

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС  
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

---

**«ФИЗИКА» КАФЕДРАСИ**

**А. АБДУЛЛАЕВ, Б.А. АБДУЛЛАЕВ**

**ФИЗИКАДАН МАСАЛАЛАР ТЎПЛАМИ**

**2-ҚИСМ**

**(Электромагнетизм, оптика ва атом физикаси)**

**Гулистон – 2019 йил**

**Муаллифлар: техника фанлари номзоди, доцент А.Абдуллаев,  
катта ўқитувчи Б. Абдуллаев**

Ушбу ўқув қўлланмада умумий физика курсининг электромагнетизм, оптика ва атом физикаси бўлимлари бўйича талабаларнинг амалий машғулотларда фойдаланиши учун масалалар келтирилган. Ўқув қўлланманинг асосий мақсади бакалавр йўналишлари бўйича таълим олаётган талабаларнинг физика курсини чуқур ўзлаштириши, малакасини ошириши, илмий фаоллигини ривожлантириш ва уларнинг мустақил фикрлаш жараёнини такомиллаштиришга қаратилган. Шу билан бирга ўқув қўлланмада ҳар бир мавзу бўйича физик тушунча ва қонунларга қисқача назарий маълумот ва алоҳида масалалар ечишга оид намуналар берилган.

Мазкур қўлланма олий ўқув юртлари, жумладан математика, озиқ-овқат йўналишлари бўйича таълим олувчи бакалаврлар учун мўлжалланган

**Тақризчи:**

**Гулистон давлат университети  
Физика кафедраси доц, ф-м.ф.н. Р. Элмуродов**

Ушбу ўқув қўлланма «Физика» кафедрасининг мажлисида чоп этишга тавсия қилинган (\_\_\_\_-сонли баённома, \_\_\_\_\_201\_\_ йил). Университет Илмий-услубий Кенгаши мажлисида ( \_\_\_\_-сонли баённома, \_\_\_\_\_ 201\_\_ йил) тасдиқланган.

## М У Н Д А Р И Ж А

Кириш.....	3
1-боб. Электромагнетизм.....	4
1-§. Ўзгармас токнинг магнит майдони. Био-Савар –Лаплас қонуни.....	4
2-§. Токли ўтказгич магнит майдонида. Ампер кучи. Лоренц кучи. Параллел тоқларнинг ўзаро таъсири.Магнит оқими.....	18
3-§. Электромагнит индукция ҳодисаси. Ўзиндукция. Индуктивлик.....	25
4-§. Ўзгарувчан ток. Электромагнит тебранишлар ва тўлқинлар.....	
2-боб. Оптика.....	32
5-§. Геометрик оптика.....	32
6-§. Ёруғлик тўлқининг интерференцияси.....	
7-§. Ёруғлик дифракцияси.....	
8-§. Ёруғликнинг қутбланиши.....	
3-боб. Квант оптикаси.....	42
9-§. Иссиқлик нурланиши қонунлари.....	
10-§. Ёруғликнинг квант табиати ва заррачаларнинг тўлқин хоссалари.....	
11-§. Фотоэлектрик ҳодиса. Комптон эффекти.....	
4-боб. Атом физикаси.....	54
12-§. Бор назарияси бўйича водород атоми.....	
13-§. Рентген нурланиши.....	
5-боб. Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси.....	
14-§. Атом ядроларининг тузилиши. Радиоактивлик.....	
15-§. Масса дефекти ва атом ядроларининг боғланиш энергияси.....	
16-§. Ядро реакциялари. Элементар зарралар.....	
Физик катталиқлар жадвали.....	66
Жавоблар.....	70
Адабиётлар.....	89

## 1-боб

## Электромагнетизм

## 1-§. Ўзгармас токнинг магнит майдони. Био-Савар –Лаплас қонуни

Қўзғалмас заряд атрофида электр майдон ҳосил бўлса, ҳаракатдаги заряд ёки токли ўтказгич атрофида магнит майдони вужудга келади. Магнит майдонининг асосий характеристикаси индукция вектори  $\vec{B}$  бўлиб, у магнит майдонига киритилган  $I$  – токли синов ясси контурга,  $\vec{M}$  - таъсир этувчи куч моменти ёки айлантирувчи моментини, магнит моменти  $P$  га нисбатига тенг:

$$\vec{B} = \frac{\vec{M}}{\vec{P}} \quad (1)$$

бу ерда  $\vec{P} = IS\vec{n}$  бўлиб,  $S$  - токли контур юзи,  $\vec{n}$  - контур сиртига тик ўтказилган бирлик вектор.

$I$  - ток ўтаётган ихтиёрий шаклдаги ўтказгичнинг  $d\ell$  узунликдаги элементи,  $\vec{r}$  масофада жойлашган нуқтада ҳосил қилган магнит майдон индукцияси Био-Савар-Лаплас қонунига асосан аниқланади:

$$dB = \frac{\mu\mu_0 Id\ell}{4\pi r^2} \sin \alpha \quad (2)$$

бу ерда  $r$  - ток элементи  $Id\ell$  дан майдон индукцияси аниқланаётган нуқтага ўтказилган радиус-вектор модули.  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  бўлиб, магнит доимийсидир,  $\mu$  - муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги, ҳаво учун  $\mu = 1$  га тенг.  $\ell$  - узунликдаги токли ўтказгичнинг магнит майдон индукцияси  $\vec{B}$  ҳар бир ток элементлари ҳосил қилган  $d\vec{B}_i$  магнит индукцияларининг йиғиндисига тенг:

$$\vec{B} = \int_l d\vec{B} \quad (3)$$

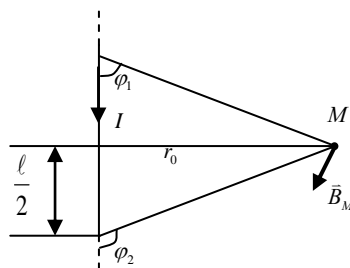
Био-Савар-Лаплас қонунининг татбиқлари:

1. Чекли  $\ell$  узунликдаги токли ўтказгичнинг бирор  $M$  нуқтадаги магнит майдони индукцияси  $\vec{B}$  нинг модули (1-расм).

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (4)$$

Ўтказгич чексиз узунликка эга бўлганда  $M$  нуқтадаги магнит майдон индукцияси модули ( $\varphi_1 \rightarrow 0$ ;  $\varphi_2 \rightarrow 180^\circ$ )

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r_0} \quad (5)$$



2.  $R$  - радиусли айланма ток марказидаги магнит майдон индукцияси:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2 R} \quad (6)$$

$R$  - радиусли айланма ток текислигидан, унинг ўқидан бирор “ $a$ ” масофада жойлашган нуктадаги магнит майдон индукцияси:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2 (R^2 + a^2)^{3/2}} \quad (7)$$

3. Чексиз узунликдаги соленоид ўқида жойлашган  $M$  нуктадаги магнит майдон индукцияси.

$$B = \mu_0 \mu n I = \mu_0 \mu \frac{N}{\ell} I \quad (8)$$

бу ерда  $n$  - соленоиднинг узунлик бирлигига тўғри келган ўрамлар сони  $n = \frac{N}{\ell}$ ,  $N$  - соленоиддаги барча ўрамлар сони,  $\ell$  эса унинг узунлиги.

### ***Масалалар ечиш намуналари.***

1. Томонлари  $2 \text{ см}$  бўлган квадрат шаклидаги юкли рамка индукцияси  $B = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$  бўлган магнит майдонида жойлашган. Индукция чизиқлари рамка текислигига ўтказилган нормал билан  $30^\circ$  бурчак ташкил қилади. Рамкадан ўтаётган ток кучи  $I \text{ А}$ . Рамканинг магнит моменти ва майдоннинг айлантирувчи моменти аниқланг.

Берилган:

$$a = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$I = 1 \text{ А}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

---


$$P_m = ? \quad M_m = ?$$

*Ечиш.*

Токли рамканинг магнит моменти  $P_m$  қуйидаги формуладан аниқланади.  
 $S$  - рамка юзи, у масала шартига кўра  $a^2$  га тенг, демак,

$$P_m = I \cdot a^2$$

$$P_m = 1 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Ампер қонунига асосан магнит майдон токли рамкага жуфт куч билан таъсир этади. Натижада рамка магнит майдонида бурила бошлайди ва айлантирувчи момент  $M_m$  вужудга келади, яъни:

$$M_m = P \cdot B \cdot \sin \varphi$$

$$\text{хисоблаш: } M_m = 4 \cdot 10^{-4} \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot \sin 30^\circ = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} 0,5 = 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Диаметри  $D = 1 \text{ мм}$  бўлган мис симдан радиуси  $r_0 = 20 \text{ см}$  ли айланма ток ясалган. Агар симнинг учларига  $20 \text{ В}$  кучланишли ток манбаи уланган (2-расм)

бўлса, унинг марказида ҳосил бўлган магнит майдон индукциясининг йўналиши ва сон миқдорини аниқланг.

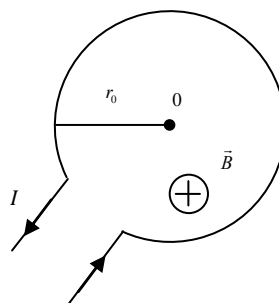
Берилган:

$$r_0 = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$D = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

$$U = 20 \text{ В}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$



---


$$B = ?$$

Ечиш:

Био-Савар-Лаплас қонунининг татбиқларига асосан айланма ток марказидаги магнит майдон индукцияси қуйидаги формуладан топилади:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 r_0} \quad (1)$$

бу ерда  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ;  $I$ - ўтказгичдан ўтаётган ток кучи ва  $r_0$  - айланма ток радиуси. Ом қонунига асосан ток кучи,

$$I = \frac{U}{R} \quad (2)$$

бунда  $R$  - ўтказгич қаршилиги бўлиб,

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \quad (3)$$

га тенг:  $\ell$  - ўтказгич узунлиги ( $2\pi \cdot r_0$ ),  $S$  – ўтказгичнинг қўндаланг кесимининг юзи ( $S = \pi D^2 / 4$ )

Шундай қилиб, (1) формула қуйидаги кўринишга келади:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 r_0} = \frac{\mu_0 U D^2}{16 \cdot \rho r_0^2}$$

Ҳисоблаш:

$$B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{16 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,2 \cdot 0,2} \text{ Тл} = \frac{3,14 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 1,7} \text{ Тл} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

Индукция вектори  $\vec{B}$  нинг бирлигини келтириб чиқарайлик:

$$[B] = \frac{[\mu_0] [U] [D^2]}{[\rho] [r_0^2]} = \frac{\text{Гн/м} \cdot \text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{В}}{\text{А} \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}^2} = \text{Тл}$$

## Масалалар

1.1.  $I = 12 \text{ А}$  ток ўтаётган, томонлари  $a = 20 \text{ см}$  ва  $b = 30 \text{ см}$  дан бўлган тўғри тўртбурчак шаклидаги контурнинг магнит моменти  $P_m$  ни топинг.

$$P_m = 0,72 \text{ А} \cdot \text{м}^2$$

1.2. Агар  $I=1,0\text{ А}$  ток кучида  $S=1,0\text{ см}^2$  юзали рамкага таъсир қилаётган максимал айлантирувчи куч моменти  $M_{\max}=5\cdot 10^{-4}\text{ Н}\cdot\text{м}$  га тенг бўлса, магнит майдон индукциясини аниқланг. Рамкага  $N=100$  ўрам сим ўралган.  $B=50\text{ мТл}$

1.3. Индукцияси  $B=0,2\text{ Тл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонда  $r=20\text{ см}$  радиусли, ўрамлар сони  $N=75$  бўлган юпқа ғалтак турибди. Агар ғалтак ўрамлари орқали  $I=8\text{ А}$  ток ўтаётган бўлса, ғалтакнинг магнит моменти  $P_m$  ва ғалтакка таъсир этувчи айлантирувчи куч моменти нимага тенг бўлади. Ғалтак текислигига ўтказилган нормаль  $\vec{n}$  билан  $\vec{B}$  орасидаги бурчак  $\alpha=30^\circ$ .

$$P_m = 170\text{ А}\cdot\text{м}^2, \quad M = 17\text{ Н}\cdot\text{м}$$

1.4.  $\ell=20\text{ см}$  узунликдаги симдан 1) квадрат, 2) доира шаклида контурлар ясалган. Индукцияси  $B=0,1\text{ Тл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонига жойлаштирилган контурларнинг ҳар бирига таъсир этувчи кучларнинг айлантириш моменти  $M_1$  ва  $M_2$  топилсин. Контурдан  $I=2\text{ А}$  ток ўтади. Ҳар бир контур текислиги магнит майдони йўналиши билан  $\alpha=45^\circ$  бурчак ташкил қилади.

$$M_1 = 3,53\cdot 10^{-4}\text{ Н}\cdot\text{м}, \quad M_2 = 4,5\cdot 10^{-4}\text{ Н}\cdot\text{м}$$

1.5.  $I=10\text{ А}$  ток ўтаётган чексиз узун ўтказгичдан  $r=2\text{ см}$  ўзоқликда бўлган нуқтадаги магнит майдоннинг индукцияси  $B$  ва кучланганлиги  $H$  топилсин.

$$B = 5\cdot 10^{-5}\text{ Тл}, \quad H = 39,8\text{ А/м}$$

1.6. Ҳавода жойлашган чексиз узун ўтказгичдан  $r=10\text{ см}$  ўзоқликдаги нуқтада магнит майдоннинг индукцияси  $B=4\cdot 10^{-6}\text{ Тл}$  бўлса, ўтказгичдан ўтаётган ток кучи  $I$  топилсин.

$$I=2\text{ А}$$

1.7. Чексиз узун ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи  $I=4\text{ А}$  бўлса, ўтказгичдан қандай  $r$  ўзоқликдаги нуқтада магнит майдон индукцияси  $B=1,6\cdot 10^{-5}\text{ Тл}$  бўлади.

$$r = 5\cdot 10^{-2}\text{ м}$$

1.8.  $I=1\text{ А}$  ток ўтаётган, радиуси  $R=1\text{ см}$  бўлган доиравий сим ўрами марказидаги магнит майдонининг индукцияси  $B$  ва кучланганлиги  $H$  топилсин.

$$B = 6,28\cdot 10^{-5}\text{ Тл}, \quad H = 50\text{ А/м}$$

1.9.  $R=6\text{ см}$  радиуси айланма токнинг марказида магнит майдоннинг индукцияси  $B=2,5\cdot 10^{-4}\text{ Тл}$  бўлса, айланма ток марказидаги магнит майдон кучланганлиги  $H$  ва ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи  $I$  ни топинг.

$$H = 200\text{ А}, \quad I = 24\text{ А}$$

1.10. Айланма ток марказида магнит майдоннинг кучланганлиги  $H=240\text{ А/м}$  ни ташкил қилади. Агар ўтказгичдан ўтаётган токнинг кучи  $I=12\text{ А}$  бўлса, айланма ўтказгичнинг радиуси  $R$  ва айланма ток марказидаги магнит майдоннинг индукцияси  $B$  ни топинг.

$$R = 2,5\text{ см}, \quad B = 3\cdot 10^{-4}\text{ Тл}$$

1.11. Радиуси  $R=16\text{ см}$  бўлган жуда калта ғалтак чўлғамида  $I=5\text{ А}$  оқади. Агар ғалтак марказидаги магнит майдоннинг кучланганлиги  $H=800\text{ А/м}$  бўлса, ғалтакдаги урамалар сони  $N$  қанча.

$$N=51$$

1.12. 1.1-расмда токли чексиз узунликдаги иккита тўғри ўтказгичнинг кесими тасвирланган. Ўтказгичлар  $AB$  оралиғи  $10\text{ см}$ ,  $I_1=20\text{ А}$ ,  $I_2=30\text{ А}$ ,  $M_1A=2\text{ см}$ ,  $M_2A=4\text{ см}$  ва  $BH_3=3\text{ см}$ ,  $I_1$  ва  $I_2$  тоқларнинг  $M_1$ ,  $M_2$  ва  $M_3$  нуқталарда ҳосил бўладиган магнит майдон кучланганликлари  $H_{M1}$ ,  $H_{M2}$ ,  $H_{M3}$  топилсин.

$$H_{M1}=120\text{ А/м}, \quad H_{M2}=159\text{ А/м}, \quad H_{M3}=135\text{ А/м}$$

1.13. Иккита узун параллел сим бир-биридан  $r = 5$  см масофада турибди. Симларнинг ҳар биридан қарама-қарши йўналишларда  $I=10$  А дан ток оқмоқда. Ўтказгичларнинг биридан  $r_1=2$  см ва бошқасидан  $r_2=3$  см масофада турган нуқтадаги магнит майдон кучланганлиги  $H$  топилсин.  $H=132$  А/м

1.14. Иккита узун параллел сим орасидаги масофа  $d=5$  см. Симларнинг ҳар биридан бир хил йўналишда  $I=30$  А ток оқмоқда. Симларнинг биридан  $r_1=4$  см ва бошқасидан  $r_2=3$  см масофада турган нуқтадаги магнит майдон кучланганлиги  $H$  топилсин.  $H=200$  А/м

1.15. 1.2-расмда токли чексиз узунликдаги учта тўғри ўтказгичнинг кесими тасвирланган. Оралиқлар:  $AB=BC=5$  см.  $I_1=I_2=I$ ,  $I_3=2I$ . АС чизикдаги  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  тоқларнинг ҳосил қилган магнит майдон кучланганлиги нолга тенг бўлган нуқта топилсин.

Магнит майдон кучланганлиги нолга тенг

Жавоб: бўлган нуқта А дан 3,3 см ўзоқликдаги  $I_1$ ,  $I_2$  нуқталар орасида бўлади.

1.16. Иккита узун параллел ўтказгич бир-биридан 10 см ўзоқликда жойлашган. Ўтказгичлардан қарама-қарши йўналишда  $I_1=I_2=5$  А ток ўтмоқда. Ҳар бир ўтказгичдан 10 см нарида турган нуқтадаги магнит майдон кучланганлиги  $H$  нинг қиймати ва йўналиши топилсин.  $H=8$  А/м Магнит майдон кучланганлиги икала сим орқали ўтувчи текисликка перпендикуляр йўналган.

1.17. Кўндаланг кесими  $S=1,0$  мм<sup>2</sup> бўлган мис симдан қилинган ҳалқа орқали ўтаётган  $I=20$  А ток ҳалқанинг марказида кучланганлиги  $H=178$  А/м га тенг магнит майдон ҳосил қилади. Ўтказгичнинг учлари қандай потенциаллар айирмасига уланганлиги топилсин.  $U = \frac{\pi \rho \ell^2}{S H} = 0,12$  В

1.18. Магнит майдон индукциялари  $B = 0,3$  Тл ва  $B_2 = 0,4$  Тл бўлган ўзаро ток йўналган иккита бир жинсли магнит майдонлар қўшилганда, натижавий майдоннинг магнит индукцияси неча тесла бўлади.

1.19. Ўзаксиз соленоиднинг ўрамлари сони  $N=620$  узунлиги  $\ell = 30$  см ва ундан ўтаётган токнинг кучи  $I=5$  А, бўлса, солениод ичидаги магнит майдоннинг индукцияси  $B$  ва кучланганлиги  $H$  топилсин.

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}, \quad H = 4 \cdot 10^3 \text{ А/м}$$

1.20. Узун тўғри соленоид ўрамлари бир-бирига зич жиписланиб турадиган қилиб, диаметри  $d=0,6$  мм бўлган симдан ўралган, ток кучи  $I=4$  А бўлганда соленоид ичидаги магнит майдон индукцияси қандай бўлади.

1.21.  $\ell = 30$  см узунликдаги ғалтак  $N=1000$  ўрамдан иборат. Ғалтакдан ўтаётган ток кучи  $I=2$  А га тенг бўлса, ғалтак ичидаги магнит майдон кучланганлиги  $H$  топилсин. Ғалтак диаметрини унинг узунлигига нисбатан кичик деб ҳисоблансин.  $H=6,67$  кА/м

1.22. Ғалтакка ўралган сим диаметри  $d=0,8$  мм. Ўрамалр бир-бирига зич жойлашган. Ғалтакни етарли узун деб ҳисоблаб, ток кучи  $I=1$  А бўлганда ғалтак ичидаги магнит майдоннинг кучланганлиги  $H$  топилсин.  $H=1,25$  кА/м



1.23. Агар  $N=600$  ўрамли соленоиддан  $I=4$  А ток ўтаётганда унинг ичида  $B=1\cdot 10^{-2}$  Тл индукцияли магнит майдон ҳосил бўлса, соленоиднинг узунлиги  $\ell$  қандай бўлади.  $\ell = 0,15$  см

1.25. Ўзаксиз соленоиддан  $I=4,8$  А ток ўтаётганда унинг ичида  $B=1,2\cdot 10^{-2}$  Тл индукцияли магнит майдон ҳосил бўлади. Соленоиднинг узунлик бирлигига мос келган ўрамлар сони  $n$  топилсин.  $n = 2\cdot 10^3$  урам/м

**2-§. Токли ўтказгич магнит майдонида. Ампер кучи.  
Лоренц кучи. Параллел тоқларнинг ўзаро таъсири.  
Магнит оқими.**

Магнит майдонида жойлашган токли ўтказгичга таъсир этувчи куч майдон индукцияси  $\vec{B}$  га, ўтказгичдаги ток кучи  $I$  га, ўтказгичнинг узунлиги  $\ell$  га ҳамда ток йуналиши билан магнит майдон  $\vec{B}$  йўналиши орасидаги бурчак синусига пропорционалдир (Ампер қонуни):

$$dF = B I d\ell \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

$I$  ток ўтаётган ўтказгичнинг  $d\ell$  элементида индукцияси  $\vec{B}$  бўлган магнит майдони томонидан таъсир этадиган куч (Ампер кучи):

$$d\vec{F} = I[d\vec{\ell} \cdot \vec{B}] \quad (2)$$

Индукцияси  $\vec{B}$  бўлган бир жинсли магнит майдонида  $\vec{v}$  тезлик билан ҳаракатланаётган  $q$  зарядга таъсир этадиган Лоренц кучи:

$$\vec{F} = q[\vec{v}, \vec{B}] \quad (3)$$

$$F = qv \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

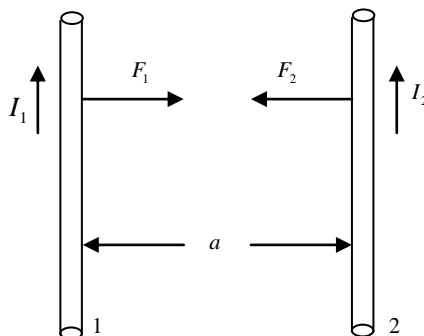
$\vec{v}$  тезлик билан ҳаракат қилаётган зарядли заррачанинг бирор  $M$  нуктада ҳосил қилган магнит майдон индукциясининг модули:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu q \vec{v}}{4\pi r^2} \sin \varphi \quad (5)$$

Агар зарядли заррача бир вақтда электр ҳамда магнит майдонида ҳаракатланса, унга қуйидаги куч таъсир қилади:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v}[\vec{B}] \quad (6)$$

Вакуумда жойлашган чексиз узун иккита параллел  $I_1$  ва  $I_2$  тоқли ўтказгичларнинг узунлик birlikлари орасидаги ўзаро таъсир кучи (3-расм).



$$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 \ell}{2\pi a} \quad (7)$$

Бу ерда  $a$  - ўтказгичлар орасидаги масофа. Элементлар юзани кесиб ўтаётган магнит индукция векторнинг оқими:

$$d\Phi = B \cdot dS \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

бу ерда  $\varphi$  юзага ўтказилган  $\vec{n}$  нормал билан  $\vec{B}$  вектор орасидаги бурчак.

### Масалар ечиш намуналари

1. Бир-биридан  $r = 8,7 \text{ см}$  масофада жойлашган ҳар бирининг узунлиги  $\ell = 320 \text{ см}$  дан бўлган симдан бир хил йўналишда ва бир хил қийматда ток ўтади. Бу симлар  $F = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$  куч билан тортишади. Симлардан ўтаётган ток кучи топилсин.

*Берилган*  
 $r = 8,7 \text{ см} = 8,7 \cdot 10^{-2} \text{ м};$   
 $F = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$   
 $\ell = 320 \text{ см} = 3,2 \text{ м}$

---

$I = ?$

*Ечиш:*

Масалани шартига кўра  $r \ll \ell$  бўлгани сабабли ўтказгичларни чексиз узун дейиш мумкин. Био-Савар-Лаплас қонунидан фойдаланамиз,  $I_1$  токни ҳосил қилган магнит майдон индукцияси  $B_1$ .

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi r}$$

Ампер қонунига асосан  $I_2$  - ток ўтаётган симга  $F_2 = I_2 B_1 \ell$  куч таъсир этади. Биринчи тенгламани эътиборга олсак

$$F_1 = I_2 \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi r} \ell$$

масала шартига кўра:  $I_1 = I_2 = I$  демак

$$F_2 = \frac{\mu_0 \mu I^2 \ell}{2\pi r}, \quad \text{бунда} \quad I = \sqrt{\frac{2\pi r F_2}{\mu_0 \mu \ell}}$$

сон қийматларини қўямиз

$$I = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,7 \cdot 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 3,2}} = \sqrt{\frac{15,7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^7}{40,2}} = 62,5 \text{ А}$$

2. Бир жинсли магнит ва электр майдонлар ўзаро перпендикуляр жойлашган. Электр майдонининг кучланганлиги  $E = 0,5 \text{ кВ/м}$ , магнит майдонининг индукцияси эса  $B = 1,0 \text{ мТл}$ . Электрон тўғри чизиқли ҳаракатланиш учун бу майдонларга қайси йўналишда ва қандай тезлик билан учиб кириши керак? Электр майдон ўчирилса электрон қандай ҳаракат қилади ва ҳаракат траекториясининг эгрилик радиуси нимага тенг бўлади

Берилган :

$$E = 0,5 \text{ кВ/м} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}$$

$$B = 1,0 \text{ мТл} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

Ечилиш :

Электронга магнит ва электр майдонида куйидаги кучлар таъсир этади.

---


$$v - ?, R - ?$$

$$F_{эл} = eE, \quad F_{маг} = F_{л} = evB \sin \alpha$$

Электрон тўғри чизикли ҳаракат қилиши учун электр ва магнит майдонга тик равишда ҳаракат қилиши керак ва электронга таъсир этаётган кучлар ўзаро тенг бўлиши керак

$$F_{маг} - F_{эл} = 0, \quad F_{л} = F_{эл}$$

$$eE = evB, \quad \sin \alpha = 1$$

$$v = \frac{E}{B} = \frac{0,5 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

Электрон магнит майдонида ҳаракатланганда Лоренц кучи таъсир этади.

$$F_{л} = evB$$

Электронни тезлиги магнит майдон индукция векторига тик бўлгани учун электрон магнит майдонида айлана бўйлаб ҳаракат қилади. Ньютоннинг 2-қонунига асосан

$$F_{л} = ma_{м.и}, \quad a_{м.и} = \frac{v^2}{R}, \quad evB = \frac{mv^2}{R}$$

бундан 
$$R = \frac{mv^2}{evB} = \frac{mv}{eB} = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 0,5 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,0 \cdot 10^{-3}} = 2,84 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

## Масалалар

2.1. Токли ўтказгич индукцияси  $B = 20 \text{ мТл}$  га тенг бўлган бир жинсли магнит майдонда жойлашган. Агар ўтказгичнинг узунлиги  $\ell = 0,1 \text{ м}$ , ток кучи  $I = 3,0 \text{ А}$ , токнинг йўналиши ва  $\vec{B}$  вектор орасидаги бурчак  $\alpha = 45^\circ$  га тенг бўлса, ўтказгичга таъсир этаётган кучни аниқланг.  $F = 4,2 \text{ мН}$

2.2. Электромагнит кутблари орасида индукцияси  $B = 0,1 \text{ Тл}$  бўлган бир жинсли магнит майдони ҳосил бўлади. Майдон куч чизикларига тик ўрнатилган  $\ell = 70 \text{ см}$  узунликдаги симдан  $I = 70 \text{ А}$  ўтади. Симга таъсир қилувчи куч топилсин.  $F = 4,9 \text{ Н}$

2.3. Магнит майдон куч чизиклари йўналишига  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида жойлашган  $\ell = 0,25 \text{ м}$  узунликдаги тўғри ўтказгичга  $F = 3 \text{ Н}$  куч таъсир қилади. Агар ўтказгичдаги ток кучи  $I = 30 \text{ А}$  бўлса, магнит майдон индукцияси  $B$  топилсин.  $B = 0,8 \text{ Тл}$

2.4. Узунлиги  $\ell = 25 \text{ см}$  ва массаси  $m = 4 \text{ г}$  бўлган горизонтал жойлашган ўтказгичдан  $I = 12 \text{ А}$  ток ўтмоқда. Оғирлик кучи  $P$  Ампер кучи  $F_A$  билан мувозанатлашган. Магнит майдон индукцияси  $B$  ни топинг.  $B = 1,31 \cdot 10^{-2} \text{ Тл} = 0,131 \text{ мТл}$

2.5.  $\ell = 25 \text{ см}$  узунликка эга бўлган ўтказгич  $B = 0,4 \text{ Тл}$  индукцияли бир

жинсли магнит майдонга  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида жойлашган. Ўтказгич орқали  $I=20$  А ток ўтмоқда. Ўтказгични магнит майдонга перпендикуляр равишда  $x=25$  см масофага кўчиришда бажарилган ишни аниқланг.  $A = IB\ell \sin \alpha = 0,30$  Ж.

2.6. Узунлиги  $\ell = 8$  см, ток кучи  $I=50$  А бўлган токли ўтказгич индукцияси  $B=20$  мТл га тенг бир жинсли магнит майдонида силжиганда  $A=8$  мЖ иш бажарилди. Агар силжиш индукция вектори  $\vec{B}$  йўналишига  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида рўй берган бўлса, ўтказгичнинг қанча масофага силжишини топинг.

$$x = I \text{ см}$$

2.7. Доиравий контур текислиги магнит майдон куч чизиқлари билан  $90^\circ$  бурчак ташкил этадиган қилиб ўрнатилган. Магнит майдонининг кучланганлиги  $H=150$  кА/м. Контурнинг радиуси  $R=2$  см бўлиб, ундан  $I=2$  А ток ўтади. Контурни шу контур диаметрига мос келувчи ўқ атрофида  $\varphi = 90^\circ$  га буриш учун қанча иш бажариш керак.  $A=0,5$  мЖ

2.8. Индукцияси  $B=0,5$  Тл бўлган магнит майдонида  $\ell = 20$  см узунликдаги ўтказгич текис ҳаракат қилади. Ўтказгичдан  $I=2$  А ўтади. Ўтказгичнинг ҳаракат тезлиги  $v = 20$  см/с ва магнит майдон йўналашига тик йўналган. 1) ўтказгич  $t=10$  сек давомида ҳаракат қилгандаги бажарган  $A$  иши ва 2) шу ҳаракатга сарфланган  $P$  қувват топилсин.  $A=0,2$  Ж.,  $P=20$  мВт

2.9. Иккита параллел симдан қарама-қарши йўналишда  $I=500$  А дан ток ўтмоқда. Агар симлар орасидаги масофа  $r=20$  мм бўлса, симларнинг ҳар метри ( $\ell = 1$  м) га таъсир қилувчи  $F$  кучни топинг.  $F=2,5$  Н

2.10. Икки параллел чексиз узун тўғри ўтказгич вакуум ( $\mu = 1$ ) да бир-биридан  $r=40$  см масофада жойлашган. Агар уларнинг биридан  $I_1=12$  А, иккинчисидан эса  $I_2=18$  А ток ўтаётган бўлса, симларнинг узунлик бирлигига таъсир қилувчи куч  $F/\ell$  топилсин.  $F/\ell = 1,08 \cdot 10^{-4}$  Н/м

2.11. Иккита тўғри узун ўтказгич бир-биридан  $r_1=10$  см ўзоқликда жойлашган. Ўтказгичлардан бир хил йўналишда  $I_1=20$  А ва  $I_2=30$  А ток ўтади. Ўтказгичларни  $r_2=20$  см ўзоқликкача силжитишда (ўтказгичнинг узунлик бирлиги учун) қанча  $A$  иш бажарилади.

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F dx = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 \ell}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi} \ell \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{ва ўтказгичнинг узунлик}$$

$$\text{бирлигига тўғри келган иш} \quad \frac{A}{\ell} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{x_2}{x_1} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ Ж/м}$$

2.12. Протон индукцияси  $B=6,3$  мТл бўлган бир жинсли магнит майдон куч чизиқларига тик равишда  $v = 10$  м/с тезлик билан кирган. Унга таъсир қилувчи Лоренц кучи  $F_L$  топилсин. Протон заряди электрон зарядига тенг.

2.13.  $v = 4$  м/с тезлик билан бир жинсли магнит майдон индукция чизиқларига нисбатан  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида учиб кирган электронга таъсир этувчи Лоренц кучи  $F_L$  аниқлансин. Магнит майдон индукцияси  $B=0,2$  Тл.

$$F_L = 64 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$$

2.14. Индукция чизикларига тик йўналишда  $v=1\text{ км/с}$  тезлик билан ҳаракатланаётган  $q=0,4\text{ Кл}$  зарядга таъсир қилаётган Лоренц кучи  $F_L=8\text{ Н}$  га тенг бўлса, магнит индукцияси нимага тенг.  $B=2\cdot 10^{-2}\text{ Тл}$

2.15. Индукцияси  $B=1\text{ мТл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонда  $R=1,5\text{ см}$  радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланаётган электроннинг тезлиги  $v$  топилсин. Электроннинг массаси  $m=9,1\cdot 10^{-31}\text{ кг}$ , заряди  $e=1,6\cdot 10^{-19}\text{ Кл}$ .

$$v=2,6\cdot 10^6\text{ м/с}$$

2.16. Агар протоннинг тезлиги  $v=2\text{ мм/с}$  бўлса, протоннинг  $B=15\text{ мТл}$  индукцияли магнит майдонида чизадиган айланаси ёйининг радиуси  $R$  топилсин.  $R=1,38\text{ м}$

2.17.  $U=10^3\text{ В}$  потенциаллар айирмаси билан тезлаштирилган электрон ҳаракати йўналишиги перпендикуляр бўлган бир жинсли магнит майдонига учиб киради. Магнит майдоннинг индукцияси  $B=1,19\cdot 10^{-3}\text{ Тл}$ . 1) электрон траекториясининг эгрилик радиуси, 2) электроннинг айлана бўйлаб айланиш даври, 3) электрон ҳаракат микдорининг моменти топилсин.

$$R=9\cdot 10^{-2}\text{ м}, \quad T=3\cdot 10^{-8}\text{ с}=0,3\text{ нс}, \quad L=1,5\cdot 10^{-24}\text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$$

2.18.  $U=300\text{ В}$  потенциаллар айирмаси билан тезлаштирилган электрон  $r=4\text{ мм}$  ўзоқликдаги тўғри узун симга параллел равишда ҳаракатланади. Симдан  $5\text{ А}$  ток ўтса, электронга қандай куч таъсир этади.  $F=4\cdot 10^{-16}\text{ Н}$

2.19. Электрон индукцияси  $B=4\text{ мТл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонда ҳаракатланмоқда. Электроннинг айланиш даври  $T$  ни топинг.

$$T=\frac{2\pi m}{qB}=8,9\text{ нс}$$

2.20. Электрон магнит майдон куч чизикларига тик равишда учиб киради. Электроннинг тезлиги  $v=4\cdot 10^7\text{ м/с}$ , магнит майдон индукцияси  $B=1\text{ мТл}$ . Магнит майдонида электроннинг тангенциал ва нормал тезланишлари қанчага тенг бўлади.  $a_n=7\cdot 10^{15}\text{ м/с}^2$ ,  $a_t=0$

2.21. Бир жинсли электр майдон ва бир жинсли магнит майдон ўзаро перпендикуляр жойлашган. Электр майдон кучланганлиги  $E=1\text{ кВ/м}$ , магнит майдон индукцияси  $B=1\text{ мТл}$ . Электроннинг ҳаракати тўғри чизикли бўлиши учун унинг тезлигининг йўналиши ва катталиги қандай бўлиши лозим.

$$v=1000\text{ км/с}$$

2.22. Электрон  $B=0,1\text{ Тл}$  индукцияли бир жинсли магнит майдонда индукция чизикларига тик йўналишда ҳаракатланмоқда. Агар траекториянинг эгрилик радиуси  $R=0,5\text{ см}$  бўлса, майдон томонидан электронга таъсир этаётган  $F_L$  кучи аниқлансин.

$$F=\frac{B^2 q^2 R}{m}=1,4\cdot 10^{-12}\text{ Н}$$

2.23. Электрон тинч ҳолатдан  $U=220\text{ В}$  потенциаллар айирмаси билан тезлаштирилгандан кейин индукцияси  $B=5\cdot 10^{-3}\text{ Тл}$  бўлган бир жинсли магнит

майдонга учиб кирали ва радиуси  $R = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$  бўлган доиравий траектория бўйлаб ҳаракатланади. Агар электроннинг заряди  $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ , бўлса унинг массасини топинг.

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

2.24.  $v = 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  тезликка эга бўлган зарядланган зарра  $B = 0,52 \text{ Тл}$  индукцияли бир жинсли магнит майдонга учиб кирди. Агар зарра майдонда  $R = 4 \text{ см}$  радиусли айлана ёйини ясаб ҳаракатланса, зарра зарядининг массасига нисбати  $\frac{q}{m}$  топилсин.

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{RB} = 96,2 \text{ МКл/кг}, \text{ протон ва антипротон}$$

2.25.  $U = 2 \text{ кВ}$  тезлаштирувчи потенциаллар фарқини ўтган зарядланган зарра  $B = 15,1 \text{ мТл}$  индукцияли бир жинсли магнит майдонда радиуси  $R = 1 \text{ см}$  бўлган айлана бўйлаб ҳаракатланмоқда. Зарра зарядининг массасига нисбати  $\frac{q}{m}$

ва зарранинг тезлиги  $v$  топилсин.

$$\frac{q}{m} = 175 \text{ ГКл/кг}, \quad v = 26,5 \text{ мм/с}$$

2.26. Индукцияси  $B = 1 \text{ Тл}$  бўлган магнит майдонда  $R = 60 \text{ см}$  радиусли айлана ёйи бўйлаб ҳаракатланаётган протоннинг кинетик энергияси  $E_k$  топилсин.

$$E_k = 17,3 \text{ МэВ}$$

2.27.  $E_k = 1 \text{ кэВ}$  энергияли зарядланган зарра бир жинсли магнит майдонда радиуси  $R = 1 \text{ мм}$  бўлган айлана бўйлаб ҳаракатланмоқда. Заррага майдон томонидан таъсир этувчи  $F$  куч топилсин.

$$F = \frac{2E_k}{R} = 3,2 \cdot 10^{-13} \text{ Н}$$

2.28. Магнит майдонида жойлашган Вильсон камерасида олинган фотографияда электроннинг траекторияси  $R = 10 \text{ см}$  радиусли айлана ёйини кўрсатади. Магнит майдоннинг индукцияси  $B = 10^{-2} \text{ Тл}$ . Электроннинг энергияси электрон вольтда чиқарилсин.

$$E_k = 88 \text{ кэВ}$$

2.29. Зарядли заррача айлана бўйлаб  $v = 10^6 \text{ м/с}$  тезлик билан магнит майдонида ҳаракат қилади. Магнит майдоннинг индукцияси  $B = 0,3 \text{ Тл}$ , айлана радиуси  $R = 4 \text{ см}$ . Заррачанинг энергияси  $E_k = 12 \text{ кэВ}$  га тенг бўлганда унинг заряди топилсин.

$$q = 3,1 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

2.30. Кинетик энергияси  $E_k = 500 \text{ эВ}$  бўлган  $\alpha$ -заррача унинг ҳаракат тезлигига тик бўлган бир жинсли магнит майдонига учиб киради. Магнит майдоннинг индукцияси  $B = 0,1 \text{ Тл}$ . 1) заррачага таъсир қилувчи  $F$  куч, 2) заррача ҳаракат қилаётган айлананинг радиуси  $R$  ва 3) заррачанинг айланиш даври  $T$  топилсин.

$$F = 5 \cdot 10^{-15} \text{ Н}, \quad R = 3,2 \text{ см}, \quad T = 1,3 \text{ мин.}$$

2.31. Кучланганлиги  $H = 200 \text{ кА/м}$  бўлган бир жинсли магнит майдонига  $v = 10^6 \text{ м/с}$  тезлик билан учиб кириб,  $R = 8,3 \text{ см}$  радиусли айлана ёйи бўйлаб ҳаракатланувчи зарядли заррача учун  $\frac{q}{m}$  нисбат топилсин. Заррача ҳаракат тезлиги йўналиши магнит майдон йўналишига тик деб олинсин. Топилган қийматни электрон, протон ва  $\alpha$ -заррача учун топилган  $\frac{q}{m}$  қиймат учун солиштиринг.

$$\frac{q}{m} = 4,8 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}, \quad \text{электрон учун } \frac{q}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}, \quad \text{протон учун } \frac{q}{m} = 9,8 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}$$

$$\alpha - \text{заррача учун } \frac{q}{m} = 4,8 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}$$

2.32.  $U=6 \text{ кВ}$  потенциаллар фарқи билан тезлаштирилган электрон бир жинсли магнит майдонига майдон йўналишига нисбатан  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида учиб киради ва спираль бўйлаб ҳаракат қила бошлайди, магнит майдон индукцияси  $B = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ . 1) спираль ўрамининг радиус ива 2) спираль қадами топилсин.

Ечими: Магнит майдонига учиб кираётган электроннинг тезлиги  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ ,  $v$  - тезликнинг иккита ташкил этувчи:  $v_t$  - куч чизиклари бўйлаб йўналган ташкил этувчига,  $v_n$  - куч чизикларига тик йўналган ташкил этувчига ажратамиз. Электрон йўлининг  $B$  га тик жойлашган текисликка бўлган проекцияси, радиуси спираль ўрамининг изланаётган радиусига тенг бўлган айланани беради ва у қуйидаги формуладан топилади:

$$R = \frac{mv_n}{eB} = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{eB} \quad (1) \quad \text{бунда } \alpha - \text{электрон тезлигининг йўналиши билан майдон}$$

йўналиши орасидаги бурчак. Электроннинг айланиш даври  $T = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{eB}$  бўлганлигидан

$$\text{электрон винтли траекториясининг қадами } \ell = v_t T = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{eB} \quad (2) \quad \text{Масаладаги сон}$$

қийматларни (1) ва (2) га қўйсақ 1)  $R = 10^{-2} \text{ м} = 1 \text{ см}$ ,  $\ell = 11 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 11 \text{ см}$

2.33. Протон бир жинсли магнит майдонига, майдон йўналишига нисбатан  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида учиб киради ва  $R = 1,5 \text{ см}$  радиусли спираль бўйлаб ҳаракат қилади. Магнит майдон индукцияси  $B = 0,1 \text{ Тл}$ . Протоннинг кинетик энергияси топилсин.

$$E_k = 433 \text{ эВ}$$

2.34. Электрон  $v_0 = 10^7 \text{ м/с}$  тезлик билан горизонтал вазиятдаги ясси конденсатор пластинкаларига параллел йўналишда унинг ичига учиб киради. Конденсатор узунлиги  $\ell = 5 \text{ см}$ , конденсатор электр майдонининг кучланганлиги  $E = 100 \text{ В/см}$ . Электрон конденсатор ичидан учиб чиқаётганда куч чизиклари электр майдон куч чизикларига тик бўлган магнит майдонига учиб киради, магнит майдон индукцияси  $B = 10^{-2} \text{ Тл}$ . 1) магнит майдондаги электроннинг винтсимон траекториясининг радиус ива 2) винтсимон траекториянинг қадами топилсин.

$$R = 5 \text{ мм}, \quad h = 3,6 \text{ см}$$

2.35. Агар юзи  $S = 100 \text{ см}^2$  га тенг бўлган сирт: а) магнит индукция векторига перпендикуляр; б) унга параллел; в) магнит индукция векторига  $\alpha = 45^\circ$  бурчак остида жойлашган бўлса; г) магнит индукция векторига  $\alpha = 30^\circ$  бурчак остида жойлашган бўлса,  $B = 0,2 \text{ Тл}$  индукцияда шу сиртни кесиб ўтувчи магнит индукция вектори оқимини аниқланг.

$$\text{а) } \Phi = 20 \text{ мВб}, \quad \text{б) } \Phi = 0, \quad \text{в) } \Phi = 1,4 \text{ мВб}, \quad \text{г) } \Phi = 1,0 \text{ мВб}$$

2.36. Агар индукцияси  $B = 0,2 \text{ Тл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонида жойлашган юзи  $S = 2 \text{ м}^2$  бўлган сиртдан ўтаётган магнит индукция оқими  $\Phi = 0,2$

$B\vec{b}$  бўлса, сиртга нормал ва индукция вектори орасидаги бурчакни ҳисобланг.

$$\alpha = 60^\circ$$

2.37. Кучланганлиги  $H=79,6 \text{ кА/м}$  бўлган бир жинсли магнит майдонда квадрат рамка жойлашган. Рамка текислиги майдон йўналиши билан  $\alpha = 45^\circ$  бурчак ҳосил қилади. Рамканинг томонлари  $a=4 \text{ см}$ . Рамкадан ўтувчи магнит оқими топилсин.  $\Phi=119 \text{ мкВб}$

2.38. Юзаси  $S=16 \text{ см}^2$  бўлган ясси контур  $B=0,04 \text{ Тл}$  индукцияли бир жинсли магнит майдонда турибди. Агар контур текислиги индукция чизиклари билан  $\alpha = 30^\circ$  бурчак ташкил қилса, контурга кирадиган магнит оқими  $\Phi$  топилсин.  $\Phi=50 \text{ мкВб}$

2.39. Юзи  $S=16 \text{ см}^2$  бўлган рамка бир жинсли магнит майдонида  $\omega = 2 \text{ айл/с}$  тезлик билан айланмоқда. Айланиш ўқи рамка текислигида бўлиб, магнит майдонининг куч чизикларига тик жойлашган. Магнит майдон кучланганлиги  $H=79,6 \text{ кА/м}$ . 1) рамкадан ўтувчи магнит оқимининг вақтга боғланиши, 2) магнит оқимининг энг катта қиймати топилсин.

1)  $\Phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot \cos(4\pi t + \theta)$  бунда  $\theta$  рамкага тушган нормал билан бошланғич вақт пайтидаги магнит майдонининг йўналиши орасидаги бурчак. 2)  $\Phi=1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ .

2.40. Узунлиги  $\ell=120 \text{ см}$  ва кўндаланг кесимининг юзи  $S=3 \text{ см}^2$  бўлган темир ўзакли соленоида  $\Phi=0,42 \text{ мВб}$  магнит оқими ҳосил қилиш учун ундаги ампер-ўрамлар сони қанча бўлиши керак.  $IN=855 \text{ А ўрам}$

2.41. Агар индукцияси  $B=0,2 \text{ Тл}$  булган бир жинсли магнит майдонда жойлашган юзи  $S=2 \text{ м}^2$  бўлган сиртдан ўтаётган магнит индукция  $\Phi=0,2 \text{ Вб}$  бўлса, сиртга нормал ва индукция вектори орасидаги бурчакни ҳисобланг.

2.42. Ўзаксиз ғалтакнинг ичидаги магнит майдонининг индукцияси  $B_0=2 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$ . Агар ғалтакнинг ичига никель ўзак ( $\mu=800$ ) киритилса, ўзакдаги магнит майдони индукцияси  $B$  ва ўзакнинг кўндаланг кесими орқали ўтувчи магнит индукция оқими  $\Phi$  нимага тенг бўлади? ( $B=63 \cdot 10^{-4}$ )

2.43. Узунлиги  $\ell=8 \text{ см}$  бўлган  $I=50 \text{ А}$  токли ўтказгич индукцияси  $B=20 \text{ мТл}$  бўлган бир жинсли майдонда силжиганда  $A=8 \text{ мЖ}$  иш бажарилди. Агар силжиш индукция вектори йуналишига  $\alpha=30^\circ$  бурчак остида рўй берган бўлса, ўтказгич қанча масофага силжилишини топинг.

2.44.  $\ell=30 \text{ см}$  узунликка эга бўлган ўтказгич  $B=0,4 \text{ Тл}$  индукцияли бир жинсли магнит майдонга  $\alpha=30^\circ$  бурчак остида жойлашган. Ўтказгич орқали  $I=20 \text{ А}$  ток кучи оқмоқда. Ўтказгични магнит майдонга перпендекуляр равишда  $x=25 \text{ см}$  масофага кўчиришда бажариладиган ишини аниқланг.

2.45.  $R=1 \text{ Ом}$  қаршилиikka эга бўлган сим рамка бир жинсли магнит майдонда айлантирганда, рамкани кесиб ўтувчи магнит оқими  $\Phi=0,5 \cos 60t \text{ Вб}$  қонун бўйича ўзгаради. Рамкада ҳосил бўладиган токнинг максимал қиймати қанча?



### 3-§. Электромагнит индукция ҳодисаси. Ўзиндукция. Индуктивлик

Берк контурда вужудга келаётган электр юритувчи куч  $\varepsilon_i$  контур ўраб турган сирт орқали ўтаётган магнит оқимининг вақт бўйича ўзгариш тезлиги  $\frac{d\Phi}{dt}$  га пропорционал (Фарадей-Максвелл қонуни).

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} \quad (1)$$

Агар берк контур  $N$  та ўрамдан иборат бўлса,

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (2)$$

Узунлиги  $\ell$  бўлган ўтказгич индукцияси  $\vec{B}$  бўлган магнит майдонида ҳаракатланганда вужудга келадиган индукцион ЭЮК:

$$\varepsilon_i = B\ell v \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

бу ерда  $v$  - ўтказгичнинг ҳаракат тезлиги,  $\varphi$  - тезлик билан магнит майдони индукцияси йўналишлари орасидаги бурчак.

Ғалтақдан ўтаётган токнинг ўзгариши туфайли ҳосил бўладиган ўзиндукция ЭЮК:

$$\varepsilon_{yz} = -L \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

Бу ерда  $L$  - ғалтак индуктивлиги, бирлиги  $[Гн]$ ,  $\frac{dI}{dt}$  - токнинг ўзгариш тезлиги.

Соленоид индуктивлиги:

$$L = \mu_0 \mu n^2 V, \quad L = \mu_0 \mu \frac{N^2}{\ell^2} V \quad (5)$$

бу ерда  $N$  - соленоиддаги ўрамлар сони,  $\ell$  - соленоид узунлиги,  $V$  - унинг ҳажми,  $n$  - соленоид узунлик бирлигидаги ўрамлар сони.

Индуктивлиги  $L$  бўлган ғалтақдан ўтаётган ток ҳосил қилган магнит оқими:

$$\Phi_m = LI \quad (6)$$

Токли ғалтак магнит майдон энергияси:

$$W_m = \frac{LI^2}{2} \quad (7)$$

Магнит майдон энергиясининг ҳажмий зичлиги:

$$\omega = \frac{W_m}{V} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \quad (8)$$

### Масалар ечиш намуналари

1. Диаметри  $10\text{ см}$  ва ўрамлар сони  $200\text{ та}$  бўлган ғалтак учлари ўзаро уланган бўлиб, бир жинсли магнит майдонига жойлаштирилган. Индукция чизиқлари ғалтак ўқи бўйлаб йўналган. Агар майдон индукцияси  $0,1\text{ с}$  вақт давомида  $2\text{ Тл}$  дан  $6\text{ Тл}$  га ўзгарса, ғалтакда ҳосил бўлган ўртача индукция ЭЮК нимага тенг?

Берилган:

$$d = 10\text{ см} = 0,1\text{ м}$$

$$N = 200$$

$$B_1 = 2\text{ Тл}$$

$$B_2 = 6\text{ Тл}$$

$$dt = 0,1\text{ с}$$

---


$$\varepsilon_i = ?$$

Берк контурда ҳосил бўлган индукцион ЭЮК Фарадей-Максвелл қонунига асосан  $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$  (1) га тенг эди, ғалтак  $N$  га берк контурлардан иборат бўлгани учун (1) ни қуйидагича ёзамиз:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Масала шартига кўра магнит майдон индукция оқими  $\Phi = BS$  эканлигини эътиборга олиб майдон оқимининг ўзгаришини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$d\Phi_m = \Phi_2 - \Phi_1 \quad \text{яъни} \quad d\Phi_m = S(B_2 - B_1) \quad (3)$$

формула (3) ни (2) га қўйиб ҳамда ғалтак ўрамининг юзи  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  лигини эътиборга олсак,

$$\varepsilon_i = \frac{N\pi d^2}{4 dt} (B_2 - B_1) \quad (4)$$

ифодага эга бўламиз.

Ҳисоблаш:

$$\varepsilon_i = \frac{200 \cdot 3,14 \cdot (0,1)^2}{40,1} (6 - 2) = 62,8\text{ В}$$

2. Соленоиддан  $I = 2\text{ А}$  ток оқмоқда. Солениоднинг кўндаланг кесимига сингувчи магнит оқими  $\Phi = 4\text{ мкВб}$ . Агар соленоид  $N = 800$  ўрамга эга бўлса, унинг индуктивлиги  $L$  аниқлансин.

Берилган:

$$I = 2\text{ А}$$

$$\Phi = 4\text{ мкВб}$$

$$N = 800$$

$$L = ?$$

Ечиш: Солениоднинг индуктивлиги  $L$  ва  $\psi$  қуйидаги муносабат орқали боғланган.  $\psi = LI$  бундан  $L = \frac{\psi}{I}$ . Бу ерда оқим илашувчи  $\psi$  ни унинг магнит оқими  $\Phi$  ва солениоддаги ўрамлар сони  $N$  орқали ифодаси  $\psi = N\Phi$  билан алмаштириб, қуйидагини ҳосил қиламиз

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

бу ифодага сон қийматларни қўйиб, натижани топамиз

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{800 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{2} = \frac{3200 \cdot 10^{-6}}{2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

3.1. Контурни кесиб ўтувчи магнит оқими  $t = 2 \text{ с}$  да бир текисда  $\Phi_1 = 22 \text{ Вб}$  дан  $\Phi_2 = 2 \text{ Вб}$  гача камаяди. Контурда ҳосил бўлган индукция Э.Ю.К. ни топинг.  
 $\varepsilon = 10 \text{ В}$

3.2.  $N=500$  ўрамдан иборат соленоид орқали ўтувчи магнит оқими  $\Delta\Phi/\Delta t = 60 \text{ мВб/с}$  тезлик билан текис камаяди. Соленоиддаги индукция Э.Ю.К. ни аниқланг.

$$\varepsilon = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 30 \text{ В}$$

3.3. Индукцияси  $B=0,1 \text{ Тл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонида  $\ell = 10 \text{ см}$  узунликдаги ўтказгич майдонга тик йўналишда  $v = 15 \text{ м/с}$  тезлик билан ҳаракат қилади. Ўтказгичдаги индукцияланган Э.Ю.К. топилсин.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -B\ell \frac{dx}{dt} = -B\ell v = -0,15 \text{ В}$$

3.4. Диаметри  $d=10 \text{ см}$  бўлган  $N=500$  ўрамли ғалтак магнит майдонида турибди. Магнит майдонинг индукцияси  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$  давомида  $B_1=0$  дан  $B_2=2 \text{ Тл}$  гача ортганда ғалтакдаги индукция Э.Ю.К. нинг ўртача қиймати топилсин.  
 $\langle \varepsilon \rangle = 78,5 \text{ В}$

3.5. Реактив двигатели самолётнинг тезлиги  $v = 950 \text{ км/соат}$ . Агар Ер магнит майдони кучланганлигининг вертикал ташкил этувчиси  $H=39,8 \text{ А/м}$  ва самолёт қанотининг кулочи  $12,5 \text{ м}$  бўлса, самолёт қанотларининг учида ҳосил бўлувчи Э.Ю.К. топилсин.  
 $\varepsilon = 165 \text{ мВ}$

3.6. Актив қисмининг узунлиги  $\ell = 1 \text{ м}$  бўлган ўтказгич магнит майдоннинг индукция чизикларига  $\alpha = 60^\circ$  бурчак остида қандай  $v$ -тезлик билан ҳаракатлантирилганда ўтказгичда  $\varepsilon_i = 1 \text{ В}$  индукция Э.Ю.К. уйғотилади. Магнит майдон индукцияси  $B = 0,2 \text{ Тл}$  га тенг.  
 $v = 5,8 \text{ м/с}$

3.7. Индукцияси  $B=0,05 \text{ Тл}$  бўлган магнит майдонида  $\ell = 1 \text{ м}$  узунликдаги стержень  $\omega = 20 \text{ рад/с}$  тенг ўзгармас бурчак тезлик билан айланмоқда. Айланиш ўқи стержень учидан ўтади ва магнит майдони куч чизикларига параллел ҳолда жойлашган. Стержень учларида ҳосил бўлган индукция Э.Ю.К. топилсин.

Стержень ҳар айланишида  $\Phi = BS = \pi\ell^2 B$  га тенг магнит оқимини кесиб ўтади, бунда  $\ell$ -стержень узунлиги. Агар стержень  $n$  марта айл/с қиладиган бўлса, у ҳолда

$\varepsilon = B\pi\ell^2 n = B\pi\ell^2 \frac{\omega}{2\pi} = B\ell^2 \frac{\omega}{2}$ , бунда  $\omega$  - стержень айланишининг бурчак тезлиги. Сон қийматларини ўрнига қўйсак,  $\varepsilon = 0,5 B$

3.8. Индукцияси  $B=0,1$  Тл бўлган бир жинсли магнит майдонида  $N=100$  ўрамдан иборат  $\omega=5$  айл/с бурчак тезлик билан текис айланади. Унинг кўндаланг кесим юзаси  $S=100$  см<sup>2</sup>. Айланиш ўқи ғалтак ўқиға ва магнит майдони йўналишига тик. Айланаётган ғалтакдаги максимал индукция Э.Ю.К. топилсин.

$$\varepsilon = \Phi\omega = 2\pi NnBS \quad \text{бунда, } N\text{-ғалтак ўрамларининг сони,} \\ n\text{-бир секунддаги айланишлар сони. Сон қийматларини} \\ \text{ўрнига қўйсак } \varepsilon_{\text{мак}} = 3,14 B$$

3.9. Рамка индукцияси  $B=0,8$  Тл бўлган бир жинсли магнит майдонида  $\omega=15$  рад/с бурчак тезлик билан айланади. Рамканинг юзи  $S=150$  см<sup>2</sup>. Айланиш ўқи рамка текислигида бўлиб, магнит майдон куч чизиқлари йўналиши билан  $\alpha=30^\circ$  бурчак ҳосил қилади. Айланаётган рамкадаги максимал индукция Э.Ю.К.

$$\varepsilon_{\text{мак}} = 0,09 B$$

3.10. Икки қутбли генераторнинг қутблари орасидаги магнит майдон индукцияси  $B=0,8$  Тл. Ротор  $S=400$  см<sup>2</sup> юзали  $N=100$  та ўрамга эга. Агар индукция Э.Ю.К. нинг максимал қиймати  $\varepsilon_i = 200$  В бўлса, якорнинг айланиш частотаси  $n$  аниқлансин.

$$n=600 \text{ мин}^{-1}$$

3.11. Ток кучи  $I=10$  А бўлганда индуктивлиги  $L=20$  мГн бўлган ғалтакда қандай  $\Phi$  магнит оқими пайдо бўлади.

$$\Phi=0,2 \text{ Вб.}$$

3.12. Ўрамлари сони  $N=800$  бўлган соленоиддан  $I=4$  А ток ўтганда унинг кўндаланг кесими орқали ўтувчи магнит индукция оқими  $\Phi=2,5$  мкВб бўлади. Соленоиднинг индуктивлиги  $L$  ни топинг.

$$L=1,5 \text{ мГн}$$

3.13. Соленоиддаги токнинг ўзгариш тезлиги  $\Delta I / \Delta t = 50$  А/с бўлганда унинг учларида  $\varepsilon_{\text{уз}} = 0,075$  В ўзиндукция Э.Ю.К. ҳосил бўлади. Соленоиднинг индуктивлиги  $L$  топилсин.

$$L=1,5 \text{ мГн}$$

3.14. Индуктивлиги  $L=2$  мГн бўлган ғалтакдан  $I=52$  А ток ўтганда унинг кесимидан ўтувчи магнит индукция оқими  $\Phi=12,5$  мкВб бўлади, ғалтакдаги ўрамлар сони  $N$  ни топинг.

$$N=800$$

3.15. Индуктивлиги  $L=0,03$  мГн бўлганда ғалтакдан  $I=0,6$  А ток оқмокда. Занжир узилгандан кейин ток кучи  $\Delta t = 120$  мкс вақтда амалда нолгача камаяди. Контурда вужудга келадиган ўзиндукция Э.Ю.К нинг ўртача қиймати  $\langle \varepsilon_{\text{уз}} \rangle$  аниқлансин.

$$\langle \varepsilon_{\text{уз}} \rangle = 0,15 B$$

3.16. Реостат ёрдамида ғалтакдаги ток кучи  $\Delta t = 1$  с да  $\Delta I = 0,1$  А дан бир текис ортирилмокда. Ғалтакнинг индуктивлиги  $L=0,01$  Гн. Ўзиндукция Э.Ю.К нинг ўртача қиймати  $\langle \varepsilon_{\text{уз}} \rangle$  аниқлансин.

$$\langle \varepsilon_{\text{уз}} \rangle = 1 \text{ мВ}$$

3.17. Узунлиги  $\ell = 20$  см ва кўндаланг кесимининг юзи  $S=20$  см<sup>2</sup> бўлган соленоидга сим ўрами кийгизилган. Соленоид  $N=320$  ўрамга эга, ундан  $I=3$  А ток ўтади. Соленоиддаги ток  $\Delta t = 1$  мс давомида узилса, кийгизилган ўрамда ўртача қанча Э.Ю.К. индукцияланади.

$$\langle \varepsilon_{\text{уз}} \rangle = 18 \text{ мВ}$$

3.18. Ўзаксиз ғалтакнинг индуктивлиги  $L=0,02 \text{ Гн}$ . Чўлғамдан  $I=5 \text{ А}$  ток ўтганда қандай магнит оқими ҳосил қилинади.

$$\Phi=0,1 \text{ Вб}$$

3.19. Индуктивлиги  $L=0,40 \text{ мГн}$  ва кўндаланг кесим юзи  $S=10 \text{ см}^2$  бўлган узун соленоид орқали  $I=0,5 \text{ А}$  ток ўтмоқда. Агар соленоид  $N=100$  ўрамдан иборат бўлса, унинг ичидаги майдон индукцияси қандай.

$$B=LI/(NS) = 2,0 \text{ мТл}$$

3.20. Кесимининг юзаси  $S=5 \text{ см}^2$  бўлган соленоидда  $N=1000$  та ўрам бор.  $I=2 \text{ А}$  ток кучида соленоид ичидаги магнит майдон индукцияси  $B=0,01 \text{ Тл}$ . Соленоиднинг индуктивлиги  $L$  аниқлансин.

$$L=3 \text{ Гн}$$

3.21. Темир ўзагининг кесими  $S=20 \text{ см}^2$  бўлган ғалтакнинг индуктивлиги  $L=0,02 \text{ Гн}$ . Ғалтакда  $N=1000$  та ўрам бор. Ўзакдаги майдон индуктивлиги  $B=1 \text{ мТл}$  бўлиши учун ток кучи  $I$  қанча бўлиши лозим.  $\mu = 400$

$$I=0,1 \text{ А}$$

3.22. Ўрамларнинг сони  $N=400$  та бўлган ғалтакнинг узунлиги  $\ell = 20 \text{ см}$ , кўндаланг кесим юзи  $S=9 \text{ см}^2$ . 1) Ғалтакнинг индуктивлиги  $L$  ва 2) шу ғалтак ичига темир ўзак киритилгандаги унинг индуктивлиги  $L$  топилсин. Ўзак материалининг магнит киритувчанлиги  $\mu = 400$  га тенг.

$$1) L=0,9 \text{ мГн} \quad 2) L=0,36 \text{ Гн}$$

3.23. Соленоид чўлғами кўндаланг кесими  $S=2 \text{ мм}^2$  бўлган  $N$  та сим ўрамидан иборат. Соленоиднинг узунлиги  $\ell = 25 \text{ см}$  ва унинг қаршилиги  $R=0,2 \text{ Ом}$ . Соленоиднинг индуктивлиги  $L$  топилсин.

$$L=55 \text{ мкГн}$$

3.24. Узунлиги  $\ell = 20 \text{ см}$  ва диаметри  $d=3 \text{ см}$  бўлган ғалтак  $N=400$  ўрамга эга. Ғалтакдан  $I=2 \text{ А}$  ток ўтади. 1) Ғалтакнинг индуктивлиги  $L$  ва 2) ғалтакнинг кўндаланг кесимидан утадиган магнит оқими  $\Phi$  топилсин.

$$L=0,71 \text{ мГн} \quad \Phi=3,55 \text{ мкВб}$$

3.25. Индуктивлиги  $L=1 \text{ мГн}$  бўлган бир қаватли ғалтакдаги сим чўлғамининг ўрамлари сони қанча. Ғалтакнинг диаметри  $D=4 \text{ см}$ , симнинг диаметри  $d=0,6 \text{ мм}$ . Ўрамлар зич жойлашган.

$$N=380$$

3.26. Темир ўзакли ғалтакнинг кўндаланг кесими  $S=20 \text{ см}^2$  бўлиб, унинг  $N=500$  ўрами бор. Ўзакли ғалтак чўлғамидан  $I=5 \text{ А}$  ток ўтганда ғалтакнинг индуктивлиги  $L=0,28 \text{ Гн}$  га тенг бўлади. Шу шароитда темир ўзакнинг магнит киритувчанлиги  $\mu$  топилсин.

$$\mu = 1400$$

3.27. Индуктивлиги  $L=0,2 \text{ Гн}$  бўлган соленоиднинг чўлғамидан  $I=10 \text{ А}$  ток оқмоқда. Соленоид магнит майдонининг энергияси аниқлансин.

$$W=10 \text{ Ж}$$

3.28. Агар соленоиддан ўтаётган токнинг кучи  $I=8 \text{ А}$  бўлганда унинг ичидаги майдоннинг энергияси  $W_{\text{маг}}=0,32 \text{ Ж}$  бўлса, соленоиднинг индуктивлиги  $L$  ни топинг.

$$L=10 \text{ мГн}$$

3.29. Узунлиги  $\ell = 0,4 \text{ м}$ , кўндаланг кесим юзаси  $S=2 \text{ см}^2$  ва узунлик бирлигига мос келган ўрамлари сони  $n=25 \text{ 1/см}$  бўлган ўзаксиз соленоид

чулғамларидан  $I=0,8 \text{ A}$  ток ўтаётган бўлса, соленоид ичида ҳосил бўлган магнит майдоннинг энергияси  $W_{\text{маг}}$  топилсин.

$$W_{\text{маг}}=0,2 \text{ мЖ}.$$

3.30.  $I=5 \text{ A}$  ток кучида  $\Phi=0,5 \text{ Вб}$  магнит оқими ҳосил бўладиган соленоид майдонининг энергияси  $W_{\text{маг}}$  аниқлансин.

$$W_{\text{маг}}=\Phi I^2/2 = 1,25 \text{ Ж}$$

#### 4-§. Ўзгарувчан ток. Электромагнит тебранишлар ва тўлқинлар.

1. Ўзгарувчан ток ва ЭЮК тенгламаси.

$$i = i_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{ва} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

бу ерда  $i, \varepsilon$  - ўзгарувчан ток ва электр юритувчи кучнинг (ЭЮК) оний қийматлари,

$i_0$  ва  $\varepsilon_0$  - ўзгарувчан ток ва ЭЮК нинг максимал қийматлари (амплитудаси).

2. Ўзгарувчан ток кучи ва кучланишнинг эффектив қийматлари,

$$I_{\text{эфф}} = \frac{J_0}{\sqrt{2}} \quad \text{ва} \quad U_{\text{эфф}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

3. Конденсатор, индуктив ғалтак ва омик қаршилиги бўлган ўзгарувчан ток занжирининг тўла қаршилиги

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (3)$$

бу ерда  $R_c = \omega L$  - ғалтакнинг индуктив қаршилиги,  $L$  - ғалтак индуктивлиги,  $R_c = \frac{1}{\omega C}$  - сиғим қаршилиги,  $C$  - конденсатор сиғими,  $\omega = 2\pi\nu$  - ўзгарувчан ток доиравий частотаси.

4. Томон формуласи  $R=0$  бўлган контур учун,

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4)$$

5. Сўнувчи тебранишлар даври,

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{\omega C} - (\frac{R}{2L})^2}} \quad (5)$$

6. Сўнишнинг логарифмик декременти,

$$Q = \frac{R}{2L} T \quad (6)$$

7. Электромагнит тўлқин узунлиги

$$\lambda = \nu T \quad \text{ёки} \quad \lambda = \frac{\nu}{\nu} \quad (7)$$

бу ерда  $\nu$  - электромагнит тўлқинининг бирор муҳитда тарқалиш тезлиги,  $\nu$  - частотаси.

8. Бирор муҳитдаги тезлиги,

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}} \quad (8)$$

дан топилади, бу ерда  $\varepsilon$  - муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги,  $\mu$ -модданинг магнит сингдирувчанлиги.

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

$c$ - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги,  $\varepsilon_0$  - электр доимийси,  $\mu_0$  - магнит доимийси.

### Масала ечиш намунаси

1. Тебраниш контури сиғими  $9 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$  бўлган конденсатор  $L$  ғалтакдан иборат. Конденсатор қопламалари орасидаги потенциаллар айирмаси  $U = 50 \cos(10^4 \pi t)$  қонуният бўйича ўзгаради. Контур ғалтагининг индуктивлиги  $L$  нимага тенг ва у қандай тўлқин узунлигига созланган?

Берилган:

$$C = 9 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$U = 50 \cos(10^4 \pi t)$$

$$L = ? \quad \lambda = ?$$

Ечиш:

Томсон формуласи

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1)$$

дан фойдаланиб ғалтак индуктивлиги  $L$  ни аниқлаймиз.

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} \quad (2)$$

ни эътиборга олсак,

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} \quad (3)$$

ифодага эга бўламиз.  $U = 50 \cos(10^4 \pi t)$  дан  $\omega_0 = 10^4 \pi$  эканлиги маълум.

Ҳисоблаш:

$$L = \frac{1}{(10^4 \pi)^2 \cdot 9 \cdot 10^{-7}} \text{ Гн} = \frac{1}{9} 10^{-2} \text{ Гн} = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Контур хосил қиладиган тўлқин узунлиги,

$$\lambda = CT \quad \lambda = C \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (4)$$

дан аниқланади:

$$\lambda = C \frac{2\pi C}{\omega_0} = 6 \cdot 10^4 \text{ м}$$

### Масалалар

4.1. Тебраниш контурида сиғим  $C = 800 \text{ нФ}$  бўлган конденсатор ва индуктивлиги  $L = 2 \text{ мкГн}$  ғалтак бор. Контурнинг хусусий тебранишлар даври  $T$  қандай? Ж:  $T = 0,25 \text{ мкс}$

4.2. Агар тебраниш контури  $c=48\text{мкФ}$  сиғимли конденсатор ва  $L=1,2\text{мГн}$  индуктивли ғалтакдан тузилган бўлса, контурнинг хусусий тебраниш частотаси  $n$  топилсин. Ж:  $n=663\text{Гц}$

4.3. Конденсаторнинг сиғими  $c=50\text{пФ}$  бўлганда  $n=50\text{МГц}$  частотали эркин тебранишлар ҳосил қилиш учун тебраниш контурига қандай катталиклардаги индуктивлик  $L$  улаш лозим? Ж:  $L=5,1\text{мГн}$ .

4.5. Тебранишлар контури  $C=888\text{пФ}$  сиғимли конденсатор ҳамда  $L=2\text{мГн}$  индуктивликка эга ғалтакдан иборат. Контур қандай тўлқин узунлигига  $\lambda$  га созланган? Ж:  $\lambda=2500\text{м}$

4.6. Индуктивлиги  $L=2\text{мГн}$ , сиғимигача ўзгара оладиган тебраниш контурини қандай тўлқин диапазонга созлаш мумкин? Контурнинг қаршилиги ниҳоятда оз. Ж:  $\lambda_1=700\text{м}$  дан  $\lambda_2=1950\text{м}$  гача

4.7.  $C=\text{мкФ}$  сиғимда  $n=1000\text{Гц}$  товуш частотасини олиш учун тебраниш контурига қандай индуктивлик  $L$  улаш керак? Контур қаршилиги ҳисобга олинмасин. Ж:  $L=12\text{мГн}$

4.8. Тебраниш контури  $L=2,5\text{мГн}$  индуктив ғалтак ва ясси конденсатордан тузилган. Конденсатор қопламаларининг юзаси  $S=4\text{см}^2$  бўлиб, қопламалар оралиғи слюда ( $\varepsilon=7$ ) билан тўлдирилган. Агар контурнинг хусусий тебраниш даври  $T=2\text{мкс}$  бўлса, пластинкалар оралиғи  $d$  ни топинг? Ж:  $d=0,61\text{мм}$

4.9. Тебраниш контури  $C=2,2\text{мкФ}$  сиғимли конденсатор ва ғалтакдан тузилган. Агар контурдаги электромагнит тебранишнинг хусусий частотаси  $n=420\text{кГц}$  бўлса, ғалтакнинг индуктивлиги  $L$  ни топинг. Ж:  $L=6,5\text{мкГн}$ .

4.10. Тебраниш контури индуктивлик ғалтаги ва параллел уланган иккита бир хил конденсатордан ташкил топган. Контур хусусий тебранишларининг даври  $T_1=20\text{мкс}$ . Агар конденсаторлар кетма-кет уланса, давр  $T_2$  нимага тенг бўлади? Ж:  $[T_2=T_1/2=10\text{мкс}]$

4.11. Тебраниш контури конденсатори қопламаларидаги потенциаллар айирмасини вақтга қараб ўзгариши тенгламаси  $U=50\cos 10^4 \pi t\text{В}$  кўринишда берилган. Конденсаторнинг сиғими  $c=0,1\text{мкФ}$  га тенг. 1) Тебраниш даври  $T$ , 2) Контур индуктивлиги  $L$ , 3) вақт бўйича занжирдаги ток кучининг ўзгариш қонуни, 4) шу контурга мувофиқ келувчи тўлқин узунлиги  $\lambda$  топилсин. Ж: 1)  $T=0,2\text{мс}$ ; 2)  $L=10,15\text{мГн}$ ; 3)  $I=-157\sin 10^4 \pi t\text{мА}$  4)  $\lambda=60\text{км}$

4.12. Юзи  $S=200\text{см}^2$  бўлган рамка индукцияси  $\beta=0,4\text{Тл}$  бўлган бир жинсли магнит майдонда  $\omega=50\text{рад/с}$  бурчак тезлик билан айланмоқда. Агар  $t=0$  пайтда рамка текислигига ўтказилган нормал майдоннинг индукция чизиқларига параллел бўлса, магнит оқимининг  $\Phi$  ва Э.Ю.К нинг вақт ўтиши билан ўзгариши формулаларини ёзинг. Ж:  $[\Phi=BSc\cos \omega t]=0,08 \cos 50 t$ ;  $\varepsilon=BS \omega \sin \omega t=0,4 \sin 50 t]$

4.13. Тебраниш контури  $C=4\text{пФ}$  электр сиғимли конденсаторга ва  $L=0,5\text{мГн}$  индуктивликли ғалтакка эга. Агар максимал ток кучи  $I_{\max}=40\text{мА}$  бўлса, конденсатор қопламаларидаги максимал кучланиш  $U_{\max}$  қандай бўлади. Ж:  $U_{\max}=I_{\max} \sqrt{L/C}=3,17\text{В}$ .



4.14. Тебраниш контурига уланган  $C=30\text{пФ}$  сиғимли конденсатор қисқичларидаги эффектив кучланиш  $U_{\text{эфф}}=100\text{В}$  бўлса, контурдаги электр ва магнит майдоннинг максимал энергия қийматлари  $W_{\text{эл.мах}}$  ва  $W_{\text{маг.мах}}$  ни топинг. Ж:  $W_{\text{эл.мах}}=W_{\text{маг.мах}}=\frac{CU_0^2}{2}=\frac{C(\sqrt{2}U_{\text{эф}})^2}{2}CU_{\text{эф}}^2=3\cdot 10^{-7}\text{Ж}=0,3\text{мкЖ}$

4.15. Тебраниш контуридаги конденсаторнинг сиғими  $C=2\text{мкФ}$ , унинг қисқичларидаги максимал кучланиш эса  $U_{\text{мах}}=50\text{В}$  бўлган. Ғалтакдаги магнит майдоннинг максимал энергияси  $W_{\text{маг.мах}}$  ни ва конденсатор қисқичларидаги кучланиш  $U=30\text{В}$  бўлган моментдаги магнит майдоннинг энергияси  $W_{\text{маг}}$  ни топинг. Ж:  $W_{\text{маг.мах}}=W_{\text{эл.мах}}=\frac{CU_{\text{мах}}^2}{2}=2,5\text{мЖ}$   $W_{\text{маг}}=W_{\text{маг.мах}}-W_{\text{эл}}=\frac{CU_{\text{мах}}^2}{2}-\frac{CU^2}{2}=1,6\text{мЖ}$

4.16.  $n=0,4\text{мГц}$  частотада ишлаётган радиостанция тарқалаётган электромагнит тўлқиннинг узунлиги  $\lambda$  ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги  $\vartheta=3\cdot 10^8\text{м/с}$  Ж:  $\lambda=750\text{м}$

4.17. Кемалар халокатга учраганда сигналлар халқаро келишувга мувофиқ  $\lambda=600\text{м}$  тўлқин узунликда берилади. Бу сигналнинг частотаси  $n$  ни топинг. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги  $\vartheta=3\cdot 10^8\text{м/с}$  Ж:  $n=0,5\text{мГц}$

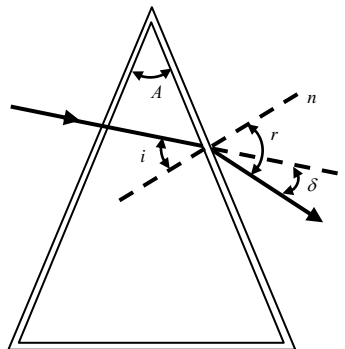
4.18. Агар приёмникнинг қабул контуридаги ғалтакнинг индуктивлиги  $L=1,5\text{мГн}$  бўлиб, конденсаторнинг сиғими  $C_1=75\text{пФ}$  дан  $C_2=650\text{пФ}$  гача ўзгарса, приёмникнинг ишлаш диапазонининг тўлқин узунликлари  $\lambda_1$  ва  $\lambda_2$  ни топинг. Конденсаторнинг актив қаршилиги ҳисобга олинмасин. Электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги  $\vartheta=3\cdot 10^8\text{м/с}$  Ж:  $\lambda_1=632\text{м}$ ;  $\lambda_2=1860\text{м}$

4.19. Тебраниш контуридаги ток кучининг вақт бўйича ўзгариш тенгламаси куйидаги кўринишда берилган:  $I=-0,02 \sin \pi t$  А. Контурнинг индуктивлиги  $L=1\text{Гн}$ . 1) Тебраниш даври, 2) контур сиғими, 3) конденсатор қопламаларидаги максимал потенциаллар айирмаси (кучланишини), 4) магнит майдоннинг максимал энергияси, 5) электр майдонининг максимал энергияси топилсин. Ж: 1)  $T=5\text{мс}$ , 2)  $c=0,63\text{мкФ}$ , 3)  $U_{\text{мах}}=25,2\text{В}$  4)  $W_{\text{маг}}=0,2\text{мЖ}$ ;  $W_{\text{эл}}=0,2\text{мЖ}$

## 5-§. Геометрик оптика

Ёруғлик нурининг тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбати сон жиҳатдан иккинчи муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичи  $n_2$  ни биринчи муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичи  $n_1$  га нисбатига тенг(-расм).

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$



Расм

бунда  $i$  - тушиш бурчаги,  $r$  – нурнинг синиш бурчаги,  $n_{21}$  – иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан абсолют синдириш кўрсаткичи.

Ёруғлик нури оптик зичлиги ката бўлган муҳитдан оптик зичлиги кичик бўлган муҳитга ўтганда тўла ички қайтиш чегаравий бурчаги:

$$\sin i_0 = \frac{n_2}{n_1}, \quad r = 90^\circ$$

Ёруғлик нурининг вакуумда тарқалаш тезлиги  $c$  ни бирор муҳитдаги тарқалаш тезлиги  $v$  га нисбати сон жиҳатдан шу муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичига тенг.

$$n = \frac{c}{v}$$

Ёруғлик нурининг биринчи муҳитдаги тезлигини иккинчи муҳитдаги тезлигига нисбати, нисбий синдириш кўрсаткичи дейилади.

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Сферик кўзгу учун оптик кучи  $D$  қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R}, \quad D = \frac{1}{F}$$

бунда  $a_1, a_2$  - буюмдан ва тасвирдан кўзгугача бўлган масофа,  $R$  – кўзгунинг эгрилик радиуси,  $F$  – кўзгунинг фокус масофаси ва  $D$  – кўзгунинг оптик кучи.

Юпқа линза формуласи:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}$$

$a_1$  - линзадан тасвиргача,  $a_2$  - линзадан буюмгача бўлган масофалар. Линза фокуси, эгрилик радиуслари ва муҳит ҳамда линза материалининг синдириш кўрсаткичлари орасидаги боғланиш:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Бу формулада қавариқ сиртнинг эгрилик радиуси мусбат (+), ботиқ сирт учун минус (-) ишора билан олинади.

Микроскопнинг катталаштириши:

$$\Gamma = \frac{\delta L}{F_{об} \cdot F_{ок}}$$

Бунда  $F_{об}$ ,  $F_{ок}$  - объектив ва окуляр линзаларининг фокус масофалари,  $\delta$  - уларнинг ички фокуслари орасидаги масофа.

Лупанинг катталаштириши:

$$\Gamma = \frac{L}{F}$$

Кўриш трубасининг катталаштириши:

$$\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$$

### **Масала ечиш намунаси**

1. Синдириш бурчаги  $40^\circ$  бўлган призманинг ён сиртига нормал тушган монохроматик нур призмадан ўтгач қандай бурчакка оғади.

*Берилган:*

$$i = 40^\circ$$

$$n = 1,5$$

Расм

$\delta$  - ?

Ечиш: Ёруғликнинг синиш қонунига асосан

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

бунда  $i$  - тушиш бурчаги,  $r$  – нурнинг синиш бурчаги,  $n_1 = 1$  ҳавонинг синдириш кўрсаткичи, иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан абсолют синдириш кўрсаткичи.  $n_2 = n$  –призма материалнинг синдириш кўрсаткичи,  $\delta = r - i$  нурнинг оғиш бурчаги. Синиш бурчагини топамиз

$$\sin r = \frac{n_2 \sin i}{n_1} = n \sin i$$

$$\sin r = 1,5 \sin 40^\circ = 0,9642$$

$$i = 74^\circ 37' \quad \text{у ҳолда нур оғиш бурчаги} \quad \delta = r - i = 74^\circ 37' - 40^\circ = 34^\circ 37'$$

*Жавоб:*  $34^\circ 37'$

### **Масалалар**

5.1. Ёруғлик нури ясси-параллел шиша пластинкага  $30^\circ$  бурчак билан тушиб, ундан дастлабки нурга параллел ҳолда чиқади. Шишанинг синдириш кўрсаткичи 1,5. Агар нурлар уртасидаги масофа 1,94 см булса пластинканинг калинлиги канча?

5.2. Шишанинг синдириш курсаткичи 1,52. 1) Шиша – хаво, 2) сув-хаво, 3) Шиша – сув булиниш сирталари учун тулик ички кайтишнинг лимит бурчаклари топилсин.

5.3. Ёруглик нури скипидардан хавога чикмокда. Бу нур учун тула ички кайтишнинг лимит бурчаги 42° 23'. Скипидардаги ёругликнинг таркалиш тезлиги канча.

5.4. Сув тулдирилган стакан устига калин шиша пластинка куйилган. Сув билан шишанинг сиртидан тула ички кайтиш руй бериши учун ёруглик нури пластинкага қандай бурчак билан тушиши керак. Шишанинг синдириш курсаткичи 1,5.

5.5. Монохроматик нур синдириш бурчаги 40° булган призманинг ён сиртига нормал тушмокда. Бу нур учун призма материалынинг синдириш курсаткичи 1,5. Призмадан чиқаётган нурнинг дастлабки йўналишдан огиши топилсин.

5.6. Сув ҳавода  $\lambda_0 = 0,50$  мкм тулқин узунликка эга бўлган яшил ёруглик билан ёритилган. Унинг сувдаги тулқин узунлиги қандай бўлади? Сув остида кўзини очган одам қандай рангни кўради.

5.7. Натрийнинг сарик нурининг вакуумдаги тулқин узунлиги  $\lambda_0 = 589$  нм, шишадагиси эса  $\lambda = 393$  нм булса, шишанинг абсолют синдириш курсаткичини  $n$  ни топинг.

5.8. Вакуумдаги тулқини узунлиги  $\lambda_0 = 0,76$  мкм булган ёруглик учун сувнинг синдириш курсаткичи  $n_0 = 1,329$ , тулқин узунлиги  $\lambda_1 = 0,4$  мкм булган ёруглик учун эса у  $n_1 = 1,344$  га тенг. Қайси нурнинг сувдаги тезлиги ката.

5.9. Монохроматик нур призманинг ён сиртига нормал тушади ва ундан 25° га оғиб чиқади. Бу нур учун призма материалынинг синдириш курсаткичи 1,7. Призманинг синдириш бурчаги топилсин.

5.10. Баъзи бир монохроматик нур учун призма материалынинг синдириш курсаткичи 1,6 га тенг. Нур призмадан чиқаётганида тула ички кайтиш руй бермаслиги учун бу нурнинг призмага энг катта тушиш бурчаги қандай булиши керак. Призманинг синдириш бурчаги 45° га тенг.

5.11. Икки ёклама каварик линза юзларининг эгрилик радиуслари  $R_1 = 50$  см. линза материалнинг синдириш курсаткичи  $n = 1,5$ . Линзанинг оптик кучини топинг.

5.12. Фокус масофаси 16 см булган линза буюмнинг оралари 60 см булган икки вазиятида аниқ тасвир беради. Буюмдан экрангача булган масофа топилсин.

5.13. Линзанинг ҳаводаги фокус масофаси 20 см булса, линза сувга ботирилгандаги фокус масофасини топинг. Линза ясалган шишанинг синдириш курсаткичи 1,6.

5.14. Фокус масофаси 2 см га тенг лупанинг: 1) Энг аниқ куриш узоклиги 25 см булган нормал куз учун ва 2) энг аниқ куриш узоклиги 15 см булган яқинни кураш куз учун катталаштириши топилсин.

5.15. Лупа нормал куз учун  $\Gamma = 10$  марта катталаштириш учун лупани чегараловчи сиртларнинг эгрилик радиуслари ( $R_1, R_2$ ) канчага тенг булиши керак. Лупа ясалган шишанинг синдириш курсаткичи  $n = 1,5$ .

5.16. Юзи  $2 \times 2$  м булган сурат ундан 4,5 м узокликка куйилган фотоаппарат билан суратга олинмокда . Тасвир  $5 \times 5$  см улчамда хосил булган, аппарат обективнинг фокус масофаси канча булган? Суратдан обективгача булган масофани обективнинг фокус масофасига нисбатан катта деб хисоблансин.

## 6-§. Ёруғлик тўлқинининг интерференцияси

1. Ёруғлик нурунинг вакуумдаги йўл узунлиги  $S$  нинг муҳит синдириш кўрсаткичига  $n$  кўпайтмаси нурнинг оптик йўл узунлиги  $L$  дейилади.

$$L = S \cdot n \quad (1)$$

2. Фазонинг бирор нуқтасида иккита тўлқиннинг қўшилиши туфайли уйғотилган тебранишларнинг фазалар фарқи

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 S_2 - n_1 S_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) \quad (2)$$

ифодадан аниқланади. Бу ерда  $\lambda_0$  - ёруғлик нурунинг вакуумдаги тўлқин узунлиги,  $L_2 - L_1 = \Delta$  - бирор нуқтага тушаётган ёруғлик тўлқинларнинг оптик йўл фарқи.

3. Интерференция пайтида когерент ёруғлик тўлқинлари интенсивлигининг максимумга эришиш шarti.

$$\Delta = \pm k\lambda \quad (3)$$

бу ерда  $k=0,1,2,3$  бўлиб интерференция максимуми тартибини ифодалайди. Бу ҳолда фазалар фарқи  $\delta = 2\pi k$  га тенг бўлади.

4. Иккита тўлқиннинг қўшилиши натижасида бир-бирини сусайтириши, яъни минимумлик шarti қуйидагига тенг:

$$\Delta = \pm \frac{\lambda_0}{2} (2k + 1) \quad (4)$$

Бу ҳолда ҳар икки тўлқиннинг бирор нуқтада уйғотган тебранишлари қарама-қарши фазада бўлади.

5. Икки когерент тўлқиннинг интерференцияланиши натижасида ҳосил бўладиган иккита қўшни интерференцион йўллар орасидаги масофа:

$$\Delta x = \frac{\ell}{d} \lambda_0 \quad (5)$$

Бу ерда  $\ell$  - ёруғлик манбаларидан экрангача бўлган масофа,  $d$  - когерент ёруғлик манбалари орасидаги масофа.

6. Френел кўзгуларида интерференция кузатилаётган бўлса, икки полоса (йўл) орасидаги масофа.

$$\Delta x = \frac{a+b}{2r\varphi} \lambda_0 \quad (6)$$

формуладан аниқланади. Бу ерда  $a$  - сунъий когерент манбаларидан кўзгуларгача,  $b$  - кўзгулар туташган нуқтадан экрангача бўлган масофалар,  $r$  - икки кўзгунинг туташган нуқтасидан ёруғлик манбаигача бўлган масофа,  $\varphi$  - икки кўзгу орасидаги бурчак ( -расм).

## Расм

7. Ҳавода жойлашган, ясси параллел пластинкадан қайтган ёруғлик тўлқинларининг оптик йўл фарқи

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2}$$

ёки

$$\Delta = 2h \cdot n \cos \beta + \frac{\lambda_0}{2} \quad (7)$$

бу ерда  $h$  - пластинканинг қалинлиги,  $n$  - пластинка материалынинг синдириш кўрсаткичи,  $i$  - параллел нурларнинг тушиш бурчаги,  $\beta$  - эса синуш бурчаги.

8. Ўтувчи ёруғликда Ньютоннинг ёруғ халқалари радиуслари,

$$r_k = \sqrt{kR\lambda_0} \quad (8)$$

9. Ньютоннинг қоронғи халқалари радиуслари

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R \frac{\lambda_0}{2}} \quad (9)$$

формуллари билан аниқланади.  $k=0,1,2,3$  бўлиб, бутун каррали сонлар қабул қилади,  $R$  - Ньютон қурилмасидаги йиғувчи линзанинг эгрилик радиуси.

10. Қайтган ёруғликда эса тескари бўлади, яъни (8) формула қоронғу халқалар, (9) формула ёруғ халқалар радиусларини ифодалайдилар.

Интерференцияланувчи нурлари бирининг олдига тик равишда қалинлиги  $h$  бўлган пластинка қуйилса, экранда ҳосил бўлган нтерференцион манзара  $\Delta N$  йўлга силжийди.

$$\Delta N = \frac{h(n-1)}{\lambda} \quad (10)$$

### Масала ечиш намуналари

1-масала. Френел кўзгулари орасидаги бурчак  $10^\circ$  бўлиб, уларнинг кесилган нуқтасидан  $10$  см масофада жойлашган жуда тор тирқишдан кўзгуларга монохроматик нур тушмоқда. Кўзгулардан қайтган ёруғлик кўзгуларнинг кесишиш нуқтасидан экрангача бўлган масофа  $2,7$  м. Экрандаги итерференцион йўллар орасидаги масофа  $2,9 \cdot 10^{-3}$  м. Ёруғлик тўлқин узунлиги тописин.

Берилган:

$$\varphi = 10$$

$$r = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$v = 2,7 \text{ м}$$

$$\Delta x = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

---


$$\lambda_0 = ?$$

Ечиш: 1. Масалага тегишли бўлган чизма тасвири /30-расм/. 2. Ёруғлик нури  $OK$  ва  $OL$  кўзгулардан қайтгандан кейин худди  $S_1$  ва  $S_2$  когерент манбалардан чиққани каби экран томонга тарқалади.  $S_1$  ва  $S_2$  лар  $S$  - ёруғлик манбаининг

мавҳум тасвирларидир. Мавҳум манбалардан экрангача бўлган масофани  $l$ , кўзгулардан экрангача бўлган масофани  $e$  билан белгиладик.

30-расмдан кўринадики,  $l$ ,  $d$ ,  $\Delta x$ ,  $\lambda_0$  ўзаро қуйидагича боғланган:

$$\lambda_0 = \frac{\Delta x \cdot d}{l} \quad (1)$$

бу ерда  $d$  - икки мавҳум когерент манбалари орасидаги масофа. Бунда  $d$  ва  $l$  ларни чизмадан аниқлаш лозим. Кўзгуларга нисбатан  $S_1S_2$  нуқталар  $S$  нуқтага симметрик эканлигидан фойдаланамиз. Демак,  $S_1O=S_2O=r$  деб ёзиш мумкин.  $r$  кўзгулар кесишиш нуқтасидан  $S$  манбаигача бўлган масофа. У ҳолда  $L \cdot SOS_2=2\alpha$  га тенг бўлади.

3.  $\varphi$  бурчак жуда кичик,  $S_1S_2$  кесма экранга параллел бўлганлиги сабабли

$$d=2\varphi r \text{ ва } l=r+e \quad (2)$$

ни ёзиш мумкин. /2/ни /1/ га қўйиб натижавий формулага бўламиз

$$\lambda_0 = 2\varphi r \Delta x(r+e) \quad (3)$$

4. Хисоблаш:

$$\lambda_0 = 2 \cdot 10^1 \cdot 0,1 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} (0,1 + 2,7) = 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot 2,8 \cdot 10^1 = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

2. Ньютон халқалари кузатиладиган қурилма тўлқин узунлиги  $6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  бўлган нормал тушаётган монохроматик ёруғлик билан ёритилмоқда. Қайтган ёруғликда тўртинчи қоронги халқа кузатиладиган жойдаги линза билан шиша пластинка ўртасидаги ҳаво қатламининг қалинлиги топилсин. Берилган:

$$\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$x = 4$$

$$n = 1$$

Топиш керак:

$$h = ?$$

Ечиш: 1. Масалани ечишда Ньютон қурилмасидан фойдаланамиз /31-расм/. 2. ОВД тўғри бурчакли учбурчакдан

$$(OD)^2 = (R^2 - BC)^2 + r_k^2 \quad (1)$$

яъни

$$R^2 = (R-h)^2 + r_k^2$$

$$R^2 = R^2 - 2Rh + h^2 + r_k^2 \quad (2)$$

$h$  - жуда кичик қийматга эга бўлганидан  $h^2 \rightarrow 0$  деб оламиз,

у ҳолда 
$$h = \frac{r_k^2}{2R} \quad (3) \text{ га эга бўламиз.}$$

3. Қайтган ёруғликда қоронги Ньютон халқаларини радиуси

$$r = \sqrt{kR\lambda_0} \quad (4)$$

формуладан аниқланади. Бунди:

$$r_k^2 = kR\lambda \rightarrow \frac{r_k^2}{R} = k\lambda_0 \quad (5)$$

кўринишда ёзиш мумкин, (2) ни (3) га қўямиз.

$$h = \frac{k\lambda_0}{2} \quad (6)$$

бу ерда  $k=4$  га тенг.

Хисоблаш:

$$h = \frac{4 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{2} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

### **Масалалар**

6.1.Юнг тажрибасида тўлқин узунлиги  $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м бўлган монохроматик ёруғлик билан ёритилмоқда. Агар тирқишлар орасидаги масофа  $d=1$  мм ва ундан экрангача бўлган масофа  $L=3$  м бўлса, учта биринчи ёруғ йўлларнинг вазияти топилсин. Ж:  $\Delta y_1=1,8$  мм,  $\Delta y_2=3,6$  мм,  $\Delta y_3=5,4$  мм.

6.2.Юнг тажрибасида тирқишга тушаётган тўлқин узунлиги  $\lambda_k=5 \cdot 10^{-7}$  м бўлган кўк ёруғлик нури, тўлқин узунлиги  $\lambda_k=6,5 \cdot 10^{-7}$  м бўлган қизил ёруғлик нури билан алмаштирилса, интерференцион йўллар орасидаги масофа неча марта ўзгаради? Ж: 1,3 марта

6.3.Френель кўзгулари билан қилинган тажрибада манбаанинг мавҳум тасвирлари ўртасидаги масофа  $d=0,5$  мм га, экрангача бўлган масофа  $L=5$  м га тенг бўлган, яшил ёруғликда бир-бирларидан  $\Delta y=5$  мм масофада интерференция йўллари ҳосил бўлган, яшил ёруғликнинг тўлқин узунлиги топилсин. Ж:  $\lambda=0,5$  мкм.

6.4.Френель бипризмасида ўтказилаётган тажрибада манбанинг мавҳум тасвирлари орасидаги масофа  $d=5 \cdot 10^{-4}$  м, экрангача бўлган масофа  $L=5$  м га тенг. Агар бипризмага тушаётган нурнинг тўлқин узунлиги  $\lambda=6,5 \cdot 10^{-5}$  см бўлса, экранда ҳосил бўлган интерференцион йўллар орасидаги  $\Delta y$  масофа топилсин. Ж:  $\Delta y=6,5$  мм

6.5.Ҳавода турган совун пардасига ( $n=1,33$ ) оқ ёруғлик нурларининг дастаси нормал тушади. Парданинг қандай энг кичик  $h$  қалинлигида тўлқин узунлиги  $\lambda=0,55$  мкм бўлган қайтган ёруғлик интерференция натижасида максимал кучайган бўлади? Ж:  $h=0,1$  мкм.

6.6.Совун пуфагига ( $n=1,33$ )  $i=45^\circ$  бурчак билан оқ ёруғлик тушмоқда. Пуфак пардаси қанчалик юпка бўлганида қайтган нурлар сарик ранга ( $\lambda=6 \cdot 10^{-5}$  см) бўлади. Ж:  $h=0,13$  мкм.

6.7.Ньютон ҳалқаларининг ҳосил қиладиган қурилма монохроматик ёруғлик билан ёритилмоқда. Кузатиш қайтган ёруғликда олиб борилмоқда. Икки қўшни қора ҳалқаларнинг радиуслари мос ҳолда  $r_k=4,0$  мм ва  $r_{k+1}=4,38$  мм. Линзанинг эгрили радиуси  $R=6,4$  м. Ҳалқаларнинг тартиб номерлари ва тушаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги топилсин. Ж:  $k=5$ ,  $k+1=6$ ,  $\lambda=0,5$  мкм.

6.8.Қайтган ёруғликда ( $\lambda=0,6$  мкм) кузатиладиган Ньютоннинг иккинчи ёруғ ҳалқасининг диаметри  $d_1=1,2$  мм. Тажриба учун олинган ясси қаварик линзанинг оптик кучи  $D$  аниқлансин. Ж:  $D=1,25$  Дп

6.9.Ньютон ҳалқаси ясси шиша билан эгрилик радиуси  $R=8,6$  м бўлган линза ўртасида ҳосил қилинган. Моно хроматик ёруғлик нормал тушади. Марказий қорнғи ҳалқани нолинчи деб ҳисоблаб, тўртинчи қорнғи



ҳалқанинг радиуси  $r_4=4,5$  мм га тенглиги аниқланган. Тушаётган ёруғликнинг тўлқин узунлиги топилсин. Ж:  $\lambda=589$  нм

6.10.Ньютон ҳалқаси ҳосил қилинадиган қурилма тушаётган оқ ёруғлик билан ёритилмоқда. 1) тўртинчи кўк ҳалқа ( $\lambda_{\text{кўк}}=400\text{Нм}$ ) ва 2) учинчи қизил ҳалқа ( $\lambda_{\text{қиз}}=630\text{Нм}$ ) радиуслари топилсин. Кузатиш ўтувчи ёруғликда олиб борилади. Линзанинг эгрилик радиуси  $R=5$  м. Ж:  $r_{\text{кўк}}=\sqrt{4R\lambda_{\text{к}}}=2,8$  мм  $r_{\text{қиз}}=\sqrt{4R\lambda_{\text{қиз}}}=3,1\text{мм}$

6.11.Бешинчи ва йигирма бешинчи ёруғ Ньютон ҳалқалари ўртасидаги масофа  $r_{25}-r_5=9$  мм га тенг. Линзанинг эгрилик радиуси  $R=15$  м. Қурилмага номал тушаётган монохроматик ёруғликнинг тўлқин узунлиги  $\lambda$  топилсин. Кузатиш қайтган ёруғликда олиб борилади. Ж:  $\lambda=675\text{Нм}$

6.12.Агар иккинчи ва йигирманчи қорнғи Ньютон ҳалқлари ўртасидаги масофа  $r_{20}-r_2=4,8$  мм бўлса, учинчи ва ўн олтинчи қоронғи ҳалқалар ўртасидаги масофа қанчага тенг? Кузатиш қайтган ёруғликда олиб борилади. Ж:  $r_{16}-r_3=3,66$  мм

6.13.Ньютон ҳалқаларини ҳосил қиладиган қурилма симоб ёйининг нормал тушаётган ёруғлиги билан ёритилади. Кузатиш ўтувчи ёруғликда олиб борилади.  $\lambda_1=579,1$  Нм га мувофиқ келувчи қайси навбатдаги ёруғ ҳалқа  $\lambda_2=577$  Нм чизигига мувофиқ келувчи кейинги ёруғ ҳалқа билан мос келади? Ж:  $k=275$

6.14.Ньютон ҳалқалари кузатиладиган қурилмада линза билан шиша пластинка ўртасидаги бўшлиқ суюқлик билан тўлдирилган. Агар учинчи ёруғ ҳалқа радиуси  $r_3=3,65$  мм га тенг бўлиб чиқса, суюқликнинг синдириш кўрсаткичи аниқлансин. Кузатиш ўтувчи ёруғликда олиб борилади. Линзанинг эгрилик радиуси  $R=10$  м. Ёруғликнинг тўлқин узунлиги  $\lambda=589$  Нм. Ж:  $n=1,33$  §16 – 19 Вольк.

6.15. Ньютон ҳалқалари кузатиладиган қурилма тўлқин узунлиги  $\lambda=600$  Нм бўлган тушаётган монохроматик ёруғлик билан ёритилмоқда. Қайтган ёруғликда тўртинчи қоронғи ҳалқа кузатиладиган жойдаги линза билан шиша пластинка ўртасидаги ҳаво қатламининг қалинлигини топинг. Ж:  $h=1,2$  мкм

6.16.Ньютон ҳалқалари кузатиладиган қурилма қайтган ёруғликда нормал тушувчи монохроматик ёруғлик  $\lambda=500$  Нм билан ёритилади. Линза билан шиша пластинка ўртаси сувга тўлғизилган. Учинчи ёруғ ҳалқа кузатиладиган жойдаги линза билан пластинка ўртасидаги сув қатлами қалинлиги топилсин. Ж:  $h=470$  нм.

## 7-§. Ёруғликнинг дифракцияси

Сферик тўлқин учун френел зоналарининг радиуси

бу ерда  $r$  - зоналар радиуси,  $k$  - зоналар тартиб номери,  $\lambda$  - ёруғлик тўлқини узунлиги,  $a$  - ёруғлик манбаидан тўлқин фронтигача бўлган масофа,  $b$  - тўлқин

фронтидан текширилаётган нуқтагача бўлган масофа. Ясси тўлқин учун ( $a \rightarrow \infty$ ) Френел зонасининг радиуси,

$$r_k = \sqrt{k\lambda_0 b}$$

Битта тор тирқишдан кузатиладиган Фраунгофер дифракцияси  
 $a \sin \varphi = \pm k\lambda_0 \quad k = 1, 2, 3$

бу ерда  $a$  - тирқиш кенглиги,  $\varphi$  - тирқишга ўтказилган перпендикуляр билан дифракцияланган нур орасидаги бурчак - дифракция бурчаги ҳам дейилади.  $k$  - дифракциянинг максимум ва минимум тартиби.

Кўп тирқишдан иборат бўлган дифракцион панжарада кузатиладиган Фраунгофер дифракциясининг максимуми,

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda \quad k = 1, 2, 3$$

бу ерда  $d$  - дифракцион панжара даври ёки доимийси ( $d=a+b$ ) бўлиб,  $a$  - икки штрихланган чизиқлар орасидаги шаффоф масофа,  $b$  - тиниқ бўлмаган штрих кенглиги.

Дифракцион панжаранинг ажрата олиш қобилияти - бу ерда  $\Delta\lambda$  - оптик асбобнинг ажрата оладиган икки спектрал чизиқ тўлқин узунликларининг фарқи ( $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$ ). Дифракцион панжарада штрихлар сони ва дифракция максимумининг тартиб номери қанча кўп бўлса, унинг ажрата олиш қобилияти шунча катта бўлади ва  $R=kN$ . Демак,  $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$  бунда  $N$  дифракцион панжарадаги тўла штрихлар сони.

### **Масала ечиш намунаси**

1. Даври  $2,2 \cdot 10^{-6}$  м бўлган дифракцион панжарага монохроматик параллел нурлар дастаси тик тушмоқда. Агар биринчи ва иккинчи тартибли максимумлар орасидаги бурчак  $\Delta\varphi = 15^\circ$  га тенг бўлса, ёруғлик тўлқин узунлиги нимага тенг.

Берилган:

$$d = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi = 15^\circ$$

---


$$\lambda_0 = ?$$

Ечиш:  $\varphi_1$  ва  $\varphi_2$  лар  $k=1$  ва  $k=2$  бўлган биринчи ва иккинчи тартибли максимумларга тўғри келган дифракция бурчаклари бўлсин. У ҳолда, дифракциянинг максимум шартига биноан

$$d \sin \varphi_1 = \lambda_0 \quad (1)$$

$$d \sin \varphi_2 = 2 \lambda_0 \quad (2)$$

ифодаларни ёзиш мумкин. Ифода (1) ни (2) га ҳадма-ҳад бўламиз

$$\sin \varphi_2 = 2 \sin \varphi_1 \quad (3)$$

ёки  $\varphi_2 = \Delta\varphi + \varphi_1$ , деб, буни (3) га қўямиз.

$$\sin(\Delta\varphi + \varphi_1) = 2 \sin \varphi_1 \quad (4)$$

Бу тригонометрик тенгламани  $\sin \varphi_1$  га нисбатан ечиб,

$$\sin \varphi_1 = \frac{\sin \Delta \varphi}{\sqrt{5 - 4 \cos \Delta \varphi}} \quad (5)$$

ифодага эга бўламиз. Бу формулани (1) га қўйсак,

$$\lambda_0 = \frac{d \sin \Delta \varphi}{\sqrt{5 - 4 \cos \Delta \varphi}} \quad (6)$$

ифода келиб чиқада.  $\sin 15^\circ = 0,259$ .  $\cos 15^\circ = 0,966$

Ҳисоблаш:

$$\lambda_0 = \frac{2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,259}{\sqrt{5 - 4 \cdot 0,966}} = 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

### Масалалар

7.1. Агар ёруғлик манбаидан тулқин сиртгача булган масофа 1 м, тулқин сиртдан кузатиш нуқтасигача ҳам 1 м ва  $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$  м булса, Френелнинг биринчи беш зонаси радиуслари хисобланилсин.

7.2. Монохроматик ёруғлик ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$  см) манбаидан масофада дифракцион манзара кузатилади. Манбадан 0,5 масофада диаметри 1 см ли хира тусик жойлаштирилган. Агар тусик факат Френель марказий зонасини тусса, масофа қанчага тенг бўлади?

7.4. Монохроматик ёруғлик манбаидан ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  см) 4 м масофада дифракция манзараси кузатилади. Экран билан ёруғлик манбаи ўртасига думалоқ тешиклик диафрагма жойлаштрилган. Тешикнинг радиуси қандай бўлганида экранда кузатилаётган дифракцион ҳалқаларининг маркази энг қоронғи бўлади.

7.5. Эни 2 мкм тирқишдан тўлқин узунлиги  $\lambda = 5890$  А монохроматик ёруғлик нормал тушади. Йўналишлари бўйича ёруғлик минимумлари кузатиладиган бурчаклар топилсин.

7.6. Иккинчи тартибли спектрдаги қизил чизиқни ( $\lambda = 7 \cdot 10^{-7}$  м) кўрмоқ учун кўриш трубабини коллиматор ықига  $30^\circ$  бурчак билан ырнишига тўғри келса, дифракцион панжара домийси нимага тенг? Мазкур панжара узунлигининг 1 см қанча штрих чизилган? Панжарага ёруғлик тик тушади.

7.7. Биринчи тартибли спектрдаги симобнинг яшил чизиғи ( $\lambda = 5461$  А)  $19^\circ 8'$  бурчак билан кузатилаётган бўлса, дифракцион панжаранинг 1 мм узунлигида неча штрих бўлади?

7.8. Дифракцион панжарага ёруғлик дастаси нормал тушади. Биринчи тартибли спектрдаги натрий чизиғининг ( $\lambda = 5890$  А) дифракция бурчаги  $17^\circ 8'$  га тенг эканлиги топилган. Бирор чизиқ иккинчи тартибли спектрда  $24^\circ 12'$  га тенг дифракция бурчагини беради. Мазкур чизиқнинг тўлқин узунлиги ва панжаранинг 1 мм даги штрихлар сони топилсин.

7.9. Дифракцион панжарага разряд трубакидан ёруғлик дастаси нормал тушади.  $\lambda = 41^\circ$  йўналишда  $\lambda = 6563$  А ва  $\lambda = 4102$  А икки спектр чизиғи бир тўғри чизиқда ётиши учун дифракцион панжара доимийси нимага тенг бўлиши керак?

7.10. Гелий билан тўлдирилган разряд трубкасида ёруғлик дастаси дифракцион панжарага нормал тушади. Иккинчи тартибли спектрдаги гелий чизиғи ( $\lambda = 6,7 \cdot 10^{-5}$  см) учинчи тартибли спектрдаги қайси чизиқ устига тушади?

7.11. Дифракцион панжарага монохроматик ёруғлик дастаси нормал тушади. Учинчи тартибли максимум нормалга  $30^{\circ}48'$  бурчак билан кузатилади. Тушаётган ёруғлик тўлқин узунликларида ифодаланган панжара доимийсини топинг.

7.12. Панжара биринчи тартибли калий спектри чизиқларини ( $\lambda = 4044 \text{ \AA}$  ва  $\lambda = 4047 \text{ \AA}$ ) ажрата оладиган бўлса, дифракцион панжара доимийсини нимага тенг? Панжара эни 3 см.

7.13. Эни 2,5 м дифракцион панжара доимийси 2 мкм га тенг. Мазкур панжара иккинчи тартибли спектрнинг сариқ нурлар ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$  см) соҳасида қандай тўлқин узунликлари фарқини ажрата олади?

7.14. Даври  $2 \cdot 10^{-4}$  см дифракцион панжара ёрдами билан олинган биринчи тартибли спектрдаги симоб ёйининг икки чизиғи ( $\lambda = 5770 \text{ \AA}$  ва  $\lambda = 5791 \text{ \AA}$ ) экранда бир-биридан қандай масофада туради? Спектрни экранга проекцияловчи линзанинг фокус масофаси 0,6 м.

7.15. Монохроматик манбадаги ( $\lambda = 600 \text{ Нм}$ ) ёруғлик думалок тешикли диафрагмага нормал тушади. Тешик диаметри  $D = 6 \text{ мм}$ . Диафрагма орқасида  $l = 3 \text{ м}$  масофада экран жойлашган. 1) Диафрагма тешигига Френелнинг нечта зонаси сигади? 2) Экранда дифракция манзарасининг маркази қандай булади: коронгилли ёки ёруғли?

7.16. Ясси тулқин учун туртинчи Френель зонасининг радиуси  $r_4 = 3 \text{ мм}$ . Олтинчи Френель зонасининг радиуси аниқлансиз.

7.17. Агар ёруғлик манбаидан тулқин сиртигача булган масофа  $a = 1 \text{ м}$  ва  $\lambda = 500 \text{ Нм}$  булса, Френелнинг биринчи беш зонаси радиуслари ҳисоблансин.

7.18. Ясси тулқин учун Френелнинг биринчиси беш зонаси радиуслари ҳисоблансин. Тулқин сиртидан кузатиш нуқтасигача булган масофа  $l = 1 \text{ м}$ . тулқин узунлиги  $\lambda = 500 \text{ Нм}$ .

7.19. Эни  $a = 2 \text{ мкм}$  тиркишдан тулқин узунлиги  $\lambda = 589 \text{ Нм}$  монохроматик ёруғлик нормал тушади. Ёуналишлари бўйича ёруғлик минимумлари кузатиладиган бурчаклар топилсин.

7.20. Кенглиги  $a = 0,05 \text{ мм}$  булган тиркишга монохроматик ёруғлик ( $\lambda = 600 \text{ Нм}$ ) тик тушади. Ёруғлик дастасининг дастабки ёуналиши ва туртинчи коронгу дифракцион йулдаги ёуналиши орасидаги бурчак  $\phi$  – топилсин.

7.21. Эни  $a = 2 \cdot 10^{-3}$  см ли тиркишга тулқин узунлиги  $\lambda$  дастаси нормал тушади. Тиркишдан  $l = 1 \text{ м}$  узоклаштирилган экрандаги тиркиш тасвирининг иккала томони бўйлаб жойлашган биринчи дифракцион минимумлар уртасидаги масофа тасвир эни деб ҳисоблансин.

7.22. Тиркишга тулқин узунлиги  $\lambda$  монохроматик ёруғликнинг параллел дастаси нормал тушади. Тиркиш эна  $a = 6\lambda$ . Ёруғликнинг учинчи дифракцион минимуми қандай бурчак остида кузатилади?

7.23. Иккинчи тартибли спектордаги кизил чизикли ( $\lambda = 700\text{Нм}$ ) курмок учун куриш трубасини коллиматор укига  $\varphi = 30^\circ$  бурчак Билан урнатишга тугри келса, дифракцион панжара доимийси нимага тенг. Мазкур панжара узунлигининг 1см га канча штрих чизилган? Панжарага ёруглик тик тушади.

7.24. Биринчи тартибли спектрдаги симобнинг яшил чизиги ( $\lambda = 546,1\text{Нм}$ )  $\varphi = 19^\circ 8'$  бурчак Билан кузатилаётган булса, дифракцион 1мм узунлигида неча штрих булади?

7.25. Дифракцион панжарага ёруглик дастаси нормал тушади. Биринчи тартибли спектрдан натрий чизигидан ( $\lambda_1 = 589\text{ Нм}$ ) дифракция бурчаги  $\varphi_1 = 17^\circ 8'$  га тенг эканлиги топилган. Бирор чизик иккинчи тартибли спектрда  $\varphi_2 = 24^\circ 12'$  га тенг дифракция бурчагини беради. Мазкур чизикнинг тулкин узунлиги  $\lambda_2$  ва панжаранинг 1мм даги штрихлар топилсин.

7.26. Дифракцион панжара тик равишда тушаётган монохроматик ёруглик билан ёритилган. Дифракцион манзарада иккинчи тартибли максимум  $\varphi_1 = 14^\circ$  га огган. Учинчи тартибли максимум кандай  $\varphi_2$  бурчакка огган?

7.27. Агар дифракцион панжара доимийси  $d = 2\text{мкм}$  га тенг булса, натрий сарик чизигининг ( $\lambda = 589\text{Нм}$ ) энг ката спектр топилсин.

7.28. 1 мм да  $N = 400$  та штрихи булган дифракцион панжарага монохроматик ёруглик ( $\lambda = 600\text{Нм}$ ) тик равишда тушади. Шу панжара берадиган дифракцион максимумларнинг умумий сони топилсин. Охирги максимумга мос келувчи дифракция бурчаги  $\varphi$  аниклансин.

7.29. Дифракцион панжарага монохроматик ёруглик дастаси нормал тушади. Учинчи тартибли максимум нормалга  $\varphi = 30^\circ 48'$  бурчак Билан кузатилади. Тушаётган ёруглик тулкин узунликларида ифодаланган панжара доимийсини топинг.

7.30. Даври  $d = 10\text{ мкм}$  булган дифракцион панжарага  $d = 30^\circ$  бурчак остида тулкин узунлиги  $\lambda = 600\text{Нм}$  монохроматик ёруглик тушади. Иккинчи бош максимумга мос келувчи дифракция бурчаги  $\varphi$  – аниклансин.

7.31. Агар дифракцион панжара доимийси  $d = 2,0\text{ мкм}$  га тенг булса, ок ёруглик (40-70Нм) учун спекторнинг энг катта спектр тартиби топилсин.

7.32. Биринчи тартибли спектрда  $\lambda = 589\text{Нм}$  учун дифракцион панжара бурчак дисперсияси аниклансин. Дифракцион панжара домийси  $d = 2,5\text{ мкм}$  га тенг.

7.33. Биринчи тартибли спектрдаги  $\lambda = 668\text{Нм}$  учун дифракцион панжара дисперсияси  $D = 2,02 \cdot 10^5\text{ рад/м.}$  дифракцион панжара даврини топинг.

7.34. Доимийси  $d = 5\text{мкм}$  дифракцион панжара кайси тулкин узунлиги учун учинчи тартибли спектрда  $D = 6,3 \cdot 10^5\text{ рад/м}$  бурчак дисперсиясига эга булади.

### 8-§. Ёруғликнинг қутбланиши

**Брюстер қонуни.** Ёруғлик тўлқини тушиш бурчагининг тангенсини муҳит синдириш кўрсаткичига тенг бўлса, икки муҳит чегарасидан қайтган ёруғлик тўла қутбланган бўлади.

$$\operatorname{tg} i = n \quad (1)$$

**Малюс қонуни.** Анализатор орқали ўтаётган ясси қутбланган ёруғликнинг интенсивлиги қутблагич ва анализатор ўқлари орасидаги бурчак косинусининг квадратига пропорционал.

$$J = J_0 \cos^2 \alpha \quad (2)$$

бу ерда  $J_0$  - анализаторга тушаётган ёруғликнинг интенсивлиги.

Иккита диэлектрик муҳит чегарасидан қайтган ёруғлик интенсивликларининг нисбати Френел формуласи ёрдамида топилади.

$$J' = J \cdot \frac{\sin^2(i - \beta)}{\sin^2(i + \beta)} \quad (3)$$

ёки

$$J'' = J \cdot \frac{\operatorname{tg}^2(i - \beta)}{\operatorname{tg}^2(i + \beta)} \quad (4)$$

бу ерда  $J_0$  ва  $J'$  - тушган ва қайтган нурларнинг интенсивлиги бўлиб, ёруғлик вектори  $\vec{E}$  - нинг тебраниши ёруғликнинг тушиш текислигига перпендикуляр бўлади.  $J_0$  ва  $J''$  - қайтган ва тушган нурларнинг интенсивлиги бўлиб, ёруғлик вектори  $\vec{E}$  - нинг тебраниши ёруғликнинг тушиш текислигига параллел бўлади,  $i$  - тушиш бурчаги,  $\beta$  - синиш бурчаги.

Монохроматик ёруғликнинг оптик актив моддалардан ўтишида қутбланиш текислигининг бурилиши;

а) қаттиқ жисмларда

$$\varphi = \alpha d \quad (5)$$

бу ерда  $\alpha$  - бурилиш доимийси,  $d$  - қаттиқ жисмдан тайёрланган оптик актив модда қалинлиги;

б) тоза суюқликларда

$$\varphi = [\alpha] \rho \ell \quad (6)$$

бу ерда  $[\alpha]$  - солиштирма бурилиш,  $\rho$  - суюқлик зичлиги,  $\ell$  - суюқлик қатламнинг узунлиги;

в) эритмаларда

$$\varphi = [\alpha] c \ell \quad (7)$$

бу ерда  $c$  - эритма концентрацияси (фоизларда олинган).

### Масала ечиш намунаси

1. Табiiй ёруғлик шиша пластинка сиртига  $i_B$  Брюстер бурчаги остида келиб тушмоқда. Агар шиша материалынинг синдириш кўрсаткичи 1,5 га тенг бўлса, ёруғликни қайтариш коэффициентини нимага тенг?

Берилган:

$i_B$  - Брюстер бурчаги

$$n=1,5$$

$$\rho=?$$

Ечиш: Сиртга тушаётган  $J$  ёруғликнинг интенсивлигининг қандай қисмини қайтган ёруғлик  $J'$  интенсивлиги ташкил этишини кўрсатадиган тушунча, сиртнинг қайтариш коэффициенти  $\rho$  дейилади, яъни  $\rho = \frac{J'}{J}$  (1)

Брюстер бурчаги остида тушаётган нур учун қайтган нур тўла қутбланган бўлади. У ҳолда,

$$J' = J \cdot \frac{\sin^2(i_B - \beta)}{\sin^2(i_B + \beta)} \quad (2)$$

формуладан фойдаланамиз. Бу ерда  $i_B$  ва  $\beta$  ёруғликнинг тушиш ва синиш бурчаклари. Қайтган ёруғлик тўла қутбланган бўлганда  $i_B + \beta = \frac{\pi}{2}$  га тенг бўлади. У ҳолда (2) ни

$$J' = J \cdot \sin^2(i_B - \beta) \quad (3)$$

кўринишга келтириш мумкин.

(1) ва (5) ифодалардан

$$\rho = \frac{J'}{J} \sin^2(i_B - \beta) \quad (4)$$

Иккинчи томондан табиий ёруғликда  $J$  ёруғлик интенсивлиги тўла қиймати  $J$  нинг ярмини (0,5) ташкил этади. Демак,

$$\rho = 0,5 \sin^2(i_B - \beta) \quad (5)$$

Брюстер формуласидан фойдаланиб  $i_B$  ни аниқлаймиз.

$$\operatorname{tg} i = 1,6 \quad (6)$$

$$i_B + \beta = 90^\circ \text{ дан}$$

$$\beta = \frac{\pi}{2} - i_B = 32^\circ$$

Ҳисоблаш:

$$\rho = 0,5 \sin^2(58 - 32) = 0,1 \quad (10\%)$$

### Масалалар

8.1. Синдириш курсаткичи 1,57 бўлган шишадан қайтган ёруғликнинг тўла қутбланиш бурчаги аниқлансин.

8.2. Бирор модда учун тўла ички қайтиш лимит бурчаги  $45^\circ$  га тенг. Бу модда учун тўла қутбланиш бурчаги нимага тенг?

8.3. Синдириш курсаткичи  $n = 1,57$  булган шишадан қайтган ёруғликнинг тўла қутбланиш бурчаги аниқлансин.

8.4. Бирор модда учун тўла ички қайтиш лимит бурчаги  $i_{\text{лим}} = 45^\circ$  га тенг. бу модда учун тўла қутбланиш бурчаги нимага тенг?

8.5. Шишадан қайтган нурнинг  $r = 30^\circ$  синдириш бурчагида тўла қутбланиши учун шишанинг синдириш курсаткичи нимага тенг бўлиши керак?

8.6. Ёруғликнинг ҳаводан Ош тузи кристалига тушишдаги Брюстер бурчаги  $I_{\text{бр}} = 57^\circ$ . бу кристалдаги ёруғлик тезлиги аниқлансин.

8.7. Ёруглик нури шиша ( $n = 1,5$ ) идишга куйилган суюкликдан утиб, унинг тубидан кайтади. Кайтган нур идиш тубига  $\alpha = 42^\circ 37'$ , бурчак билан тушаётганида батамом кутбланади. 1) суюкликнинг синдириш курсаткичини топинг. 2) Тула ички кайтиш содир булиши учун мазкур суюкликдан утувчи ёруглик нури идиш тубига кандай бурчак Билан тушиши керак?

8.8. Бўшлиқдаги тўлқин узунлиги  $\lambda_0 = 589\text{Нм}$  булган ясси кутибланган ёруглик дастаси исланд шрати пластинкасининг оптик укига перпендикуляр равишда тушади. Агар оддий ва мураккаб нурлар учун исланд шпатининг синдириш курсаткичи  $n_o = 1,66$  ва  $n_e = 1,49$  булса, кристалдаги оддий ва мураккаб нурларнинг тулқин узунликлари топилсин.

8.9. Кутблагич ва анализаторларнинг утказиш текисликлари расидаги бурчак  $\alpha_1 = 45^\circ$ . Агар бурчак  $\alpha_2 = 60^\circ$  гача орттирилса, анализатордан чикаётган ёруглик интенсивлиги неча марта камаяди?

8.10. Кисман кутибланган ёругликнинг кутбланиш даражаси  $P = 0,5$  га тенг. Анализатор оркали утказилаётган ёругликнинг максимал интенсивлиги минимал интенсивлигдан неча марта фарк килади?

8.11. Тула кутибланиш бурчаги билан тушаётган табиий ёруглик нури ясси - параллел шиша пластинкадан утади. Шишанинг синдириш курсаткичи  $n = 1,54$ . Пластинкадан утган нурларнинг кутбланиш даражаси топилсин.



## 3-боб

## Квант оптикиси

## 9-§. Иссиқлик нурланиши қонунлари

Стефан-Больцман қонуни: абсолют қора жисмнинг сирт бирлигидан 1 секундда нурланадиган энергия.

$$E_{\text{с}} = \sigma T^4 \quad (1)$$

бу ерда  $T$  - абсолют ҳарорат,  $\sigma$  - Стефан Больцман доимийси.

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}^4$$

Ноабсолют қора жисм учун.

$$E_{\text{с}} = \kappa \sigma T^4 \quad (2)$$

Бунда  $\kappa$ -пропорционаллик коэффициентлари бўлиб, нурланаётган жисмнинг табиатини характерлайди ва у бирдан кичик  $\kappa < 1$ .

Виннинг 1-қонуни (нурланиш қонуни): абсолют қора жисм нурланиши тўлқин узунлигининг абсолют ҳароратига кўпайтмаси ўзгармас катталиқ:

$$\lambda_{\text{мак}} \cdot T = C_1 \quad (3)$$

бундан  $C_1 = 2,886 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ,  $\lambda_{\text{мак}}$  - нурланиш энергияси спектрнинг максимумига тўғри келган тўлқин узунлиқ.

Виннинг 2-қонуни: абсолют қора жисмнинг максимал қобиляти абсолют ҳароратнинг бешинчи даражасига пропорционал:

$$E_{\text{с}} = C_2 T^5 \quad (4)$$

бунда  $C_2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт} / \text{м}^3 \cdot \text{К}^5$

Планк формуласи - абсолют қора жисм нурланишининг умумий кўринишдаги формуласи

$$E_{\lambda, T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (5)$$

бу ерда  $\varepsilon = h\nu$  бўлиб, ҳар бир ёруғлик квантининг энергияси. Бу ёруғлик кванти учун Планк формуласи ҳам дейилади.  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}$ , у Планк доимийсидир,  $\nu$  - ёруғлик частотаси,  $c$  - ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

**Масала ечиш намунаси**

1. Қуёш нурланиши спектрини текшириш шуни кўрсатдики, энергетик ёрқинлик спектрининг максимумига  $5000 \text{ \AA}$  тўлқин узунлиқ мос келар экан. Қуёшни абсолют қора жисм деб, а) Қуёшнинг энергетик ёрқинлиги ва б) Қуёш томонидан нурланаётган энергия оқими аниқлансин.

Берилган:

$$\lambda_{\text{мак}} = 5000 \text{ \AA} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$

---


$$E_{\text{с}} - ? \quad \Phi - ?$$

Ечиш: Стефан-Больцман ва Виннинг 1-қонунларидан фойдаланамиз:

$$E_{\text{я}} = \sigma T^4 \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{C_1}{T} \quad (2)$$

(2) формуладан  $T = \frac{C_1}{\lambda_{\text{max}}}$  ни топиб, (1) га қўямиз:

$$E_{\text{я}} = \sigma \left( \frac{C_1}{\lambda_{\text{max}}} \right)^4 \quad (3)$$

Ҳисоблаш.

$$E_{\text{я}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} \right) \text{Вт} / \text{м}^2 = 6,4 \cdot 10^7 \text{Вт} / \text{м}^2$$

Қуёш нурланиши энергиясининг оқими  $\Phi$  ни топамиз

$$\Phi = E_{\text{я}} \cdot S$$

дан аниқлаймиз, бунда  $S = 4\pi R_{\text{к}}^2$  бўлиб, Қуёш сиртининг юзи.

Демак,  $\Phi = E_{\text{я}} \cdot 4\pi R_{\text{к}}^2$

ҳисоблаш

$$\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 6,4 \cdot 10^7 \cdot 7 \cdot 10^8 = 3,9 \cdot 10^{26}$$

$$\Phi = 4 \cdot 3,14 (7 \cdot 10^8) \cdot 6,4 \cdot 10^7 \text{Вт} = 3,9 \cdot 10^{26} \text{Вт}$$

### Масалалар

9.1. Қуёш 1 минутда қанча миқдор энергия чиқаради? Қуёш нурланиши абсолют қора жисм нурланишига яқин деб ҳисоблансин. Қуёш сиртининг температурасини 5800 К деб қабул қилинг.

9.2. Абсолют қора жисмнинг нурланиш қуввати 34 кВт. Жисм сирти  $0,6 \text{ м}^2$  бўлса, унинг температурасини аниқланг. Майдони  $10 \text{ см}^2$  чўғланган метал сиртдан 1 минутда  $4 \cdot 10^4 \text{ Ж}$  иссиқлик нурлданади. Сирт температураси 2500 К. 1) Бу сирт абсолют қора бўлса, унинг нурланиши қандай булиши, 2) мазкур температурада бу сирт энергетик ёрқинлигининг абсолют қора жисм ёрқинлигига нисбати топилсин.

9.3. Атмосфера Қуёш юборадиган нур энергиясининг 10 фоизини ютади деб ҳисоблаб, майдони 0,5 келадиган ернинг горизонтал сахни оладиган қувватини топинг.

9.4. Абсолют қора жисмнинг нурланиш қуввати  $10^5 \text{ кВт}$ . Агар жисм ёрқинлигининг максимал спектрал зичлигига тўғри келадиган тўлқин узунлиги  $7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$  га тенг бўлса, жисмнинг нур сочувчи сиртининг катталиги топилсин.

9.5. Агар ёруғлик манбаи сифатида 1) Электр лампочкасининг спирали ( $T=3000^\circ \text{К}$ ), 2) Қуёш сирти ( $T=6000^\circ \text{К}$ ) ва 3) портилаганда температураси қарийб 10млн. градусга етадиган атом бомбаси олинган бўлса, энергетик ёрқинлигининг максимал спектрал зичлигига мос келувчи тўлқин узунликлари спектрнинг қайси соҳасида ётади? Нурланишни абсолют қора жисмнинг нурланишига яқин деб ҳисоблансин.

9.6. Абсолют қора жисм қиздирилганда ёрқинлигининг максимал спектрал зичлигига тўғри келадиган тўлқин узунлиги 0,69 дан 0,5 мкм гача ўзгарган. Бунда жисм ёрқинлигининг спектрал зичлиги неча баравар кўпайган.

9.7. Абсолют қора жисм  $T = 2900^{\circ}\text{K}$  температурада Шу жисмнинг совиши натижасида энергетик ёрқинлигининг спектрал зичлиги максимумига тўғри келадиган тўлқин узунлиги  $\lambda = 9$  мкм га ўзгарган. Жисм қандай  $T$  температурага қадар совуган?

9.8. Жисм сирти  $1000^{\circ}\text{K}$  температурага қадар қиздирилган. Сўнгра бу сиртнинг ярми  $100^{\circ}\text{K}$  га совирилган. Бу жисм сиртининг энергетик ёрқинлиги неча барабар ўзгаради?

9.9. Қорайган шар  $27^{\circ}\text{C}$  температурадан  $20^{\circ}$  температурага қадар совиёди. Унинг энергетик ёрқинлигининг спектрал зичлиги максимумига тегишли тўлқин узунлиги қанча ўзгарган?

9.10. Абсолют қора жисмнинг энергетик ёрқинлиги  $10 \text{ кВт/м}^2$  бўлганда унинг температураси аниқлансин.

9.11. Печдаги  $S=6,1 \text{ см}^2$  улчамли тешикдан  $t=1$  сек да  $N=34,6 \text{ Вт}$  иссиқлик нурланадиган бўлса, печнинг температураси қанча. Нурланиш абсолют қора жисм нурланишига яқин деб ҳисоблансин.

9.12. Қуёш  $t=1$  минутда қанча миқдор энергия чиқаради? Қуёш нурланиши абсолют қора жисм нурланишига яқин деб ҳисоблансин. Қуёш сиртининг температураси  $T=5800^{\circ}\text{K}$  деб қабул қилин.

9.13. Қотиб қолган бир квадрат метр қурғошин сиртидан  $t=1$  сек да қанча энергия нурланади? Мазкур температура учун қурғошин сирти энергетик ёрқинлигининг абсолют қора жисм ёрқинлигига нисбати  $0,6$  га тенг деб олинсин.

9.14. Абсолют қора жисмнинг нурланиш қуввати  $N=34 \text{ кВт}$ . Жисм сирти  $S=0,6 \text{ м}^2$  бўлса, унинг температурасини аниқланг.

9.15. Агар печнинг температураси  $T=1200 \text{ К}$  бўлса, юзаси  $S=8 \text{ см}^2$  бўлган эритиш печининг тўйнуғидан  $t=1$  минут ичида чиқётган  $E$  энергия аниқлансин.

9.16. Сириус юлдузининг юқори қатламларидаги ҳарорати  $T=10 \text{ К}$ . Шу юлдузнинг  $S=1 \text{ км}^2$  юзали сиртидан соғилаётган энергия оқими  $\Phi_e$  аниқлансин.

9.17. Майдони  $S=10 \text{ см}^2$  чўғланган металл сиртидан  $t=1$  минутда  $E=4 \cdot 10^4 \text{ Ж}$  иссиқлик нурланади. Сирт температураси  $T=2500^{\circ}\text{K}$ . 1) бу сирт абсолют қора бўлса, унинг нурланиши қандай бўлиши, 2) мазкур температурада бу сирт энергетик ёрқинлигининг абсолют қора жисм ёрқинлигига нисбати топилсин.

9.18.  $T=600^{\circ}\text{K}$  ҳароратда қўмирнинг иссиқлик нурланиш коэффициентини  $\epsilon=0,8$  деб қабул қилиб: 1) қўмирнинг энергетик ёритувчанлиги  $R_0$ ; 2)  $t=10$  минутда вақт давомида қўмирнинг  $S=5 \text{ см}^2$  юзали сиртида соғиладиган  $E$ -энергия аниқлансин.

9.19.  $T=400 \text{ К}$  ҳароратда  $t=5$  минут вақт давомида қорақуюнинг  $S=2 \text{ см}^2$  юзали сиртидан  $E=83 \text{ Ж}$  энергия сочилади. Қорақуюнинг иссиқлик нурланиш коэффициенти  $k$  - аниқлансин.

9.20.  $t=0^{\circ}\text{C}$  ҳароратда қора жисм энергетик ёритувчанлиги спектрал зичлигининг максимуми  $r_{\lambda(\max)}$  қандай тўлқин узунлигига мос келади.

9.21. Абсолют қора жисм ёрқинлигининг максимал спектрал зичлиги  $\lambda_{(\max)}=484 \text{ Нм}$  тўлқин узунлигига тўғри келадиган бўлса, абсолют қора жисм  $t=1$  сек да  $S=1 \text{ см}^2$  сиртидан қанча  $R_0$  энергия чиқаради.

9.22. Абсолют кора жисмнинг нурланиш куввати  $N=10$  кВт. Агар жисм ёркинлигининг максимал спектрал зичлигига тугри келадиган тулкин узунлиги  $\lambda=700$  Нм га тенг булса, жисмнинг нур сочувчи S-сиртининг катталиги топилсин.

9.23. Агар ёруглик манбаи сифатида 1) электр лампочкасининг спирали ( $T=3^{\circ}\text{K}$ ), 2) куёш сирти ( $T=6^{\circ}\text{K}$ ) ва 3) портлаганда температураси қарийб  $T\approx 100$  Н К градусга етадиган атом бомбаси олинган булса, энергетик ёркинлигининг максимал спектрал зичлигига мос келувчи тулкин узунликлари спектрнинг қайси соҳасида ётади? Нурланишни абсолют кора жисмнинг нурланишига якин деб ҳисоблансин.

9.24. Куёшнинг юкори катламларининг ҳарорати  $T=5,3$  кк га тенг. Куёшни кора жисм сифатида қабул қилиб, куёш энергетик ёркинлиги спектрал зичлигининг максимуми  $r_{x(\max)}$  мос келувчи тулкин узунлиги  $\lambda_{(\max)}$  аниқлансин.

9.25. Одам танасининг ҳароратига, яъни  $t=37^{\circ}\text{C}$  га тенг булган температурали абсолют кора жисм энергетик ёркинлигининг спектрал зичлиги максимуми қандай тулкин узунликка тўғри келади?

9.26. Қора жисм энергетик ёритувчанлиги спектрал зичлигининг максимуми  $r_{x(\max)}=416$  ГВт/(м·Нм)? У қандай  $\lambda_m$  тулкин узунлигига тугри келади?

9.27. Абсолют кора жисм қизилрилганда унинг ҳарорати  $T_1=1$  кК дан  $T_2=3$  кК гача узгарган. 1) Бунда унинг энергетик ёркинлиги неча барабар ортган? 2) Энергетик ёркинлигининг спектрал зичлиги максимумига тугри келадиган тулкин узунлиги қанчага узгарган? Энергетик ёркинлигининг спектрал зичлиги максимуми неча барабар қупайган?

## 10-§. Ёругликнинг квант табиати ва заррачаларнинг тулкин хоссалари

Ёруглик кванти (фотони) нинг энергияси қуйидаги формула билан аниқланади:

$$\varepsilon = h\nu$$

бунда  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Ж·с - Планк доимийси ва  $\nu$  – тебраниш частотаси.

Фотоннинг массаси:

$$E = mc^2, \quad \varepsilon = h\nu, \quad m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2}$$

Фотоннинг импульси (ҳаракат миқдори)

$$P = mc = \frac{h\nu}{c}$$

бунда  $c = 300000$  км/с – ёругликнинг бўшлиқдаги тезлиги.

### Масала ечиш намунаси

1. Импульси  $20^{\circ}\text{C}$  ҳароратдаги водород молекуласининг импульсига тенг бўлган фотон массасини аниқланг. Молекула тезлигини ўртача квадратик тезликка баробар деб, ҳисобланг.

Берилган:

$$t=20^{\circ}\text{C}$$

$$T=293\text{ K}$$

$$v = \sqrt{v^2}$$

---


$$m_\phi - ?$$

Екинчи: Масала шартига кўра  $P = m_H v$  (1)

Иккинчи томондан  $v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$  у ҳолда (1) формулани

$$P_\phi = m_H \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (2)$$

кўринишда ёзиш мумкин.  $P_\phi$ -фотон импульси бўлиб,  $P_\phi = \frac{h\nu}{c}$  га тенг. Демак ,

$$\frac{h\nu}{c} = m_H \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (3)$$

ифодага эга бўламиз. Бунда  $c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ,  $m_H=1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ . иккинчи формуланинг ҳар икки томонини “ $c$ ” га бўламиз.

$$\frac{h\nu}{c^2} = \frac{m_H}{c} \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (4)$$

бунда,  $\frac{h\nu}{c^2} = m_\phi$  фотон массасини беради,

$$\mu = \mu_H = 2 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} ; R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль К}} = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль К}}$$

Шундай қилиб,  $m_\phi = m_\phi = \frac{m_H}{c} \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (5)$

формулага эга бўламиз.

Ҳисоблаш,  $m_\phi = \frac{1,67 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 10^8} \sqrt{\frac{3 \cdot 293 \cdot 8,31}{2 \cdot 10^{-3}}} = 2,1 \cdot 10^{-32} \text{ кг}$

10.1. Фотонга мувофиқ келадиган тулқин узунлик 0,016 А бўлса, унинг энергияси, массаси ва ҳаракат миқдорини топинг.

10.2. Электроннинг кинетик энергияси тулқин узунлиги  $\lambda = 5200 \text{ А}$  бўлган фотон энергиясига тенг бўлиши учун электрон қандай тезлик билан ҳаракат қилиш керак?

10.3. Электроннинг ҳаракат миқдори тулқин узунлиги  $\lambda = 5200 \text{ А}$  бўлган фотоннинг ҳаракат миқдorigа тенг бўлиши учун у қандай тезлик билан ҳаракат қилиши керак?

10.4. Фотон массаси тинч турган электрон массасига тенг бўлиши учун унинг энергияси қанча бўлиши керак?

10.5. Икки атомли газ молекуласининг кинетик энергияси қандай температурада тулқин узунлиги  $\lambda = 5,98 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$  бўлган фотон энергиясига барабар бўлади?

10.6. Ҳаракат миқдори 20 С температурадаги водород молекуласининг ҳаракат миқдorigа тенг булган фотон массасини топинг. Молекула тезлигини уртача квадрат тезликка барабар деб ҳисобланг.

10.7. Литий, натрий, калий ва цезий учун фотоэффектнинг кизил чегарасини топинг.

10.8. Муайян металл учун фотоэффектнинг кизил чегараси 2750 А га тенг. 1) Шу металлдан электрон чиқаётганда бажарилган иш 2) тулкин узунлиги 1800 А булган ёруклик билан шу металлдан ажратиб олинadиган электронларнинг аксимал тезлиги, 3) мазкур электронларнинг максимал энергияси топилсин.

10.9. Калий тулкин узунлиги 3300 А ёруклик билан ёритилганида чиқаdиган фотоэлектронлар учун тутувчи потенциал катталигини топинг.

10.10.  $\lambda = 380$  Н м тулкин узунлигига тугри келувчи (куриш спектрининг бинавша чегараси) фотоннинг энергияси  $\varepsilon$ , массаси  $m_\phi$  ва импульси  $P_\phi$  аниклансин.

10.11. Неон газли лазер нурунинг тулкин узунлиги  $\lambda = 630$  Нм булса, фотонининг энергияси  $\varepsilon$ , массаси  $m_\phi$  ни ва импульси  $P_\phi$  ни топинг.

10.12. Фотонларнинг энергияси  $\varepsilon_1 = 2 \cdot 10^{-17}$  ж,  $\varepsilon_2 = 4 \cdot 10^{-19}$  ж,  $\varepsilon_3 = 3 \cdot 10^{-23}$  ж га тенг булган нурлар кайси турга тегишли?

10.13. Энергияси  $\varepsilon = 6 \cdot 10^{-19}$  ж га тенг булган фотоннинг импульси кандай?

10.14. Куввати  $N = 100$  Вт булган ёруклик манбаидан  $t = 1$  с ичида  $n = 5 \cdot 10^{20}$  та фотон чикса, нурланишнинг тулкин узунлиги  $\lambda$  ни топинг.

10.15. Электроннинг кинетик энергияси тулкин узунлиги  $\lambda = 520$  Нм булган фотон энергиясига тенг булиши учун электрон кандай тезлик билан харакат килиши керак?

10.16. Электроннинг импульси (харакат микдори) тулкин узунлиги  $\lambda = 520$  Нм булган фотоннинг импульсига тенг булиши учун у кандай тезлик билан харакат килиши керак?

10.17. Импульси  $v = 10$  м/с тезликка эга булган электроннинг узунлиги  $\lambda$  аниклансин.

10.18. Икки атомли газ молекуласининг кинетик энергияси кандай температурада тулкин узунликлари  $\lambda_1 = 600$  Нм ва  $\lambda_2 = 25$  Пм булган фотон энергияларига тенг булади.

10.19. Харакат микдори  $t = 20^0$  С температурадаги водород молекуласининг импульсига тенг булган фотон массасини топинг. Молекула тезлигини уртага квадрат тезликка тенг деб хисобланг.

## 11-§. Фотоэлектрик ҳодиса. Комптон эффекти

Ташқи фотоэффектни вужудга келтиручи фотон энергияси билан металл сиртидан учиb чиқаётган электронларнинг максимал кинетик энергияси ўртасидаги боғланиш Эйнштейн формуласи билан аникланади, яъни

$$h\nu = A + \frac{mv_{\text{мак}}^2}{2} \quad (1)$$

бунда  $A$  – метал сиртидан электронларнинг чиқиш иши,  $m$  – электрон массаси. Агар  $\nu = 0$  бўлса, тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$h\nu_0 = A \quad (2)$$

бу ҳолда  $\nu_0$  - фотоэффектнинг қизил чегарасига мувофиқ келувчи частота.

Ёруғлик босимининг микдори

$$P = \frac{E}{c}(1 + \rho) \quad (3)$$

бунда  $E$  – бирлик сиртга вақт бирлигида тушувчи энергия микдори,  $\rho$  - ёруғликнинг қайтиш коэффиценти,  $c$  – вакуумдаги ёруғлик тезлиги.

Комптон ҳодисасидаги рентген нурлари тўлқин узунликларининг ўзгариши қуйидаги формула билан аниқланади.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m \cdot c}(1 - \cos \varphi) \quad (4)$$

бунда  $\varphi$  - сочилиш бурчаги ва  $m$  – электрон массаси  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$  тўлқин узунликларининг ўзгариши

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad (5)$$

$$\lambda_K = \frac{h}{mc} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$\lambda_K$  – электрон учун Комптон тўлқин узунлиги.

### **Масалалар ечиш намунаси**

**1.** Металл сиртидан 3 В тескари потенциал билан бутунлай ушлаб қолиндиған электронларни уриб чиқарувчи ёруғликнинг частотаси аниқлансин. Мазкур металл учун фотоэлектрик ҳодисанинг қизил чегараси металл сиртига тушаётган ёруғликнинг частотаси  $6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$  бўлганда бошланади деб, металл сиртидан электроннинг чиқиш ишини аниқланг.

*Берилган:*

$$U = -3 \text{ В}$$

$$\nu_{\min} = 6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$$

---


$$\nu = ? \quad A = ?$$

Ечиш: Ёруғлик частотаси  $6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$  кичик бўлиши билан фотоэлектрик ҳодиса кузатилмаганлиги нуқтаи назаридан, электроннинг чиқиш ишини

$$A = h\nu_{\min} \quad (1)$$

формуладан аниқлаймиз.

$$\text{Ҳисоблаш:} \quad A = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Ж}$$

Эйнштейн формуласидан фойдаланиб, 3 В тескари потенциал берилгандан ушлаб қолиндиған электронларни уриб чиқарувчи ёруғлик частотасини аниқлаймиз.

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

Масала шартига биноан

$$\frac{mv^2}{2} = eU \quad (3)$$

демак,

$$hv = A + eU \quad (4)$$

ёзиш мумкин, бундан

$$\nu = \frac{A + eU}{h} \quad (6)$$

келиб чиқади.

Ҳисоблаш.

$$\nu = \frac{4 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3}{6,62 \cdot 10^{-34}} \approx 13,5 \cdot 10^{-14} \text{ c}^{-1};$$

2. Энергияси 0,75 МэВ бўлган фотон эркин электрондан  $\theta = 60^\circ$  га Комптон ҳодисасидан сочилган. Сочилган фотон энергияси ва “тепки” электрон энергияси Т аниқлансин.

Берилган.

Ечилиш:

$E=0,75$  МэВ

Сочилган фотоннинг энергиясини аниқлашда

$\theta=60^\circ$

Комптон формуласидан фойдаланамиз:

$E=?$   $T=?$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} \cdot (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

бу ерда  $\lambda'$  ва  $\lambda$  - сочилган ва тушаётган рентген квантининг тўлқин узунлиги,  $m_0$  - электроннинг тинч ҳолатидаги массаси.

Тўлқин узунликларини фотон энергиялари орқали ифодалай оламиз.

$$\varepsilon' = \frac{hc}{\lambda'} \Rightarrow \lambda' = \frac{hc}{\varepsilon'} \text{ ва } \varepsilon = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\varepsilon} \quad (2)$$

у ҳолда (1) ни қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon \cdot m_0 c^2}{m_0 c^2 + \varepsilon(1 - \cos \theta)}; \quad (3)$$

Ҳисоблаш.

$$\varepsilon' = \frac{0,75 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 + 0,75(1 - \cos 60^\circ)} \approx 0,43 \text{ МэВ}$$

Энергиянинг сақланиш қонунидан “тепки” электрон энергиясини аниқлаймиз.

$$T = \varepsilon - \varepsilon'$$

Ҳисоблаш.

$$T = 0,75 - 0,43 = 0,32 \text{ МэВ}$$

## Масалалар

11.1. Агар натрий учун фотоэффектнинг кизил чегараси  $\lambda_0 = 500$  Нм булса электронларнинг натрийдан чиқиш иши А-аниқлансин ( А ни Э В ларда ҳисобланг).

11.2. Литий, натрий, калий ва цезий учун фотоэффектнинг кизил чегарасини топинг.



11.3. Агар кумушнингсиртига тулкин узунлиги  $\lambda = 300\text{Нм}$  булган ультра бинафша нурланиш йуналтирилса, фотоэффукт кузатиладими?

11.4. Муайян металл учун фотоэффектнинг кизил чегараси  $\lambda_0 = 275\text{Нм}$ . Фотоэффектни вужудга келтирувчи фатон энергиясининг минимал киймати нимага тенг?

11.4. Муайян металл учун фотоэффектнинг кизил чегараси  $\lambda_0 = 275\text{Нм}$ га тенг. 1) шу металидан электрон чикайтганда бажарилган  $A$  – иш, 2) тулкин узунлиги  $\lambda_0 = 180\text{Нм}$  булган ёруглик билан шу металдан ажратиб олинadиган электронларнинг максимал тезлиги, 3) мазкур электронларнинг максимал энергияси топилсин.

11.5. Литий сиртига монохроматик ёруглик тушади ( $\lambda = 310\text{Нм}$ ). Электронлар эмиссиясини тухтатиш учун  $U = 1,7\text{В}$  дан кам булмаган тутувчи потенциаллар фаркини кушиш керак. Чикиш иши  $A$  аниклансин.

#### 4-боб. Атом физикаси.

##### 12-§. Бор назарияси бўйича водород атоми

Борнинг иккинчи постулати (электроннинг бир орбитадан иккинчи орбитага ўтишига тўғри келадиган нурланиш частотаси) формуласи:

$$h\nu = E_K - E_{II} \quad (1)$$

бунда  $K$  ва  $II$ –орбита номлари ( $K > II$ )  $E_K$  ва  $E_{II}$  орбиталарга мувофиқ келувчи электрон энергиясининг қийматлари.

Борнинг учинчи постулати - квантлаш қондаси формуласи,

$$m\nu_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (2)$$

бу ерда  $m$ –электрон массаси,  $r_n$ – $n$ -чи орбита радиуси,  $n$ –ихтиёрий бутун сон (бош квант сони),  $h$ –Планк доимийси ва  $\nu$ –электроннинг  $n$ -чи орбитадаги тезлиги.

Бальмер (водород спектри чизиқларига мувофиқ келувчи частота  $\nu$  ёки тўлқин узунлиги  $\lambda$  ни топишга имкон берувчи) формуласи:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R \cdot c \left( \frac{1}{K^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3)$$

бунда  $K$  ва  $n$  – орбиталарнинг номерлари,  $c$  - ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги,  $R$  –Ридберг доимийси,

$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} = \frac{e^2 m}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \quad (4)$$

бунда  $e$  - электрон заряди,  $\epsilon_0$  –электр доимийси.

Водородсимон атом учун,

$$\nu = R c z^2 \left( \frac{1}{K^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5)$$

бунда  $z$ –элементнинг тартиб номери.

Бор постулатларига асосан атом  $n$ -чи орбитасининг радиуси:

$$r = \frac{4\pi\epsilon_0 h^2}{m e^2} n^2 \quad (6)$$

Биринчи Бор орбитасининг радиуси:

$$a_o = \frac{4\pi\epsilon_0 h^2}{m e^2} = 52,9 \text{ нм}$$

Бор орбитасининг радиуси:

$$r_n = a_o n^2$$

Иккинчи орбитадаги электронларнинг кинетик энергияси:

$$E_K = k \frac{e^2}{2r_n}$$

бу ерда

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Потенциал энергияси:

$$E_P = -k \frac{e^2}{r_n}$$

Тўлиқ энергияси:

$$E = \frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

бу ерда  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

Бальмер формуласида  $\kappa=1$ ;  $n=2$  бўлса Лайман серияси ҳосил бўлади:

$$\nu = R c \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

шу тарзда  $\kappa=2$ :  $n=3$  бўлса Бальмер серияси,  $\kappa=3$ ; ва ҳоказо сериялари вужудга келади.  $n=4$  бўлса Пашен серияси бўлади.

Водород атомининг ионланиш потенциалли

$$E_i = \frac{A_i}{e}$$

бу ерда  $e$ -электроннинг заряди;  $A_i$ -электронни нормал орбитадан чексизликка чиқариш учун сарфланган иш.

### 13-§. Рентген нурланиши

Туташ рентген спектрининг қиска тўлқин чегараси қуйидаги муносабатдан топилиши мумкин:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad (1)$$

бу ерда  $U$ -рентген трубкаси электродлари орасига берилган потенциаллар айирмаси,  $e$ -электрон заряди,  $h$  - Планк доимийси.

Мозли формуласи (характеристик рентген нурларининг тўлқин узунлиги).

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z-b)^2 \left( \frac{1}{R^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2)$$

бу ерда  $b$ -экранлаш доимийси,  $Z$ -элементнинг тартиб номери,  $R$ -Ридберг доимийси.

Квант механикасининг элементлари.

Де-Бройл тўлқин узунлиги (элементар зарра тўлқин узунлиги):

$$\lambda_{Д-Б} = \frac{h}{p} \quad (3)$$

ёки

$$\lambda_{Д-Б} = \frac{h}{m_0 v} \quad (4)$$

бу ерда  $\lambda_{Д-Б}$ -Де-Бройл тўлқин узунлиги,  $m$ -электроннинг тинч ҳолатдаги массаси,  $v$ -зарра тезлиги.

Агар зарра тезлиги вакуумдаги ёруғлик тезлигига яқин бўлса (релятивистик ҳол учун)

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

у ҳолда,

$$\lambda = \frac{h}{m_o v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (6)$$

Де-Бройль тўлқин узунлигини ҳисоблашда импульс  $P$ , зарраларнинг кинетик энергияси  $T$  орқали ифодаланади:  
классик механикада

$$p = \sqrt{2m_o T} \quad (7)$$

Релятивистик ҳолда

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{T(T + 2E_o)} \quad (8)$$

бу ерда  $E_o$ -зарранинг тинч ҳолатдаги энергияси  $E_o = m_o c^2$

## 5-боб. Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси

### 14-§. Атом ядроларининг тузилиши.

#### Радиоактивлик

Ядродаги нейтронлар сони ( $N$ ):

$$N = A - Z \quad (1)$$

бу ерда  $A$ -масса сони,  $Z$ - элементнинг тартиб номери (заряд сони).

Радиоактивлик парчаланишнинг асосий қонуни:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

бу ерда  $N$ -вақтнинг  $t$  пайтидаги парчаланмаган атомлар сони,  $N_0$ - ( $t=0$ ) пайтдаги парчаланмаган атомлар сони,  $\lambda$  – радиоактив парчаланиш доимийси.

$t$  - вақт ичида емирилмаган атомлар сони:

$$N' = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

Ярим емирилиш даври ( $T$ )

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (4)$$

Радиоактивлик нуклиднинг ўртача яшаш вақти:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Нуклид намунасида мавжуд бўлган атомлар сони:

$$N = \frac{m}{A} \cdot N_A \quad (6)$$

бу ерда  $m$ - намуна массаси,  $N_A$  - Авагадро сони,  $A$ -нуклид килограмм-атом массаси.

Намунанинг активлиги бир бирлик вақт ичида парчаланган ядролар сони билан ўлчанади:

$$a = -\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (7)$$

ёки

$$a = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (8)$$

### 15-§. Масса дефекти ва атом ядроларининг боғланиш

#### энергияси

Ядрони ташкил этувчи элементар зарралар массалари йиғиндиси билан ядронинг ўз массаси ўртасидаги фарқ масса дефекти  $\Delta M$  - дейилади.

$$\Delta M = [Z \cdot M_p + (A - Z) \cdot M_n - M_A] \quad (1)$$

бу ерда  $Z$  – изотопнинг тартиб номери,  $A$  – масса сони,  $M_p$  – протон массаси,  $M_n$  – нейтрон массаси,  $M_A$  – изотоп ядросининг массаси.

Асосан масса дефекти куйидаги курунишда ифодаланади:

$$\Delta M = [Z M_{^1_1H} + (A - Z) M_n - M_A] \quad (2)$$

бу ерда  $M_{^1_1H}$  –  $^1_1H$  водород изотопи массаси,  $M_A$  – мазкур изотоп (атом) массаси.

Боғланиш энергияси  $\Delta E$  зарралар системасининг масса дефектига  $\Delta M$  пропорционал:

$$\Delta E = c^2 \cdot \Delta M \quad (3)$$

### 16-§. Ядро реакциялари. Элементар зарралар

Ядро реакциялари қуйидаги кўринишларда ёзилиши мумкин:



ёки



бу ерда  ${}^1_1\text{H}$  – водород атоми изотопии,  ${}^4_2\text{He}$  – гелий ядроси,  $P$  – протон,  $\alpha$  – зарра.

Ядро реакциясидаги энергия ўзгариши қуйидаги муносабатдан аниқланади.

$$\Delta E = c^2 \cdot (\sum M_1 - \sum M_2) \quad (3)$$

бунда  $\sum M_1$  – реакцияга қадар бўлган зарралар массаларининг йиғиндиси,

$\sum M_2$  – реакциядан кейинги зарралар массаларининг йиғиндиси.

Агар  $\sum M_1 > \sum M_2$  бўлса, реакция пайтида энергия ажралиб чиқади, аксинча бўлса реакция энергия ютиш билан боради.