

# ФИЗИКА

# 11



$$F=qBv\sin\alpha$$

# ФИЗИКА 11

---

**МАГНИТ ӨРІСІ**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР ЖӘНЕ  
ТОЛҚЫН ОПТИКАСЫ**

**САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ**

**КВАНТТЫҚ ФИЗИКА**

**АТОМ ЖӘНЕ ЯДРОЛЫҚ ФИЗИКА**

**АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСЫНЫҢ  
ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ**

*1-басылуы*

*Орта білім мекемелерінің 11-сыныбына оқушыларына арналған оқулық*

*Өзбекстан Республикасы Халыққа білім беру министрлігі бекіткен*

ТАШКЕНТ – “NISO POLIGRAF” – 2018

УДК: 53(075.32)

КБК 22.3я721

Ф49



#### Авторлар:

- Н.Ш.Турдиев** – III тарау. “Электромагниттік тербелістер”, IV тарау. “Электромагниттік толқындар және толқын оптикасы”;
- К.А.Турсунметов** – V тарау. “Салыстырмалық теориясы”, VI тарау. “Кванттық физика”;
- А.Ф.Ғаниев** – VII тарау. “Атом және ядролық физика. Атом энергетикасының физикалық негіздері”;
- К.Т.Суяров** – I тарау. “Магнит өрісі”, II тарау. “Электромагниттік индукция”;
- Ж.Э.Усаров** – I тарау. “Магнит өрісі”, II тарау. “Электромагниттік индукция”;
- А.К.Әулиеқұлов** – VII тарау. “Атом және ядролық физика. Атом энергетикасының физикалық негіздері”.

#### Шікір жазғандар:

- Б.Нуруллаев** – Низами атындағы ТМПУ доценті, п.ғ.к.;
- Д.Бегматова** – ӨзМУ кафедра меңгерушісі, п.ғ.к.;
- З.Сангирова** – РБО бас әдіскері;
- В.Саидхужаева** – Ташкент облысының Піскент ауданындағы №5 мектептің физика оқытушысы, Өзбекстанға еңбегі сіңген Халық ағарту қызметкері;
- М.Саидоринова** – Ташкент қаласының Юнусабад ауданындағы №63 мектептің физика оқытушысы;
- М.Юлдашева** – Ташкент қаласының Сіргелі ауданындағы №6 ДЛУОТ мектебінің жоғары санатты физика оқытушысы.
- Ф.Норқобилов** – Ташкент қаласының Сіргелі ауданындағы №303 мектептің оқытушысы;

#### ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР:

- | – физикалық шамалардың сипаттамасы; негізгі заңдар;
- \* – бұл тақырыптар физиканы тереңірек оқып-үйренуге сұранысы бар оқушыларға арналған;
-  – оқушы орындайтын практикалық жұмыс;
-  – тақырыптың мәтінін оқып шыққан соң берілген сұрақтарға жауап қайтару.

Республикалық мақсатты кітап қорының қаржылары есебінен басылды

ISBN 978-9943-5083-6-1

© Н.Ш.Турдиев және басқ., 2018,

© “Niso Poligraf” (түпнұсқа-макет), 2018

## КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда білім беруді дамыту бойынша алға қойылған Мемлекеттік талап оқушының жеке басын, ұмтылысын, қабілеті мен қызығуларын ескеріп, ғылымның, техника мен технологиялардың үздіксіз жетілу үстінде болатынына сәйкес, оқушылардың бойында оқу пәндерін игерудің тірек және пәнге қатысты жалпы компетенцияларын дамытудан тұрады.

Атап айтқанда, физика ілімі оқушылардың бойында пәннің техникалық прогресс пен өмірдегі орнын, пәнге қатысы бар зәру білімдерді иелеуін, алған білімдерін өмірде қолдана білу білігін қалыптастыру мен дамытуды көздейді. Бұл мақсат белгілі бір басқыштарда, яғни 6–11-сыныптарда физиканың бөлімдерін оқып-үйрену арқылы жүзеге асырылады.

Физика пәнін оқып-үйрену 6-сыныпта басталады да, алғашқы басқышта механика, жылу, электр, жарық, дыбыс құбылыстары және заттың түзілісі туралы бастапқы мәліметтер беріледі. Физика пәні дәйекті курс ретінде 7-сыныпта “Механика” курсы, 8-сыныпта “Электр” курсы, 9-сыныпта “Молекулярлық физика негіздері”, “Оптика”, “Атом және ядролық физика негіздері” және “Ғарыш жайлы ұғымдар” курстары арқылы оқытылады.

Ал одан кейінгі басқышта жалпы орта білім беретін мектептерде оқытылған оқу материалдары орта мектептің 10–11-сыныптарында, академиялық лицейлер мен кәсіптік-техникалық колледждерде қайталанбауы, оқушылардың жас және психологиялық ерекшеліктеріне, орта білім дайындығына сәйкес келуі, сонымен қатар физикалық ұғымдарды бірте-бірте күрделендіріп қалыптастыру ескерілген.

Қолдарындағы оқулық табиғаттағы үдерістер мен құбылыстарды бақылау, талдау, физикалық құбылыстарды зерттеу барысында аспап-құралдарды дұрыс пайдалана білу, физикалық ұғымдар мен шамаларды математикалық формулалармен өрнектей алу, пән саласында қол жеткізілген жетістіктер және олардың практикаға енгізілуі арқылы оқушылардың ғылыми дүниетанымдарын дамытуға бағытталған. Онда магнит өрісі, электромагниттік индукция, электромагниттік тербелістер, электромагниттік толқындар және толқын оптикасы, салыстырмалық теориясы мен кванттық физика элементтері, атом және атом ядросы тақырыптары қамтылған.



## I тарау. МАГНИТ ӨРІСІ

Сен 8-сыныптың физика курсында тұрақты магниттің және электр тогын өткізгіштің айналасында магнит өрісінің пайда болуы туралы алғашқы білімдерге ие болғансың. Атап айтқанда, саған токты дұрыс өткізгіш пен токты катушканың магнит өрісі, электромагниттер және олардың қолданылуы бойынша жалпы мәліметтер берілген болатын. Алайда олардың шамаларын анықтау бойынша математикалық өрнектері берілмеген еді. Аталмыш тарауда магнит индукциясы мен магнит ағыны, дұрыс токтың айналасындағы магнит өрісінің индукциясы, токты катушканың магнит өрісі индукциясы, магнит өрісінде қозғалып бара жатқан бөлшекке әсер ету күші секілді шамалармен танысасың.

### 1-тақырып. МАГНИТ ӨРІСІ. МАГНИТ ӨРІСІН СИПАТТАЙТЫН ШАМАЛАР

Табиғатта кейбір денелерді өзіне тарта алатын ерекшелігі бар табиғи металл түзілістері кездеседі. Денелердің бұндай қасиеті олардың айналасында өріс бар екенін білдіреді. Ғылымда бұл өрісті *магнит өрісі* деп атау қабылданған. Өзінің айналасындағы магнит өрісін ұзақ уақыт бойы ұстап тұратын денелерді *тұрақты магнит* немесе жай ғана *магнит* деп атаймыз.

Дұрыс пішінді магнитті ұсақ темір бөлшектеріне жақындатайық. Сонда біз темір түйіршіктері магниттің тек екі ұшына ғана жабысқанына куә боламыз. Тұрақты магниттің магниттік тарту әсері ең күшті жері *магнит полюсі* деп аталады. Кез келген магниттің қос полюсі: **солтүстік** (N) және **оңтүстік** (S) полюстері болады (1.1-сурет).

Егер екі магнит стрелкасын бір-біріне жақындатсақ, олардың екеуі де бұрылып, қарама-қарсы полюстері бір-біріне бетпе-бет келіп тоқтайды (1.2-сурет). Бұл жағдай магниттелген денелер арасында өзара әсер күштері бар екенін білдіреді. Олар өрістің күш сызықтары бойымен бағытталады.

Біз магнит өрісінің күш сызықтарын тікелей көре алмаймыз. Дегенмен төмендегі тәжірибенің көмегімен магнит өрісі күш сызықтарының орналасуы



1.1-сурет.

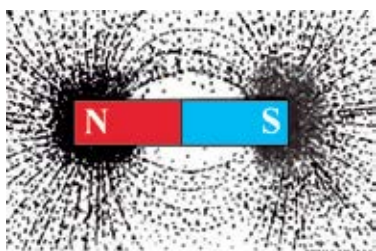


1.2-сурет.

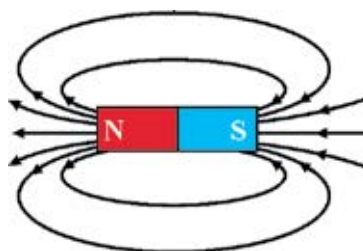
(бағыты) жөнүндө белгилі бир ұғымға ие бола аламыз. Бұл үшін картон қағазга темір тотығын бірқалыпты етіп сеуіп, оны жалпақ магнит өзектің үстіне коямыз. Сосын қағазды бір-екі рет шертіп жіберсек, темір тотықтары 1.3-а суреттегідей көрініске ие болады. Сонда картон үстіндегі темір тотықтары магнит ұштарына жақын жерлерде қалың, ал полюстер аралығында сиректеу орналасқанын көреміз.

1.3-а суреттегі темір тотықтарының иелеген орны магнит полюстерін бір-бірімен байланыстырып тұратын күш сызықтарын бейнелейді. Магнит өрісі күш сызықтарының бағыты шартты түрде магниттің солтүстік полюсінен шығып, оның оңтүстік полюсіне енетін жабық сызықтардан тұрады деп қабылданған (1.3-ә сурет). Күш сызықтары тұйық (жабық) болған өрістер **ұйытқитын өрістер** деп аталады. Демек, магнит өрісі ұйытқитын өріс болып шықты. Магнит өрісінің күш сызықтары осы қасиетімен электр өрісінің күш сызықтарынан ерекшеленіп тұрады.

Магнит өрісінің бірер нүктесінің күш мәнін сипаттайтын физикалық шама **магнит өрісінің индукциясы** деп аталады. Магнит өрісінің индукциясы векторлық шама болғандықтан  $\vec{B}$  әрпімен белгіленеді.



а



ә

1.3-сурет.

Халықаралық Бірліктер Жүйесінде (ХБЖ) магнит өрісі индукциясының бірлігін серб физигі Никола Тесланың құрметіне Тесла (Тл) деп атау қабылданған.

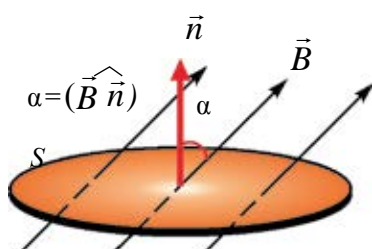
**Магнит ағыны.** Бірер ауданды қиып өтіп жатқан магнит өрісінің күш сызықтарын сипаттау үшін магнит ағыны деген ұғым енгізілген. Магнит индукциясы векторының ауданға көбейтіндісі  $S$  ауданнан өтіп жатқан магнит индукциясының ағыны деп аталады. Магнит ағыны скалярлық шама

болғандықтан,  $\Phi$  әрпімен белгіленеді. Сипаттауға сәйкес магнит ағыны өрнегін төмендегідей етіп жазамыз:

$$\Phi = B \cdot \Delta S. \quad (1-1)$$

Егер магнит өрісі индукциясының сызықтары ауданға бірер бұрыш астында түсетін болса (1.4-сурет), онда ауданнан өтіп жатқан магнит индукциясының ағыны  $a$  бұрышқа байланысты болады. Яғни:

$$\Phi = B \cdot S \cos\alpha. \quad (1-2)$$



1.4-сурет.

Бұл жерде  $a$ –ауданға өткізілген бірқалыпты  $\vec{n}$  векторы мен магнит индукциясы сызықтары арасындағы бұрыш болып табылады.

ХБЖ-де магнит ағынының бірлігі неміс физигі Д.Вебердің құрметіне Вебер (Вб) деп аталады. (1–2) теңдігінен

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2.$$

**Магнит өрісі индукциясы 1 Тл-ға тең магнит өрісінің индукция сызықтарына тік орналастырылған 1 м<sup>2</sup> ауданды қиып өтіп жатқан магнит ағыны 1 Вб-ға тең болады.**

### Мәселе шешу үлгісі

Индукциясы 20 мТ-ға тең бір текті магнит өрісі күш сызықтары ұзындығы 4 см, ені 3 см тік төртбұрышты торкөзге 60°-тық бұрыш астында түсіп жатыр. Сонда торкөзден өтіп жатқан магнит ағыны неге тең болады?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$B = 20 \text{ мТ} = 0,02 \text{ Тл}$	$\Phi = B \cdot S \cos\alpha$	$\Phi = 0,02 \cdot 0,04 \cdot 0,03 \cdot \cos 60^\circ \text{ Вб} =$
$a = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$	$S = a \cdot b$	$= 12 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}.$
$b = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$	$[\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$	<i>Жауабы:</i> $\Phi = 12 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}.$
$\alpha = 60^\circ$		
Табу керек:		
$\Phi = ?$		

1. Магнит өрісінің индукциясы дегенде нені түсінесің және ол қандай бірлікпен өлшенеді?
2. Магнит өрісі күш сызықтарының пішіні қандай болады?
3. Магнит ағынын сипаттап бер.
4. Сенің қолыңа бір тұрақты магнит, сосын нақ сондай өлшемдегі темір бөлшегі берілген. Тек сол денелерді ғана пайдалана отырып, олардың қайсысының магнит, қайсысының темір екендігін қалайша анықтауға болады?

## 2-тақырып. БІР ТЕКТІ МАГНИТ ӨРІСІНІҢ ТОКТЫ РАМКАНЫ АЙНАЛДЫРУ МОМЕНТІ

Эрстед өзінің тәжірибелерінде магнит өрісінің тек тұрақты магниттер айналасында ғана емес, тоқты өткізгіштер айналасында да пайда болатынын дәлелдеп берген еді. Енді біз тоқты өткізгіштердің магнит өрісі мен тұрақты магнит өрісінің өзара әсерлесуін қарастырамыз.

Егер магнит өрісіне тоқты контур немесе магнит стрелкасы енгізілсе, онда оның бұрылғанын (біреу бұрышқа ауытқығанын) көреміз (1.5-сурет). Контурдағы токтың бағыты кері қарай өзгергенде, контур да кері бағытқа бұрылады.

Магнит өрісінде орналасқан тоқты рамканың бұрылу себебін анықтайық. Магнит өрісіне тік орналасқан рамканың ұзындығы  $l$ -ге тең  $AB$  және  $CD$  қабырғалары арқылы  $I$  ток өтіп жатыр делік. Ондай жағдайда рамканың нақ сол  $l$  бөлігіне магнит өрісі жақтан әсер етіп жатқан ампер күшінің мәні төмендегіге тең болады:

$$F_A = I \cdot B \cdot l, \quad (1-3)$$

онда:  $l = AB = CD$ .

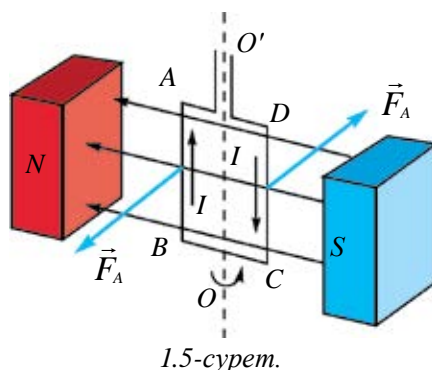
Бұл күштің бағыты сол қол ережесі көмегімен анықталады. Нақ сол сәтте  $AB$  және  $CD$  бөліктерге әсер ететін күштердің модульдері тең болып, олар қарама-қарсы жаққа бағытталады. Сол себепті тоқты рамкаға магнит өрісі жақтан жұп күш әсер етеді. Осы жұптасқан күштің әсерімен тоқты рамка бұрылады. Сол себепті тоқты рамкаға магнит өрісі жақтан жұп күш әсер етеді. Осы жұптасқан күштің әсерімен тоқты рамка бұрылады.

Жұптасқан бұл күштер  $OO'$  айналу білігіне сәйкес айналдырушы моментті туғызады.

Бұл жерде:  $\alpha$  – магнит индукциясының векторы мен контур жазықтығында жүргізілген нормал арасындағы бұрыш.

Рамканың  $AB=BC=\frac{d}{2}$  бөліктеріндегі күштің иіні  $\frac{d}{2} \sin \alpha$  -ға тең. Күш моменттері:

$$M_1 = M_2 = F_A \frac{d}{2} \cdot \sin \alpha. \quad (1-4)$$





Ондай жағдайда толық айналдырушы момент:

$$M = M_1 + M_2 = F_A \cdot d \cdot \sin\alpha. \quad (1-5)$$

Ампер күшінің формуласын (1-5) өрнекке қойып, айналдырушы моменттің өрнегін жазамыз:

$$M = I \cdot B \cdot l \cdot d \cdot \sin\alpha. \quad (1-6)$$

$l \cdot d = S$  екенін ескерсек, (1-6) өрнегі төмендегідей көрініске ие болады:

$$M = I \cdot B \cdot S \cdot \sin\alpha. \quad (1-7)$$

Демек, магнит өрісіне енгізілген тоқты контурға әсер ететін күш моменті ( $M$ ) контур арқылы өтетін ток күшіне ( $I$ ), контур бетіне ( $S$ ) және магнит индукциясы бағыты мен контур жазығына жүргізілген бірқалыпты сызық арасындағы бұрыштың синусына, сонымен қатар магнит өрісі индукциясына ( $\vec{B}$ ) тура пропорционал болады.

Егер,  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  болса,  $m = M_{\text{макс}} = B \cdot I \cdot S$  болады.

Осы теңдікке орай магнит өрісінің индукциясын:

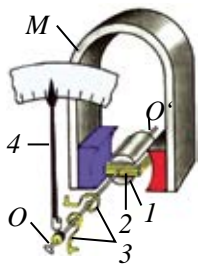
$$B = \frac{M_{\text{макс}}}{IS}$$

арқылы өрнектей аламыз.

Көптеген электр құралдарының жұмыс істеу қағидаты тоқты өткізгіш пен тұрақты магниттің өзара әсерлесуіне негізделеді. Нақ сондай электр өлшеу аспаптарының бірінің құрылысы 1.6-суретте көрсетілген. Күшті магнит полюстері арасына (1) темір өзек  $OO'$  білікке бекітілген. Оның үстіне (2) сымды рамка кигізілген. Ток бұл құрылғыға металл серіппелер (3) арқылы беріледі. Рамканы (3) серіппелер ұстап тұрады. Бұл серіппелер құрылғыға ток берілмеген кезде стрелканың (4) шкаладағы нөлінші жағдайда тұруын қамтамасыз етеді. Электр тізбегіне қосылған кезде құрылғы арқылы ток өтеді де, магнит өрісінің әсерімен бұрылады. Бұл жағдайда серіппелер жиырыла бастайды. Рамканың бұрылуы серіппенің созылу күші мен ампер күштері теңескенге дейін созылады.

Аспап электр тізбегіне кезектестіріп қосылғанда, тізбектен және аспаптың катушкасынан өтетін ток күштері өзара тең болғандықтан, стрелканың бұрылу бұрышы ток күшіне пропорционал болады. Бұндай жағдайларда аспап амперметр ретінде қолданылады.

1.6-а суретте тұрақты ток двигателінің жалпы көрінісі бейнеленген. Оның жұмыс істеу қағидаты токты рамканың тұрақты магнит өрісінде айналуына негізделген.



а

ә

1.6-сурет.



1. Магнит өрісіне енгізілген токты рамкаға әсер етіп тұрған күш қалай анықталады?
2. Магнит өрісіне енгізілген рамканың айналдырушы моменті қандай шамаларға байланысты?
3. Токты рамкаға әсер ететін жұптасқан күштер моментін автомобиль рулі мысалында түсіндіріп бер.
4. Магнит өрісінің токты рамкаға әсері негізінде жұмыс істейтін құрылғыларға мысалдар келтір.

### Мәселе шешу үлгісі

Беті  $20 \text{ см}^2$ , орамдарының саны 100 болған сымды рамка магнит өрісіне орналастырылды. Рамка арқылы 2А ток өткенде, онда ең жоғары деңгейі  $0,5 \text{ мН} \cdot \text{м}$  айналдырушы момент пайда болады. Магнит өрісінің индукциясын анықта.

Берілгені:  
 $S = 20 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$   
 $N = 100$   
 $I = 2 \text{ А}$   
 $M_{\text{макс}} = 0,5 \text{ мН} \cdot \text{м} =$   
 $= 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$

---

Табу керек:  
 $B = ?$

Формуласы:  
 $M_{\text{макс}} = N \cdot I \cdot B \cdot S$   
 $B = \frac{M_{\text{макс}}}{N \cdot I \cdot S}$   
 $[B] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}$

Шешуі:  
 $B = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \text{ Тл} =$   
 $= 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}.$

Жауабы:  $B = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}.$

### 3-тақырып. ТОКТЫ ТУРА ӨТКІЗГІШТІҢ, САҚИНА МЕН КАТУШКАНЫҢ МАГНИТ ӨРІСІ

Токты өткізгіштің айналасында пайда болатын магнит өрісінің күш сызықтарын бақылау үшін қалың картон қағаз аламыз да, оның қақ ортасын тесіп, тура өткізгішті орнатамыз. Картон қағаз үстіне ұсақ темір тотықтарын себеміз. Өткізгіштің ұштарын токқа қосып, картонды жайлап сілкіміз. Темір тотықтары токтың магнит өрісі әсерімен магниттеледі де, бейне шағын магнит стрелкаларына айналғандай болып, магнит индукциясы сызықтарын бойлай орналасады (1.7-а сурет).

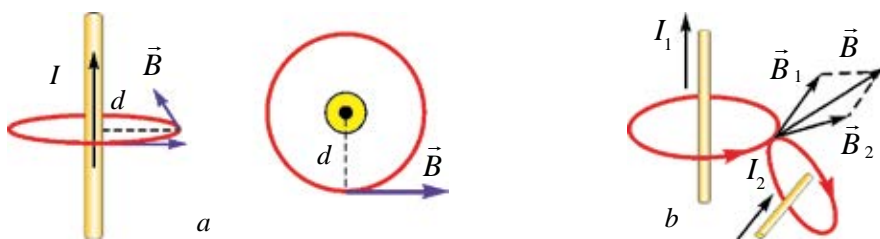
Тура ток магнит өрісінің күш сызықтарына, орталық өткізгіш білігіне орналасқан шеңберлерден құралады, бұл шеңберлер өткізгіштің білігіне перпендикуляр жазықта жатады (1.7-ә сурет). Магнит өрісі күш сызықтарының бағытын оң бұранда ережесін пайдаланып анықтауға болады: *егер токтың бағыты бұранданың ілгерілемелі қозғалысымен бірдей болса, онда бұранда тетігінің айналу бағыты магнит индукциясы сызықтарының бағытын көрсетеді.*



1.7-сурет.

Магнит өрісі индукциясының векторы ( $\vec{B}$ ) күш сызықтарына жанама бағытталады. Жекелеген жағдайларда токты өткізгіштен  $\delta$  қашықтықта орналасқан нүктедегі магнит өрісі индукциясының бағыты 1.8-а суретте көрсетілген.

Көптеген жағдайларда магнит өрісін жалғыз өткізгіш емес, токты өткізгіштер жүйесі құрайды (1.8-ә сурет). Бұндай жағдайда кеңістіктің бірер нүктесіндегі нәтижелік өрістің индукциясы әрбір өткізгіштің сол нүктеде пайда болған магнит өрісі индукцияларының векторлық жиындысына тең болады. Яғни:



1.8-сурет.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n. \quad (1-8)$$

Бұл тұжырым магнит өрісі үшін **суперпозиция қағидаты** деп аталады.

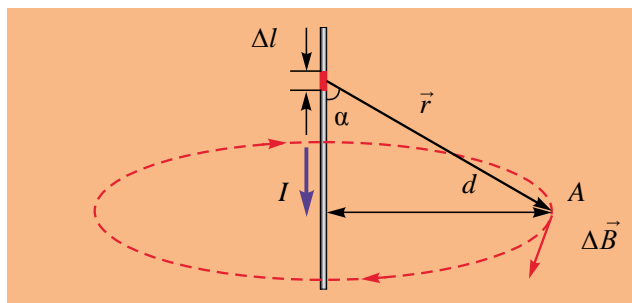
Француз ғалымдары Дж.Био, Ф.Савар және П.Лапласлар еркін пішіндегі ток өткізгіштердің айналасында пайда болған магнит өрісі индукцияларын есептеуге мүмкіндік беретін жалпы заңдылықты анықтады. Бұл заңға орай токты өткізгіштердің еркін  $\Delta l$  элементінің, токты өткізгіш айналасындағы  $A$  нүктесінде пайда болған магнит индукциясын төмендегідей анықтауға болады:

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha}{r^2}, \quad (1-9)$$

$\alpha$  –  $\Delta l$  – элементтен  $A$  нүктеге өткізілген вектор мен  $\Delta l$  элемент арасындағы бұрыш (1.9-сурет),  $r$  – өткізгіштің  $\Delta l$  элементінен  $A$  нүктесіне дейінгі қашықтық.

**1. Тура токтың магнит өрісі индукциясы.** Био–Савар–Лаплас заңына орай ұзындығы шексіз тура токтан  $d$  қашықтықтағы  $A$  нүктеде пайда болған магнит өрісі индукциясы төмендегідей өрнектің көмегімен анықталады:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot d}. \quad (1-10)$$



1.9-сурет.

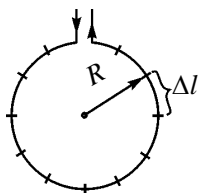
Демек, ұзындығы шексіз түзу сызықты ток өткізгіштің бірер нүктеде пайда болған магнит өрісі индукциясы өткізгіштен өтіп жатқан ток күшіне

тура пропорционал, ал өткізгіш пен индукциясы анықталып жатқан нүкте арасындағы ең қысқа қашықтыққа кері пропорционал болады.

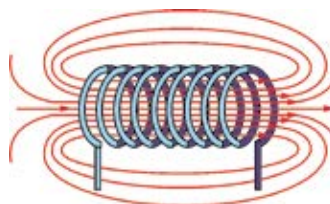
**2. Айналма ток орталығындағы магнит өрісі индукциясы.** Радиусы  $R$  болған шеңберден  $I$  тұрақты ток өтіп жатыр делік (1.10-сурет). Био–Савар–Лаплас заңына орай, айналма токтың орталығында пайда болған магнит өрісінің индукциясы шеңберінің ұзындығы  $\Delta l$  түйіршіктерінің шеңбер орталығында пайда болған индукцияларының вектор жиындысына тең (1.3–1-өрнек). Есептеу нәтижелеріне қарағанда, айналма токтың орталығындағы магнит индукциясы

$$B = \mu_0 \frac{I}{2R} \quad (1-11)$$

ға тең болады. Онда:  $\mu_0$ –коэффициенті вакуумның магнит тұрақтысы, оның сандық мәні  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$  -ға тең. Демек, айналма токтың орталығында пайда болған магнит өрісі индукциясы өткізгіштен өтіп жатқан ток күшіне тура пропорционал, ал шеңбердің радиусына кері пропорционал болады.



1.10-сурет.



1.11-сурет.

Жекелеген жағдайларда орам саны  $n$ -ге тең токты катушканың орталығындағы магнит өрісі индукциясын (1.11-сурет) төмендегі өрнектің көмегімен анықтауға болады:

$$B = \mu_0 \frac{n \cdot I}{2R} \quad (1-12)$$

Демек, токты катушканың ішінде пайда болған магнит өрісі индукциясы катушкадан өтіп жатқан ток күшіне, яғни орамдар санына тура пропорционал, ал катушка шеңберінің радиусына кері пропорционал екен.



1. Магнит өрісінің суперпозиция қағидатын сипаттап бер.
2. Тура токтың магнит өрісі индукциясын есептеу формуласын жаз және оны сипатта.
3. Шеңбер орталығындағы магнит өрісі индукциясын есептеу формуласын жаз және оны сипаттап бер.



### Мәселе шешу үлгісі

Ұзындығы шексіз тура өткізгіштен 250 мА ток өтіп жатыр. Одан 4 см-дей қашықтықта орналасқан нүктедегі магнит өрісі индукциясын тап.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$I=250 \text{ мА}=250 \cdot 10^{-3} \text{ А}$ $d=4 \text{ см}=4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$	$B=\mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot d}$ $[B]=\frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \frac{\text{А}}{\text{м}}=\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}=\text{Тл}$	$B=4\pi \cdot 10^{-7} \frac{250 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} \text{ Тл} =$ $= 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Т.}$
Табу керек: $B=?$		Жауабы: $B=12,5 \cdot 10^{-6} \text{ Тл.}$

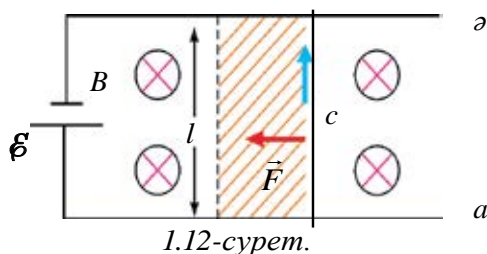
## 4-тақырып. ТОК ӨТКІЗГІШТІ МАГНИТ ӨРІСІНЕ ӨТКІЗУ БОЙЫНША ОРЫНДАЛҒАН ЖҰМЫС

Екі параллель  $a$  және  $ә$  жылтыр металл сымдар бір-бірінен  $l$  қашықтықта орналастырылсын. Олардың үстіне жеңіл  $c$  металл өткізгіш қойылған делік (1.12-сурет). Өткізгіштер жүйесі магнит индукциясы  $\vec{B}$  болатын бір текті өріске орын тепкен. 1.12-суреттегі ( $\otimes$ ) белгісі магнит өрісі индукциясының векторы бізден сурет жазықтығына қарай тік бағытталғандығын білдіреді.  $a$  және  $ә$  өткізгіштер ток көзіне қосылғанда,  $c$  өткізгіш арқылы ток өте бастайды. Бұнда  $l$  ұзындықтағы тогы бар өткізгішке магнит өрісі жақтан  $F=I \cdot B \cdot l$  Ампер күші әсер етеді. Ток бағыты мен магнит өрісі индукциясының бағыты арасындағы бұрыш  $90^\circ$  екендігін біле тұрып, күштің бағытын сол қол ережесіне сәйкес анықтаймыз.

Бұл күш  $c$  өткізгішті  $d$  қашықтыққа жылжытып,

$$A=I \cdot B \cdot l \cdot d \quad (1-13)$$

жұмыс орындайды. Бұл өрнектегі  $l \cdot d$  көбейткіші өткізгіштің қозғалысы барысында сызылған беттен тұрады. Яғни  $S=l \cdot d$ . Қозғалыс барысында өткізгішті қиып өткен магнит өрісі  $\Delta\Phi=B \cdot \Delta S$  теңдігінен:



$$A = I \cdot \Delta\Phi \quad (1-14)$$

көрісіндегі өрнекке ие боламыз. Ерекше атап өтетін жері, бұл жұмыс магнит өрісі жағынан емес, тізбекті токпен қамтамасыз етіп тұратын қайнар көз есебінен орындалады.

Демек, ток өткізгішті магнит өрісіне өткізгенде Ампер күшінің орындаған жұмысы өткізгіштен өтіп жатқан ток күші мен магнит ағыны өзгеруінің көбейтіндісіне тең екен.

Ток өткізгішті магнит өрісіне өткізу барысында орындалатын жұмыс практикада кең пайдаланылады. Ол көлік, тұрмыстық техника және электроника салаларында жиі қолданылатындығымен маңызды. Бүгінгі таңда өте көп қолданылатын электронды құрылғылар бұған жарқын мысал бола алады.



1. Ток өткізгішті магнит өрісіне өткізуде орындалатын жұмысты қалай есептеуге болады?
2. Токтың бағыты мен магнит өрісі индукциясы бір бағытта болса, орындалған жұмыс неге тең болады?
3. Ток өткізгішті магнит өрісіне өткізу кезіндегі жұмыс ненің есебінен орындалады?

### Мәселе шешу үлгісі

Ұзындығы 30 см өткізгіш арқылы 2А ток өтіп жатыр. Өткізгіш индукциясы 1,5 Т болған бір текті магнит өрісінің индукция сызықтарына 30°-тық бұрыш жасап орналасқан. Өткізгіш Ампер күші бағыты бойынша 4 см-ге жылжытылса, қандай жұмыс орындалады?

Берілгені:

$$l = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$B = 1,5 \text{ Т}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$d = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Табу керек:

$$A = ?$$

Ф о р м у л а с ы:

$$A = I \cdot B \cdot l \cdot d \cdot \sin\alpha$$

$$[A] = \text{А} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м} \cdot \text{м} =$$

$$= \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

Ш е ш у і:

$$A = 2 \cdot 1,5 \cdot 0,3 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{2} \text{ Дж} =$$

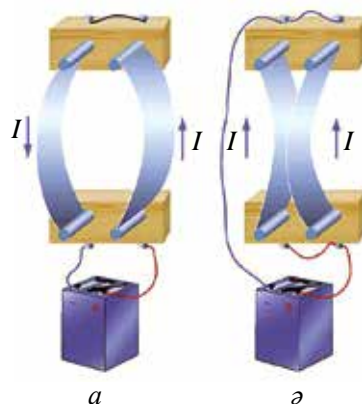
$$= 18 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Жауабы:  $A = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$

## 5-тақырып. ТОК ӨТКІЗГІШТЕРДІҢ ӨЗАРА ӘСЕР КҮШІ

Нақ электр зарядтары сияқты ток өткізгіштер арасында да өзара әсер күштері болады. Бұны іс жүзінде бақылау үшін екі созылмалы өткізгіш алып, оларды тік күйінде тірекке бекітеміз.

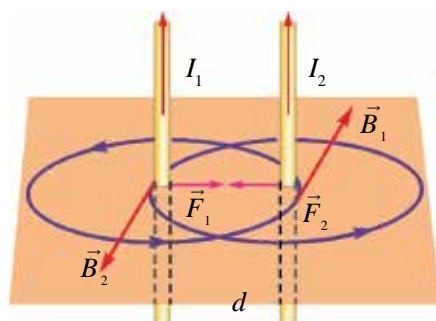
Егер өткізгіштердің жоғарғы бөлігін сым арқылы қоссақ, өткізгіштерден қарама-қарсы бағыт бойынша ток жүреді (1.13-а сурет). Соның нәтижесінде өткізгіштер бір-бірінен тебіліп, араларындағы қашықтық алшақтайды. Егер өткізгіштерден бірдей бағытта ток өтуін қамтамасыз етсек, өткізгіштердің бір-біріне тартылғанын байқаймыз (1.13-ә сурет).



1.13-сурет.

Ампер заңын пайдалана отырып, вакуумдағы шексіз ұзын параллель ток өткізгіштер арасында болатын өзара әсер күштерінің бағытын және сандық мәнінің шамаларын анықтайық.

Бір-бірінен  $d$  қашықтықта орналасқан екі параллель өткізгіштен бірдей бағытта  $I_1$  және  $I_2$  ток өтіп жатыр делік (1.14-сурет). Өткізгіштерден өтіп жатқан  $I_1$  және  $I_2$  ток бағыттарының магнит өрісі индукциясы векторының сызықтары концентрлік шеңберден тұрады. Егер  $I_1$  төменнен жоғары қарай өтіп жатқан болса, екінші өткізгіш бойында жатқан нүктелердегі  $B_1$  вектор (бұранда ережесіне сәйкес) бізден кітап жазықтығына қарай бағытталады және олар өзара тік орналасады. Бірінші токтың магнит өрісі жақтан екінші токқа көрсетілетін  $F_2$  әсер күші шама тұрғысынан Ампер заңына сәйкес төмендегіге тең болады:



1.14-сурет.

$$F_2 = B_1 \cdot I_2 \cdot \Delta l; \quad (1-15)$$

бұнда:  $\Delta l$ —екінші өткізгіштің магнит өрісінде орналасқан бөлігінің ұзындығы болып табылады. Бұл формулада тура токтың магнит индукциясы

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi \cdot d}$$

өрнегін қойсақ,

$$F_2 = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} \cdot \Delta l. \quad (1-16)$$

Демек, ұзындығы шексіз параллель ток өткізгіштердің бірлік ұзындығына әсер ететін өзара әсер күші олар арқылы өтіп жатқан ток күштерінің көбейтіндісіне тура пропорционал, ал ара қашықтыққа кері пропорционал екен.

Осы құбылыс негізінде ток күшінің Халықаралық бірлік жүйесіндегі бірлігі – ампер (А) қабылданған.

Ампер – вакуумда бір-бірінен 1 м қашықтықта параллель орналасқан, көлденең қимасы есепке алынбайтын дәрежеде шағын болған шексіз ұзындықтағы тура өткізгіштерден ток өткен кезде өткізгіштер ұзындығының әрбір метріне  $2 \cdot 10^{-7}$  Н өзара әсер күші пайда болатын тұрақты ток күші болып табылады.



1. Параллель ток өткізгіштер арасында пайда болатын өзара әсер күшінің бағыты қалай анықталады?
2. Қарама-қарсы бағыт бойынша  $I_1$  және  $I_2$  ток өтіп жатқан қос параллель өткізгіштің өзара әсер күшін сипатта.
3. Ток күшінің бірлігі – Амперді түсіндір.

### Мәселе шешу үлгісі

Ара қашықтығы 1,6 м болған қос сымды тұрақты электр тогын жіберу желісі сымдарының әрбір метр ұзындығына тура келетін өзара әсер күшін тап. Өткізгіштерден өтіп жатқан ток күшінің мәнін 40 А-ға тең деп ал.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$d = 1,6 \text{ м}$ $I_1 = I_2 = 40 \text{ А}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}$ $\Delta l = 1 \text{ м}$	$F = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} \cdot \Delta l$ $[F] = \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \cdot \frac{\text{А} \cdot \text{А}}{\text{м}} \cdot \text{м} = \text{Н}$	$F = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{40 \cdot 40}{2\pi \cdot 1,6} \cdot 1 \text{ Н} =$ $= 2 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$
Табу керек: $F = ?$		Жауабы: $F = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$ .

## 6-тақырып. БІР ТЕКТІ МАГНИТ ӨРІСІНДЕГІ ЗАРЯДТЫ БӨЛШЕКТИҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ. ЛОРЕНС КҮШІ

Магнит өрісіне енгізілген ток өткізгішке магнит өрісі жағынан әсер ететін Ампер күші өткізгіштің сол бөлігіндегі әрбір түйіршікке магнит өрісі жағынан әсер етіп жатқан күштердің жиындысынан тұрады деп қарауға болады. Ұзындығы  $l$  ток өткізгіште қозғалып бара жатқан барлық зарядты бөлшектер саны  $N$ -ге тең болса, магнит өрісінде қозғалыстағы бір түйіршікке әсер ететін күш

$$F = \frac{F_A}{N} = \frac{I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha}{N} \quad (1-17)$$

ға тең болады. Өткізгіш арқылы өтіп жатқан ток күші

$$I = e \cdot n \cdot v \cdot S \text{ және } N = n \cdot S \cdot l. \quad (1-18)$$

Өрнектерді (1–17) теңдікке қойсақ, бір түйіршікке әсер етіп жатқан күштің өрнегі келіп шығады:

$$F_L = evBs \sin \alpha; \quad (1-19)$$

бұл жерде:  $e$ –электрон заряды;  $v$ –түйіршіктің ретті қозғалыс жылдамдығы;  $n$ –зарядтар концентрациясы;  $S$ –өткізгіштің көлденең қиылған беті.

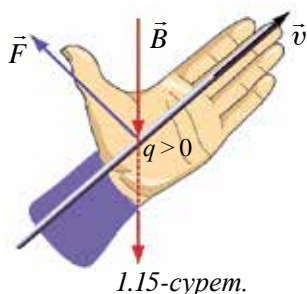
Магнит өрісінде қозғалып бара жатқан зарядты түйіршікке сол өріс тарапынан әсер ететін күш **Лоренс күші** деп аталады. Бұл күш төмендегідей сипатталады: бір текті магнит өрісінде қозғалып бара жатқан зарядты түйіршікке әсер ететін күш  $\vec{F}_L$  түйіршіктің заряды  $e$ -ге, оның қозғалыс жылдамдығы  $v$ -ге, магнит өрісінің индукция векторы  $\vec{B}$ -ға, сондай-ақ жылдамдық ( $\vec{v}$ ) векторы мен магнит өрісі индукциясы ( $\vec{B}$ ) векторлары арасындағы бұрыш синусының көбейтіндісіне тең болады.

Лоренс күшінің бағыты сол қол ережесінің көмегімен анықталады (1.15-сурет). **Егер сол қолдың алақанына магнит индукциясының векторы тік түссе және сұқ саусақ бағыты оң зарядтар қозғалысының бағытымен бірдей болса, онда  $90^\circ$ -қа ашылған бас бармақ Лоренс күшінің бағытын көрсетеді.**

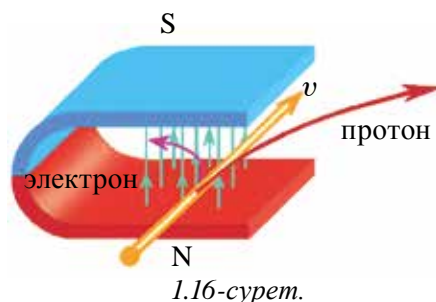
Магнит өрісіне зымырай еніп бара жатқан протонға әсер ететін Лоренс күші, сол қол ережесіне орай, оңға қарай бағытталады (1.16-сурет). Өрістегі электронның (теріс заряд) бағытын анықтау үшін төрт саусақты ток бағытына қарама-қарсы етіп орналастырамыз. Бұнда электронға әсер ететін Лоренс күші сол жаққа бағытталған болады (1.16-сурет). Егер зарядты түйіршік



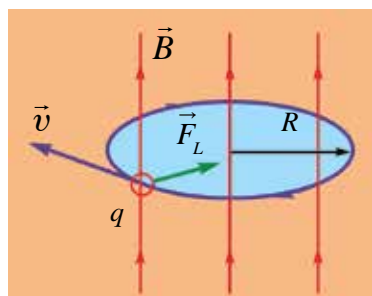
магнит индукциясы сызықтарын бойлап қозғалса, оған магнит өрісі жақтан күш әсер етпейді.



1.15-сурет.



1.16-сурет.



1.17-сурет.

Енді зарядталған түйіршіктің қозғалысына **Лоренс** күшінің қалай әсер ететінін қарастырайық. Түйіршік бір текті магнит өрісінің күш сызықтары бағытында тік кіріп келе жатыр делік (1.17-сурет). Бұл жағдайда түйіршік жылдамдығының бағыты мен индукция сызықтары арасындағы бұрыш  $90^\circ$ -қа тең, ал түйіршікке әсер етіп жатқан Лоренс күші ең жоғары деңгейде болады. Лоренс күші магнит өрісінде қозғалып бара жатқан түйіршіктің

қозғалыс бағытына перпендикуляр болғандықтан, ол орталыққа ұмтылу күші міндетін атқарады. Осының нәтижесінде зарядты түйіршіктің қозғалыс бағыты өзгеріп, қозғалыс траекториясы қисаяды, яғни:

$$\frac{mv^2}{R} = qvB. \quad (1-20)$$

Лоренс күші жұмыс атқарғандықтан, түйіршіктің қозғалыс жылдамдығы өзгермейді. Демек, түйіршік шеңбер бойлап бірқалыпты қозғалуын жалғастыра береді.

Сонымен магнит өрісіндегі зарядты түйіршіктің қозғалыс траекториясы шеңберден тұратынын біліп алдық, енді оның радиусын төмендегі өрнек арқылы анықтаймыз:

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (1-21)$$

Демек, түйіршік траекториясының қисықтық радиусы оның массасы мен жылдамдығының көбейтіндісіне тура пропорционал, ал заряды мен магнит өрісі индукциясының көбейтіндісіне кері пропорционал екен.

Түйіршіктің толық бір рет айналуына кеткен уақытты, яғни айналу кезеңін анықтайық. Бұл үшін түйіршік бір рет толық айналғандағы жолды (шеңбердің ұзындығы  $2\pi \cdot R$ ) түйіршіктің ( $v$ ) жылдамдығына бөлеміз:

$$T = \frac{2\pi R}{v}. \quad (1-22)$$

(1-21) өрнегін пайдаланып, (1-22) өрнегін төмендегідей көріністе жазамыз:

$$T = 2\pi \frac{m}{qB}. \quad (1-23)$$

Түйіршіктің айналу кезеңі оның жылдамдығына байланысты болмай, түйіршіктің массасына, зарядына және магнит өрісі индукциясының шамасына байланысты болып шықты.

Магнит және электр өрістерінің әсерімен вакуумда қозғалып бара жатқан зарядты түйіршіктерді массалары бойынша құрамдас бөліктерге бөлетін аспап *спектрометр* деп аталады. Масс-спектрометр химиялық элементтердің изотоптарын анықтауда, заттарды химиялық талдау кезінде қолданылады.



1. Лоренс күшінің бағытын сол қол ережесі негізінде түсіндір.
2. Зарядталған түйіршікті шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалтатын күшті сипаттап бер.
3. Зарядталған түйіршік магнит өрісіне қандай бағытпен енгенде оған Лоренс күші әсер етпейді?
4. Лоренс күші негізінде жасалған қандай құрылғыларды білесің?

### Мәселе шешу үлгісі

Электрон магнит өрісінің индукциясы 12 мТ болған өрістің индукция сызықтарына тік еніп, радиусы 4 см-лік шеңбер бойымен қозғалысын жалғастырды. Сонда ол өріске қандай жылдамдықпен енген?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$B = 12 \text{ мТ} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $R = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $\alpha = 90^\circ$ $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$	$F_L = evBs \sin \alpha,$ $F_{\text{мик}} = \frac{mv^2}{R},$ $F_L = F_{\text{мик}};$ $v = \frac{e \cdot B \cdot R}{m}$ $[v] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Т} \cdot \text{м}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$v = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{9,1 \cdot 10^{-31}} =$ $= 8,4 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$ <p style="text-align: right;"><i>Жауабы:</i> <math>v = 8,4 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}</math>.</p>
Табу керек: $v = ?$		

**1-жаттығу.**

1. Радиусы 4 см-лік сақина индукциясы 0,5 Тл-ға тең бір текті магнит өрісінің индукция сызықтарына тік орналастырылған. Сақинадан өтіп жатқан магнит өрісі қандай? (Жауабы: 25,12 мВб)

2. Магнит индукциясы 4 Тл бір текті магнит өрісінде орналасқан беті 250 см<sup>2</sup> сымды рамкадан өтіп жатқан магнит ағыны 87 мВб-ға тең. Магнит өрісінің индукция сызықтары бетке қандай бұрыш астында түсіп жатыр? (Жауабы: 30°)

3. Индукциясы 50 мТ магнит өрісінің индукция сызықтары бет жазықтығына 30°-тық бұрыш астында түсіп жатыр. Магнит өрісі индукциясының бетке қалыпты бағыттағы ұйымдастырушысын тап. (Жауабы: 25 мТл)

4. Тура өткізгіш арқылы 5 А ток өтіп жатыр. Одан 2 см қашықтықта орналасқан нүктедегі магнит өрісінің индукциясын тап. (Жауабы: 50 мкТл)

5. Радиусы 5 см сым сақина арқылы 3 А ток өтіп жатыр. Сақинаның орталығындағы магнит өрісі индукциясын анықта. (Жауабы: 37,7 мкТл)

6. Радиусы 10 см-ге, орамдарының саны 500-ге тең катушкадан қандай ток өткенде оның орталығында 25 мТл магнит өрісі индукциясы пайда болады? (Жауабы: 8 А)

7. Магнит өрісінің индукциясы 3 мТл және 4 мТл өзара тік бағытталған бір текті қос өріс қосылғанда, нәтижелік өрістің индукциясы қандай болады? (Жауабы: 5 мТл)

8. Радиусы 10 см токты сақина индукциясы 20 мТл бір текті магнит өрісіне орналасқан. Егер сақина арқылы 2 А ток өтіп жатқан болса, оған магнит өрісі жақтан қандай ең жоғары күш моменті әсер етеді? (Жауабы: 1,26 мН·м)

9. Ені 4 см, бойы 8 см-лік рамка индукциясы 2 Тл магнит өрісіне орналасқан. Одан 0,5 А ток өткенде рамкаға әсер етін ең жоғары күш моментін тап. (Жауабы: 3,2 мН·м)

10. Магнит өрісінде тұрған беті 80 см<sup>2</sup> рамкаға әсер ететін ең жоғары күш моменті 7,2 мНм-ге тең. Егер рамка арқылы 0,2 А ток өтіп жатса, онда өріс индукциясы неге тең болады? (Жауабы: 1,2 Тл)

11. Индукциясы 200 мТл магнит өрісіне ұзындығы 50 см-лік өткізгіш орналастырылған. Ол арқылы 4 А ток өткенде өткізгіш 3 см-ге жылжыды. Сонда ток күші қандай жұмыс орындаған? (Жауабы: 12 мДж)

12. Индукциясы 0,1 Тл бір текті магнит өрісінде индукция сызықтарына тік күйде ұзындығы 10 см-лік өткізгіш арқылы 2 А ток өтіп жатыр. Магнит өрісінің өткізгішке әсер ететін күшін есептеп тап. (Жауабы: 20 мН)

13. Ұзындығы 25 см-лік өткізгіш арқылы 4 А ток өтіп жатыр. Өткізгіш индукциясы 1,2 Тл болған бір текті магнит өрісінің индукция сызықтарына  $45^\circ$ -тық бұрыш астында орналасқан. Өткізгіш Ампер күшінің бағытымен 3 см-ге жылжығанда қандай жұмыс орындалады? (Жауабы: 25,4 мДж)

14. Ұзындығы 40 см-лік өткізгіш арқылы 2,5 А ток өтіп жатыр. Өткізгіш бір текті магнит өрісінің индукция сызықтарына перпендикуляр бағыт бойынша 8 см жылжығанда, жалпы көлемі 32 мДж жұмыс орындалған. Сонда магнит өрісінің индукциясы неге тең болады? (Жауабы: 0,4 Тл)

15. Ұзындығы 40 см-лік өткізгіш индукциясы 2,5 Тл болған бір текті магнит өрісінде 12 см/сек жылдамдықпен қозғалып барады. Егер өткізгіш 3 сек ішінде индукция сызықтарына перпендикуляр бағыт бойынша 8 см жылжып, 144 мДж жұмыс орындаса, өткізгіштегі ток күші неге тең болады? Магнит өрісінің индукция сызықтары мен токтың бағыты арасындағы бұрышты  $90^\circ$  деп ал. (Жауабы: 0,4 А)

16. Қос сымды тұрақты электр тогы желісі сымдарының әрбір метріне тура келетін өзара әсер күшін есептеп шық. Сымдар арасындағы қашықтық 2 м, ток күші 50 А-ге тең деп ал. (Жауабы: 0,25 мН)

17. Параллель орналасқан қос өткізгіштің әрқайсысынан бір бағыт бойынша 2 А ток өтіп жатыр. Өткізгіштердің арасындағы қашықтық 4 см. Өткізгіштер ортасындағы нүктеде магнит өрісінің индукциясы неге тең болады? (Жауабы: 0-ге тең)

18.  $4 \cdot 10^7$  м/сек жылдамдықпен қозғалып бара жатқан протон индукциясы 5 Тл болатын бір текті магнит өрісіне енгенде, оған қандай күш әсер етеді? Бөлшектің жылдамдық бағыты мен өріс индукциясының күш сызықтары арасындағы бұрышты  $45^\circ$ -қа тең деп ал. (Жауабы: 22,4 мН)

19. Магнит өрісі 0,3 Тл-ға тең бір текті магнит өрісіне индукция сызықтарына перпендикуляр түрде 160 Мм/сек жылдамдықпен енген электронның қозғалыс траекториясының қисықтық радиусын тап. (Жауабы: 3 мм)

20. Бір текті магнит өрісіне тік күйде енген электронның айналу кезеңі 8 нс болса, магнит өрісінің индукциясы қандай болатынын анықта. (Жауабы: 4,5 мТл)

21. Альфа бөлшегі индукциясы 1,5 Тл магнит өрісінің индукция сызықтарына тік күйде енді. Оған әсер еткен күш 120 пН-ге тең болса, оның жылдамдығы қандай болған? (Жауабы:  $2,5 \cdot 10^7$  м/сек)

**I ТАРАУДЫ ҚАЙТАЛАУҒА АРНАЛҒАН ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ**

- 1. Электр тогының магниттік әсері ток қандай орталардан өткенде байқалады?**  
А) электрондардан;      В) металдардан;  
С) вакуумнан;              D) кез келген ортадан.
- 2. Магнит ағынының бірлігін көрсет.**  
А) Тесла;                      В) Вебер;                      С) Ампер;                      D) Эрстед.
- 3. Өткізгіш арқылы тұрақты ток өткенде оның айналасында қандай өріс пайда болады?**  
А) электр өрісі;    В) магнит өрісі;  
С) электромагниттік өріс;    D) гравитациялық өріс.
- 4. Суретте 4 жұп ток өту бағыты бейнеленген. Олар қандай жағдайда өзара тартылады?**  
А)  $\uparrow\downarrow$ ;                      В)  $\rightarrow\leftarrow$ ;                      С)  $\downarrow\downarrow$ ;                      D)  $\rightarrow\downarrow$ .
- 5. Суретте 4 жұп ток өту бағыты бейнеленген. Олар қандай жағдайда өзара тебіседі?**  
А)  $\uparrow\downarrow$ ;                      В)  $\rightarrow\rightarrow$ ;                      С)  $\downarrow\downarrow$ ;                      D)  $\rightarrow\downarrow$ .
- 6. Магнит өрісіне орналастырылған беті  $0,05 \text{ м}^2$  токты рамка арқылы  $2 \text{ А}$  ток өтіп жатыр. Егер рамканы айналдыратын ең жоғары күш моменті  $40 \text{ мН}\cdot\text{м}$  болса, рамка орналасқан өрістің индукциясы неге тең болады?**  
А)  $4\pi \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$ ;                      В)  $6\pi \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$ ;                      С)  $2\pi \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$ ;                      D)  $8\pi \cdot 10^{-6} \text{ Тл}$ .
- 7. Радиусы  $4 \text{ см}$ -лік сым сақинадан  $0,8 \text{ А}$  ток өтіп жатыр. Сақина орталығындағы магнит индукциясын анықта.**  
А)  $2 \text{ Тл}$ ;                      В)  $0,4 \text{ Тл}$ ;                      С)  $0,5 \text{ Тл}$ ;                      D)  $0,2 \text{ Тл}$ .
- 8. Индукциясы  $0,1 \text{ Тл}$ -ға тең магнит өрісі сызықтарына тік орналасқан ұзындығы  $25 \text{ см}$ -лік өткізгішке өрістің әсер күші  $0,5 \text{ Н}$ -ге тең болады. Сонда өткізгіштен өтіп жатқан ток күші неге тең?**  
А)  $2,5 \text{ А}$ ;                      В)  $0,4 \text{ А}$ ;                      С)  $1,25 \text{ А}$ ;                      D)  $0,2 \text{ А}$ .
- 9. Магнит өрісінің индукция сызықтарына тік бағыт бойынша электрон мен протон еніп келеді. Протонның массасы электронның массасынан  $1800$  есе үлкен. Бөлшектердің қайсысына әсер көрсеткен Лоренс күші үлкен болады?**  
А) электронға;    В) протонға;  
С) екеуіне бірдей;    D) әсер күші нөлге тең.



10. Сол қол ережесінің көмегімен қандай шамалардың бағыты анықталады?  
 А) Ампер күші; В) Лоренс күші;  
 С) Ампер және Лоренс күштері; Д) Индукциялық ток бағыты.
11. Төменде келтірілген күштердің қайсысы жұмыс атқармайды?  
 А) Ампер күші; В) Лоренс күші;  
 С) Кулон күші; Д) үйкеліс күші.
12. Лоренс күші қозғалыс үстіндегі зарядты бөлшектің жылдамдығын қалай өзгертеді?  
 А) жылдамдығын арттырады; В) жылдамдығын азайтады;  
 С) жылдамдығын өзгертпейді; Д) жылдамдық бағытын өзгертеді.
13. Лоренс күшінің өрнегін көрсет.  
 А)  $F = \frac{mv^2}{R}$ ; В)  $F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin\alpha$ ;  
 С)  $F = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} \cdot \Delta l$ ; Д)  $F = qvB \cdot \sin\alpha$ .
14. Протон индукциясы 40 мТл болған бір текті магнит өрісінің күш сызықтарына тік күйде  $2 \cdot 10^7$  м/с жылдамдықпен кіріп келгенде, ол қандай радиусты шеңбер сызады ( $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг)?  
 А) 1,5 см; В) 4 см; С) 2,5 см; Д) 5,2 см.
15. Бір текті магнит өрісіне тік енген электронның айналу кезеңі  $20 \cdot 10^{-12}$  сек болса, магнит өрісі индукциясының қандай болатынын анықта (Тл).  
 А) 1,5; В) 1,8; С) 2,5; Д) 3,2.

1-тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

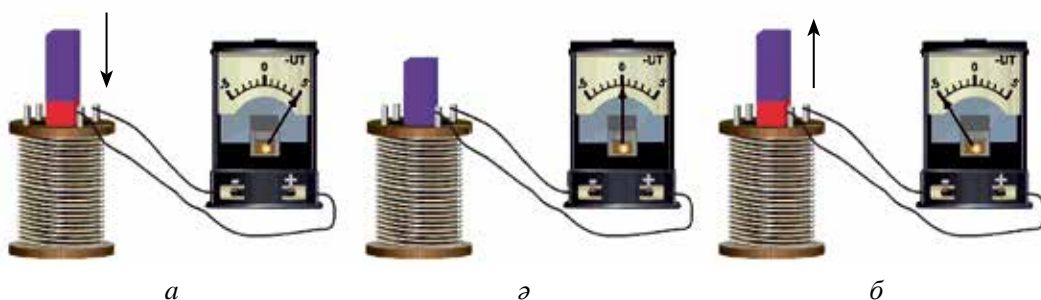
Магнит күш сызықтары	Магнит күш сызықтары магниттің солтүстік полюсінен шығып, оңтүстік полюсіне енетін тұйық сызықтан тұрады.
Магнит индукция ағыны	$\Delta S$ –беттен өтіп жатқан магнит индукция ағыны $\Phi$ деп айтылады. Ол–магнит индукциясы $B$ векторының сол бетке көбейтіндісі: $\Phi = B \cdot \Delta S$ .
Магнит ағыны бірлігі	Магнит өрісі индукциясы 1 Тл-ға тең магнит өрісінің индукция сызықтарына тік орналастырылған 1 м <sup>2</sup> бетті қиып өтетін магнит ағыны 1 Веберге тең. 1 Вб=1 Тл·м <sup>2</sup> .
Био–Савар–Лаплас формуласы	Токты өткізгіштің ерікті $\Delta l$ элементінің өткізгіш айналасындағы $A$ нүктесінде туғызған магнит индукциясын анықтайды: $\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha}{r^2}$
Магнит өрісінің суперпозиция қағидаты	$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n$ . Кеңістіктің бірер нүктесіндегі нәтижелік өрістің индукциясы әрбір ток өткізгіштің сол нүктеде туындатқан магнит өрісі индукцияларының вектор жиындысына тең.
Тура токтың магнит өрісі индукциясы	$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot d}$ –өткізгіштен өтіп жатқан ток күшіне тура пропорционал, өткізгіш пен индукциясы өлшеніп жатқан нүкте арасындағы қашықтыққа кері пропорционал.
Айналма ток орталығындағы магнит өрісі индукциясы	$B = \mu_0 \frac{I}{2R}$ –өткізгіштен өтіп жатқан ток күшіне тура пропорционал, шеңбер радиусына кері пропорционал.
Токты рамканың айналдырушы моменті	$M = I \cdot B \cdot S \sin \alpha$ , контурдан өтіп жатқан ток күші, контурдың беті және индукция векторы мен контур жазықтығына өткізілген теріс нормалдың ( $\vec{n}$ ) бағыты ортасындағы бұрыш синусына тура пропорционал.
Магнит өрісінде орындалған жұмыс	$A = I \cdot \Delta \Phi$ –ток өткізгішті магнит өрісіне өткізу кезінде орындалған жұмыс өткізгіштен өтіп жатқан ток күші мен ол қозғалыс барысында қиып өткен магнит ағыны өзгерісінің көбейтіндісіне тең.

Токты өткізгіштердің өзара әсерлесуі	Параллель өткізгіштерден қарама-қарсы бағыт бойынша ток өткенде, олар бір-бірінен тебіледі. Токтардың бағыты бірдей болғанда, өткізгіштер бір-біріне тартылады.
Қос параллель өткізгіштер арасындағы әсер күші	$F = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} \cdot \Delta l$ – параллель өткізгіштердің бірлік ұзындықтарына тура келген өзара әсер күші олар арқылы өтіп жатқан ток күштерінің көбейтіндісіне тура пропорционал, ал араларындағы қашықтыққа кері пропорционал болады.
Ток күшінің бірлігі Ампердің сипаттамасы	Ампер – вакуумда бір-бірінен 1 м қашықтықта параллель орналасқан, ұзындығы шексіз тура өткізгіштер арқылы ток өткенде, өткізгіштердің әрбір метр ұзындығына $2 \cdot 10^{-7}$ Н өзара әсер күшін туындататын тұрақты ток күші болып табылады.
Лоренс күші	Магнит өрісінде қозғалып бара жатқан зарядты бөлшекке сол өріс тарапынан әсер ететін күш: $F_L = qvB \sin \alpha$ .
Сол қол ережесі	Егер сол қолдың алақанына магнит индукциясының векторы тік түсетін және сұқ саусақтың бағыты оң зарядтың бағытымен бірдей болса, онда $90^\circ$ бұрышқа керілген бас бармақ Лоренс күшінің бағытын көрсетеді.
Магнит өрісіне тік енген бөлшектің айналу радиусы	$R = \frac{mv}{qB}$ – бөлшек траекториясының қисықтық радиусы оның массасы мен жылдамдығының көбейтіндісіне тура пропорционал, ал заряды мен магнит өрісі индукциясының көбейтіндісіне кері пропорционал.
Магнит өрісіне тік енген бөлшектің айналу кезеңі	$T = 2\pi \frac{m}{qB}$ – бөлшектің айналу кезеңі оның жылдамдығына байланысты болмай, бөлшектің массасына, зарядына және магнит өрісі индукциясының үлкендігіне байланысты болады.

## II таъару. ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ИНДУКЦИЯ

### 7-тақырып. ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ИНДУКЦИЯ ҚҰБЫЛЫСЫ. ИНДУКЦИЯ – ЭЛЕКТР ЖҮРГІЗЕТІН КҮШ. ФАРАДЕЙ ЗАҢЫ

1820 жылы даниялық ғалым Х.Эрстед токтың магниттік әсерін ашқан соң, ағылшын ғалымы **Майкл Фарадей** магнит өрісі арқылы электр өрісін туғызуды алдына мақсат етіп қойды. Ол бұл мәселе бойынша 10 жылдан астам еңбек етіп, 1831 жылы оны ұнамды шешті.



2.1-сурет.

Көрнекі құралдарды пайдалана отырып, Фарадей жүргізген тәжірибені қарастырайық. Ол катушка мен гальванометрді тізбекті түрде жалғап, тұйық шынжыр жасады (2.1-сурет). Катушка өзегіне тұрақты магнит енгізілгенде, гальванометр стрелкасының ауытқуы байқалып, катушкада ток пайда болады (2.1-а сурет). Егер магнитті орам өзегі ішінде қозғалтпай ұстап тұрсақ, гальванометр стрелкасы нөлді көрсетеді, яғни катушкада токтың жоғалғанын байқаймыз (2.1-ә сурет). Магнит өзек ішінен суырып алына бастағанда, катушкада тағы да токтың пайда болғаны көрінеді. Енді гальванометр стрелкасы кері жаққа қарай ауытқиды (2.1-б сурет). Егер магнит қозғалыссыз күйде болып, катушканы қозғалысса келтірсек те, осындай құбылысты байқаймыз. Демек, катушканы қиып өтіп жатқан магнит ағынының бағыты қалай өзгертілсе де, катушкада электр жүргізетін күш пайда болады екен.

Сымды рамканың ұштары бір-біріне тікелей (яки бірер аспап арқылы) қосылған болса, оны тұйық контур деп атауға болады. Ондай жағдайда гальванометрге қосылған катушка өзара тізбектеле жалғанған тұйық контурды құрайды.

Магнит өрісінің ағыны өзгеруіне байланысты тұйық контурда электр тогының пайда болу құбылысы—**электромагниттік индукция құбылысы**, ал контурда пайда болған ток—**индукциялық ток** деп аталады.

Фарадей өзі жүзеге асырған тәжірибенің нәтижелерін талдап, төмендегідей тұжырымға келді: **индукциялық ток тұйық контурда тек өткізгіш контуры арқылы өтіп жатқан магниттік индукция ағыны өзгергенде ғана туындайды, яғни магнит ағыны өзгеріп тұрған уақытта ғана пайда болады.**

Белгілі болғанындай, электр тізбегіндегі ток ұзақ уақыт бойы сақталып тұруы үшін тізбектің бірер бөлігінде электр қозғаушы күш (ЭҚК) көзі болуға тиіс. Контурда тұрақты магнит ағынының өзгеріп тұруы нәтижесінде пайда болған ЭҚК онда индукциялық токты туындататын сыртқы энергия көзі міндетін атқарады. Индукциялық токтың туындауын қамтамасыз ететін ЭҚК **индукциялық электр қозғаушы күш** деп аталады.

Тұйық контурда пайда болған электромагниттік индукцияның ЭҚК сандық мәні тұрғысынан сол контурды қиып өтетін магнит ағынының өзгерісіне тең және өрнегі тұрғысынан қарама-қарсы болып табылады:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2-1)$$

Бұл **электромагниттік индукция заңы** немесе **Фарадей–Максвелл заңы** деп аталады.

(2.1–1) өрнегіндегі (–) белгісі контурда туындайтын индукциялық токтың бағытына байланысты болғандықтан, ол Лэнс ережесі бойынша түсіндіріледі.

ХБЖ-де индукциялық электр қозғаушы күштің бірлігі ретінде **вольт (В)**

кабылданған.  $[\mathcal{E}_i] = \left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right) = \frac{Вб}{с} \frac{Т \cdot м^2}{А} = \frac{Н \cdot м^2}{А \cdot м \cdot с} = \frac{Дж}{А \cdot с} = \frac{А \cdot В \cdot с}{А \cdot с} = В.$

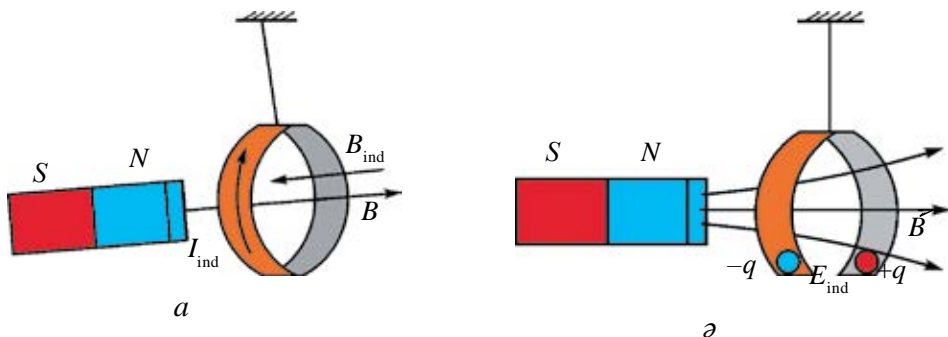
Егер контур  $H$  орамнан құралған болса, онда контурда туындаған индукция ЭҚК төмендегі өрнектің көмегімен есептеледі:

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (2-2)$$

Орыс ғалымы Э.Х.Ленц индукциялық токтың бағытын анықтау мақсатымен төмендегідей тәжірибе жүргізді. Ол бірі бүтін және екіншісі кесілген жеңіл алюминий сақиналарды жіппен байлап, бағанға ілді (2.2-сурет). Егер магнитті бүтін сақинаға жақындатса, онда индукциялық



ток пайда болады. Сонымен қатар бұл ток сақина ішінде өзінің магнит өрісін туындатады. Ал туындаған магнит өрісі магниттің сақинаға жақындауына қарсылық көрсетеді әрі одан тебіледі (2.2-а сурет). Егер магнитті сақинадан алыстата бастасак, сақина магнитке қарай тартылып, оған ілеседі..



2.2-сурет.

Магнитті қиылған сақинаға жақындатқанда немесе одан алыстатқан кезде магниттің сақинаға әсері сезілмейді. Бұның себебі контур тұйық болғандықтан, сақинада индукциялық токтың туындамауы болып табылады (2.2-ә сурет). Тәжірибенің нәтижелеріне орай, Ленц индукциялық токтың бағытын анықтау ережесін тапты. Бұл ереже ғалымның құрметіне *Ленц ережесі* деп аталады да, былайша сипатталады: **тұйықталған контурда пайда болатын индукциялық токтың бағыты осы токтың туындауына себеп болатын магнит ағынының өзгеруіне қарсылық көрсетеді.**



1. Қандай құбылыс электромагниттік индукция құбылысы деп аталады?
2. Неліктен қиылған сақинаға магнитті жақындатқанда, олар өзара әсерлеспейді?
3. Ленц ережесін сипаттап бер.
4. Электромагниттік индукция заңын түсіндір.

### Мәселе шешу үлгісі

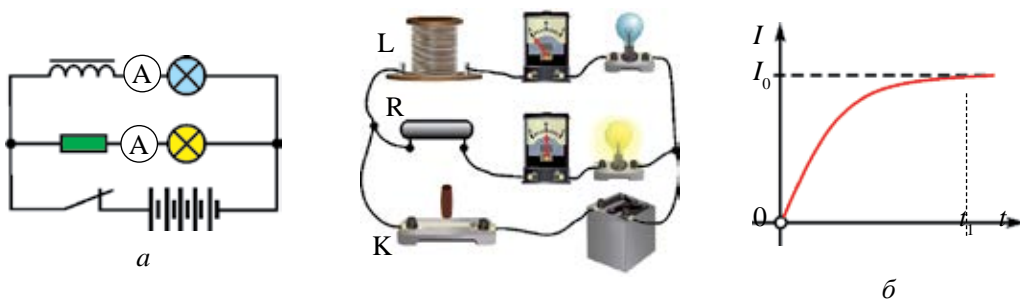
Өткізгіш сақина арқылы өткен магнит ағыны 0,2 сек ішінде 5 мВб-ға өзгерген. Сақина 0,25 Ом электр қарсылығына ие болса, сақинада қандай индукциялық ток пайда болады?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$\Delta t = 0,2 \text{ с}$	$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$I = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0,2} \text{ А} = 0,1 \text{ А.}$
$\Delta\Phi = 5 \text{ мВб} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$	$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = -\frac{\Delta\Phi}{R \cdot \Delta t}$	
$R = 0,25 \text{ Ом}$		<i>Жауабы:</i> $I = 0,1 \text{ А.}$
Табу керек: $I = ?$	$[I] = \frac{\text{Вб}}{\text{Ом} \cdot \text{с}} = \text{А}$	

## 8-тақырып. ӨЗДІК ИНДУКЦИЯ ҚҰБЫЛЫСЫ. ӨЗДІК ИНДУКЦИЯНЫҢ ЭҚК. ИНДУКТИВТІЛІК

Кез келген контурдан өтіп жатқан ток сол контурды қиып өтетін магнит ағынын туындатады. Егер контурдан өтіп жатқан ток өзгерсе, онда ол туындатқан магнит ағыны да өзгереді. Соның нәтижесінде контурда индукциялық ЭҚК пайда болады. Бұл құбылыс **өздік индукция құбылысы** деп аталады.

Өзіндукция құбылысын бақылауға қажетті электр тізбегі 2.3-а суретте келтірілген. Тізбек бірдей қос шамнан,  $R$  қарсылықтан, көп орамды катушадан, кілттен және ток көзінен тұрады. Шамдардың бірі ішінде темір өзегі бар катушка арқылы, екіншісі  $R$  қарсылық арқылы ток көзіне жалғанған. Кілт қосылған сәтте катушка арқылы тізбекке жалғанған шам аздап кешігіңкіреп, ал  $R$  қарсылық арқылы жалғанған екінші шам сол заматта-ақ жанғанын байқаймыз (2.3-ә сурет). Өйткені кілт қосылған сәтте катушадан өтіп жатқан ток күші  $t_1$  уақыт ішінде нөлден  $I_0$ -ге дейін өзгереді (2.3-б сурет).



2.3-сурет.

Осы кезеңде катушкада ток көзі туындатқан токка кері бағытталған өздік индукция тогы пайда болады. Бұл алғашқы шамның аздап кешігіп жануынан байқалады.

Нақ сол сияқты кілтті айырған соң да, екінші шам сол заматында өшкенімен, екінші шам жайымен кіреукеленіп барып сөнөді.

Ток туындатқан магнит өрісі магнит ағынымен сипатталады. Катушка ішінде пайда болған магнит ағыны қандай физикалық шамаларға байланысты болады?

Тәжірибелерден анықталғанындай, катушка ішінде пайда болған магнит ағыны: *біріншіден*, катушкада пайда болған магнит ағыны одан өтіп жатқан ток күшіне тура пропорционал, яғни:

$$\Phi \sim I,$$

*екіншіден*, катушкада пайда болған магнит ағыны катушканың геометриялық өлшемдеріне (орамдар саны, көлденең қима беті, ұзындығы т.б.) және өзегі бар-жоқтығына байланысты екен.

Бұл тәжірибелердің нәтижесін қорытып, төмендегідей тұжырымға келеміз: ток өткізгіш туындатқан магнит ағыны одан өтіп жатқан ток күшіне және катушканың параметрлеріне де тәуелді болады, яғни:

$$\Phi = L \cdot I, \quad (2-3)$$

бұл жерде:  $L$ —катушканың геометриялық өлшемдеріне және катушка орналасқан ортаның магниттік ерекшеліктеріне тәуелді пропорционалдық коэффициенті болады да, ол катушканың индуктивтілігі деп аталады.

Халықаралық бірліктер жүйесінде индуктивтілік бірлігінің өздік индукция құбылысын оны алғаш рет тапқан америкалық ғалымы Дж. Генридің құрметіне *генримен* (Гн) өлшеу қабылданған.

(2–3) өрнегіне орай катушкада пайда болған өздік индукцияның электр қозғаушы күші өрнегін төмендегідей етіп жазамыз:

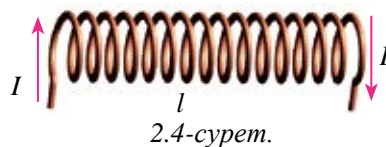
$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (2-4)$$

бұл өрнектен төмендегідей тұжырым келіп шығады: **өздік индукция электр қозғаушы күшінің шамасы контурдағы ток күшінің өзгеру жылдамдығына  $(\frac{\Delta I}{\Delta t})$  тура пропорционал болады.**

(2–4) теңдігінен индуктивтіліктің (яки өздік индукция коэффициентінің) төмендегі физикалық мәні мен бірлігі туындайды: **ток күшінің өзгеру жылдамдығы  $1 \frac{A}{c}$  болғанда, контурда бір вольт өздік индукцияның ЭҚК пайда болса, контурдың индуктивтілігі 1 Гн-қа тең болады, яғни:**

$$1Гн = \frac{1В}{1А/с} = \frac{1В \cdot с}{1А}$$

Ұзындығы  $l$ , көлденең қимасының беті  $S$ , орамдарының саны  $N$  болатын ұзын катушка немесе соленоидтың (2.4-сурет) индуктивтілігі төмендегі өрнектің көмегімен анықталады:



$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot N^2 \cdot S}{l} \quad (2-5)$$

Бұл жерде:  $\mu_0$  – коэффициент вакуумның магнит тұрақтысы, оның сандық мәні  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Н}{А^2}$  -ға тең.  $\mu$  – соленоид ішіндегі ортаның магниттік алғырлығы (заттың магниттік алғырлығы туралы бұдан кейінгі тақырыптарда егжей-тегжейлі сөз болады).

Өздік индукция құбылысын механикадағы инерция құбылысына ұқсатуға болады. Инерция құбылысында дененің массасы қандай маңызды болса, өздік индукция құбылысындағы индуктивтілік те нақ сондай маңызды болып табылады. Яғни масса қаншалықты үлкен болса, дене де соншалықты инертті; индуктивтілік қаншалықты үлкен болса, тізбектегі токтың өзгерісі де соншалықты баяу (инертті) болады. Жоғарыда қарастырылған мысалдағы катушкаға тізбекті түрде қосылған шамның өте баяу жану және өшу үдерісін инерттілеу дененің орнынан баяу қозғалып-тоқтауы бірден жүзеге аса қоймайтынымен салыстырған орынды.



1. Қандай құбылысты өздік индукция құбылысы дейді?
2. Өздік индукция құбылысы бақыланатын тізбекті сызып, түсіндіріп бер.
3. Өздік индукция коэффициентінің бірлігі деген не?
4. Өздік индукция ЭҚК-нің өрнегін жаз және оны түсіндір.

### Мәселе шешу үлгісі

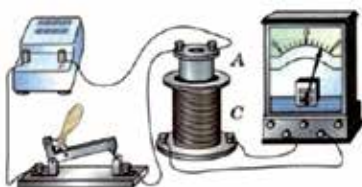
Катушкадағы ток 0,2 с барысында нөлден 3 А-ге дейін бірқалыпты өзгергенде 1,5 вольт өздік индукция ЭҚК пайда болса, катушканың индуктивтілігі қаншаға тең болады?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$\Delta t = 0,2 \text{ с}$ $\Delta I = 3 \text{ А}$ $\mathcal{E}_{\text{инд.}} = 1,5 \text{ В}$	$\mathcal{E}_{\text{инд.}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$	$L = \frac{1,5 \text{ В} \cdot 0,2 \text{ с}}{3 \text{ А}} = 0,1 \text{ Гн.}$
Табу керек: $L = ?$	$ L  = \frac{\mathcal{E}_{\text{инд.}} \cdot \Delta t}{\Delta I}$	<b>Жауабы:</b> $L = 0,1 \text{ Гн.}$

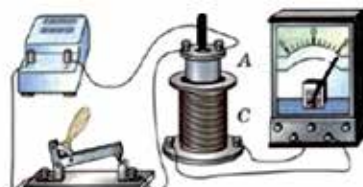
## 9-тақырып. ЗАТТАРДЫҢ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІ

Көптеген заттар (мысалы, темір, никель, кобальт т.б.) магнит өрісіне енгенде немесе олар арқылы ток өткенде, олардың магниттеліп қалатыны байқалады. Олар да магнитке ұқсап айналасында магнит өрісін туындатады. Магниттік өрістің әсерімен магниттеліп қалатын бұндай заттарды **магнетиктер** деп атайды.

Біз 2-тақырыпта катушка өзегінде пайда болған магнит өрісінің катушкадан өтіп жатқан ток күшіне пропорционал екендігін қарастырған едік. Катушка ішіндегі магнит өрісін бағалау мақсатымен төмендегідей тәжірибе өткізуге болады. Бұл тәжірибе қондырғысының жалпы көрінісі 2.5-а суретте көрсетілген. Тәжірибе қондырғысы ток көзінен, екі катушкадан, түрлі заттардан жасалған өзектерден, амперметрден және кілттен құралады.



а



б

2.5-сурет.

Кернеуді өзгертпей тұрып, катушка ішіне табиғаты әр түрлі металл өзектерді кезек-кезек енгізу жолымен тәжірибені қайталасақ, оның ішіндегі магнит индукциясының да бірнеше түрлі өзгеруіне байланысты гальванометр стрелкасы да түрлі бағытқа ауытқитыны байқалады (2.5-б сурет).

Бұдан катушка ішінде пайда болып жатқан магнит өрісінің индукциясы оған енгізілген заттың табиғатына тәуелді екендігі айқындалды, яғни:

$$B = \mu \cdot B_0. \quad (2-6)$$

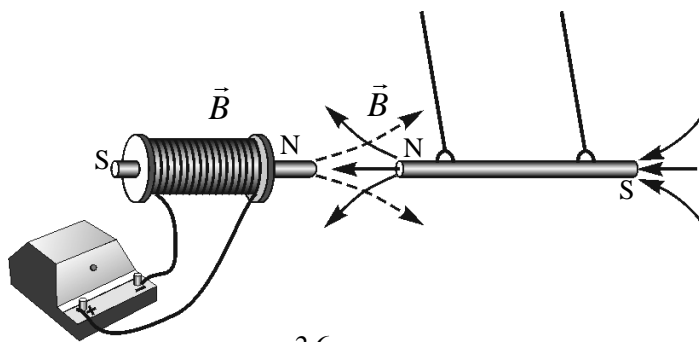
Демек, токты катушканың бірер ортада пайда болған магнит өрісінің индукциясы ( $B$ ) оның вакуумда пайда болған магнит өрісі индукциясына ( $B_0$ ) тура пропорционал, сондай-ақ ортаның түріне ( $\mu$ ) де тәуелді болады. (2–6) өрнегінен  $\mu$ -ды тапсақ:

$$\mu = \frac{B}{B_0}. \quad (2-7)$$

Бұл теңдіктегі  $\mu$ –ортаның *магниттік алғырлығы* деп аталады. Ол тек ортаның табиғатына тәуелді болады да, ортадағы магнит өрісі индукциясының вакуумдағы магнит өрісі индукциясынан неше есе айырмасы болатынын білдіреді.

Табиғатта кездесетін барлық элементтер магниттік алғырлығына қарай үш түрге бөлінеді. Олар: *диамагнетиктер*, *парамагнетиктер* және *ферромагнетиктер*.

Магниттік алғырлығы 1-ден кіші ( $\mu < 1$ ) элементтер *диамагнетиктер* деп аталады. Алтын, күміс, мыс, қалайы және кейбір газдар диамагнетиктерге жатады. Магнит өрісіне енгізілген диамагнетиктер оны әлсіздендіреді. Бұндай элементтерге магнит өрісін жақындатқанда, олар өрістен тебіледі (2.6-сурет).

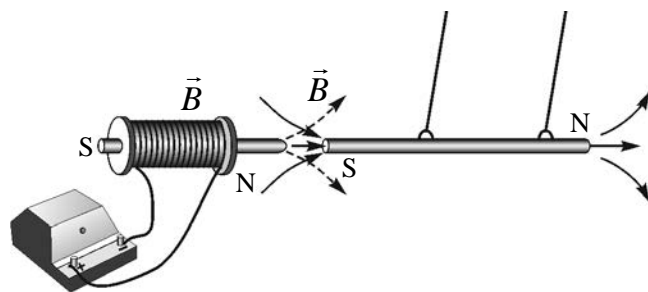


2.6-сурет.

Магниттік алғырлығы 1-ден біраз үлкен ( $\mu > 1$ ) элементтер *парамагнетиктер* деп аталады. Парамагнетиктерге платина, алюминий, хром, марганец, оттегі секілді элементтер жатады. Магнит өрісіне енгізілген парамагнетиктер өрісті ішінара күшейтеді.

Магниттік алғырлығы 1-ден өте үлкен ( $\mu \gg 1$ ) заттар *ферромагнетиктер* деп аталады. Темір, никель, кобальт және олардың кейбір қоспалары ферромагнетиктерге жатады. Магнит өрісіне енгізілген ферромагнетиктер оны күшейтеді.

Бундай заттардан жасалған денелерді магнит өрісіне енгізгенде, олар өріске тартылады (2.7-сурет).



2.7-сурет.

Ферромагнетиктер табиғатта оншалықты көп болмаса да, олар бүгінгі заман техникасында кеңінен қолданылады. Мәселен, трансформатор, ток генераторы, электродвигатель және басқа құрылғылардың өзектері ферромагниттік материалдардан жасалады. Соңғы кездерде тұрақты магниттер медицина саласында да кеңінен қолданылып келеді. Олардан қан қысымын төмендететін құрал ретінде қолға тағылатын білезіктер жасалады.



1. Магнетиктер деп нелерді айтады?
2. Магниттік алғырлықтың физикалық мағынасын түсіндір.
3. Табиғаттағы заттар магниттік алғырлығына қарай қандай түрлерге бөлінеді?
4. Ферромагнетиктердің техникада қолданылуына мысалдар келтір.

### Мәселе шешу үлгісі

Магнит өрісінің индукциясы 0,50 Т болған өзексіз катушкаға магниттік алғырлығы 60-қа тең ферромагнит енгізілді. Катушка ішіндегі магнит өрісінің индукциясы қаншаға өзгереді?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$B_0 = 0,50 \text{ Тл}$	$B = \mu \cdot B_0$	$\Delta B = (60 \cdot 0,5 - 0,5) \text{ Тл} = (30 - 0,5) \text{ Тл} = 29,5 \text{ Тл}$
$\mu = 60$		
Табу керек:	$\Delta B = \mu \cdot B_0 - B_0$	Жауабы: $\Delta B = 29,5 \text{ Тл}$
$\Delta B = ?$		



## 10-тақырып. МАГНИТ ӨРІСІНІҢ ЭНЕРГИЯСЫ

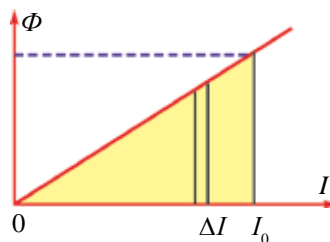
Зарядталған дене электр өрісі энергиясына ие болатындығы секілді, ток өткізгіштің айналасында пайда болған магнит өрісі де энергияға ие болады. Магнит өрісінің энергиясын есептеуді төмендегі мысал бойынша қарастырамыз. Индуктивтілігі  $L$ -мен белгіленген катушка ток көзіне реостат арқылы тізбекті түрде қосылған делік (2.8-сурет).

Катушкадан өтіп жатқан ток энергиясының бір бөлігі онда магнит өрісін туындатуға жұмсалады. Энергияның сақталу заңына орай, ток туындатқан энергия магниттік индукция ағынын туғызуға жұмсалған жұмысқа тең болады, яғни:

$$W = A.$$



2.8-сурет.



2.9-сурет.

Реостаттың жылжығышын қозғап, катушкадан өтіп жатқан токты жайлап көбейтеміз. Катушкада пайда болған магнит ағыны ( $\Phi = L \cdot I$ ) одан өтіп жатқан токқа тура пропорционал, яғни ток артқан сайын магнит ағыны да сызықты түрде арта береді (2.9-сурет). Сызбада келтірілген үшбұрыш бетінің геометриялық мағынасы орындалған жұмысты білдіреді. Бұл беттің сандық мәні:

$$A = \frac{I \cdot \Phi}{2}. \quad (2-8).$$

Бұл жағдайда ток өткізгіштің айналасында пайда болған магнит өрісі энергиясын есептеу формуласы төмендегідей көрініске келеді:

$$W = A = \frac{I \cdot \Phi}{2} = \frac{L \cdot I^2}{2}. \quad (2-9)$$

Демек, токты контурдың магнит өрісі энергиясы оның индуктивтілігі мен контурдан өтіп жатқан ток күшінің квадраты көбейтіндісінің жартысына тең болады.

(2-9)-дан көрініп тұрғанындай, токтың магнит өрісі энергиясының өрнегін қозғалып бара жатқан дененің кинетикалық энергиясы  $\left( E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \right)$

өрнегімен салыстырып, индуктивтіліктің механикадағы массаға ұқсайтын физикалық шама екенін байқаймыз. Жоғарыда айтылғанындай, механикада дене массасы оның жылдамдығын өзгертуде қандай рөл атқарса, индуктивтілік те контурдағы ток күшінің өзгеруінде нақ сондай рөл атқарады.

Электромагниттің негізін соленоид катушка құрайды. Соленоидтің ішіне енгізілген ферромагнит өзегі оның индуктивтілігін шұғыл арттырады. Соның нәтижесінде электромагнит катушканың айналасындағы магнит өрісі де күшейеді және ол ауыр жүктерді оп-онай көтереді.

Токты катушканың айналасында магнит өрісінің пайда болуы негізінде жасалып, ауыр жүктерді емін-еркін көтеретін электромагнитті крандар халық шаруашылығының түрлі салаларында кеңінен қолданылып келеді (2.10-сурет).



2.10-сурет.



1. Катушкадан өтіп жатқан ток энергиясының шығынын түсіндіріп бер.
2. Катушкада пайда болған магнит ағыны қандай шамаларға тәуелді?
3. Магнит өрісінің энергиясын сипатта.
4. Магнит өрісінің энергиясы есебінен жұмыс істейтін қандай қондырғы-құрылғыларды білесің?

### Мәселе шешу үлгісі

Магнит өрісінің энергиясы 4 мДж болуы үшін индуктивтілігі 0,2 Гн катушка орамындағы ток күші қанша болуға тиіс?

Берілгені:  
 $W=4 \text{ мДж}=4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$   
 $L=0,2 \text{ Гн}$

Табу керек:  
 $I=?$

Формуласы:

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

$$I = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{L}}$$

$$[I] = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{Гн}}} = \text{А}$$

Шешуі:

$$I = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,2}} = 0,2 \text{ А.}$$

Жауабы:  $I=0,2 \text{ А.}$



**Практикалық тапсырма.** Бұл тәжірибені өзің жасап көр және орын алған физикалық үдерісті түсіндіруге тырыс.



## 2-жаттығу

1. Контурды қиып өтетін магнит ағыны  $0,4$  с ішінде  $5$  Вб-ден  $13$  Вб-ге дейін бірқалыпты өзгерді. Контурда пайда болған индукцияның ЭҚК-ін (электр қозғаушы күш) табындар. (Жауабы:  $20$  В).

2.  $250$  орамы бар катушканың ішіндегі магнит ағыны  $0,4$  сек ішінде  $2$  Вб-ге өзгерді. Катушкада пайда болған индукцияның электр қозғаушы күшін (ЭҚК) табындар. (Жауабы:  $1250$  В).

3. Магнит ағынының өзгеру жылдамдығы  $0,15$  Вб/сек болған кезде катушкада  $120$  В электр қозғаушы күш (ЭҚК) пайда болса, катушкадағы орамдар саны қанша болған? (Жауабы:  $800$ ).

4. Ток күші  $0,6$  А болған кезде индуктивтілігі  $80$  мГн-қа жеткен катушкада қандай магнит ағыны туындайды? (Жауабы:  $48$  мВб)

5. Индуктивтілігі  $0,8$  Н және көлденең қимасының беті  $200$  см<sup>2</sup> болған катушка арқылы  $2$  А ток өтіп жатыр. Егер катушкадағы орам саны  $50$  болса, оның ішіндегі магнит өрісінің индукциясы қандай? (Жауабы:  $1,6$  Тл)

6. Индуктивтілігі  $2$  Гн-қа тең катушкадағы электр қозғаушы күштің (ЭҚК) мәні  $36$  В болуы үшін катушқадан өтіп жатқан токтың өзгеру жылдамдығы қандай болуы керек? (Жауабы:  $18$  А/с)

7. Өзексіз катушкадағы магнит өрісінің индукциясы  $25$  мТл-ға тең. Егер катушка ішіне магнит алғырлығы  $60$  болатын ферромагнит енгізілсе, катушкадағы магнит өрісінің индукциясы қандай болады? (Жауабы:  $1,5$  Тл)

8. Токты катушкадағы магнит өрісі индукциясы  $20$  мТл-ға тең. Катушка ішіне ферромагнитті өзек енгізілгенде пайда болған магнит өрісінің индукциясы  $180$  мТл-ға артқан болса, катушкаға түсірілген өзектің магнит алғырлығы неге тең? (Жауабы:  $10$ )

9. Радиусы  $2$  см катушқадан  $3$  А ток ағып өтіп жатыр. Катушка ішіне магнит алғырлығы  $20$  болған ферромагнит өзек енгізілсе, катушка ішіндегі

магнит өрісінің индукциясы қандай болады? Катушкадағы орамдар саны 150-ге тең. (Жауабы: 0,28 Тл)

10. Соленоидтан 2,5 А ток өткенде, онда 0,8 мВб магнит ағыны туындаса, магнит өрісінің энергиясы қандай болатынын анықта. (Жауабы: 2,5 мДж)

11. Индуктивтілігі 5 мГн катушкadan 0,4 А ток өтіп жатыр. Катушканың магнит өрісінің энергиясын тап. (Жауабы: 4 мДж)

12. Катушкadan 3 А ток өткенде оның магнит өрісі энергиясы 60 мДж-ға тең болса, катушканың индуктивтілігі неге тең болады? (Жауабы: 90 мГн)

## II ТАРАУДЫ ҚОРЫТЫНДЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ

1. Электромагниттік индукция құбылысын кім ашқан?

- A) Ампер; B) Эрстед; C) Фарадей; D) Ленц.

2. Индукцияның электр қозғаушы күшінің (ЭҚК) бірлігін көрсет.

- A) Т/сек; B) Вб/сек; C) Гн; D) А/сек.

3. Индукциялық токтың бағытын анықтаған кім?

- A) Ампер; B) Эрстед; C) Максвелл; D) Ленц.

4. Катушкадағы орамдар саны 4 есе көбейсе, ондағы индукциялық ЭҚК қалай өзгереді?

- A) 2 есе артады; B) 4 есе артады;  
B) 4 есе азаяды; D) 2 есе азаяды.

5. Контурдан өтіп жатқан магнит ағыны 0,3 с ішінде 15-тен 12 Вб-ге дейін бірқалыпты төмендеген болса, контурда пайда болған индукцияның ЭҚК-ін тап (V).

- A) 10; B) 9; C) 4,5; D) 5.

6. 150 орамы бар катушкадағы магнит ағыны 0,5 с-та 15 мВб-ға дейін өзгерсе, ондағы индукцияланған ЭҚК-ті тап (В).

- A) 10; B) 5; C) 9; D) 4,5.

7. Магнит ағынының өзгеру жылдамдығы 120 мВб/с болған кезде катушкада 30 В ЭҚК пайда болса, катушкадағы орамдар саны нешеу деп ойлайсың?

- A) 200; B) 250; C) 400; D) 500.

8. Катушкадағы ток 0,4 с ішінде 5 А-ға өзгерген кезде 15 В өзіндік индукциялық ЭҚК пайда болды. Сонда катушканың индуктивтілігі неге тең болғаны (Гн)?

- A) 1,2; B) 2,5; C) 4; D) 1,5.

9. Ток күші 0,8 А болған кезде катушкада туындаған магнит ағыны 240 мВб-ге тең болды. Катушканың индуктивтілігі неге тең екенін айта аласың ба (Гн)?  
 А) 1,2;                      В) 0,4;                      С) 0,3;                      D) 0,5.
10. Парамагнит элементтердің магнит алғырлығы қандай болады?  
 А)  $\mu > 1$ ;                      В)  $\mu \gg 1$ ;                      С)  $\mu < 1$ ;                      D)  $\mu = 1$ .
11. Катушкаға енгізілген ферромагнит өзек қандай міндетті атқарады?  
 А) магнит өрісін күшейтеді;                      В) электр өрісін күшейтеді;  
 Б) электр өрісін нашарлатады;                      D) магнит өрісін нашарлатады.
12. Магнит өрісінің индукциясы 80 мТ өзексіз катушкаға магнит алғырлығы 25-ке тең ферромагнит өзек енгізілді. Катушкада магнит өрісінің индукциясы қандай болады (Т)?  
 А) 1,2;                      В) 4;                      С) 2;                      D) 3,6.
13. Кедергісі 0,04 Ом болған контур арқылы өтетін магнит ағыны 0,6 сек-та 0,012 Вб-ге өзгергенде, контурда туындаған ток күшін тап (А).  
 А) 0,5;                      В) 1,5;                      С) 3;                      D) 0,4.
14. Индуктивтілігі 30 мГн катушкадан 0,8 А ток өтіп жатыр. Катушка магнит өрісінің энергиясын есептеп тап (мДж).  
 А) 1,2;                      В) 4;                      С) 2;                      D) 9,6.
15. Катушкадан 2 А ток өткенде оның магнит өрісінің энергиясы 40 мДж-ға тең болса, катушканың индуктивтілігі қандай болатынын есепте (мГн).  
 А) 20;                      В) 40;                      С) 25;                      D) 10.

## II тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Электромагниттік индукция құбылысы	Магнит ағынының өзгеруі себепті сол өрісте орналасқан тұйық контурда токтың пайда болу үдерісі.
Индукциялық ток	Тұйық контурды қиып өтіп жатқан магнит ағыны өзгергенде онда пайда болған электр тогы.
Электромагниттік индукция заңы	Жабық контурда пайда болған электромагниттік индукцияның электр қозғаушы күші (ЭҚК) сандық мәні тұрғысынан сол контурды қиып өткен магнит ағыны өзгерісіне тең және өрнектелуі тұрғысынан бір-біріне карама-қарсы: $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Ленц ережесі	Тұйық контурда пайда болған индукциялық токтың бағыты өзінің өрісі мен сол токты туындатқан магнит ағынының өзгеруіне қарсылық көрсетеді.
Ток өткізгіш туындатқан магнит ағыны	Ток өткізгіш туындатқан магнит ағыны ( $\Phi$ ) одан өтіп жатқан ток күшіне және өткізгіштің индуктивтілігіне ( $L$ ) байланысты: $\Phi = L \cdot I$ .
Индуктивтілік бірлігі	Ток күшінің өзгеру жылдамдығы $1 \frac{A}{c}$ болғанда, контурда 1 вольт индукция ЭҚК пайда болса, контурдың индуктивтілігі 1 Гн-қа тең болады.
Өзіндукцияның электр қозғаушы күші (ЭҚК)	$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ <p>өзіндукцияның электр қозғаушы күшінің шамасы контурдағы (<math>\frac{\Delta I}{\Delta t}</math>) ток күшінің өзгеру жылдамдығына тура пропорционал болады.</p>
Магнетиктер	Сыртқы магниттік өрістің ықпалымен магниттеліп қалатын заттар.
Магниттік алғырлық	Бұл ортаның табиғатына тәуелді болады да, орта мен вакуумдағы магнит өрісі индукцияларының қатынасын білдіреді.
Диамагнетиктер	Магниттік алғырлығы 1-ден кіші ( $\mu < 1$ ) заттар диамагнетиктер болып саналады.
Парамагнетиктер	Магниттік алғырлығы 1-ден шамалы үлкен ( $\mu > 1$ ) заттар парамагнетиктерге жатады.
Ферромагнетиктер	Магниттік алғырлығы 1-ден өте үлкен ( $\mu \gg 1$ ) заттар ферромагнетиктер деп аталады. Оларға өрісті күшейту қасиеті тән.
Магнит өрісінің энергиясы	$W = \frac{L \cdot I^2}{2}$ токтың магнит өрісі энергиясы, контурдың индуктивтілігі мен одан өтіп жатқан ток күші квадратының көбейтіндісіне тең.

## III тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ТЕРБЕЛИСТЕР

### КИРИСPE

Біз сүйікті республикамыздың түрлі қалалары мен ауыл-қыстақтарында тұрамыз. Олар астанадан жүздеген және мыңдаған километр алыста орналасқан. Дегенмен олар бір-бірінен соншалықты шалғайда болғанымен, біз бір-біріміздің жетістік-табыстарымыздан әрқашан хабардармыз. Сонымен қатар бүкіл дүниеде болып жатқан сан қилы оқиғалар мен жаңалықтарды да біліп отырамыз. Бұндай хабарлардан біз күн сайын теледидар мен радиодан тамашалап-естігенімізде, таныстарымызбен телефон арқылы сөйлескенде құлағдар боламыз. Сонда бұл хабарлар мен жаңалықтарды әлемнің сан түкпірлерінен біздің теледидарымызға, радиоқабылдағышымыз бен телефонымызға кім, не және қалайша жеткізіп тұрады?

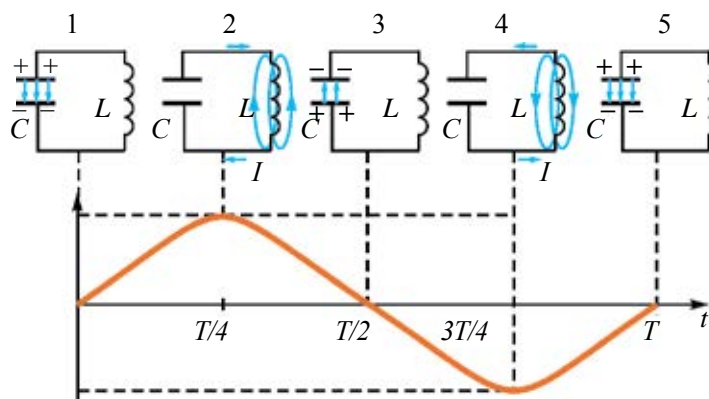
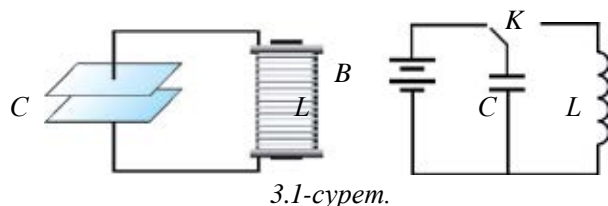
Сөз бен дыбысты, бейнені және басқа мәліметтерді өте ұзақ қашықтықтарға электромагниттік сигналдар көрінісінде жеткізу **телекоммуникация** деп аталады. Ақпараттарды электр сигналдары түрінде өткізгіштер көмегімен жіберуді 1837 жылы ағылшын жаңалықтапқыштары У.Кук пен Ч.Уитсон тапқан болатын. Негізгі мамандығы суретші болған американ өнертапқышы С.Морзе хабарды арнаулы нүктелер мен тирелерден тұратын әліпби арқылы жіберуді ойлап табады. Бертін келе бұл әдіс бүкіл әлемге тарап кетті. 1876 жылы А.Г.Белл телефонды ашты. Бүгінгі таңда әрбір үйге және сан түрлі мекемелерге хабар жеткізетін телефондар станциямен металл өткізгіштер арқылы қосылған болса, қалааралық және халықаралық телефон станциялары оптикалық талшықты кабельдер арқылы жалғанған. Хабарлар бұндай кабельдер арқылы лазер сәулесінің көмегімен жөнелтіледі. Бір жұп кабель арқылы бір мезгілдің өзінде 6000 абонент телефонмен сөйлесе алады. Бұдан тыс біздің радиоқабылдағыштарымыз бен теледидарларымыз мәлімет-ақпараттарды ешқандай сымсыз қабылдай алады. Қол телефондар арқылы да сымсыз ақпарат алмасу әбден мүмкін болып қалды. Бұндай ақпараттар электромагнитті толқындар арқылы тасымалданады.

Хабарлар арқылы келген бейнелер мен дыбыстар үйдегі теледидар экранында, радиоқабылдағыш пен ұялы телефонымызда қалай пайда болады? Бұндай сұрақтарға жауапты Сендер, қадірлі оқушылар, аталмыш тараудан таба аласыңдар.



## 11-тақырып. ЕРКІН ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР (ТЕРБЕЛІС КОНТУРЫ). ТЕРБЕЛІС КОНТУРЫНДА ЭНЕРГИЯНЫҢ ӨЗГЕРУІ

Қарапайым электромагнитті тербелістерді конденсатор мен индуктивті катушқадан құралған электр тізбегінде туғызуға болады. Конденсатордан, индуктивті катушқадан, тұрақты ток көзі мен қосып-айырғыштан тұратын электр тізбегін жасайық (3.1-сурет). Бұны қарапайымдылау етіп ұғындыру үшін тізбектегі электр кедергісін есепке алмаймыз. Қосып-айырғышты сол жаққа қоссақ,  $C$  конденсатордың қаптамасы батареядан заряд алады. Бұнда конденсатор қаптамалары арасында энергиясы ең жоғары (максимум) деңгейде болған  $W_e = \frac{q_m^2}{2C}$  электр өрісі туындайды. Содан соң қосып-айырғышты оң жаққа қосамыз, бұл жағдайда зарядталған конденсатор  $L$  катушкамен қосылады. Одан кейінгі үдерісті мұқият бақылайық (3.2-сурет).



Конденсатордың жоғарғы қаптамасы оң, төменгі қаптамасы теріс зарядталғандықтан, ток көзі болып қалады (1-жағдай). Соның нәтижесінде конденсатордың оң қаптамасынан теріс қаптамасына қарай индуктивті катушка арқылы зарядтар өтеді, яғни ток пайда болады. Бұл токтың

айналасында магнит өрісі туындайды. Катушканың индуктивтілігіне байланысты бұл ток бірте-бірте көбейіп, өзінің ең жоғары мәніне жетеді (суреттегі графикке назар аударыңдар). Катушкадан өтіп жатқан токтың айналасында пайда болған магнит өрісі де өсетін болады (2-жағдай). Бұндай кезде конденсатордың қаптамалары арасындағы электр өрісі энергиясы нөлге дейін төмендейді. Катушка айналасындағы магнит өрісі энергиясы

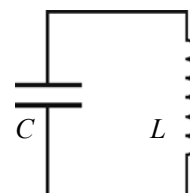
арта түсіп, өзінің ең жоғары (максимум)  $W_m = \frac{LI_M^2}{2}$  мәніне жетеді. Бұдан бұрынғы тақырыптардан белгілі болғанындай, электромагниттік индукция құбылысына орай, айнымалы магнит өрісіне орналасқан катушкада индукциялық кернеу пайда болады. Ток күші төмендейді де, индукциялық кернеу конденсаторды бұрынғымен салыстырғанда теріс шамаға зарядтайды (3-жағдай). Зарядталған конденсатор тағы да индуктивтік катушка арқылы ток туғызады (4-жағдай). Бұл ток та өсімді болғандықтан, одан пайда болған магнит өрісінен индукциялық кернеу туындайды. Ток төмендеген соң, индукциялық кернеу конденсаторды қайта зарядтайды (5-жағдай). 5- және 1-жағдайларда конденсатор зарядының шамалары бірдей. Демек, кейінгі үдерістер бұрынғысынша тізбекті түрде жалғаса береді.

Қарастырылған үдерістерден төмендегідей тұжырымдар шығарамыз:

1. Конденсатор мен индуктивті катушкадан тұратын тізбекте тұрақты ток көзінен конденсаторға бір рет берілген заряд тұйық тізбекте айнымалы ток туғызады.

2. Бастапқыда көзден алынған энергия конденсатор орамдары аралығында электр өрісі энергиясы ретінде шоғырланса, соңынан катушка айналасындағы магнит өрісі энергиясына айналады. Содан соң магнит өрісі энергиясы кезеңді түрде электр өрісі энергиясына және басқа энергияларға айналып тұрады.

10-сыныпта кез келген қайталанатын үдеріс тербеліс деп аталатыны айтылған болатын. Демек, конденсатор мен катушкадан тұратын тізбектегі үдеріс те тербелісті сипатқа ие. Сол себепті ол **электромагниттік тербелістер** деп аталады. Электромагниттік тербелістер туындап жатқан катушка (L) мен конденсатордан (C) тұратын тұйық тізбек **тербеліс контуры** деп аталады (3.3-сурет).



3.3-сурет.

Тербеліс контурында пайда болып жатқан электромагниттік тербелістер кезеңін (жиілігін) анықтау формуласын ағылшын физигі У.Томсон анықтаған.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \text{немесе} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (3-1)$$

Бұнда:  $T$ –тербелістер кезеңі секундтармен,  $\nu$ –тербелістер жиілігі  $\frac{1}{s} = 1 \text{ Гц}$  –мен өлшенеді.

$s$  Электромагниттік тербелістер орын алған кезде контурдағы электр өрісі энергиясы кезеңді түрде магнит өрісі энергиясына және бұған керісінше магнит өрісі энергиясы электр өрісі энергиясына айналып жатады. Идеал тербеліс контурында энергия шығыны болмағандықтан, тербелістер тоқтамайды. Энергия толық сақталып қалады және оның мәні кез келген уақытта төмендегіге тең болады:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{q_M^2}{2C} = \frac{LI_M^2}{2} = \text{const.} \quad (3-2)$$

Бұл жерде:  $L$ –катушканың индуктивтілігі,  $C$ –конденсатордың сыйымдылығы,  $i$  және  $I_M$ –ток күшінің сәйкесінше ең төменгі және ең жоғарғы мәндері,  $q$  және  $q_M$ –конденсатордағы зарядтың сәйкесінше ең төменгі және ең жоғарғы мәндері.

Тербеліс контурында конденсатордағы электр өрісі энергиясының катушкадағы магнит өрісі энергиясына және керісінше – катушкадағы магнит өрісі энергиясының конденсатордағы электр өрісі энергиясына айналып тұру құбылысын 10-сыныпта қарастырылған серіппелі маятникте созылған серіппенің потенциалдық энергиясының жүктің кинетикалық энергиясына және бұған керісінше айналып тұруымен салыстыруға болады. Соған орай, механикалық және электрлік тербелістердің параметрлері арасындағы ұқсастықты төмендегі кестеде келтіреміз:

Механикалық шамалар	Электрлік шамалар
$x$ –координата	$q$ –заряд
$v$ – жылдамдық	$i$ –ток күші
$m$ –масса	$L$ – индуктивтілік
$k$ –серіппенің бұрандалығы	$1/C$ –сыйымдылыққа теріс шама
$kx^2/2$ –потенциалдық энергия	$q^2/(2C)$ –электр өрісі энергиясы
$mv^2/2$ –кинетикалық энергия	$Li^2/2$ –магнит өрісі энергиясы

Тағы бір атап өтетін жері, электромагниттік және механикалық тербелістердің табиғаты әр түрлі болғанымен, өзара ұқсас теңдіктермен өрнектеледі.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Тербеліс контурындағы конденсатордың сыйымдылығы  $10^{-5} \text{ Ф}$ , катушканың индуктивтілігі  $0,4 \text{ Гн}$ . Конденсатордағы ең жоғары кернеу  $2 \text{ В}$ -қа тең. Тербеліс контурының өзіндік тербелістерінің кезеңі мен контурдағы ең жоғары энергияны тап.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$C=10^{-5} \text{ Ф}$	$T=2\pi \sqrt{LC}$	$T=2 \cdot 3,14 \sqrt{0,4 \cdot 10^{-5}} \text{ с}$
$L=0,4 \text{ Гн}$		$= 6,28 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 0,01256 \text{ с}$
$U=2 \text{ В}$	$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$	$W = \frac{10^{-5} \cdot 2^2}{2} \text{ Дж} = 20 \text{ мДж}$
Табу керек:		Жауабы: 0,01256 с, 20 мДж.
$T-?$		
$W-?$		



1. 3–3-суреттегі жағдайда контурдағы энергия қай жерге шоғырланған?
2. Тербеліс контурында тербелістер қалай пайда болады?
3. Контурда туындап жатқан электромагниттік тербелістердің жиілігі катушканың индуктивтілігіне қалай байланысты болады?

## 12-тақырып. ТЕРБЕЛІСТЕРДІ ГРАФИК ТҮРІНДЕ БЕЙНЕЛЕУ. СӨНЕТІН ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

Біз қарастырған тербеліс контурында пайда болатын электромагниттік тербелістерді туындату үшін алғашқы  $t_0=0$  уақыт моментінде конденсаторға  $q_m$  заряд берілді және одан кейін жүйеге сырттан ешқандай ықпал жасалған жоқ. *Ешқандай сыртқы әсерсіз пайда болатын тербелістер еркін тербелістер* деп аталады.

10-сыныпта өтілген механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістер теңдеулерінің ұқсастығынан конденсатордағы зарядтың өзгеруін төмендегідей етіп жазамыз:

$$q = q_m \cos 2\pi vt. \quad (3-3)$$

$U = q/C$  екендігі ескерілсе, конденсатордағы кернеудің өзгеруі үшін

$$U = U_m \cos 2\pi vt \quad (3-4)$$

өрнегін алуға болады. Ал катушкадағы ток күші

$$I = I_m \cos(2\pi vt + \pi/2) \text{ немесе } I = I_m \sin 2\pi vt \quad (3-5)$$

заңдылығына орай анықталады.

*Физикалық шамалардың уақыттың өтуіне байланысты синус немесе косинус заңы бойынша кезеңдік өзгеруі гармониялық тербелістер* деп аталады.

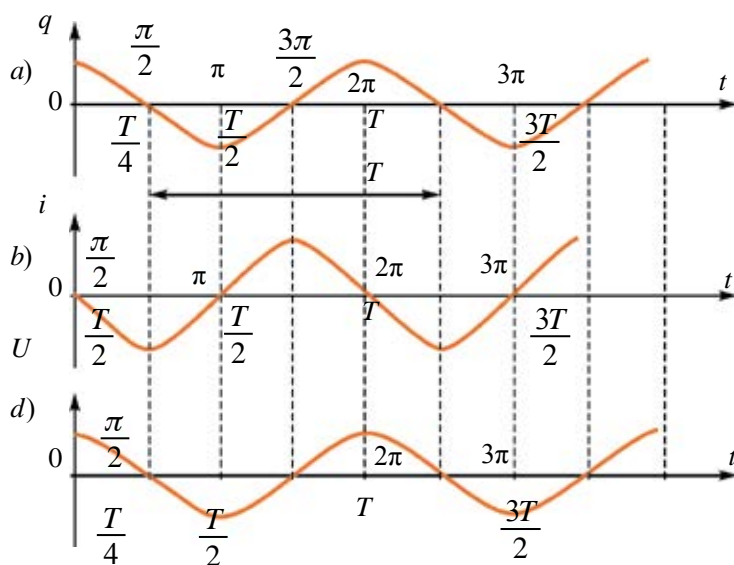
Тербеліс үстіндегі шаманың ең үлкен мәнінің модулі тербеліс амплитудасы немесе **амплитудалық мән** деп аталады.

Механикалық тербелістердегі амплитуда дененің тепе-теңдік күйінен ең үлкен ауытқуына, ал электромагниттік тербелістерде конденсатор қаптамаларындағы электр зарядының ең үлкен мәніне ( $q_m$ ) тең болады.

Гармониялық тербелістердегі шамалардың уақытқа тәуелділігін бейнелеу үшін графикалық әдіс өте қолайлы болып табылады.

Электромагниттік тербелістердің зарядқа, кернеуге және ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін сызайық. Бұл үшін аталмыш шамалардың (3–3), (3–4) және (3–5) теңдеулерін пайдаланамыз. Теңдеулерді салыстырып қарасақ, тербелістердің бір-бірінен фазалар жылжуына орай айырмасы бар екенін көруге болады.

Жоғарыдағы теңдеулердің графиктерін сызайық. Абцисса білігінің астына кезең үлестерімен өрнектелген уақыт, ал үстіне соған сәйкес келетін тербелістер фазасы қойылған. Ордината біліктеріне тиісті  $q$ ,  $i$  және  $U$  шамалар орналасқан (3.4-сурет).



3.4-сурет.

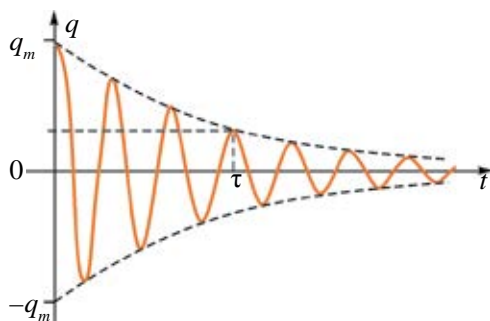
Бұл графиктерде масштаб белгілі болса, абцисса білігінен кезеңді (уақыты), ал ордината білігінен тербеліс үстіндегі шаманың амплитудасын немесе сандық мәнін анықтауға болады. Сондай-ақ графиктен салыстыру жолымен фазалардың ауытқуын да іздеп табу мүмкіндігі бар. Мысалы, конденсатор қаптамаларындағы заряд пен кернеу ең жоғары уақытқа, ток күші нөлге тең.

Контурдағы ток күшінің тербелістері фаза бойынша заряд тербелістерінен  $\frac{\pi}{2}$  алға өтіп кетеді. Заряд пен кернеу бірдей фазада өзгереді.

Жоғарыда айтылғанындай, идеал тербеліс контурында пайда болған тербелістер сөнбейді. Нақты контурда  $R$  нөлге тең болмағандықтан, электр энергиясы жылуға айнала бастайды, ал тербелістер амплитудасы уақыт өткен сайын төмендей береді (3.5-сурет).

Бұндай тербелістерді *сөнетін тербелістер* деп атайды.

Бір атап өтетін жері, контурдың кедергісі қаншалықты үлкен болса, онда  $Q = IRt$  энергия соншалықты көп жұмсалады. Контурдың кедергісі артқан сайын, тербелістер кезеңі де арта береді. Демек, сөнетін тербелістер гармониялық тербелістерге жатпайды.



3.5-сурет

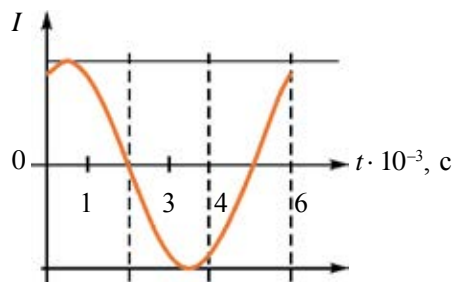
Сөнетін тербелістер кезеңдік емес тербелістер қатарына жатады. Олардың теңдеулері дифференциалдық теңдеулер арқылы өрнектелетіндіктен, күрделі мәселе болып саналады. Сондықтан да олардың шешімін келтірмей, графигін келтірумен ғана шектелеміз.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Суретте тербеліс контурындағы токтың өзгерістері берілген. Уақыттың  $2 \cdot 10^{-3}$  с ва  $3,5 \cdot 10^{-3}$  с аралығындағы энергиялық өзгерісін сипатта.

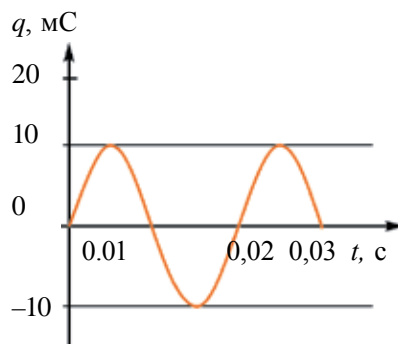
*Шешімі:* Келтірілген графикке орай, уақыттың  $2 \cdot 10^{-3}$  с және  $3,5 \cdot 10^{-3}$  с аралығында катушкадан өтетін ток күші артып, өзінің ең жоғары (максимум) мәніне жетеді.

Демек, конденсатордағы электр өрісі энергиясы нөлге дейін төмендейді және катушкадан өтетін магниттік өріс энергиясы артып, ең жоғары мәніне жетеді.



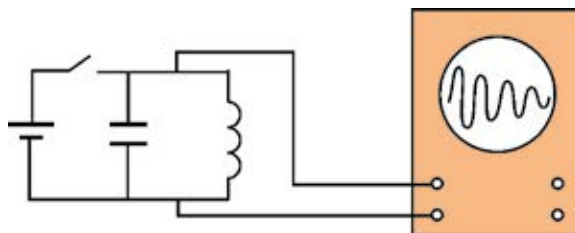


1. Тербеліс контурындағы магниттік және электр өрістері энергияларының уақытқа тәуелділігін көрсететін график сыз.
2. Контурдағы тербелістердің сөнуі катушкадағы орамдар санына қалай тәуелді болады?
3. Суретте контур конденсаторындағы зарядтың уақытқа тәуелділік графигі келтірілген. Контурдың индуктивтілік қабатындағы ток күшінің  $t = 1/300$  с-тағы мәнін анықта.



## 13-тақырып. ТРАНЗИСТОРЛЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР ГЕНЕРАТОРЫ

Тербеліс контурында жоғары жиіліктегі электромагниттік тербелістер пайда болатынын біліп алдық. Контурда туындап жатқан тербелістерді осциллографтың экраны арқылы бақыласақ, тербелістердің амплитудасы уақыт өткен сайын төмендеп бара жатқанын байқаймыз (3.6-сурет).



3.6-сурет.

Бұның себебі, жоғарыда қарастырылғанындай, контурда катушканы құрайтын және қосатын өткізгіштердің электр кедергісі болып табылады. Біз электр кедергісі себепті өткізгіштен ток өткенде, оның қызатынын білеміз. Сонда электр энергиясы жылу энергиясына айналады. Осыған орай, контурда пайда болған еркін электромагниттік тербелістер *сөнетін тербелістер* болып саналады.

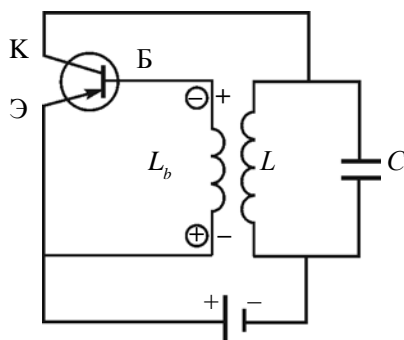
Тербелістер сөнбеуі үшін жұмсалған энергияны батареяның көмегімен тербеліс контурына кезеңді түрде беріп отыру керек. Бұл—айырып-қосқыш контурға тұрақты түрде қосылмай, кезеңді түрде қосылып-айырылып тұруы қажет дегенді білдіреді. *10-сыныптағы тербелістер фазасын еске түсіріңдер.* Соған орай, айырып-қосқыш конденсатор қаптамаларының қайта зарядталуы кезеңінде батарея полюстеріндегі кернеу шамасына сәйкес келгенде ғана қосылуға тиіс.



Бұлай болуы үшін айырып-қосқыш қалай жұмыс істеуі керек? Контурдағы тербелістер жиілігі 1 МГц болсын деп санайық. Ондай жағдайда айырып-қосқышты бір секундтың ішінде миллион рет айырып-қосу керек болады! Бұл міндетті ешқандай механикалық яки электромеханикалық қондырғы орындай алмайды ғой.

Бұл міндетті тек электронды қондырғы, яғни транзистор ғана орындай алады. 10-сыныпта қарастырылған  $p-n-p$  түріндегі транзистордың жұмыс істеу қағидатын еске түсірейік. Транзистордан ток өтуі үшін база–эмиттер аралығына дербес, коллектор–эмиттер аралығына дербес батарея орнатылып, қосылатын еді. Базаға батареяның оң полюсі, ал эмиттерге теріс полюсі қосылғанда транзистор арқылы ток өтеді (айырып-қосқыш қосылған). Егер батареяның полюстерінің орындары ауыстырылып қосылса, ток өтпейді (айырып-қосқыш үзілген). Демек, транзистор айырып-қосқыш міндетін атқара алады. Соған орай, контурда сөнбейтін электромагниттік тербелістер туындату үшін оны ток көзіне транзистор арқылы қосу керек.

3.7-суретте жоғары жиіліктегі сөнбейтін электромагниттік тербелістер туындайтын генератордың сызбасы берілген. Онда  $L$  мен  $C$ -дан тұратын контур ток көзіне транзистор арқылы қосылған. Қосылу моментінде  $L$  катушкадан өтетін ток үдемелі түрге ие болады. Оның айналасында пайда болған магнит өрісінің де үдемелі қасиеті бар. Бұл магнит өрісі  $L_b$  байланыстыру катушкасын қиып өтеді де, онда өзара индукцияның электр қозғаушы күшін туындатады. 3.7-суретте оның  $L_b$  катушка ұшындағы шамалары шеңбершелер түрінде көрсетілген. Бұнда транзистор базасы (Б)-ға оң шамалы, эмиттері (Э)-ге теріс шамалы кернеу қойылады да, транзистордан толық ток өтеді. Бұл кезде контурдағы  $C$  конденсатор зарядталады.  $L$  катушканың индуктивтілігі себепті одан өтетін ток үдеуін тоқтатады.  $L_b$  -да электр қозғаушы күш туындамайды және транзистордан ток өтпейді. Кілт осылай үзіледі. Енді  $C$  конденсатор  $L$  катушкаға разрядтала бастайды және тербеліс контурында электромагниттік тербелістер пайда болады. Контурда электромагниттік тербелістер пайда болған кезде  $L$  катушкадан өтетін токтың шамасы да, бағыты да өзгеріп тұрады. Демек,  $L_b$  -да пайда болған электр қозғаушы күштің шамасы өзгеріп тұрады. Транзистор бірде ашық күйде, тағы бірде жабық күйде болады.



3.7-сурет.

Осылайша контурдағы  $C$  конденсатор кезеңді түрде батареядан зарядталып тұрады. Бірақ кернеу көзі тербеліс контурына кезеңді түрде, теріс полюске қосылған конденсатордың қаптамасы теріс зарядталған уақытта ғана қосылатын болса, конденсатор үздіксіз зарядталып тұрады. Бұндай жағдайда тербелістер сөнбейді. Олай болмаса, тербелістер туындамайды да. Демек, транзистордың қосылып-айырылуын контурдағы тербелістердің өзі басқаруға тиісті. Транзистордың база–эмиттер тізбегі *кіру тізбегі* деп, ал коллектор–эмиттер тізбегі *шығу тізбегі* деп аталады. Әдетте транзистордың кіру бөлігіне орнатылған кернеуі (тогы) шығу тогын басқарып тұрады. Ал транзисторлы генераторда бұған керісінше, шығудағы (контурдағы) кернеу кірудегі ( $L_b$ ) кернеуді басқарады. Бұндай үдеріс *кері жалғану* деп аталады. Осы кері жалғануға байланысты контур энергиясы кезеңді түрде қамтамасыз етіліп тұрады.

Атап өтетін жері сол, *кері жалғану* тербелістердің сөнбеуін қамтамасыз етуі үшін кіру және шығу тізбегіндегі кернеулерде фазалық тұрғыдан  $180^\circ$ -қа айырма болуы керек.

Генератор өндіріп жатқан *электромагниттік* тербелістердің жиілігі Томпсон формуласымен (3–1) өрнектеледі.

Осылайша генераторда сөнбейтін автотербелістер пайда болады. Автотербелістер сөнбейтін тербелістердің екінші түрі болып саналады. Олардың міндетті тербелістерден негізгі айырмашылығы сол, оларға сыртқы кезеңдік ықпал қажет емес. Бұндай жүйенің өзінде энергия көзі бар болғандықтан, жұмсалған энергияның орнын толтыратын энергияның берілуін жүйенің өзі-ақ реттеп тұрады. Кез келген автотербеліс жүйесі төмендегі бөлімдерден тұрады: *энергия көзі, тербеліс жүйесі және электронды кілт*.

Автотербелістердің жиіліктері өте кең диапазон бойынша өзгереді. Олар радиобайланыста, телевидениеде, ЭЕМ-де және басқа қондырғыларда қолданылады.

Электромагниттік тербелістер тірі ағзаларға әрі пайдалы, әрі зиянды әсер етуі мүмкін. Адам ағзасындағы әрбір мүшенің өзіне тән резонанс жиілігі бар. Сыртқы тербеліс әсерінің жиілігі сол резонанс жиілігіне сәйкес келгенде, әсер күшті болады. Электромагниттік сәулеленудің адам көңіл күйіне әсер ететіні дәлелденген.

Заманалық медицинада өте жоғары жиіліктегі электромагниттік тербелістерді пайдаланып емдеу әдістері күннен-күнге кең қолданылып келеді. Сонымен қатар оптикалық диапазондағы (УВ-сәулелер) электромагниттік сәулелену әрі емдеу ісінде, әрі нақтама қоюда ұтымды пайдаланылуда.



1. Нақты тербеліс контурындағы еркін тербелістер неліктен сөнеді?
2. Автотербелістің міндетті тербелістен айырмашылығы неде?
3. Автотербеліс жүйесі қандай негізгі элементтерден тұрады?
4. Генератордың жұмысында транзистор қандай міндетті атқарады?
5. Кері жалғану деген не?

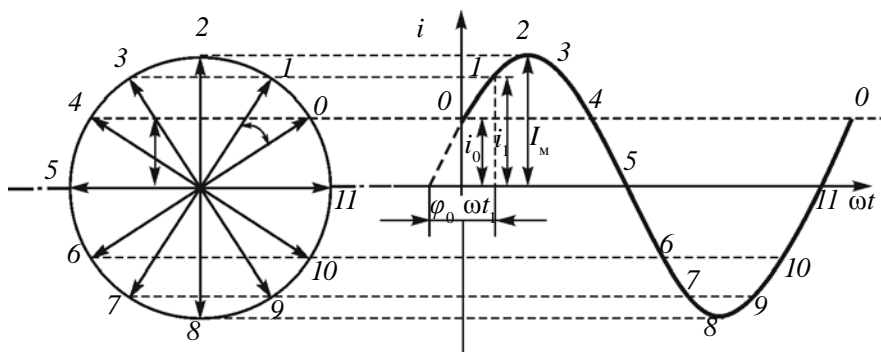
## 14-тақырып. АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ АКТИВТІ КЕДЕРГІ

Біз жоғарыда кейбір физикалық шамалардың уақытқа тәуелді өзгерістерін график әдісімен бейнелеуді қарастырған едік. Оларды бейнелеу үшін векторлық диаграммалар әдісі де кең қолданылады. Мәселен, тізбектегі токтың өзгеруі

$$i = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

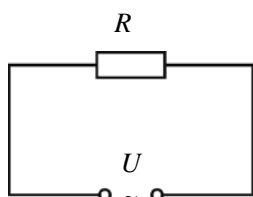
тендеуімен берілген делік.

Ұзындығы  $I_m$  -ге тең векторды сағат стрелкасы бағытына қарама-қарсы бағытпен жүргізіп, айналмалы қозғалысқа келтірейік. Бұнда оның бір рет айналуға жұмсалған уақыты  $i$  шаманың өзгеру кезеңіне тең болсын делік. Бұндай жағдайда  $\vec{I}_m$  вектордың вертикаль біліктегі проекциясы  $i$  шаманың толық мәніне тең болады.



3.8-сурет.

Күнделікті тұрмыста және техникада айнымалы ток тізбектеріне алуан түрлі тұтынушылар қосылады: үтік, электр шамы, желдеткіш және т.б. Олардағы электр энергиясы жылу, жарық, механикалық және басқа энергияларға айналады. Бұл тұтынушылар кернеу көзіне қосылғанда, электр тогының өтуіне сан түрлі табиғи кедергілер қарсылық көрсетеді екен. Бұндай кедергілердің табиғатын үйрену үшін айнымалы ток тізбегіне әр түрлі тұтынушыларды қосып көрейік.



3.9-сурет.

Алдымен айнымалы ток көзіне өзімізге бұрыннан белгілі  $R$  кедергі қосылған жағдайды қарастырайық (3.9-сурет). Бұл кедергі *активті (белсенді) кедергі* болсын. Тұтынушыдан ток өткенде электр энергиясының басқа түрдегі (жылу, жарық және с.с.) энергияға толық айналуы активті кедергі деп аталады.

Өткізгіш сым арқылы  $R$  кедергі  $U$  кернеулі айнымалы ток көзіне қосылды делік. Сонда  $U$  кернеу

$$u = U_m \cos \omega t \quad (3-6)$$

заңдылығы бойынша өзгерсін. Тізбектің бір бөлігі үшін Ом заңын пайдаланып,  $R$  кедергіден өтіп жатқан ток күшінің толық мәнін табамыз.

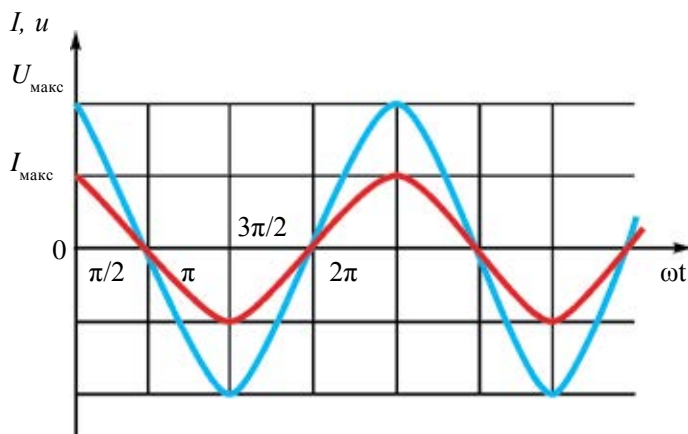
$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t.$$

Бұл жерде:  $I_m = \frac{U_m}{R}$  – ток күшінің амплитудалық мәні. Сонымен тек актив кедергіден тұратын тізбектегі ток күшінің өзгерісі

$$i = I_m \cos \omega t \quad (3-7)$$

көрінісінде болады екен.

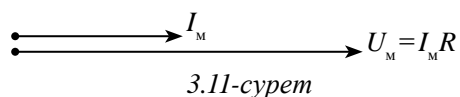
Кернеудің (3–6) өзгеру теңдігін ток күші үшін алынған теңдікпен (3–7) салыстырғанда, актив кедергідегі кернеу мен ток күшінің тербелістері бірдей фазада болады деген тұжырым келіп шығады. Кернеу мен ток күші тербелістерінің графиктері 3.10-суретте келтірілген.



3.10-сурет

Кернеу мен ток күші тербелістерінің фазалары арасындағы қатынасты векторлық диаграмма арқылы көрсетуге болады (3.11-сурет).

Диаграммада айнымалы ток күшінің амплитудасы мен айнымалы кернеудің амплитудасы параллель векторлар көрінісінде бейнеленеді, олардың арасындағы бұрыш, яғни тербеліс фазаларының айырмасы нөлге тең.



Күнделікті тұрмыста қолданылатын электр кернеулерінің жиілігі 50 Гц-ке тең. Бұл–шоғыр талшықты электр шамы бір секундта 100 рет өшіп-жанады деген сөз. Бірақ біздің көзіміз бір секундта орта есеппен 16–20 рет өзгеретін үдерісті қамти алмайтындықтан, біз шамның өшіп-жанғанын сезбейміз. Сондықтан да айнымалы токтың қуатын білудің маңызы орасан зор.

**Активті кедергілі тізбектегі қуат.** Айнымалы токтың толық қуаты  $P = i U$ -мен анықталады. Ток күші мен кернеудің толық мәндері үшін (3–7) және (3–6) өрнектерін қойсақ,

$$P = I_m \cos \omega t \cdot U_m \cos \omega t \text{ немесе } P = P_m \cos^2 \omega t \quad (3-8)$$

-ға ие боламыз.

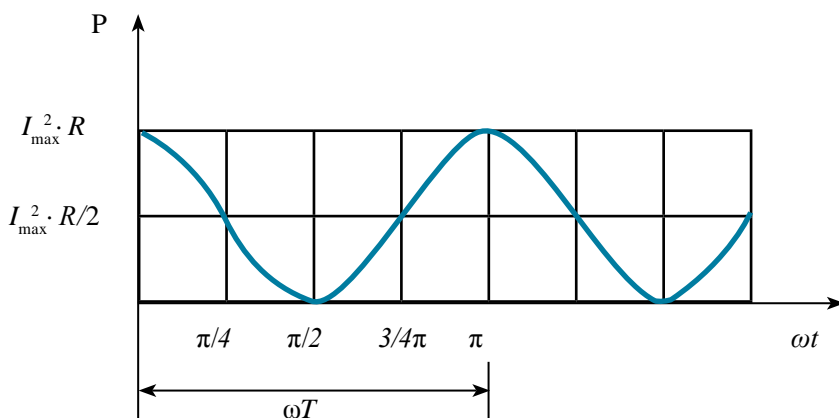
Бұл жерде:  $P_m = I_m \cdot U_m$  болады да, айнымалы токтың ең жоғары (максимум) мәні деп аталады.  $\cos^2 \omega t$  өрнегі әрқашан теріс болғандықтан, айнымалы ток қуатының толық мәні де теріс болады (3.12-сурет).

3.12-суреттен көрініп тұрғанындай, айнымалы токтың толық қуатының шамасы кезеңді (периодты) түрде өзгеріп тұрады. Ондай жағдайда электр плитасынан айнымалы ток өткенде бөлініп шыққан жылу мөлшерін қандай формуланың көмегімен анықтаймыз? Бұл үшін айнымалы токтың тиімділік мәні ұғымын енгіземіз.

*Бірдей уақыт ішінде активті кедергіден айнымалы ток өткенде бөлінетін жылуға тең жылу мөлшерін бөліп шығаратын тұрақты ток күшіне тең шама айнымалы токтың  $I_{эф}$  тиімділік мәні деп аталады.*

Тәжірибелерден көрінгеніндей, ток күшінің тиімді (эффektivті) мәні оның ең жоғары (максимум) мәнімен төмендегідей байланыста болады:

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (3-9)$$



3.12-сурет.

Айнымалы кернеудің тиімді (эффeктивті) мәнін (3–9)-ға ұқсас етіп жазуға болады:

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (3-10)$$

### Мәселе шешу үлгісі

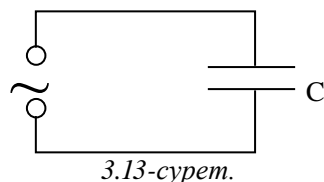
1. Амплитудалық мәні 30 В болған айнымалы ток тізбегіне резистор қосылғанда, одан 2 А ток өтті. Резистордан бөлінген орташа қуатты тап.

Берілгені: $U_m = 30 \text{ В}$ $I_m = 2 \text{ А}$	Формуласы: $P = \frac{I_m U_m}{2}$	Шешуі: $P = \frac{2 \text{ А} \cdot 30 \text{ В}}{2} = 30 \text{ Вт.}$
Табу керек: $P = ?$		Жауабы: 30 Вт.

- ?**
1. Активті кедергі деп нені айтады?
  2. Активті кедергіде кернеу мен ток күші арасындағы фазаның жылжуы неге тең болады?
  3. Активті кедергіде бөлініп шыққан тиімді (эффeктивті) қуатты анықтау формуласын жаз.
  4. Тізбектегі ток күші  $i = 8,5 \sin(628t + 0,325)$  заңы бойынша өзгереді. Ток күшінің тиімді мәнін, тербелістер фазасын және жиілігін тап.

## 15-тақырып. АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ КОНДЕНСАТОР

Тәжірибелер тұрақты ток тізбегіне конденсатор жалғанса, одан ток өтпейтінін көрсетеді. Өйткені конденсатор қаптамаларының аралығы диэлектрикпен бөлінген. Бірақ конденсаторды айнымалы ток тізбегіне қосса, одан ток өтетіні де анықталды. Конденсатор арқылы өтетін ток күші қандай физикалық параметрлерге байланысты екенін анықтау үшін айнымалы ток тізбегіне тек конденсатор ғана қосылған жағдайды қарастырайық (3.13-сурет).



Конденсатордың сыйымдылығы  $C$ -ға тең және оған қойылған кернеу

$$u = U_m \cos \omega t \quad (3-11)$$

зандылығы бойынша өзгерсін делік. Қосылу сымдарының кедергісі  $R=0$  болсын. Ондай жағдайда конденсатордағы кернеу  $u = U_m \cos \omega t = \frac{q}{C}$  болады.

Бұл жерде  $q$  – конденсатор қаптамаларындағы заряд,  $q = CU_m \cos \omega t$ -ға тең. Тізбектегі ток күшін табу үшін заряд формуласынан бірінші реттік нәтиже аламыз:  $i = q' = -U_m C \omega \sin \omega t = U_m C \omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$ . Оны ток күшінің толық мәнімен салыстырса,  $I_m = U_m C \omega$  екендігі келіп шығады. Бұнда  $I_m$  – ток күшінің ең жоғары мәні. Ондай жағдайда конденсатордан өтетін ток күшінің теңдеуі төмендегідей болады:

$$i = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}). \quad (3-12)$$

Бұл теңдікті конденсаторға берілген кернеудің өрнегімен (3-11) салыстырсақ, тізбектегі ток күші тербелістерінің кернеу тербелістерінен фаза бойынша  $\frac{\pi}{2}$  -ға алға өткенін көреміз (3.14-сурет). Ал 3.15-суретте айнымалы ток тізбегіне тек конденсатор қосылған жағдай үшін ғана айнымалы ток күші мен кернеудің векторлық диаграммалары келтірілген.

Тізбектегі конденсатордың сыйымдылық кедергісі:

$$X_c = \frac{1}{\omega C}. \quad (3-13)$$

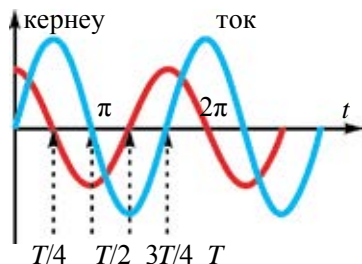
Бұндай жағдайда ток күшінің амплитудалық мәні төмендегідей болады:

$$I_m = \frac{U_m}{X_c}.$$

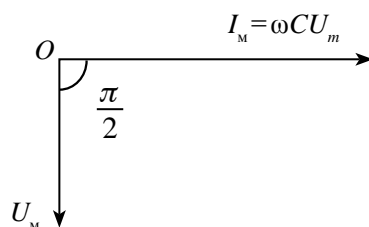


Бұл өрнек тізбектің бір бөлігі үшін Ом заңы болып табылады, ал активті кедергі орнында  $X_C$  шама тұр. Сондықтан да оны **сыйымдылық кедергі (реактивті кедергі)** деп атайды. Сыйымдылық кедергі де  $\Omega$  (Ом)-мен өлшенеді.

Бұдан конденсатордан өтетін ток күші конденсатордың толық қуатына және айнымалы ток жиілігіне байланысты екендігі келіп шығады. Қуат пен жиілік қаншалықты үлкен болса, тізбектің кедергісі соншалықты кіші және сәйкесінше ток күші үлкен болады.



3.14-сурет.



3.15-сурет.

### Мәселе шешу үлгісі

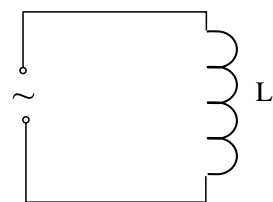
Жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне толық кедергісі 50  $\mu\text{Ф}$  болған конденсатор қосылған. Тізбектің реактивті кедергісі неге тең?

<p>Берілгені:</p> <p><math>C = 50 \mu\text{Ф} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}</math></p> <p><math>\nu = 50 \text{ Гц}</math></p> <hr/> <p>Табу керек:</p> <p><math>X_C - ?</math></p>	<p>Ф ор му ла сы:</p> $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$	<p>Ш е ш у і:</p> $X_C = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} \text{ Ом} =$ $= \frac{10^6}{6,28 \cdot 2500} \text{ Ом} = 63,69 \text{ Ом.}$ <p>Жауабы: 63,69 Ом.</p>
--	--	--

1. Неліктен конденсатор арқылы тұрақты ток өтпейді, ал айнымалы ток өте береді?
2. Реактивті кедергі қандай шамаларға байланысты?
3. Айнымалы ток тізбегіне тек конденсатор ғана қосылған болса, айнымалы ток күші мен кернеу арасындағы фазалардың айырмасы неге тең болады?
4.  $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$  өрнектен кедергі бірлігі Ом-ды келтіріп шығар.

## 16-тақырып. АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ ИНДУКТИВТІ КАТУШКА

Мынадай тәжірибе өткізейік. Тұрақты ток көзіне тізбекті түрде электр шамы мен индуктивті катушканы қосайық. Сосын шамның жану айқындығына назар аударайық. Содан соң электр шамы мен индуктивті катушканы тізбекті түрде тиімді кернеуі тұрақты кернеуіне тең ( $U_{эф} = U_{тұрақты}$ ) көзге қосып, шамның жану айқындығына қарайық. Сонда айнымалы ток тізбегіне қосылған шамның жану айқындығы нашарлау екенін байқаймыз. Бұның себебін анықтау үшін тек индуктивті катушка ғана қосылған жағдайды қарастырайық (3.16-сурет).



3.16-сурет

Индуктивтігі  $L$  -ге тең катушқадан өтіп жатқан ток күші

$$i = I_m \cos \omega t \quad (3-14)$$

зандылығына сәйкес өзгерсін. Қосу сымдары мен катушканың кедергісі  $R_s = R_L = 0$  болсын.

Катушқадан өткен ток катушканың индуктивтігіне байланысты ол жерде өздік индукцияның электр қозғаушы күшін (ЭҚК) туындатады. Оның толық мәні

$$\mathcal{E} = -L i' \quad (3-15)$$

мен анықталады. Бұл жерде:  $i'$  – ток күшінен уақыт бойынша алынған бірінші реттік нәтиже.  $i' = I_m \omega \sin \omega t$  екендігі ескерілсе, ЭҚК-тің толық мәні

$$\mathcal{E} = -I_m \omega L \sin \omega t$$

-ға тең болады. Тізбектегі ЭҚК, катушка ұштарындағы кернеу және активті кедергідегі потенциалдық түсу

$$iR = \mathcal{E} + u \quad (3-16)$$

катынас арқылы байланысқан.  $R=0$  екендігі ескерілсе, (3-16) теңдігі

$$0 = \mathcal{E} + u \text{ немесе } u = -\mathcal{E}$$

көрінісіне енеді. Бұндай жағдайда кернеу

$$u = I_m \omega L \sin \omega t = I_m \omega L \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (3-17)$$

ттеңдеуі арқылы анықталады. Оны кернеудің толық мәнімен салыстырсақ,  $U_m = I_m \omega L$  екендігі келіп шығады. Бұл жерде:  $U_m$  – кернеудің амплитудалық

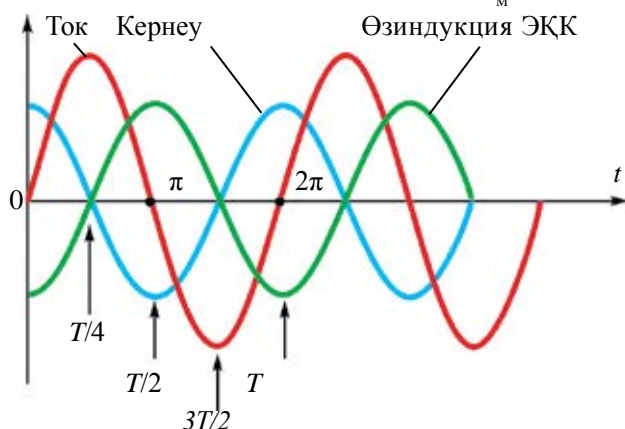
мәні. Онда катушканың ұштарына қойылған кернеу теңдігі төмендегідей болады:

$$U = U_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}). \quad (3-18)$$

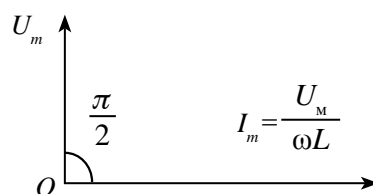
Бұл теңдікті катушкадан өтіп жатқан ток күшінің өрнегімен (3-14) салыстырсақ, катушканың ұштарына қойылған кернеу тербелістерінің ток күші тербелістерінен фаза бойынша  $\frac{\pi}{2}$ -ға алға өткенін байқаймыз (3.17-сурет). 3.18-суретте айнымалы ток тізбегіне тек индуктивті катушка қосылған жағдай үшін айнымалы ток күші мен кернеудің векторлық диаграммасы келтірілген.

Катушкадағы кернеудің амплитудалық мәнін тізбектің бір бөлігі үшін жазылатын Ом заңымен салыстырсақ,  $\omega L$  көбейтіндінің кедергілік мәні анықталады. Енді сол белгілеуді енгізейік:  $X_L = \frac{U_m}{I_m}$

Катушканың кедергісі:  $X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L. \quad (3-19)$



3.17-сурет.



3.18-сурет.

Бұндай жағдайда ток күшінің амплитудалық мәні төмендегідей болады:

$$I_m = \frac{U_m}{X_L}.$$

Бұл өрнек тізбектің бір бөлігі үшін Ом заңы болып саналады, ал активті кедергі орнында  $X_L$  шама тұр. Сондықтан да оны **индуктивті кедергі (реактивті кедергі)** дейді. Индуктивті кедергі де Оммен (Ом) өлшенеді.

Бұдан катушкадан өтетін ток күші катушканың индуктивтігіне және айнымалы токтың жиілігіне тәуелді екендігі келіп шығады. Индуктивтік пен

жиілік қаншалықты үлкен болса, тізбектің кедергісі де соншалықты үлкен болады және сәйкесінше өтіп жатқан ток күші кіші болады.

### Мәселе шешу үлгісі

Жиілігі 10 кГц айнымалы ток тізбегіне индуктивтігі 5 Гн катушка қосылған. Тізбектің индуктивтік кедергісі неге тең?

Берілгені: $\nu = 10 \text{ кГц} = 10000 \text{ Гц}$ $L = 5 \text{ Гн}$	Формуласы: $X_L = \omega L = 2\pi\nu L$	Шешуі: $X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 10000 \cdot 5 \text{ Ом} =$ $= 6,28 \cdot 50000 = 314000 \text{ Ом} = 314 \text{ кОм.}$
Табу керек: $X_L = ?$		Жауабы: 314 кОм.



1. Айнымалы ток тізбегінде индуктивтік ток күшіне қалай әсер етеді?
2. Айнымалы ток тізбегіне тек қана катушка қосылған жағдайда айнымалы ток күші мен кернеу арасындағы фазалардың айырмасы неге тең болады?
3. Индуктивті кедергі қандай шамаларға тәуелді?
4. Индуктивті кедергілер қандай мақсаттарға пайдаланылады?
5.  $X_L = \omega L$  өрнегінен кедергі бірлігі Ом-ды келтіріп шығар.

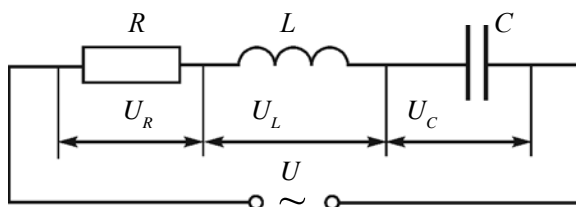
## 17-тақырып. АКТИВТІ КЕДЕРГІ, ИНДУКТИВТІ КАТУШКА ЖӘНЕ КОНДЕНСАТОР ТІЗБЕКТЕЛІП ҚОСЫЛҒАН АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНЕ АРНАЛҒАН ОМ ЗАҢЫ

Қарсылығы  $R$  резисторды, индуктивтігі  $L$  индуктивті катушканы және сыйымдылығы  $C$  конденсаторды тізбекті түрде қосып, тізбек жасайық (3.19-сурет). Сосын оның ұштарына  $u = U_m \cos \omega t$  айнымалы кернеу берейік. Тұтынушылар бірінен соң бірі қосылғандықтан, олардан өтетін ток күштері де бірдей болады. Бұл ток күші

$$i = I_m \cos \omega t \quad (3-20)$$

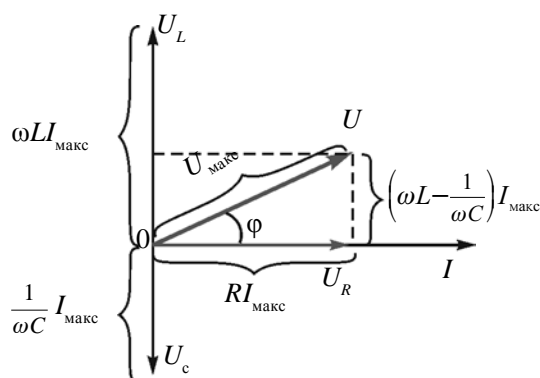
зандылығы бойынша өзгерсін дейік. Ал жалпы кернеу тұтынушылардағы кернеулердің түсу векторларының жиындысына тең:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C + \vec{U}_L. \quad (3-21)$$



3.19-сурет.

Бұл жерде:  $\vec{U}$  – тізбектегі жалпы кернеу,  $\vec{U}_R$  – резистордағы кернеу,  $\vec{U}_C$  – конденсатордағы кернеу және  $\vec{U}_L$  – катушкадағы кернеу. Олардың амплитудалық мәндерін  $U_R$ ,  $U_C$  және  $U_L$ -мен белгілеп, векторлық диаграмма жасайық.



3.20-сурет.

Ток күшінің амплитудасын көлбеу білік бойымен бағытталған вектор көрінісінде алайық (3.19-сурет). Активті кедергідегі кернеу тербелістері фазасы ток күшінің тербелістері фазасымен сәйкес келеді. Конденсатордағы кернеу тербелістері ток күшінің тербелістерінен фазалық тұрғыдан  $\frac{\pi}{2}$  артта қалады. Ал катушкадағы кернеу тербелісі ток күшінің тербелісінен  $\frac{\pi}{2}$  алда болады. Векторлық диаграммада конденсатордағы кернеу  $U_C = \frac{1}{\omega C} \cdot I_{\text{макс}}$  мен катушкадағы кернеу  $U_L = \omega L \cdot I_{\text{макс}}$  қарама-қарсы бағытта орналасады. Нәтижелік кернеу  $U_L = \omega L \cdot I_{\text{макс}}$  болады.

Жалпы кернеу ( $U$ ) -ны табу үшін  $\vec{U}_{LC}$  векторды  $\vec{U}_R$  векторға қосамыз. 3.20-суреттен  $U^2 = U_R^2 + U_{LC}^2$ . Жалпы кернеудің ең жоғары мәнінің өрнегі төмендегідей болады:

$$U_m = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} . \quad (3-22)$$

Ом заңына орай

$$U_R = I_{\text{макс}} \cdot R, \quad U_L = I_{\text{макс}} \cdot X_L \quad \text{және} \quad U_C = I_{\text{макс}} \cdot X_C.$$

Оларды (3-22) өрнекке қойсақ,

$$U_m = \sqrt{I_{\text{макс}}^2 R^2 + (I_{\text{макс}} X_L - I_{\text{макс}} X_C)^2} = I_{\text{макс}} \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} .$$

Бұдан:

$$I_{\text{макс}} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} . \quad (3-23)$$

Бұл өрнек **айнымалы токтың толық тізбегіне арналған Ом заңы** болып саналады.

$X_L = \omega L$  және  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  ларды (3-23)-ке қойсақ,

$$I_{\text{макс}} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

ға ие боламыз. Бұл жерде:

$X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$  кедергі **реактивті кедергі** деп аталады.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (3-24)$$

өрнегі **айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі** деп аталады.

Тізбектегі ток тербелістері мен кернеу тербелістері арасындағы фазаның айырмасын векторлық диаграммаларды пайдалану жолымен анықтауға болады:

$$\text{tg}\varphi = \frac{U_L - U_C}{U_m} \quad \text{немесе} \quad \text{tg}\varphi = \frac{X_L - X_C}{R} . \quad (3-25)$$

Айнымалы ток тізбегінің өзіндік ерекшелігі сол, генератордан алынатын энергия тек активті кедергіде ғана жылу энергиясы ретінде бөлініп шығады. Ал реактивті кедергіде энергия бөлінбейді.

Реактивті кедергіде кезенді (периодты) түрде электр өрісі энергиясы магнит өрісінің энергиясына және керісінше—магнит өрісі энергиясы электр өрісінің энергиясына айналып тұрады. Периодтың бірінші ширегінде конденсатор зарядталып жатқан кезде энергия тізбекке беріледі және электр өрісі энергиясы түрінде жинақталады. Периодтың одан кейінгі ширегінде бұл энергия магнит өрісі энергиясы көрінісінде қайтадан ток көзіне беріледі.

### Мәселе шешу үлгісі

Кернеудің ең жоғары мәні 120 В, жиілігі 100 Гц айнымалы ток көзіне шамасы 200 Ом болған активті кедергі, сыйымдылығы  $5 \cdot 10^{-6}$  Ф болған конденсатор және индуктивтігі 400 мН катушка қосылған. Тізбектегі ток күшінің ең жоғары мәнін тап.

<p>Берілгені:</p> <p><math>R=200</math> Ом</p> <p><math>U=120</math> В</p> <p><math>\nu=100</math> Гц</p> <p><math>C=5 \cdot 10^{-6}</math> Ф</p> <p><math>L=400</math> мН=0,4ГН</p> <hr/> <p>Табу керек:</p> <p><math>I_{\text{макс}}=?</math></p>	<p>Формуласы:</p> $I_{\text{макс}} = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$ <p><math>\omega = 2\pi\nu</math></p>	<p>Шешуі:</p> $I_{\text{макс}} = \frac{120}{\sqrt{40000 + (251,2 - 318,5)^2}} =$ $= \frac{120}{211} \text{ А} = 0,57 \text{ А.}$ <p style="text-align: right;"><i>Жауабы: 0,57 А.</i></p>
---	--	---



1. Неліктен айнымалы ток тізбегінде ток күші тербелістері мен кернеу тербелістері арасында фазалық жылжу пайда болады?
2. Реактивті кедергілерде энергия бөлінбейтіні неліктен?
3. Тізбекте активті кедергі мен катушка бар жағдайдағы айнымалы ток күшінің амплитудалық мәнін есептеу формуласын табыңдар.
4. Тізбекте активті кедергі мен конденсатор бар жағдайдағы айнымалы ток күші мен кернеу арасындағы фазалардың айырмасын табу формуласын жаз.

## 18-тақырып. АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ РЕЗОНАНС ҚҰБЫЛЫСЫ

Айнымалы ток тізбегінде кедергісі  $R$ , индуктивтігі  $L$  катушка және сыйымдылығы  $C$  конденсатор тізбекті түрде қосылған жағдайда ток тізбегінің толық кедергісі

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

өрнегімен анықталатыны белгілі. Егер  $X_C = X_L$  болып қалса,  $X_C - X_L = 0$  айырма нөлге тең болады да,  $Z_{\text{мин}} = R$  болатыны келіп шығады. Бұл жерде тізбек кедергісі өзінің ең төменгі мәніне жетеді. Тізбектегі ток күшінің амплитудасы

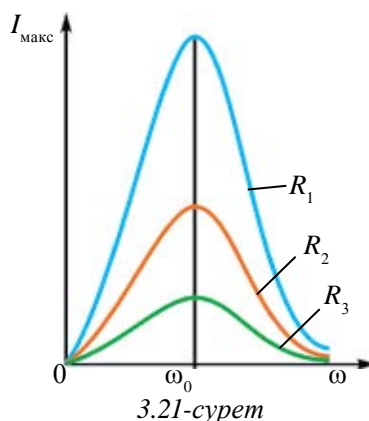
$$I_M = \frac{U_M}{Z} = \frac{U_M}{R}. \quad (3-26)$$

Демек, бұл жағдайда тізбектегі ток күшінің амплитудасы артады екен. Бұл құбылыс *электр тізбегіндегі резонанс* деп аталады. Резонансты бақылау үшін

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \text{ немесе } \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ шарты қанағаттандырылуға тиіс.}$$

Біз активті кедергісі нөлге тең тербеліс контурында пайда болатын еркін тербелістердің жиілігі  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  өрнегімен

анықталатынын білеміз. Ондай жағдайда *тізбекте резонанс пайда болуы үшін тізбекке қойылған сыртқы периодты кернеудің жиілігі тізбектің өзіндік жиілігіне тең болу қажеттігі* келіп шығады:  $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$ . 3.21-суретте тізбектегі ток күшінің амплитудалық мәнінің оған қойылған сыртқы кернеу жиілігіне тәуелділік графигі келтірілген.  $I_m$  -нің жиілікке тәуелділік графигі *резонанстың қисық сызығы* деп аталады.



3.21-суретте  $R_1 < R_2 < R_3$ . Сыртқы кернеу жиілігі артқан сайын тізбектегі токтың амплитудалық мәні де арта түседі және  $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$  болғанда ең жоғары мәніне жетеді. Содан соң жиіліктің артуымен қатар токтың мәні төмендей береді.

Бақыланған резонанс құбылысы *кернеулер резонансы* деп аталады.

Өйткені резонанс кезінде ток артқанда, катушка мен конденсатордағы кернеулер де шұғыл артады. Олардың мәні сыртқы кернеулердің мәнінен де артық болуы ықтимал.

Резонанс кезінде индуктивті катушка мен конденсатордағы кернеу тербелістерінің амплитудасы төмендегідей болады:

$$U_{\text{Лрез}} = U_{\text{Срез}} = I_m X_L = I_m X_C = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (3-27)$$

Тербеліс контурларында  $\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} > 1$  шарт орындалады. Сондықтан да катушка мен конденсатордағы кернеулер тізбекке қойылған кернеулерден артық болады және R кемейген сайын арта түседі. Жалпы алғанда, активті кедергінің үлкен мәндерінде резонанс құбылысы байқалмайды.

Резонанс кезеңінде айнаымалы токтың амплитудалық мәні мен жалпы кернеудің амплитудасы бірдей фазада тербеледі.



Резонанс құбылысы техникада кеңінен қолданылады. Радиоқабылдағыштарда сырттан келетін көптеген радиостанциялар ішінен керекті станцияның сигналдарын айырып алу резонанс құбылысына негізделген. Бұл ретте қабылдағыштың кіру бөлігіне орналасқан тербеліс контурындағы сыйымдылықтың яки индуктивтіліктің мәні өзгертіліп, оның дербес жиілігі қабылдануға тиісті станция сигналының жиілігіне теңестіріледі. Контурда нақ осы таңдалған жиіліктегі сигналға арналған резонанс құбылысы жүзеге асады да, ол туындатқан кернеу ең үлкен кернеу болады. Электротехникалық қондырғыларда да резонанс құбылысы ескеріледі. Өйткені резонанс кезінде катушкада немесе конденсаторда кернеудің жоғарылап кетуі онда *электр тесіктері (пробой)* пайда болуына соқтыруы мүмкін.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі 100 мН индуктивті катушка және сыйымдылығы С конденсатор қосылған. Конденсатордың сыйымдылығы нешеге тең болғанда резонанс құбылысы туындайды?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$\nu = 50 \text{ Гц}$ $L = 100 \text{ мГн} = 0,1 \text{ Гн}$	$\omega L = \frac{1}{\omega C}$	$C = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 50^2 \cdot 100 \cdot 10^{-3}} \Phi = \frac{10}{98596} \Phi \approx 0,0001 \text{ F} \approx 101,4 \text{ мкФ.}$ <i>Жауабы: <math>\approx 100 \text{ мкФ.}</math></i>
Табу керек:	$4\pi^2\nu^2 L = \frac{1}{C}$	
$C = ?$	$C = \frac{1}{4\pi^2\nu^2 L}$	



1. Кернеулері резонансқа сәйкес келетін векторлық диаграмма сыз.
2. Қандай шарт орындалғанда айнымалы ток тізбегінде электр тесіктер пайда болуы мүмкін?
3. Кернеулер резонансын тағы қай жерлерде қолдануға болады?
4. Токтар резонансы да бола ма?
5. Идеал тербеліс контурында резонанс кезінде ток күшінің амплитудасының мәні неге тең болады?

## 19-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ РЕЗОНАНС ҚҰБЫЛЫСЫН ҮЙРЕНУ

**Жұмыстың мақсаты.** Айнымалы ток тізбегінде кернеулердің резонансы құбылысын зерттеу.

**Қажетті жабдықтар.** 1. Айнымалы ток (дыбыс) генераторы (ТГ).

2. Ферромагнитті өзегі бар индуктивті катушка ( $L=1$  Гн).

3. Сыйымдылығы  $10 \mu\text{Ф}$ -ға дейін өзгеретін конденсаторлар батареясы.

4. Екі мультиметр.

5. Кедергілер жиынтығы.

6. Айырып-қосқыш және жалғау сымдары.

**Жұмыстың орындалуы.** Құралдар 3.22-суреттегі сызба бойынша қосылып, тізбек жасалады.

1. ТГ-ден шығу  $100$  Гц және  $10$  В болатын жағдайға келтіріледі.

2. Мультиметрлер айнымалы кернеулерді өлшейтін және өлшеу диапазоны  $20$  В болатын жағдайға келтіріледі және олар конденсатор мен катушкаға параллель түрде қосылады.

3. Кілт қосылып, конденсатор ( $U_c$ ) мен катушкаға ( $U_L$ ) қосылған мультиметр көрсеткіштері жазып алынады. Бұл ретте  $U_c > U_L$  болуына назар аударылады.

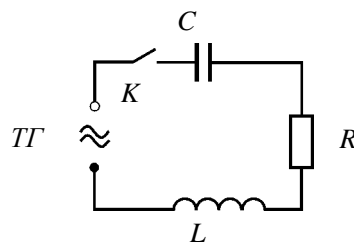
4. Генератордың шығу бөлігіндегі айнымалы токтың жиілігін  $10$  Гц-тен асыру жолымен  $U_c$  және  $U_L$  жазып отырылады.

5. Тәжірибе  $U_c=U_L$  болғанға дейін жалғастырылады. Нәтижелері кестеге жазылады.

6.  $U_c=U_L$  шарты орындалатын жағдай үшін  $2\pi\nu L = \frac{1}{2\pi\nu C}$  -дан тізбектің

резонанстық жиілігі анықталады:  $\nu_r = \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 LC}}$ . Есептеп табылған жиіліктің

мәні тәжірибе барысында анықталған жиілік мәнімен салыстырылады.



3.22-сурет.

Тәжірибе №	ТГ жиілігі, Гц	$U_c$ , В	$U_L$ , В
1.			
2.			

7\*. Бұл тәжірибе жиілікті арттыра отырып тағы қайталаңады.

8. Конденсатордағы  $U_C$  және индуктивті катушкадағы  $U_L$  кернеулердің генератор жиілігіне тәуелділік графигі сызылады.



1. Индуктивтілік артқанда тізбектегі ток күші алдымен артады, содан соң кемиді. Бұндай өзгерістердің себебі неде?
2. Сыйымдылық артқанда тізбектегі ток күші алдымен артады, сосын кемиді. Бұндай өзгерістердің себебі неде?
3. Егер индуктивті катушканың ішіне өзек енгізіле бастаса, конденсатордағы, индуктивті катушкадағы және активті кедергідегі кернеу түсуі өзгереді. Бұның себебі неде?

## 20-тақырып. АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЖҰМЫСЫ МЕН ҚУАТЫ. ҚУАТ КОЭФФИЦИЕНТІ

Саған 8-сыныптан белгілі болғанындай, тұрақты токтың орындаған жұмысы кернеу, ток күші және ток өтіп тұрған уақыт көбейтіндісі түрінде анықталады:

$$A = U \cdot I \cdot t. \quad (3-28)$$

Айнымалы токтың атқарған жұмысын анықтау үшін оның өте қысқа уақыт аралығындағы мәнін тұрақты деп аламыз. Бұл жағдайда айнымалы ток орындаған жұмыстың толық мәні де осыған ұқсас формуланың көмегімен анықталады:

$$A = u \cdot i \cdot t. \quad (3-29)$$

Егер тізбектің ұштарына қойылған кернеу

$$u = U_m \cos \omega t$$

заңдылығы бойынша өзгереді болса, ондағы ток күші де гармониялық заңдылық бойынша фазалық тұрғыдан ерекшеленген күйде өзгереді:

$i = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ . Бұл жағдайда айнымалы ток атқарған жұмыстың толық мәні үшін төмендегілерді жазамыз:

$$A = u \cdot i \cdot t = U_m \cdot I_m \cdot t \cos \omega t \cos(\omega t + \varphi). \quad (3-30)$$

Уақыт бірлігі ішінде орындалған жұмыс қуат деп аталады. Соған орай айнымалы ток қуатының толық мәнін

$$p = u \cdot i = U_m \cdot I_m \cos \omega t \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (3-31)$$

өрнегі түрінде жазуға болады.

Мұндағы қуат уақыттың өтуіне қарап әрі модуль, әрі өрнек түрінде өзгереді. Периодтың бірінші жартысында қуат тізбекке берілсе ( $p > 0$ ), екінші жартысында қуаттың бір бөлігі тармаққа қайта беріледі ( $p < 0$ ).

Әдетте барлық жағдайларда ұзақ уақыт бойы пайдаланылған орташа қуатты білудің маңызы зор. Бұл үшін бір кезеңге (периодқа) тура келетін қуатты анықтаудың өзі жеткілікті.

Бір кезеңге тура келген қуатты табу үшін алдымен (3–31) формуласын уақытқа тәуелді емес көрініске келтіреміз. Бұл үшін математика курсының екі косинустың көбейтіндісі формуласын пайдаланамыз:

$$\cos\alpha \cos\beta = \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)).$$

Біз қарастырып отырған жағдайда  $\alpha = \omega t$  және  $\beta = \omega t + \varphi$ . Осыған орай,

$$p = \frac{U_M \cdot I_M}{2} (\cos\varphi + \cos(2\omega t + \varphi)) = \frac{U_M \cdot I_M}{2} \cos\varphi + \frac{U_M \cdot I_M}{2} \cos(2\omega t + \varphi).$$

Бұл жерде өрнектің екінші қосылғышының бір кезең ішіндегі орташа мәні нөлге тең. Демек, бір кезеңге тура келген орташа қуаттың уақытқа тәуелді емес алымы

$$\bar{p} = \frac{U_M \cdot I_M}{2} \cos\varphi \text{ болады.}$$

Ток пен кернеудің тиімді мәндерінің өрнегі ескерілсе, яғни:  $U_{ef} = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$  және  $I_{ef} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$  болғандықтан, төмендегіге ие боламыз:

$$\bar{P} = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \frac{I_M}{\sqrt{2}} \cos\varphi = U \cdot I \cos\varphi.$$

Бұл шама тізбектің бір бөлігіндегі **айнымалы токтың қуаты** деп аталады.

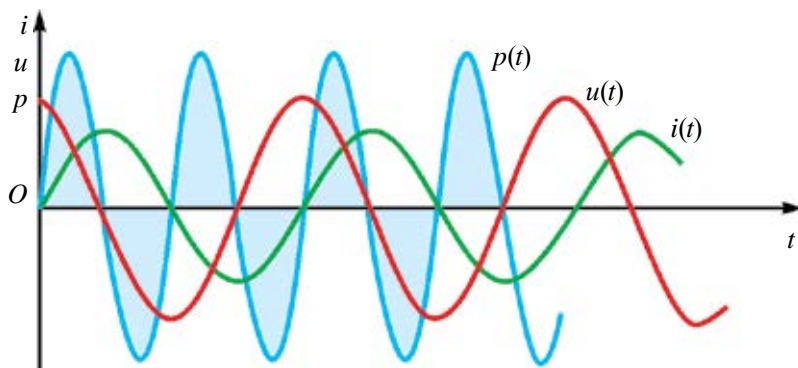
$$P = U \cdot I \cos\varphi. \quad (3-32)$$

Осыған сәйкес айнымалы токтың орындаған жұмысы төмендегі формула бойынша анықталады:

$$A = U \cdot I \cdot t \cos\varphi. \quad (3-33)$$

Сөйтіп, тізбектің бір бөлігіндегі айнымалы токтың қуаты мен орындаған жұмысы ток күшінің және кернеудің тиімді мәндерімен анықталады. Сондай-ақ ол кернеу мен ток күші арасындағы фазаның жылжуына да тәуелді болады. (3–32) формуладағы  $\cos\varphi$  көбейтінді **қуат коэффициенті** деп аталады.

Егер тізбекте реактивті кедергі жоқ болса, онда  $\varphi=0$ ,  $\cos\varphi=1$ ,  $P=UI$



3.23-сурет.

болады, яғни біз тұрақты токтың қуатын аламыз. Тізбекте активті кедергі жоқ болса,  $\varphi=+\frac{\pi}{2}$ ,  $\cos\varphi=0$  және  $P=0$ -ге тең болады. Тек реактивті кедергі бар тізбекте ғана бөлініп шығатын қуат нөлге тең болады екен. Тізбекте ток бар болғанымен, қалайша орташа қуат нөлге тең болып қалуы мүмкін? Оны 3.23-суретте келтірілген графиктің көмегімен түсіндіруге болады. Графикте кернеу, ток күші және қуаттың  $\varphi=\frac{\pi}{2}$  мәніндегі толық мәндері келтірілген.

Қуаттың толық мәнінің уақытқа тәуелділік графигі әрбір моментке тура келген ток күші мен кернеуді бір-біріне көбейту жолымен табылады. Графиктен көрініп тұрғанындай, кезеңнің төрттен бір бөлігінде қуат оң мәнге ие және энергия тізбектің осы бөлігіне беріледі; бірақ кезеңнің кейінгі ширегінде қуат теріс мәнге ие болады да, энергия тізбегінің осы бөлігінен энергия алынған тармаққа қайтарылады. Кезеңнің төрттен бір бөлігінде тізбекке берілген энергия токтың магнит өрісіне шоғырланады, сосын тармаққа қайтарылады.

Айнымалы электр тізбектерін жобалау кезінде  $\cos\varphi$ -нің үлкен болуына назар аударылады. Олай болмаса, энергияның едәуір бөлігі генератордан тізбекке және кері бағытқа айналып жүреді. Сымдар активті кедергіге ие болғандықтан, энергия оларды қыздыруға жұмсалады.

Өнеркәсіпте және тұрмыс қажетін өтеу салаларында электр двигателдері өте кең қолданылады. Олар үлкен индуктивті кедергіге және шағын активті кедергіге ие болады. Соның арқасында  $\cos\varphi$ -нің мәні төмендеп кетеді. Оны арттыру үшін кәсіпорындардың тармақтарында арнаулы компенсация (толықтыру) конденсаторлары қосылады. Бұнда электродвигателдердің

құр босқа немесе жеткілікті жүктемесіз жұмыс істеуіне жол бермеу жағы қарастырылады. Қалыпты жағдайда  $\cos\varphi < 0,85$  болған двигательдерді қолдануға рұқсат берілмейді.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Индуктивтілігі 0,5 Гн, активті кедергісі 100 Ом болған индуктивті катушка мен сыйымдылығы 10 мкФ конденсатор  $U=300 \sin 200\pi t$  айнымалы кернеу көзіне қосылған. Токтың қуаты мен қуат коэффициентін тап.

Берілгені: $L=0,5$ Гн $R=100$ Ом $C=10$ мкФ= $10^{-5}$ Ф $U=300 \sin 200\pi t$	Ф о р м у л а с ы: $P=UI \cos\varphi = \frac{U_m^2}{2Z} \cos\varphi,$ $\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$
Табу керек: $\cos\varphi=?$ $P=?$	

Ш е ш у і :

$$\cos\varphi = \frac{100 \text{ Ом}}{\sqrt{100^2 + \left(628 \cdot 0,5 - \frac{1}{628 \cdot 10^{-5}}\right)^2}} = 0,54$$

$$P = \frac{9 \cdot 10^4 \cdot 0,5^2 \cdot B^2}{2\sqrt{10^4 \cdot \text{Ом}^2 - \left(314 - \frac{10^5}{628}\right)^2 \text{Ом}^2}} = 132 \text{ Вт.}$$

Жауабы:  $\cos\varphi=0,54$ ;  $P=132$  Вт.



1. Айнымалы токтың қуаты мен орындаған жұмысы қалай анықталады?
2. Қуат коэффициенті дегенде нені түсінесің?
3. Қуат коэффициентін арттыру үшін қандай шаралар қарастырылады?
4. Қуат коэффициентін арттыру үшін Сен нелерді ұсынар едің?

**3-жаттығу.**

1. Тербеліс контуры сыйымдылығы 8 пФ-ке тең конденсатор мен индуктивтігі 0,5 мГн катушкадан тұрады. Катушкадағы ток күшінің ең жоғары мәні 40 мА болса, конденсатордағы ең жоғары кернеу неге тең? (Жауабы: 317 В).

2. Индуктивтігі 31 мН-қа тең катушка қаптамаларының беті 20 см<sup>2</sup>, арасындағы қашықтық 1 см конденсаторға қосылған. Ток күшінің ең жоғары мәні 0,2 мА, ал кернеуінің ең жоғары мәні 10 В. Конденсатордың қаптамалары арасындағы ортаның диэлектрик алғырлығы неге тең? (Жауабы: 7).

3. Идеал тербеліс контурының индуктивтігі 0,2 Гн катушка сыйымдылығы 20 мФ-ке тең конденсатордан тұрады. Конденсатордағы кернеу 1 В болған кезде контурдағы ток күші 0,01 А-ға тең. Ток күшінің ең жоғары мәнін анықта. (Жауабы: 0,012 А.)

4. Тербеліс контуры сыйымдылығы 2,5 мФ-ке тең конденсатордан және индуктивтігі 1 Гн-қа тең катушкадан тұрады. Конденсатордың қаптамаларындағы зарядтың амплитудасы 0,5 мКл болса, заряд тербелістерінің теңдеуі қандай болатынын жаз. (Жауабы:  $0,5 \cdot 10^{-6} \cos 630 \cdot 10^6 t$ ).

5. Катушканың индуктивтігі 0,04 Гн-қа тең тербеліс контурының еркін тербелістер жиілігі 800 Гц. Контурдағы конденсатордың сыйымдылығы неге тең? (Жауабы: 1 мФ).

6. Сыйымдылығы 0,5 мФ-ке тең зарядталған конденсатор индуктивтігі 5 мГн катушкаға қосылған. Қанша уақыттан соң конденсатордың электр өрісі энергиясы катушканың магнит өрісі энергиясына тең болады? (Жауабы:  $39 \cdot 10^{-5}$  сек).

7.  $q=0,03 \cos(100\pi t + \frac{\pi}{3})$  теңдігінің графигін сыз.

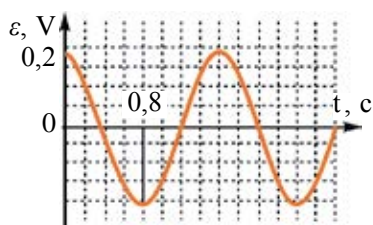
8. Активті кедергісі 50 Ом-ға тең айнымалы ток тізбегіндегі кернеудің амплитудалық мәні 100 В, тербеліс жиілігі 100 Гц. Тізбектегі ток тербелістерінің теңдеуін жаз. (Жауабы:  $2 \cos 200\pi t$ ).

9. Тізбектегі ток күші  $8,5 \sin(628t + 0,325)$  заңы бойынша өзгереді. Ток күшінің тиімділік мәнін, тербелістер фазасы мен жиілігін тап. (Жауабы: 6,03 А; 0,325 рад; 100 Гц).

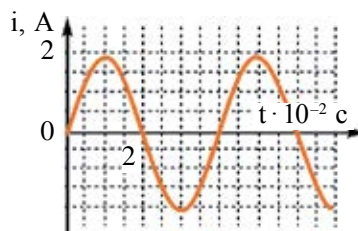
10. Айнымалы ток тізбегіне қосылған конденсатордағы ток күші  $0,03 \cos(314t + 1,57)$  заңы бойынша өзгереді. Конденсатордағы ең жоғары кернеу 60 В болса, оның сыйымдылығы қандай болатынын анықта. (Жауабы: 5,3 мФ).

11. Айнымалы ток тізбегіне қосылған катушканың ұштарына қойылған кернеу амплитудасы 157 В, ток күшінің амплитудасы 5 А, ал токтың жиілігі 50 Гц болса, оның индуктивтілігі неге тең болады? (Жауабы: 0,1 Гн).

12. Кернеуінің тиімділік мәні 127 В болған тізбекке индуктивтігі 0,16 Гн, активті кедергісі 2 Ом және сыйымдылығы 64  $\mu\text{Ф}$  конденсатор тізбектеле қосылған. Токтың жиілігі 200 Гц. Ток күшінің тиімділік мәнін тап

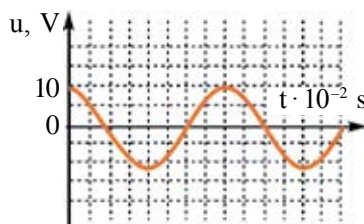


3.24-сурет.



3.25-сурет.

13. 3.24-суретте тізбектегі ЭҚК-тің уақытқа тәуелділік графигі келтірілген. Айнымалы токтың ең жоғары мәнін, оның периодын (кезеңін) және жиілігін тап.  $\mathcal{E}(t)$  байланысу формуласын жаз.



3.26-сурет

14. 3.25-суретте тізбектегі ток күшінің уақытқа тәуелділік графигі келтірілген.

Айнымалы токтың ең жоғары мәнін, оның периодын, жиілігін тап.  $i(t)$  байланыс формуласын жаз.

15. 3.26-суретте тізбектегі кернеудің уақытқа тәуелділік графигі келтірілген. Айнымалы токтың ең жоғары мәнін, оның периодын, жиілігін тап.  $U(t)$  байланыс формуласын жаз.

16. Жиілігі 400 Гц айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі 0,1 Гн катушка қосылған. Тізбекке сыйымдылығы қандай конденсатор қосылғанда резонанс құбылысы жүзеге асады? (Жауабы: 1,6  $\mu\text{Ф}$ ).

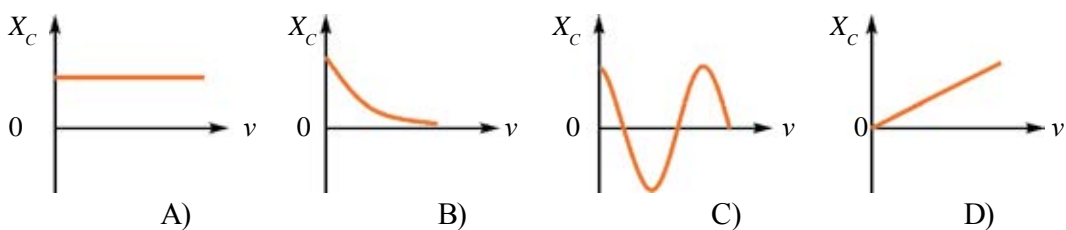
17. Тербеліс контурына қосылған конденсатордың сыйымдылығы 50 пФ, еркін тербелістер жиілігі 10 МГц. Катушканың индуктивтілігін тап. (Жауабы: 5,1  $\mu\text{Гн}$ ).

18. Контурдағы кернеудің амплитудасы 100 В, тербелістер жиілігі 5 МГц-ға тең. Қанша уақыттан кейін кернеу 71 В-ға тең болады? (Жауабы: 25 н/с).

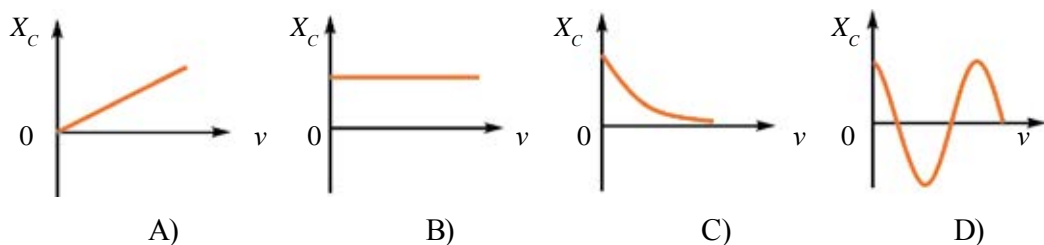


### III ТАРАУДЫ ҚОРЫТЫНДЫЛАУ БОЙЫНША ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ

1. Тербеліс контурында орналасқан конденсатордағы электр заряды  $q=10^{-3} \cdot \cos 100\pi t$  (C) заңдылығы бойынша өзгеріп барады. Контурда пайда болып жатқан электромагниттік тербелістердің жиілігін тап.  
 A) 100 Гц;                      B)  $100\pi$  Гц;                      C) 50 Гц;                      D)  $50\pi$  Гц.
2. Тербеліс контурындағы конденсаторда электр заряды  $q=10^{-3} \cdot \cos 1000t$  (C) заңдылығы бойынша өзгеріп барады. Контурда пайда болып жатқан ток күшінің амплитудасын тап.  
 A)  $10^{-3}$  A;                      B) 1 A;                      C) 10 A;                      D)  $\pi$ A.
3. Идеал тербеліс контурында конденсатордың сыйымдылығы 9 есе кемітілсе, контурдың тербеліс жиілігі қалай өзгереді?  
 A) 3 есе азаяды;                      B) 3 есе көбейеді;  
 C) 9 есе азаяды;                      D) 9 есе көбейеді.
4. Идеал тербеліс контурында электромагниттік тербелістер пайда болып жатыр. Бұнда конденсатордағы электр өрісі энергиясының ең жоғары мәні 2 мДж-ға, катушкадағы магнит өрісі энергиясының ең жоғары мәні де 2 мДж-ға тең болды. Тербеліс контурындағы толық энергия нешеге тең?  
 A) 0-ден 2 мДж-ға дейін өзгереді;                      B) 0-ден 4 мДж-ға дейін өзгереді;  
 C) өзгермейді және 2 мДж-ға тең;                      D) өзгермейді және 4 мДж-ға тең.
5. Төмендегі графиктердің қайсысында айнымалы электр тізбектеріндегі сыйымдылықтың кедергі жиілігіне тәуелділігі келтірілген?



6. Төмендегі графиктердің қайсысында айнымалы электр тізбектеріндегі индуктивті кедергінің жиілікке тәуелділігі келтірілген?



7. Резистор, индуктивті катушка және сыйымдылық қосылған тізбектің толық кедергісі резонанс периодында қандай болады?  
 А) активті кедергіден үлкен болады;  
 В) активті кедергіге тең болады;  
 С) активті кедергіден кіші болады;  
 Д) активті кедергіден бірнеше есе кіші болады.
8. Төменде келтірілген қасиеттердің қайсысы сөнетін тербелістерге тиесілі?  
 1. Гармониялық тербелістер. 2. Идеал тербеліс контурындағы тербелістер. 3. Нақты тербеліс контурындағы тербелістер.  
 А) 1;                      В) 2;                      С) 3;                      Д) 1 мен 3.
9. Тербеліс контурында туындайтын электромагниттік тербелістердің циклдік жиілігін анықтау формуласын көрсет.  
 А)  $\frac{1}{T}$ ;                      В)  $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ;                      С)  $2\pi\sqrt{LC}$ ;                      Д)  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ .
10. Төмендегілердің қайсысы тербеліс контурының толық энергиясын өрнектейді?  
 1.  $\frac{q^2}{2C}$ . 2.  $\frac{Li^2}{2}$ . 3.  $\frac{q_M^2}{2C}$ . 4.  $\frac{LI_M^2}{2}$ .  
 А) 1;                      В) 2;                      С) 3;                      Д) 3 және 4.
11. Механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістер аналогиясына орай, серіппелі маятниктегі жүктің массасы электромагнитті тербелістердегі қайсы физикалық шамаға сәйкес келеді?  
 А) заряд;                      В) ток күші;  
 Б) индуктивтілік;                      Д) сыйымдылыққа кері шама.
12. Механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістер аналогиясына орай, тербеліс контурындағы ток күші механикалық тербелістердегі қайсы физикалық шамаға сәйкес келеді?  
 А) координата;                      В) жылдамдық;  
 Б) масса;                      Д) серіппенің бұрандалығы.
13. Транзисторлы генераторда тербелістердің сөнбеуін қамтамасыз ету үшін кіру және шығу тізбегіндегі кернеулердің фазалық тұрғыдан айырмасы қандай болуы керек?  
 А)  $60^\circ$ ;                      В)  $90^\circ$ ;                      С)  $180^\circ$ ;                      Д)  $270^\circ$ .

**14. Транзисторлы генераторда кері байланыс қайсы элемент арқылы жүзеге асырылады?**

- А)  $L$  катушка арқылы;    В)  $C$  конденсатор арқылы;  
 С)  $L_b$  катушка арқылы;    Д) транзистор арқылы.

**15. Сөйлемді толықтыр. Тізбекке тек индуктивті катушка ғана қосылған болса, катушкадан өтіп жатқан ток күшінің тербелістері катушканың ұштарына қойылған кернеу тербелістерінен фазалық тұрғыдан ... болады.**

- А) ...  $\frac{\pi}{2}$  -ге алға ... ;    В) ...  $\frac{\pi}{2}$  -ге артқа ... ;  
 С) ...  $\pi$  -ге алға ... ;    Д) ...  $\pi$  -ге артқа ... .

### III тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Еркін электромагниттік тербелістер	Тербеліс контурында бір рет заряд берілген соң пайда болатын электр және магнит өрісі тербелістері.
Тербеліс контуры	Индуктивті катушка мен конденсатордан тұратын тізбек. Тербеліс периоды $T = 2\pi \sqrt{LC}$ .
Сөнетін тербелістер	Конденсаторға бір рет энергия берілген кезде тербеліс контурында пайда болатын тербелістер. Онда тербелістердің амплитудасы уақыт өткен сайын кемейе береді.
Тербеліс контурындағы толық энергия	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$ .
Гармониялық тербелістер	Физикалық шамалардың уақыт өткен сайын синус яки косинус заңдылығы бойынша периодты түрде өзгеруі.
Тербеліс амплитудасы	Тербеліс үстіндегі шамалардың ең үлкен мәнінің модулі.
Автотербелістер	Тербелетін жүйенің ішіндегі көз арқасында сөнбейтін тербелістердің пайда болуы.
Жоғары жиілікті генератор	Энергия көзі, тербеліс жүйесі және электронды кілттен тұратын жүйеде сөнбейтін тербелістер туғызатын құрылғы.

Кері байланыс	Электр сигналдарының бір бөлігінің шығу тізбегінен кіру тізбегіне берілуі.
Активті кедергі— $R$	Айнымалы ток энергиясын қайтпайтын күйде басқа түрдегі энергияға айналдыратын кедергі.
Реактивті кедергі— $X_C$ , $X_L$	Айнымалы ток энергиясын электр өрісі немесе магнит өрісі энергиясына және керісінше айналдыратын кедергі. $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ; $X_L = \omega L$ .
Активті кедергілі тізбектегі қуат	$P = P_M \cos^2 \omega t$ .
Айнымалы ток пен кернеудің тиімді мәндері	$I_{ef} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$ ; $U_{ef} = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$ .
Айнымалы токтың толық тізбегіне арналған Ом заңы	$I_M = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$ .
Айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ .
Тізбектегі ток тербелістері мен кернеу тербелістері арасындағы фаза айырмасы	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_M}$ немесе $\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$ .
Резонанс құбылысы	Сыртқы мәжбүрлеуші күштің жиілігі жүйенің дербес жиілігіне тең болып қалған кезде тербелістер амплитудасының артуы.
Тізбекті резонанс яки кернеулер резонансы	Айнымалы ток тізбегінде сыртқы электр көзінің жиілігі тізбектің дербес жиілігіне тең болған кезде конденсатор мен катушкада кернеудің шұғыл артуы.
Айнымалы токтың қуаты	$P = U I \cos \varphi$ .
Айнымалы токтың атқарған жұмысы	$A = U I t \cos \varphi$ .

## IV тауар. ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ТОЛҚЫНДАР ЖӘНЕ ТОЛҚЫН ОПТИКАСЫ

Электр тізбектеріндегі электромагниттік тербелістерді үйрену көрсеткеніндей, кернеу мен ток күшінің өзгеруі тізбектің бір бөлігінен екіншісіне өте үлкен жылдамдықпен, яғни 300 000 км/сек-пен таралады. Бұл жылдамдық өткізгіштегі еркін электр зарядтарының ретті қозғалыс жылдамдығынан өте көп рет артық. Электромагниттік тербелістердің бір нүктеден екінші нүктеге берілу механизмін тек өріс ұғымын пайдаланып қана түсіндіруге болады.

Дж. К. Максвелл 1864 жылы вакуумда және диэлектриктерде тарала алатын электромагниттік толқындардың бар екені туралы гипотеза ұсынған. Біз электромагниттік өріс пен электромагниттік толқын теориясымен қысқаша танысамыз.

### 21-тақырып. ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ТЕРБЕЛІСТЕРДІҢ ТАРАЛУЫ. ЭЛЕКТРОМАГНИТТИК ТОЛҚЫН ЖЫЛДАМДЫҒЫ

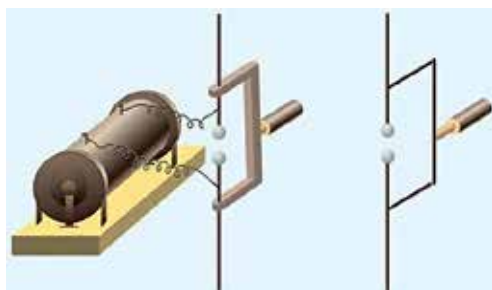
1831 жылы М.Фарадей ашқан электромагниттік индукция құбылысын терең зерттеген Максвелл төмендегідей қорытындыға келеді: *магнит өрісінің кез келген өзгерісі оның айналасындағы кеңістікте электр өрісінің ұйытқуын туғызады.*

Фарадей тәжірибелеріндегі тұйық өткізгіште индукциялық ЭҚК пайда болуының себепкері сол айнымалы электр өрісі болып табылады. Бұл ұйытқушы электр өрісі тек өткізгіште ғана емес, ашық кеңістікте туындайды. Осылайша магнит өрісінің өзгерісі электр өрісін туғызады.. Осылайша магнит өрісі электр өрісін туғызады. Табиғатта бұған қарама-қарсы құбылыс бола ма, жоқ па, яғни айнымалы электр өрісі магнит өрісін туғызбас па екен? Бұл жорамал симметриялық көзқарас тұрғысынан алғанда Максвелл гипотезасының негізін құрайды. Аталмыш гипотезаға орай *электр өрісінің кез келген өзгерісі оның айналасындағы кеңістікте ұйытқушы магнит өрісін туғызады.*

Максвеллдің бұл гипотезасы көпке дейін өз дәлелін таба алмай тұрды. Электромагниттік толқындарды Максвеллдің өлімінен кейін 10 жыл өткен

соң ғана эксперименттік түрде Г.Р.Герц ашты. 1886–1889 жылдарда Г.Герц электромагниттік толқынды туғызу үшін өте жұқа ауа қабатымен бөлінген диаметрі 10–30 см-лік екі шар немесе цилиндр алып, түзу стержень ұштарына байлаған (4.1-сурет). Ол басқа тәжірибелерінде қабырғалары 40 см-лік металл пластинаны пайдаланған.

Шарлардың аралығы бірнеше мм мөлшерінде қалдырылған. Цилиндрлер немесе шарлар жоғары кернеулі көзге қосылып, оң және теріс өрнектерге зарядталған. Кернеу белгілі бір мәнге жеткенде, шарлар аралығында ұшқын пайда болған. Ұшқын пайда болар кезде вибраторда жоғары жиіліктегі сөнетін тербелістер туындаған.



4.1-сурет.

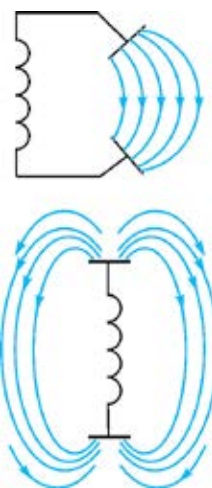
Егер электромагниттік тербелістер таралып, толқын туғызса, екінші вибраторда ЭҚК туындауы және соның нәтижесінде шарлар арасында ұшқын пайда болуға тиіс еді. Герц бұл құбылысты бақылап, электромагниттік толқындардың бар екенін дәлелдеді.

Өткен тарауда қарастырылған тербеліс контуры жабық болғандықтан, одан тербелістер де аз таралады. Енді жайлап қана конденсатор қаптамаларын бір-бірінен алыстатайық (4.2-сурет).

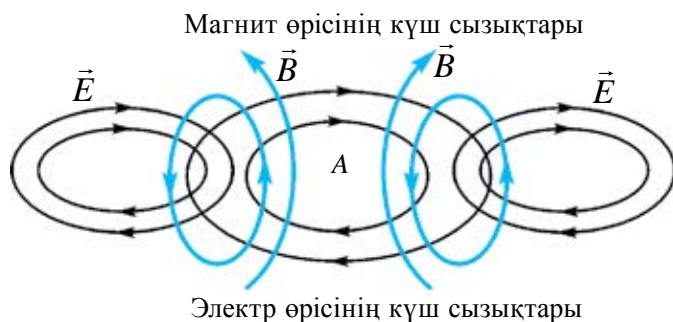
Бұл жағдайда өрістің күш сызықтары қаптамалардың арасынан шығып, кеңістікке тарала бастайды. Егер қаптамалардың біреуін толығымен төбеге, ал екіншісін төменге қаратып қойса, электромагниттік тербелістер кеңістікке толығымен таралып кетеді.

Бұндай көріністегі контур **ашық тербеліс контуры** деп аталады.

Таралып жатқан электромагниттік толқындарды көз алдымызға келтіру үшін 4.3-суретке қарайық. Әлдеқандай бір сәтте кеңістіктің А саласында айнымалы электр өрісі болсын делік. Ондай жағдайда айнымалы электр өрісі өзінің айналасында магнит өрісін туындатады. Айнымалы магнит өрісі көршілес салада айнымалы электр өрісін туғызады. Кеңістіктің бірінен соң бірі орналасқан салаларында өзара перпендикуляр орналасқан, периодты түрде айнымалы электр және магнит өрістерін туындайды. Электромагниттік толқындардың таралуын **сәулелену** деп те атайды.



4.2-сурет.



4.3-сурет.

Герц тәжірибелерінде толқын ұзындығы бірнеше ондаған сантиметрді құраған болатын. Вибраторда туындаған дербес электромагниттік тербелістердің жиілігін есептеп, электромагниттік толқындардың таралу жылдамдығын  $v = \lambda \cdot \nu$  формуланың көмегімен анықтайды. Ол жарық жылдамдығына тең болып шығады.

Бұдан кейінгі заманалық өлшеулер де бұл мәннің дұрыс екендігін дәлелдеді.

### Мәселе шешу үлгісі

Ашық тербеліс контурындағы кернеу  $i = 0,3 \sin 5 \cdot 10^5 \pi t$  заңы бойынша өзгереді. Ауада таралып жатқан электромагниттік толқынның ұзындығы  $\lambda$ -ны анықта.

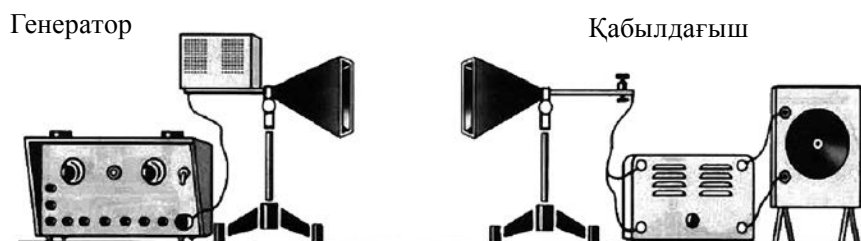
Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$\omega = 5 \cdot 10^5 \pi \cdot \text{с}^{-1}$ $v = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	$\omega = 2\pi\nu \Leftrightarrow \nu = \frac{\omega}{2\pi}$ $\lambda = \frac{v}{\nu}$	$\nu = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot \text{с}^{-1}}{2\pi} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Гц.}$ $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^5} \text{ м} = 1200 \text{ м}$
Табу керек: $\lambda = ?$		Жауабы: 1200 м.



1. Ашық тербеліс контуры дегенде нені түсінеміз?
2. Максвелл электромагниттік өрістің бар екендігі теориясын ашуда нелерге сүйенген?
3. Герц вибраторында екінші стерженьге орнатылған шарлар ток көзіне қосылмаған болса да, олардың арасынан ұшықын шығуының себебі неде?
4. Герц электромагниттік тербелістерді пайдалану бойынша қандай пікірлер айтқан?

## 22-тақырып. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЖАЛПЫ ҚАСИЕТТЕРІ (ЕКІ ОРТАНЫҢ ШЕКАРАСЫНАН ҚАЙТУЫ МЕН СЫНУЫ). ТОЛҚЫНДЫ СИПАТТАЙТЫН НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАР МЕН ШАМАЛАР

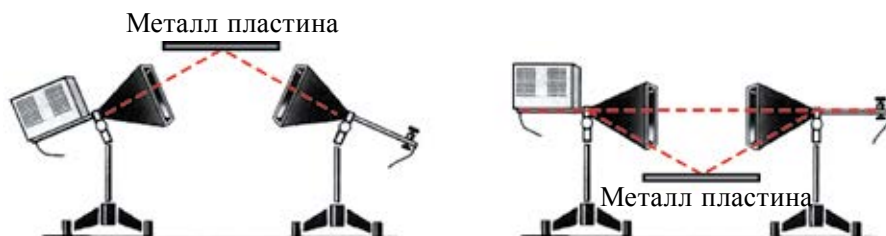
Электромагниттік толқындардың қасиеттерін электромагниттік толқын шығаратын арнаулы генератордың көмегімен зерттеп-үйренуге болады. Генераторда пайда болған жоғары жиіліктегі электромагниттік толқын *генератор рупоры* деп аталатын таратқыш антенна арқылы таратылады (4.4-сурет).



4.4-сурет.

Қабылдағыш антеннаның пішіні де нақ таратқыш антеннаға ұқсас болады. Антенна қабылдаған электромагниттік толқын туғызған электр қозғаушы күш (ЭҚК) кристалл диодтың қатысуымен пульсацияланушы (түрленуші) токқа айналады. Ток күшейтілген соң гальванометрге беріледі және тіркеледі.

**Электромагниттік толқындардың қайтуы.** Таратқыш және қабылдағыш рупорлар арасына металл пластина қойылса, дыбыс естілмейді. Электромагниттік толқындар металл пластинадан өте алмай, кері қайтады. Енді таратқыш рупорды жоғарыға не төменге бұрайық. Металл пластинаны жоғарыға (төменге) 4.5-суретте көрсетілгендей етіп орнатайық. Бұл жағдайда қабылдағыш антенна түсу бұрышына тең бұрышпен орналастырылса, толқынның жақсы қабылданатынын байқауға болады.



4.5-сурет.



Электромагниттік толқындардың металл пластинадан шағылып қайтуын төмендегідей түсіндіруге болады. Металға келіп түскен электромагниттік толқын металл бетінде еркін электрондардың еріксіз тербелістерін туындатады. Бұндай еріксіз тербелістердің жиілігі электромагниттік толқынның жиілігіне тең болады. Толқын металдан өте алмайды, бірақ металл бетінің өзі екілік толқындар көзі болып қалады, яғни толқын сол беттен шағылады. Тәжірибелер көрсеткеніндей, электромагниттік толқындардың екі ортаның шекарасынан қайтуы шағылу заңының орындалғанын дәлелдейді.

Металл пластина орнына диэлектрик алатын болсақ, одан электромагниттік толқындар өте аз шағылатынын біліп аламыз. Өйткені оларда еркін электрондар аз болады.

Электромагниттік толқындардың шағылуы радиода және радиолокацияда кеңінен қолданылады (4.6-сурет).



4.6-сурет.



4.7-сурет.

**Электромагниттік толқындардың сынуы.** Оны үйрену үшін металл пластинаның орнына парафин толтырылған үшбұрышты призмы пайдаланады (4.7-сурет). Қабылдағыш антенна толқынды тіркейді. Демек, электромагниттік толқын екі ортаның: ауа-парафин мен парафин-ауаның шекарасынан өткенде сынады. Жүргізілген тәжірибелер электромагниттік толқын бір ортадан екінші ортаға өткенде **сыну заңының** орындалғанын көрсетеді:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_1}} \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{c} = \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}; \quad (4-1)$$

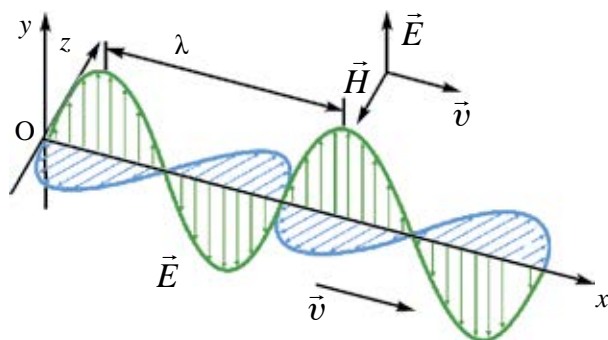
Бұл жерде:  $\epsilon_1$  және  $\epsilon_2$  – сәйкесінше бірінші және екінші орталардың диэлектрик алғырлығы болып табылады.

Тербелістер фазасы бірдей, бір-біріне ең жақын орналасқан екі нүкте арасындағы қашықтық **электромагниттік толқынның ұзындығы** деп аталады:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Электромагниттік толқынның негізгі сипаттамасы оның жиілігі  $\nu$  (периоды  $T$ ) болып саналады. Өйткені электромагниттік толқын бір ортадан екінші ортаға өткенде, оның толқын ұзындығы өзгереді, ал жиілігі өзгермей, сол күйінде қалады.

Электр өрісінің кернеулігі мен магнит өрісі индукция векторларының тербеліс бағыттары мен толқынның таралу бағытына перпендикуляр болады (4.8-сурет). Демек, электромагниттік толқындар көлденең толқитын болып шықты.



4.8-сурет.

Электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы  $\vec{v}$  электр өрісі кернеулігінің векторы  $\vec{E}$  мен магниттік өріс индукциясының векторы  $\vec{B}$ -ға перпендикуляр бағытталған.

Электромагниттік толқынның негізгі энергетикалық сипаттамаларының бірі – электромагниттік толқын сәулеленуінің ағым тығыздығы болып саналады.

Электромагниттік толқын сәулеленуінің ағым тығыздығы деп толқынның таралу бағытына перпендикуляр бағытта орналасқан  $S$  жазықтық бетінен  $\Delta t$  уақытта өтетін  $W$  электромагниттік энергиясы айтылады:

$$I = \frac{W_{\text{орт}}}{S \cdot \Delta t} . \quad (4-2)$$

Толқын сәулеленуінің ағым тығыздығы жазықтың бірлік бетінен бір периодта (кезеңде) өтетін электромагниттік толқын сәулеленуінің орташа қуатынан құралады. Оны *толқын интенсивтілігі* деп атайды:

$$P_{\text{орт}} = \frac{W_{\text{орт}}}{t} \text{ -ны (4-2)-ге қойса, } I = \frac{P_{\text{орт}}}{S} \text{ болады. Толқын сәулеленуінің ағым}$$

тығыздығы немесе толқын интенсивтілігінің бірлігі  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

Сәулелену ағымы бағытына перпендикуляр орналасқан бағытта беті  $S$ -ке, жасаушысы  $c\Delta t$ -ға тең цилиндр салайық. Цилиндрдің көлемі  $\Delta V = S \cdot c\Delta t$

-ға тең. Цилиндр ішіндегі электромагниттік өріс энергиясы энергия тығыздығының көлемге көбейтіндісіне тең:

$$W = w \cdot S \cdot c \Delta t; \quad (4-3)$$

Бұл жерде:  $w$  – электромагниттік толқын энергиясының тығыздығы. (4-3) формуласын (4-2)-ге қойсақ, төмендегі келіп шығады:

$$I = wc. \quad (4-4)$$

Электромагниттік толқын ағымының тығыздығы, электромагниттік энергияның тығыздығы мен толқынның таралу жылдамдығының көбейтіндісіне тең.

Нүктелік көзден шығатын электромагниттік толқындар барлық жаққа шашырай таралады. Соған орай, көздің айналасында оны қоршап тұрған саланы сфера деп аламыз да, (4-2) формуланы төмендегідей етіп жазамыз:

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} = \frac{W}{4\pi \cdot \Delta t} \cdot \frac{1}{R^2}; \quad (4-5)$$

Мұндағы:  $S = 4\pi R^2$  сфера сыртының беті. Демек, нүктелік көзден шығатын толқынның интенсивтігі аралықтың квадратына пропорционал түрде кемейе береді екен.

Электромагниттік өрістің электр өрісі кернеулігі  $\vec{E}$  мен магнит өрісінің индукциясы  $\vec{B}$  тербеліп жатқан бөлшектердің үдеуі  $\vec{a}$  -ға пропорционал. Ал үдеу гармониялық тербелістерде жиіліктің квадратына пропорционал. Осыған орай  $E \sim \omega^2$  және  $B \sim \omega^2$  екендігі ескерілсе, өрістер энергиясының тығыздықтары жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал болатыны келіп шығады:

$$I \sim \omega^4.$$

### Мәселе шешу үлгісі

1. Электромагниттік толқындар әлдеқандай бір текті ортада  $2 \cdot 10^8$  м/с жылдамдықпен таралып жатыр. Егер электромагниттік толқындардың жиілігі 1 МГц болса, оның толқынының ұзындығы қанша?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$v = 2 \cdot 10^8$ м/с $\nu = 1$ МГц = $10^6$ Гц	$\lambda = \frac{v}{\nu}$	$\lambda = \frac{2 \cdot 10^8}{10^6} \frac{\text{м/с}}{\text{Гц}} = 200 \text{ м.}$
Табу керек: $\lambda = ?$		Жауабы: 200 м.



1. Неліктен жарық беру тармақтарындағы айнымалы ток іс жүзінде электромагниттік толқындарды нұрландырмайды?
2. Электромагниттік толқындардың шағылуы мен сынуы қай жерлерде пайдаланылады?
3. Электромагниттік толқындардың жұтылуы қай жерлерде пайдаланылады?
4. Электромагниттік толқындардың жиілігі 3 есе төмендеді. Бұнда нұрлану энергиясы қалай өзгереді?

## 23-тақырып. РАДИОБАЙЛАНЫСТЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ. ЕҢ ҚАРАПАЙЫМ РАДИОНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ ЖӘНЕ ЖҰМЫС ІСТЕУІ. РАДИОЛОКАЦИЯ

Ертедегі замандарда адамдар бір-біріне хабар жіберіп тұру үшін алуан түрлі құралдарды пайдаланған. Бір мемлекеттен екінші мемлекетке қатынайтын кереуендер арқылы хат жіберу, кептерлердің аяғына хат байлап ұшыру және т.б. амалдар көп болған. Кей жағдайларда арнайы шабармандар жүйрік аттарға мініп алып, тоқтаусыз шабу арқылы хат-хабарларды тиісті жеріне жеткізіп отырған. Бұл ретте хат-хабарды жеткізетін құралдың қозғалу жылдамдығы, керуеннің немесе шауып бара жатқан аттың жүйріктігі басты рөл атқарған.

Алайда жеткізуші құралдың жолында сан түрлі кедергі-бөгеттер көп кездесетіндіктен, хат-хабарларды иесіне дер кезінде жеткізудің мүмкіндігі де бола бермеген.

Хабарларды жөнелту ісінде электромагниттік толқындарды пайдалануға болмас па екен?

Біріншіден, электромагниттік толқындар табиғаттағы ең үлкен жылдамдық бойынша таралады. Екіншіден, оны жолшыбай ешқандай қарақшылар немесе зұлым жаулар ұстап қала алмайды.

Дегенмен Герц вибраторында пайда болған ұшқынның қуаты өте шағын болғандықтан, оның сигналдарын алыс қашықтыққа тарату мақсатына пайдалану мүмкін емес еді. А.С.Поповтың электромагниттік толқындар арқылы хабар жөнелту бойынша ашқан жаңалығынан бес жыл бұрын француз физигі Э.Бранли электромагниттік толқындарды тіркеудің сезгірлігі жоғары сенімді әдісін табады. Бұл құралды Э.Бранли *когерер* (лат. *кохаеренс* – байланыста болған) деп атайды. Когерер ішіне екі электрод орнатылған шыны түтіктен тұратын болған, оның ішіне темір ұнтағы

салынған. Бұл құралдың қарсылығы қарапайым жағдайда үлкен болады. Контурға келген электромагниттік толқын жоғары жиіліктегі айнымалы тоқты туғызады. Ұнтақ арасында майда ұшқындар пайда болады да, оларды бір-біріне жабыстырып тұрады. Соның нәтижесінде ұнтақтардың қарсылығы азаяды (А.С.Поповтың тәжірибесінде 100 000 Ом -нан 1000 Ом -ға дейін, яғни 100 еседен көп). Бірақ ток бір рет өткеннен кейін ұнтақтар жабысып қалады. Когерерді сілкіп жіберіп, оны қайтадан жұмысшы қалыпқа келтіру қажет. Бұл үшін А.С.Попов когерер тізбегіне электромагниттік реле арқылы электр қоңырауын қосады. Электромагниттік толқын келгенде, когерердің балғашығы бір мезгілдің өзінде когерерге соғылған әрі когерерді жұмысшы қалыпқа келтірген.

1895 жылы 7 мамыр күні Ресейдің Санкт-Петербург қаласында орыс инженері А.С.Попов тұңғыш рет хабарды электромагниттік толқын арқылы жіберіп, оны қабылдап алуды көрсетті. Хабарлардың бұлайша электромагниттік толқындар арқылы алмасуы **радиобайланыс** деп аталады. Хабарды жіберетін қондырғыны **радиоүзатқыш**, ал қабылдайтын қондырғыны **радиоқабылдағыш** деп атайды.

А.С.Попов 1899 жылы радиобайланысты 20 км қашықтықта орнатқан болса, 1901 жылы бұл көрсеткішті 150 км-ге жеткізді.

Нақ осыған ұқсас қондырғыларды итальян инженері Г.Маркони де параллель түрде ойлап тапқан.

Электромагниттік толқындардың жиілігі шағын болса, оның энергиясы төмен болады да, ұзақ қашықтыққа бара алмайды ( $W \sim v^4$ ). Екіншіден, өзара жақын орналасқан екі радиостанцияның хабарлары бір-біріне араласып кетеді. Сол себепті радиобайланыста жоғары жиілікті электромагниттік тербелістерді пайдалану қажеттігі туылды.

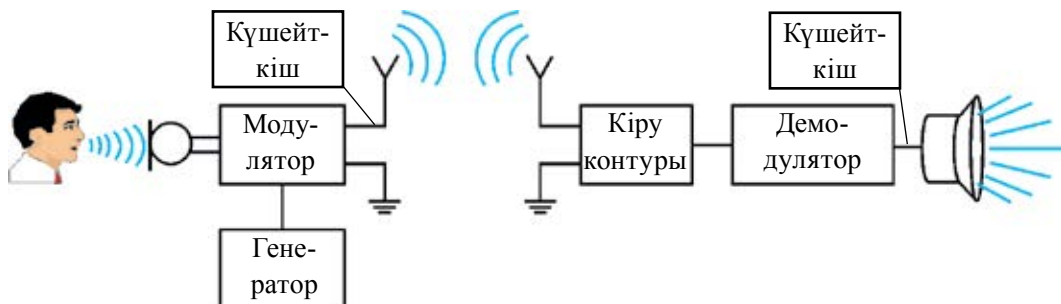
1913 жылы сөнбейтін электромагниттік тербелістер туындататын генератордың ойлап табылуы бұл саладағы маңызды қадам болды.

Енді хабарларды жоғары жиіліктегі электромагниттік толқындар көмегімен жөнелту мүмкіндігі туды. Бұл үшін генераторда өндірілген жоғары жиілікті электромагниттік тербелістерге төмен жиілікті (дыбыс жиілігі) тербелістер қоса жіберіледі. Бұнда дыбыс тербелістері микрофонның көмегімен электр тербелістеріне айналдырылады.

Төмен жиілікті электр тербелістерін жоғары жиілікті электр тербелістеріне қосып жіберу **модуляция** деп аталады. Радиобайланысты жүргізудің блок-сызбасы 4.9-суретте көрсетілген.

Модуляцияланған тербелістер антеннаның көмегімен кеңістікке таратылады. Радиобайланыстың қабылдағыш бөлігінде де антенна болады. Оған

келіп соғылған электромагниттік толқындар электромагниттік тербелістерді туғызады. Радиоқабылдағышпен көптеген радиостанциялардың арасынан керектісін таңдап алу **кіру контуры** арқылы жүзеге асырылады. Содан соң жоғары жиілікті тербелістерге қосып жіберілетін төмен жиілікті тербелістер бөліп алынады. Бұл **демодулятор**дың көмегімен орындалады. Төмен жиілікті электр тербелістері телефон кернейінде дыбыс тербелістеріне айналады.

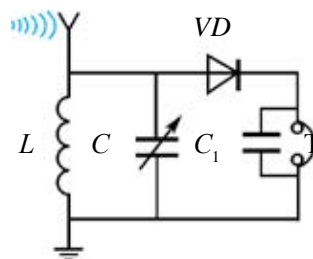


4.9-сурет.

Саған радиоқабылдағыштың қандай блоктардан тұратыны белгілі. Енді ең қарапайым радиоқабылдағыштың қандай элементтерден құралатыны мен жұмыс істеу тәртібін қарастырайық (4.10-сурет).

Антеннаға келіп соғылған радиотолқындар онда электромагниттік тербелістер туғызады. Индуктивті катушка ( $L$ ) мен сыйымдылығы айнымалы конденсатор ( $C$ ) тербеліс контурын құрайды. Сыйымдылығы айнымалы конденсатордың көмегімен контурдың жиілігі қабылдануға тиісті радиостанцияның жиілігіне келтіріледі. Сөйтіп, көптеген радиостанциялардың сигналдары арасынан керектісі бөлініп алынады.

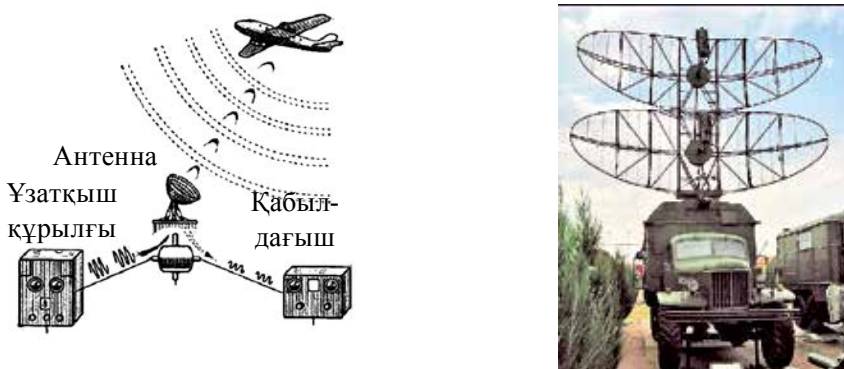
Жіберілген хабар жоғары жиілікті тербелістерге қосылған күйде келеді. Жоғарыда айтылғанындай, оларды бір-бірінен бөліп беруді демодулятор қондырғысы жүзеге асырады. Бұны көбінесе **детекторлау** деп атайды. Бұл міндетті жартылай өткізгішті диод орындайды. Кіру контурында пайда болған жоғары жиілікті кернеу  $VD$  диод,  $C_1$  конденсатор және  $T$  телефон арқылы ток туғызады. Диод арқылы өту кезінде жоғары жиілікті және төмен жиілікті сигналдар бір-бірінен бөлінеді. Жоғары жиілікті сигналдар  $C_1$  конденсатор арқылы, төмен жиілікті сигналдар  $T$  телефон арқылы өтеді. Телефонды құлаққа тұтып, радиохабарларды емін-еркін тыңдай беруге болады. Мысалға келтірілген ең қарапайым радиоқабылдағышта диод **детектор** міндетін атқарғандығы және басқа электрондық құралдар



4.10-сурет

пайдаланылмағандығы себепті бұл қабылдағышты **детекторлы қабылдағыш** деп атайды.

Электромагниттік толқындарды радиолокацияда да кең пайдаланады (4.11-сурет).



4.11-сурет.

Өткен тақырыпта айтылғанындай, бұл ретте электромагниттік толқындардың шағылу құбылысы ұтымды пайдаланылады. Радиолокацияның көмегімен ұшып келе жатқан ұшақтардың биіктігін, жылдамдығын және қашықтығын өте дәл, анық өлшеу мүмкіндігі бар. Бұл үшін радиоұзатқышты өте қысқа уақыт ішінде өшіріп-жақса, ұшаққа шағылып қайтқан радиотолқынды тіркеуге болады.

Электроаппаратураның көмегімен толқын жіберілген және шағылып қайтқан уақыт аралығы  $\Delta t$  өлшенсе, электромагниттік толқындардың басып өткен жолын табу мүмкіндігі туады:  $s = ct$ . Бұл жерде:  $c$  – электромагниттік толқынның жылдамдығы. Толқынның нысанға дейінгі және одан кері қайтқандағы басып өткен жолы  $s = 2l$  болады.  $l = \frac{ct}{2}$  – антеннадан нысанға дейінгі аралық. Нысанның кеңістікте орналасқан орнын анықтау үшін радиотолқындар жіңішке сәуле түрінде жіберіледі. Бұл үшін антенна сфера көрінісіне жақындау пішінде жасалады.

Радиолокациялық әдіс бойынша Жерден Айға дейінгі, сондай-ақ Меркурий, Венера, Марс және Юпитер ғаламшарларына дейінгі қашықтықтар анық та дәл өлшенген.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Радиолокатор толқынының ұзындығы 15 см-лік электромагниттік толқынмен жұмыс істейді және әрбір секундта 4000 импульс шығарады. Әрбір импульстің ұзақтығы 2  $\mu$ s. Импульстің әрбірінде қанша тербеліс



болатынын және радиолокатордың көмегімен ең қысқа қашықтықтағы нысанды анықтау мүмкіндігін тап.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$\lambda = 15 \text{ см}$ $n = 4000$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $t = 2 \mu\text{с} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$	$H = \frac{t \cdot c}{\lambda} = \nu T$ $L_{\text{макс}} = \frac{1}{2} c \left( \frac{1}{n} - t \right)$	$N = \left( \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^{-2}} \right) = 4 \cdot 10^3.$ $L_{\text{макс}} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^8 \left( \frac{1}{4000} - 2 \cdot 10^{-6} \right) \text{ км} \approx$ $\approx 37,5 \text{ км}$
Табу керек: $H = ?$ $L_{\text{макс}} = ?$		Жауабы: $H = 4000$ ; $L_{\text{макс}} \approx 37,5 \text{ км}$ .



1. Радиоқабылдағышта детектор қандай міндет атқарады?
2. Қабылдағышқа кіру контуры не үшін қажет?
3. Радиолокатордың көмегімен нысанға дейінгі қашықтық қалай өлшенеді?
4. Ең қарапайым радиоқабылдағышта конденсатордың сыйымдылығы 4 есе төмендесе, радиоқабылдағыш қабылдайтын электромагниттік толқынның ұзындығы қалай өзгереді?



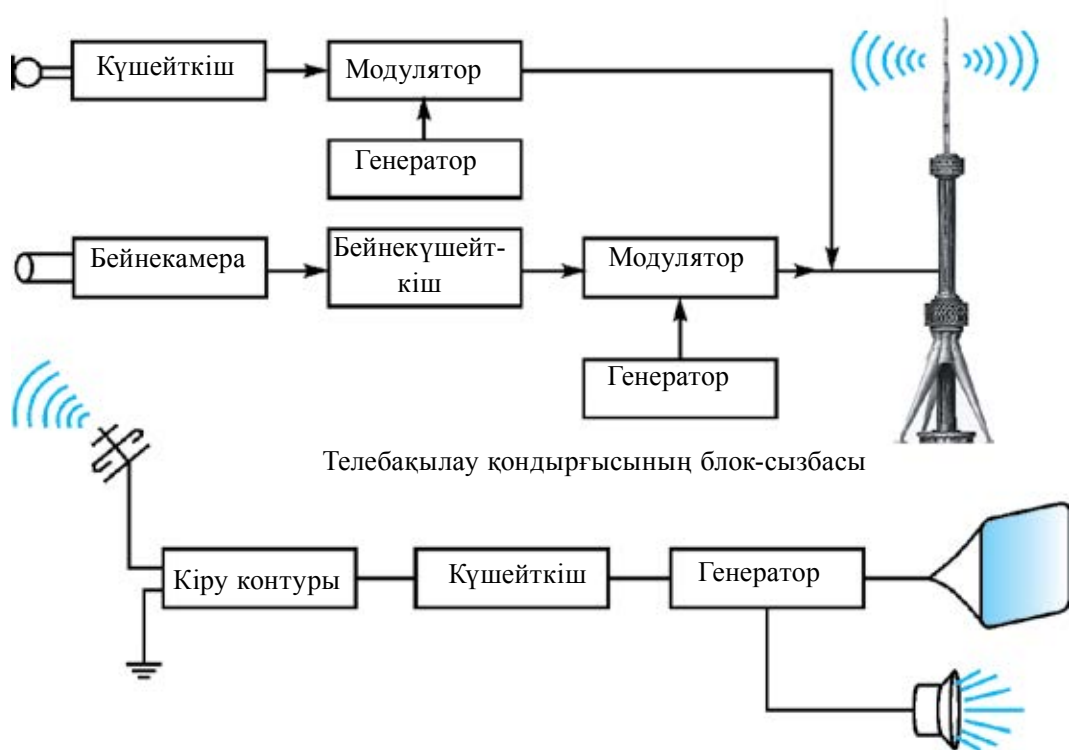
4.10-суретте келтірілген детекторлы қабылдағышты жасап, қолданып көр.

## 24-тақырып. ТЕЛЕХАБАРЛАРДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ. ТАШКЕНТ – ТЕЛЭВИДЕНИЕ ОТАНЫ

Бүгінгі таңда теледидар көрмейтін оқушы жоқ болса керек. Өзімізді қоршаған орта туралы мағлұматтарды, сан түрлі көңілашар көрсетілімдер мен мультфильмдерді барша қызыға тамашалайды. Бұдан тыс өмірімізде болып жатқан жақсы күндерді, тойларды, салтанатты шаралар мен жиындарды да бейнетаспаға түсіріп, кейін қалаған уақытымызда көре аламыз. Айға, Шолпан мен Марсқа тікелей бармай-ақ, оның сыртқы келбетін ғарыш кемесіне орнатылған телекамералар көмегімен бақылап отырғанымыз да – телевидение жетістіктерінің арқасы. Қош, бейнетаспалар бір орыннан екінші орынға қалай беріледі? Сигналдар қабылданған жерінде қалайша бейнеүзіндіге айналады?

Осы іспеттес сұрақтар оқушылардың көпшілігін қызықтырады сөзсіз, әрине. Телехабарлар жүзеге асырылатын қондырғының қарапайым блок-сызбасы 4.12-суретте келтірілген.





4.12-сурет.

Өткен тақырыпта дыбыс тербелістері микрофонның көмегімен электр тербелістеріне айналатыны жөнінде айтылған болатын. Нақ солайша бейне де алдымен электр сигналдарына айналдырылады. Бұл үдеріс *бейнекамера* деп аталатын қондырғыда жүзеге асырылады. Бейнекамерада пайда болған сигналдар арнаулы электрондық құрылғыда күшейтіледі.

Генераторда өндірілген жоғары жиілікті электромагниттік тербелістерге модулятор арқылы бейне сигналдары қосылады. Телеұзату қондырғысында арнайы радиоұзату бөлігі бар, оның жұмыс істеу үдерісі өткен тақырыпта әңгімеленген қондырғыдан ерекше емес.

Телеұзату қондырғысының соңғы блогында модуляцияланған дауыс және бейне сигналдары біртұтас күйінде таратушы антеннаға беріледі.

Телеқабылдағыш қондырғысындағы антеннада телесигналдар электр тербелістеріне айналдырылады. Кіру контуры арқылы қажетті бағдарлама таңдап алынады. Бөліп алынған әлсіз сигнал арнайы электрондық блокта күшейтіліп, детекторға жіберіледі. Детектор жоғары жиілікті сигналдан бейне және дауыс сигналдарын бөліп береді. Бейне сигналы теледидар экранына, ал дауыс сигналы радиокернейге беріледі.

Қазіргі заман теледидарлары түрлі түсті, дауысы да түрлі әуен-ырғақтармен шығатын, ұзақ қашықтықтан басқарылатын етіп жасалады. Соған орай теледидарда жоғарыда келтірілген блоктардан тыс қосымша блоктар да болады.

Телехабарлар жиіліктері 50 МГц және 230 МГц аралығында болатын диапазонда таратылады. Бұндай толқындар тек антеннаның көрініс шекарасында ғана таралады. Сондықтан үлкен аумақты телехабармен қамтып алу үшін телехабар таратушылардың биіктігін арттыру және оларды тығыздықпен орналастыру қажет болады. Телехабарларды тағы да ұзағыраққа жіберу үшін жерсеріктік байланыс жүйесін пайдалануға болады.

1911 жылдың 9 мамырында Санкт-Петербург технология институтында Б.Л.Розинг электрон сәулелі трубканың экранында тордың қозғалмайтын бейнесін жасады.

Телевидениенің бұдан кейінгі дамуы Ташкент қаласымен тығыз байланысты. Орта Азия мемлекеттік университетінің лаборанты Борис Павлович Грабовский қозғалысты бейне бере алатын телевизиялық аппарат жасаумен шұғылданады. Инженерлер В.И.Попов пен Н.Г.Пискунов бірігіп “радиотелефот” аппаратының конструкциясын жасайды. Бұл жаңалыққа 1925 жылғы 9 қарашада тіркеу нөмірі №4899 куәлік және №5592 патент берілген. Бұл жоба бүгінгі заман телевизия жүйесінің барлық элементтерін қамтиды. Әрине, бұл “радио арқылы көру” жобасын жүзеге асыру үшін қосымша аппаратура мен құрал-жабдықтар қажет еді. Сонда Б.П.Грабовскийдің көмекшісі И.Ф.Белянский Өзбекстан ОАК Президиумының Төрағасы Ю.Ахунбабаевқа көмек сұрап, өтініш жазады. Республика басшылығы өнертапқыштарға жеткілікті мөлшерде қаржы бөледі. Телевизиялық қондырғы үшін Ташкенттің барлық кәсіпорындары мен зертханаларына тапсырыстар беріліп, орындалады.

Қазіргі заман теледидарының атасы “Телефоттың” ресми сынағы 1928 жылы 26 шілде күні округтік байланыс үйінде Орта Азия мемлекеттік университетінің профессоры Н.Н.Златовскийдің төрағалығымен өтеді. Онда тұңғыш рет қозғалыс үстіндегі адамның бейнесі көрінеді. 4 тамыз күні Ташкент қаласының Әлішер Науаи көшесінде жүріп бара жатқан трамвайдың бейнесі “телефот” арқылы көрсетіледі. “Телефот” жетілдірілді: оның басқа варианттары жасалды және ізденістерге бүкіл дүние жүзінің ғалымдары мен инженерлері ат салысып, теледидар бүгінгі көрінісіне ие болды. Сондықтан да біз: “Телевидениенің отаны – Ташкент!” – деп, бар даусымызбен жар салып айта аламыз.

\* 1956 жылы бұрынғы Орта Азия республикалары арасында бірінші болып Ташкентте ақ-қара түсті телевизия орталығы іске қосылды. Бұрынғы

КСРО-да 1990 жылға дейін тек екі-ақ канал – “Бірінші (Мәскеу)” және “Екінші (Орбита)” бүкілодақтық каналдары бар еді. Көптеген жерлерде үшінші жергілікті бағдарлама бойынша да телехабарлар жүргізілген. Ташкентте 4-бағдарлама ретінде алма-кезек Қырғызстан мен Тәжікстан телевидениесінің хабарлары көрсетіліп тұрған. 1956 жылы Ташкентте биіктігі 180 м-лік телемұнара құрылып, телехабарлар тұрақты берілетін болды. 1967 жылы СЭКАМ атты түрлі түсті телехабар жүйесі жұмыс істей бастады. Ал 1978–1985 жылдар аралығында Ташкент қаласындағы Бозсу каналының оң жағалауында биіктігі 375 метрлік телемұнара салынып, пайдалануға берілді. Оның жер астындағы бөлігінің биіктігі 11 метр, жалпы салмағы 6000 тоннадан асады. Телемұнара Орталық Азияда бірінші орында, ал дүние жүзінде Останкино (Мәскеу), Торонто (Канада), Токио (Жапония) телемұнараларынан соңғы 9-орында тұрады. Өзбекстанда 4 мемлекеттік канал – ӨзТВ–1, ӨзТВ–2, ӨзТВ–3 және ӨзТВ–4 болған. Соңғы екеуі Ресей каналдарын көрсеткен. 1998 жылы “30-канал” деп аталатын алғашқы жекеменшік телеканал іске түсті. 2008 жылы оның жиілігінде орыс тілінде хабарлар жүргізетін “Соф ТС” өз жұмысын бастады. Кейінгі жылдарда көптеген жекеменшік телеканалдар ашылды. 2017 жылы тәулік бойы жұмыс істейтін “Өзбекстан 24” каналы іске қосылды.



1. *Телехабарлардағы бейнелер ненің көмегімен электр сигналдарына айналады?*
2. *Неліктен Ташкентті телевидение отаны дейді?*
3. *Телемұнараның биіктігі артқан сайын телехабарларды жіберудің ұзақтығы қалай өзгереді?*

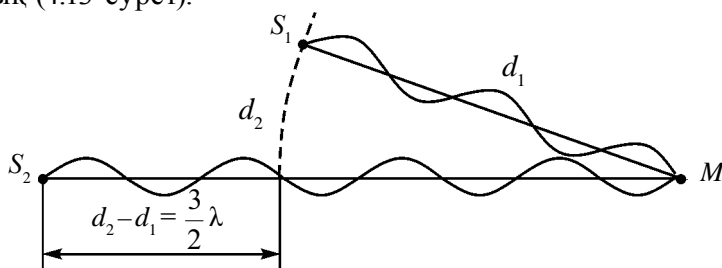


*Өз үйіңдегі теледидар жұмыс істеп тұрған кезде оны бір бағдарламадан екінші бағдарламаға ауыстыр, сосын дауыс биіктігін өзгерт. Пульттің көмегімен олардың неліктен өзгеретіні жөнінде ойланып көр.*

## 25-тақырып. ЖАРЫҚ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ МЕН ДИФРАКЦИЯСЫ

Көктемгі жаңбырдан кейін аспанда пайда болатын кемпіркөсақ, сабын көпіршігі немесе асфальтқа төгілген май бетінде көрінетін түрлі түсті жолақтарды көріп сүйсінеміз, жанымыз рақаттанады. Бірақ оның пайда болу себептері жөнінде ойлап та отырмаймыз. Бұлардың себебі – жарық интерференциясы. Интерференция құбылысы кез келген табиғатқа ие болатын толқындарға тән. Бұл құбылыстың мәнін түсініп алу үшін үйренуді механикалық толқындар интерференциясынан бастаймыз.

Толқындар бірер ортада таралғанда, олардың әрқайсысы бір-бірінен тәуелсіз түрде нақ басқа толқындар жоқтай болып таралады. Бұны толқындар таралуының *суперпозициялық (тәуелсіздік) қағидаты* дейді. Ортадағы түйіршіктің қалаған уақыттағы нәтижелік жылжуы түйіршік қатысқан толқын үдерістері жылжуларының *геометриялық жиындысына* тең болады. Мысалы, ортада екі толқын таралып жатқан болса, олар жетіп барған нүктедегі түйіршікті бір-бірінен тәуелсіз түрде тербетеді. Егер бұл толқындардың жиіліктері тең, ал фазаларының айырмасы тұрақты болса, онда олар кездескен нүктесінде бірін-бірі күшейтеді немесе әлсіретеді. Бұл құбылысты *толқындар интерференциясы* дейді. Жиіліктері тең және фазаларының айырмасы тұрақты толқындар *когерентті толқындар* деп аталады. Демек, когерентті толқындардың кездескенде бір-бірін күшейту немесе әлсіздендіру құбылысы *толқындар интерференциясы* деп аталады. Олар қандай жағдайда бір-бірін күшейтеді немесе әлсіретеді? Бұны білу үшін су бетінде екі когерентті  $S_1$  және  $S_2$  көзден шыққан толқындардың кездесуін қарастырайық (4.13-сурет).



4.13-сурет.

$S_1$  көзден шыққан толқынның  $M$  нүктеге дейін басып өткен қашықтығы  $d_1$ ,  $S_2$  көзден шыққан толқынның  $M$  нүктеге дейін басып өткен қашықтығы  $d_2$  болсын делік. Ондай жағдайда  $d_2 - d_1 = \Delta d$  – толқындардың жол айырмасы болып саналады. Егер жол айырмасы жарты толқын ұзындығының жұп санына еселенген болса:

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k=0, 1, 2, \dots), \quad (4-6)$$

бұл нүктеде тербелістердің күшейгені байқалады. (4–6) қатынас *интерференцияның максималдық шарты* деп аталады.

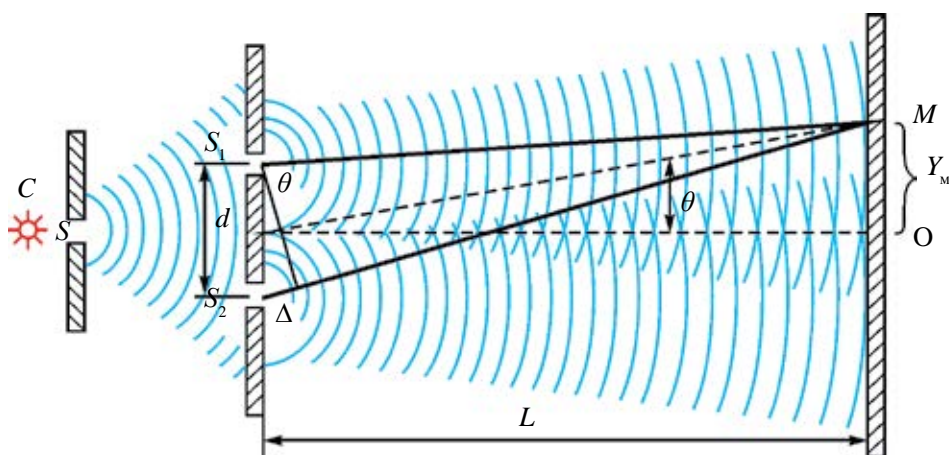
Жол айырмасы жарты толқын ұзындығының тақ санына еселенген болса:

$$\Delta d = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (k=0, 1, 2, \dots), \quad (4-7)$$

бұл нүктеде тербелістердің әлсірегені байқалады.

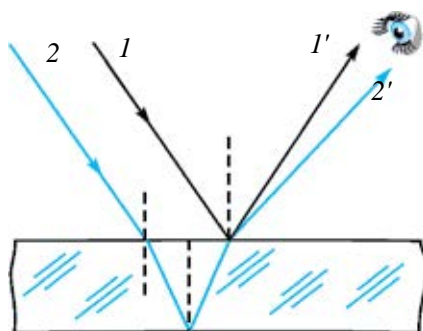
Жарық интерференциясы толқындар интерференциясының тәуелсіз жағдайы болып саналады. Оны бақылау үшін екі когерентті көзден шыққан жарық толқындарын кеңістіктің белгілі бір нүктесіне орналастыру керек. Бірақ қаншалықты таңдасақ та, екі дербес көзден шыққан жарық сәулелері когерентті болмайды. Соған орай, негізінен бір көзден шыққан жарық сәулесін жасанды түрде екіге бөліп, когерентті толқын жасауға тура келеді.

**1. Юнг әдісі** (1801 жыл). Оның әдісі 4.14-суретте келтірілген. Күн сәулесі қараңғы бөлмеге шағын  $S$  тесік арқылы енеді. Бұл сәуле екі  $S_1$  және  $S_2$  тесіктерінен өтіп, екі сәулеге бөлінеді. Олар экранда кездескенде, орталық бөлігінде ақ жолақ, шеткі бөліктерінде түсті жолақтар туындайды. Юнг өз тәжірибелерінде жарық толқынының ұзындығын анық табады. Ол спектрдің шеткі күлгін түсті бөлігі үшін толқын ұзындығын  $0,42 \mu\text{m}$ , қызыл жарық үшін  $0,7 \mu\text{m}$  деп алады.



4.14-сурет.

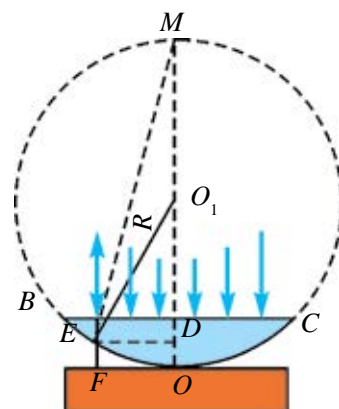
**2. Жұқа пленкадағы түстер.** Асфальтқа төгілген майдағы және сабын көпіршігіндегі түстерге қайта оралайық. Жұқа пленкаға ақ сәуле түсіп тұр делік (4.15-сурет). Түсіп тұрған толқынның бір бөлігі (1-толқын) пленканың үстіңгі бөлігінен қайтады. Бір бөлігі пленка ішіне өтіп, оның төменгі бөлігінен қайтады (2-толқын).



4.15-сурет.

Қайтқан толқындардың екеуінің де (1- және 2-толқындар) жүрген жолдарында айырма бар. Олар біздің көзімізде кездескенде интерференция құбылысы көрінеді. Ақ сәуле толқын ұзындығы 380-ден 760 мм-ге дейінгі аралықта болған толқындардан тұратындықтан қабылдаушының түрлі нүктелерінде бір-бірін күшейтеді де, түсті бейне болып көрінеді.

**3. Ньютон қалқалары.** Жұқа пластина үстіне дөңес бетті линза қойылған делік (4.16-сурет). Бұнда жалпақ параллель пластина мен оған  $O$  нүктеде тиетін линза беті аралығында ауа қабаты болады. Линзаның жалпақ бетіне түскен жарық ауа қабатының үстіңгі және астыңғы бетінен шағылып қайтады. Бұл сәулелер кездескенде интерференция құбылысы айқын көрінеді.



Егер құрылғы монохроматикалық жарықпен сәулелендірілсе, интерференциялық көрініс жарық және қараңғы қалқалар пішінінде болады. Егер құрылғы ақ жарықпен сәулелендірілсе, линзаның жазықтыққа тию нүктесінен шағылып қайтқан сәуледе қара дақ көрінеді. Оның айналасына түсті қалқалар орналасады. Тиісті сандағы қалқаның диаметрін өлшеп, жарықтың толқын ұзындығын немесе линзаның қисықтық радиусын анықтауға болады:



4.16-сурет

$r_{\text{жар}} = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda R}$  – жарық қалқалар радиусы;  $R$  – линзаның қисықтық радиусы,  $m=0, 1, 2, 3 \dots$

$r_{\text{қар.}} = \sqrt{m\lambda R}$  – қараңғы қалқалар радиусы.

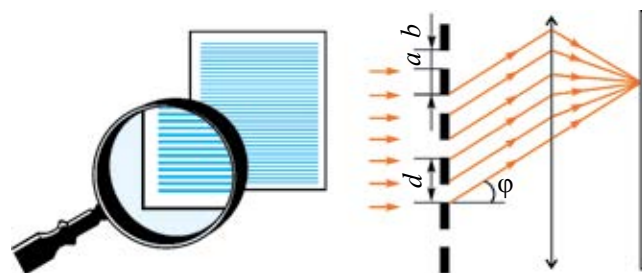
**Жарық дифракциясы.** Адамзат жарықтың өз жолында кездескен кедергінің шеткі бөлігінен кіретінін бұдан сан ғасырлар бұрын-ақ білген. Бұл құбылыстың ғылыми сипаттамасын бірінші болып Ф.Гримальди берді. Ол заттар артында пайда болатын көлеңкенің бұлыңғырлау болатын себебін түсіндіреді де, оны дифракция деп атайды. Сонымен, *толқынның өз жолында кездескен кедергіні айналып өтуі толқындар дифракциясы* деп аталады. Бұнда жарықтың түзу сызық бойымен таралу заңы орындалмайды. Дифракция құбылысын бақылау үшін кедергінің өлшемі оған түсетін толқын ұзындығынан кіші болуы керек. Бұнда да тесіктің өлшемі оған түсетін жарық толқыны ұзындығынан кіші болуға тиіс.

Жарқын да анық дифракциялық көріністі алу және бақылау үшін дифракциялық тор пайдаланылады. Дифракциялық тор – жарық дифракциясы бақыланатын көп санды кедергілер мен тесіктер жиындысынан құралады. Дифракциялық тор тесіктерінің орналасуына қарай екі түрге бөлінеді: *ретті (мінсіз) және ретсіз дифракциялық торлар*.

Ретті дифракциялық тордың тесіктері белгілі бір қатаң тәртіп бойынша орналасады. Ал ретсіз дифракциялық тордың тесіктері тәртіпсіз, бейберекет орналасады.

Жалпақ ретті дифракциялық торды дайындау үшін алмастың көмегімен мөлдір пластинаға параллель және бір-біріне өте жақын орналасқан сызықтар жүргізіледі. Сызықтар кедергіні, ал олардың арасы тесік міндетін өтейді. Тесіктің ені  $a$ , кедергінің ені  $b$  болсын. Ондай жағдайда  $a + b = d$  **тордың тұрақтысы** немесе **кезеңі** деп аталады.

Жарықтың дифракциялық тордан өтуін қарастырайық (4.17-сурет).



4.17-сурет.

Бұнда монохроматикалық сәуле тордың жазық бетіне тік түсіп жатыр делік. Тесіктен өткен сәулелер дифракция құбылысына орай  $\varphi$  бұрышқа бұрылады. Олар жиналып, экранға түсіріледі. Экранда дифракциялық көрініс – кара қошқыл түсті аралықтармен бөлінген жарық жолақтар қатары көрінеді.



Бұнда тордың тұрақтысы  $d$ , жарықтың толқын ұзындығы  $\lambda$ , сәулениң торға бұрылу бұрышы  $\varphi$  төмендегі формуланың көмегімен өзара байланған болады:

$$d \sin \varphi = n \lambda; \quad (4 - 8)$$

Бұл жерде:  $n$  – дифракциялық максимумдардың рет саны. Егер  $n = k$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) болса, сәулелер кездескенде бірін-бірі күшейтеді.  $n = \frac{2k+1}{2}$  болғанда сәулелер бірін-бірі әлсіретеді.

Жарықта байқалатын интерференция және дифракция құбылыстары оның толқындық қасиетке ие екендігін дәлелдейді. Бұл құбылыстар техникада кең пайдаланылады. Мысалы, интерферометр деп аталатын құрал өте сезімтал болғандықтан, онымен өте шағын бұрыштарды дәл өлшеу, жарықтың толқын ұзындығын анықтау, өте ұсақ киындылардың ұзындығын білу, әр түрлі заттардың сәуле алғырлығы көрсеткішін анықтау, беттің кедір-бұдырлығын тексеру және жалтырақтық дәрежесін анықтау істері орындалады.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Дифракциялық торға толқын ұзындығы 500 нм монохроматикалық жарық түсіп тұр. Екінші реттегі спектр  $30^\circ$  бұрыш астында көрінсе, бұл тордың тұрақтысы неге тең болады?

Берілгені: $\lambda = 500 \text{ нм} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ $n = 2$ $\varphi = 30^\circ$ Табу керек: $d = ?$	Ф о р м у л а с ы: $d \sin \varphi = n \lambda$ $d = \frac{n \lambda}{\sin \varphi}$	Ш е ш у і: $d = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{\sin 30^\circ} \text{ м} =$ $= \frac{10^{-6}}{0,5} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$ Жауабы: $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$
---	--	---



1. Неліктен қуаттары бірдей және бір кәсіпорында өндірілген екі шамнан шыққан жарық интерференция жасай алмайды?
2. Дифракция құбылысын қай жерлерде пайдалануға болады?
3. Дифракциялық торда бақыланатын спектрдің рет саны шектелген бе?
4. Интерференция құбылысын бақылағанда жол айырмасы  $3,5 \lambda$ -ға тең болса, нелер байқалады?



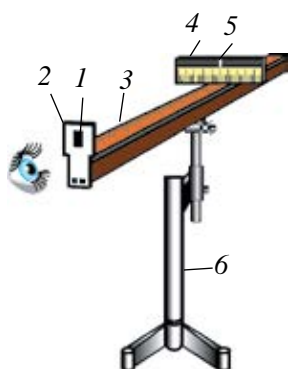
Компьютер дискісін және лазерді пайдаланып, интерференция мен дифракцияға қатысты тәжірибе өткіз.



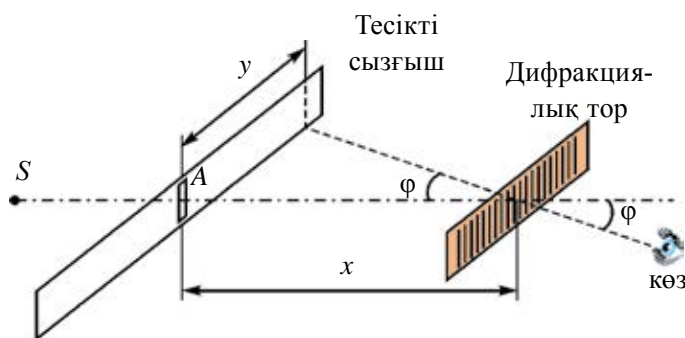
## 26-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: ДИФРАКЦИЯЛЫҚ ТОРДЫҢ КӨМЕГІМЕН ЖАРЫҚТЫҢ ТОЛҚЫН ҰЗЫНДЫҒЫН АНЫҚТАУ

**Жұмыстың мақсаты.** Жарықтың толқын ұзындығын дифракциялық тордың көмегімен анықтауды үйрену.

**Керекті аспаптар мен жабдықтар.** 1. Тордың тұрақтысы  $\frac{1}{100}$  мм немесе  $\frac{1}{50}$  мм-лік дифракциялық тор. 2. Жарық көзі. 3. Ортасында тесігі бар қара экран. 4. Миллиметрлік масштабы бар ұзын және қысқа сызғыштар. 5. Аспаптар орнатылған қондырғы (4.18-сурет).



4.18-сурет.



4.19-сурет.

**Жұмыстың орындалуы.** Аспаптар орнатылған қондырғы (6) үстіне миллиметрлік масштабы ұзын сызғыш (3) орнатылады. Оның бір ұшына ортасында тесігі бар (5) қара экран (4) орналастырылады. Қара экранға миллиметрлік масштабты қысқа сызғыш бекітілген. Қара экран ұзын сызғышты бойлап жылжи алатын етіп орнатылады. Ұзын сызғыштың екінші ұшындағы тұтқаға (2) дифракциялық тор бекітіледі. Жарық көзі іске қосылады. Тор мен тесік арқылы өткен жарық көзіне қарағанда, тесіктің екі жағынан дифракциялық спектрлердің бірінші, екінші және тағы басқа реттері көрінеді. Тесігі бар сызғышты немесе дифракциялық торды ұзын сызғыш бойымен жылжытып, бірінші реттегі қызыл сәуле шкаладағы бүтін санның қарсысына апарылады. Тесіктен таңдалған сәулеге дейінгі аралық –  $\lambda$  анықтап алынады (4.19-сурет). Содан соң дифракциялық тордан тесікті сызғышқа дейінгі қашықтық –  $x$  өлшенеді. Бұнда  $y \ll x$  екендіктен  $\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi$  деп алынады.  $\text{tg} \varphi = \frac{y}{x}$  екендігін ескеріп, (4–8) формуласынан жарықтың толқын ұзындығы есептеп шығарылады:

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{n} = \frac{d \cdot \operatorname{tg} \varphi}{n} = \frac{d \cdot y}{n \cdot x};$$

Бұл жерде:  $\lambda$  – жарық толқынының ұзындығы,  $d$  – тор тұрақтысы.

Тәжірибені екінші және үшінші ретте қызыл сәулеге арнап өткізуге болады. Соған ұқсас тәжірибелер сол жақта орналасқан спектрлер үшін орындалады.

Өлшеу және есептеу нәтижелері төмендегі кестеге жазылады.

Сәуле түсі	$x$ , мм	$y$ , мм	$n$ , спектрдің рет саны	$\lambda$ , нм	$\lambda_{\text{орт}}$ , нм	$\Delta\lambda =  \lambda_{\text{орт}} - \Delta\lambda $	$\Delta\lambda_{\text{орт}}$	Салыстырмалы қателік $E_{\text{салыст.}} = \frac{\Delta\lambda_{\text{орт}}}{\lambda_{\text{орт}}}$

Алынған нәтижелердің орташа мәні, абсолют және салыстырмалы қателіктер есептеледі.

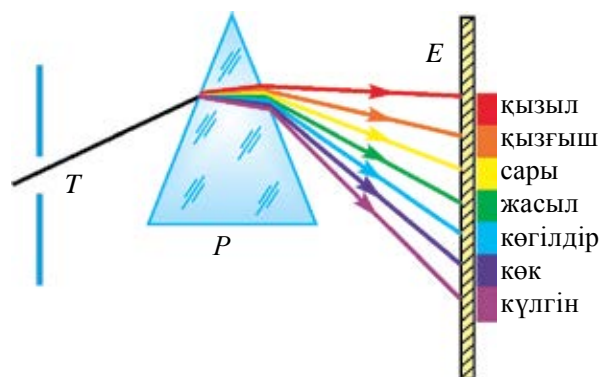
Нәтижелер оң және сол жақтар үшін салыстырылады.



1. Тәжірибелердің анықтығы спектрдің рет санының артуына байланысты қалай өзгереді?
2. Дифракциялық тор периодының артуы өлшеулердің дәлдігіне қандай әсерін тигізеді?
3. Тәжірибені монохроматикалық сәулемен (лазер сәулесі) өткізсе қандай көрініс байқалады?
4. Ақ сәулемен тәжірибе жүргізілсе, дифракциялық көрініс орталығында неліктен ақ жолақ пайда болады?

## 27-тақырып. ЖАРЫҚ ДИСПЕРСИЯСЫ. СПЕКТРЛІК ТАЛДАУ

Алуан түрлі денелер мен заттардың түсі жөніндегі сұрақ адам баласын сонау көне замандардан бері қызықтырып келеді. Неліктен Күн қызарып батады? Неліктен кемпірқосақ пайда болады? Жарық кейбір минералдар арқылы өткенде, олар неліктен түрлі түсті болып көрінеді? Бұндай сұрақтарға жауапты Ньютон заманында ғана табуға мүмкіндік туды. 1666 жылы И.Ньютон өзі жүргізген тәжірибе жөнінде төмендегілерді жазады: “Мен түрлі пішіндегі оптикалық шыныларды өңдеу кезінде түстер жайлы белгілі құбылыстарды тексеріп көру үшін үшбұрышты шыны призма дайындадым. Мен осы мақсатпен бөлмемді қараңғылап, күн сәулесі түсуі үшін терезе әйнегіне өте шағын тесік жасадым. Сол тесікке призمانы одан сынған сәуле қабырғаға түсетіндей етіп орналастырдым. Осындай әдіспен алынған алуан түрлі және күшейтілген түстерді көру және бақылау менде үлкен қызығу оятты.” Жарық призма арқылы өткенде пайда болған әр түрлі түстер жинағын Ньютон *спектр* (латынша “спектрум” – көру) деп атады (4.20-сурет).



4.20-сурет.

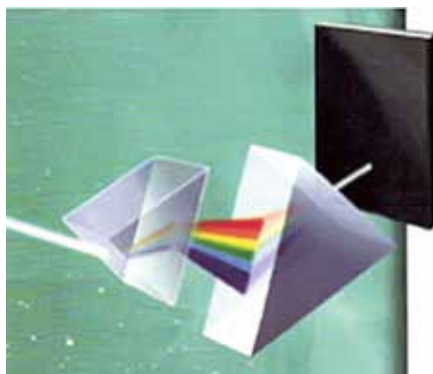
Ньютон тесікті қызыл түсті шынымен бекіткенде қабырғада тек қызыл түсті дақ, жасыл түсті шынымен бекіткенде – тек жасыл дақ қана болатынын бақылайды. Бұл ретте ол сәулелердің сынғанын да зерттейді және әр түрлі түстердің әр түрлі сынаатынын байқайды.

Мысалы, қызыл түс басқаларға карағанда азырақ сынса, күлгін түс барлығынан да күшті сынады.

Ньютон бұның себебін білмейді. Бірақ бұл тәжірибе ақ түстің өте күрделі түс екенін көрсетеді. Ол негізінен жеті түстен тұрады екен: қызыл, қызғыш, сары, жасыл, көгілдір, көк және күлгін. Ньютонның ақ түстің күрделілігін

дәлелдейтін басқа да тәжірибелері бар. И.Ньютон бір шеңберді алып, оны сектор түрінде негізгі жеті түспен бояп қояды. Бұл шеңбер двигательдің айналу білігіне бекітіледі. Айналудың белгілі бір жылдамдығында түсті шеңбер ақ болып көрінеді.

Егер бірінші призмадан өтіп, түстерге бөлінген жарық жолына бірінші призмаға карағанда  $180^\circ$ -қа бұрылған призма қойылса, бұл призма жинаушы линза міндетін атқарады. Одан шыққан жарық шоғыры жинақталған нүктесінде ақ түсті болады (4.21-сурет).



4.21-сурет

Ньютон ашқан бұл құбылыс жарық дисперсиясы (латынша “дисперге” – шашып тастау) деп аталды. Осылайша Ньютон Күннен келетін ақ сәуле барлық түстегі сәулелердің жиынтығынан құралатынын дәлелдейді. Күн нұры астында нәрселер мен заттардың түрлі түспен көрінуінің себебі – олардың түстерді жұтуы, ал кейбіреулерінің кері қайтаруы болып табылады. Абсолют кара түсті дене барлық сәулелерді жұтады, ал ақ түсті дене кері қайтарады.

Жарық толқыны теориясына орай, жарық – кеңістікте өте үлкен жылдамдықпен таралатын толқындар. Оның түсі жиілігіне байланысты болып табылады.

Жарық толқындарының толқын ұзындығы өте шағын. Мысалы, қызыл сәуленің толқын ұзындығы өте үлкен, оның мәні  $\lambda_q = 7,6 \cdot 10^{-7}$  м-ге тең. Ал ең кішкене толқынның ұзындығы күлгін түске тиесілі, оның шамасы  $\lambda_p = 3,8 \cdot 10^{-7}$  м. Басқа сәулелердің толқын ұзындығы олардың аралығында жатады.

1873 жылы ағылшын ғалымы Дж.Максвелл жарықтың  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с жылдамдықпен таралатын электромагниттік толқындардан тұратынын теориялық тұрғыдан дәлелдеді. Бұл теорияны Г. Герц тәжірибе жүзінде сынап, растағаны Сендерге белгілі.

Жарық бір ортадан екінші ортаға өткенінде, оның толқын ұзындығы өзгереді, бірақ жиілігі өзгермейді. Бізге белгілі болғанындай, толқын жылдамдығы  $v$ , оның ұзындығы  $\lambda$  және жиілігі  $\nu$  төмендегідей өзара байланысады:

$$v = \lambda\nu.$$

Бұдан ортада түрлі түске ие болған сәулелердің алуан түрлі жылдамдықпен таралатыны келіп шығады. Егер ортаның сәуле сындыру көрсеткіші  $n$ -нің жарықтың вакуумдағы таралу жылдамдығы  $c$ -мен және ортадағы таралу жылдамдығы  $v$ -мен байланыстылығы (9-сыныпта өтілгенді есіңе түсір)

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

ескерілсе, ортаның сәуле сындыру көрсеткіші әр түрлі сәулелер үшін әр түрлі болатыны келіп шығады.

**Сәуле сындыру көрсеткішінің жарық толқыны ұзындығына тәуелділігі *дисперсия* деп аталады.**

Бұл – дисперсияға берілген екінші сипаттама. Бұдан призмадан өткен сәулелердің неліктен әр түрлі бұрыштарға ауытқуының себептерін түсініп алуға болады. Демек, қызыл сәулелердің кез келген ортадағы жылдамдығы күлгін сәуленікінен үлкен болады. Мысалы, суда  $v_q = 228\,000$  км/с,  $v_b = 227\,000$  км/с, көміртегі сульфидінде  $v_q = 185\,000$  км/с,  $v_b = 177\,000$  км/с. Вакуумда жарық дисперсиясы болмайды, өйткені онда барша жарық толқындары бірдей жылдамдықпен таралады.

1807 жылы ағылшын физигі Томас Юнг қызыл, жасыл және көгілдір түстерді түрлендіріп, ақ түсті алу мүмкіндігін дәлелдеді. Сондай-ақ қызыл, жасыл және көгілдір түстерді де түрлендіру жолымен басқа түстерді алуға болады (4.22-сурет).



4.22-сурет.

Т. Юнг қызыл, жасыл және көгілдір түстерді бірінші сәулелер деп атады. Осы бірінші түстердің бірде-бірін басқа ешқандай түстерді түрлендіру жолымен алу мүмкін емес. Бұны экранға қызыл, жасыл және көгілдір сәулелерді түсіру арқылы оп-онай тексеруге болады. Барлық үш түс те біріккен яки қосылған жерде ақ түс пайда болады. Қызыл түс пен көгілдір түс қосылғанда – қоңырлау, ал қызыл мен жасыл түс қосылғанда сары түс

пайда болады. Бүгінгі заман теледидарлары мен компьютерлер экранындағы түрлі түсті бейнелер сол үш түстің қосылуынан туындайды.

Алуан түрлі жарық көздерінен шыққан жарықты призмадан өткізгенде, олардың бірде-біреуі (лазерден басқасы) монохроматикалық, яғни тек жалғыз ғана жиілігі бар сәулені шығармайтыны анықталды. Қыздырылған элементтер де өзіне тән спектрдегі сәулелерді шығарады. Олардың спектрлерін үш түрге бөліп қарауға болады.

**Тұтас спектр.** Күн спектрі немесе шоғыр талшықты шамнан шыққан жарық тұтас спектрге ие болады. Зат қатты немесе сұйық күйде болғанда және күшпен сығылған газдар шығарған жарықтың спектрі тұтас болады.

**Жолақты спектр.** Бір-бірімен байланыспаған немесе әлсіз байланысқан кейбір молекулалар шығарған жарық жолақты көрініске ие болады. Жолақтар бір-бірінен қараңғы иірімдермен бөлініп тұрады.

**Сызықты спектрлер.** Бұндай спектрде жалғыз-ақ сызық болады. Ол спектрлерді бір-бірімен байланыспаған атомдар шығарады. Бір-бірінен бөлінген атомдар жалғыз ғана толқын ұзындығына ие сәуле шығарады.

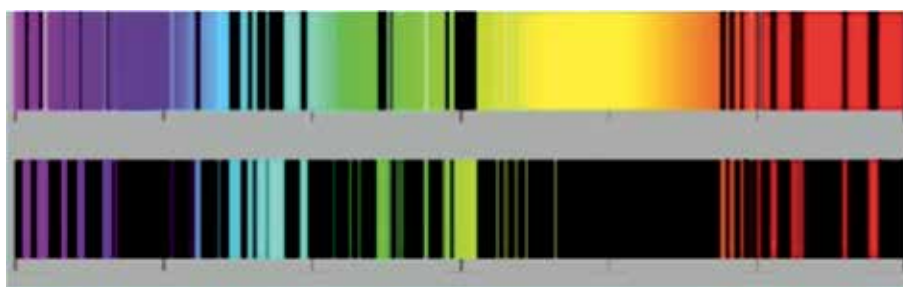
**Жұтылу спектрлері.** Шамнан шығып жатқан жарық жолына қызыл шыны қойылса, одан тек қызыл жарық қана өтеді де, қалған сәулелер жұтылып қалады. Егер ақ сәулені сәулеленбеген газ арқылы өткізсе, жарық көзінің үздіксіз спектрі фонында қара сызықтар пайда болады. Бұның себебі – газдың белгілі бір жиілікті сәулелерді жұтуы. Зерттеулерден анықталғанындай, газ қызған кезінде қандай жиілікті сәулелерді шығарса, нақ сондай жиілікті сәулелерді жұтады екен.

Кез келген химиялық элементтің өзіне тән спектрі болады. Әрбір адамның саусақ іздері тек өзіне ғана тән болғанындай, бір элементтің спектрі өзге элементтердікіне ұқсамайды.

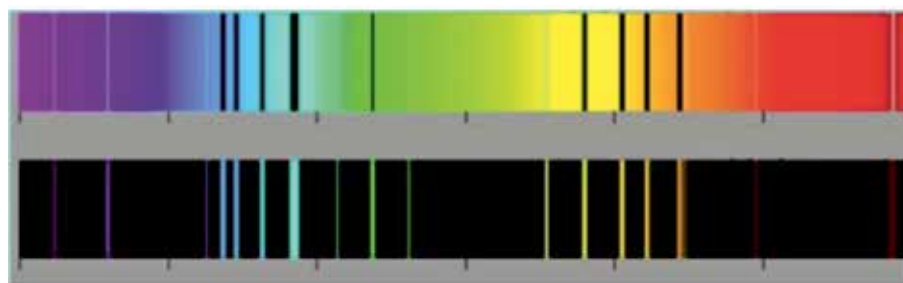
Осындай қасиеттерге орай, заттың химиялық құрамын анықтау **спектрлік талдау** деп аталады. Бұл өте сезімтал әдіс болғандықтан, тексеруге қажетті заттың массасы  $10^{-10}$  г-дан аспайды.

Бұндай талдау көбінесе сапалық сипатқа ие болады, яғни затта қайсы элемент бар екенін дәл де анық айтып беру мүмкін. Бірақ оның қанша мөлшерде екенін анықтау қиынға соғады. Өйткені заттың температурасы төмен болғанда, көптеген спектрлік сызықтар көрінбей қалады.

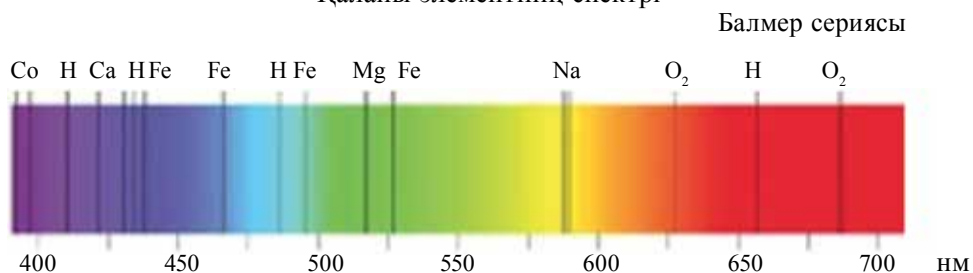
Бүгінгі таңда барлық атомдардың спектрлері анықталған, кестесі де жасалған (4.23-сурет). Спектрлік талдау әдісімен рубидий, цезий және басқа көптеген элементтер ашылған. Цезий сөзі “ғарыштық-көгілдір” деген мағынаны білдіреді.



Стронций элементінің спектрі



Қалайы элементінің спектрі



4.23-сурет.

Нақ осы спектрлік талдаудың көмегімен Күннің және жұлдыздардың химиялық құрамдарын анықтау мүмкіндігі пайда болды. Өйткені басқа әдістермен бұл мәселені анықтау мүмкін емес. Осы арада гелий элементі алдымен Күнде, содан соң Жер атмосферасында табылғанын айтып өткен орынды. Элементтің аты гелий – “күн шуақты” деген мағынаны білдіреді. Спектрлік талдау тек сәуле шығару спектрі арқылы емес, жұтылу спектрінің көмегімен жүргізіледі.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Линзаның сәуле сындыру көрсеткіші қызыл сәуле үшін 1,5-ке, ал күлгін сәуле үшін 1,52-ге тең. Линзаның екі жағы да бірдей қисықтық радиусына, яғни 1 м-ге тең. Қызыл және күлгін сәулелер үшін линзаның фокус қашықтығы арасындағы айырманы тап.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$n_{\kappa} = 1,5$ $n_{\kappa} = 1,52$ $R = 1 \text{ м}$	$\frac{1}{F} = (n-1) \frac{2}{R}$	$F_{\kappa} = \frac{1}{2(1,5-1)} \text{ м} = 1 \text{ м.}$
Табу керек: $\Delta F = ?$	$F = \frac{R}{2(n-1)}$ $\Delta F = F_{\kappa} - F_{\rho}$	$F_{\kappa} = \frac{1}{2(1,52-1)} \text{ м} = 0,961 \text{ м.}$ $\Delta F = 1 \text{ м} - 0,961 \text{ м} = 0,039 \text{ м}$
		<i>Жауабы: 3,9 см.</i>



1. Неліктен ақ сәуле призмадан өткенде түсті сәулелерге бөлініп кетеді?
2. Неліктен терезе әйнегі арқылы өткен Күн нұры спектрге бөлінбейді?
3. Күн сәулесі сұйықтықтан өткенде спектрге бөлінуі мүмкін бе?
4. Спектрлік талдау көмегімен сұйықтықтың құрамын анықтауға бола ма?
5. Дифракция нәтижесінде пайда болған спектр мен дисперсия спектрі арасында қандай айырма бар?

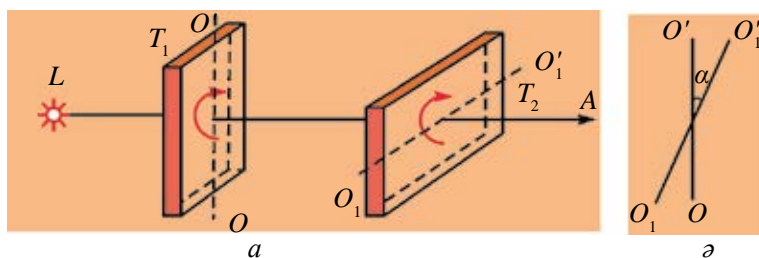
## 28-тақырып. ЖАРЫҚТЫҢ ПОЛЯРИЗАЦИЯЛАНУЫ

Жарық интерференциясы мен дифракциясы құбылыстары жарықтың толқындық табиғатын дәлелдеді. Сендерге 10-сыныптан толқындардың екі түрге: бойлық және ендік толқындарға бөлінетіні белгілі. Сонымен қатар бойлық толқындарда орта бөлшектерінің тербелу бағыты толқынның таралу бағытымен бірдей болатынын, ал ендік толқындарда олардың өзара перпендикуляр болатынын да білесіңдер.

Толқындар оптикасының негізін салушылар Юнг пен Френель ұзақ уақыт бойы жарық толқындарын бойлық толқындар деп санап келген. Өйткені бойлық механикалық толқындар қатты, сұйық және газ тәрізді ортада тарала алады. Ал ендік толқындар тек қатты денелерде ғана таралады. Әйтсе де өткізілген көптеген тәжірибелерде жарық толқындарын бойлық толқындар деп қарағанда, түсіндіру мүмкін еместігі дәлелденді. Солардың біреуін қарастырайық.

Тюрмалин кристалынан оның кристалл торы біліктерінің біреуіне параллель орналасқан жазықтық бойынша пластина қиып алынған делік. Бұл пластинаны жарық сәулесіне перпендикуляр етіп орналастырайық (4.24-сурет).





4.24-сурет.

Бұл пластинаны жарық сәулесі бағыты бойынша өткен білік төңірегінде айналдырайық. Бұнда турмалиннен өткен жарықтың интенсивтілігінде ешқандай өзгеріс болмағанын көреміз. Тәжірибені  $T_1$  пластинадан кейін тағы сондай  $T_2$  пластинаны қойып қайталаймыз. Бұл жолы  $T_1$  пластинаны тыныш күйде қалдырып,  $T_2$  пластинаны білік төңірегінде жайлап айналдырамыз. Сонда екі пластинадан өткен жарық интенсивтілігінің өзгере бастағанын байқаймыз. Жарықтың интенсивтілігі  $T_2$  пластинаның  $T_1$ -ге сәйкес бұрылғанына қарап (4.24-ә сурет), белгілі бір максималдық мәнінен нөлге дейін төмендейді екен. Зерттеулерден көрінгеніндей, егер екі пластинаның біліктері параллель болса – өткен сәулениң интенсивтілігі жоғары болады, ал перпендикуляр болса – нөлге тең болады. Тәжірибелер өткен жарықтың интенсивтілігі  $\cos^2\alpha$  -ға тәуелді екенін көрсетті.



4.25-сурет.

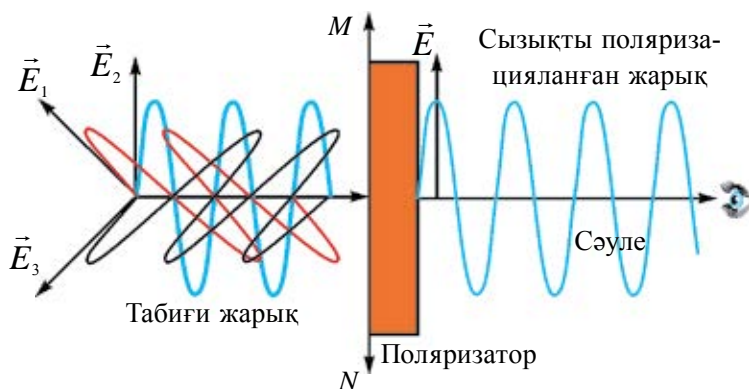
Бұл құбылысты түсіндіру үшін бойлық және ендік толқындардың тордан өтуін қарастырайық (4.25-сурет).

Алдымен арқан алып, оның бір ұшын бекітеміз. Екінші ұшын екі тордың тесіктері арасынан өткізіп, сілкіміз. Сонда арқанның бойында ендік толқындар пайда болады. Алғашқы жағдайда тор ағаштары параллель болғандығы үшін арқандағы толқындар екі тордан да еркін өтеді. Егер екінші тор көлденең орналастырылса, толқын одан өтпей сөнеді. Бұл тәжірибені бойлық толқындармен өткізгенде, олардың екі тордан да еркін өткенін көруге болады.

Жарықтың турмалин пластинкаларынан байқалған құбылыстарын ендік механикалық толқындардың тордан өтуімен салыстырса, олардың өзара ұқсас екендігі келіп шығады. Бұдан жарық толқындарының көлденең толқындар екендігі белгілі болады.

4.25-суреттегі бірінші торды көлденең қойса, одан толқын өтпейді. Бірақ жарықтың турмалин пластинасынан өту тәжірибесіндегі  $T_1$  пластинасын өз білігі төңірегінде айналдырсақ, одан жарық өтеді.  $T_2$ -ні айналдырсақ, жарықтың интенсивтілігі төмендеп, нөлге түседі. Демек, жарық  $T_1$ -ден өткенде оның қасиеті де өзгереді екен.

Бұны төмендегідей түсіндіруге болады. Жарық шығару көздеріндегі атомдар ретсіз орналасқандығы және жарықты бір мезгілде шығармайтындығы себепті олардан шығып жатқан сәулелер әр жаққа бытырап, тәртіпсіз таралады. Соған орай, олардың электр және магнит өрісі кернеулігі векторларының бағыттары да ретсіз болады. Олар  $T_1$  пластинасына түскенде, кристалл тордан белгілі бағытқа бағдарланған сәулелер өтеді (4.26-сурет).



4.26-сурет.

Демек,  $T_1$ -ден өткен сәулелердің электр және магнит өрісі кернеулігі векторларының бағыттары да реттелген болады. Бұл жарықты поляризацияланған жарық деп атайды. Ал бақыланған құбылыс *жарықтың поляризациялануы* деп аталады. Жоғарыда айтылғанындай,  $T_2$  пластинаға поляризацияланған жарық түседі. Одан өткен жарықтың интенсивтілігі Малюс заңымен анықталады::

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (4-9)$$

Жоғарыда айтылғанындай, жарық екі өзара перпендикуляр тербелістің бірге таралуынан пайда болатын электромагниттік толқыннан тұрады (4.8-сурет). Тарихи себептерге орай,  $\vec{E}$  электр өрісі кернеулігі векторының тербелістері өтетін жазық *тербелістер жазықтығы* деп,  $\vec{H}$  магнит өрісі кернеулігі векторының тербелістері өтетін жазық *поляризациялану жазықтығы* деп аталады.

Жарық векторы  $\vec{E}$  және  $\vec{H}$  тербелістердің бағыты бірегер түрде реттелген жарық *поляризацияланған жарық* деп аталады. Егер жарық векторының ( $\vec{E}$  вектор) тербелістері барлық уақытта және бір ғана жазықтықта жүзеге асса, бұндай жарық *тегіс* (яки *түзу сызықты*) *поляризацияланған жарық* деп аталады.

Табиғи жарықты поляризациялап беретін аспаптарды поляризаторлар деп атайды. Оларды тюрмалин, исланд шпаты секілді мөлдір кристалдардан дайындайды. Жарықтың поляризациялану дәрежесін анықтау үшін де поляризаторлар пайдаланылады. Бұл ретте олар анализаторлар деп аталады. 4.24-суретте келтірілген  $T_1$  пластина анализатор міндетін атқарады.

Күнделікті тұрмыста жарықтың поляризациялануын тек тюрмалин кристалы ғана емес, басқа кристалдар да орындайтыны белгілі болды. Мысалы, исланд шпаты. Олардың қалыңдықтары 0,1 мм немесе одан да жұқа болуы мүмкін. Бұндай пленканы целлюлоидқа жапсырып, бет жағы шамамен бірнеше шаршы дециметр пластинка болатын поляризатор алынады.

Поляризацияланған жарық техникада сапалы суреттер алуда, ерітіндідегі сан түрлі органикалық қышқылдардың, ақуыздар мен қанттың концентрацияларын анықтауда қолданылады.



1. *Поляризацияланған жарық табиғи жарықтан несімен ерекшеленеді?*
2. *Жарықтың көлденең толқындардан тұратынын қандай құбылыстар растайды?*
3. *Анализатор нені талдайды?*
4. *Неліктен поляроидтан өткен жарықтың интенсивтілігі төмендейді?*
5. *Анализатордан өткен жарықтың интенсивтілігі оның оптикалық білікке сәйкес бұрылу бұрышына қалайша тәуелді болады?*

## **29-тақырып. ИНФРАҚЫЗЫЛ СӘУЛЕЛЕНУ. УЛЬТРАКҮЛГІН СӘУЛЕЛЕНУ. РЕНТГЕН СӘУЛЕЛЕНУ ЖӘНЕ ОНЫ ПАЙДАЛАНУ**

1800 жылы У.Герцхел Күнді зерттеу үдерісінде тексерілетін аспаптардың Күн сәулесі астында қызып кетуін төмендету жолын іздестіреді. Ол температураны өлшейтін сезімтал аспаптың көмегімен Күннен пайда болған спектрдің түрлі түстеріне сай келген орындардың температураларын өлшейді. Сонда ол ең жоғары қызу тойынған қызыл сәуледен соң, көрінбейтін салаға тура келетінін аңғарады. Көзге көрінбейтін бұл сәулелер инфрақызыл сәулелер деген ат алды. Осы кезден инфрақызыл сәулеленуді зерттеу басталып кетті.

Алғашында инфрақызыл сәулеленуді зертханада алу үшін қыздырылған денелер немесе газ зарядтары пайдаланылған болса, бертін келе арнаулы лазерлер қолданыла бастады.

Жарықтану бойынша халықаралық комиссия сәулеленуді үш түрге бөлуді ұсынады:

1. Жақын инфрақызыл диапазон (НИР): 700 нм – 1400 нм;
2. Орта инфрақызыл диапазон (МИР): 1400 нм – 3000 нм;
3. Алыс инфрақызыл диапазон (ФИР): 3000 нм – 1 мм.

Жақын инфрақызыл сәулеленуді тіркеу үшін арнаулы фотопластинканы пайдалану керек. Оларды зерттеу кезінде сезгірлігі жоғарылау диапазонда жұмыс істейтін фотоэлектрикалық детекторлар және фоторезисторлар пайдаланылады. Алыс инфрақызыл диапазондағы сәулеленуді тіркеу үшін инфрақызыл сәулеленуге сезімтал детектор – болометрлерді пайдалану ұсынылады.

Адамның көзі инфрақызыл сәулелерді көрмесе де, бұл диапазонда басқа жануарлар жақсы көреді. Мысалы, кейбір жыландар көзге аз түссе де, инфрақызыл диапазонда көруге қабілетті болады. Балықтардың арасындағы пирания және алтын балық деп аталатын балық түрлері де инфрақызыл диапазонда көреді. Шағатын жыландар да инфрақызыл нұр арқылы көріп, дененің қанға ең тойынған жерін тауып, қанды сорады.

Инфрақызыл сәулелер техникада және күнделікті тұрмыста кеңінен қолданылады. Түнде көру аспаптары мен камералары, денелер мен тәннің жылу термографиясын алу, адамды жылу сәулелеріне қарап тауып бару, инфрақызыл жылытқыштар, боялған беттерді кептіру, шалғайдағы ғарыштық нысандарды зерттеу, молекулалардың спектрін үйрену, құрылғыларды ұзақ

қашықтықтан басқару (теледидар, магнитофон, кондиционер пульттері) және сол сияқтыларда инфрақызыл сәулелер пайдаланылады.

Медицинада физиотерапевтік емшараларда, азық-түлікті стерилизациялауда (зарарсыздандыру), ақшаның шынайылығын тексеруде де осындай сәулелер пайдаланылады.

Инфрақызыл сәулелердің зиянды жақтары да бар. Температурасы жоғары жарық көздеріне тігіліп қарағанда жанардың жасаурау қабатын құрғатып жіберуі мүмкін.

Инфрақызыл сәулелер ашылған соң, көзге көрінетін сәулелер спектрінің толқын ұзындығы шағын болған бөлігі неміс физигі И.В.Риттердің зерттеу жұмысына айналады. Ол 1801 жылы жарықтың әсерінен ыдырайтын күміс хлоридін спектрдің күлгін бөлігінен кейін келетін бөліміне қойса, шұғыл ыдырайтынын байқайды. Осыған орай, Риттер және басқа ғалымдар жарықтың үш дербес компоненттен: инфрақызыл, көзге көрінетін және ультракүлгін бөліктерден құралады деген тұжырымға келеді.

Ультракүлгін сәулелерді де шартты түрде төрт топқа бөлу ұсынылған:

1. Жақын ультракүлгін диапазон (НУВ): 400 нм – 315 нм;
2. Орта ультракүлгін диапазон (МУВ): 300 нм – 200 нм;
3. Алыс ультракүлгін диапазон (ФУВ): 200 нм – 122 нм;
4. Экстремальды ультракүлгін диапазон (ЭУВ): 121 нм – 10 нм.

Ультракүлгін сәулелердің Жердегі негізгі көзі Күн болып саналады. Жер бетіне жетіп келетін ультракүлгін сәулелердің мөлшері атмосферадағы озонның концентрациясына, Күннің көкжиектен биіктігіне, теңіз деңгейінен биіктігіне, атмосферада шашырауына, ауаның бұлттылығына байланысты.

Ультракүлгін сәулелер адамның терісіне әсер етіп, оны қарайтады. Көптеген полимерлердің түсі өзгеріп, түссізденеді, жарылады, кейде толығымен ыдырап кетеді.

Ультракүлгін сәулелер күнделікті тұрмыста және техникада кеңінен қолданылады. Мәселен, ультракүлгін сәулелер бөлмелерді дезинфекциялауда, жалған құжаттар мен банкноттарды анықтауда, суды, ауаны және түрлі беттерді бактериялардан зарарсыздандыруда, химиялық реакцияларды жеделдетуде, минералдарды талдауда, зиянкестерді жоюда және басқа жағдайларда қолданылады.

Ультракүлгін сәулелер арнаулы шамдар арқылы алынады. Бұл диапазонда жұмыс істейтін лазерлер де бар.

**Рентген сәулелері.** 1895 жылдың 8 қарашасында Вильгельм Конрад Рентген катод сәулелерін зерттеу барысында катод-сәулелі трубканың жанында тұрған, үстіңгі бөлігі барий қосылған затпен тысталған картонның

қараңғы жерде өзінен сәуле шығарып тұрғанын байқайды. Рентген бұл сәулелерді X-сәулелер деп атайды да, кейінгі бірнеше апта бойы оның қасиеттерін зерттейді. Зерттеу нәтижелерін 1895 жылы 28 желтоқсанда “Сәуленің жаңа типі туралы” деген тақырыппен мақала етіп жариялайды. Содан 8 жыл бұрын, 1887 жылы Никола Тесла рентген сәулелерін тіркеген болса да, бұған Тесланың өзі де, оның айналасындағылар да жеткілікті мән бермеген еді.

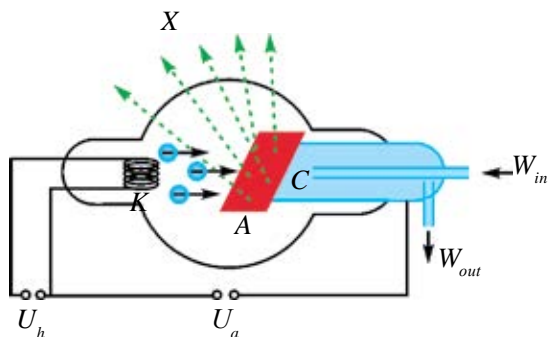
Рентген пайдаланған катод-сәулелі трубканы И.Хитторф пен И.Крукс жасаған болатын. Оны қолдану үдерісінде рентген сәулелері пайда болған. Бұны Г.Герц пен оның шәкірттері тәжірибе жүргізу барысында фотопластинканың қараюы арқылы сезген. Бірақ олардың ешқайсысы бұған мән бермей, еш жерде жарияламаған. Соған орай Рентген де олардың жұмысынан хабарсыз болған және тәуелсіз түрде жыл бойы зерттеп, нәтижесін үш мақаласы арқылы жариялаған. 1901 жылы Рентгенге физика бойынша бірінші Нобель сыйлығы берілді.

Рентген сәулелері жеделдетілген зарядты түйіршіктердің шұғыл тежелуінен туындайды (4.27-сурет). *K* катод қыздырылғанда, одан термоэлектрондық эмиссия құбылысына байланысты электрондар ұшып шығады (10-сыныпта өткендеріңді еске түсір). *A* анодтың кернеуленуі ықпалымен олар анодқа қарай үдемелі түрде қозғалады. Анодқа соғылу кезеңінде электрондар шұғыл тежеледі де, анодтан рентген сәулелері шығады. Соғылу кезінде электрондардың кинетикалық энергиясының 1%-ы рентген сәулеленуіне, ал 99%-ы жылуға айналады. Сол себепті анод суытылып тұрады.

Рентген сәулелері де электромагниттік толқындар болып саналады. Оның жиілік диапазоны  $2 \cdot 10^{15}$  Гц ÷  $6 \cdot 10^{19}$  Гц аралығында болады. Толқын ұзындығы бойынша 0,005 нм +100 нм аралықта орналасқан (жалпы қабылданған диапазон жоқ).

Рентген сәулелері адам денесінен емін-еркін өтіп кетеді. Сонымен қатар дене мүшелерінің сәулені әр түрлі жұтуына байланысты олардың бейнесін алуға болады (4.28-сурет). Компьютерлік томографияларда ішкі ағзалардың көлемдік бейнесін де алу мүмкін. Өндірісте жасалған түрлі заттардағы (рельстер, дәнекерленген жерлер және т.б.) ақауларды (дефектілер) анықтау *рентген дефектоскопиясы* деп аталады. Материалтану, кристаллография, химия және биология салаларында рентген сәулелерінің көмегімен заттың түзілісі (структурасы) атомдар деңгейінде зерттеледі. Бұған мысал ретінде ДНК түзілісін зерттеуді атап көрсетуге болады. Әуежайлар мен кеден бекеттерінде қауіпсіздікке байланысты және тыйым салынған заттарды

анықтау ісінде де рентген сәулелері пайдаланылады. Медицинада аурудың нақтамасын (диагнозын) анықтаумен қатар, емдеуде де рентген сәулелері ұтымды қолданылып келеді.



4.27-сурет.



4.28-сурет.



1. Инфрақызыл сәулелер қалай пайда болады? Оларды қандай мақсаттарға пайдаланады?
2. Ультракүлгін сәулелердің қасиеттерін түсіндір. Оларды қайсы мақсаттарда пайдаланады?
3. Рентген трубкасының түзілісін және онда рентген сәулелері қалай пайда болатынын түсіндір.
4. Рентген сәулелерінің қасиеттері қандай? Оларды қай жерлерде пайдаланатынын айт.

## 30-тақырып. ЖАРЫҚ АҒЫНЫ. ЖАРЫҚ КҮШІ. ЖАРЫҚТАНУ ЗАҢЫ

Жарықтың адам көзіне және басқа қабылдау құрылғыларына әсері сол қабылдау құрылғыларына берілген жарық энергиясымен белгіленеді. Сондықтан жарық энергиясына байланысты энергетикалық шамалармен танысайық. Аталмыш мәселелерді зерттейтін бөлім **фотометрия** деп аталады.

Фотометрияда қолданылатын шамалар жарық энергиясын қабылдайтын аспаптардың нені тіркей алатынына байланысты түрде алынады.

**1. Жарық энергиясы ағыны.** Жарық көзінің өлшемдерін өте шағын деп алайық. Сонда одан белгілі бір қашықтықта орналасқан нүктелердің орны сфералық бетті құрайды деп қарауға болады. Мысалы, диаметрі 10 см-лік шам 100 м қашықтағы бетті жарықтандырып тұрса, бұл шамды нүктелік жарық деп қабылдаймыз. Бірақ жарықтандырылған бетке дейінгі аралық 50



см болса, жарық көзін нүктелік деуге болмайды. Оларға типтік мысал ретінде жұлдыздарды алу да мүмкін.

Біреп  $S$  бетке  $t$  уақыт ішінде түсіп жатқан жарық энергиясы  $W$  болсын. **Уақыт бірлігі ішінде біреп бетке түсіп жатқан энергия мөлшері жарық энергиясының ағыны немесе жарықтану ағыны** деп аталады. Оны  $\Phi$  әрпімен белгілесек,

$$\Phi_e = \frac{W}{t} = P;$$

Бұл жерде:  $t$  жарық тербелістері кезеңіне сәйкес едәуір үлкен уақыт ескеріліп тұр. Жарықтану ағыны бірлігі СИ бірліктер жүйесінде  $W$ -пен (ватт) өлшенеді.

Көптеген өлшемдерде (мәселен, астрономиялық) тек ағын емес, сонымен қатар жарықтану ағынының бет тығыздығы да маңызды. Жарықтану ағынының сол ағын өтетін бетке қатынасымен өлшенетін шама жарықтану ағынының бет тығыздығы деп аталады:

$$I = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{P}{S} = \frac{W}{St}. \quad (4-10)$$

Көбінесе бұл шама **сәулелену интенсивтілігі** деп аталады. Оның бірлігі  $1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

Геометрия курсынан ғарыштық бұрыш ұғымын еске түсірейік. Бұған мысал ретінде конустың төбесіндегі бұрышты алуға болады. Ғарыштық бұрышты өлшеу деп шар сегментінің сыртқы бетінің ( $S_0$ ), орталығы конус төбесінде болған сфера радиусының квадратына ( $R^2$ ) қатынасымен өлшенетін шама айтылады:

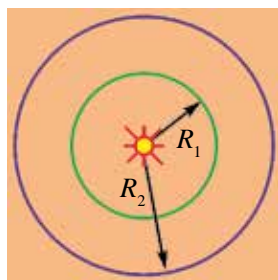
$\Omega = \frac{S_0}{R^2}$ . Ғарыштық бұрыштың өлшеу бірлігі – стерadian (sr). 1 sr – сфераның бетінен қабырғасы сфера радиусына тең болған квадраттың бетіне тең сала туындататын, бір ұшы сфера орталығында болған ғарыштық бұрыш шамасына тең. Сфера сыртының бетін біліп, нүкте айналасындағы толық ғарыштық бұрышты анықтауға болады:

$$\Omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ sr}.$$

Сәулелену интенсивтігінің жарық көзінен ұзақтығына және сәуле түсіп жатқан бет пен пайда болған бұрышқа тәуелділігін қарастырайық. Сәуле шығып жатқан нүктелік көз радиустары  $R_1$  және  $R_2$  болған екі концентрлік шеңбер орталығында болсын делік (4.29-сурет). Егер жарық орта тарапынан жұтылмаса (мысалы, вакуумда) уақыт бірлігі ішінде



бірінші сферадан өткен толық энергия екінші сфера бетінен өтеді. Соған орай



4.29-сурет

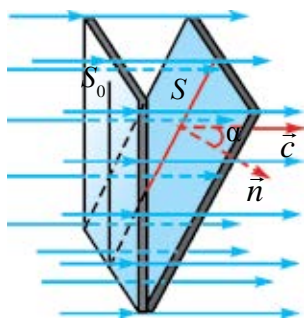
$$I_1 = \frac{W}{4\pi R_1^2 t} \text{ және } I_2 = \frac{W}{4\pi R_2^2 t};$$

бұдан:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}. \quad (4-11)$$

Демек, сәулеленудің интенсивтілігі қашықтық артқан сайын квадратты түрде төмендей береді екен.

Сәуле түсіп жатқан беттің қиялыққа тәуелділігін анықтау үшін 4.30-суреттегі жағдайды қарастырайық. Бұнда толқын  $S_0$  мен  $S$  беттен бірдей мөлшердегі энергияны алып өтеді. Соған орай



4.30-сурет

$$I_0 = \frac{W}{S_0 t} \text{ және } I = \frac{W}{S t}.$$

Олардың интенсивтіліктерінің қатынасы:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{S_0}{S} = \cos \alpha. \quad (4-12)$$

Практикада жарықтың энергетикалық сипаттамасымен қатар көзге көрінетін жарықты сипаттайтын фотометриялық шамалар да қолданылады. Фотометрияда сәулеленудің интенсивтілігімен тікелей байланысты болған, *жарық ағыны* деп аталатын субъективті шама да жүргізіледі. Жарық ағыны  $\Phi$  әрпімен белгіленеді. Оның халықаралық СИ бірліктері жүйесіндегі бірлігі **люмен** (лм).

Кез келген жарық көзінің маңызды сипаттамасы – жарық күші  $I$  болып саналады. Ол жарық ағынының ( $\Phi$ ) ғарыштық бұрышқа ( $\Omega$ ) қатынасымен анықталады:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \text{ немесе } I = \frac{\Phi}{4\pi}. \quad (4-13)$$

Жарық күшінің бірлігі – **кандела** (кд) СИ бірліктері жүйесінің негізгі бірлігіне енгізілген. 1 кд ретінде беті  $1/600000 \text{ м}^2$ , температурасы платинаның қату температурасына тең, сыртқы қысымы  $101325 \text{ Па}$  болған жағдайда жарықтандырғыштан перпендикуляр бағытта шығып жатқан жарық күші қабылданған. 1 кд-ны қабылдау кезінде жұмсалған жарықтың вакуумдағы толқын ұзындығы  $555 \text{ нм}$  -ға тең, ол адам жанарының ең жоғары сезгірлігіне тура келеді.

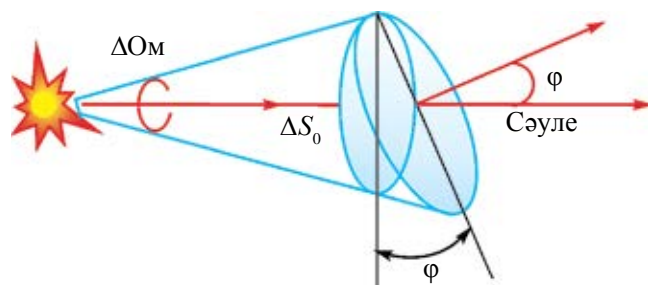
Қалған барлық фотометриялық бірліктер кандела арқылы өрнектеледі. Мысалы, 1 люмен – жарық күші 1 кд болған нүктелік көзден 1 ср ғарыштық бұрыш ішінде шыққан жарық ағынына тең.

Бет бірлігіне түскен жарық ағыны **жарықталыну** деп аталады:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (4-14)$$

Жарықталыну СИ бірліктер жүйесінде **люкс**пен (лх) өлшенеді. 1 м<sup>2</sup> бетке тегіс бөлінген 1 лм жарық ағыны түссе, беттің жарықталынуы 1 лх-ке тең болады.

**Жарықталыну заңдылықтары.** Жоғарыда айтылғанындай, беттің жарықталынғаны жарық күшіне тура пропорционал. Бірақ жарықталыну тек жарық күшіне тәуелді болып қалмастан, көз бен жарықталынатын бетке дейінгі қашықтыққа да байланысты болады. Жарық көзі сфера орталығында орналасқан делік (4.31-сурет).



4.31-сурет.

Сфераның сыртқы беті  $4\pi R^2$ -қа тең.

Ондай жағдайда толық жарық ағыны  $\Phi = 4\pi I$  -ге тең болады. Соған орай:

$$E = \frac{I}{R^2}. \quad (4-15)$$

Беттің жарықталынуы көздің жарық күшіне тура пропорционал, қашықтықтың квадратына кері пропорционал.

Көптеген жағдайларда жарық ағыны бетке бұрыш астында түседі. Жарық ағыны  $\Delta S$  бетке  $\varphi$  бұрыш астында түсіп жатқан болсын делік.  $\Delta S$  бет,  $\Delta S_0$  бетпен төмендегідей байланысқан:  $\Delta S_0 = \Delta S \cos \varphi$ . Бұл жағдайда ғарыштық бұрыш

$\Delta Om = \frac{\Delta S_0}{R^2} = \frac{\Delta S \cos \varphi}{R^2}$  -мен анықталады. Одан берілген беттің жарықталынуы

$$E = \frac{I}{R^2} \cos\varphi \quad (4-16)$$

мен анықталады.

Беттің жарықталынуы көздің жарық күшіне, жарық сәулесі мен жарық ағыны түсіп жатқан бетке жүргізілген перпендикуляр арасындағы бұрыштың косинусына тура пропорционал, ал қашықтықтың квадратына кері пропорционал.

Егер бет бірнеше көзбен жарықталынған болса, жалпы жарықталыну әрбір көз тарапынан жарықталынулардың жиындысына тең болады.

Фотометриялық шамалардың тағы бірі айқындық деп аталады. **Жарық шығып жатқан бет бірлігіне тура келетін жарық күшін айқындық дейміз:**

$$B = \frac{I}{S}. \quad (4-17)$$

Айқындықтың бірлігі –  $\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$ . Бұл жерде жарық көзінің бетінен барлық бағыттарға бірдей жарық шығады деп қабылданады.

Айқындыққа қатысты кейбір мәліметтерді келтіреміз: түс кезінде Күннің айқындығы  $1,65 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>; көкжиекке келгенде –  $6 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>; толған Ай дискі –  $2500$  кд/м<sup>2</sup>; күндізгі ашық аспан –  $1500 - 4000$  кд/м<sup>2</sup>.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Нүктелік көздің жарық күші  $100$  кд-ға тең. Көзден шығып жатқан толық жарық ағынын тап.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$I = 100$ кд Табу керек: $\Phi = ?$	$\Phi = 4\pi \cdot I$	$\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 100 \text{ ср} \cdot \text{кд} = 1256 \text{ лм.}$  <i>Жауабы: 1256 лм.</i>

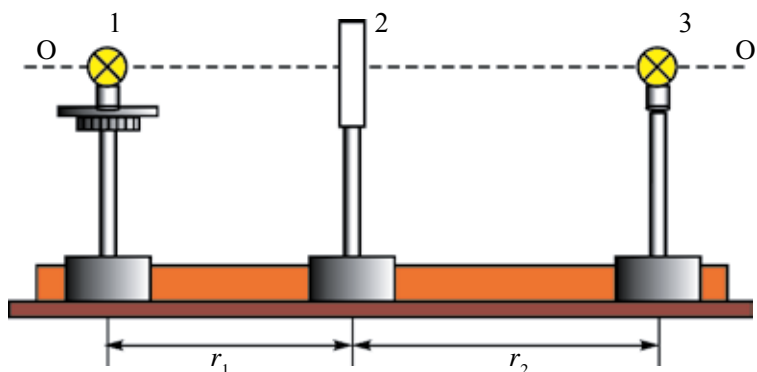


1. Энергетикалық және фотометриялық шамалар арасында қандай айырма бар?
2. Сәулелену интенсивтілігі дегенде нені түсінеміз?
3. Фотометрияға қатысты қайсы бірлік СИ бірліктер жүйесінің негізгі бірлігі болып саналады?
4. Айқындыққа қатысты СИ бірліктер жүйесіне енбеген бірліктерді білесің бе?
5. Беттің жарықталынуы оған түсіп жатқан сәуленің қиғаштығына тәуелді ме?

### 31-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: ЖАРЫҚТАЛЫНУДЫҢ ЖАРЫҚ КҮШІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ

**Жұмыстың мақсаты.** Жарықталынудың жарық көзі мен жарық күшіне тәуелділігін эксперименттік түрде тексеру.

**Қажетті аспаптар мен жабдықтар.** Жарықталыну заңдылықтарын үйренетін құрылғы, жарық көзі, люкметр, өлшеу таспасы немесе сызғыш.



4.32-сурет.

**Жұмыстың орындалуы.** Жұмысты орындау құрылғысының сызбасы 4.32-суретте келтірілген.

Бұл жерде 1- және 3-жарық күші белгілі болған шоғыр талшықты шамдар, 2-люкметрдің фотоэлементі бар.

1. 1-шам кернеулігі өзгертілген ток көзіне қосылады. Ал 2-шам номинал кернеулікті (шамға жазылған) ток көзіне қосылады. 1-шамнан люкметрге дейінгі  $r_1$  -өлшеп алынады. 1-шамға 40 В кернеу беріледі. Люкметрдің көмегімен шам туындатқан жарықталыну ( $E_1$ ) анықталады. Содан соң 1-шам өшіріліп, 2-шам жағылады. Люкметр 2-шамға қаратылады.  $r_2$  қашықтық өзгертіліп, люкметрдің көрсеткіші  $E_1$ -ге тең болған күйінде қалдырылады.

2.  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$  формуласынан  $I_1 = I_2 \frac{r_2^2}{r_1^2}$ , бірінші шамның 40 В кернеуіндегі жарық күші есептеледі. 1-шамға берілген кернеулікті 80 В, 120 В, 160 В, 200 В-қа өзгертіп, оған сәйкес келген  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  және  $E_5$  -тер анықталып, кестеге жазылады.

$$r_1 = \text{const.}$$

Тәжірибе, р/с	1-шамның кернеулігі, V	$r_2$ , м	$E$ , лх	$I$ , кд
1.	40			
2.	80			
3.	120			
4.	160			
5.	200			

3. Тәжірибенің нәтижелеріне орай, жарықталынудың жарық көзі жарық күшіне тәуелділігінің  $E_e = f(I_e)$  графигі жасалады.

4\*. 1-шамға номинал кернеу беріліп, 2-шам өшіріледі.  $r_1$  өзгертіліп, оған сәйкес келген жарықталыну люксметрден жазып алынады.  $E = f(r)$  графигі жасалады. Кесте мен графиктен  $E \sim \frac{1}{r^2}$  қатынасы орынды болатыны тексеріледі.



1. Қандай жарық көздері нүктелік жарық көздері деп аталады?
2. Сен өткізген тәжірибедегі жарық көзін нүктелік деп санауға бола ма?
3. Люксметр қандай аспап?
4. Тәжірибедегі екінші шам қандай міндетті атқарады?



$E = \frac{1}{r^2}$  формуласы арқылы жарықталынуды есептеп шығар және нәтижелерге орай  $E_n = f(I_n)$  графигін жаса. Бұл графикке эксперименттен алынған  $E_e = f(I_e)$  графигін қойып, оларды салыстыр.

#### 4-жаттығу

1. Толқын ұзындығы 300 м электромагниттік толқында дыбыс тербелістерінің бір кезеңі барысында неше рет тербеліс болады? Дыбыс тербелістерінің жиілігі 10 кГц. (Жауабы: 100).

2. Егер радиолокатордан нысанға жіберілген сигнал 400 мс-тен соң шағылып қайтса, нысан радиолокатордан қандай қашықтықта орналасқан? (Жауабы: 30 км).

3. Электромагниттік толқынның тербеліс жиілігі 15 МГц. Электромагниттік толқын өзінің электр және магнит векторлары тербелістерінің 30 кезеңіне тең уақыт аралығында қандай қашықтыққа таралады? (Жауабы: 600 м).

4. Ғарышта тербеліс жиілігі 5 Гц болған толқын 3 м/сек жылдамдықпен таралып жатыр. Бір сызық бойлап бір-бірінен 20 см қашықтықта жатқан екі нүктенің фазалар аралығын тап. (Жауабы:  $120^\circ$ ).

5. Индуктивті катушкада 1,2 сек-та ток күші 2 А-ге өзгергенде, 0,4 мV индукция электр қозғаушы күші (ЭҚК) пайда болады. Егер тербеліс контурындағы ауа конденсаторы пластиналарының беті 50 см<sup>2</sup>, пластиналар арасындағы қашықтық 3 мм болса, бұл тербеліс контуры қандай толқын ұзындығына бейімделген? (Жауабы: 112 м).

6. Тербеліс контуры индуктивтілігі 1 мН катушадан, сыйымдылығы 500 pF, 200 пФ болған және бір-біріне тізбекті түрде қосылған конденсатордан тұрады. Тербеліс контуры қандай толқын ұзындығына бейімделген? (Жауабы: 712 м).

7. Вакуумда толқын ұзындығы 0,76 мкм жарық сәулесі мен судың сәуле сындыру көрсеткіші өлшенгенде, ол 1,329-ға тең болды. Толқын ұзындығы 0,4 мкм жарық сәулесі мен судың сәуле сындыру көрсеткіші өлшенгенде, ол 1,344-ке тең болып шықты. Бұл сәулелердің судағы жылдамдықтарын анықта.

8. Қызыл сәуленің судағы толқын ұзындығы жасыл сәуленің ауадағы толқын ұзындығына тең. Егер су қызыл сәулемен жарықтанған болса, су астынан қараған адам қандай сәулені көреді?

9. Неліктен қыстың ауа райы ашық күндерінде ағаштардың көлеңкесі көгілдір болып көрінеді?

10. Интерференция құбылысы екі когерентті  $S_1$  және  $S_2$  көздерден шыққан жарық арқылы экраннан бақыланып отыр. Егер: А) жарық көздері арасындағы қашықтықты өзгертпей тұрып экраннан алыстатса; Ә) олар мен экран арасындағы қашықтықты өзгертпей тұрып, көздерді бір-біріне жақындатса; Б) көздерден шығып жатқан жарықтың толқын ұзындығы азайтылса, интерференциялық көрініс қалай өзгереді?

11. Екі когерентті толқын кездескенде бір-бірін әлсіретуі мүмкін. Сонда бұл толқындардың энергиясы қайда “жоғалады”?

12. Толқын ұзындығы  $\lambda$  болған жарық периоды  $d$ -ға тең дифракциялық торға  $\alpha$  бұрышпен түсіп жатыр. Бұндай жағдай үшін дифракция формуласы қандай болады? (Жауабы:  $d(\sin\varphi - \sin\alpha) = k\lambda$ ).

13. Бір-бірінен 30 мм қашықта орналасқан екі когерентті көзден толқын ұзындығы  $5 \cdot 10^{-7}$  м -ге тең жарық шығып жатыр. Экран олардың әрқайсысынан бірдей 4 м қашықтықта орналасқан. Бірінші көздің қарама-

қарсысына орын тепкен нүктеде екі көзден келген сәулелер кездескенде не байқалады? (Жауабы: максимум).

14. Жарық күші 200 кд-ге тең электр шамынан шыққан жарық жұмыс бетіне  $45^\circ$  бұрышпен түсіп, 141 лх жарықталынуды туғызады. Жарық көзі үстелден қандай биіктікте орналасқан? (Жауабы: 0,7 м).

15. Күннің көкжиектен биіктігі  $30^\circ$ -тан  $45^\circ$ -қа көтерілді. Жер бетінің жарықталынуы неше есеге өзгереді? (Жауабы: 1,4).

16. Электр шамы радиусы 10 см-ге, жарық күші 100 кд-ге тең шардан тұрады. Көздің толық жарық ағынын тап. (Жауабы: 1,6 клм).

17. Беті  $25 \text{ м}^2$ -қа тең квадрат пішініндегі бөлменің ортасында шам ілулі тұр. Шам еденнен қандай биіктікте болса, бөлменің бұрыштарындағы жарықталыну ең жоғары деңгейде болады?

18. Оншалықты терең емес әуіздегі тынық су бетіне полероид арқылы қарап, оны бұрып отырса, полероидтің бірер жағдайында әуіздің асты жақсы көрінеді. Құбылысты түсіндіріп бер.

19. Адам жанарының сезімталдығы сары-жасыл сәуле үшін ең жоғары болып саналады. Онда неліктен қауіпсіздік сигналы қызыл түспен беріледі?

20. Ньютон қалқаларын бақылаған кезде ақ сәуле линзаның бас оптикалық білігіне параллель түсіп жатыр. Линзаның дөңестік радиусы 5 м. Бақылау ісі өтіп бара жатқан сәуледе жүргізіледі. Төртінші (толқын ұзындығы 400 нм) және үшінші (толқын ұзындығы 630 нм) қалқаның радиусын тап. (Жауабы: 2,8 мм; 3,1 мм).

21. Неліктен өлшемі  $0,3 \text{ мкм}$  бөлшекті оптикалық микроскоптың көмегімен көруге болмайды?

22. Шайды қандай күйінде ыстығырақ ішуге болады? Қаймақ қатқан шайды ботқаны жемей тұрып ішкен жақсы ма, әлде ботқаны жеп алып, қаймақты шайға содан соң салып ішкен дұрыс па? Жауабыңды негіздеп бер.

23. Юнг қондырғысындағы интерференцияның максимумдары аралығын тап.  $S_1$  және  $S_2$  тесіктер арасындағы қашықтық  $d$ , ал тесіктерден экранға дейінгі аралық  $L$ . Түсіп тұрған жарықтың толқын ұзындығы  $\lambda$ .

## IV ТАРАУДЫ ҚОРЫТЫНДЫЛАУ БОЙЫНША ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ

1. Электромагниттік толқын сәулеленуінің ағын тығыздығы формуласын көрсет.

A)  $I = \frac{Вт}{s \Delta t}$  ;      B)  $\Phi = \frac{Вт}{t}$  ;      C)  $I = \frac{\Phi}{ОМ}$  ;      D)  $E = \frac{I}{R^2} \cos\varphi$ .
2. Сөйлемді толықтыр. Сәуленің сыну көрсеткішінің жарықтың толқын ұзындығына тәуелділігі ... деп аталады.

A) дифракция;      B) интерференция;  
C) дисперсия;      D) поляризация.
3. Жарықталыну формуласын көрсет.

A)  $I = \frac{W}{s \Delta t}$  ;      B)  $\Phi = \frac{W}{t}$  ;      C)  $I = \frac{\Phi}{ОМ}$  ;      D)  $E = \frac{I}{R^2} \cos\varphi$ .
4. Сөйлемді толықтыр. Жарық шығып жатқан беттің бірлігіне тура келетін жарық күші ... деп аталады.

A) ... жарық күші ... ;      B) ... жарық интенсивтігі ... ;  
C) ... жарық ағыны ... ;      D) ... айқындық ... .
5. Заттар қандай күйде сызықты спектрге ие болады?

A) қатты күйде;      B) сұйық күйде;  
C) сирексіген газ күйінде;      D) үш күйде де.
6. Төмендегі сәулеленулердің қайсысының толқын ұзындығы ең кіші болып табылады?

A) инфрақызыл сәулелер;      B) көрінетін сәулелер;  
C) ультракүлгін сәулелер;      D) рентген сәулелері.
7. Төмендегі құбылыстардың қайсысы жарықтың көлденең толқындарға жататынын растайды?

A) жарық дифракциясы;      B) жарық дисперсиясы;  
C) жарық интерференциясы;      D) жарықтың поляризациялануы.
8. 1 мм-де 1000 штрихы бар дифракциялық тордың тұрақтысын анықта.

A) 10;      B) 2;      C) 0,1;      D) 1.
9. Судың сәуле сындыру көрсеткіші 1,33-ке тең. Жарықтың судағы жылдамдығын тап.

A) 225 000 км/с;      B) 300 000 км/с;  
C) 150 000 км/с;      D) 398 000 км/с.



10. Радиолокатор 1 секунда 2000 импульс жібереді. Радиолокатордың ең жоғары “көру” ұзақтығы неше км-ге тең?  
 A) 30;                      B) 150;                      C) 75;                      D) 300.
11. Сәулеленудің интенсивтілігі қандай бірлікпен өлшенеді?  
 A)  $\frac{Вт}{м^2}$ ;                      B) Вт;                      C)  $\frac{Вт}{с^2}$ ;                      D) Дж с.
12. Жарықтың вакуумдағы жылдамдығы  $c$ -ға, толқын ұзындығы  $\lambda$  -ға тең. Егер жарық сәуле сындыру көрсеткіші  $n$ -ге тең ортаға өтсе, бұл параметрлер қалай өзгереді?  
 A)  $nc$  және  $n\lambda$ ;                      B)  $c/n$  және  $n\lambda$ ;                      C)  $c/n$  және  $\lambda/n$ ;                      D)  $nc$  және  $\lambda/n$ .
13. Призмадан ақ сәуле өткенде спектрге бөлінуі қандай құбылыстың нәтижесінде жүзеге асады?  
 A) жарық интерференциясы;                      B) жарықтың шағылуы;  
 C) жарық дифракциясы;                      D) жарық дисперсиясы.
14.  $\frac{кД}{м^2}$  бірлігімен қандай физикалық шама өлшенеді?  
 A) жарық күші;                      B) сәуле интенсивтілігі;  
 C) жарықталыну;                      D) айқындық.
15. Тор тұрақтысы 1,1  $\mu$ м болған дифракциялық торға толқын ұзындығы 0,5  $\mu$ м-ге тең жалпақ монохроматикалық толқын бірқалыпты түсіп жатыр. Бақылау мүмкіндігі бар максимумдар санын тап.  
 A) 4;                      B) 5;                      C) 7;                      D) 9.
16. Ақ түс пайда болуы үшін қандай түстерді араластырып қосу керек?  
 A) қызыл, жасыл және көгілдір;                      B) қызыл, жасыл және сары;  
 C) күлгін, жасыл және көгілдір;                      D) көгілдір, жасыл және көк.
17. Көгілдір түс пайда болуы үшін қандай түстерді өзара араластырып қосу керек?  
 A) қызыл, жасыл және көк;                      B) қызыл, жасыл және сары;  
 C) күлгін, жасыл және көгілдір;  
 B) бірнеше түстерді қосқанмен көгілдір түсті туғызуға болмайды.
18. Беті 5  $см^2$ -ге тең жазыққа 0,02 лм жарық ағыны перпендикуляр түсіп жатыр. Жазықтың жарықталынуы қанша?  
 A) 20 лх;                      B) 30 лх;                      C) 40 лх;                      D) 50 лх..
19. Қызыл түс пен көгілдір түс қосылғанда қандай түс пайда болады?  
 A) қара қошқыл;                      B) сары;                      C) көгілдір;                      D) көк.
20. Қызыл және жасыл түстер қосылғанда қандай түс пайда болады?  
 A) қара қошқыл;                      B) сары;                      C) көгілдір;                      D) көк.

#### IV тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Максвелл гипотезасы	Электр өрісінің кез келген өзгерісі оның айналасындағы кеңістікте ұйытқушы магнит өрісін туғызады.
Герц вибраторы	Электромагниттік толқынды туғызу үшін жұқа ауа қабатымен бөлінген диаметрі 10–30 см-лік екі шардан яки цилиндрден тұрады.
Ашық тербеліс контуры	Электромагниттік тербелістері кеңістікте толық таралып кететін тербеліс контуры. Жабық тербеліс контурында конденсатор қаптамалары бір-бірінен алшақтау етіп туғызылады. 
Электромагниттік толқынның қайтуы	Металл денелерге келіп соғылған электромагниттік толқындар шағылады. Бұнда қайту заңдары орынды болады.
Электромагниттік толқынның сынуы	Электромагниттік толқын екі ортаның шекарасынан өткенде сынады. Бұнда сыну заңы орындалады. $n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \cdot \epsilon_1$ және $\epsilon_2$ – сәйкесінше бірінші және екінші орталардың диэлектрик алғырлықтары.
Электромагниттік толқын ұзындығы	Тербелістер фазасы бірдей, бір-біріне ең жақын тұрған екі нүкте арасындағы қашықтық. $\lambda = \frac{c}{\nu}$ .
Электромагниттік толқын сәулеленуінің ағын тығыздығы	Толқын таралу бағытына перпендикуляр орналасқан $S$ беттен $\Delta t$ уақытта өтетін $W$ электромагнит энергиясы: $I = \frac{W}{S \Delta t}$
Радиобайланыс	Хабарларды электромагниттік толқындарға алмастыру.
Радиоүзату	Хабарларды электромагниттік толқындар арқылы жіберу.
Радиоқабылдағыш	Электромагниттік толқындар арқылы келген хабарды қабылдайтын құрылғы.
Микрофон	Дыбыс тербелістерін электр тербелістеріне айналдыратын құрылғы.
Модуляция	Төмен жиілікті электр тербелістерін жоғары жиілікті электр тербелістеріне қосып жіберу.
Кіру контуры	Көптеген радиостанциялар арасынан керектісін іріктеп алатын тербеліс контуры.

Детекторлау	Жоғары жиілікті тербелістерге қосып жіберілген төмен жиілікті тербелістерді бөліп алу.
Бейнекамера	Жарық сигналдарын (бейне) электр сигналдарына айналдыратын құрылғы.
Когерентті толқындар	Жиіліктері тең және фазалар айырмасы тұрақты толқындар.
Толқындар интерференциясы	Когерентті толқындардың кездескен кезде бірін-бірі күшейту яки әлсірету құбылысы. $\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$ ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) – де күшейтеді, $\Delta d = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$ – да әлсіретеді.
Толқындар дифракциясы	Толқынның өз жолында кездескен кедергіні айналып өтуі. Бұнда кедергінің өлшемі оған түскен толқын ұзындығынан кіші болуға тиіс.
Дифракциялық тор	Жарық дифракциясы бақыланатын көп санды кедергілер мен тесіктер жиындысы.
Диф-лық тордағы дифракция құбылысы	$d \sin \varphi = n \lambda$ – тор тұрақтысы; $\varphi$ – дифракцияланған сәуле бұрышы; $n$ – спектр реті; $\lambda$ – толқын ұзындығы.
Жарық дисперсиясы	Ақ жарықтың призмадан өтіп, жеті түске бөлінуі: <i>қызыл, қызғыш, сары, жасыл, көгілдір, көк және күлгін</i> ; немесе сәуленің сыну көрсеткішінің жарықтың толқын ұзындығына тәуелділігі.
Спектр	Жарық сәулесі бірер сындыратын ортадан өткенде пайда болған түсті жолақтар жиынтығы.
Шығару спектрлері	Заттар қыздырылғанда шығатын спектр. Тұтас, жолақты және сызықты көріністе болады.
Жұтылу спектрлері	Заттың тек өз қасиетіне сай келетін сәулені жұтуынан пайда болған спектр.
Спектрлік талдау	Заттың шығару немесе жұтылу спектрлеріне орай оның құрамын анықтау.
Жарықтың поляризациялануы	Жарықтың турмалин пластинадан өткенде электр және магнит өрістері кернеулік векторларының бағыттары реттелген күйге өтуі.
Малюс заңы	$I = I_0 \cos^2 \alpha$ . Поляризацияланған жарықтың анализатордан өткендегі интенсивтігі.
Анализатор	Жарықтың поляризациялануын анықтайтын аспап.

Поляризатор (поляризациялағыш)	Табиғи жарықты поляризациялап беретін аспап.
Инфрақызыл сәулелер	Вакуумдағы толқын ұзындығы 700 нм – 1 мм аралығында болған электромагниттік толқындар.
Ультракүлгін сәулелер	Вакуумдағы толқын ұзындығы 122 нм – 400 нм аралығында болған электромагниттік тербелістер.
Рентген сәулелері	Вакуумдағы толқын ұзындығы 0,005 нм – 100 нм аралығында болған электромагниттік толқындар.
Сәулелену ағыны	Уақыт бірлігі ішінде бірер бетке түсіп жатқан энергия мөлшері: $\Phi = \frac{W}{t}$ .
Сәулелену интенсивтігі	Сәулелену ағынының сол ағын өтетін бетке қатынасы. $I = \frac{\Phi}{S}$ . Бірлігі – $\frac{Вт}{м^2}$
Жарық күші	Жарық ағыны $\Phi$ -тің сол жарық шығып жатқан ғарыштық бұрыш Ом-ға қатынасы. Бірлігі – кандела (кд). СИ бірліктер жүйесінің негізгі бірлігі. 1 кд ретінде беті 1/600 000 м <sup>2</sup> , температурасы платинаның қату температурасына тең, сыртқы қысымы 101325 Па, толық сәулелендіргіштен перпендикуляр бағыт бойынша шығып жатқан жарық күші қабылданған.
Жарықталыну	Бет бірлігіне түскен жарық ағыны. Бірлігі – люкс (лх). $E = \frac{I}{R^2} \cos\varphi$ – жарықталыну заңы.
Айқындық	Жарық шығып жатқан бет бірлігіне сәйкес келетін жарық күші. $B = \frac{I}{S}$ . Бірлігі – $\frac{кд}{м^2}$ .

## V тарау. САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ

### 32-тақырып. АРНАУЛЫ САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ НЕГІЗДЕРІ. ЖЫЛДАМДЫҚТАРДЫ ҚОСУДЫҢ РЕЛЯТИВИСТІК ЗАҢЫ

Арнаулы салыстырмалық теориясын 1905 жылы А.Эйнштейн жасаған. Ол кеңістік пен уақыт туралы ескі классикалық ұғымның орнына келген жаңа ілім болып табылады.

Белгілі болғанындай, механика – Ньютон механикасы болды, денелердің қозғалысы шағын жылдамдықтармен, яғни  $v \ll c$  ( $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/сек) жағдайларында зерттеледі. Бұнда барлық санақ жүйелеріндегі бірыңғай уақыт немесе уақыт санағы қабылданады. Классикалық механикада Галилейдің салыстырмалық теориясы негіз ретінде қабылданған, яғни динамика заңдылықтары барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей орындалады.

Галилей ауыстыруларының мәнін еске түсірейік. Ол бір-біріне салыстырмалы түрде  $v$  жылдамдықпен әмбебап санақ жүйелеріне сәйкес қозғалып бара жатқан екі  $K$  және  $K'$  денелердің координатасы мен жылдамдықтарын есептеу мүмкіндігін береді.

Дербес күйде  $K'$  санақ жүйесі  $K$  санақ жүйесінің  $X$  білігін бойлап қозғалсын делік (5.1-сурет). Бұл жағдайда қозғалмайтын санақ жүйесі  $K$ -ге қарағанда Галилей ауыстырулары төмендегідей көріністе болады:

$$x = x' + vt, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t'. \quad (5-1)$$

Бастапқы күйде ( $t=0$ ) екі жүйенің де біліктері бірінің үстіне бірі орналасады.

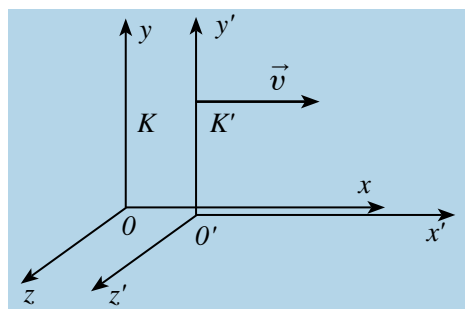
Галилей ауыстыруларына орай бір санақ жүйесінен екінші санақ жүйесіне өткендегі жылдамдықтар

$$v_x = v'_x + v, \quad v_y = v'_y, \quad v_z = v'_z. \quad (5-2)$$

Ал денениң үдеулері барлық санақ жүйелерінде бірдей екен:

$$a_x = a'_x, \quad a_y = a'_y, \quad a_z = a'_z. \quad (5-3)$$

Демек, классикалық механикадағы **Ньютонынң екінші заңы**  $\vec{F} = m\vec{a}$  бір эмбебап санақ жүйесінен екінші санақ жүйесіне өткенде өз пішінін сақтап қалады.



5.1-сурет.

Максвелл теориясы негізінде электромагниттік толқындардың таралу жылдамдығы барлық эмбебап санақ жүйелерінде бірдей, ол жарықтың вакуумдағы жылдамдығына тең.

Ал жарықтың жылдамдығы санақ жүйелерінің немесе санақ денелерінің (жарық тарататын айналар) қозғалыс жылдамдығына байланысты екендігін А.Майкельсон мен Е.Морли де тәжірибе жүзінде дәлелдеп берді.

Осылардан туындай отырып, электромагниттік толқындардың (дербес жағдайларда жарық) таралу теңдеуі Галилей ауыстыруларына инвариант, яғни инерциялық жүйенің таңдалуына байланысты. Егер электромагниттік толқын жоғарыда тілге алынған  $K'$  санақ жүйесінде  $c$  жылдамдықпен таралып жатқан болса, оның  $K$  санақ жүйесіндегі жылдамдығы  $v + c$  болуға тиіс, бірақ  $c$  емес!

Бұндай қарама-қарсылыққа А.Эйнштейн шек қойды. Ол кеңістік пен уақыт туралы классикалық ұғымнан бас тартты. Бейрелятивистік (классикалық) физикада абсолют деп танылған физикалық шамаларды, соның ішінде уақытты релятивистік (ағылшынша *relativity* – салыстырмалық) физикада салыстырмалы шамалар деп қабылдады, сөйтіп өзінің салыстырмалық теориясын ұсынды.

Салыстырмалық теориясы жарық жылдамдығынан кіші, бірақ оған жақын жылдамдықпен қозғалып бара жатқан денелердің қозғалыс заңдылықтарын қамтитын механика заңдары кешенінен құралады, ол “релятивистік механика” деп аталды. Эйнштейннің арнаулы салыстырмалық теориясының негізін екі постулат – салыстырмалық қағидаты мен жарық жылдамдығының тұрақтылық қағидаты құрайды:

**1. Жарық жылдамдығының тұрақтылық қағидаты:** жарықтың вакуумдағы жылдамдығы барлық эмбебап санақ жүйелерінде бірдей әрі тұрақты, көздердің және тіркейтін аспаптардың әрекетіне тәуелді емес.

**2. Эйнштейннің салыстырмалық қағидаты:** барлық физикалық заңдылықтар мен үдерістер барлық эмбебап санақ жүйелерінде бірдей жүреді. Демек, барлық физикалық заңдар барша эмбебап санақ жүйелерінде бірдей пішінде (көріністе) болады.

Эйнштейн постулаттары және сол негізде жүргізілген математикалық талдаулар Галилей ауыстыруларының релятивистік жағдайларға тура келмейтіндігін көрсетті. Бұнда Лоренс ауыстырулары орынды болады екен. Бұндай ауыстырулар жарық жылдамдығына жақын бір әмбебап санақ жүйесінен екінші санақ жүйесіне өткендегі барлық релятивистік эффектілерді түсіндіріп береді және шағын жылдамдықтарда ( $v \ll c$ ) Галилей ауыстыруларының формуласына өтеді. **Сөйтіп, салыстырмалық теориясы классикалық Ньютон механикасын жоққа шығармайды, оның қолданылу аясын анықтап береді.**

Координата мен уақытты ауыстырудың кинематикалық формулалары арнаулы салыстырмалық теориясында Лоренс ауыстырулары деп аталып, 1904 жылы ұсынылған. Бұл ауыстырулар электродинамика теңдеулері үшін де инвариант болып саналады.

5.1-суретте қарастырылған санақ жүйесі үшін Лоренс ауыстырулары төмендегідей көрініспен жазылады:

$K' \rightarrow K$	$K \rightarrow K'$
$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}$
$y = y'$	$y' = y$
$z = z'$	$z' = z$
$t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$
$\beta = v/c$	

**Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы.** Лоренс ауыстыруларынан кеңістік пен уақыт ерекшеліктеріне қатысты бірқатар маңызды нәтижелер мен тұжырымдар туындайды. Олардың біріншісі – уақыттың релятивистік баяулау эффекті.

$K'$  жүйесінің  $X'$  нүктесінде  $\tau_0 = t'_2 - t'_1$  уақыт аралығында периодтық үдеріс туындады делік. Бұл жерде:  $t'_2$  және  $t'_1$  лер –  $K'$  санақ жүйесіндегі сағаттың көрсеткіштері.

Бұл үдерістің  $K$  санақ жүйесінде туындау кезеңі  $\tau = t_2 - t_1$ -ға тең болады.  $t_2$  және  $t_1$  уақыттардың өрнектерін Лоренс ауыстыруларын пайдаланып жазсақ:

$$\tau = \frac{t'_2 + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{t'_1 + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}};$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}. \quad (5-4)$$

Демек,  $\tau > \tau_0$ , яғни қозғалмайтын санақ жүйесімен салыстырғанда, қозғалатын жүйеде уақыттың өтуі баяулайды.

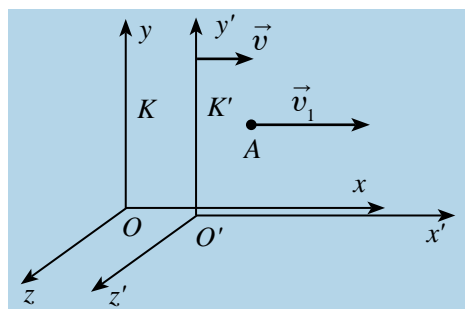
Нақ осы қағидат негізінде ұзындықтың релятивистік азаюын дәлелдеуге болады.

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} \text{ -ға тең болады.}$$

Бұл жерде:  $l_0$  және  $l$  – стерженьнің қозғалмайтын және қозғалып бара жатқан жүйелерінің ұзындықтары.

**Сонымен, бақылаушыға қарағанда қозғалып бара жатқан дененің сызықты өлшемі қысқарады. Бұл релятивистік эффект Лоренс ұзындық қысқаруы деп аталады. Лоренс ауыстыруларынан туындайтын маңызды нәтижелердің тағы бірі – жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы.**

А дене қозғалғыш санақ жүйесі  $K'$ -де  $x'$  білік бойымен  $v_1$  жылдамдықпен қозғалып бара жатыр делік.  $K'$  санақ жүйесі өз кезегінде бұлжымас санақ жүйесіне сәйкес  $v$  жылдамдықпен қозғалсын. Қозғалыс барысында  $x$  және  $x'$  біліктері сәйкес түссін,  $y$  және  $y'$ ,  $z$  және  $z'$  біліктері өзара параллель күйде болсын (5.2-сурет).



5.2-сурет.

Дененің  $K'$  санақ жүйесіне сәйкес жылдамдығы  $v_1$  және  $K$  санақ жүйесіне қарағанда жылдамдығы  $v_2$  болса, ондай жағдайда жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы төмендегідей көрініспен жазылады:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v}{c^2}}. \quad (5-5)$$

Егер жылдамдықтар жарық жылдамдығымен салыстырғанда өте төмен болса, яғни  $v \ll c$  және  $v_1 \ll c$ , ол жағдайда  $\frac{v_1 \cdot v}{c^2}$  есепке алмасақ та болады:

$\frac{v_1 \cdot v}{c^2} \approx 0$ . Бұнда жоғарыдағы жылдамдықтарды релятивистік қосу заңы классикалық механикадағы жылдамдықтарды қосу заңына айналады:

$$v_2 = v_1 + v$$



Егер  $v_1 = c$  болса, онда Эйнштейннің постулаттарына орай  $v_2 = c$  болуға тиіс. Расында да:

$$v = \frac{c + v}{1 + \frac{c \cdot v}{c^2}} = c \frac{c + v}{c + v} = c.$$



1. Галилей ауыстыруларын түсіндір.
2. Салыстырмалық теориясы постулаттарын сипатта және олардың мәнін түсіндір.
3. Ұзындықтың салыстырмалығы және оның Лоренс қысқаруын түсіндір.
4. Уақыт интервалының салыстырмалылығын және уақыттың релятивистік баяулауын түсіндір.

### 33-тақырып. МАССАНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҚҚА ТӘУЕЛДІЛІГІ. РЕЛЯТИВИСТІК ДИНАМИКА. МАССА МЕН ЭНЕРГИЯНЫҢ ӨЗАРА ТӘУЕЛДІЛІК ЗАҢЫ

Эйнштейннің салыстырмалық қағидаты табиғаттың барлық заңдылықтарының бір инерциялық санақ жүйесінен басқа санақ жүйесіне өткендегі инварианттылығын қамтамасыз етеді. Бұл – барлық табиғат заңдылықтарын бейнелейтін теңдеулер Лоренс ауыстыруларына сәйкес инвариант болуы керек деген сөз. Бірақ Ньютон механикасының теңдеулері Лоренс ауыстыруларына инвариант бола алмайды екен. Төмен жылдамдықтарда Ньютонның екінші заңы  $m \vec{a} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}$  көрінісінде жазылатын еді. Егер  $m \vec{v} = \vec{p}$  дененің импульсі десек, ол жағдайда  $m \Delta \vec{v} = \Delta \vec{p}$  дене импульсінің өзгерісі болғандықтан, оны  $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$  деп жазу мүмкін еді. Бұл формулаларда, негізінен,  $m \vec{v} = \vec{p}$  да масса тұрақты деп алынатын. Тағы бір қызықты жері, үлкен жылдамдықтарда да бұл теңдеудің пішіні өзгермейтін-ді. Үлкен жылдамдықтарда тек масса ғана өзгереді. Егер тыныш күйдегі дене массасы  $m_0$  болса, оның  $v$  жылдамдықпен қозғалып бара жатқандағы массасы  $m$  төмендегі формула бойынша анықталады екен:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{және} \quad \beta = \frac{v}{c}. \quad (5-6)$$

5.3-суретте массаның жылдамдыққа тәуелділік графигі келтірілген. Дененің жылдамдығы  $v$  жарық жылдамдығынан өте төмен болғанда,  $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$  айырмасы 1-ден өте аз және  $m \approx m_0$  болады.

Сонымен, Ньютонның сипаттамасына орай дененің массасы мен импульсі жылдамдыққа тәуелді екен.

Релятивистік механикада энергияның сақталу заңы нақ классикалық механикадағыдай етіп орындалады. Дененің кинетикалық энергиясы  $E_k$  оның жылдамдығының өзгеруіне немесе жылдамдық беру үшін сыртқы күштердің орындаған жұмысына тең, яғни  $\Delta E_k = E_k = A$ . Кинетикалық энергия  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2$ -ға артқанда, оның массасы  $\Delta m = m - m_0$ -ге өзгереді де, ол  $\Delta m = \frac{\Delta E_k}{c^2}$  -ға тең болады. Дененің жалпы энергиясының өрнегін салыстырмалық теориясы негізінде Эйнштейн төмендегідей көрініске келтірді:

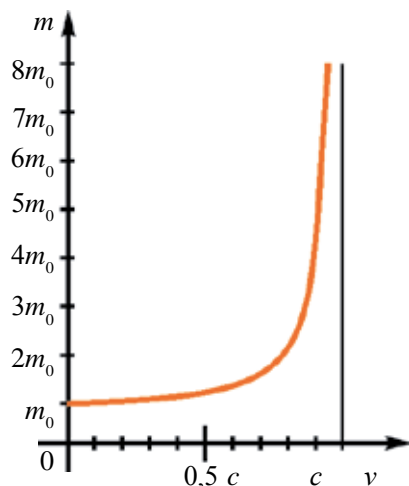
$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5-7)$$

Демек, релятивистік механикада дененің немесе денелер жүйесінің толық энергиясы оның қозғалыстағы массасы  $m$  мен жарық жылдамдығы квадратының көбейтіндісіне тең екен. Бұл Эйнштейн формуласы болып табылады да, масса мен энергияның өзара тәуелділік заңы деп аталады.

Дененің толық энергиясы  $E = m_0 c^2 + E_k$  тең болады, бұл жерде  $E_k$  – дененің әдеттегі кинетикалық энергиясы, ал  $E_0 = m_0 c^2$  дененің тыныштық күйдегі энергиясы.

Тыныш күйде массасы бар бөлшектер тыныш күйдегі массасы  $m_0 = 0$  болған түйіршікке айналғанда, оның тыныштықтағы энергиясы жаңадан пайда болған түйіршіктің кинетикалық энергиясына айналады. Ал бұл түйіршіктің немесе дененің тыныштықтағы энергиясы бар екенінің іс жүзіндегі дәлелі болып табылады.

Салыстырмалық теориясында дененің кинетикалық энергиясы төмендегідей анықталады:



5.3-сурет.

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = m_0c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right). \quad (5-8)$$

$$p = \frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{және} \quad E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{формулаларынан энергия мен импульс}$$

арасындағы тәуелділікті анықтауға болады. Бұл формуланы төмендегідей көріністе жазамыз:

$$\left( \frac{p}{m_0c} \right)^2 = \frac{\frac{v^2}{c^2}}{1-\frac{v^2}{c^2}}; \quad \left( \frac{E}{m_0c^2} \right)^2 = \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}. \quad (5-9)$$

Бұл теңдеулерден  $E^2 = (m_0c^2)^2 + (p \cdot c)^2$  формуласын келтіріп шығаруға болады. Бұдан тағы бір тұжырым туындайды. Егер дене немесе түйіршік тыныш күйде болса, оның импульсі  $p=0$  тең және ол жағдайда толық энергия  $E^2 = E_0^2 = (m_0c^2)^2$  тыныштықтағы энергияға тең болады.

**Бұл формуладан түйіршік массаға ие болмаса да, ( $m_0=0$ ) оның энергия мен импульске ие болуы мүмкін екендігін көрсетеді, яғни  $E=p \cdot c$ . Бұндай түйіршіктер массасыз түйіршіктер деп аталады.**

Бұндай түйіршіктерге мысал етіп фотонды көрсетуге болады және оның тыныш күйдегі массасы нөлге тең. Дегенмен ол массаға да, энергияға да ие болады. Массасыз түйіршіктер тыныш күйде болмайды және олар барлық инерциялық санақ жүйелерінде шекаралық жылдамдықпен ( $c$ ) қозғалады.



1. Динамиканың негізгі заңы релятивистік механика үшін қалай бейнеленеді?
2. Масса мен энергия арасындағы тәуелділік заңының релятивистік формуласын жаз және оны сипатта.
3. Тыныштықтағы энергия формуласын жаз және оны сипатта.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Екі ғарыш кемесі Жерден қарама-қарсы бағытқа қарай қозғалып барады және олардың әрқайсысының Жерге сәйкес жылдамдығы  $0,5 c$ -ға тең. Бірінші кеменің екінші кемеге қарағандағы жылдамдығы қандай?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$v_1 = 0,5 c$ $v_2 = -0,5 c$ <hr/> Табу керек: $v_{\text{салыст.}} = ?$	$v_{\text{салыст.}} = \frac{v_1 - v_2}{1 - \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$	$v_{\text{салыст.}} = \frac{0,5c - (-0,5c)}{1 - \frac{0,5c \cdot (-0,5c)}{c^2}} = \frac{c}{1,25} = 0,8 c.$ Жауабы: $0,8 c$ .

## 5-жаттығу

1. Қайсысының энергиясы көп: 1 кг су ( $E_1$ ), 1 кг көмір ( $E_2$ ) немесе 1 кг бензин ( $E_3$ )? (Жауабы:  $E_1 = E_2 = E_3$ ).

2.  $m$  массалы көмірдің энергиясы неге тең? ( $c$  – жарық жылдамдығы,  $\lambda$  – салыстырмалы балқу температурасы,  $q$  – салыстырмалы жану температурасы). (Жауабы:  $mc^2$ ).

3. 0,6 сек жылдамдықпен қозғалып бара жатқан бөлшектің кинетикалық энергиясы оның тыныш күйдегі энергиясынан неше есе кіші? (Жауабы: 4 есе).

4. Бөлшектің жылдамдығы қандай болғанда оның кинетикалық энергиясы тыныш күйдегі энергиясынан 2 есе үлкен болады? (Жауабы:  $2\sqrt{2}/3 c$ )

5. Серпімділік коэффициенті 20 кН/м серіппе 30 см-ге созылса, оның массасы қаншаға артады? (Жауабы:  $1 \cdot 10^{-14}$  кг).

6. 1 кг судың температурасы 81 К-ге арттырылса, оның массасы қаншаға артады (кг)? (Жауабы:  $3,78 \cdot 10^{-12}$ ).

7. Массасы 20 кг азот тұрақты қысымда  $0^\circ \text{C}$ -ден  $200^\circ \text{C}$ -ге дейін қыздырылды. Азоттың массасы қаншаға артқан? Азоттың тұрақты қысымдағы жылу сыйымдылығы  $1,05 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ . (Жауабы:  $4,7 \cdot 10^{-8}$  г)

8. Күннің сәулеленуі  $3,78 \cdot 10^{26} \text{ W}$ . 1 с-та Күн сәулелену нәтижесінде қанша (кг) массасынан айырылады? (Жауабы:  $4,3 \cdot 10^9$  кг).

9. Дене 0,89 с жылдамдықпен қозғалып барады. Оның тығыздығы тыныш күйдегіге қарағанда қалай өзгереді? (Жауабы: 5 есе артады).

10. Миуон атмосфераның жоғарғы қабаттарында пайда болады да, ыдырағанша 5 км-ге дейін ұшып барады. Егер оның дербес өмір сүру уақыты 2  $\mu\text{s}$  болса, ол қандай жылдамдықпен қозғалады? (Жауабы:  $0,99 c$ ).

11. Егер кометаның “көрінетін” ұзындығы оның дербес ұзындығынан ( $l_0$ )  $\sqrt{2}$  есе аз болса, кометаның бақылаушыға сәйкес жылдамдығын анықта. (Жауабы:  $\frac{\sqrt{2}}{2} c \approx 0,71 c$ ).

12. Егер протон 240 000 км/с жылдамдықпен қозғалып бара жатса, оның массасы тыныш күйдегі массасынан неше есе үлкен болады?  $c = 300 000 \text{ км/с}$ . (Жауабы:  $\frac{m}{m_0} \approx 1,67$  есе).

13. Стержень  $v$  жылдамдықпен  $K$  – санақ жүйесіне сәйкес қозғалып барады. Жылдамдықтың қандай мәнінде бұл санақ жүйесінде оның ұзындығы дербес ұзындығынан  $0,5\%$ -ға төмен болады? (Жауабы:  $v \approx 3 \cdot 10^7$  м/сек).

14. Егер  $\tau_0 = 5$  с уақытта  $K$  – санақ жүйесінде қозғалып бара жатқан сағат  $\Delta t = 0,1$  с-қа кеш қалса, ол қандай жылдамдықпен қозғалған? (Жауабы:  $v = 0,2$  с).

15. Түйіршіктің релятивистік импульсі Ньютон (классикалық) импульсінен 2 есе үлкен болса, түйіршіктің жылдамдығы қандай болғанын тап. (Жауабы:  $v = \frac{\sqrt{3}}{2} c$ ).

16. Түйіршіктің кинетикалық энергиясы оның тыныш күйдегі энергиясына тең болғандағы жылдамдығын анықта. (Жауабы:  $v = \frac{\sqrt{3}}{2} c$ ).

17. Жеделдеткіш электронға  $4,08 \cdot 10^6$  эВ энергия береді. Электронның жылдамдығы мен массасын анықта. (Жауабы:  $v \approx 0,98 c$ ,  $m = 9 m_0$ ).

## V ТАРАУДЫ ҚОРЫТЫНДЫЛАУ БОЙЫНША ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ

- Егер стерженьнің тыныш күйдегі ұзындығы 1 м болса, 0,6 с жылдамдықпен қозғалып бара жатқан стерженьнің ұзындығы қандай болады?  
A) 80 см;                      B) 84 см;                      C) 89 см;                      D) 90 см.
- Дененің қозғалыс жылдамдығы  $2,4 \cdot 10^8$  м/с болса, қозғалыс бағытында оның ұзындығы неше пайызға қысқарады?  
A) 80;                              B) 60;                              C) 40;                              D) 30.
- Дененің бойлық өлшемі  $20\%$ -ға төмендеген болса, ол қандай жылдамдықпен қозғалған?  $c$  – жарықтың вакуумдағы жылдамдығы.  
A)  $0,2 c$ ;                              B)  $0,6 c$ ;                              C)  $0,4 c$ ;                              D)  $0,7 c$ .
- Жерге сәйкес 0,99 с жылдамдықпен қозғалып бара жатқан аққан жұлдызда қанша уақыт өтеді? Бұл кезде Жерде 70 жыл өткен.  
A) 10 сағат;                              B) 1 жыл;                              C) 10 жыл;                              D) 20 жыл.
- Егер электрон 0,87 с жылдамдықпен қозғалып бара жатқан болса, оның массасы тыныш күйдегі массасынан неше есе үлкен болады?  
A) 2;                                      B) 2,5;                                      C) 0,4;                                      D) 0,5.
- Егер протонның қозғалысы 0,8 с жылдамдыққа дейін жеделдетілсе, оның массасы неге тең болады?  $m_0 = 1$  а.м.э  
A) 2,6 а.м.э;                              B) 1,7 а.м.э;                              C) 1,9 а.м.э;                              D) 1,4 а.м.э.
- Егер электронның жылдамдығы 0,6 с-қа тең болса, оның массасы қалай өзгереді?  
A) 1,5 есеге артады;                                      B) өзгермейді;  
C) 1,2 есеге артады;                                      D) 3 есеге артады.

8. 0,6 с жылдамдықпен қозғалып бара жатқан электронның массасы тыныш күйдегі массасынан неше есе үлкен болады?  
 A) 6;                                      B) 3;                                      C) 2,4;                                      D) 1,25.
9. Екі түйіршік бір-біріне  $\frac{5}{8}c$  жылдамдықпен қозғалып барады. Олардың салыстырмалы жылдамдықтары неге тең?  
 A) 0,5 с;                                      B) 0,6 с;                                      C) 0,7 с;                                      D) 0,9 с.
10. Түйіршіктің тыныш күйдегі массасы  $m$ . Оның 0,6 с жылдамдықтағы массасын анықта.  
 A) 1,83  $m$ ;                                      B) 1,67  $m$ ;                                      C) 1,25  $m$ ;                                      D) 2,78  $m$ .
11.  $1,8 \cdot 10^8$  м/с жылдамдықпен қозғалып бара жатқан түйіршіктің массасы оның тыныш күйдегі массасынан неше пайыз көп?  
 A) 60;                                      B) 54;                                      C) 36;                                      D) 25.
12. Түйіршіктің қандай жылдамдығында оның қозғалыстағы массасы тыныш күйдегі массасынан 40% көп болады?  
 A) 0,4 с;                                      B) 0,6 с;                                      C) 0,64 с;                                      D) 0,7 с.
13. Қайсысының энергиясы көбірек: 1 кг спирт ( $E_1$ ), 1 кг тас көмір ( $E_2$ ) яки 1 кг керосин ( $E_3$ )?  
 A)  $E_1 < E_2 < E_3$ ;                                      B)  $E_1 = E_2 = E_3$ ;                                      C)  $E_1 < E_3 < E_2$ ;                                      D)  $E_1 < E_2 = E_3$ .
14.  $m$  массалы көмір энергиясы қандай болады ( $c$  – жарық жылдамдығы,  $\lambda$  – салыстырмалы балқу температурасы,  $q$  – салыстырмалы жану температурасы)?  
 A)  $mc^2$ ;                                      B)  $mq$ ;                                      C)  $mc^2/2$ ;                                      D)  $m\lambda$ .
15. 0,6 сек жылдамдықпен қозғалып бара жатқан түйіршіктің кинетикалық энергиясы оның тыныш күйдегі энергиясынан неше есе кіші?  
 A) 2;                                      B) 3;                                      C) 3,6;                                      D) 4.
16. Күннің сәулеленуі  $3,78 \cdot 10^{26}$  Вт. Күн сәулелену нәтижесінде 1 с да қанша (кг) массасынан айырылады?  
 A)  $22 \cdot 10^{11}$                                       B)  $4,3 \cdot 10^9$ ;                                      C)  $1,7 \cdot 10^8$ ;                                      D)  $1,5 \cdot 10^{10}$ .

**V тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар**

1.	Салыстырмалық теориясы	Эйнштейннің арнаулы салыстырмалық теориясы кеңістік пен уақыт жөніндегі классикалық ұғымдар орнына келген ілім болып табылады.
2.	Жарықтың вакуумдағы жылдамдығының тұрақтылығы	Жарықтың вакуумдағы жылдамдығы барлық санақ жүйелерінде бірдей $c$ -ға тең және жарық көздері мен қабылдаушылардың табиғатына тәуелді емес. Бұл тәжірибені Майкельсон дәлелдеген.

3.	Эйнштейннің постулаттары	1. Жарықтың вакуумдағы жылдамдығы барлық санақ жүйелерінде бірдей және жарық көздері мен қабылдағыштардың табиғатына тәуелді емес. 2. Барлық табиғат заңдылықтары мен үдерістері барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей жүреді.
4.	Лоренс ауыстырулары	Салыстырмалық теориясының математикалық негізін Лоренс ауыстырулары құрайды.
5.	Уақыттың релятивистік баяулауы	$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , бұл жерде $\tau_0$ – дербес уақыт.
6.	Ұзындықтың релятивистік Лоренс қысқаруы	$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ , бұл жерде $l_0$ – дербес ұзындық.
7.	Релятивистік импульс формуласы	$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m \vec{v}.$
8.	Релятивистік динамиканың негізгі заңы	$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}.$
9.	Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы	$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v}{c^2}}.$
10.	Релятивистік масса	$m = \frac{m_0 \gamma}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , $m_0$ – тыныш күйдегі масса.
11.	Дененің толық энергиясы	Дененің немесе түйіршіктің энергиясы оның массасы мен жарық жылдамдығының квадраты көбейтіндісіне тең: $E = mc^2$ .
12.	Дене энергиясы өзгерісінің масса өзгерісіне тәуелділігі	$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}.$
13.	Дененің тыныш күйдегі энергиясы	$E_0 = m_0 c^2.$
14.	Дененің кинетикалық энергиясы	$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2.$

## VI тарау. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

### 34-тақырып. КВАНТТЫҚ ФИЗИКАНЫҢ ПАЙДА БОЛУЫ

Кванттық физиканың пайда болу себебі сол, XX ғасырдың бас кезінде физикада үлкен дағдарыстар – проблемалар туындады. Қолда бар классикалық теориялар, соның ішінде Максвелл теориясы да бұл ғылыми физикалық проблемаларды шеше алмады.

Солардың бірі – жылудың сәулеленуі. Жылудан сәулеленген дене өзінің жылуын айналадағы денелер мен қоршаған ортаға беріп, термодинамикалық тепе-теңдікке, яғни температуралардың теңелуіне соқтыруға тиіс болатын. Бірақ сәулеленген дене, мысалы, Күннің температурасы 6000 К болса, бұндай құбылыс орын алмайтын еді. Сондай-ақ сәулеленген энергия барлық толқын ұзындықтарында әр түрлі болады да, анық температураға тәуелді емес бөліну заңдылығына бойсұнады. Бұл – әрбір толқын ұзындығына тура келген сәулелену энергиясының үлесі әр түрлі деген сөз. Бұндай тәуелділікте ең жоғары сәулелену энергиясының максимумы температураға байланысты болады да, Вин ығысу заңы бойынша өзгереді:

$$\lambda_m T = b. \quad (6-1)$$

Бұл жерде:  $\lambda_m T$  температурадағы сәулеленіп жатқан энергия максимумына тура келетін толқын ұзындығы. Ал  $b$  – Вин тұрақтысы болып саналады,  $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  -ге тең.

**Вин ығысу заңы дене сәулеленуінің максимумына тура келетін толқын ұзындығы  $\lambda_m$  абсолют температураға кері пропорционал болып табылады:**

$$\lambda_m = \frac{b}{T}.$$

Мысалы, Күннің ең жоғары сәулелену энергиясы ( $\lambda = 470 \text{ нм}$ ) жасыл сәулелерге тура келеді. Ал бұл Вин заңы негізінде  $T = 6300 \text{ K}$  -лерге тура келеді. Бұл сәулелену энергиясының бөлінуі Релей-Джинс классикалық статистикалық механика заңы негізінде термодинамиканың молекулярлық энергиясының еркіндік дәрежесі бойынша біркелкі бөлініс заңына орай жасалды. Ол тек ұзын



толқындарда ғана болатын бөліністі түсіндіріп берді, ал қысқа толқындарға арналған тәжірибе нәтижелері мен қолданысқа қайшы келді.

XX ғасырдың бас кезінде пайда болған ғылыми дағдарыс проблемаларының бірі – газдар мен металл буларының сәулелену спектрлерінің сызықты болатынын түсіндіру еді. Сонымен қатар фотоэффект құбылысының ашылуы, Жарықтың қысымға ие болуы және жарық сәулелерінің электрондарға ыдырауы сияқтыларды классикалық физика да, соның ішінде Максвеллдің электромагниттік теориясы да түсіндіріп бере алмады.

Бұл ділгірліктерді шешу бойынша неміс ғалымы М.Планк жаңа идеяны – классикалық физикаға қайшы идеяны алға тартты. Ол қыздырылған дененің сәулеленуі және жұтуы үздіксіз емес, тек жеке-жеке, үлес-үлестер бойынша (кванттармен) жүзеге асады дегенді ұсынды. Квант – дененің жұту немесе сәулелену энергиясының ең төменгі бөлігі.

**Планк теориясына орай, квант энергиясы жарық жиілігіне тура пропорционал:**

$$E = h\nu, \quad (6-2)$$

бұл жерде:  $h$  – Планк тұрақтысы,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж · с -ке тең. Планк дененің сәулеленуі мен жарықты жұтуы үздік-создық болады деп, сәулелену энергиясын толқын ұзындығы бойынша бөлу заңын ашты және жоғарыдағы ділгірліктерді түсіндіріп берді.

Сондай-ақ ол сәулеленетін денелердің бар болу шарт-жағдайы (Күн мысалында) және термодинамикалық тепе-теңдіктің туындауы шарт емес екендігін түсіндірді.



1. *Заманалық физика көзқарасы тұрғысынан алғанда жарық деген не?*
2. *Жарықтың корпускулярлық қасиетін сипаттайтын факторлар қандай?*
3. *М.Планк гипотезасының мәні неден тұрады?*
4. *Планк тұрақтысының мағынасы не?*

## 35-тақырып. ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЭФФЕКТ. ФОТОНДАР

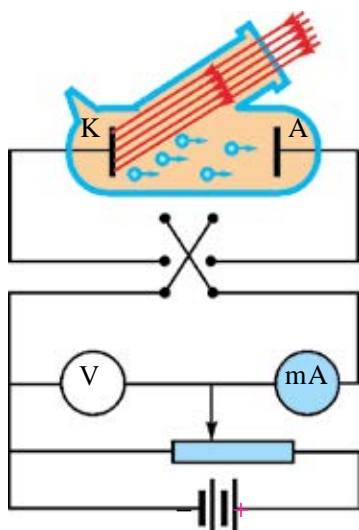
Фотоэлектрлік эффект немесе қысқаша – фотоэффект құбылысын 1887 жылы Г.Герц ашқан, ал тәжірибе жүзінде орыс ғалымы А.Столетов (Ф.Ленардтан бейхабар) жан-жақты зерттеген.

**Сыртқы фотоэффект – жарықтың әсерімен заттан электрондардың шығарылуы.**

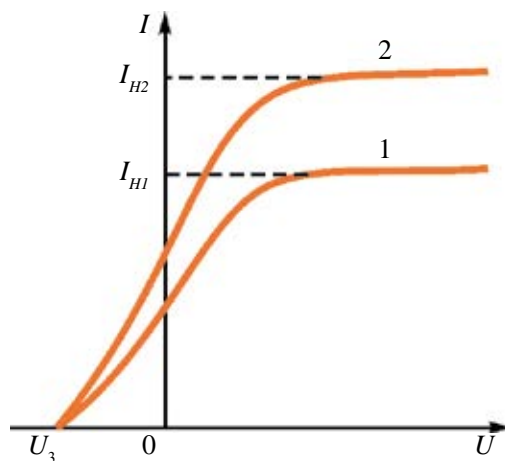
Фотоэффект құбылысын үйренудің эксперименттік құрылғысының сызбалық құрылысы 6.1-суретте келтірілген.

Құрылғының негізін екі электрод: анод пен катод және кварцтан әзірленген “Айналы” шыны баллоны құрайды. Шыны баллон ішінде вакуум дайындалады, өйткені вакуумда электрондар мен басқа да ұнтақтар түзу сызықты қозғалыс жасай алады.

Электродтарда потенциометр арқылы кернеулік (0-ден  $U$ -ға дейін) беру үшін ток көзі қосарланған кілт  $K$  арқылы қосылған. Қосарланған кілт ток көзінің полюсін ауыстырып, тізбекке қосу мүмкіндігін береді.



6.1-сурет.



6.2-сурет.

Электродтардың біреуі – катод (негізінен цезийлі катод) кварцты “айнадан” монохроматикалық сәулемен жарықтандырылады. Тұрақты толқын ұзындығында және тұрақты жарық ағынында фототоктың күші  $I$  -дің анодқа берілген кернеулікке тәуелділігі өлшенеді.

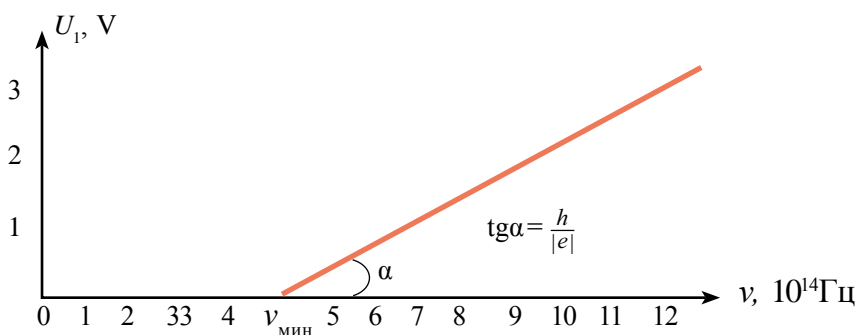
6.2-суретте фототок күшінің кернеулікке тәуелділігінің типтік графиктері келтірілген. 2-график 1-ге қарағанда үлкенірек жарық ағынына тиесілі. Бұл жерде:  $I_{1т}$  және  $I_{2т}$  – тойыну токтары,  $U_{жаб}$  – жабу кернеулігі, яғни бұндай теріс кернеу берілгенде, фотоэлектрондар бастапқы жылдамдықтары бойынша анодқа жетіп бара алмайды.

6.2-суреттегі графиктерде анод кернеулігінің үлкен оң мәндерінде ток күшінің тойынуына қол жеткізіледі. Яғни катодтан шыққан барлық электрондар анодқа жетіп барады. Тәжірибелер көрсеткеніндей, тойыну фототок күші түсіп жатқан жарық ағынына тура пропорционал болады.

Егер анодқа катодқа қарағанда теріс кернеу берсек, ол электрондарды тежейді және бастапқы жылдамдығы есебінен үлкен кинетикалық энергияға ие болған электрондар ғана анодқа жетіп барады. Кернеу  $U_{жаб}$  мәнге жеткенде, фототок нөлге тең болады. Жабу кернеулігі  $U_{жаб}$  -дың мәнін берілген катод үшін өлшеп, фотоэлектрондардың ең жоғары кинетикалық энергиясын анықтауға болады:

$$E_{к макс} = \frac{mv_{макс}^2}{2} = eU_{жаб} \quad (6-3)$$

Ф.Ленард өз тәжірибелерінде дәлелдегеніндей,  $U_{жаб}$  – жабу потенциалы түсіп жатқан сәуленің интенсивтілігіне (жарық ағынына) тәуелді болмай, түсіп жатқан жарықтың жиілігіне сызықты түрде тәуелді екенін (6.3-сурет) көрсетеді.



6.3-сурет.

Тәжірибелер негізінде **фотоэффект заңдары** ашылды:

1. Фотоэлектрондардың ең жоғары (максимум) кинетикалық энергиясы жарық ағынына (интенсивтілігіне) тәуелді емес және түсуші сәуленің жиілігі  $\nu$  -ға сызықты түрде тәуелді ( $\nu$  артқан сайын  $I$  сызықты түрде артады).

2. Әрбір материя үшін фотоэффект пайда болатын ең төменгі жиілік  $\nu_{мин}$  бар және ол фотоэффектінің қызыл шекарасы деп аталады.

3. Катодтан уақыт бірлігінде шығып жатқан фотоэлектрондар саны катодқа түсіп жатқан жарық ағынына (интенсивтілігіне) тура пропорционал, ал жиілігіне тәуелді емес.

Фотоэффект құбылысы инерциясыз құбылыс болып табылады, жарық ағыны тоқтаған замат фототок жойылады, жарық түсісімен фототок пайда болады.

**Фотоэффект теориясы.** Фотоэффект теориясын 1905 жылы А.Эйнштейн негіздеп берді. Ол М.Планктың гипотезасын пайдаланып, электромагниттік толқындар да ерекше үлестерден – кванттардан тұрады деген тұжырымға келді. Олар бертін келе фотондар деген атау алды.

Эйнштейннің идеясына сүйенсек, фотон элементпен әсерлескенде, өз энергиясы –  $h\nu$  -ді толығымен электронға береді. Энергияның сақталу заңы негізінде бұл энергияның бір бөлігі электронның элементтен шығуына жұмсалады, ал қалған бөлігі электронның кинетикалық энергиясына айналады:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (6-4)$$

Бұл *фотоэффектіге арналған Эйнштейн теңдеуі* деп аталады.

Онда  $A$  – электронның элементтен шығуы үшін орындалған жұмыс. Егер электронның ең жоғары кинетикалық энергиясы

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{макс}} = eU_{\text{жаб}}$$

екенін ескерсек, Эйнштейннің фотоэффектіге арналған теңдеуін төмендегідей көріністе жазуымызға да болады:

$$h\nu = A + eU_{\text{жаб}}$$

Эйнштейннің фотоэффектіге арналған теңдеуі фотоэффект құбылысы үшін энергияның сақталу заңын өрнектейді. Сондай-ақ фотоэффект заңдары:

а) фотоэлектрондардың ең жоғары кинетикалық энергиясы түсуші сәуленің жиілігіне сызықты тәуелді екенін және түсуші сәуленің интенсивтілігіне тәуелді еместігін;

ә) фотоэффектінің қызыл шекарасы бар екенін, яғни  $h\nu_{\text{мин}} = A$  -ны;

б) фотоэффектінің инерциясыздығын түсіндіріп берді. Эйнштейн теңдеуін негізге алсақ, 1 с-та беттен шығып жатқан фотоэлектрондар саны сол бетке түсіп жатқан фотондар санына пропорционал болады.

Эйнштейн теңдеуі негізінде 6.3-суреттегі  $U_{\text{жаб}}$  – жабу потенциалының жиілікке тәуелділік графигінің қиялығы  $\text{tg}\alpha$  – Планк тұрақтысы электрон зарядының қатынасына тең, яғни

$$tg\alpha = \frac{h}{|e|}. \quad (6-5)$$

Бұл қатынас Планк тұрақтысын тәжірибе жүзінде анықтауға мүмкіндік береді. Бұндай тәжірибені 1914 жылы Р. Милликен жүргізіп, Планк тұрақтысын анықтады.

Аталмыш тәжірибе фотоэлектронның шығу жұмысын да анықтап берді:

$$A = h\nu_{\min} = \frac{h \cdot c}{\lambda_0}.$$

Бұл жерде:  $c$  – жарық жылдамдығы,  $\lambda_0$  – фотоэффектінің қызыл шекарасына тура келген толқын ұзындығы.

Катодтарға арналған шығу жұмысы эВ -лармен өлшенеді ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ). Сондықтан да Планк тұрақтысының іс жүзінде eV-лармен өрнектелетін мәні қолданылады:  $h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$ .

Металдар арасындағы сілтілі металдар: Na, K, Cs, Rb сияқтылар шағын шығу жұмысына ие. Сондықтан да іс жүзінде олардың оксидті және басқа қоспалары катод сыртын қаптауда қолданылады. Мысалы, цезий оксидті катодтың шығу жұмысы  $A = 1,2 \text{ эВ}$ , бұған тура келген фотоэффектінің қызыл шекарасы  $\lambda_0 \approx 10,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . Бұл сары түс – көзге көрінетін жарық сәулесін тіркейтін жүйелерде кең қолданылады.

**Ішкі фотоэффект.** Жартылай өткізгіштер жарық сәулесімен сәулелендірілгенде әлсіз байланысқан электрондар фотондарды жұтып, еркін электрон күйіне өтеді. Бұнда жартылай өткізгіштердегі еркін заряд тасымалдаушылар концентрациясы (шоғырлануы) және жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі артады.

**Жартылай өткізгіштерге сәуленің әсер етуі нәтижесінде онда еркін заряд тасымалдаушылардың пайда болуы ішкі фотоэффект** деп аталады.

Сәуленің әсер етуі нәтижесінде жартылай өткізгіштерде туындаған қосымша электр өткізгіштік **фотоөткізгіштік** деп аталады. Ал бұл фотокедергілерді өндіру ісінде қолданылады. Фотокедергі – өткізгіштігі жарықтың әсеріне байланысты өзгертін кедергілер болып табылады, бұны радиотехникада **фоторезисторлар** деп атайды.

**Фотондар.** Жарықтың кванттық теориясына орай заттың жарық сәулесін жұтуында және сәулеленуінде жарық өзін ұнтақтар ағыны сияқты етіп көрсетеді. Жарықтың бұндай ұнтақтары **фотондар** немесе **жарық кванттары** деп аталады. Фотонның энергиясы  $E = h\nu$  -ға тең. Фотон вакуумда жарық жылдамдығымен ( $c$ ) қозғалады. Тыныш күйде фотонның массасы болмайды, яғни  $m_0 = 0$ .

Салыстырмалық теориясындағы  $E = mc^2$  -ты пайдаланып, фотонның қозғалыстағы массасын анықтауға болады:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (6-6)$$

Көбінесе фотон энергиясы  $h\nu$  -ны жиілік арқылы емес, циклдік жиілік  $\omega = 2\pi\nu$  арқылы өрнектейміз. Бұнда  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  қолданылады. Оны

$\hbar$  – наш сызығы деп оқиды.  $\hbar$ -тың мәні:  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с -ға тең болады.

Жарықты бөлшектер – фотондар ағынынан тұрады деп қарау корпускулярлық теория болып табылады, онда Ньютон механикасына қайта оралу болды деу мүмкін емес. Оның қозғалыс заңдары кванттық механиканың заңдарына мойынсұнады.

XX ғасырдың басына қарай жарықтың табиғаты екі түрлі екендігі мәлім болды. Жарықтың таралуында оның толқындық қасиеттері (интерференция, дифракция, поляризациялану) және заттармен әсерлескенде (фотоэффект, жарық қысымы және т.б.) корпускулярлық-ұнтақтық қасиеттері көрініс табады.

Бұл қасиеттер **ұнтақ – толқын дуализмі** деп те атала бастады. Бертін келе электрондар, протондар, нейтрондар ағындары да толқындық қасиетке ие екендігі айқындалды.

Осы негізде заттың жарықты сәулелендіруі мен жұтуы, сызықты спектрлер, фотоэффект құбылысы, жарық қысымы және басқа үдерістер түсіндіріліп, сипатталды.



1. Фотон деген не? Фотонның ерекшеліктері нелерден тұрады?
2. Фотоэффект заңын жарықтың кванттық теориясы негізінде түсіндіріп бер.
3. Эйнштейн формуласын және оның физикалық мәнін түсіндір.
4. Фотоэффектінің пайда болу шарт-жағдайлары қандай?
5. Фотоэффектінің қызыл шекарасын түсіндір.

## 36-тақырып. ФОТОН ИМПУЛЬСІ. ЖАРЫҚ ҚЫСЫМЫ. ФОТОЭФФЕКТИНІҢ ТЕХНИКАДА ҚОЛДАНЫЛУЫ

Фотон тұрақты қозғалыста болғандықтан, ол  $p = m \cdot c$  импульсіне ие болады. Жоғарыдағы қатынасты есепке алсақ, фотон импульсі  $p = \frac{h\nu}{c}$  -ға тең болады.

$\lambda = \frac{c}{\nu}$  формуласын ескеріп, фотонның энергиясы мен импульсін толқын ұзындығы арқылы өрнектейміз:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ және } p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (6-7)$$

Егер дене бетіне фотондар ағыны түсіп жатқан болса, онда фотондар сол бетке импульс береді және жарық қысымын туындатады.

Максвеллдің электромагниттік теориясына орай жарық бірер дененің бетіне түскенде, оған қысыммен әсер етеді. Дегенмен бұл қысымның мәні өте кішкентай болып шықты. Максвеллдің есептеулеріне қарағанда, Жерге түсіп жатқан Күн сәулесінің  $1 \text{ м}^2$  беттің абсолют қара бөлігіне түсіретін қысым күші  $0,48 \text{ мН}$  екен. Бұндай күшті ашық Жер жағдайында тіркеу өте қиынға соғады.

Жарық қысымын алғаш рет 1900 жылы орыс ғалымы П.Н.Лебедев өз тәжірибесінде өлшеп көрді. Бұл үшін ол өте нәзік құрылғы жасады. Бір яки бірнеше жұп қанатшалары бар құрылғы өте жіңішке жіпке ілінген. Жіпке айна орнатылған, ал жұқа қанатшалардың бірі жалтыратылған, екіншісі қарайтылған. Олардың жалтырағы жарықты жақсы қайтарады, ал қарайтылғаны жұтады.

Жүйе ауасы сорып алынған ыдыстың ішіне салынып, өте сезімтал бұрандалы таразыға айналдырылады. Құрылғының бұрылуы жіпке байланған айна мен дүрбі көмегімен бақыланады. Құрылғының бұрылу бұрышына қарап, ілінген жабдыққа әсер еткен жарықтың қысым күші анықталады.

Лебедевтің алған нәтижелері Максвеллдің электромагниттік теориясын растады және өлшенген жарық қысымы теориялық болып саналған жарық қысымына 20% -дық қателікпен сәйкес келді. Бертін келе, яғни 1923 жылы Герлахтың тәжірибелері негізінде өлшенген жарық қысымы теориялық болып саналған нәтижеден 2% ғана айырма жасады.

Фотондар ағынының бетке түсіретін қысымының формуласын төмендегідей етіп шығаруға болады. Фотонның бетке соғылу нәтижесіндегі әсер

күші  $F_1 = \frac{\Delta(mc)}{\Delta t}$  -ға тең. Егер  $N$  санды фотон соғылса, ол жағдайда  $F_k = NF_1 = \frac{N\Delta(mc)}{\Delta t}$ .

Бұл жерде:  $\Delta(mc)$  – фотон импульсінің өзгерісі. Егер бет идеал жалтырақ болса,  $\Delta(mc) = 2mc$  -ге, абсолют қара болса,  $\Delta(mc) = mc$ -ге тең.

Онда абсолют қара бетке түсірілген қысым  $p_1 = \frac{F}{S} = \frac{N\Delta(mc)}{S \cdot \Delta t}$ .

Егер бет жалтырақ болса,  $p_1 = \frac{N \cdot 2mc}{S \cdot \Delta t}$ .

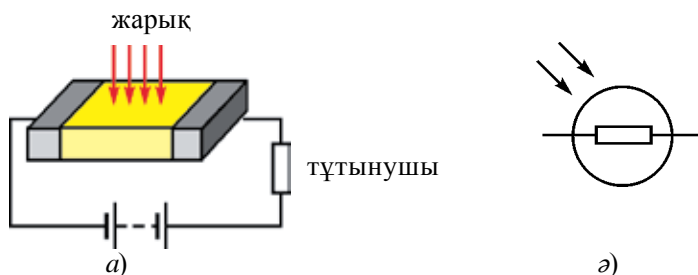
$E = mc^2$  -тан  $mc = \frac{E}{c}$  екендігі есепке алынса,  $p = \frac{NE}{c \cdot S \cdot \Delta t}$ .

Бұл жерде  $\frac{NE}{S \cdot \Delta t} = I$  – бет бірлігіне уақыт бірлігінде түсетін жарық (толқын) энергиясы жарық (толқын) интенсивтілігі  $I$  деп аталады.

Ондай жағдайда  $p = \frac{I}{c}$ . Бұл Максвеллдің электромагниттік толқындардың зат бетіне түскендегі (абсолют қара бетке) беретін қысымының формуласы болып табылады.

Фотоэффект құбылысы негізінде жұмыс істейтін аспаптардың ең жиі әрі көп қолданылатыны – **фотоқарсылық**.

Фотоқарсылықтың негізін салыстырмалы беттің үлкендігі, жарыққа сезімтал жартылай өткізгіш құрайды. Оның сызбалық көрінісі мен шартты белгісі 6.4-суретте келтірілген.



6.4-сурет.

Бөлме температурасында жартылай өткізгіштің қарсылығы өте үлкен және одан өте шағын ток өтеді. Бұнда жарық түсісімен-ақ еркін заряд тасымалдаушылардың концентрациясы артады, ал қарсылығы әлсірейді. Ток күші артады.

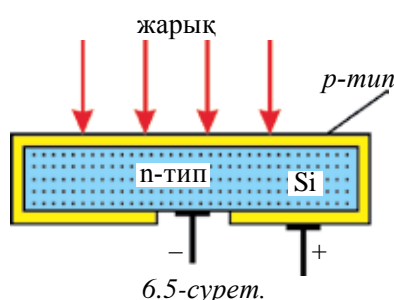


Фотокарсылықтардың жетістіктері төмендегідей. Жоғары фотосезімталдық, ұзақ уақыт бойы тиімді жұмыс істеуі, өлшемінің шағындығы, дайындау технологиясы да күрделі емес, әр түрлі толқын ұзындығында жұмыс істейтін жартылай өткізгішті материалдан әзірлеу мүмкіндігі бар.

Оның кемшіліктерінің бірі – қарсылығының өзгеруі жарық ағынына сызықты тәуелді еместігі болса, екіншісі – температураға сезімталдығы. Осы тұрғыдан алғанда, оның инерттігі үлкен, оны үлкен жиіліктерде қолданған кезде бірқатар проблемалар туындайды.

### Ішкі фотоэффектіге негізделген фотоэлементтер.

Ішкі фотоэффектіге негізделген  $p-n$  өтпелі жартылай өткізгішті фотоэлементтер жарық энергиясын электр энергиясына айналдыру үшін қолданылады. Күн энергиясын электр энергиясына айналдырып беретін жартылай өткізгіш – кремнийлі фотоэлементтер бүгінде кең қолданылып келеді және олар **Күн батареялары** деген атау алған.



Күн батареясының негізін құрайтын  $n$ -түрдегі кремний пластинкасы жасалып, оның тысы  $p$ -типтегі кремнийдің жұқа қабатымен (1–2- $\mu\text{m}$ ) қапталған (6.5-сурет).

Элементтің бетіне жарық түсісімен-ақ  $p$ -типтегі жұқа қабатта электронды қуыс жұптары пайда болады да, жұқа қабатта рекомбинациялану басталмай жатып  $p-n$  типі өтпелі салаға өтеді.  $p-n$  өтпелі салада зарядтардың бөлінуі жүзеге асады. Пайда болған өрістің әсерімен электрондар  $n$ -салаға, қуыстар  $p$ -салаға айдалады. Пайда болған ЭҚК орта есеппен 0,5 В-ға дейін жетеді. 1  $\text{cm}^2$  бетті бұндай элемент тұтынушыға қосылғанда 25 мА-ға дейін ток береді.

Кремнийлі фотоэлементтердің сезімталдығы жасыл сәуле үшін максимум, яғни Күн сәулеленуінің ең жоғары бөлігіне тура келеді. Сондықтан да олар жоғары ПӘК-ке ие болады. Қалыпты жағдайда ол 11–12%-ға дейін, ал жоғары сапалы материалдарда 21–22%-ға дейін барады.

Күн батареялары Жердегі Күн электр станцияларынан тыс, Жердің жасанды серіктері мен ғарыш кемелерінде электр энергиясы көздері ретінде қызмет етеді.

Ішкі фотоэффектіге негізделген және ең көп қолданылатын аспаптардың бірі – жарық диодтары (жартылай өткізгішті лазерлер) болып табылады. Бұл бір немесе бірнеше  $p-n$  өтуге негізделген диод болғандықтан, ол арқылы электр тогы өткенде, өзінен жарық шығарады. Бұл диодтың

материалында электрондардың мөлшері және қозғалғыштығы қуыстарға карағанда көбірек болады. Электрондар  $n$ -саладан  $p$ -салаға өткенде қуыстар рекомбинацияланып, артық энергияны өздерінен сәуле ретінде шығарады.

Жартылай өткізгіш материалдың түріне қарай сәулеленудің түсі де алуан түрлі болады.

Өзбекстан ҒА академигі М.Саидов сәулеленуі әр түрлі 10-ға жуық жарық диодтарын ашқан және олардың теориясы мен дайындау технологиясын жасаған.

Бұрындары фотоқұралдар тек кинотехникада және фотоэлектронды санағыштарда ғана қолданылған болса, бүгінгі таңда жарықтандырғыштарда, робототехникада, автоматикада, фотометрияда, түнгі көру аспаптарында, Күн электр станцияларында және жарық сәулелерінің көмегімен жүзеге асырылатын ғылыми зертханалардағы зерттеулерде кеңінен қолданылып келеді.

Өзбекстанда Күн энергиясын кең пайдалану мақсатымен 1993 жылы “Физика-Күн” ғылыми өндірістік бірлестігі ұйымдастырылды және ол жерде кең ауқымды ғылыми-зерттеу жұмыстары мен практикалық ізденістер жүргізілуде.



1. Фоторезистор деген не және оның жұмысы қандай қағидатқа негізделеді?
2. Ішкі фотоэффектіге негізделген фотоэлементтің электр энергиясы көзі ретінде қолданылу қағидатын түсіндір.
3. П.Н.Лебедевтің жарық қысымын өлшеу тәжірибесін түсіндір.
4. Жарық қысымын жарықтың кванттық ұғымы негізінде түсіндір.

### Мәселе шешу үлгісі

1. Егер металдан электронның шығу жұмысы  $7,6 \cdot 10^{-19}$  Дж және электронның кинетикалық энергиясы  $4,5 \cdot 10^{-19}$  Дж болса, бетке түсіп жатқан жарықтың толқын ұзындығы анықта.  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$E_k = 4,5 \cdot 10^{-20}$ Дж	$h\nu = A + E_k$	$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{7,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 0,45 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} \approx$ $\approx 2,46 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$
$A = 7,6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$\lambda = \frac{v}{c}$	
$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с	$\frac{hc}{\lambda} = A + E_k$	Жауабы: $\lambda \approx 2,46 \cdot 10^{-7}$ м.
$c = 3 \cdot 10^8$ м/с	$\lambda = \frac{hc}{A + E_k}$	
Табу керек:		
$\lambda = ?$		

**6-жаттығу**

1. 35 г зат 33 г антизатқа қосылып,  $10^5$  Гц-тік электромагниттік сәулеленуге айналса, неше фотон сәулеленеді? (Жауабы:  $9 \cdot 10^{33}$ )

2. Егер бірінші фотонның энергиясы екінші фотондікінен 2 есе үлкен болса, бірінші фотон импульсінің екіншісінен айырмасы неше есе болады? (Жауабы: 2 есе.)

3. Салыстырмалы сыну көрсеткіші  $n$  болған мөлдір ортада фотонның импульсі неге тең? (Жауабы:  $h\nu/nc$ )

4. Массасы тыныш күйдегі электронның массасына тең болуы үшін фотонның энергиясы (МэВ) қандай болуға тиіс? (Жауабы: 0,51 МэВ)

5. Жиілігі  $10^{17}$  Гц сәулелену айнаға тік түсіп, одан шағылуда. Фотонның қайту импульсі өзгерісінің модулін анықта (кг·м/сек).  $h=6,6 \cdot 10^{-63}$  Дж·с. (Жауабы:  $4,4 \cdot 10^{-25}$  кг·м/с)

6.  $100 \text{ см}^2$  бетке минутына 63 Дж жарық энергиясы түседі. Жарық толығымен шағылса, оның қысымы неге тең болады? (Жауабы:  $7 \cdot 10^{-7}$  Н/м<sup>2</sup>).

7. Жарықты толық шағылдыратын бетте жарықты толық жұтатын бетке қарағанда жарық қысымы неше есе үлкен болады? (Жауабы: 2 есе).

8. Толқын ұзындығы  $3 \cdot 10^{-7}$  м-ге тура келетін жарық сәулесі квантының энергиясын анықта. (Жауабы:  $6,6 \cdot 10^{-19}$  Дж).

9. Металлдан электронның шығуы  $32,3 \cdot 10^{-19}$  Дж болса, фотоэффектінің қызыл шекарасы  $\nu_0$  -ді тап. (Жауабы:  $5 \cdot 10^{14}$  Гц).

10. Жарықтың толқын ұзындығы  $5 \cdot 10^{-5}$  см болса, фотонның импульсін анықта. (Жауабы:  $1,32 \cdot 10^{-27}$  кг·м/сек).

11. Фотон энергиясы  $4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж болған жарықтың ортадағы толқын ұзындығы  $3 \cdot 10^{-7}$  м болса, сол ортаның сәуле сындыру көрсеткішін анықта. (Жауабы:  $n=1,5$ ).

12. Фотоэффектінің қызыл шекарасы  $\nu_0=4,3 \cdot 10^{14}$  Гц болған затқа толқын ұзындығы  $3 \cdot 10^{-5}$  см жарық түссе, фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы неге тең (Дж) болады? (Жауабы:  $E_k \approx 3,76 \cdot 10^{-19}$  Дж).

13. Фотоэлементтің катоды  $\nu_1$  жиілікті монохроматикалық жарық сәулесімен жарықтандырылғанда фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы  $E_1$  -ге, ал  $\nu_2=3\nu_1$  жиілікті сәулемен жарықтандырылғанда фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы  $E_2$  -ге тең болған.  $E_1$  және  $E_2$  -лердің қатынасы қандай? (Жауабы:  $E_2 > 3E_1$ ).

14. Цезийлі катодқа толқын ұзындығы 600 нм жарық түсіп жатыр. Электронның катодтан шығу жұмысы 1,8 эВ-ға тең болса, жабу кернеулігінің

қандай мәнінде (В) фототок тоқтайды?  $h=4,1 \cdot 10^{-15}$  эВ·с. (Жауабы:  $U_{\text{жаб}}=0,25$  В)

15. Қуаты 100 W жарық көзі әр 2 секунд сайын  $2,5 \cdot 10^{20}$  фотонды сәулелендіреді. Жарықтың толқын ұзындығын анықта.  $h=6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. (Жауабы:  $\lambda \approx 2,5 \cdot 10^{-7}$  м).

16. Жиілігі  $10^{16}$  Гц жарық сәулесі айнаға түсіп, толық шағылуда. Жарықтың шағылу үдерісіндегі фотон импульсінің өзгерісін тап.  $h=6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. (Жауабы:  $4,4 \cdot 10^{-26}$  кг·м/сек).

17. Жекеленген мыс шарға толқын ұзындығы 0,165 мкм монохроматикалық ультракүлгін сәуле түсіп тұр. Егер мыстан электронның шығу жұмысы  $A_{\text{ш}}=4,5$  эВ болса, шар неше вольт потенциалға дейін зарядталады?  $h=4,1 \cdot 10^{-5}$  эВ·с. (Жауабы:  $\phi_{\text{макс}} \approx 2,95$  В).

## VI ТАРАУДЫ ҚОРЫТЫНДЫЛАУ БОЙЫНША ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ

- Жарықтың денелерден электронды шығару құбылысы ... деп аталады.**  
А) поляризациялану; В) дифракция; С) дисперсия; Д) фотоэффект.
- Түсіп жатқан жарықтың интенсивтілігі 4 есе азайса, фотоэффектіде шығып жатқан электрондар саны қалай өзгереді?**  
А) 4 есе артады; В) 2 есе азаяды;  
С) 4 есе азаяды; Д) өзгермейді.
- Фотоэффектіде түсіп жатқан жарықтың жиілігі 2 есе артса, шығып жатқан фотоэлектрондар саны қалай өзгереді?**  
А) 2 есе азаяды; В) 2 есе көбейеді;  
С) 4 есе азаяды; Д) өзгермейді.
- Түсіп жатқан жарық ағыны ( $\lambda=\text{const}$ ) 4 есе артса, фотоэлектрондардың жылдамдығы неше есе өзгереді?**  
А) өзгермейді; В) 4 есе азаяды;  
С) 4 есе көбейеді; Д) 2 есе көбейеді.
- Егер фотоэффектіде шығып жатқан ұнтақтардың жылдамдығы  $1,6 \cdot 10^6$  м/с болса, түсіп жатқан жарықтың толқын ұзындығын есепте. Шығу жұмысы  $A=5,3$  эВ (м).**  
А)  $10 \cdot 10^{-6}$ ; В)  $9,8 \cdot 10^{-9}$ ; С)  $6,63 \cdot 10^{-10}$ ; Д)  $2 \cdot 10^{-7}$ .
- Калийге арналған фотоэффектінің қызыл шекарасы 600 нм. Калийге арналған шығу жұмысын есепте (Джоульмен).**  
А)  $6,6 \cdot 10^{-26}$ ; В)  $6,6 \cdot 10^{-19}$ ; С)  $2,2 \cdot 10^{-19}$ ; Д)  $3,5 \cdot 10^{-19}$ .

7. Егер элементтердің фотокатодтан шығу жұмысы 3 эВ болса, оған түсіп жатқан фотондар энергиясы 5 эВ болса, тежеуші потенциал қандай болғанда фотон күші нөлге тең болады (В)?  
 A) 1,5;                      B) 2;                      C) 3;                      D) 5.
8. Бірер металлға арналған фотоэффектінің қызыл шекарасы 331 нм-ға тең. Бұл металлда фотоэффектінің орын алуы үшін түсіп жатқан жарық фотонының энергиясы (эВ) қандай болады?  
 A) 2,45;                      B) 2,60;                      C) 2,75;                      D) 3,75.
9. Никельге арналған фотоэффектінің қызыл шекарасын анықта (м). Никельге арналған шығу жұмысы 5 эВ.  
 A)  $5 \cdot 10^{-7}$ ;                      B)  $2,3 \cdot 10^{-5}$ ;                      C)  $2,5 \cdot 10^{-7}$ ;                      D)  $1 \cdot 10^{-6}$ .
10. Шығу жұмысы 3 эВ болған металлға 5 эВ энергиялы фотондар түскенде, одан шығып жатқан фотоэлектрондардың ең жоғары кинетикалық энергиясын анықта (эВ).  
 A) 0,6;                      B) 2;                      C) 3;                      D) 5.
11. Жарықтың толқын ұзындығы  $10^{-7}$  м болса, фотон энергиясын анықта (эВ).  $h=4 \cdot 10^{-15}$  эВ · с  
 A) 1;                      B) 2;                      C) 4;                      D) 12.
12. Жарықтың толқын ұзындығы 220 нм болса, фотонның массасы қандай болатынын (кг) анықта.  
 A)  $3 \cdot 10^{-36}$ ;                      B)  $1,5 \cdot 10^{-36}$ ;                      C)  $1,6 \cdot 10^{-36}$ ;                      D)  $1 \cdot 10^{-35}$ .
13. Жарықтың толқын ұзындығы  $6,63 \cdot 10^{-8}$  м болса, фотонның импульсі қандай болатынын анықта (кг · м/сек).  $h=6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с  
 A)  $10^{-26}$ ;                      B)  $10^{-42}$ ;                      C)  $10^{-34}$ ;                      D)  $1,6 \cdot 10^{-35}$ .
14. Жарықтың жиілігі  $3 \cdot 10^{15}$  Гц болса, оның импульсі қандай болатынын анықта (кг · м/с).  $h=6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с.  
 A)  $2,21 \cdot 10^{-19}$ ;                      B)  $2,21 \cdot 10^{-27}$ ;                      C)  $6,63 \cdot 10^{-19}$ ;                      D)  $6,63 \cdot 10^{-27}$ .
15. Егер фотонның импульсі  $3,315 \cdot 10^{-27}$  кг · м/с болса, жарықтың жиілігін анықта (Гц).  
 A)  $3 \cdot 10^{14}$ ;                      B)  $2 \cdot 10^{15}$ ;                      C)  $1,5 \cdot 10^{15}$ ;                      D)  $2 \cdot 10^{14}$ .
16. Қыздырғышты шам сәулеленуінің орташа толқын ұзындығы 1,2 мкм. Қуаты 200 Вт шамның 1 секунд барысында сәулеленуіндегі фотондар санын анықта.  $h=6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с.  
 A)  $80 \cdot 10^{21}$ ;                      B)  $2,5 \cdot 10^{21}$ ;                      C)  $1,5 \cdot 10^{20}$ ;                      D)  $1,2 \cdot 10^{21}$ .

17. Салыстырмалы сыну көрсеткіші  $n$  болған мөлдір ортада фотонның импульсі неге тең болады?  
 A)  $nhv/c$ ;                      B)  $nhv$ ;                      C)  $h\lambda/n$ ;                      D)  $hv/nc$ .
18. Затқа арналған фотоэффектінің қызыл шекарасы  $1 \cdot 10^{15}$  Гц, жиілігі  $1 \cdot 10^{15}$  болған жарықтың әсерімен ұшып шыққан фотоэлектрондардың ең жоғары кинетикалық энергиясын есепте (Дж).  
 A)  $6,6 \cdot 10^{-19}$ ;                      B)  $3,3 \cdot 10^{-19}$ ;                      C)  $2,2 \cdot 10^{-19}$ ;                      D)  $1,6 \cdot 10^{-19}$ .
19. Электронның металдан шығу жұмысы  $3,3 \cdot 10^{-19}$  Дж болса, фотоэффектінің қызыл шекарасы  $\nu_0$ -ді тап (Гц).  
 A)  $10^{-14}$ ;                      B)  $2 \cdot 10^{14}$ ;                      C)  $5 \cdot 10^{14}$ ;                      D)  $6,6 \cdot 10^{15}$ .

### VI тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Вин жылжу заңы	Дене тербелісінің ең жоғары деңгейіне тура келетін толқын ұзындығы, $\lambda_m$ абсолют температураға кері пропорционал: $\lambda_m = \frac{b}{T}$ , $b = 2,898 \cdot 10^{-3}$ м · К – Вин тұрақтысы.
Квант	Бұл – дененің жұту немесе сәулелену энергиясының ең төмен бөлігі.
Квант энергиясы	Квант энергиясы жарық жиілігіне тура пропорционал: $E = hv$ , $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.
Сыртқы фотоэффект	Бұл – заттан жарықтың әсерімен электрондардың шығуы.
Жабу кернеулігі	Бұл – фотондардың бастапқы жылдамдықпен анодқа жетіп бара алмайтынын білдіретін тежегіш кері кернеулік.
Фотоэффект заңдары	1. Фотоэлектрондардың ең жоғары кинетикалық энергиясы жарық ағынына (интенсивтілігіне) тәуелді емес және түсуші сәуленің жиілігі $\nu$ -ға сызықты тәуелді. 2. Әрбір зат үшін фотоэффект туындайтын ең төмен жиілік $\nu_{\text{мин}}$ бар және ол фотоэффектінің қызыл шекарасы деп аталады. 3. Уақыт бірлігінде катодтан шығып жатқан фотоэлектрондар саны катодқа түсіп жатқан жарық ағынына (интенсивтілігіне) тура пропорционал, ал жиілігіне тәуелді емес.

Электрондардың ең жоғары кинетикалық энергиясы	$E_{к макс} = \frac{mv^2}{2} = eU_{жаб}$
Фотоэффектінің Эйнштейн формуласы	$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$
Фотоэффектінің қызыл шекарасы	Фотоэффектінің қызыл шекарасы $h\nu_{мин} = A$ яки $\frac{hc}{\lambda_0} = A$ . Бұл жерде $\nu_{мин}$ немесе $\lambda_0$ – фотоэффектінің қызыл шекарасына тура келген жиілік және толқын ұзындығы.
Ішкі фотоэффект	Жарықтың әсерімен жартылай өткізгіштерге еркін заряд тасымалдаушылар концентрациясының артуы.
Фотон	Жарық кванты немесе ұнтағы. Оның тыныш күйдегі массасы $m_0 = 0$ .
Фотон энергиясы	Фотонның энергиясы $E = h\nu$ , қозғалыс жылдамдығы $c$ , импульсі $p = \frac{h\nu}{c}$ , массасы $m = \frac{h\nu}{c^2}$ .
Жарық қысымы	$p = \frac{I}{c}$ , бұл жерде $I$ – жарықтың интенсивтілігі.
Фотоқарсылық-фоторезистор	Жарықтың әсерімен қарсылығы азаятын резистор.
Күн батареясы	Ішкі фотоэффектіге негізделген $p$ - $n$ жартылай өткізгішті фотоэлементтер болып табылады да, жарық энергиясын электр энергиясына айналдырып береді.

## VII таъару. АТОМ ЖӘНЕ ЯДРОЛЫҚ ФИЗИКА. АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Барлық заттар көп санды бөлінбес бөлшектерден (атомдардан) құралады деген пікір өте ерте замандардан бері өмір сүріп келеді. Оны ертедегі грек ғалымдары Демокрит, Эпикур және Лукрецийлер айтқан (атом сөзі грекше “атомос” – бөлінбейтін деген мағынаны білдіреді). Дегенмен алуан түрлі себептерге орай, ұзақ уақыттар бойы бұл пікірге жеткілікті мән берілмей келген. Әйтсе де XVIII ғасырда А.Лавуазье (француз) (1743–1794), Дж.Дальтон (ағылшын) (1766–1844), А.Авогадро (итальян) (1776–1856), М.Ломоносов (орыс) (1711–1765), Й.Берселиус (швед) (1779–1848) сияқты ғалымдардың іс-әрекеттері нәтижесінде атомдардың бар екеніне шүбә қалған жоқ. Д.И.Менделеев 1869 жылы элементтердің периодтық жүйесін жасап, барлық заттар атомдарының түзілісі бір-біріне ұқсас екенін көрсетіп берді. Сонымен қатар XX ғасырдың бас кезіне қарай бөлінбес бөлшек деп саналып келген атомның ішіне көз салу, яғни оның түзілісін зерттеу проблемасы туындады. Ағылшын ғалымы Дж. Томсон 1903 жылы атомның түзілісі туралы алғашқы модельді ұсынды. Басқа бір ағылшын физигі Д.Резерфорд өз тәжірибелерінде негізінен Томсон моделін жоққа шығарып, атомның планетарлық моделін ұсынды. Бұл модельге қарағанда, атом ядродан (өзектен) және оның айналасында қозғалыста болатын электрондардан құралады. Бертін келе атом ядросы – оң зарядталған протондар мен электрлік тұрғыдан нейтрал, яғни бейтарап нейтрондар кешенінен тұратыны анықталды.

### 37-тақырып. АТОМНЫҢ БОР МОДЕЛІ. БОР ПАСТУЛАТТАРЫ

1903 жылы ағылшын физигі Дж.Томсон атомның түзілісі туралы алғашқы модельді ұсынды. Томсон моделіне сәйкес, атом – массасы тегіс бөлінген  $10^{-10}$  м шамадағы оң зарядтардан тұратын шар түрінде сипатталады. Ал оның ішінде өз тепе-теңдігі айналасында тербелмелі қозғалыста болатын теріс зарядтар (электрондар) бар (бұнда атомды қарбызға ұқсату және электрондар қарбыз дәндеріне орналасқан деуге де болады), оң және теріс зарядтардың жиындысы өзара тең.



Тағы бір ағылшын физигі Д.Резерфорд 1911 жылы өз тәжірибелері негізінде Томсон моделінің дұрыс еместігін айтып, атомның ядролық (планетарлық) моделін ұсынды. Бұл модельге сәйкес, атом өте шағын күн жүйесіне ұқсатылады. Электрондар ядроның айналасында (жабық) орбиталар бойымен – атомның электрон қабығын бойлап қозғалады және олардың заряды ядроға оң зарядқа тең.

Атом өлшемдері өте шағын болғандықтан ( $\approx 10^{-10}$  м), оның түзілісін тікелей зерттеудің өзі өте қиын. Сондықтан да оның түзілісін жанама түрде, яғни ішкі түзілісі туралы мәлімет беретін сипаттамалар көмегімен үйрену мақсатқа сай келеді. Осындай сипаттамалардың бірі – атомның сәулелену спектрі. Атомның сәулелену спектрі, яғни атом электромагниттік сәулелер шығарғанда (яки жұтқанда) пайда болатын оптикалық спектрлер айтарлықтай жан-жақты зерттелген.

Швейцариялық физик И.Балмер 1885 жылы өз тәжірибелерінің нәтижелеріне сүйене отырып, сутегі спектрінің сызықтық жиіліктері үшін төмендегі формуланы тапты.

$$v = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (7-1)$$

Бұл жерде:  $R = 3,29 \cdot 10^{15}$  Гц – Ридберг тұрақтысы,  $m$  мен  $n$  – тұрақты сандар, олар сәйкесінше  $m = 1, 2, 3, 4, \dots$  мәндері, ал  $n$  бүтін ( $m + 1$ -ден бастап) мәндерді қабылдайды. Бұл формулаға сәйкес сутегі спектрі үзілетін сызықтардан тұрады.

Резерфордтың ядролық моделі атомның спектрлік заңдылықтарын түсіндіріп бере алмады. Бұдан тыс, бұл модель классикалық механика мен электродинамика заңдарына қайшы болып шықты.

**Біріншіден**, электронның ядро айналасындағы орбита бойымен қозғалуы қисық сызықты, яғни үдеу арқылы туындамайтын қозғалыс болып табылады. Бұл қозғалыста электронның энергиясы төмендейді, оның айналу орбитасы кішірейеді және ол ядроға жақындай түседі. Былайша айтқанда, белгілі бір уақыттан соң электрон ядроға құлап, атом жойылуға тиіс. Резерфорд моделіне сәйкес, бұл – атомның тұрақсыз жүйе болатынын көрсетеді. Ал іс жүзінде атомдар өте мықты жүйе болып саналады.

**Екіншіден**, электрон атомға жақындаған сайын оның орбитасының радиусы кішірейе береді ( $R \rightarrow 0$ ), ал жылдамдығы өзгермейді ( $v = \text{const}$ ). Соның нәтижесінде үдеуі  $\left( a = \frac{v^2}{R} \right)$  артқанда, электронның сәулелену жиілігі де үздіксіз артып отырады. Демек, үздіксіз сәулелену спектрі бақылануы керек.

Тәжірибелерден және олармен сәйкес келген Балмер формуласынан атомның сәулелену спектрі үзілісті (сызықты) екенін көрсететінін біліп алдық.

1913 жылы Резерфордтың ядролық моделіне квант теориясы енгізіліп, тәжірибенің нәтижелерін толығымен түсіндіріп бере алатын сутегі атомы теориясы дүниеге келді.

Бор теориясының негізін төмендегі екі постулат құрайды. Бұл постулаттардың әрқайсысы жоғарыда тілге алынған Резерфорд моделінің екі кемшілігін жоюға бағытталған.

**1. Стационарлық (тоқырау) жағдайлар жөніндегі постулат:** атомда стационарлық жағдайлар бар болғандықтан, бұл жағдайларға электрондардың стационарлық орбиталары сәйкес келеді.

*Электрондар тек сол стационарлық орбиталарда болады, олар тіпті үдеумен қозғалғанда да сәулеленбейді.*

Стационарлық орбитадағы электронның қозғалыс мөлшері моменті (импульс моменті) квантталған болады да, төмендегі шартпен анықталады:

$$m_e \cdot v_n \cdot r_n = n \cdot \hbar \quad (7-2)$$

Бұл жерде:  $m_e$  – электронның массасы;  $r_n$  –  $n$ -орбитаның радиусы;  $v_n$  – электронның сол орбитадағы жылдамдығы;  $m_e \cdot v_n \cdot r_n$  – электронның сол орбитадағы импульс моменті;  $n$  – нөлге тең емес бүтін сан, оны бос квант саны деп атайды;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  ( $h$  – Планк тұрақтысы).

Демек, Бордың бірінші постулатына сәйкес, атомдағы электрон кез келген орбита бойымен емес, стационарлық орбита деп аталатын белгілі бір орбиталарды бойлап қозғалуы мүмкін. Бұл қозғалыс барысында ол сәулеленбейді, яғни энергиясы төмендемейді. Электронның энергиясы төмендемесе, ол ядроға түспейді және атом жоғалмайды. Сонымен, аталмыш постулат Резерфорд моделінің бірінші кемшілігін жояды.

**2. Жиіліктер жөніндегі постулат:** электрон бір стационарлық орбитадан екіншісіне өткенде гана энергиясы сол стационарлық жағдайлардағы энергиялардың айырмасына тең бір фотон шығарады (яки жұтады):

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (7-3)$$

бұл жерде:  $E_n$  мен  $E_m$  – сәйкесінше электронның  $n$ - және  $m$ - стационарлық орбиталарындағы энергиялары.

Егер  $E_n > E_m$  болса, фотон шығарылады. Бұнда электрон үлкен энергиялы күйден шағын энергиялы күйге, яғни ядродан алыстау болған стационарлық орбитадан ядроға жақындау стационарлық орбитаға өтеді.

Егер  $E_n < E_m$  болса, фотон жұтылады да, жоғарыдағы болжамдарға кері жағдай орын алады.

(7–2) өрнектен сәулелену пайда болатын жиіліктерді, яғни атомның сызықты спектрін анықтауға болады:

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}. \quad (7-4)$$

Бордың екінші постулатына орай, электрон кез келген жиіліктегі сәулеленуді шығармай, жиілігі (7–4) шартты қанағаттандыратын сәулеленуді ғана шығаруы мүмкін. Сол себепті атомның сәулелену спектрі үздіксіз болмай, үздікті (сызықты) көріністе болады. Демек, Бордың екінші постулаты Резерфорд моделінің екінші кемшілігін де жояды.

Электрон орбитасының радиусы төмендегі өрнектің көмегімен анықталады:

$$r_n = n^2 \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2}, \quad (7-5)$$

бұл жерде:  $n$  – электронның стационарлық орбитасының (анығырағы, атомның стационарлық күйінің) рет санын көрсетеді. Мысалы,  $n=1$  деп алсақ, электронның сутегі атомындағы бірінші стационарлық орбитасы радиусының мәнін туғызамыз. Бұл радиус бірінші *Бор радиусы* деп аталады және ол атом физикасында ұзындық бірлігі ретінде қолданылады:

$$r_B = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Атомның кез келген энергетикалық деңгейіндегі энергиясы  $E_n$  төмендегідей анықталады:

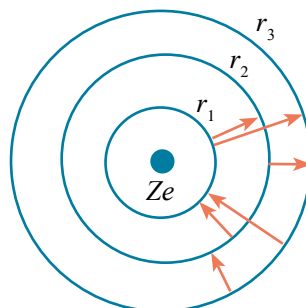
$$E_n = - \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (7-6)$$

Бұл өрнектен көрініп тұрғанындай, сутегі атомының толық энергиясы теріс болады, ол электрон мен протонды еркін зарядтарға айналдыру үшін қанша энергия жұмсау керектігін көрсетеді. Былайша айтқанда, нақ осы энергия бұл қос түйіршікті бір бүтін атом ретінде сақтап тұрады. Сондықтан да  $n=1$  күй ең қалыпты күй болып саналады, бұл күйде атом ең аз энергияға ие болады және оны *негізгі энергетикалық күй* деп атайды. Бұл күйдегі сутегі атомын иондау үшін ең көп энергия жұмсау талап етіледі. Ал  $n>1$  күйлер *көтерілген (оянған) күйлер* деп жүргізіледі және олардағы атомның энергиясы аздау болғандықтан, бұндай күйдегі атомды иондау үшін азырақ энергия жұмсалады.

Бордың екінші постулатына орай, электрон бір энергетикалық деңгейден екіншісіне өткенде, энергиялы фотон шығарылады немесе жұтылады.

$$h\nu = E_2 - E_1 = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (7-7)$$

Егер электрон екінші орбитадан ( $n_2=2$ ) біріншісіне ( $n_1=1$ ) өтсе, фотон шығарылады (7.1-сурет). Егер керісінше болса – жұтылады. Электронды  $n_1=1$  орбитадан  $n_2 \rightarrow \infty$  –ке өткізу үшін, былайша айтқанда, электронды атом ядросынан бөліп алуға (атомды иондау) ең үлкен энергия жұмсалады. Бұл энергияның мәні 13,6 эВ-қа тең болады, ол – сутегі атомын иондау энергиясы болып табылады.



7.1-сурет.

Демек, сутегі атомының негізгі күйіндегі электронның энергиясы –13,6 эВ-қа тең. Жоғарыда айтып өткеніміздей, энергияның терістігі электронның тәуелді қалыпта екендігін көрсетеді. Еркін қалыптағы электронның энергиясы нөлге тең деп қабылданған.

(7-7) өрнектің көмегімен шығарылатын немесе жұтылатын фотонның жиілігін яки толқын ұзындығын анықтауға болады:

$$\nu = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2} \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (7-8)$$

Бұл Балмер формуласы болып табылады, ал  $R = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2}$  – Ридберг тұрақтысы деп аталады.



1. Резерфорд моделінің кемшіліктері қандай еді?
2. Бор өз теориясын қандай идеяға негіздеп жасады?
3. Стационарлық жағдайлар туралы постулат неден тұрады?
4. Бордың бірінші постулаты Резерфорд моделінің қандай кемшіліктерін жояды?

### Мәселе шешу үлгісі

1. Сутегі атомының электроны үшінші орбитадан екінші орбитаға өткендегі сәулеленудің толқын ұзындығы электрон екінші орбитадан ( $\lambda_{32}$ ) бірінші орбитаға ( $\lambda_{21}$ ) өткендегі сәулеленудің толқын ұзындығынан неше есе үлкен?

Берілгені:	Формуласы мен шешуі:
$n_1 = 3,$ $n_2 = 2,$ $n_3 = 1,$	$v = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \cdot \lambda_{21} = \frac{n_1^2 n_2^2 c}{(n_2^2 - n_1^2) R};$
Табу керек: $\frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} = ?$	$\lambda_{32} = \frac{n_3^2 n_2^2 c}{(n_3^2 - n_2^2) R}.$ $\frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} = \frac{9 \cdot 4}{1 \cdot 4} = \frac{36}{5} \cdot \frac{3}{4} = \frac{27}{5} = 5,4.$ <p style="text-align: right;"><i>Жауабы:</i> <math>\frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} = 5,4.</math></p>

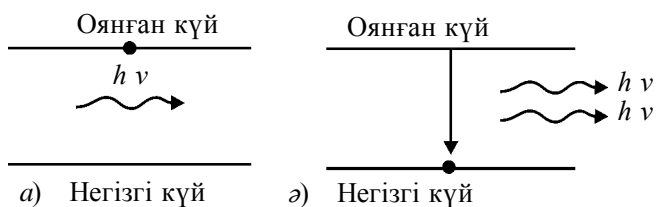
## 38-тақырып. ЛАЗЕР ЖӘНЕ ОНЫҢ ТҮРЛЕРІ

**Лазер деген не?** Лазер деп аталатын оптикалық квант генераторларының пайда болуы физика пәнінің жаңа саласы – кванттық электрониканың ірі жетістігі болып табылады. *Лазер дегенде, өте анық әрі дәл бағытталған когерентті жарық сәулесінің көзі түсініледі.*

Лазер сөзінің өзі ағылшынша “мәжбүрлі тербеліс нәтижесінде жарықтың күшейтілуі” сөздерінің алғашқы әріптерінен алынған (“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”).

Алғашқы кванттық генераторларды орыс физиктері Н.Басов, А.Прохоров және америка физигі Ч.Таунс жасады (бұл саладағы жетістіктері үшін олар 1964 жылы Нобель сыйлығын алған). Бұндай генераторлардың жұмыс істеу қағидатын түсіну үшін сәулелену үдерісімен тереңірек танысайық.

**Атомның еріксіз сәулеленуі.** Өткен тақырыпта атап көрсетілгеніндей, атом негізгі күйде болғанында сәулеленбейді және онда шексіз ұзақ уақыт бойы тұра береді. Әйтсе де атом басқа әсерлердің нәтижесінде оянған күйге өтуі ықтимал. Қалыпты жағдайда атом оянған күйде ұзақ болмай, кері қайтып, негізгі күйіне өтеді және бұнда энергетикалық деңгейлердің айырмасына тең энергиялы фотон шығарады. Бұндай өту өзінен-өзі туындағандықтан, шығарылатын сәулелену *спонтанды сәулелену* деп аталады және шығарылған сәулелер когерентті болмайды. Бірақ А.Эйнштейннің атап көрсетуіне қарағанда, бұндай өтулер тек өзінен-өзі емес, еріксіз түрде болуы да мүмкін. Ал еріксіз өту оянған атом жанынан өтіп бара жатқан фотонның әсерінен болуы да ықтимал (7.2-сурет).



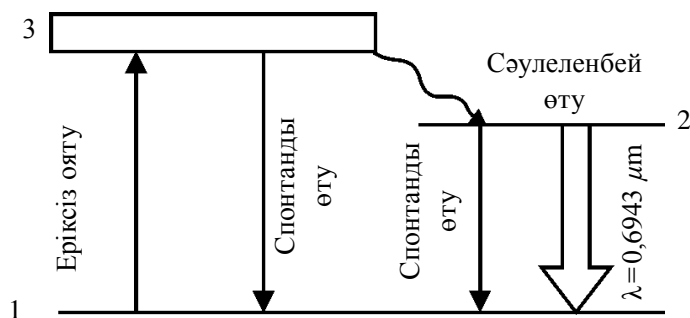
7.2-сурет.

Соның нәтижесінде атом оянған күйден негізгі күйге өту кезінде шығарылатын фотон бұл өтуді туындататын фотонмен бірдей болады. Былайша айтқанда, аталмыш екі фотон да бірдей жиілікке, қозғалыс бағытына, фазаға және полярлану бағытына ие болады. Орыс физигі В.Фабрикант еріксіз сәулеленудің көмегімен жарықты күшейту әдісін ұсынды. Бұл ұсыныстың мәнін түсіну үшін төмендегі мысалды қарастырайық. Кейбір бөлшектердің атомдарында сондай оянған күйлер бар, атомдар бұл күйлерде ұзақ уақыт бойы болуы мүмкін. Бұндай күйлер *метастабильді күйлер* деп аталады. Метастабильді күйлермен жақұт кристалы мысалында тереңірек танысайық.

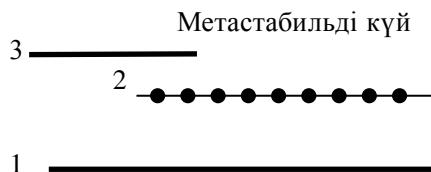
**Жақұт лазері.** Жақұт кристалы алюминий оксиді  $Al_2O_3$ -тен тұрады да, Al -дің кейбір атомдары орнын үш валентті  $Cr^{3+}$  иондары иелейді. Күшті жарықталыну нәтижесінде хром атомдары 1-негізгі күйден 3-оянған күйге еріксіз түрде өткізіледі (7.3-сурет).

Хром атомының оянған күйде өмір сүру кезеңі өте шағын ( $10^{-7}$  сек) болғандықтан, ол не спонтанды түрде (өзінен-өзі) 1-негізгі күйге өтуі, не сәулеленусіз 2-күйге (метастабильді күй) өтуі мүмкін (7.3-сурет). Бұндайда энергияның артық бөлігі жақұт кристалының торына беріледі. 2-күйден 1-күйге өтудің таңдау ережелеріне сәйкес тыйым салынғандығы хром атомының 2-күйде шоғырлануына соқтырады. Егер еріксіз ояту өте түлкен болса, 2-күйдегі атомдардың концентрациясы (шоғырлануы) 1-күйдегіден айтарлықтай үлкен болады да, 2-күйде электрондардың өте тығыз орналасуы туындайды (7.4-сурет). Егер жақұтқа хром атомының метастабильді күйі ( $E_2$ ) мен негізгі күйі ( $E_1$ ) энергияларының айырмасына тең,  $E_2 - E_1 = h\nu$  энергиялы бірер фотон түсетін болса, онда иондардың 2-күйден 1-күйге еріксіз өтуі орын алады да, энергиясы алғашқы фотонның энергиясына тең фотондар шығарылады.

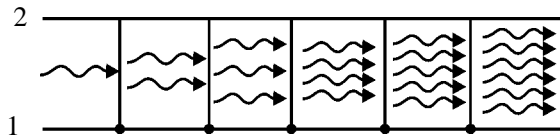
Бұл үдеріс жылжымалы түрде дамып, фотондардың саны шұғыл арта түседі (7.5-сурет). Бұнда фотондардың тек жиіліктері ғана емес, сонымен қатар фазалары, таралу бағыттары және полярлану жазықтары да бірдей болады. Соның нәтижесінде жақұттан күшейген когерентті жарық шоғыры, яғни *лазер сәулесі* шығады.



7.3-сурет.

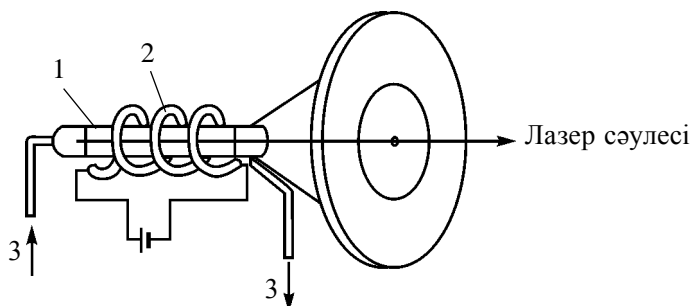


7.4-сурет.



7.5-сурет.

7.6-суретте жақұт лазерін туындату сызбасы көрсетілген. Жақұт таяқша (1) хром атомдарының метастабильдi куйге oтуiн қамтамасыз ететiн (2) газды шаммен оралған. Жақұттың температурасы қажеттi мәнде сақталуын қамтамасыз ету мақсатында суыту жүйесi (3) қосылған.



7.6-сурет.

Басқа лазерлердiң пайда болу механизми де осыған ұқсас болады.

**Лазердiң түрлерi.** Кванттық генераторлар кванттық механика заңдары негiзiнде кез келген (электр, жылу, жарық, химиялық және т.б.) энергияны когеренттi жарық сәулесi энергиясына айналдырып бередi. Бұндай ғажайып қасиетi лазер сәулесiн өте кең көлемде қолдануға жол ашты.

Лазерлер белсендiрiлетiн зат түрлерiне, яғни қандай энергияны когеренттi жарық сәулесi энергиясына айналдыра алатынына қарай бiрнеше түрлерге бөлiнедi. Олар: қатты лазерлер, жартылай өткiзгiштi лазерлер, газ лазерлерi,

химиялық лазерлер, талшықты лазерлер, рентген лазерлері және тағы басқалар.

Лазерлер импульсті, үздіксіз және квазиүздіксіз режимдер бойынша жұмыс істей алады.

Лазердің қасиеттерімен танысайық.

*Жоғары дәрежеде когерентті*, яғни фотондардың фазалары бірдей.

*Қатаң монохроматикті*. Шоғырға енетін фотондар толқын ұзындықтарының айырмасы  $10^{11}$ -дан аспайды, яғни  $\Delta\lambda < 10^{-11}$  м.

*Сәулелену қуаты өте үлкен*. Лазер сәулесіндегі сәулелену қуаты  $10^{16} - 10^{20}$  Вт/м<sup>2</sup>-қа дейін болуы мүмкін. Бұл өте үлкен мән болып саналады. Осы тұрғыдан алғанда, Күннің толық сәулелену спектрі бойынша сәулелену қуаты  $7 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>-ты құрайды.

*Сәуленің жайылу бұрышы өте шағын*. Мәселен, Жерден Айға бағытталған лазер Ай бетіндегі диаметрі 3 км-лік орынды ғана жарықтандырады. Ал қалыпты прожектор сәулесі диаметрі 40 000 км-лік алаңды жарықтандыратын еді.

**Лазердің қолданылуы.** Қолайлылығы мен аз энергияны талап ететіндігі лазердің өте қатты материалдарды қайта өңдеу мен дәнекерлеу саласында кеңінен қолданылуына жол ашты. Мысалы, бұрындары алмастың бетінде шағын тесік жасау үшін 24 сағат уақыт жұмсалған болса, бүгінде бұл жұмыс лазердің көмегімен 6–8 минуттың ішінде жүзеге асырылады.

Сағатжасау өнеркәсібі үшін қажетті жақұт және алмас тастарда диаметрі 1–10 мм, тереңдігі 10–100 мкм нәзік тесіктер лазердің көмегімен жасалатын болды.

Лазер өте кең қолданылатын салалардың тағы бірі – материалдарды кесу мен дәнекерлеу. Бұл жұмыстар тек микроэлектроника, полиграфия сияқты нәзік салаларда ғана емес, сонымен қатар машинажасау, автомобильжасау және құрылыс материалдары өндірістерінде де орындалады.

Лазер сәулелері заттардағы нұқсандарды анықтауда, химиялық реакциялардың механизмдерін үйрену мен оларды жеделдетуде, өте таза материалдар өндіруде де адамның жақын көмекшісіне айналған. Бүгінгі таңда лазердің көмегімен изотоптар, соның ішінде уран изотоптары бөліп алынууда.

Лазер алуан түрлі өлшеу жұмыстарында да кең қолдау тапқан. Олардың көмегімен алыстан тұрып-ақ көшкіндерді, ортаның сіңіру көрсеткішін, қысымды, температураны өлшеуге болады. Лазер сәулесі Жерден Айға дейінгі ара қашықтықты анықтауға, Ай картасына айқындық енгізуге де көмектесті.



Лазер медицинада да өте кең қолданылуда. Ол қан шығармайтын пышақ міндетін өтеп, адам өмірін ұзартуға, көру қабілеттерін тіктеуге қызмет етіп келеді.

Лазер қолданылатын жарқын болашақты салалардың тағы бірі – жоғары температуралы плазма алу болып табылады. Бұл сала термоядролық синтезді лазермен басқару жолында әжептәуір жақсы мүмкіндіктер ашқаны себепті ғалымдардың басты назарында тұр.

Лазерлі дискілер ұғымы компьютермен жұмыс істейтіндер мен музыка әуесқойларының күнделікті өмірінің бөлінбес бөлшегіне айналып қалды.

Бүгінгі таңда лазердің қолданылу аясы өте ауқымды, олардың барлығына бірдей тоқталып отырудың мүмкіндігі де жоқ. Бірақ біздің ізденімпаз оқушыларымыз бұл жұмысты өздері дербес жүзеге асыра алады деп үміттенеміз.



1. Лазер деген не?
2. Спонтанды сәулелену деп қандай сәулеленуді айтады?
3. Еріксіз өту қалай пайда болады?
4. Метастабильді күй деп қандай құбылысты айтады?
5. Лазердің өлшеу істерінде, ғылымда және медицинада қолданылуына мысалдар келтір.

## 39-тақырып. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ҚҰРАМЫ. ТӘУЕЛДІЛІК ЭНЕРГИЯСЫ. МАССА ДЕФЕКТИ

**Атом ядросы.** Резерфорд өз тәжірибелері нәтижесінде атомның оң зарядталған ядросы (өзегі) бар деген тұжырымға келеді. Атомның үлкендігі  $10^{-10}$  болған жағдайда оның ядросының үлкендігі  $10^{-14}$ – $10^{-15}$  м м-ді құрайды. Былайша айтқанда, ядро атомнан 10 000 – 100 000 есе кіші болып табылады.

Сонымен қатар атом массасының 95 пайыздан астамы ядроға шоғырланған. Егер бірер дене массасының 95 пайызы ол иелеп тұрған көлемнен 100 000 есе кіші көлемде жинақталғанын ескеретін болсақ, барлық заттардың негізінен бос кеңістіктен тұратындығына таңданудан басқа амалымыз жоқ. Енді ядроның өзінің түзілісі қандай деген мәселеге келейік.

Орыс физигі Д.И.Иваненко мен неміс физигі В.Гейзенберг *атом ядросы – протондар мен нейтрондардан құралған* деген идеяны алға тартты.

**Протон (p)** – сутегі атомының ядросы, 1919 жылы Резерфорд және оның қызметкерлері ашқан. Электронның зарядында теңдей оң зарядқа ие. Тыныш

күйдегі массасы  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг  $\approx 1836 m_e$ . Бұл жерде  $m_e$  – электронның массасы. (*Протон* – грекше “бірінші”)

**Нейтрон (n)** – 1932 жылы ағылшын физигі Дж.Хедвик ашқан. Электр нейтралды бөлшек. Тыныш күйдегі массасы  $m_n = 166749 \cdot 10^{-27}$  кг  $\approx 1839 m_e$ . (*Нейтрон* – латынша “ол да, бұл да емес”).

Ғылымда протондар мен нейтрондарды бірге қосып *нуклондар* деп атайды (латынша нуклеус – ядро деген сөзден алынған). Атом ядросындағы нуклондардың жалпы саны *масса саны (A)* деп аталады.

Атом ядросы *Ze* заряд мөлшерімен сипатталады. Бұл жерде:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  С-ға тең болады да, протонның зарядын сипаттайды. *Z* – ядроның заряд саны, ол ядродағы протондар санына тең және Менделеев жасаған элементтердің периодтық жүйесінде химиялық элементтердің рет санымен сәйкес келеді.

Ядро нейтрал атом қалай белгіленсе, нақ солай белгіленеді:  ${}_Z^A X$ , бұл жерде: *X* – химиялық элементтің белгісі, *Z* – атомның рет саны (ядродағы протондар саны); *A* – масса саны (ядродағы нуклондар саны). Атом электр нейтрал болғандықтан, ядродағы протондар саны атомдағы электрондар санымен тең болады.

**Изотоптар.** (*Изотоп* – грекше *изос* – тең, бірдей; *топос* – орын.) Рет саны (*Z*) бірдей, бірақ масса саны (*A*) әр түрлі элементтер *изотоптар* деп аталады. Изотоптар ядросындағы нейтрондар санымен ( $N = A - Z$ ) ерекшеленеді.

**Изобарлар.** Масса саны (*A*) бірдей, бірақ рет саны (*Z*) әр түрлі болған элементтер *изобарлар* деп аталады. Изобарлар да ядросындағы протондар санымен ( $Z = A - N$ ) ерекшеленеді.

**Ядроның шамасы.** Ядроның радиусы тәжірибе нәтижелері негізінде жазылған

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (7-9)$$

формуламен анықталады. Бұл жерде:  $R_0 = (1,2-1,7) \cdot 10^{-15}$  м. Ерекше атап өтетін жері, атом ядросының радиусы дегенде, ядро күштерінің ықпалы көрініс табатын саланың сызықты шамасын түсінеміз. Ядроның көлемі оған енетін нуклондар саны *A*-ға байланысты болса да, барлық ядроларда нуклондардың тығыздығы бірдей. Ядроның тығыздығы өте үлкен, яғни  $\rho = 2 \cdot 10^{11}$  кг/м<sup>3</sup> айналасында. Былайша айтқанда, *1 м<sup>3</sup> ядро материалының массасы 200 миллион тонна болады. Бұншалықты үлкен масса қалайша бірігіп тұрады екен?*

*Ядроны кулон күшінің ықпалымен ыдырап кетуден сақтап тұратын бұндай тартылыс күштері ядролық күштер деп аталады.*

**Ядроның байланыс энергиясы.** Тексерулерден анықталғанындай, атом ядросының түзілісі айтарлықтай берік. Демек, ядроға нуклондар арасында белгілі бір байланыс бар. *Ядроны дербес нуклондарға бөлуге қажет болатын энергия ядроның байланыс энергиясы деп аталады.* Ядроның байланыс энергиясы оның тұрақтылығының өлшемі болып табылады. Энергияның сақталу заңына орай, ядроны ыдырату үшін қанша энергия жұмсалса, ядро пайда болғанда да сонша энергия бөлініп шығады.

Сонда бұл энергия неге тең және ол қалайша туындайды?

**Масса дефекті.** Ядро массасын *масс-спектрометр* деп аталатын аспаптың көмегін пайдаланып үлкен дәлдікпен өлшеуге болады. Бұндай өлшеулерден анықталғанындай, ядроның массасы оның құрамына енетін нуклондар массаларының жиындысынан кіші екен. Былайша айтқанда, нуклондардан ядроның пайда болуында

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n] - m_y \quad (7-10)$$

ға тең масса жетіспеушілігі келіп шығады. Бұл жерде:  $m_p$ ,  $m_n$ ,  $m_y$  – сәйкесінше протонның, нейтронның және ядроның массалары. Массаның жетіспеген бұл бөлігі *масса дефекті* деп аталады. Бізге мәлім болғанындай, массаның кез келген  $\Delta m$  өзгерісіне энергияның  $\Delta mc^2$  өзгерісі сай келеді. Нақ осы энергия ядроны біртұтас етіп ұстап тұрады және байлану энергиясына тең болады:

$$E_{\text{байл}} = \Delta mc^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_y]c^2. \quad (7-11)$$

Әр түрлі ядролар үшін байлану энергиясының да сан түрлі болатыны заңды. Оларды салыстырып, қайсысы тұрақты, қайсысы тұрақсыз екенін қалайша анықтауға болады? Бұны анықтаудың бірден-бір жолы – әрбір нуклонға тура келетін байлану энергиясын салыстыру.

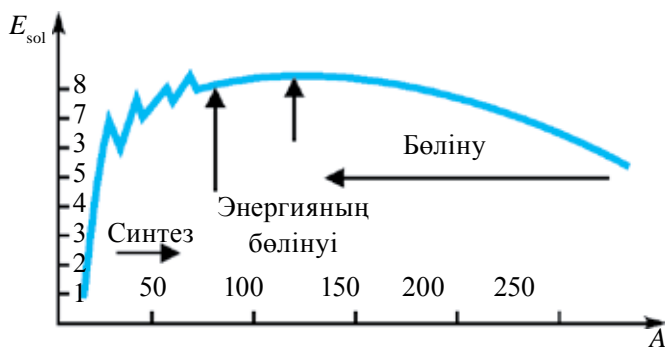
*Салыстырмалы байлану энергиясы  $E_{\text{сал}}$  деп әрбір нуклонға тура келетін байлану энергиясын айтамыз, яғни:*

$$E_{\text{сал}} = \frac{E_{\text{байл}}}{A}, \quad (7-12)$$

бұл жерде:  $A$  – ядроға нуклондар саны.

7.7-суретте салыстырмалы байлану энергиясы  $E_{\text{сал}}$  –нің масса саны  $A$ -ға байланысты графигі келтірілген. Көрініп тұрғанындай,  $E_{\text{сал}}$  –нің әр түрлі ядролар үшін мәндері де әр түрлі. Менделеев жасаған элементтердің периодтық жүйесінің қақ ортасына орналасқан элементтердің ядролары айтарлықтай тұрақты. Бұндай ядролар үшін байлану энергиясы 8,7 МэВ-қа жуық. Ядроға нуклондардың саны артқан сайын байлану энергиясы төмендей береді. Периодтық жүйенің соңындағы элементтер үшін (мысалы, уран үшін) ол 7,6 МэВ айналасын-

да болады. Бұның себебі – ядроғағы протондардың саны артқанда, олар арасындағы тебілу күшінің де артуы.



7.7-сурет.

Электронның атомға байлану энергиясы 10 эВ төңірегінде болады. Демек, нуклонның ядроға байлану энергиясы электронның атомға байлану энергиясынан миллион есе үлкен екен.

Нақ сол сияқты жеңіл ядролар үшін де салыстырмалы байлану энергиясы едәуір шағын. Дейтерий үшін ол бар-жоғы 1,1 МэВ-ті құрайды.

Сондықтан да ядро энергиясын бөліп алудың екі түрлі әдісі бар және ядролық энергетиканың да екі түрлі бағыты бар. Бұлардың біріншісі – жеңіл ядроларды синтездеу болса, екіншісі – ауыр ядролардың ыдырауы болып табылады.



1. Атом ядросының масса саны нені көрсетеді?
2. Ядроның байлану энергиясы деп қандай энергияны айтады?
3. Масса дефекті деген не?
4. Атом массасының қанша бөлігі ядроға шоғырланған?
5. Ядроның заряд саны дегенде нені түсінесің?

### Мәселе шешу үлгілері:

Натрий  ${}_{11}^{23}\text{Na}$  және фтор  ${}_{9}^{19}\text{F}$  ядроларының құрамы қандай?

$$\text{Жауабы: } {}_{11}^{23}\text{Na} \rightarrow Z = 11; N = A - Z = 23 - 11 = 12;$$

$${}_{9}^{19}\text{F} \rightarrow Z = 9; N = A - Z = 19 - 9 = 10;$$

## 40-тақырып. РАДИОАКТИВТІК СӘУЛЕЛЕНУ МЕН ТҮЙІРШІКТЕРДІ ТІРКЕУ ӘДІСТЕРІ

**Түйіршіктерді тіркейтін аспаптардың түрлері.** Радиоактивтік заттардың сәулеленуін зерттеудің негізгі мақсаты – радиоактивтік ыдырауда шығарылатын бөлшектердің табиғатын, энергиясын және сәулелену интенсивтілігін (радиоактивті зат бір секундта шығаратын бөлшектер санын) анықтау. Оларды тіркеудің ең кең тараған тәсілдері бөлшектердің иондалуына және фотохимиялық әсерлеріне негізделген. Бұл міндетті орындайтын аспаптар да екі түрге бөлінеді:

1. Бөлшектердің кеңістіктің бірер бөлігінен өткендігін тіркейтін және кей жағдайларда олардың кейбір сипаттамаларын, мәселен, энергиясын анықтауға мүмкіндік беретін аспаптар. Бұндай аспаптарға синтиляциялық (ұшқындатқыш) есептегіш, Черенков есептегіші, газ зарядты есептегіш, жартылай өткізгішті есептегіш және импульсті иондаушы камера мысал бола алады.

2. Бөлшектің заттағы ізін бақылауға, мысалы, суретке түсіруге мүмкіндік беретін аспаптар. Бұндай аспаптарға Вильсон камерасы, диффузиялы камера, көпіршікті камера, фотоэмульсия әдісі мысал бола алады. Біз төменде солардың кейбіреулерімен танысамыз.

Жалпы алғанда, екі түрлі газ зарядты есептегіш бар. Біріншісі *пропорционал есептегіш* деп аталады, онда газ заряды дербес емес болады. Ал *Гейгер – Мюллер есептегіші* деп аталатын екінші түрдегі есептегіште газ заряды дербес болады. Гейгер–Мюллер есептегіштерінің айыра білу уақыты  $10^{-3}$ – $10^{-7}$  сек-ты құрайды, яғни осындай уақыт аралығында түскен бөлшектер тіркеледі.

**Гейгер есептегіші** – газдың иондалуына негізделген.

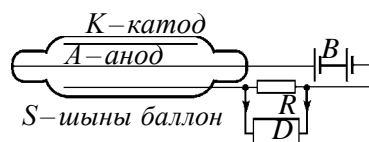
Ол тек бөлшектердің өтуін ғана тіркейді.

Гейгер есептегіші ішкі жағы металл қабатымен (катод) тысталған шыны баллоннан және баллонның білігі бойымен тартылған жіңішке металл талшықтан (анод) тұрады. Шыны баллон  $S$  төмен қысым жағдайында газбен толтырылады. Бұны цилиндрлік конденсатор деп қарауға да болады. Конденсаторға  $B$  батареядан  $R$  кедергі арқылы кернеу беріледі.

Егер конденсаторға зарядталған бөлшек ұшып кірсе, газ молекулаларын иондап, газ зарядын туындатады.

Соның нәтижесінде есептегіш арқылы ток өте бастайды және  $R$  кедергіні бойлап потенциал кемиді. Кернеудің бұндай тербелісі  $D$  күшейткіш пен механикалық есептегіштен тұратын тіркеу құрылғысына беріледі.

Сонымен, Гейгер есептегіші әрбір иондалушы бөлшекті тіркеп отырады. Оның сезімталдығы өте жоғары, секундына 10000 бөлшекті тіркей алады.



7.8-сурет.

### Көпіршікті камера – қыздырылған

сұйықтықтың бөлшек траекториясын бойлап қайнауына негізделген және оның траекториясын тіркейтін аспап. Ол ішіне сұйық сутегі салынған, жарықтандыру және суретке түсіру мүмкіндігі бар шыны камерадан тұрады. Оның көлемі 3 см<sup>3</sup>-тан бірнеше текше метрге дейін болуы мүмкін. Көпіршікті камераны ойлап тапқаны үшін Глейзерге 1960 жылы Нобель сыйлығы берілген.

Бастапқы күйде камерадағы сұйықтық жоғары қысым астында болады, сондықтан сұйықтықтың температурасы атмосфералық қысымдағы қайнау температурасынан жоғары болса да, ол қайнап кетпейді.

Зерттеліп жатқан бөлшек камерадан ұшып өткен кезде сұйықтық молекулаларын иондайды. Нақ сол кезде сұйықтықтың қысымы ұлғайтқыш құрылғының көмегімен шұғыл төмендетіледі. Сұйықтық өте ыстық күйге өтеді де, қайнайды. Осы уақытта иондарда өте майда бу көпіршіктері пайда болады. Сондықтан да бөлшектің бүкіл жолы көпіршіктерге толады. Камераны жарықтандырып, іздерді бақылауға немесе фотосуретке түсіруге болады.

Көпіршікті камераның Вильсон камерасынан абзалдығы – онда жұмысшы заттар тығыздығының үлкен болуында. Бұның нәтижесінде бөлшектер күшті тежеледі де, салыстырмалы қысқа жолдан өтіп, тоқтайды. Сол себепті көпіршікті камераның көмегімен өте үлкен энергиялы бөлшектерді де зерттеуге болады.

**Синтилляциялық есептегіш.** Жұмыс қағидаты жедел флуорессияланатын экранға түсуінде туындайтын ұшқындау – синтилляцияның бақылануына негізделген. Пайда болған әлсіз жарық ұшқындағанда электр импульстарына айналдырылады және күшейтіліп, арнайы аппараттардың көмегімен тіркеледі.  $\alpha$  – бөлшек бірінші рет нақ осындай есептегіштің көмегімен 1903 жылы тіркелген болатын.

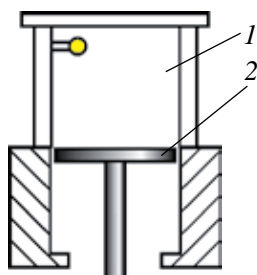
**Вильсон камерасы** бөлшектердің ізіне қарап (трэк – ағылшынша “із”) тіркейді.

Камераны 1911 жылы ағылшын физигі Ч.Вильсон ойлап тапқан. Ол жылдам ұшып келе жатқан бөлшектердің бу тәрізді күйдегі заттан өткен кезде сол заттың молекулаларын иондауына негізделген.

Вильсон камерасының сызбасы 7.9-суретте бейнеленген. Камераның жұмысшы көлемі (1) судың немесе спирттің тойынған буы бар ауамен

яки газбен толтырылган. Поршень (2) төменге қарай жедел қозғалғанда, (1) көлемдегі газ адиабатикалық түрде ұлғаяды және суиды. Соның нәтижесінде газ өте тойынған күйге келеді. Камерадан ұшып өткен бөлшек өз жолында иондарды туғызады және көлем ұлғайғанда конденсацияланған будан тамшылар пайда болады. Осылайша бөлшектер арасында жіңішке тұманды жол көрінісіндегі із қалады. Бұл ізді бақылауға және суретке түсіруге болады.

Альфа-бөлшек газды күшті иондайды, сондықтан да Вильсон камерасында қалың із қалдырады (7.10-сурет). Бэ́та-бөлшек – өте жіңішке із қалдырады. Ал гамма-сәулелену Вильсон камерасындағы газ молекулаларынан соғып шығарған фотоэлектрондары көмегімен ғана тіркелуі мүмкін.



7.9-сурет.



7.10-сурет.

**Фотоэмульсия әдісі.** 1927 жылы орыс физигі Л.Мысовский зарядталған бөлшектер ізін тіркеудің қарапайым әдісін ұсынды. Зарядталған бөлшектер фотоэмульсия арқылы өткенде, оның бетінде бейне туғызатын ионизация пайда болады. Сурет ашылған соң зарядталған бөлшектердің іздері көрініп қалады. Эмульсия өте қалың болғандықтан, бөлшектің онда қалдырған ізі де өте қысқа болады. Сондықтан да фотоэмульсия әдісі өте үлкен энергиялы жеделдеткіштерден шығып жатқан бөлшектер мен ғарыштық сәулелер туғызатын реакцияларды зерттеу мақсатына пайдаланылады.



1. Бөлшектерді тіркеудің негізгі әдістері олардың қандай әсерлеріне негізделген?
2. Газ разрядты есептегіштердің жұмыс істеу қағидаты қандай?
3. Гейгер–Мюллер есептегішінің жұмыс істеу қағидаты мен өнімділігі қандай?
4. Фотоэмульсия әдісі неден тұрады?

### Мәселе шешу үлгісі

1. Егер Вильсон камерасына ұшып кірген (7.9-суретке кара) электрон трэкінің (ізінің) радиусы 4 см, магниттік өріс индукциясы 8,5 мТ болса, электронның жылдамдығы қандай?

Берілгені:

$$R = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$B = 8,5 \text{ мТл} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

Табу керек:

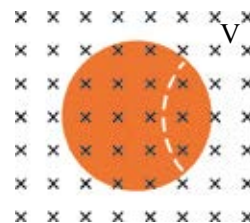
$$v = ?$$

Шешуі:

$$F_{\lambda} = F_{\text{мин}} \quad (1)$$

$$e[\vec{v} \cdot \vec{B}] = \frac{mv^2}{R}, \quad evB = \frac{mv^2}{R},$$

$$v = \frac{ReB}{m} \quad (2)$$



$$\text{Берілгендерден аламыз: } v = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} = 6 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$$

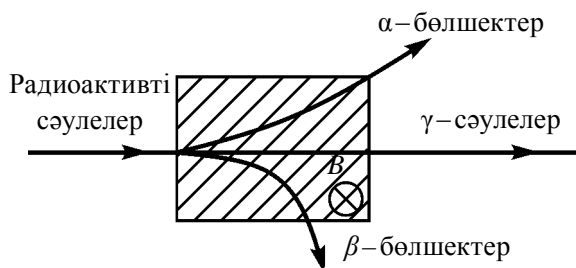
Жауабы:  $6 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$

## 41-тақырып. РАДИОАКТИВТІК ҮДЫРАУ ЗАҢЫ

Француз физигі А.Беккерель 1896 жылы уран тұздарындағы люминесценция құбылысын зерттеу барысында таңғажайып құбылыстың куәсі болды. Уран тұзын фотопластинка үстінде қалдырған Беккерель пластинканы ашқанда, оның бетіне тұздың суреті өтіп қалғанын көрді. Тәжірибені бірнеше рет қайталаған Беккерель бұндай тұздар қағаздан, жұқа металдан оңай өтетін, ауаны иондайтын, люминесценция құбылысын туғызатын беймәлім сәуле шығарады деген қорытындыға келді.

Бұл сәулелер *радиоактивтік сәулелер* (латынша *радиус – сәуле* сөзінен алынған), ал радиоактивті сәулелер шығару құбылысы *радиоактивтілік* деп аталды.

Резерфорд тәжірибелер көмегімен радиоактивті сәулелер біртекті еместігін, оның бірнеше сәулелерден тұратынын анықтап берді. Сурет жазығына перпендикуляр орналасқан магнит өрісінен өткізілген сәуле (7.11-сурет) үшке:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – сәулелерге бөлініп кетті. Олардың біріншісі – гелий ядросының ағыны, екіншісі – электрондар ағыны, ал үшіншісі  $\gamma$  – кванттар (фотондар) ағыны болып табылады.



7.11-сурет.



**Табиғи радиоактивтілік.** Уран – радиоактивті сәуле тарататын бірден-бір элемент емес. Радиоактивтілікті жан-жақты терең зерттеген ерлі-зайыпты Мария және Пьер Кюрилер уран рудасынан екі радиоактивті элементті – полоний (Po) мен радийді (Ra) бөліп алу құрметіне ие болды. Табиғи радиоактивті элементтер Жер қойнауының қалаған тұсынан табылады. Ол ауада, суда, топырақта, жанды ағзалардың жасушаларында, азық-түліктерде қалағанынша табылады. Табиғатта ең көп тараған радиоактивті изотоптар  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$  – уран және торий изотоптары санатынан.

Тағы бір атап өтетін жері, радиоактивтілік изотоптың таза күйде немесе бірер қоспа құрамына енуіне, қандай агрегат күйінде болуына мүлдем байланысты емес. Сонымен қатар не қысым, не температура, не электр өрісі, не магнит өрісі табиғи радиоактивтілікке бөгет бола алмайды. Демек, радиоактивтілік ядро ішіндегі үдерістерге ғана байланысты деген қорытындыға келуден басқа лажымыз жоқ.

**Стабильді емес изотоптар атомы ядроларының түрлі бөлшектер шығару және энергия бөлу арқылы стабильді изотоптарға айналуы табиғи радиоактивтілік деп аталады.**

Сонымен, радиоактивтілік – атом ядросы мен онда болатын үдерістер жөнінде мәлімет беретін дереккөздердің бірі болып табылады.

**Радиоактивті ыдырау заңы.** Ядроның радиоактивті сәуле шығару арқылы басқа ядроға айналуы *радиоактивті ыдырау* немесе жай ғана *ыдырау* деп аталады. Радиоактивті ыдыраған ядро – ана ядро, пайда болған ядро – бала ядро деп жүргізіледі. Қош, бұл ыдырау бірер заңға мойынсұна ма? Көптеген тәжірибелерден анықталғанындай, қарастырылып отырған көлемдегі радиоактивті атомдар саны уақыт өткен сайын кему береді. Кейбір элементтерде бұндай кемею минуттар, тіпті секундтар ішінде орын алса, кейбіреулерінде миллиардтаған жылға созылады. Жалпы алғанда, ядроның ыдырауы – кездейсоқ құбылыс. Сондықтан ол немесе бұл ядроның берілген уақыт аралығында ыдырауы статистика заңдарына бойсұнады. Радиоактивті элементтің негізгі сипаттамаларының бірі – әрбір ядроның бір секунд ішінде ыдырау мүмкіндігімен анықталатын шама болып табылады. Ол  $\lambda$  әрпімен белгіленеді және *радиоактивті ыдырау тұрақтысы* деп аталады.

Егер басталу моменті  $t=0$ -де  $N_0$  санды радиоактивті атом бар болса,  $t$  моментте қалған радиоактивті атомдардың саны

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (7-12)$$

заңға сәйкес анықталады. Бұл жерде:  $e=2,72$ -натурал логарифмнің негізі. (7-12) өрнек радиоактивті ыдырау заңы болып қабылданған.

**Жартылай ыдырау периоды.** Радиоактивті ыдыраудың интенсивтілігін сипаттайтын шамалардың бірі – жартылай ыдырау периоды (кезеңі). Жартылай ыдырау периоды  $T$  деп, бастапқы ядролар санының орта есеппен екі есе кемеюіне қажет болатын уақытты айтады.

Егер  $t = T$  болса, онда  $N = \frac{N_0}{2}$  және радиоактивті ыдырау заңына орай:

$$\frac{N_0}{2} = N = N_0 e^{-\lambda T}.$$

Бұл формуланы потенциалдандырып, төмендегіні шығарып аламыз:

$$\lambda T = \ln 2 \text{ немесе } T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (7-13)$$

ны туындатамыз.

Түрлі изотоптар үшін жартылай ыдырау кезеңі өте ауқымды интервалда өзгереді. Ол уран үшін 4,56 млрд жылға тең болса, полоний изотопы үшін бар-жоғы  $1,5 \cdot 10^{-4}$  сек-ты құрайды.

Радиоактивті ыдырау заңы төмендегідей өрнектелуі де мүмкін:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \quad (7-14)$$

бұл жерде:  $T$  – жартылай ыдырау кезеңі.

**Активтілік.** Радиоактивті көздің активтілігі ( $A$ ) деп 1 сек-тағы ыдыраулар саны айтылады:

$$A = \frac{dN}{dt}, \quad (7-15)$$

Активтіліктің Халықаралық СИ бірліктер жүйесіндегі атауы – Беккерель (Бк) деп, 1 с-та 1 ыдырау орын алған активтілік айтылады.  $1 \text{ Бк} = 1 \text{ ыдыр./1 с} = 1 \text{ с}^{-1}$ . Осы күнге дейін ядролық физикада жүйеге енбейтін нуклид активтілік бірлігі – кюри (Cu) қолданылады:  $1 \text{ Cu} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

**Радиоактивті элементтер отбасы.** Рет саны 83-тен үлкен элементтер изотоптарының барлығы да радиоактивті болып саналады. Табиғи радиоактивті элементтер қалыпты жағдайда төрт қатарға орналастырылады. Бастапқы элементтен тыс барлығы алдыңғысының ыдырауы нәтижесінде пайда болады.

${}_{92}^{238}\text{U}$  уран отбасы қорғасынның стабильді изотопы  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  -мен аяқталады. Алторий  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  -дің отбасы қорғасынның басқа стабильді изотопы  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  -мен, актиний  ${}_{89}^{235}\text{Ac}$  -ның отбасы қорғасынның стабильді изотопы  ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  -мен, ал нептуний  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  -ның отбасы висмуттың стабильді изотопы  ${}_{83}^{209}\text{Bi}$  -мен аяқталады.

**Мәселе шешу үлгісі**

1. Уран  ${}_{92}^{233}\text{U}$  неше  $\alpha$  бөлшек шығарғаннан кейін  ${}_{80}^{209}\text{Hg}$  -ге айналады?

*Жауабы:*  ${}_{92}^{233}\text{U} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{90}^{229}\text{Th}$ .  ${}_{90}^{229}\text{Th} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{88}^{225}\text{Ra}$ .  ${}_{88}^{225}\text{Ra} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{86}^{221}\text{Rn}$ .

${}_{86}^{221}\text{Rn} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{84}^{217}\text{Po}$ .  ${}_{84}^{217}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{82}^{213}\text{Pb}$ .  ${}_{82}^{213}\text{Pb} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{80}^{209}\text{Hg}$ .

*Жауабы:* 6.

**42-тақырып. ЯДРОЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР. ЫҒЫСУ ЗАҢЫ**

**Ядролық реакциялар.** Ядролық реакциялар – атом ядроларының бір-бірімен өзара немесе ядро бөлшектерімен ықпалдасуы нәтижесінде басқа ядроларға айналуы болып табылады.

Ядролық реакцияларда: электр зарядының, нуклондар санының, энергияның, импульстің, импульс моментінің сақталу заңдары орындалады. Барлық реакциялар реакция үдерісіне бөлінетін немесе жұтылатын энергиямен сипатталады. Энергия бөлінісімен-ақ туындайтын реакциялар – **экзотермиялық**, ал энергияның жұтылуына байланысты туындайтын реакциялар – **эндотермиялық** реакциялар болып аталады.

**Ядролық реакциялардың түрлері.** Ядролық реакциялар төмендегідей белгілеріне орай түрлерге бөлінеді:

1. Оған қатысатын бөлшектердің түрлеріне қарай нейтрондар,  $\gamma$ -кванттар, зарядталған бөлшектер (протон, дейтрон,  $\alpha$ -бөлшек және т.б.) ықпалымен туындайтын реакциялар.

Реакцияға қатысатын бөлшектердің энергиясына қарай шағын энергиялы ( $\approx 100$  эВ); орта энергиялы ( $\approx 1$  МэВ) және жоғары энергиялы ( $\approx 50$  МэВ) реакциялар.

Қатысушы ядролардың түрлеріне қарай жеңіл ядроларда ( $A < 50$ ); орта ядроларда ( $50 < A < 100$ ); ауыр ядроларда ( $A > 100$ ) өтетін реакциялар.

Ядролық түрленулердің сипатына қарай нейтрон шығаратын; зарядталған бөлшектер шығаратын; бөлшек жұтатын реакциялар болады.

**Реакциялардағы энергия бөлінуі.** Ядролық реакциялардағы энергия бөлінуі деп реакцияға дейінгі және одан кейінгі ядролар мен бөлшектердің тыныш күйдегі энергияларын айтады. Сондай-ақ ядролық реакцияда энергияның бөлінуі реакцияға қатысатын және реакциядан кейінгі кинетикалық энергиялардың айырмасына тең болады. Егер реакциядан кейін

ядро мен бөлшектердің кинетикалық энергиялары реакцияға дейінгісінен үлкен болса, онда энергия бөлініп шыққан дей аламыз. Кері жағдайда энергия жұтылады. Мысалы:



Реакцияда пайда болған гелий ядроларының кинетикалық энергиялары реакцияға кіріскен протонның кинетикалық энергиясынан 7,3 МэВ-қа көп.

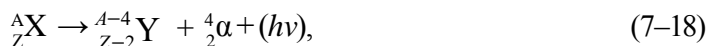
**Бор теориясы.** Бор ұсынған теорияға сәйкес, ядролық реакция екі сатыдан тұрады. Бірінші сатыда нышан ядро  $A$  оған бағытталған бөлшекпен қосылып кетеді де, ұйытқыған күйдегі жаңа  $C$  ядроны туындатады:  $A + a \rightarrow C$ . Ал екінші сатыда ұйытқыған ядро  $C$  ядролық реакция өнімдеріне ыдырап кетеді:  $C \rightarrow \alpha + B$ . Сонымен ядролық реакция төмендегі сызбаға сәйкес жүзеге асады:



**Альфа-сәулелену.** Атом ядросындағы нуклондар әрдайым қозғалыста және өзара айналыста болады. Ядро ішінде пайда болатын ең тұрақты өнім – екі протон мен екі нейтроннан құралған өнім болып табылады. Ядро ішіндегі энергия бөлінісіне нақ осы бөлшек ядроның негізгі энергиясын өзіне алуы және белгілі жағдайларда  $\alpha$ -бөлшек ретінде оны тастап кетуі мүмкін.

Атом ядросының  $\alpha$ -бөлшек шығаруы және басқа ядроға айналуы **альфа-сәулелену** (ыдырау) деп аталады.

Егер  ${}^A_Z\text{X}$  ана ядро болса,  $\alpha$  – сәулелену нәтижесінде бұл ядроның басқа ядроға айналуы төмендегі сызба негізінде жүзеге асады:



Бұл жерде:  ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$  – бала ядроның белгісі,  ${}^4_2\alpha$  гелий ( ${}^4_2\text{He}$ ) атомының ядросы ( $\alpha$ -бөлшек),  $h\nu$  – ұйытқыған  ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$  – ядро шығаратын квант.

(7-18)–ден көрініп тұрғанындай,  $\alpha$ -сәулелену нәтижесінде ядроның масса саны 4-ке, ал заряды 2 элементар оң зарядқа кемиді. Былайша айтқанда,  $\alpha$ -сәулелену нәтижесінде химиялық элементтің Менделеев жасаған элементтердің периодтық жүйесіндегі орны екі торкөз солға қарай ығысады. Бұл жағдай **ығысу ережесі** деген атау алған. Ол электр заряды мен масса санының сақталу заңдарының нәтижесі болып табылады.

**Бэта-сәулелену.** Ядрода нуклондардың бір-біріне айналуына байланысты басқа да өзгерістер жүріп жатады. Мәселен, ядро электрондар ағынын шығаруы мүмкін. Бұл күй  **$\beta$ -сәулелену** (ыдырау) деп аталады.

Ығысу ережесіне орай,  $\beta$ -сәулелену кезінде ядроның масса саны өзгермейді:



Осы өрнектен көрініп тұрғанындай,  $\beta$ -сәулелену нәтижесінде химиялық элемент Менделеевтің периодтық жүйесінде бір торкөз алға қарай жылжиды.

**Радиоактивті айналулар.** Жоғарыдағы реакциядан байқалғанындай, олардың көмегімен бір химиялық элементті басқа элементке айналдыруға және сол жолмен жасанды түрде радиоактивті элементтерді туғызуға болады. Бұндай реакцияларды радиоактивті айналулар дейміз.

Жалпы алғанда, жасанды және табиғи радиоактивтілік арасында ешқандай айырма жоқ. Өйткені изотоптың қасиеттері оның пайда болу әдісіне мүлде тәуелді емес және жасанды изотоптың табиғи изотоптан ешқандай айырмасы болмайды.

**Гамма-сәулелену.** Француз физигі П.Виллар 1900 жылы қорғасынды  $\alpha$  және  $\beta$ -бөлшектермен сәулелендіргенде әлдеқандай қалдық сәулелену болатынын анықтады. Бұл сәулелену магниттік өріс әсеріне қарамай, өз бағытынан таймаған. Иондау қабілеті едәуір шағын, ал сыну қабілеті рентген сәулелерінен де анағұрлым күшті болған. Оны  $\gamma$ -сәулелену деп атаған.

$\gamma$ -сәулелену де рентген сәулелері секілді электромагниттік толқындар болып табылады. Олар тек пайда болуы және энергиялары тұрғысынан ғана бір-бірінен ерекшеленеді. Егер рентген сәулелері орбиталық электрондар ұйытқуының және электрондар тежелуінің нәтижесі болса,  $\gamma$ -сәулелену ядролардың бір-біріне айналуынан туындайды.

Жалпы алғанда, ядро радиоактивті ыдырау немесе жасанды түрде ядролардың бір-біріне айналуы нәтижесінде ұйытқу күйіне өтеді. Ол ұйытқу күйінен негізгі күйге өткенінде  $\gamma$ -сәулелену шығарады. Оның энергиясы бірнеше килоэлектрон-вольттан бірнеше миллион электрон-вольтқа дейін болуы ықтимал.  $\gamma$ -сәулелену заттан өткенде, оның бастапқы интенсивтілігі едәуір кемиді. Бұның себебі – фотоэффект, комптон эффекті және электрон-позитрон жұптығының пайда болуы.



1. Ядролық реакцияларда қандай сақталу заңдары орындалады?
2. Альфа-сәулелену деп нені айтады?
3. Бэ́та-сәулелену деп нені айтады?
4. Гамма-сәулелер қандай сәулелер болып табылады? Ол рентген сәулелерінен несімен ерекшеленеді?

### Мәселе шешу үлгісі

Төмендегі реакциядан белгісіз өнім X-ті тап.  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \Rightarrow {}^{17}_8\text{X} + {}^1_1\text{H}$ .

Жауабы:  ${}^{17}_8\text{O}$ .

## 43-тақырып. ЭЛЕМЕНТАР БӨЛШЕКТЕР

**Элементар бөлшектер.** “Элементар” сөзінің сөздік мағынасы “ең қарапайым” дегенді білдіреді. Осы күнге дейін белгілі бір бөлшектерді элементар деп атау оншалықты дұрыс болмаса да, алғашқы кездерде енгізілген бұл атау әлі де пайдаланылып келеді. Жалпы алғанда, бөлшектер енді ғана ашыла бастағанда, материяның ең кіші бөлігі ретінде қабылданған және шын мәнінде элементар деп саналған. Бірақ олардың кейбіреулерінің (атап айтқанда, нуклондардың) түзілісі күрделі екендігі кейінірек белгілі болды. Бүгінгі таңда 300-ден астам элементар бөлшектер бар. Олардың басым көпшілігі стабильді емес, бірте-бірте жеңіл бөлшектерге айналады.

**Электрон.** Ең алғаш ашылған элементар бөлшек электрон болып саналады. Катод сәулелерінің қасиеттерін зерттеп жатқан Дж.Томсон бұл теріс зарядталған бөлшек электрондар ағынынан тұратынын анықтады. Бұл оқиға 1897 жылы 29 сәуірде болған еді. Содан бері бұл дата алғашқы элементар бөлшек ашылған күн болып саналады.

**Фотон.** 1900 жылы М.Планк жарықтың фотон деп аталатын бөлшектер ағынынан тұратынын дәлелдеді. Фотонда электр заряды жоқ, тыныш күйдегі массасы нөлге тең, яғни фотон жарық жылдамдығына тең жылдамдықпен қозғалғанда ғана бар болуы мүмкін.

**Протон.** 1919 жылы Э.Резерфордтың тәжірибелерінде азоттың  $\alpha$ -бөлшектермен соққылануы нәтижесінде сутегі атомының ядросы – протон ашылды. Ол – зарядының мөлшері электронның зарядына тең, оң зарядталған бөлшек. Массасы электронның массасынан 1836 есе үлкен.

**К-өлшемдер.** 1950 жылдан бастап ашылатын бөлшектердің саны шұғыл көбейді. Бұлардың қатарына К-өлшемдер де қосылады. Олардың заряды теріс, оң және нөл болуы мүмкін. Ал массалары 966–974  $m_p$  айналасында.

**Гиперондар.** Келесі бөлшектер тобы гиперондар деп аталады. Олардың массалары 2180  $m_p$  –ден 3278  $m_p$ -ге дейінгі аралықта болады.

**Резонанстар.** Соңғы кездерде өмір сүру кезеңдері өте қысқа болған резонанстар деп аталатын бөлшектер ашылды. Оларды тікелей тіркеудің мүмкіндігі болмай, пайда болғанын тек ыдыраған кезде туындаған өнімдерге қарап анықтайды.

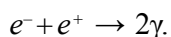
Жалпы алғанда, бастапқы кездерде бар-жоғы бірнеше ғана әрі материяның ең ұсақ кірпіштері болып саналған элементар бөлшектер бертін келе соншалықты көп түрлі, соншалықты күрделі болып шықты.

**Антибөлшектер.** Бірінші антибөлшек – электронның антибөлшегі (қарама-қарсы бөлшегі) – позитрон ашылған соң, басқа бөлшектердің де антибөлшектері жоқ па екен деген сұрақ туылды. Антипротон 1955 жылы мыс нысананы протондармен атқылау нәтижесінде туындады. Ал 1956 жылы антинейтрон табылды. Қазіргі кезде әрбір бөлшектің өз антибөлшегі, яғни массасы мен спині тең, ал заряды қарама-қарсы бөлшектер бар екені анықталып отыр.

Электрондар мен протондардың антибөлшектері зарядының өрнегімен ерекшеленсе, нейтрон мен антинейтрон дербес магниттік моменттерінің өрнегімен ерекшеленіп тұрады. Зарядсыз бөлшектер: фотон,  $\pi^0$ -өлшемдердің өздері мен антибөлшектерінің физикалық қасиеттері бірдей.

Антибөлшектер жөнінде қажетті мәліметтерге ие болған соң оқушының көкейінде: “Бөлшек пен антибөлшек кездесіп қалса, не болады?” деген сұрақ туылатыны заңды. Бұл сұраққа жауапты кейінгі қатарлардан табасың.

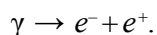
**Заттардың және өрістің бір-біріне айналуы.** Электронның өз антибөлшегі – позитронмен кездесуі олардың электромагниттік сәулелену квантына айналуына және энергия бөлінуіне соқтырады. Бұл құбылыс аннигилизация деп аталады:



Тек электрон мен позитрон ғана емес, барлық өзге бөлшектер де өз антибөлшектерімен кездескенде аннигилизацияға кіріседі. Былайша айтқанда, олар электромагниттік өріс кванттарына (фотондарға) айналады.

Бұл жағдайда аннигилизация сөзі оншалықты дұрыс таңдалмаған. Өйткені ол латынша “жоғалу” деген мағынаны білдіреді. Түптеп келгенде, бөлшек пен антибөлшек кездескенде ешқандай жоғалу болмайды. Барлық сақталу заңдары толық орындалады. Материя тек зат көрінісінен электромагниттік өріс кванттары көрінісіне ғана өтеді.

Энергиясы электрон мен позитронның тыныш күйдегі энергиялары жиындысынан үлкен болған  $\gamma$ -квант  $E_\gamma > 2m_0c^2 = 1,02$  МэВ ядроның жанынан өткенінде, электрон-позитрон жұптығына айналуы мүмкін:



Электрон-позитрон жұптығының пайда болуы және олардың аннигилизациясы материяның екі пішіні (зат пен өріс) өзара бір-біріне айналатынын көрсетеді.

**Элементар бөлшектер әсерлесуінің түрлері.** Заманалық ұғымдарға орай, табиғатта төрт түрлі негізгі әсерлесу бар. Олар: күшті, электромагниттік,



элсіз және гравитациялық әсерлесулер. Бұл әсерлесулердің әрқайсысын жүзеге асыратын бөлшектер және әрқайсысына сай келетін өз өрістері бар. Адрондар – барлық түрлердегі фундаменталдық әсерлесулерге қатысады. Бұл сыныпқа бариондар мен  $\pi$ -өлшемдер кіреді. Бариондар +1 барион зарядына, ал антибөлшектері –1 барион зарядына ие болады. Өлшемдердің барион заряды нөлге тең. Бариондар спині жарты санды, ал өлшемдердікі – бүтін сан. Нуклондар мен нуклондарға бөлінетін ауырлау бөлшектер де бариондарға кіреді. Массасы нуклонның массасынан үлкен болған бариондар гиперондар деп аталады.

Лептондар – күшті әсерлесуден басқа үш әсерлесудің әрқайсысына да қатысады. Лептондар (“лептос” – грекше жеңіл) – электрондар мен позитрондар,  $\mu$  – өлшемдер мен нейтрондар болып табылады. Лептондар +1 лептон зарядына, ал антибөлшектері –1 лептон зарядына ие.

Фотондар – гравитациялық және электромагниттік әсерлесулерге қатысатын бөлшектер.

Гравитондар – тек гравитациялық әсерлесуге ғана қатысады деп саналатын бөлшектер. Дегенмен соңғы тәжірибелер гравитациялық толқындарды тіркеп отырған болса да, гравитондардың бар екені әлі толық дәлелденбеген.

Барлық элементар бөлшектер бір-бірлеріне түрленіп тұрады және бұл түрленулер олардың бар екендігінің негізгі факторы болып саналады.

1964 жылы американ физиктері М.Гел-Ман мен Дж.Цвейг кварктер деп аталатын болжамдық бөлшектер бар екенін шамалап айтты. Олардың пікірлеріне қарағанда, адрондар кварктерден құралған. Бүгінгі таңда олардың бар екенін дәлелдейтін тәжірибе нәтижелері алынған.

Кварктер күшті, элсіз және электромагниттік әсерлесулерге қатысады. Кварктердің жалпы саны алтау. Олар латын әріптерімен таңбаланып, үш (u, d), (c, s), (t, b) отбасыға бөлінеді. Алты кварктің әрқайсысы өз “иісімен” ажыратылады және олар үш “түсті” – сары, көк және қызыл түсті болып келеді. Алғашында u, d, s кварктері енгізілді. Ал кейінірек оларға “тартымды” c (charm), “әсем” b (beauty) және “шынайы” t (truth) кварктері қосылды. U, c, t кварктерінің электр заряды электрон бөлшектердің  $+2/3$  бөлігіне, ал қалғандарыныкі  $-1/3$  бөлігіне тең. Анткварктер сәйкес түрде қарама-қарсы электр зарядына ие болады. Кварктердің спині ( $\hbar$ ) бірлігімен беріледі. Кварктің шамасы  $10^{-18}$ -ден аспайды, яғни кварк протоннан кемінде  $10^3$  (мың) есе кіші. Протонды  $E \approx 2 \cdot 10^4$  МэВ энергиялы электрондармен соққылау ондағы заряд протон ішінде үш жерде сәйкесінше  $+2/3q_u, +2/3q_u$  және  $-1/3q_d$  сияктанып орналасқанын көрсетті.



Нейтрон да бір  $u\left(q_u = \frac{2}{3}q_e\right)$  және екі  $d\left(q_d = -\frac{1}{3}q_e\right)$  кварктерден құралған.

Өлшемдер кварктер мен антикварктерден тұрады. Мысалы,  $\pi^+$ -өлшем  $u\bar{d}$  секілді болып құралған. Бұл жерде:  $\bar{d}-d$  – кварктердің антибөлшегі.

### Нуклондардың кварктерден түзілуі

Нуклон	Электрон заряд	Құрамы	Кварктердің электр заряды
Протон	$+q_e$	$u, u, \bar{b}$	$+\frac{2}{3}q_e, +\frac{2}{3}q_e, -\frac{1}{3}q_e$
Нейтрон	0	$u, \bar{b}, \bar{b}$	$+\frac{2}{3}q_e, -\frac{1}{3}q_e, -\frac{1}{3}q_e$

Заманалық теорияларға орай жеті негізгі бөлшек бар, қалғандарын солардан түзіп алуға болады. Бұлар: кварк, антикварк, глюон, гравитон және үш хигсон.

Лептондар мен кварктер одан да майда бөлшектерден құралған деген теориялар да баршылық.

Қазіргі кезде ғалымдардың басты назары элементар бөлшектердің “Стандарт моделіне” бағытталған. Әсіресе 2012 жылдың 4 шілдесінде Хиггс бозони ашылғаны жөніндегі мәліметтер жарияланған соң, бұл модельге қызығу одан әрі күшейе түсті.

Сонымен қатар “Стандарт модельде” тек үш-ақ нәрсе: күшті, әлсіз және электромагниттік әсерлесулер ғана біріктіріліп, төртінші гравитациялық әсерлесу қарастырылмайды.



1. “Элементар” сөзі қандай мағынаны білдіреді?
2. Қазір неше бөлшек бар екендігі анықталған?
3. Бөлшек пен антибөлшек кездескенде қандай құбылыс орын алады?
4. Зат пен өріс бір-біріне айнала ма?
5. Кварктер қандай бөлшектер?

### Мәселе шешу үлгісі

Элементар бөлшек пи-нөл-өлшем ( $\pi^0$ ) екі  $\gamma$ -квантқа ыдырады. Егер бұл бөлшектің тыныштық күйіндегі массасы 264,3 электрон массасына тең болса,  $\gamma$ -сәулелену жиілігі қандай болатынын тап.

<p>Берілгені:</p> $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ $m_\pi = 264,3 m_e$ <hr/> <p>Табу керек:</p> $\nu = ?$	<p>Шешуі:</p> <p>Энергияның сақталу заңына орай</p> $E_\pi = 2E_\gamma \Rightarrow m_\pi c^2 = 2h\nu \Rightarrow \nu = \frac{264,3 m_e c^2}{2h}$ $m_e c^2 = 0,511 \text{ МэВ}$ $\nu = \frac{264,3 \cdot 0,511 \cdot 10^6 \text{эВ}}{2 \cdot 4,136 \cdot 10^{-15} \text{эВ} \cdot \text{с}} = \frac{264,3 \cdot 0,511}{8,272} \cdot 10^{21} \text{Гц} =$ $= 16,33 \cdot 10^{21} \text{Гц.}$ <p style="text-align: right;"><i>Жауабы:</i> <math>16,33 \cdot 10^{21} \text{Гц.}</math></p>
--	---

## 44-тақырып. АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ. ЯДРОЛЫҚ ЭНЕРГИЯНЫ ПАЙДАЛАНУДАҒЫ ҚАУІПСІЗДІК ШАРАЛАРЫ

**Ауыр ядроның бөлінуі.** Ауыр ядролардың бөліну мүмкіндігін 7.12-суретте келтірілген салыстырмалы байлану энергиясының масса санына тәуелділік графигі негізінде түсіндіруге болады. Бұл графиктен көрініп тұрғанындай, ауыр ядролардың салыстырмалы байлану энергиясы Менделеев кестесінің ортаңғы бөлігіндегі элементтердің салыстырмалы энергиясынан 1 МэВ кіші. Демек, ауыр ядролар орта ядроларға айналса, онда әрбір нуклон үшін 1 МэВ энергия бөлініп шығады екен.

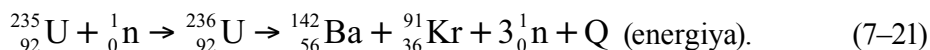
Егер 200 нуклонды ядро бөлінсе, онда  $\approx 200$  МэВ айналасындағы энергия бөлініп шығады және оның негізгі бөлігі ( $\approx 165$  МэВ) ядро ыдырауының кинетикалық энергиясына айналады.

**Уран ядросының бөлінуі.** 1938–1939 жылдары неміс физиктері О.Ган мен Ф.Страсман нейтронмен соққыланған уран ядросы екі бөлікке (кейде үшке) бөлінетінін және бұнда көлемді мөлшерде энергия бөлініп шығатынын анықтады. Бұл бөліністе периодтық жүйенің ортаңғы элементтері болып саналатын барий, лантан және басқалар пайда болады.

Тәжірибенің нәтижелері төмендегідей талданды. Нейтронды жұтқан уран ядросы ұйытқыған күйге өтеді және екі бөлекке ыдырап кетеді. Бұның себебі – протондар арасындағы кулон тебілу күшінің ядроның тартылу күштерінен үлкен болуында. Ядро түйіршіктері оң зарядталғандықтан, кулон күшінің әсерімен бірін-бірі тебеді және үлкен жылдамдықпен атылып кетеді. Бір мезгілдің өзінде 2–3 екіншіленген нейтрон бөлініп шығады.

Тәжірибелердің көрсеткеніндей, екіншіленген нейтрондардың негізгі бөлігі ұшып шығып, ұйытқып жатқан бөлектерден аулақтайды.

Бөлініс өнімдері алуан түрлі болғандықтан, 200 түрден астам көрініске ие болуы мүмкін. Масса саны 95-тен 139-ға дейінгі ядролардың туындау мүмкіндігі ең үлкен болады. Тең массалы бөліну мүмкіндігі едәуір кіші және ол бірен-саран жағдайларда ғана туындайды. Бөліну реакциясының төмендегідей күйі көп кездеседі:

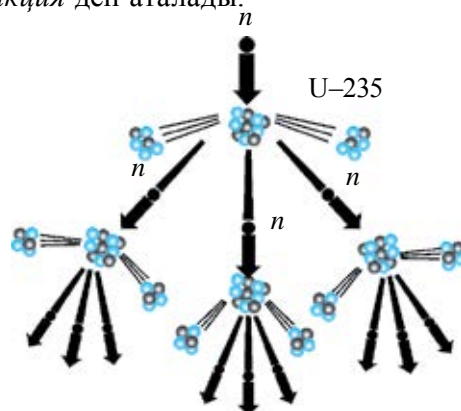


Соңғы ізденістердің көрсетуіне қарағанда, нейтрон ықпалымен өзге ауыр элементтердің ядролары да ыдырауы мүмкін екен. Бұлар:  ${}_{92}^{238}\text{U}$ ,  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ ,  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  және басқалар.

**Үздіксіз тізбекті реакция.** Жоғарыда атап өтілгеніндей, әрбір уран ядросы бөлінгенде, ядро бөліктерінен тыс 2–3 нейтрон да ұшып шығады. Өз кезегінде бұл нейтрондар да басқа уран ядросына түсуі және олардың ыдырауына соқтыруы мүмкін. Соның нәтижесінде 4–9 нейтрон пайда болады және сонша ядроны ыдыратып, 8-ден 27-ге дейін нейтрондардың пайда болуына түрткі береді. Осылайша өзін-өзі ыдыратуды күшейтетін үдеріс туындайды (7.12-сурет). Бұл үдеріс *үздіксіз тізбекті реакция* деп аталады.

Тізбекті реакция экзотермиялық реакция болып саналады, яғни реакция үлкен мөлшердегі энергияның бөлініп шығуымен жүзеге асады. Біз жоғарыда бір уран ядросы ыдырағанда, 200 МэВ энергия бөлінетіні туралы жазған едік. Енді 1 кг уран ыдырағанда қанша энергия бөлінетінін есептеп көрейік (1 кг уранда  $2,5 \cdot 10^{24}$  ядро бар):

$$E \approx 200 \text{ МэВ} \cdot 2,5 \cdot 10^{24} = 5 \cdot 10^{26} \text{ МэВ} = 8 \cdot 10^{13} \text{ Дж}. \quad (7-22)$$



7.12-сурет.

Бұндай энергия 1800 тонна бензин немесе 2500 тонна таскөмір жанғанда бөлінуі мүмкін. Нақ осындай үлкен энергияның бөлінуі ғалымдарды тізбекті реакцияны іс жүзінде пайдалану (әрі бейбітшілік, әрі әскери мақсаттарға) жолдарын іздестіруге жұмылдырды. Тізбекті реакцияны жүзеге асыру оншалықты оңай емес, әрине. Бұның себебі – табиғатта бар уранның екі изотоптан: 99,3% –  ${}_{92}^{238}\text{U}$  және 0,7% –  ${}_{92}^{235}\text{U}$ -дан тұратыны. Тізбекті реакция тек Уран – 235-пен ғана жүреді.

Сондықтан да уран рудасынан бұрын тізбекті реакциясы жүретін Уран–235 изотопын бөліп алу, содан соң реакция өтетін жағдайды қалыптастыру керек. Бүгінгі таңда осынау күрделі мәселе табысты шешілген.

**Нейтрондардың көбею коэффициенті.** Тізбекті реакция жүруі үшін екіншіленген нейтрондардың соңғы ядролық бөліністерге қатысуы ерекше маңызды. Сол себепті нейтрондардың көбею коэффициенті ұғымы енгізілген:

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}, \quad (7-23)$$

бұл жерде:  $N_i$  шама –  $i$ -этапта ядролардың бөлінуін туындататын нейтрондар саны болса,  $N_{i-1}$  – одан бұрынғы этапта ядролардың бөлінісін туғызған нейтрондар саны.

Көбею коэффициенті тек нейтрондар санын ғана емес, сонымен қатар бөлінетін ядролар санын да көрсетеді. Егер  $k < 1$  болса, онда реакция жедел сөнеді. Ал егер  $k = 1$  болса, онда тізбекті реакция критик деп аталатын тұрақты интенсивтілікпен жалғаса береді.

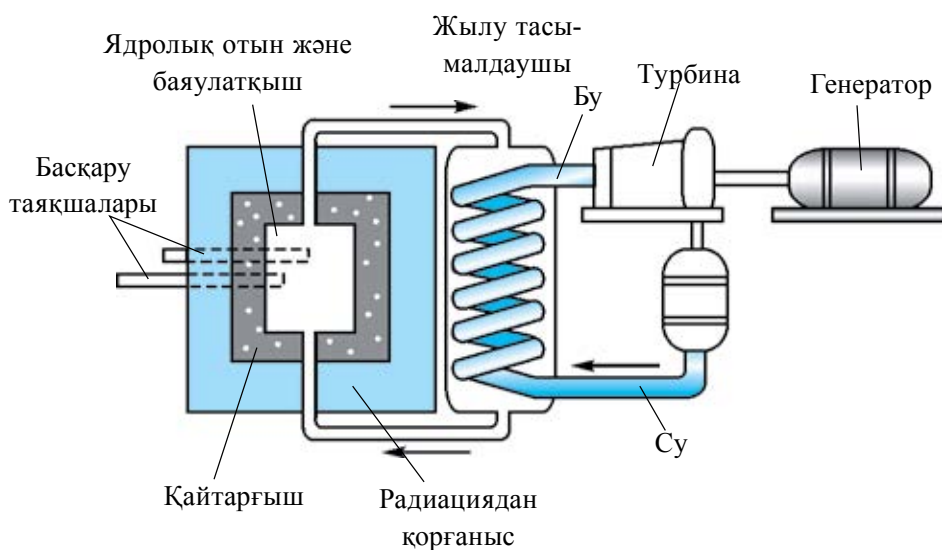
Егер  $k > 1$  болса, онда тізбекті реакция ұйытқыған түрде өсе береді де, ядроның жарылуына соқтырады.

**Ядролық реактор.** Адамзат үшін тізбекті реакцияны жүзеге асыру қажет емес, тек бөлініп шығатын энергияны пайдалану үшін оны басқару ісі айрықша маңызды. Ауыр ядролардың бөліну тізбекті реакциясын жүзеге асыру және басқару мүмкіндігін беретін қондырғы *ядролық реактор* деп аталады.

Алғашқы ядролық реактор 1942 жылы Э.Фермидің жетекшілігімен Чикаго университеті жанында құрылған.

Жағар отын ретінде 5%-ға дейін уран–235-пен байытылған табиғи уран пайдаланылған. Бұл реактордың сызбасы 7.13-суретте көрсетілген.

Уран–235 ядросында тізбекті реакцияны дамыту ыстық нейтрондар көмегімен ғана жүзеге асырылуы мүмкін (энергиясы 0,005–0,5 эВ аралығында болатын нейтрондар ыстық нейтрондар деп аталады). Ал ядроның ыдырауынан пайда болатын нейтрондардың энергиясы 2 МэВ айналасында болады. Сондықтан тізбекті реакцияның жүруін қамтамасыз ету үшін екіншіленген нейтрондарды ыстық нейтрондарға дейін баяулату керек. Осы мақсатпен баяулатқыш деп аталатын арнайы зат пайдаланылады. Баяулатқыш нейтрондарды баяулатуы, бірақ жұтып қоймауы керек. Баяулату мақсатында ауыр суды, жай суды, графитті және бериллийді пайдалануға болады. Ауыр суды алу өте қиын болғандықтан, көбінесе реакторларда жай су немесе графит жиі пайдаланылады.



7.13-сурет.

Реактордың өзін-өзі күшейтетін тізбекті реакциясы жүзеге асатын белсенді зонасы графит цилиндрден тұрады.

**Ядролық реакторды басқару.** Ядролық отын (уран) белсенді зонаға араларында нейтрондарды баяулатқыш орнатылған таяқшалар ретінде енгізіледі. Тізбекті реакция үдерісінде белсенді зонадағы температура 800–900 К-ге дейін көтеріледі. Мысалы, бұндай ыстықты тасымалдаушы әдеттегі су немесе сұйық натрий металы болуға тиіс. Тізбекті реакцияны басқару бордан немесе кадмийден жасалған, ыстық нейтрондарды жақсы жұтатын таяқшалар көмегімен жүзеге асырылады. Тізбекті реакцияның дамуы бөлінетін ядролар санының үздіксіз артуына, яғни реактор қуатының артуына әкеледі. Тізбекті реакция нөсер сипатты болмауы үшін нейтрондардың көбею коэффициентін 1-ге тең етіп ұстау керек. Ал бұл басқару таяқшаларының көмегімен жүзеге асырылады. Басқару таяқшалары реактордың белсенді зонасынан суырып алынғанда  $k > 1$ , ал толық енгізілгенде  $k < 1$  болады. Таяқшалардың көмегімен қалаған кезде тізбекті реакцияның дамуын тоқтатуға болады.

**Критик масса.** Өзін-өзі күшейтетін тізбекті реакция орын алуы үшін ( $k > 1$ ) белсенді зонаның көлемі бірер критик мәннен төмен болмауға тиіс. Белсенді зонаның тізбекті реакциясын жүзеге асыру мүмкіндігі бар ең төмен көлемі *критик көлем* деп аталады. Критик көлемде орналасқан жағар отын массасы *критик масса* делінеді.

Өзінен-өзі болатын тізбекті реакция жүзеге асу үшін тиісті уран массасының ең төмен мәні критик масса деп аталады.

Қондырғының құрылысы мен жағар отынның түріне қарап, критик масса бірнеше жүз грамнан бірнеше ондаған тоннаға дейін болуы мүмкін.

${}_{92}^{238}\text{U}$  уран бөлегі үшін критик масса 50 кг-ні құрайды. Осындай массалы ураннан радиусы 9 см шар жасауға болады.

**Ядролық реактордың қорғанысы.** Тізбекті реакцияда нейтрондар,  $\beta$ - және  $\gamma$ -сәулеленулер көзі болған ядро түйіршіктері пайда болады. Былайша айтқанда, уран реакторы – алуан түрлі сәулеленулер көзі болып табылады. Олардың өте үлкен сіңу қабілеті бар нейтрондары мен  $\gamma$ -сәулелері айрықша қауіпті. Сондықтан реакторда жұмыс істейтін қызметкерлердің қорғанысын ұйымдастырудың да маңызы орасан зор. Бұл мақсаттар үшін 1 м қалыңдықтағы су, 3 м-ге дейінгі қалыңдықтағы бетон және шойынның қалың қабаты пайдаланылады.

**Атом энергетикасының қолайлылықтары.** Адамзат әрқашан арзан әрі қолайлы энергия көздеріне ие болуға ұмтылып келген. Ядролық реакторлардың пайда болуы ядролық энергетиканың өнеркәсіпте кеңінен қолданылуына, яғни оны адам мүддесіне пайдалануға жол ашты. Ядролық отынның қорлары химиялық отын қорларынан жүздеген есе көп. Сондықтан да электр энергиясының негізгі бөлігі атом электр станцияларында (АЭС) өндірілгенде жақсы болар еді. Бұл, бір жағынан, электр энергиясының өзіндік құнын арзандатса, екінші жағынан, адамзатты жүздеген жылдар бойы энергетика проблемаларынан азат етеді. АЭС-тердің шағын ғана аумақты иелейтіні де ақиқат. Әлемдегі ең алғашқы АЭС1954 жылы Обнинск қаласында іске түсірілген. Одан кейін көптеген ірі АЭС-тер салынып, бәрі де табысты қызмет көрсетіп келеді.



1. Некліктен ауыр ядролар орта ядроларға айналғанда энергия бөлініп шығады?
2. Үздіксіз тізбекті реакция қалай пайда болады?
3. Басқару таяқшалары реактордың белсенді зонасынан шығарып алынса, қандай жағдай орын алады?
4. Критик масса деп нені айтады?

## **45-тақырып. ӨЗБЕКСТАНДА ЯДРОЛЫҚ ФИЗИКА САЛАСЫНДА ЖҮРГІЗІЛГЕН ЗЕРТТЕУЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ХАЛЫҚ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ПАЙДАЛАНУ**

Өзбекстанда ядролық физика саласындағы жұмыстар өткен ғасырдың 20-жылдарында басталған. Бірақ дәйекті зерттеулер 1949 жылы Физика-техника институтында қолға алынды. Академиктер И.В.Курчатов, У.О.Орифов және С.А.Азимовтардың бастамасымен 1956 жылы Өзбекстан Республикасы Ғылым академиясының ядролық физика институты ұйымдастырылған соң, бұл зерттеулерді одан әрі ұлғайту мүмкіндігі туылды. Бүгінгі таңда ядро спектроскопиясы және ядроның түзілісі; ядролық реакциялар; өрістің кванттық теориясы; элементар бөлшектер физикасы; релятивистік ядро физикасы және басқа бағыттар бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізіліп жатыр.

Радиациялық физика және материалтану бойынша өткізілетін зерттеулер тек ғылым мен техникада ғана емес, халық шаруашылығы үшін де айрықша маңызды. Бұл бағытта радиоактивті сәулелердің жартылай өткізгіштер, диэлектриктер, сополдар, жоғары температуралы аса өткізгіш материалдардың электр өткізгіштік, механикалық, оптикалық және басқа қасиеттеріне ықпалы зерттеліп жатыр.

Өзбекстанда жоғары энергиялар физикасы саласында жүргізіліп жатқан жұмыстар да бірталай. Бұндай ізденістер “Физика-Күн” өндірістік бірлестігінің Физика-техника институтында, Өзбекстан Ұлттық университетінде және Самарқанд мемлекеттік университетінде қолға алынған.

1970 жылы Черенков есептегіштері негізінде бөлшектердің ядромен өзара әсерлесуін зерттейтін үлкен қондырғы жасалып, пайда болған бөлшектердің сипаттамалары зерттелді.

Жеделдетілген бөлшектер мен ядролардың әсерлесуін зерттеу мақсатымен көбік тәрізді камералардан алынған фильмдік ақпараттарды қайта өңдеу орталығы ұйымдастырылды. Орталықтың тиімді зерттеулері нәтижесінде коммулятивті изобарлардың пайда болуы зерттелді және массалары 1903, 1922, 1940, 1951 және 2017 МэВ болған тар, екі барионды резонанстардың бар екені жөнінде мағлұматтар алынды.

Күн атмосферасында болатын құбылыстардың Жердегі өмірге тікелей әсер ету мүмкіндігі барлығы үшін оны үйрену саласындағы зерттеулердің маңызы айрықша зор. Нақ сол үшін де Өзбекстан Ғылым академиясының Астрономия институты 80-жылдардың орта шенінен бастап француз ғалымдарымен



ынтымақтастық орнатып, Күннің глобалдық тербелісін зерттеу саласында ізденістер жүргізген.

Өзбек ғалымдарының ядролық физика саласында жүргізіп жатқан жұмыстарының көлемі ауқымды және олардың нәтижелері халық шаруашылығында да табысты қолданылуда.

Өзбекстандағы алғашқы зерттеулердің өзі-ақ тікелей халық шаруашылығымен байланысты болған. Бұған У. Орифовтың жетекшілігімен өндірілген “Гамма-сәулелер көмегімен піллә ішіндегі жібек құртын өлтіру” әдісі мысал бола алады. Ал бұдан сәл кейінірек су, топырақ, жеміс ағаштары, жабайы және мәдени өсімдіктердің табиғи радиоактивтілігі зерттелді.

Өзбекстан Республикасы Ғылым академиясының Ядролық физика институты радиоактивті изотоптар, соның ішінде фармацевтикалық радиоактивті препараттар өндіру бойынша алдыңғы қатарлы ұйымдардың бірі болып саналады. Бұл жерде 1995 жылы 60-тан астам атаудағы өнімдер өндірілген.

Радиоактивті және гамма-сәулелердің өсімдіктерге әсерін зерттеу де ауыл шаруашылығы, әсіресе тұқымтану (селекция) саласында маңызды орын иелейді. Өзбекстандағы мақта қозасы сұрыптарының радиоактивті сәулелерге сезімталдығын зерттеу, коза селекциясында бұл тәсілдің ұтымды пайдаланылуы – ядролық физиканың тікелей өндірісте қолданылып жатқанының жарқын айғағы деуге болады.

Ядролық физика саласындағы зерттеулердің медицинада кеңінен қолданылып жатқандығы баршамызға белгілі. Бұл ретте, анығырағы, радиоактивті сәулелер мен бөлшектер ағыны көмегімен қатерлі ісік ауруын емдеуді де жарқын мысал ретінде атап өткен жөн. Рентгенология мен радиология саласындағы алғашқы жұмыстар да Ядролық физика институтының радиохимия зертханасымен ынтымақтастықта қолға алынған. Осының нәтижесінде радиоактивті изотоптарды пайдалана отырып, диагностиканың жаңа әдістері табылды. Бүгінгі таңда рентгено-эндоваскулярлық хирургия, ангиография, компьютерлік томография және ядро-магниттік резонанстар бойынша тың ізденістер жүріп жатыр. Жаңа рентгеноконтраст заттар (“Рекон”, “ММ–75” препараты және басқалар) өндіру жолға қойылды.



1. *Өзбекстанда ядролық физика саласындағы жұмыстар қашан басталған?*
2. *Қазіргі кезде қайсы бағыттар бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізіліп жатыр?*
3. *Ядролық физика институтында нелер өндіріледі?*
4. *Радиоактивті сәулелердің ауыл шаруашылығында қолданылуына мысалдар келтір.*



## 7-жаттығу

1. Бір энергетикалық күйден екіншісіне өткенде  $6,56 \cdot 10^{-17}$  м толқын ұзындықты жарық шығарса, атомның энергиясы қаншаға кемиді? (Жауабы:  $E = 3 \cdot 10^{-19}$  Дж)

2. Литий атомының ядросы  ${}^7_3\text{Li}$  үшін салыстырмалы байлану энергиясын тап. (Жауабы:  $E_{\text{байл}} = 5,6$  МэВ)

3. Салыстырмалы байлану энергияларын есептеп, төмендегі ядролардан  ${}^9_4\text{Be}$  және  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  қайсысы стабилді екендігін анықта. (Жауабы:  ${}^{27}_{13}\text{Al}$ )

4.  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{17}_8\text{O}$  реакциясында энергия жұтыла ма, әлде бөлініп шыға ма? (Жауабы: Энергия жұтылады).

5. Төмендегі  ${}^2_1\text{H}$  ядросы үшін ядроның байлану энергиясын және салыстырмалы байлану энергиясын тап. (Жауабы:  $E_{\text{байл}} = 1,7233$  МэВ;  $E_{\text{сал}} = 0,8616$  МэВ)

6.  ${}^{14}_7\text{N}$  азот ядросын протондарға және нейтрондарға ыдырату үшін кемінде қанша энергия қажет? (Жауабы:  $E_{\text{байл}} = (7 \cdot 1,00789 + 7 \cdot 1,00866 \text{ а.м.б} - 14)$ )

7. Гейгер есептегішіне таяу жерде радиоактивті препарат болмаса да, ол иондалған бөлшектердің пайда болуын тіркей береді. Бұны қалай түсіндіруге болады? (Жауабы: Есептегіш ғарыштық сәулелерді тіркейді).

8. Элементтің жартылай ыдырау кезеңі 2 тәулікке тең. 6 тәулік өткен соң радиоактивті заттың неше пайызы қалады? (Жауабы: 12,5%).

9. Радиоактивті элементтің белсенділігі 8 күнде 4 есе төмендеді. Оның жартылай ыдырау кезеңі қанша? (Жауабы:  $T = 4$  күн).

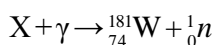
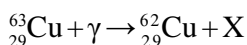
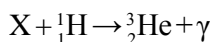
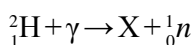
10.  $\gamma$  квант шығарғанда ядроның масса саны және заряд саны өзгере ме? (Жауабы: Өзгермейді).

11. Родон ядросы  ${}^{220}_{86}\text{Rn}$   $\alpha$ -бөлшек шығарды. Қандай ядро пайда болады? (Жауабы:  ${}^{220}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{216}_{84}\text{Po}$ )

12. Кобальттың ядросы  ${}^{60}_{27}\text{Co}$   $\beta$ -бөлшек шығарғаннан кейін қандай элементтің ядросы пайда болады? (Жауабы:  ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{60}_{28}\text{Ni}$ )

13. Неліктен табиғи уран атом отыны бола алмайды және оның сақталуы жарылыс қаупін туғызбайды?

14. Төмендегі белгілерді толтыр:







	Электрон бір стационарлық орбитадан екіншісіне өткенде ғана энергиясы сол стационар жағдайдағы энергиялардың айырмасына тең болатын бір фотон шығарады (немесе жұтады) $h\nu = E_n - E_m$ , бұл жерде $E_n$ және $E_m$ – сәйкесінше электронның n- және m-стационарлық орбиталарындағы энергиялары.
Атом ядросының түзілісі	Атом ядросы протондар мен нейтрондардан құралған. <i>Протон (p)</i> – сутегі атомының ядросы. Тыныш күйдегі массасы: $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1836 m_e$ . Бұл жерде: $m_e$ – электронның массасы. ( <i>Протон</i> – грекше “бірінші”). <i>Нейтрон (n)</i> . Электрнейтрал бөлшек. Тыныш күйдегі массасы: $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1839 m_e$ . ( <i>Нейтрон</i> – латынша “ол да, бұл да емес”.)
$\alpha$ – сәулелену	Атом ядросының $\alpha$ – бөлшек шығарып, басқа ядроға айналуы.
$\beta$ – сәулелену	Атом ядросының электрон шығару арқылы басқа ядроға айналуы.
$\gamma$ – сәулелену	Атом ядросынан шығатын электромагниттік толқындар.
Радиоактивті ыдырау заңы	$N = N_0 e^{-\lambda t}$ немесе $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ T – жартылай ыдырау кезеңі.

## ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Физика: 11 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. В.А.Касьянов. 4-е изд. стереотип.– М.: «Дрофа», 2004.–416 с.: ил.
2. Физика: Учеб. для 11 кл. шк. с углубл. изучением физики/ А.Т.Глазунов и др.; под ред. А.А.Пинского. 8-е изд. – М.: «Просвещение», 2003.–432 с.: ил.
3. Физика. Энциклопедия/ под. ред. Ю.В. Прохорова.– М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. – 944 с.
4. N.Sh. Turdiyev. Fizika. Fizika fani chuqur o'rganiladigan umumta'lim maktablarining 8-sinfi uchun darslik. – T.: G'afur G'ulom nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2016.
5. N.Sh. Turdiyev. Fizika. Umumta'lim maktablarining 8-sinfi uchun darslik. – T.: «Turon-Iqbol», 2006.
6. А. Ниғмонхўжаев, К.А. Турсунметов ва б. Физика III. – Т.: «Ўқитувчи», 2001. – 352 б.
7. К.А. Турсунметов ва б. Физикадан масалалар тўплами. – Т.: «Ўқитувчи», 2005. (4 та нашр) – 216 б.
8. Т.М. Оплачко, К.А. Турсунметов. Физика II – Т.: «Илм зиё», 2006–2017. – 208 б.
9. А. Но'монхо'jayev, А. Husanov, J. Usarov va b. Fizika. Optika. Kvant fizikasi. Atom va yadro fizikasi. – Т.: «O'qituvchi» NMIU. – 2004.
10. К.А. Турсунметов ва б. Физика. Маълумотнома. – Т.: «O'zbekiston», 2016. – 176 б.
11. А. G. Ganiyev, А. K. Avliyoqulov, G. A. Alimardonova. Fizika. II gism. Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari uchun darslik. – Т.: «O'qituvchi» 2013. – 208 б.
12. L. Xudoyberdiyev, A. Husanov, J. Usarov. Fizika. Elektrodinamika. Elektromagnit tebranishlar 2-kitob. – Т.: «O'qituvchi». – 2004.
13. М.Н. О'лмасова. Физика optika, atom va yadro fizikasi. Akad. litseylar uchun o'quv qo'llanma/B.M.Mirzahmedov tahriri ostida. – Т.: Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi., 2007. К.3.–384 б.

## МАЗМУНЫ

КІРІСПЕ.....	3
<b>I тарау. МАГНИТ ӨРІСІ</b> .....	4
1-тақырып. Магнит өрісі. Магнит өрісін сипаттайтын шамалар.....	4
2-тақырып. Бір текті магнит өрісінің тоқты рамканы айналдыру моменті .....	7
3-тақырып. Токты тура өткізгіштің, сақина мен біліктің магнит өрісі.....	10
4-тақырып. Ток өткізгішті магнит өрісіне өткізу бойынша орындалған жұмыс.....	13
5-тақырып. Ток өткізгіштердің өзара әсер күші .....	15
6-тақырып. Бір текті магнит өрісіндегі зарядты бөлшектің қозғалысы. Лоренс күші .....	17
<b>II тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ</b> .....	26
7-тақырып. Электромагниттік индукция құбылысы. Индукция – электр жүргізетін күш. Фарадей заңы.....	26
8-тақырып. Өздік индукция құбылысы. Өздік индукция эқк. Индуктивтілік .....	29
9-тақырып. Заттардың магниттік қасиеттері.....	32
10-тақырып. Магнит өрісінің энергиясы .....	35
<b>III тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР</b> .....	41
11-тақырып. Еркін электромагниттік тербелістер (тербеліс контуры). Тербеліс контурында энергияның өзгеруі.....	42
12-тақырып. Тербелістерді график түрінде бейнелеу. Сәнетін электромагниттік тербелістер .....	45
13-тақырып. Транзисторлы электромагниттік тербелістер генераторы .....	48
14-тақырып. Айнымалы ток тізбегіндегі активті кедергі.....	51
15-тақырып. Айнымалы ток тізбегіндегі конденсатор.....	55
16-тақырып. Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивті катушка.....	57
17-тақырып. Активті кедергі, индуктивті катушка және конденсатор тізбектеліп қосылған айнымалы ток тізбегіне арналған Ом заңы .....	59
18-тақырып. Айнымалы ток тізбегіндегі резонанс құбылысы.....	62
19-тақырып. Зертханалық жұмыс: айнымалы ток тізбегіндегі резонанс құбылысын үйрену.....	65
20-тақырып. Айнымалы токтың жұмысы мен қуаты. Қуат коэффициенті .....	66
<b>IV тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР ЖӘНЕ ТОЛҚЫН ОПТИКАСЫ</b> .	76
21-тақырып. Электромагниттік тербелістердің таралуы. Электромагниттік толқын жылдамдығы.....	76
22-тақырып. Электромагниттік толқындардың жалпы қасиеттері (екі ортаның шекарасынан қайтуы мен сынуы). Толқынды сипаттайтын негізгі ұғымдар мен шамалар.....	79

23-тақырып. Радиобайланыстың физикалық негіздері. Ең қарапайым радионың құрылысы және жұмыс істеуі. Радиолокация .....	83
24-тақырып. Телехабарлардың физикалық негіздері. Ташкент – телевидение отаны	87
25-тақырып. Жарық интерференциясы мен дифракциясы .....	91
26-тақырып. Зертханалық жұмыс: дифракциялық тордың көмегімен жарықтың толқын ұзындығын анықтау .....	96
27-тақырып. Жарық дисперсиясы. Спектрлік талдау .....	98
28-тақырып. Жарықтың поляризациялануы .....	103
29-тақырып. Инфрақызыл сәулелену. Ультракүлгін сәулелену. Рентген сәулелену және оны пайдалану .....	107
30-тақырып. Жарық ағыны. Жарық күші. Жарықтану заңы .....	110
31-тақырып. Зертханалық жұмыс: жарықталынудың жарық күшіне тәуелділігі .....	115
<b>V тарау. САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ</b> .....	124
32-тақырып. Арнаулы салыстырмалық теориясы негіздері. Жылдамдықтарды косудың релятивистік заңы .....	124
33-тақырып. Массаның жылдамдыққа тәуелділігі. Релятивистік динамика. Масса мен энергияның өзара тәуелділік заңы .....	128
<b>VI тарау. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА</b> .....	135
34-тақырып. Кванттық физиканың пайда болуы .....	135
35-тақырып. Фотоэлектрлік эффект. Фотондар .....	137
36-тақырып. Фотон импульсі. Жарық қысымы. Фотоэффектінің техникада қолданылуы .....	142
<b>VII тарау. АТОМ ЖӘНЕ ЯДРОЛЫҚ ФИЗИКА. АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ</b> .....	151
37-тақырып. Атомның Бор моделі. Бор пастулаттары .....	151
38-тақырып. Лазер және оның түрлері .....	156
39-тақырып. Атом ядросының құрамы. Тәуелділік энергиясы. Масса дефекті .....	160
40-тақырып. Радиоактивтік сәулелену мен түйіршіктерді тіркеу әдістері .....	164
41-тақырып. Радиоактивтік ыдырау заңы .....	167
42-тақырып. Ядролық реакциялар. Ығысу заңы .....	170
43-тақырып. Элементар бөлшектер .....	173
44-тақырып. Атом энергетикасының физикалық негіздері. Ядролық энергияны пайдаланудағы қауіпсіздік шаралары .....	177
45-тақырып. Өзбекстанда ядролық физика саласында жүргізілген зерттеулер және олардың нәтижелерін халық шаруашылығында пайдалану .....	182
<b>ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР</b> .....	188

Физика. Орта білім мекемелерінің 11-сыныбына оқушыларына арналған оқулық /Н.Ш.Тұрдиев, К.А.Турсунметов, А.Ғ.Ғаниев, К.Т.Суяров, Ж.Е.Усаров, А.К.Әулиеқұлов.–Т.: “Niso Poligraf” баспасы, 2018.–192 б.

ISBN 978–9943–5083–6–1

УДК: 53(075.32)

КБК 22.3я721

*O'quv nashri*

**Narziqul Sheronovich Turdiyev, Komiljon Axmetovich Tursunmetov,  
Abduqahhor Gadoyevich Ganiyev, Kusharbay Tashbayevich Suyarov,  
Jabbor Eshbekovich Usarov, Abdurashit Karimovich Avliyoqulov**

## **FIZIKA**

*(Qozoq tilida)*

*1-nashri*

*O'rta ta'lim muassasalarining 11-sinf o'quvchilari uchun darslik*

Аударған *А. Ташметов*

Редакторы *Қ. Рахманов*

Көркемдеуші редакторы *Ж. Гурова*

Техникалық редакторы *Д. Салихова*

Корректоры *Ғ. Эсанбекова*

Компьютерде дайындаған *Е. Ким*

Түпнұсқа-макет “NISO POLIGRAF” баспасында дайындалды.

Ташкент облысы, Орта Шыршық ауданы, “Ақ Ата” ААЖ,

“Машғал” махалласы, Марказий көшесі, 1-үй.

Лицензия нөмірі АІ №265, 24.04.2015 жыл.

Басуға 2018 жылы 3 шілдеде қол қойылды. Қалыбы 70×100<sup>1/16</sup>.

Офсеттік қағаз. Қарібі “Times New Roman”. Кеглі 12,5

Шартты баспа табағы 12,00. Есептік баспа табағы 15,6.

Таралымы 5190 дана. Тапсырыс № 397.

«Niso Poligraf» ЖШС баспаханасында басылды.

Ташкент облысы, Орта Шыршық ауданы, «Ақ Ата»ААЖ, Марказий көшесі, 1-үй.



**Пайдалануға берілген оқулықтың жағдайың көрсететін кесте**

№	Оқушының аты, фамилиясы	Оқу жылы	Оқулықтың пайдалануға берілгендегі жағдайы	Сынып жетекшісінің қолы	Оқулықтың тапсырылған-дағы жағдайы	Сынып жетекшісінің қолы
1						
2						
3						
4						
5						

**Пайдалануға берілген оқулық оқу жылы аяқталғанда қайтарып тапсырылады. Жоғарыдағы кестені сынып жетекшісі төмендегі бағалау өлшемдері негізінде толтырады:**

Жаңа	Оқулықтың алғаш рет пайдалануға берілгендегі жағдайы
Жаксы	Мұқаба бүтін, оқулықтың негізгі бөлігінен ажырамаған. Барлық парақтары бар, жыртылмаған, көшпеген, беттеріне жазбаған және сызбаған.
Орташа	Мұқаба езілген, аздап қана сызылған, шеттері мүжілген, оқулықтың негізгі бөлігінен ажыраған жерлері бар. Пайдаланушы жағынан қанағаттанарлық жөнделген. Жұлынған, кейбір беттері сызылған.
Нашар	Мұқаба былғанған, сызылған, жыртылған, негізгі бөлігінен ажыраған немесе мүлдем жоқ, нашар жөнделген. Беттері жыртылған, парақтары жетіспейді, сызып, бояп тасталған. Оқулық қалпына келтіруге жарамайды.