 = 0.15\text{МэВ}$ энергитэй фотон тайван байсан электроноос сарнихад долгионы урт нь $\Delta\lambda = 0.3\text{нм}$ –ээр өөрчлөгдөв. Комптоны сарнилын үед фотоны анхны чиглэлээс электроны хазайх өнцгийг ол.



7. R радиустай тусгаарлагдсан бөмбөрцгийг λ_1 долгионы урттай гэрлээр шарав. Харин λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$) долгионы урттай гэрлээр шарахад өмнөхөөс N –ээр олон электроныг сугалан гаргасан бол λ_2 –ийг ол.

8. λ долгионы урттай фотон A цэгт байгаа чөлөөт электроноос сарнисны дүнд λ' урттай болсон. Дараа нь B цэгт байгаа өөр нэг чөлөөт электроноос сарниж долгионы урт нь λ'' болов. λ'' долгионы урттай фотоны сарнисан чиглэл анхны туссан фотонтой эсрэг чиглэлтэй байсан бол $\lambda'' - \lambda$ –ыг ол.



9. Абсолют хар биетийн температур нь T_1 -ээс T_2 хүртэл нэмэгдэхэд түүний цацаргалтын муруйгаар хашигдсан дүрсийн талбай нь 16 дахин ихсэв. Түүний цацаргалтын максимумд харгалзах долгионы урт хэд дахин өөрчлөгдсөн бэ?

10. $I = 0.7 \text{ Вт/см}^2$ эрчимтэй гэрлийн хавтгай долгион 5см радиустай толин гадарга бүхий бөмбөг дээр тусав. Гэрлийн бөөмлөг онолыг ашиглан бөмбөгөнд учруулах гэрлийн даралтын хүчийг ол.



Семинар 7

Атомын физик

7.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Атомын спектр дэх зүй тогтол

Хоорондоо харилцан үйлчлэлцэхгүй атомуудын цацаргалтын спектр нь тусгаар шугамуудаас тогтдог. Үүнийг *шугаман спектр* гэдэг. Швейцарын эрдэмтэн Бальмер (1885) устөрөгчийн атомын үзэгдэх гэрлийн спектрийн шугамын давтамжийг илэрхийлэх томьёог гаргасан. Цаашдын судалгаагаар ультра ягаан ба инфра улаан мужууд дахь спектрийн бүлүүдийг илрүүлсэн.

Лайманы бүл:

$$\nu = R \left(1 - \frac{1}{n^2} \right), n = 2, 3, 4, \dots \text{ (ультра ягаан)} \quad (7.1)$$

Бальмерын бүл:

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 3, 4, 5, \dots \text{ (үзэгдэх гэрэл)} \quad (7.2)$$

Пашены бүл:

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 4, 5, 6, \dots \text{ (инфра улаан)} \quad (7.3)$$

Брэкетиин бүл:

$$\nu = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 5, 6, 7, \dots \text{ (инфра улаан)} \quad (7.4)$$

Пфундын бүл:

$$\nu = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 6, 7, 8, \dots \text{ (инфра улаан)} \quad (7.5)$$

$R = 3.29 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ -Ридбергийн тогтмол

Эдгээрийг ерөнхий хэлбэрт оруулбал:

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = m + 1, m + 2, \dots \quad (7.6)$$

Атомын бүтэц

1911 онд Резерфорд α бөөмийн сарнилыг судалсны дүнд атомын ихэнх масс нь нэмэх



цэнэгтэй 10^{-12} см хэмжээтэй хэсэгт буюу атомын цөмд төвлөрдгийг тогтоосон. Электрон нь түүнийг $\sim 10^{-8}$ см-ээр үнэлэгдэх зайд тойрон эргэлдэнэ. Үүнийг атомын *Резерфордын загвар* гэдэг.

Борын постулатууд

1913 онд дээрх загвар дээр үндэслэн атомын спектрийг тайлбарлах дараах хоёр постулатыг Н.Бор тодорхойлсон.

1. Атомын электронууд нь тодорхой орбитуудаар хөдлөх ба энэ орбитоор хөдлөх үедээ энергийг цацаргах буюу шингээхгүй. Электрон нь түүний импульсийн момент \hbar -г бүхэл тоо дахин агуулах орбитоор л хөдөлнө. Энэ бүхэл тоо n -г гол квант тоо гэх ба энд харгалзах төлөвийн энерги нь W_n байна.

$$L = n\hbar, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi},$$

$h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Ж · с – Планкийн тогтмол. $n = 1, 2, 3, \dots$

2. Электрон 1 орбитоос нөгөө орбитод шилжих үедээ фотоныг цацаргах эсвэл шингэнэ.

$$h\nu = W_n - W_m$$

Устөрөгчийн атомын Борын онол

Борын онолоор устөрөгчийн атомын электрон импульсийн момент нь дараах нөхцөлийг хангах орбитоор хөдөлнө.

$$mvr = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3, \dots \text{ – гол квант тоо}) \quad (7.7)$$

n -р орбит дахь электроны энерги:

$$E_n = \frac{-mZe^2}{32\pi^2\epsilon_0^2\hbar^2n^2}, \quad E_1 = E_0, \quad E_n = E_0 \frac{1}{n^2} \quad (7.8)$$

n -р орбитын радиус:

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{mZe^2}n^2, \quad r_n = r_0 \cdot n^2, \quad r_0 \text{ – Борын радиус} \quad (7.9)$$

n -р орбитоор хөдлөх электроны хурд:

$$v_n = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0\hbar n}, \quad v_1 = v_0, \quad v_n = v_0 \cdot \frac{1}{n} \quad (7.10)$$

Устөрөгчийн атомд $Z = 1$, $E_1 = -13.6$ эВ, $r_1 = 0.53$ А, $v_1 = 2180$ км/с.

Де-Бройлын таамаглал ба бөөмийн долгиолог шинж чанар

1924 онд Де-Бройл гэрлийн бөөмлөг ба долгиолог хоёрдмол шинж чанар зөвхөн оптик үзэгдэлд төдийгүй нийтлэг шинж чанартай гэдэг таамаглалыг дэвшүүлсэн. Тухайлбал бодисын жижиг хэсэг бөөмүүд корпускул шинжтэйгээс гадна долгиолог шинж чанартай. Хөдөлж байгаа электронд

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p} = \frac{2\pi\hbar}{mv} \quad (7.11)$$

долгионы урттай долгион харгалзах бөгөөд түүний давтамж нь

$$\omega = \frac{E}{\hbar} \quad (7.12)$$



болно.

Де-Бройлын таамаглалыг Дэвиссон, Джермер нар туршилтаар баталжээ. Тэд никелийн моно талстаас сарнисан электронуудын эрчмийг хэмжсэн. Электронуудын эрчим тодорхой чиглэлд ихсэж байсан. Энэ чиглэлд харгалзах өнцөг нь хоорондоо d зайтай атомуудын хавтгайгаас долгион ойх Вульф-Брэггийн нөхцөлтэй таарч байжээ.

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (7.13)$$

Тодорхойгүйн зарчим

Эгэл бөөмсийн нэг онцгой шинж чанар бол түүний төлөвийг тодорхойлох зарим хэмжигдэхүүнүүдийн утгыг нэгэн зэрэг тодорхой хэмжиж болдоггүй. Тухайлбал: Электроны хувьд координат ба импульсийг нэгэн зэрэг тодорхойлох боломжгүй юм. Энэ тодорхойгүй чанарыг дараах харьцаагаар илэрхийлнэ.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad (7.14)$$

Энэ харьцааг *тодорхойгүйн харьцаа* гэдэг ба 1927 онд В.Гейзенберг нээсэн. Хугацаа ба энергийн хувьд бас энэ харьцааг бичиж болно.

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar \quad (7.15)$$

Энд $\Delta x, \Delta p, \Delta E, \Delta t$ – нь эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийн тодорхойгүйн хэмжээ байна.

Шредингерийн тэгшитгэл

Бодисын долгиолог шинжийн тухай Де-Бройлийн санаан дээр тулгуурлан 1926 онд Э.Шредингер квант механикийн үндэс болсон тэгшитгэлийг бичсэн.

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi \quad (7.16)$$

$\psi(x, y, z, t)$ –нь бөөмийн долгионы функц, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ –Лапласын оператор.

Квант механикт бодит физик хэмжигдэхүүнүүдэд оператор харгалзана Тухайлбал координат, импульс, импульсийн момент, энерги гэх мэт. Эдгээрийг харгалзан $\hat{r}, \hat{p}, \hat{L}, \hat{H}$ гэж тэмдэглэнэ. Харгалзах операторуудыг бичвэл

$$\hat{r} = \mathbf{r}, \quad \hat{p} = -i\hbar \vec{\nabla}, \quad \hat{L} = -i\hbar \hat{r} \times \hat{p}, \quad \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U \quad (7.17)$$

Хэрэв \hat{A} оператор ба ψ функцийн хувьд $\hat{A}\psi = A\psi$ тэгшитгэл биелж байвал ψ -г \hat{A} операторын хувийн функц гэх ба A -г *хувийн утга* гэнэ. Тухайлбал Шредингерийн стационар тэгшитгэл нь Гамильтоны оператор ба түүний хувийн функцийн хувьд бичигдсэн тэгшитгэл болно.

$$\hat{H}\psi = E\psi \quad \text{буюу} \quad \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U \right) \psi = E\psi \quad (7.18)$$

Хэрвээ бөөмийн хөдөлж байгаа хүчний орон стационар бол U хугацаанаас хамаарахгүй бөгөөд потенциал энерги болно. Энэ тохиолдолд тэгшитгэлийн шийд координат ба хугацаанаас хамаарсан хоёр функцийн үржвэр болно.

$$\Psi(x, y, z, t) = \psi(x, y, z) e^{-i\frac{E}{\hbar}t}$$

Энд: E нь бөөмийн бүрэн энерги болох ба стационар оронд тогтмол байна. Энэ шийдийг Шредингерийн тэгшитгэлд орлуулж ижил үржигдэхүүнийг хураавал:

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U \right) \psi = E\psi \quad (7.19)$$

Үүнийг Шредингерийн стационар тэгшитгэл гэдэг. ψ функцийн утгыг 1926 онд М.Борн тайлбарласан. Үүнд пси функцийн модулийн квадрат нь магадлалын нягт болох бөгөөд dV эзлэхүүнд бөөмийн олдох магадлал dP -г дараах байдлаар тодорхойлно.

$$dP = |\psi|^2 dV = \psi^* \psi dV \tag{7.20}$$

Огторгуйн аль нэг цэг дээр бөөм олдоно гэдгээс энэ магадлалаас огторгуйн нийт эзлэхүүнээр авсан интеграл 1-тэй тэнцүү.

$$\int dP = \int \psi^* \psi dV = 1 \tag{7.21}$$

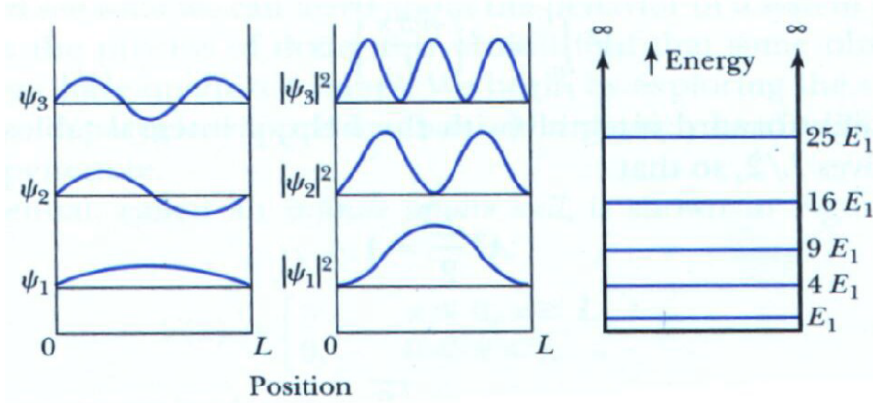
Энэ нь нормчлолын нөхцөл юм.

Шредингерийн тэгшитгэлийн хэрэглээ

1. Хязгааргүй өндөр хана бүхий l өргөнтэй потенциал нүхэнд хөдлөх бөөмийн хувьд Шредингерийн тэгшитгэл нь дараах хувийн функц болон хувийн утгатай.

$$\psi_n = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x \tag{7.22}$$

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots \tag{7.23}$$



Зураг 7.1. ψ функц, түүний магадлалт нягт төлөвт харгалзах энергийг үзүүлэв.

2. Устөрөгчийн атомын хувьд Шредингерийн тэгшитгэл нь бүрэн бодогдсон. Энэ нь нэг электрон ба нэг протоноос тогтсон хялбар систем болно. Харилцан үйлчлэлийн потенциал нь Кулоны харилцан үйлчлэл учраас төвийн тэгш хэмтэй. Иймээс тэгш өнцөгт координатын системээс бөмбөлөг координатын системд шилжих нь ашигтай. Бөмбөлөг координатын системд Шредингерийн тэгшитгэл дараах хэлбэртэй.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \right] + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U(r)) \psi = 0$$



Долгионы функцийг өнцгийн ба радиал хэсгүүдийн үржвэрт бичнэ.

$$\psi_{nlm} = R_{nl}(r)Y_{lm}(\theta, \phi)$$

Эдгээрт харгалзах тэгшитгэлүүд нь:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial R_{nl}}{\partial r} \right) - \frac{l(l+1)}{r^2} R_{nl} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U(r)) R_{nl} = 0$$

$$\hat{L}^2 Y_{lm} = -\hbar^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \text{ctg} \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) Y_{lm} + \frac{m^2 \hbar^2}{\sin^2 \theta} Y_{lm}$$

ψ –долгион функц нь 3 квант тооноос хамаардаг байна. Энд:

n –нь радиал тэгшитгэлээс гарах гол квант тоо бөгөөд устөрөгчийн атомын хувьд энергийг тодорхойлно. $n = 1, 2, 3, \dots$

l – нь импульсын моментын операторын хувийн утгыг илэрхийлнэ. Үүнийг орбитын квант тоо гэх ба импульсийн моментын квадрат нь $l(l+1)\hbar^2$ гэж квантчилагдана. $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$

m –нь импульсын моментын z – тэнхлэг дээрх проекцын операторын хувийн утгыг илэрхийлнэ. Импульсийн моментын z – тэнхлэг дээрх проекц нь $L_z = m\hbar$ квантчилагдана. $m_l = -l, \dots, -1, 0, +1, \dots, +l$

m_s –нь спиный моментын z –тэнхлэг дээрх проекцын операторын хувийн утгыг илэрхийлнэ. Спиный моментын z –тэнхлэг дээрх проекц нь $L_{zs} = m_s \hbar$ квантчилагдана. $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

Устөрөгчийн атомын радиал ба бөмбөлөг функцүүдийг хүснэгтээр харуулбал: r_0 – Борын радиус

n	l	m	R_{nl}	Y_{lm}
1	0	0	$2 \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-r/a_0}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2	0	0	$\left(\frac{1}{2a_0} \right)^{3/2} \left(2 - \frac{r}{a_0} \right) e^{-r/a_0}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2	1	0	$\left(\frac{1}{2a_0} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cos \theta$
2	1	± 1	$\left(\frac{1}{2a_0} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0}$	$\pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta e^{\pm i\phi}$

Рентген цацраг

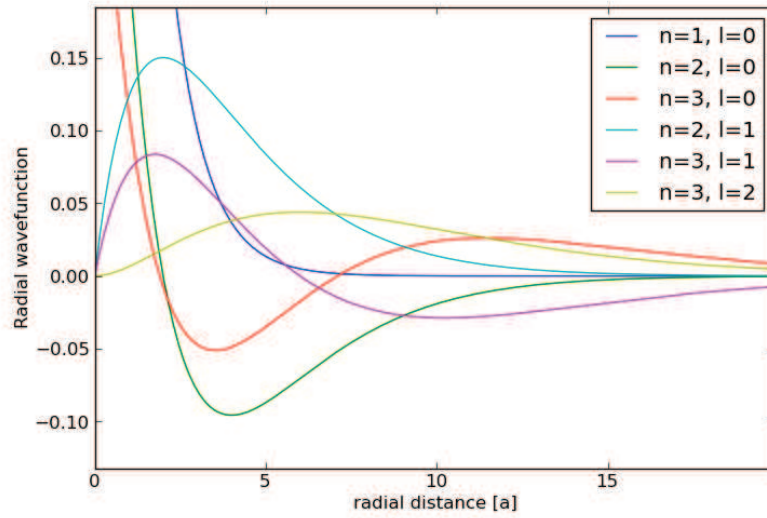
Тоормозлох ба тодорхойлогч гэж хоёр төрлийн рентген цацраг байна. Антикатоцыг бөмбөгдөж байгаа электроны энерги их биш байхад тоормозлох үеийн спектр ажиглагдах ба энэ нь тасралтгүй бөгөөд антикатоцын материалаас хамаарахгүй.

Бөмбөгдөж байгаа электронуудын энерги нь атомын дотоод давхраанаас электроныг сугалан гаргах хангалттай энергитэй бол тоормозлох үеийн спектрийн дэвсгэр дээр тодорхойлогч цацаргалтад харгалзах тод шугамууд гарна.

Энэ нь антикатоцыг хийсэн материалын шинж чанараас хамаарна. Рентген спектр нь хэд хэдэн бүлээс тогтох ба тэдгээрийг K, L, M, N, O гэх мэт тэмдэглэнэ.

Бүл бүрд цөөн тооны шугамууд харгалзах ба тэдгээрийг давтамж нь өсөх чиглэлд $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ гэх мэт дугаарлана. ($K_\alpha, K_\beta, K_\gamma, \dots, L_\alpha, L_\beta, L_\gamma$).

1913 онд Английн физикч Мозли Z дугаартай атомын рентген спектрийг илэрхийлсэн



Зураг 7.2

томъёо гаргасан.

K_{α} –шугамын хувьд:

$$\nu_{K_{\alpha}} = R(Z - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \tag{7.24}$$

$$\nu_{K_{\beta}} = R(Z - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) \tag{7.25}$$

L_{α} –шугамын хувьд:

$$\nu_{L_{\alpha}} = R(Z - 7.5)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \tag{7.26}$$

эдгээрийг нэгтгэвэл:

$$\nu = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \tag{7.27}$$

болох ба

$$\sqrt{\nu} = C(Z - \sigma) \tag{7.28}$$

гэж бичиж болно. σ –г *экрэнчлалын тогтмол* гэнэ.



7.2 Жишээ бодлого

Жишээ 7.1

m масстай бөөм $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = -kr\mathbf{r}$ төвийн тэгш хэмтэй оронд хөдөлнө. (k –ээрэг тогтмол). Бөөмийн импульсийн момент нь \hbar –г бүхэл тоо дахин авсантай тэнцэнэ. (Борын онолтой адил).

1. Бөөмийн дугуй орбитын радиусын боломжит утгуудыг ол.
2. Бөөмийн бүрэн энергийн боломжтой утгуудыг ол.

E_n –г $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ хүчний үйлчлэлээр бөөм хэлбэлзэх хөдөлгөөний давтамж ω –оор илэрхийл.
Бодолт:

1. Борын онолоор дугуй орбитоор хөдлөх бөөмийн импульсийн моментыг авах утга:

$$L = n\hbar \quad \text{буюу} \quad mvr = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (7.29)$$

$\mathbf{F}(\mathbf{r})$ хүчний үйлчлэлээр бие тойрог орбитоор хөдөлнө.

$$m \frac{v^2}{r} = kr \quad (7.30)$$

$$v = \omega r \quad \rightarrow \quad m \frac{\omega^2 r^2}{r} = kr \quad \rightarrow \quad \frac{k}{m} = \omega^2 \quad (7.31)$$

болно. 7.29 ба 7.30 –аас

$$r_n = \sqrt{\frac{n\hbar}{m\omega}} \quad (7.32)$$

2. $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = -kr\mathbf{r}$ хүчний үйлчлэлээр хэлбэлзэх бөөмийн бүрэн энергийг бичвэл: $E = \frac{mv^2}{2} + \frac{kr^2}{2}$, $v = \omega r$ ба $\frac{k}{m} = \omega^2$ гэдгийг тооцвол: $E = \frac{m\omega^2 r^2}{2} + \frac{kr^2}{2} = \frac{kr^2}{2} + \frac{kr^2}{2} = kr^2$, $k = m\omega^2$ ба 7.32-өөс r –г олж орлуулбал: $E_n = n\hbar\omega$

Жишээ 7.2

Тайван байсан натрийн атом фотон цацаргасан. Атом цацаргах үед тийрэлтийн улмаас үүсэх фотоны долгионы уртын өөрчлөлт $\Delta\lambda$ –г ол.

Бодолт:

$$\hbar\omega = \frac{m_{Na}v^2}{2} + \hbar\omega' \quad (7.33)$$

$$\hbar\omega - \hbar\omega' = \frac{m_{Na}v^2}{2} = \hbar\Delta\omega, \quad \omega = \frac{2\pi c}{\lambda} \quad \text{гэдгээс} \quad \Delta\omega = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \Delta\lambda$$

болох ба энд хасах тэмдэг нь давтамж ба долгионы урт хоорондоо урвуу хамааралтай гэдгийг л харуулна. Иймээс хасах тэмдгийг орхиж бичнэ.

$$\hbar \frac{2\pi c}{\lambda^2} \Delta\lambda = \frac{m_{Na}v^2}{2} \quad (7.34)$$

Импульс хадгалагдах хуулиас

$$\frac{\hbar\omega}{c} = m_{Na}v \quad \rightarrow \quad \hbar \frac{2\pi c}{c\lambda} = m_{Na}v \quad \rightarrow \quad v = \frac{2\pi\hbar}{\lambda m}$$

Үүнийг 7.34 –д орлуулж $\Delta\lambda$ –г олвол:

$$\Delta\lambda = \frac{\pi\hbar}{m_{Na}c} = \frac{3.14 \cdot 1.054 \cdot 10^{-34} \text{Ж} \cdot \text{с}}{23 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \text{кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{м}} = 2.9 \cdot 10^{-17} \text{м}$$



Жишээ 7.3

$a = 1\text{см}$ өргөнтэй хязгааргүй гүн нэг хэмжээст потенциал нүхэнд байгаа электроны:

1. Электроны энергийн түвшний нягт $\frac{dn}{dE}$
2. Энэ утгыг $n = 10^{10}$ байх дугаартай түвшний орчимд
3. Эхний $n = 10^{10}$ түвшний хувьд энергийн дундаж утга $\langle E_n \rangle$ -г ол.

Бодолт:

1. a өргөнтэй хязгааргүй гүн потенциал нүхэнд орших электроны энергийн хувийн утга:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} n^2 \quad (7.35)$$

байна. Илэрхийллийн хоёр талаас дифференциал авбал:

$$dE_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} 2n dn \quad (7.36)$$

Эндээс 7.34 -г : $\frac{dn}{dE} = \frac{a}{\pi \hbar} \sqrt{\frac{m_e}{2E_n}}$ болно.

2. $\frac{dn}{dE} = \frac{m_e a^2}{\pi^2 \hbar^2 n} = \frac{0.91 \cdot 10^{-30} \text{кг} \cdot (10^{-2} \text{м})^2}{3.14^2 \cdot (1.054 \cdot 10^{-34} \text{Ж} \cdot \text{с})^2 \cdot 10^{10}} = 0.83 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{Ж}}$
3. Төлвийн тоо n их үед дундаж энергийг тооцоолохдоо энергийн утгыг тасралтгүй хувьсах мэт үзэж дараах байдлаар тооцоолж болно.

$$\langle E_n \rangle = \frac{\int_0^{E_N} E \left(\frac{dn}{dE} \right) dE}{\int_0^{E_N} \left(\frac{dn}{dE} \right) dE} = \frac{\int_0^{E_N} E \left(\frac{a}{\pi \hbar} \right) \sqrt{\frac{m_e}{2E}} dE}{\int_0^{E_N} \left(\frac{a}{\pi \hbar} \right) \sqrt{\frac{m_e}{2E}} dE} = \frac{\int_0^{E_N} \sqrt{E} dE}{\int_0^{E_N} \frac{dE}{\sqrt{E}}} = \frac{\frac{2}{3} (\sqrt{E_N})^3}{2\sqrt{E_N}} = \frac{1}{3} E_N = 2 \cdot 10^{-14} \text{Ж}$$

Нөгөө талаас ерөнхий тохиолдолд энерги нь дискрет утгатай учир дунджийг дараах байдлаар тооцоолно.

$$\langle E_n \rangle = \frac{\sum_N E_n}{N} = \frac{\sum_N \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} n^2}{N} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} \frac{\sum_N n^2}{N} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} \frac{\sum_N n^2}{N} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} \frac{N(N+1)(2N+1)}{6N} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} (N+1)(2N+1)$$

$$N \text{ их үед } (N+1)(2N+1) \text{ нь } 2N^2 \text{ болох ба } \frac{\pi^2 \hbar^2}{12m_e a^2} 2N^2 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{6m_e a^2} N^2 = \frac{1}{3} \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_e a^2} N^2 = \frac{1}{3} E_N = 2 \cdot 10^{-14} \text{Ж}$$

Жишээ 7.4

Штерн-Герлахын туршлагад $^2P_{3/2}$ төлөвт байгаа хлорын атомын багцыг $\frac{dB}{dx} = 100 \text{Тл/м}$ градиенттай нэгэн төрлийн биш соронзон оронд перпендикулярар нэвтрүүлэв. Соронзон орны өргөний хэмжээ $l_1 = 40 \text{мм}$. Энэ мужаас $l_2 = 100 \text{мм}$ зайд дэлгэц байрлана. Соронзон оронд орох үеийн атомын хурд $v = 600 \text{м/с}$. Дэлгэц дээрх цацрагийн хөрш мөрүүдийн хоорондох зай b -г ол.

Бодолт: Хлорын атомын энэ төлөвт харгалзах квант тоонууд $S = \frac{1}{2}, L = 1, J = \frac{3}{2}$ байна. Соронзон орны зүгээс атомд үйлчлэх хүчийг $F = -\frac{\partial W}{\partial x}$ гэж олно. Үүнд W нь атом соронзон оронтой харилцан үйлчлэлцэх энерги. $W = -\mu \cdot B \cdot \cos \alpha = -\mu_B \cdot g \cdot m_J \cdot B = \mu_B \cdot g \cdot m_J$ нь соронзон моменты орны чиглэл дээрх проекц



$$F = -\frac{\partial}{\partial x}(-g \cdot m_J \cdot \mu_B \cdot B) = g \cdot m_J \cdot \mu_B \cdot \frac{\partial B}{\partial x}$$

Энэ хүч нь орны градиентын дагуу чиглэх бөгөөд атомд $a = \frac{F}{m} = g \frac{m_J \mu_B}{m} \frac{\partial B}{\partial x}$ хурдатгалыг олгоно. Иймээс атом соронзон орон дотор түүний чиглэлийн дагуу хурдсан хөдлөх ба түүнээс гарсны дараа шулуун жигд хөдөлнө. Орны дагуу шилжилтийг тооцвол:

$$x_1 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{a}{2} \left(\frac{l_1}{v} \right)^2, t_1 = \frac{l_1}{v}, v_1 = at_1 = a \frac{l_1}{v}, t_2 = \frac{l_2}{v},$$

$$x_2 = v_1 \cdot t_2 = a \cdot \frac{l_1}{v} \cdot \frac{l_2}{v}$$

$$\begin{aligned} x = x_1 + x_2 &= \left[\frac{a}{2} \left[\left(\frac{l_1}{v} \right)^2 + \frac{al_1 l_2}{v^2} \right] \right] = \frac{al_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] = \\ &= g \cdot \frac{m_J \mu_B}{m} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \frac{l_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] \end{aligned}$$

болно. Хөрш хоёр цацрагийн хувьд энэ шилжилтүүдийг бичвэл:

$$\begin{aligned} x' = x'_1 + x'_2 &= \left[\frac{a}{2} \left[\left(\frac{l_1}{v} \right)^2 + \frac{al_1 l_2}{v^2} \right] \right] = \frac{al_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] = \\ &= g \cdot \frac{m_J \mu_B}{m} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \frac{l_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x'' = x''_1 + x''_2 &= \left[\frac{a}{2} \left[\left(\frac{l_1}{v} \right)^2 + \frac{al_1 l_2}{v^2} \right] \right] = \frac{al_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] = \\ &= g \cdot \frac{(m_J + 1) \mu_B}{m} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \frac{l_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] \end{aligned}$$

Тэдгээрийн хоорондын зайг

$$b = x'' - x' = \frac{g \mu_B}{m} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \cdot \frac{l_1}{v^2} \left[\frac{l_1}{2} + l_2 \right] = 0.28 \text{ мм}$$

болно. g -нь Ландегийн үржигдэхүүн:

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

Жишээ 7.5

Үндсэн төлөвт байгаа устөрөгчийн атом 10А гүйдэл гүйж байгаа шулуун дамжуулагчаас 2.5см зайд байна. Атомд үйлчлэх хүчийг ол.

Бодолт: Үндсэн төлөвт байгаа устөрөгчийн атомд харгалзах квант тоонууд нь : $n = 1, l = 0, m_l = 0, m_s = 1$.

Шулуун дамжуулагчаас r зайд соронзон орны индукц $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$. Устөрөгчийн атомд соронзон орны зүгээс үйлчлэх хүч

$$F = -\mu \frac{\partial B}{\partial r} \cos \alpha = -\mu_{z_s} \frac{\partial B}{\partial r}.$$

μ_{z_s} - нь спиний соронзон моментын соронзон орны дагуух проекц.

$$\mu_{z_s} = \mu_B \cdot g \cdot m_s$$

μ_B -нь Борын магнетон. $g = 2$ Эндээс $F = -\mu_B \frac{\mu_0 I}{\pi} \left(\frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r} \right) = \frac{\mu_B \mu_0 I}{\pi r^2}$ болно.

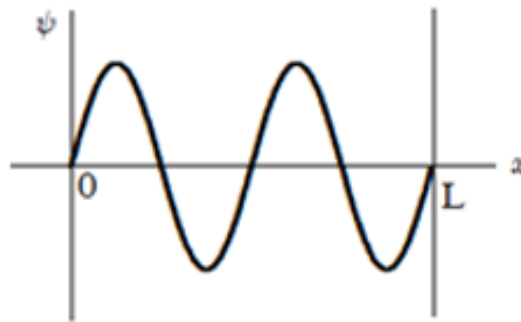


7.3 Шинжлэх даалгавар

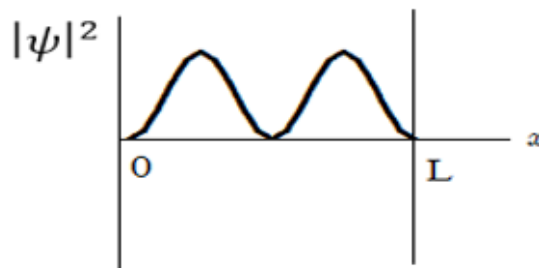
1. Нэг хэмжээст потенциал нүхэн дэх электроны төлөвийн энерги n квант тооноос хэрхэн хамаарах вэ?
2. Нэг хэмжээст потенциал нүхэн дэх бөөмийн төлөвийн долгион функцийг бичнэ үү. Зурагт үзүүлсэн график ямар төлөвийг илэрхийлэх вэ? (Зураг 7.3)
3. Нэг хэмжээст потенциал нүхэн дэх бөөмийн магадлалын нягтыг координатаас хамааруулан үзүүлэв. Энэ ямар төлөвийг илэрхийлэх вэ? (Зураг 7.4)
4. Устөрөгчийн атом фотон цацаргасан (цацаргасан) бол түүний электроны орбитын радиус хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
5. Устөрөгчийн атом фотон цацаргасан (шингээсэн) бол түүний электроны хурд хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
6. Устөрөгчийн атомын цацаргалтын Лайман, Бальмер, Пашены бүлүүдийн аль нь их давтамжтай квант цацруулах вэ?
7. Атомын цацруулж буй цахилгаан соронзон долгионы спектр нь дискрет байдгийн шалтгааныг тайлбарлана уу.
8. Устөрөгчийн атомын цацаргалтын спектрийн бүлүүдээс аль нь ультра ягаан гэрлийн мужид хамаарах вэ? Томьёог бичиж тайлбарлана уу.
9. Устөрөгчийн атомын цацаргалтын Лайман, Бальмер, Пашены бүлүүдийн аль нь долгионы урт ихтэй фотоныг цацруулах вэ?
10. Устөрөгчийн атомын цацаргалтын Лайман, Бальмер, Пашены бүлүүдийн аль нь бага энергитэй квант цацруулах вэ?
11. Де-Бройлын долгионы урт нь бөөмийн энергиэс хэрхэн хамаарах вэ?
12. Де-Бройлын долгион гэж юу вэ?
13. Дэвиссон-Джермерийн электроны дифракцын туршилт юуг баталсан бэ?
14. Де-Бройлын долгионы урт бөөмийн масс ба хурднаас хэрхэн хамаардаг вэ?
15. Матерын долгиолог ба бөөмлөг шинж чанарыг холбох тэгшитгэлийг бич.
16. Атомын 4 квант тоог бичиж тайлбарлана уу.
17. Атом дахь электроны p ба d төлөвт орших хамгийн их электроны тоог ол.
18. Гол квант тоо 5 байх үед орбитын квант тоо, соронзон квант тоо, спиний квант тоонууд ямар утгууд авах вэ?
19. n, l, m квант тоо ижил байх төлөвт хэдэн электрон байх боломжтой вэ?
20. Тодорхойгүйн зарчмыг бичиж тайлбарлана уу?
21. Шредингерийн тэгшитгэлийг тайлбарлана уу?
22. Долгион функцийн физик утгыг тайлбарлана уу?



- 23. $|\psi|^2 dV$ -ийн физик утга юу вэ?
- 24. Шредингерийн тэгшитгэлээс энергийн квантчлал хэрхэн гардаг вэ?
- 25. Тоормозлох үеийн рентген туяаг тайлбарлана уу?
- 26. Тодорхойлогч рентген туяаг тайлбарлана уу?
- 27. Тоормозын рентген цацаргалтын богино долгионы хязгаар байдаг болохыг тайлбарлана уу?
- 28. Тодорхойлогч рентген цацрагийн бүлийн томьёог тайлбарлана уу? Устөрөгчийн бүлийн томьёоноос ялгаатай байгааг тайлбарла.
- 29. Мозлийн томьёог тайлбарла. Түүний ач холбогдол юу вэ?
- 30. Тоормозлох үеийн долгионы урт ба электроныг хурдасгах хүчдэлийн хоорондын хамаарлыг тайлбарлана уу.



Зураг 7.3



Зураг 7.4



7.4 Тооцоот даалгавар

1. Хязгааргүй гүн нүхэнд байгаа электрон $n = 4$ төлөвт байна. Түүний магадлалын нягт хэдэн зангилаа цэгтэй байх вэ? (нүхний захын цэгүүд дээрх утгыг тооцохгүй)
2. Бөөм хязгааргүй гүн нүхэнд байв. $n = 14$ төлөвт байх үед бөөмийн орших магадлалын максимум утгуудыг ол.
3. Протон 0.3нм өргөнтэй гүн нүхэнд байв. $n = 2$ төлөвт байх үеийн протоны кинетик энергийг ол.
4. x тэнхлэг дээр $x = 4\text{нм}$ ба $x = 6\text{нм}$ завсарт бөөмийн олох магадлал 48% . Энэ завсарт $\psi(x)$ функц тогтмол бол энэ мужид $\psi(x)$ -ийн тоон утгыг ол. Түүний нэгж ямар байх вэ?
5. Электрон, протон, α бөөм тус тусдаа ижил потенциал нүхэнд байв. Аль бөөмийн үндсэн төлөвийн энерги их байх вэ?
6. Нүхэнд байгаа электрон λ урттай долгионыг шингээнэ. Үүний дүнд электрон $n = 1$ төлөвөөс $n = 3$ төлөвт шилжив. Нүхний өргөнийг ол.
7. Устөрөгчийн атом $l = 1$ төлөвт байна гэж үзээд \vec{L} импульсийн моменты хэмжээ, L_z -ийн зөвшөөрөгдсөн утгууд, \vec{L} ба z тэнхлэгийн хоорондох өнцөг θ -ийн боломжит утгуудыг ол.
8. $3d$ төлөвт орших устөрөгчийн атомын L, L_z, θ -ийн бүх боломжит утгыг тодорхойл.
9. Электрон орбитын импульсийн момент нь $6\sqrt{2}\hbar$ байх квант төлөвт байв. Импульсийн моменты z байгуулагчийн хэчнээн утга байх боломжтой вэ?
10. Электрон импульсийн моменты z тэнхлэг дээрх зөвшөөрөгдөх долоон квант төлөв байв. Импульсийн моменты хэмжээг ол.
11. Электрон $l = 3$ ба $m = 2$ төлөвт байв. Импульсийн момент \vec{L} ба z тэнхлэг хоорондох өнцгийг ол.
12. Молибдены ($Z = 42$) L бүрхүүлээс K бүрхүүл рүү шилжихэд үүсэх рентген туяаны долгионы давтамжийг ол. ($R = 2.07 \cdot 10^{16}\text{с}^{-1}$, $\sigma = 1$)
13. Төмөр Fe_{26}^{56} -ийн атомын L бүрхүүлээс K бүрхүүлд электрон шилжихэд үүсэх рентген туяаны долгионы уртыг ол. ($R = 1.1 \cdot 10^7\text{м}^{-1}$, $\sigma = 1$)
14. $Nb(Z = 41)$ ба $Ga(Z = 31)$ элементүүдийн рентген спектрийн K_β шугамын долгионы уртуудын харьцааг ол.
15. $W(Z = 74)$ атомын L_α -рентген цацаргалтын давтамжийг ол.
16. Устөрөгчийн атом фотон шингээж үндсэн төлөвөөс 5-р стационар төлөвт шилжсэн бол электроны орбитын радиус хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?
17. Устөрөгчийн атом фотон цацаргаж 3-р стационар төлөвөөс үндсэн төлөвт шилжсэн бол электроны орбитын энерги хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?
18. Устөрөгчийн атом фотон шингээж үндсэн төлөвөөс 4-р стационар төлөвт шилжсэн бол электроны шингээсэн фотоны давтамжийн хэдэн боломжит утгууд ямар байх вэ?



19. Устөрөгчийн атомын үндсэн төлөвийн энергиэр 4-р төлөвийн энергийг илэрхийл.
20. Устөрөгчийн атомын Борын 2-р орбит дээрх электроны хурд v_2 -оор 6-р орбит дээрх хурдыг илэрхийл.
21. Электроны x тэнхлэгийн дагуух хурдны тодорхойгүйн хэмжээ $\Delta v_x = 1\text{см/с}$. Координатын тодорхойгүйн хэмжээг ол.
22. Электроны координатын тодорхойгүйн хэмжээ $5 \cdot 10^{-10}$. Импульсийн тодорхойгүйн хэмжээг ол.
23. Дөрвөн бөөм нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэнд байв. Тэдгээрийн масс ба нүхний өргөн ...
 - $L = 2L_0, m = 4m_0$
 - $L = 2L_0, m = 2m_0$
 - $L = L_0, m = 4m_0$
 - $L = 2L_0, m = m_0$

Бөөмүүд үндсэн төлөвт байгаа бол багаас их рүү жагсаан бич.

24. L өргөнтэй А ба $2L$ өргөнтэй В хязгааргүй гүн потенциал нүхнүүд байв. В нүхний гол квант тоо n -ийн ямар утганд нүхнүүдийн үндсэн төлөвийн энерги тэнцүү байх вэ?
25. Чөлөөт электроны импульс $5 \cdot 10^{-24}\text{кг} \cdot \text{м/с}$ байв. Түүний Де-Бройлын долгионы уртыг ол.
26. 10эВ энергитэй чөлөөт электроны давтамж ба долгионы уртыг ол.
27. Электрон 0.3нм өргөнтэй потенциал нүхэнд байв. Төлөвийн квант тоо $n = 3$ бол кинетик энергийг ол.
28. Атомын электрон 5.5эВ энергитэй төлөвт байв. Электрон 3.2эВ энергитэй төлөвт шилжихдээ фотон цацаргав. Цацаргасан фотоны долгионы уртыг ол.
29. Атомын электрон $-1.1 \cdot 10^{-18}\text{Ж}$ энергитэй төлөвөөс $-2.4 \cdot 10^{-18}\text{Ж}$ энергитэй төлөвт шилжив. Цацаргасан фотоны давтамжийг ол.
30. Атомын электрон 7.5эВ энергитэй төлөвт байв. Электрон 3.2эВ энергитэй төлөвт шилжихдээ фотон цацаргав. Цацаргасан фотоны импульсийг ол.



7.5 Тест

- v_0 хурдтай электрон, v_0 хурдтай протон, $2v_0$ хурдтай протон байв. Тэдгээрийн Де-Бройлын долгионы уртыг богиноос нь урт руу дараалуулан бич.
А. 1, 2, 3 В. 2, 3, 1
С. 3, 2, 1 Д. 3, 1, 2
- K_0 кинетик энергитэй электрон, K_0 кинетик энергитэй протон, $2K_0$ кинетик энергитэй протон байв. Тэдгээрийн Де-Бройлын долгионы уртыг богиноос нь урт руу дараалуулан бич.
А. 1, 2, 3 В. 2, 3, 1
С. 3, 2, 1 Д. 3, 1, 2
- Релятив биш чөлөөт электроны кинетик энергийг 2 дахин ихэсгэвэл түүнд харгалзах долгионы давтамж хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?
А. 2 В. $\sqrt{2}$
С. 4 Д. $1/2$
- Релятив биш чөлөөт электроны кинетик энерги нь K , түүний долгионы уртыг 2 дахин ихэсгэвэл кинетик энерги нь ямар болох вэ?
А. $K/4$ В. $K/2$
С. $2K$ Д. $4K$
- Огторгуйн тухайн цэг дээрх бөөмийн олдох магадлалын нягт нь ...-д пропорционал.
А. Атомын энерги
В. Импульс
С. Долгион функц
Д. Долгион функцийг модулийн квадрат
- Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэн дэх бөөмийн энерги түүний гол квант тооноос..... хамаарна.
А. $1/n$ В. $1/n^2$
С. n^2 Д. n
- Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэн дэх үндсэн төлөвтөө байгаа бөөмийн энерги 2эВ байв. Нүхний өргөнийг 2 дахин ихэсгэвэл үндсэн төлөвийн энерги ямар болох вэ?
А. 0.5эВ В. 1эВ
С. 2эВ Д. 4эВ



8. Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн нүхнүүдэд ижилхэн бөөм байв. Нүхний өргөн L , гол квант тоо n болно.
А. $L = 2L_0, n = 2$ В. $L = 2L_0, n = 4$
С. $L = 3L_0, n = 3$ D. $L = 4L_0, n = 2$
9. Бөөмүүдийг кинетик энергиэр нь багаас их рүү жагсаан бич.
А. 1, 2, 3, 4
В. 4, 2, 1 ба 3 тэнцүү
С. 4, 3, 2, 1
D. 1 ба 3 тэнцүү, 2, 4
10. Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэнд бөөм байв. Түүний төлөвийн гол квант тоо нь $n = 14$ байв. Нүхний захын цэгийг тооцвол бөөмийн нүхэнд орших магадлалын нягт хэдэн цэг дээр тэг байх вэ?
А. 7 В. 13
С. 14 D. 15
11. Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэнд бөөм байв. Түүний төлөвийн гол квант тоо нь $n = 14$ байв. Бөөмийн нүхэнд орших магадлалын нягт хэдэн максимумтай байх вэ?
А. 7 В. 13
С. 14 D. 15
12. Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэнд бөөм байв. Дараах төлөвүүдээс алинд нь нүхний төв дэх магадлалын нягт хамгийн их байх вэ?.
А. $n = 2$ В. $n = 3$
С. $n = 4$ D. $n = 5$
13. Нэг хэмжээст хязгааргүй гүн потенциал нүхэнд электрон байв. Түүний төлөвийн гол квант тоо нь $n = 4$ байв. Электроны нүхэнд орших магадлалын нягт хэдэн минимумтэй байх вэ? Захын цэгүүдийг тооцохгүй.
А. 4 В. 2
С. 3 D. 5



14. Устөрөгчийн атомын үндсэн төлөв дэх электроны холбоос энерги:
- A. 1эВ
B. 10.2эВ
C. 3.4эВ
D. 13.6эВ
15. Устөрөгчийн атомын электроны үндсэн төлөвийн энерги нь -13.6эВ болно. Анхны өдөөгдсөн төлөвийн энерги:
- A. -6.8эВ B. -10.2эВ
C. -3.4эВ D. -13.6эВ
16. Устөрөгчийн атомын электроны үндсэн төлөвийн энерги нь -13.6эВ болно. Электроныг анхны өдөөгдсөн төлөвт гаргахад энерги шаардагдана.
- A. 1.9эВ B. 10.2эВ
C. 3.4эВ D. 13.6эВ
17. Устөрөгчийн атомын электроны үндсэн төлөвийн энерги нь -13.6эВ болно. Нэгдүгээр өдөөгдсөн төлөвт байгаа электроныг иончлоход энерги шаардагдана.
- A. 1.9эВ B. 10.2эВ
C. 3.4эВ D. 13.6эВ
18. Устөрөгчийн атом хоёрдугаар өдөөгдсөн төлөвөөс үндсэн төлөвт шилжих үедээ цацаргах фотоны энерги ... шаардагдана.
- A. 1.5эВ B. 9.1эВ
C. 13.6эВ D. 12.1эВ
19. Устөрөгчийн атомын электроны хувьд аль квант тоонууд байх боломжтой вэ?
- A. $n = 4, l = 4, m = -2$
B. $n = 5, l = -1, m = 2$
C. $n = 2, l = 3, m = -3$
D. $n = 4, l = 3, m = -3$
20. Орбитын квант тоо l үед соронзон квант тоо хэдэн утга авах вэ?
- A. l B. $2l$
C. $2l + 1$ D. $2l - 1$



7.6 Бие даалтын бодлого

1. m масстай чөлөөт бөөмийн ($U = 0$) долгион функц $\psi(x) = A \cos(kx) + B \sin(kx)$ байв. Энд A, B, k нь тогтмолууд. Энэ функц Шредингерийн тэгшитгэлийн шийд болохыг үзүүл.

2. Электроны төлөв дараах стационар долгионы функцээр тодорхойлогдоно.

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{-\alpha x} & x > 0 \\ Ae^{\alpha x} & x < 0 \end{cases}$$

Нормчлолын нөхцөлийг ашиглан A тогтмолыг олно уу.



3. Хязгааргүй гүн потенциал нүхэн дэх бөөмийн долгион функц $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l}x$.
Бөөмийн энергийг ол.

4. Бүрэн энерги нь тэг байх бөөмийн долгион функц $\psi(x) = Axe^{-\frac{x^2}{L^2}}$ бол түүний потенциал энергийг олж графикаар дүрсэл.



5. Классик физикт a хурдатгалтай хөдөлж байгаа e цэнэг цахилгаан соронзон долгионыг $\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{6\pi\epsilon_0} \frac{e^2 a^2}{c^3}$ хурдтай цацаргана. Хэрэв классик онол атомын хувьд таардаг гэвэл устөрөгчийн атомын электрон цөм рүүгээ $\frac{dr}{dt} = -\frac{e^4}{12\pi^2\epsilon_0^2 m^2 c^3} \left(\frac{1}{r^2}\right)$ хурдтай ойртохыг харуул.

6. Устөрөгчийн атом 2.28эВ энергитэй фотоныг шингээв. А. Энэ фотоны иончлох боломжтой устөрөгчийн атомын хамгийн бага n -ийг ол. В. Энэ төлвөөс сугарсан электроны хурдыг ол.



7. Хязгааргүй гүн потенциал нүхэн дэх бөөмийн долгион функц $0 \leq x \leq l$ үед $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\left(\frac{2\pi x}{l}\right)$ ба бусад тохиолдолд тэг байна. Бөөмийн $0.49l \leq x \leq 0.51l$ орчинд байх магадлалыг ол.

8. Вольфрамын ($Z = 74$) L_α шугамын долгионы урт 0.147635нм ба хар тугалганы ($Z = 82$) L_α шугамын долгионы урт 0.117504нм болно. Үүнийг ашиглан Мозлийн $\sqrt{\omega} = C(Z - \sigma)$ тэгшитгэл дэх C ба σ -г ол. C -г $\sqrt{\frac{5R}{36}}$ -ийн утгатай харьцуул.



9. 4эВ кинетик энергитэй электрон 1мкм хэмжээтэй мужид хашигдсан байв. Тодорхойгүйн зарчмыг ашиглан электроны хурдны харьцангуй тодорхойгүй утгыг $\Delta v/v$ ол.

10. λ_1 ба λ_2 де-Бройлын долгионы урттай хоёр ижилхэн релятив биш бөөм бие бие-тэйгээ перпендикуляраар хөдөлнө. Бөөм бүрийн де-Бройлын долгионы уртыг тэдгээрийн массын төвийн системд ол.



Семинар 8

Цөмийн физик

8.1 Томьёо ба тодорхойлолтууд

Атомын цөмийг бүрдүүлэгч бөөмс болох протон, нейтроныг нуклон гэдэг. Цөмийг A_ZX эсвэл ${}^A_ZX^N$ гэж тэмдэглэдэг. Энд A нь нуклоны тоо, Z нь протоны тоо, N нь нейтроны тоо юм. Цөмийн массыг массын атом нэгж (м.а.н.)-р илэрхийлбэл тохиромжтой. Нэг м.а.н. нь нүүрстөрөгчийн цөмийн массын $1/12$ -тэй тэнцүү, ө.х. $1\text{ м.а.н.} = 1.66 \cdot 10^{-27}\text{ кг}$.

Цөмийн радиусын ойролцоо утгыг дараах томьёогоор олж болно.

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (8.1)$$

Энд R_0 нь нэг нуклоны радиус бөгөөд $R_0 = 1.2$ Ферми байна. $1\text{ Ферми} = 10^{-15}\text{ м}$ байдаг. Нуклонуудыг холбон барьж, цөмийг бүрдүүлдэг хүчийг *цөмийн хүч* гэнэ.

Цөмийн хүч нь дараах онцгой шинж чанартай:

1. Маш бага зайд буюу 10^{-15} м -ээс бага зайд илэрдэг, хүчтэй харилцан үйлчлэлтэй.
2. Нуклоны цэнэгээс хамаардаггүй.
3. Ханах шинжтэй, өөрөөр хэлбэл тодорхой тооны нуклонуудын хооронд л илэрдэг.
4. Нуклоны спиний харилцан байршлаас хамаардаг.

Цөмийн масс нь түүнийг бүрдүүлж буй нуклонуудын нийлбэр массаас ямагт бага байдаг. Нуклонуудын нийлбэр массаас цөмийн массыг хасаж гарсан ялгаврыг *массын гажилт* буюу *массын деффект* гэдэг.

$$\Delta m = [m_p \cdot Z + m_n(A - Z)] - M_{\text{Ц}} \quad (8.2)$$

Энд m_p нь протоны масс, m_n нь нейтроны масс, $M_{\text{Ц}}$ нь цөмийн масс юм.

$$m_p = 1.007825\text{ м.а.н.}$$

$$m_n = 1.008665\text{ м.а.н.}$$

Цөмийн тусгаар нуклонууд болгон задлахад шаардагдах энергийг холбоос энерги (ΔW) гэдэг.

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2$$

Энд c нь гэрлийн хурд.

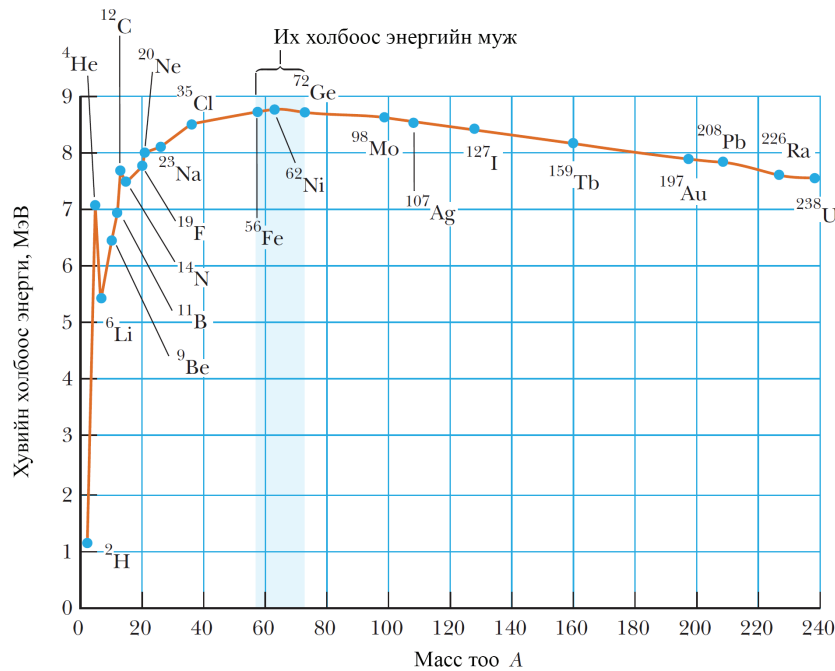


Цөмийн нэг нуклонд оногдох холбоос энергийг *хувийн холбоос энерги* (ε) гэнэ. Цөмийн физикт энергийг электрон-Вольт (эВ) нэгжээр хэмжих нь тохиромжтой.

$$1\text{эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{Ж}$$

1м.а.н. масст харгалзах энерги нь ойролцоогоор 931МэВ байна.

Хувийн холбоос энерги нуклоны тооноос хэрхэн хамаарахыг дараах зурагт харууллаа.



Цөмүүдийг тогтвортой болон тогтворгүй (*цацраг идэвхт*) цөм гэж ангилж болно. Цацраг идэвхт цөм нь аяндаа эгэл бөөмсийг цацаргаж задардаг. Цацраг идэвхт задрал нь статистик шинж чанартай бөгөөд

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (8.3)$$

хуульд захирагдана. Энд N_0 нь хугацааны эхний агшинд байсан цөмийн тоо, N нь t хугацааны дараа задраагүй үлдсэн цөмийн тоо, λ нь *задралын тогтмол* юм. Харин t хугацаанд задарсан цөмийн тоо $\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$ болох нь илэрхий байна.

Анх байсан цөмийн хагас нь задрах хугацааг *хагас задралын үе* гэнэ. Хагас задралын үеийг голдуу T -ээр тэмдэглэх бөгөөд задралын тогтмол λ -тай

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (8.4)$$

холбоотой болохыг цацраг идэвхт задралын хуулиас хялбархан харж болно. Задралын тогтмол нь мэдэгдэж байвал цөмийн дундаж амьдрах хугацааг

$$\tau = 1/\lambda$$

гэж олно.

Нэгж хугацаанд задрах цацраг идэвхт цөмийн тоог *идэвхжил* буюу *цацраг идэвхт задралын хурд* гэдэг.

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right|$$



$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (8.5)$$

Энд A_0 нь хугацааны эхэнд хэмжсэн идэвхжил, A нь t хугацааны дараах идэвхжил. Идэвхжлийг

$$1 \text{Беккерель} = 1 \text{Бк} = 1 \frac{\text{задрал}}{\text{с}}$$

болон

$$1 \text{Кюри} = 1 \text{Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \frac{\text{задрал}}{\text{с}}$$

нэгжээр хэмждэг.

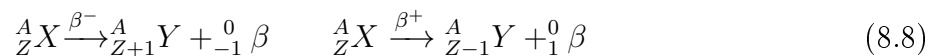
A цацраг идэвхт бодис задрахад B цацраг идэвхт бодис үүсдэг бол t хугацааны дараа задраагүй байх B бодисын цөмийн тоог дараах томъёогоор тодорхойлно:

$$N_B = N_A \cdot \frac{\lambda_A}{\lambda_A - \lambda_B} \cdot (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \quad (8.6)$$

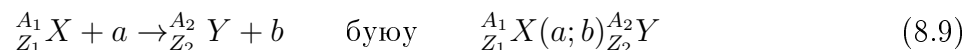
Хэрэв цацраг идэвхт цөм нь α бөөм цацруулан задарч байвал α *задрал* гэдэг. Альфа задралын тэгшитгэл:



Электрон болон түүний анти бөөм болох позитроныг ерөнхийд нь *бета бөөм* гэдэг. Хэрэв цацраг идэвхт цөм β бөөм цацруулан задарч байвал уг задралыг β *задрал* гэнэ. Сөрөг ба эерэг бета задралын хууль:



Гамма задрал нь бие дааж явагддаггүй бөгөөд альфа, бета задрал ба ихэнх цөмийн урвалын дүнд γ туяа цацардаг. Атомын цөмүүд өөр хоорондоо, эсвэл бусад эгэл бөөмстэй харилцан үйлчилж хувиралд орохыг цөмийн урвал гэнэ.



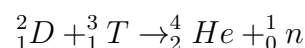
Энд ${}^{A_1}_{Z_1} X$ бай цөм, a , бөмбөгдөж буй бөөм буюу цөм, ${}^{A_2}_{Z_2} Y$ нь урвалын дүнд үүссэн цөм, b нь урвалын дүнд үүссэн бөөм юм.

Цөмийн урвалын үед нуклоны нийт тоо, цахилгаан цэнэг, бүрэн импульс, импульсийн момент зэрэг хэмжигдэхүүнүүд хадгалагддаг. Цөмийн урвалын үед энерги хадгалагдах хууль дараах хэлбэртэй бичигдэнэ:

$$(m_A + m_a) \cdot c^2 = (m_B + m_b) \cdot c^2 \pm Q \quad (8.10)$$

Энд Q нь цөмийн урвалын үед ялгарсан буюу шингэсэн дулаан.

Өндөр температурт хөнгөн цөмүүд нэгдэх урвалыг халуун цөмийн урвал гэнэ. Тухайлбал Наран дээр явагдах халуун цөмийн урвал нь:



Энд ${}^2_1 D$ нь дейтри, ${}^3_1 T$ нь тритий бөгөөд устөрөгчийн цөмийн изотопууд юм.



8.2 Жишээ бодлого

Жишээ 8.1

Битүү саванд орших λ_A задралын тогтмолтой цацраг идэвхт А бодисын цөм задарч λ_B задралын тогтмолтой цацраг идэвхт В бодис үүсгэнэ. Анх саванд N_{0A} тооны цөмтэй А бодис байсан бол В бодисын цөмийн тоо хугацаанаас хэрхэн хамаарахыг тодорхойл.

Бодолт: Бодис тус бүрийн хувьд цацраг идэвхт задралын хуулийг бичвэл:

$$dN_A = -\lambda_A N_A dt \quad (8.11)$$

$$dN_B = -\lambda_B N_B dt + \lambda_A N_A dt \quad (8.12)$$

8.12-р тэгшитгэлийг нарийвчлан авч үзье. Тэгшитгэлийн баруун гар талд байгаа эхний нэмэгдэхүүн нь В бодис задарч цөмийн тоо нь хорогдож байгааг харуулна. Хэдийгээр В бодис нь задарч хорогдож байгаа боловч А бодисын задралын улмаас В бодис үүсэх тул тэр хэмжээгээр нэмэгдэнэ. Тэгшитгэлд байгаа сүүлийн нэмэгдэхүүн нь энэ нэмэгдэж байгаа хэмжээг илэрхийлнэ.

8.11-р тэгшитгэлийг интегралчилбал

$$N_A = N_{0A} e^{-\lambda_A t}$$

болно. Үүнийг 8.12-р тэгшитгэлд орлуулбал

$$dN_B = -\lambda_B N_B dt + \lambda_A N_{0A} e^{-\lambda_A t} dt$$

Сүүлийн тэгшитгэлээс dt -г ялгавал:

$$\frac{dN_B}{dt} = -\lambda_B N_B + \lambda_A N_{0A} e^{-\lambda_A t} \quad (8.13)$$

Энэ тэгшитгэл нь хувьсагч нь ялгагдаагүй дифференциал тэгшитгэл тул шийдийг нь

$$N_B = N_{0A} \cdot \beta \cdot (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \quad (8.14)$$

хэлбэртэйгээр хайя.

8.14-р тэгшитгэлийг 8.13-р тэгшитгэлд орлуулж β коэффициентийг олъё.

$$\begin{aligned} -\lambda_B N_{0A} \cdot \beta \cdot (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) + \lambda_A N_{0A} e^{-\lambda_A t} \\ = N_{0A} \beta (-\lambda_A e^{-\lambda_A t} + \lambda_B e^{-\lambda_B t}) \end{aligned} \quad (8.15)$$

8.15 тэгшитгэлээс

$$-\lambda_B \cdot \beta (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) + \lambda_A e^{-\lambda_A t} = \beta \cdot (-\lambda_A e^{-\lambda_A t} + \lambda_B e^{-\lambda_B t})$$

$$-\lambda_B \cdot \beta e^{-\lambda_A t} + \lambda_B \cdot \beta e^{-\lambda_B t} + \lambda_A e^{-\lambda_A t} = -\beta \lambda_A e^{-\lambda_A t} + \beta \lambda_B e^{-\lambda_B t}$$

буюу

$$e^{-\lambda_A t} (\lambda_A - \beta \lambda_B) = \beta \lambda_B e^{-\lambda_B t}$$

$$(\lambda_A - \beta \lambda_B) = -\beta \lambda_A \quad (8.16)$$



болно. Эндээс β коэффициентыг олбол:

$$\beta = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}$$

энэ коэффициентыг бодлогын шийд 8.14-р орлуулбал:

$$N_N = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

болж байна.

Жишээ 8.2

${}_{88}^{226}\text{Ra}$ цөмийн деффект масс, холбоос энерги, нэг нуклонд оногдох холбоос энергийг тус тус олно уу.

Бодолт:

Бидэнд протон, нейтроны болон энэ цөмийн масс хэрэгтэй. Эдгээр утгыг хүснэгтээс авъя:

Радий-226 цөмийн масс нь $M_{nuc} = 226.0307736$ м.а.н. Энэ цөм $Z = 88$ протон, $A - Z = 226 - 88 = 138$ нейтронтой бөгөөд массын гажилт нь:

$$\Delta m = [m_p Z + m_n (A - Z)] - M_{nuc} = 1.8535964 \text{ м.а.н.}$$

Холбоос энерги нь:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2 = 1725.698 \text{ МэВ}$$

Хувийн холбоос энерги нь:

$$\Delta \omega = \frac{\Delta W}{A} = \frac{1725.698}{226} \text{ МэВ} \approx 7.64 \text{ МэВ}$$

Жишээ 8.3

$T = 5.3$ МэВ кинетик энергитэй α бөөм ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ цөмийн урвалыг өдөөнө. Энэ урвалын энерги $+5.7$ МэВ болно. α бөөмийн хөдөлгөөний чигт тэгш өнцөг үүсгэн сугаран гарах нейтроны кинетик энергийг ол.

Бодолт:

Цөмийн урвалын үед энерги ба импульс хадгалагдах хууль биелдэг. Импульс хадгалагдах хуулийг бичээд проекцолбол:

$$\begin{aligned} m_c v_c \cdot \cos \varphi &= m_\alpha v_\alpha \\ m_c v_c \cdot \sin \varphi &= m_n v_n \end{aligned} \quad (8.17)$$

Энерги хадгалагдах хууль нь:

$$T_k^\alpha + (m_{Be} + m_\alpha) c^2 = (m_c + m + n) c^2 + T_k^n + T_k^c \quad (8.18)$$

8.17 тэгшитгэлийн хоёр талыг квадрат зэрэг дэвшүүлж нэмбэл:

$$(m_c v_c)^2 = (m_\alpha v_\alpha)^2 + (m_n v_n)^2$$

болох бөгөөд энэ тэгшитгэлийг хувиргаж

$$2m_c \frac{m_c v_c^2}{2} = 2m_\alpha \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} + 2m_n \frac{m_n v_n^2}{2}$$



хэлбэрт оруулаад $T_k = (mv)^2/2$ орлуулга хийе.

Ингэвэл:

$$m_c T_k^c = m_\alpha T_k^\alpha + m_n T_k^n \quad (8.19)$$

болно.

8.18-р тэгшитгэлээс

$$T_k^c = T_k^\alpha + (m_{Be} + m_\alpha)c^2 - (m_c + m_n)c^2 - T_k^n$$

Энд урвалын дүнд цөмүүдээс суллагдсан энерги буюу урвалын энерги нь

$$Q = (m_{Be} + m_\alpha)c^2 - (m_c + m_n)c^2$$

учир

$$T_k^c = T_k^\alpha + Q - T_k^n \quad (8.20)$$

болно. 8.20 томъёог 8.19-т орлуулж нейтроны кинетик энерги T_k^n -г олбол:

$$m_c(T_k^\alpha + Q - T_k^n) = m_\alpha T_k^\alpha + m_n T_k^n$$

$$T_k^\alpha + Q - T_k^n = \frac{m_\alpha}{m_c} T_k^\alpha + \frac{m_n}{m_c} T_k^n$$

$$T_k^\alpha \left(1 - \frac{m_\alpha}{m_c}\right) + Q = T_k^n \left(1 + \frac{m_n}{m_c}\right)$$

Эндээс

$$T_k^n = \frac{T_k^\alpha \left(1 - \frac{m_\alpha}{m_c}\right) + Q}{1 + \frac{m_n}{m_c}} = 8.3 \text{ МэВ}$$

$$T_k^c = T_k^\alpha + Q - T_k^n = 2.7 \text{ МэВ}$$



8.3 Шинжлэх даалгавар

1. Цацраг идэвхит бодисоос гардаг цацрагийн төрлүүдийг нэрлэнэ үү?
2. Цөмийн хүч хэдэн метрээс ойр зайд үйлчилдэг вэ?
3. Атомын цөмийн протоны тоо цөмийн юуг илэрхийлдэг вэ?
4. Нейтроны тоон дээр протоны тоог нэмээд ямар тоо гарах вэ?
5. Цөмийг уламжлалт аргаар дүрсэлнэ үү?
6. C^{12} нүүрстөрөгчийн нэг атомын массыг м.а.н-ээр илэрхийлнэ үү?
7. Цөмийн бүх бөөмс хоорондын цөмийн хүч нь аль зэрэг зайд үйлчилдэг юуны хүч вэ?
8. Хөнгөн тогтвортой цөмүүдийн протоны тоо нейтроныхоо тоотой ижил байх уу?
9. Цөмийн холбоос энерги гэж юуг хэлэх вэ?
10. Цөмийн дуслан загварын тодорхойлолт?
11. Цацраг идэвхит чанар гэж юу вэ?
12. Задралын тогтмол юуг илэрхийлэх вэ?
13. Задралын хурд гэж юу вэ?
14. Цөмийн хагас задралын үе гэж юу вэ?
15. Цацраг идэвхийг тодорхойлох нэгж болох 1 Кюри хэдэн Беккерельтэй тэнцүү вэ?
16. Альфа задралын томьёо бичнэ үү?
17. Нэг элементийн цөм өөрчлөгдөж өөр элементийн цөм болж хувирах процессийг ямар процесс гэх вэ?
18. Бета сөрөг задралын томьёо бичнэ үү?
19. Электрон залгилт гэж юу вэ?
20. Гамма задрал гэж юу вэ?
21. Байгалийн цацраг идэвхи?
22. Цөмийн урвал хэрхэн явагдах вэ?
23. Цөмийн массын дефект яаж үүсдэг вэ?
24. Нейтроныг удаашруулагч материал гэж юу вэ?
25. Цөмийн хуваагдал яаж явагдах вэ?
26. Цөмийн реактор нь ямар урвалыг тогтоон барьдаг вэ?
27. Хоёр хөнгөн цөм нийлж хүндэвтэр цөм үүсгэх процессийг юуны нэгдэл гэх вэ?
28. Нэг рад гэж ямар хэмжээс вэ?



29. Гейгерийн тоолуураар юуг бүртгэдэг вэ?
30. Адрон гэж юу вэ?



8.4 Тооцоот даалгавар

1. 10^{23} ширхэг цөмөөс 1 секундэд 10^{22} ширхэг цөм задардаг бол 3с-д хичнээн бөөм задрах вэ?
2. Цахилгаан саармаг атомыг бүрдүүлэгч электрон (e), протон (p), нейтрон (n) - уудын тоо ямар харьцаатай байдаг вэ?
3. Атомын шугаман хэмжээ ямар эрэмбэтэй байдаг вэ?
4. Li_3^7 хэдэн нуклонтой вэ?
5. Be_4^{11} хэдэн нейтронтой вэ?
6. α, β, γ цацарлын аль нь нэвтрэх чадвар хамгийн их вэ?
7. α, β, γ цацралын аль нь нэвтрэх чадвар хамгийн багатай вэ?
8. Цөмийн урвалын үед 1 цөм задрахад 931МэВ энерги ялгарсан бол задралын үед хорогдсон массыг ол.
9. Цөмийн урвалаар 1396МэВ энерги ялгарсан бол массын өөрчлөлтийг тодорхойл.
10. He_2^4 изотопийн холбоос энерги 28.29 МэВ массын дефектыг ол.
11. U_{235}^{92} изотопын массын дефект нь 1.916 м.а.н бол хувийн холбоос энергийг ол.
12. 90 протон ба 144 нейтроны бүрдсэн цөм 2 удаа электрон цацруулж, дараа нь альфа бөөм цацруулсан бол альфа бөөм цацруулсан бол энэ цөм хэдэн нейтрон ба протонтой болох вэ?
13. Менделеевийн үелэх системд Z дугаартай цөм бетта цацралд орж ямар дугаартай цөм болох вэ?
14. Аль нь $U_{92}^{238} \rightarrow Y_? + He_2^4$ урвалын дүнд үүсэх цөм бэ?
15. Азотын N_7^{14} цөм нейтроны шингээж протоныг цацруулав. Азотын цөм ямар цөм болон хувирах вэ?
16. $Al_{13}^{27} + \gamma$ урвалын дүнд Mg_{12}^{26} -аас гадна ямар бүтээгдэхүүн үүсэх вэ?
17. $Li_3^6 + p$ урвалын дүнд α бөөмөөс гадна ямар бүтээгдэхүүн үүсэх вэ?
18. Ямар цөмийг протоноор бөмбөгдвөл α бөөм болон Na_{11}^{22} үүсэх вэ?
19. N_7^{14} цөмийн альфа бөөмөөр буудаж урвалд оруулахад протоноос гадна ямар элементийн цөм үүсэх вэ?
20. Li_3^6 цөмийг нейтроноор бөмбөгдөхөд альфа бөөмөөс гадна хэдэн нейтрон агуулсан цөм үүсэх вэ?
21. $Li_3^6 + p$ цөмийн урвалын дүнд α бөөмөөс гадна ямар элементийн изотоп үүсэх вэ?
22. $Mn_{25}^{55} + H_1^1 \rightarrow Fe_{26}^{55} + \dots$ урвалаар үүсэх үл мэдэгдэх бөөмийг тодорхойл.
23. Аль нь цөмийн радиусыг олох томъёог бичнэ үү?



24. Цөмийн хүч ямар зайнд үйлчлэх вэ?
25. Цацраг идэвхит цөмийн 20% нь 5 секундэд задраад 10^{20} цөм задраагүй үлджээ. 10 секундын өмнө хэдэн цөм задраагүй байсан бэ?
26. Устөрөгчийн атомын 2-р орбитын радиусаас 6-р орбитын радиус хэд дахин их байх вэ?
27. Cr_{24}^{51} хагас задралын үе 28 хоног бол 42 хоногийн дараа хэдэн хувь нь задрахгүй үлдэх вэ?
28. $\lambda = 0.05c^{-1}$ задралын тогтмолтой цацраг идэвхит бодисын цөмийн тоо e дахин хорогдох хугацааг ол?
29. U_{235}^{92} изотопын массын дефект нь 0.416 м.а.н бол хувийн холбоос энергийг ол?
30. Дейтери-дейтери урвалаас чөлөөлөгдөх энергийг ол? $H_1^1 + H_1^2 = He_1^3 + H_1^1$



8.5 Тест

- ${}_{13}^{27}\text{Al}$ цөмийн нуклон ба нейтроны тоог ол.
А. 27, 13 В. 14, 13
С. 13, 27 Д. 27, 14
- Цөмийн урвалаар 1396МэВ энерги ялгарсан бол массын өөрчлөлтийг тодорхойл.
 $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 0.5м.а.н В. 1м.а.н
С. 1.5м.а.н Д. 2м.а.н
- ${}_{5}^{10}\text{B}$ изотопын дефект масс нь 0.069м.а.н бол хувийн холбоос энергийг ол.
А. 2.96МэВ В. 6.47МэВ
С. 7.96МэВ Д. 4.96МэВ
- Анх байсан цацраг идэвхт цөмүүдийн $\frac{3}{4}$ нь ямар хугацаанд задрах вэ? Хагас задралын үе Т.
А. 2Т В. Т
С. 0.5Т Д. 1.5Т
- Дараах урвалын дүнд ямар цөм үүсэх? ${}_{4}^9\text{Be} + {}_{-1}^0\text{e} \rightarrow {}_z^4\text{Y} + p$
А. ${}_{4}^{11}\text{Be}$ В. ${}_{4}^9\text{Be}$
С. ${}_{4}^{10}\text{Be}$ Д. ${}_{4}^8\text{Be}$
- ${}_{12}^{26}\text{Mg}$ цөмийн протон ба нейтроны тоог ол.
А. 12,14 В. 14,12
С. 12,26 Д. 26,12
- Цөмийн урвалаар 1862МэВ энерги ялгарсан бол массын өөрчлөлтийг тодорхойл.
 $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 0.5м.а.н В. 1м.а.н
С. 1.5м.а.н Д. 2м.а.н
- ${}_{92}^{235}\text{U}$ изотопын дефект масс нь 0.416м.а.н бол хувийн холбоос энергийг ол. $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 9.04МэВ В. 6.04МэВ
С. 7.04МэВ Д. 4.04МэВ
- Анх байсан цацраг идэвхт цөмүүдийн $1/2$ нь ямар хугацаанд задрах вэ? Хагас задралын үе Т.
А. 2Т В. Т
С. 0.5Т Д. 1.5Т
- Дараах урвалын дүнд ямар цөм үүсэх вэ?
 ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_z^A\text{Y} + {}_2^4\text{He} + n$
А. ${}_{86}^{220}\text{Rn}$ В. ${}_{86}^{223}\text{Rn}$
С. ${}_{86}^{221}\text{Rn}$ Д. ${}_{86}^{222}\text{Rn}$
- ${}_{90}^{242}\text{Th}$ цөмийн нуклоны тоог ол.
А. 90 В. 152
С. 242 Д. 100



12. ${}^4_2\text{He}$ изотопын холбоос энерги 28.29МэВ бол дефект массыг ол. $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 0.0304м.а.н В. 0.0804м.а.н
С. 0.0604м.а.н D. 0.0704м.а.н
13. ${}^6_3\text{Li}$ изотопын дефект масс нь 0.032м.а.н бол хувийн холбоос энергийг ол. $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 2.96МэВ В. 5.96МэВ
С. 7.96МэВ D. 4.96МэВ
14. $\lambda = 0.04c^{-1}$ задралын тогтмолтой цацраг идэвхт бодисын цөмийн тоо e дахин хорогдох хугацааг ол.
А. 25сек В. 20сек
С. 15сек D. 10сек
15. Дарах урвалын дүнд ямар цөм үүсэх вэ? ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^A_Z\text{Y}$
А. ${}^{14}_6\text{C}$ В. ${}^{11}_6\text{C}$
С. ${}^{12}_6\text{C}$ D. ${}^{13}_6\text{C}$
16. ${}^{234}_{94}\text{Pu}$ цөмийн нейтроны тоог ол.
А. 140 В. 94
С. 234 D. 100
17. ${}^{235}_{92}\text{U}$ изотопын холбоос энерги 1783.8 бол дефект массыг ол. $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 1.304м.а.н В. 1.804м.а.н
С. 1.916м.а.н D. 1.704м.а.н
18. ${}^{235}_{92}\text{U}$ изотопын дефект масс нь 1.916м.а.н бол хувийн холбоос энергийг ол. $c^2 = 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.н}}$
А. 9.59МэВ В. 6.89МэВ
С. 7.89МэВ D. 4.89МэВ
19. $\lambda = 0.02c^{-1}$ задралын тогтмолтой цацраг идэвхт бодисын цөмийн тоо e^2 дахин хорогдох хугацааг ол.
А. 25сек В. 100сек
С. 75сек D. 50сек
20. Дараах урвалын дүнд ямар цөм үүсэх вэ? ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^A_Z\text{Y} + {}^4_2\text{He}$
А. ${}^{230}_{90}\text{Th}$ В. ${}^{234}_{94}\text{Pu}$
С. ${}^{234}_{90}\text{Th}$ D. ${}^{238}_{94}\text{Pu}$



8.6 Бие даалтын бодлого

1. Цөмийн дундаж нягтыг олно уу.

2. Протон болон нейтроны массыг энергийн нэгжээр илэрхийлбэл $m_n = 939.6\text{МэВ}$ ба $m_p = 938.3\text{МэВ}$ болно. Үүнийг ашиглан ${}^2\text{H}$ цөмийн массыг энергийн нэгжээр илэрхийлнэ үү. Дейтроны холбоосын энерги нь $E_x = 2.2\text{МэВ}$.



3. Толин цөмүүдийн энергийн ялгаа нь зөвхөн тэдгээрийн Кулоны харилцан үйлчлэлтэй холбоотой гэж үзээд ^{23}Na , ^{24}Mg цөмүүдийн радиусыг тооцоолно уу. ^{23}Na цөмийн холбоосын энерги нь $E_1 = 186.56\text{МэВ}$, ^{24}Mg цөмийн холбоосын энерги нь $E_2 = 181.72\text{МэВ}$ болно.

4. Саармаг цөмүүдийн масс м.а.н. нэгжээр өгөгджээ.
 $^{16}\text{O} - 15.9949\text{м.а.н.}$, $^{15}\text{O} - 15.0030\text{м.а.н.}$, $^{15}\text{N} - 15.0001\text{м.а.н.}$ Эдгээр өгөгдлийг ашиглан ^{16}O цөмөөс нэг протон ба нэг нейтроныг салгахад шаардагдах энергийг олно уу.



5. Нэг нуклоны радиусыг $r_0 \approx 1.23 \cdot 10^{-23}$ см = 1.23Фм гэж үзээд ^{27}Al , ^{90}Zr , ^{238}U цөмүүдийн радиусыг ойролцоогоор бодож олно уу.

6. Атомын шумбагч хөлгийн чадал нь $P = 3.2 \cdot 10^4$ кВт бөгөөд хоногт $m = 200$ г уран хэрэглэдэг. Ураны нэг атом хуваагдахад $E_0 = 200$ МэВ энерги ялгардаг бол атомын хөдөлгүүрийн ашигт үйлийн коэффициентийг олно уу.

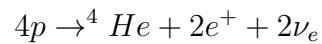


7. $m = 1\text{мг}$ масстай цацраг идэвхт цезийн ^{137}Cs изотопоос $t = 20$ хоногийн хугацаанд хэчнээн тооны атом задрах вэ? Цезийн хагас задралын үе нь $T = 30$ хоног.

8. ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$ цөмийн урвалаар ялгарах энергийн хэмжээг ол. ${}^9\text{Be}$, ${}^2\text{H}$, ${}^{10}\text{B}$ цөмүүдийн масс нь харгалзан 9.01219м.а.н. , 2.01410м.а.н. , 10.01294м.а.н. Харин нейтроны масс нь $m_n = 1.00867\text{м.а.н.}$



9. Нарнаас Дэлхийн гадаргуугийн 1см^2 талбайд 1с -д буух нейтриногийн урсгалын хэмжээг ол. Наран дээр явагдах урвалыг товчоор



гэж илэрхийлж болно. Нарны гадаргууг 6000К температуртай хар биет гэж үзэж болно. Дэлхийн орбитын радиус нь $R_e = 1.5 \cdot 10^{11}\text{м}$.

10. ${}^8\text{Be}$ цөмийг үүсгэж болох урвал 5-аас дээшийг бичнэ үү.