

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сыныпқа арналған оқулық

Екі бөлімді

1-бөлім

11

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі ұсынған



Алматы «Атамұра» 2020

ӘОЖ 373.167.1

КБЖ 22.3я72







Ф 49

Оқулық Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі бекіткен жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математика бағытындағы 10–11-сыныптарына арналған «Физика» пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасына сәйкес дайындалды.

**Авторлары: Р. Башарұлы, Қ. Шүнкеев, Л. Мясникова,
Н. Жантурина, А. Бармина, З. Аймағанбетова**

Р. Башарұлының жалпы редакциялауымен

Шартты белгілер:

-  – сұрақтар
-  – өз бетінше шығаруға арналған есептер
-  – деңгейлік тапсырмалар
-  – тапсырмалар (теориялық және практикалық)
-  – қосымша деректер
-  – тереңдетілген деңгейдегі қосымша материалдар

Ф 49 Физика: Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сыныпқа арналған оқулық. Екі бөлімді. 1-бөлім/ Р. Башарұлы, Қ. Шүнкеев, Л. Мясникова, Н. Жантурина, А. Бармина, З. Аймағанбетова. – Алматы: Атамұра, 2020. – 200 бет.

ISBN 978-601-331-765-6

1-бөлім. –2020. – 200 б.

ISBN 978-601-331-766-3

ISBN 978-601-331-766-3 (1-бөлім)
ISBN 978-601-331-765-6

© Башарұлы Р., Шүнкеев Қ.,
Мясникова Л., Жантурина Н.,
Бармина А., Аймағанбетова З., 2020
© «Атамұра», 2020

АЛҒЫ СӨЗ

Қымбатты оқушылар!

Сендер биылғы оқу жылында мектеп физикасының толық курсына да, жалпыға міндетті орта білім алуға да аяқтап, үлкен өмірге аяқ басасыңдар. Оның қызығы да, шыжығы да мол. Осы жолдан да сүрінбей өтулерің үшін төмендегі қысқа да нұсқа баталық сөздерді естеріңе салып, кеңес бергенді жөн көрдік.

Біріншіден, Шығыстың ұлы ғұламасы Конфуцийдің: *«Кім өткенді қайталап, әрі жаңаны білсе, ол көсем бола алады»*, – деген өсиет сөзін басшылыққа алуға тырысыңдар. Оның «Физика» пәнін де еркін меңгеруге септігі орасан зор. Өйткені қолдарыңдағы оқулықта жазылған білімнің 80 пайызы негізгі мектептегі физикадан алған білімдеріңе сүйенеді, қосылған жаңа білім 20 пайыздан аспайды. Сондықтан міндетті түрде өткен материалдарды қайталап естеріңе түсірсеңдер, білімдеріңдегі бұрын жіберіп алған олқылықтарды толтырасыңдар, әрі жаңаны да еркін түсініп меңгеретін боласыңдар.

Екіншіден, Батыста «адамзаттың бірінші ұстазы» деп мойындалған Аристотельдің: *«Ақыл білімде ғана емес, білімді іс жүзінде қолдана білуде»*, – деген қасиетті сөзін физиканы терең игеру үшін де пайдаланыңдар. Физика – «сегіз қырлы, бір сырлы» ғылым. Сондықтан оның теориялық сыры мен практикада қолдану қырларын меңгерген адам нағыз білікті маман болып шығады. Осыған орай оқулықта физиканың теориялық және практикалық маңызын ашатын материалдар жеткілікті деңгейде берілді.

Үшіншіден, *«біріміз бәріміз үшін, бәріміз біріміз үшін»* деген қанатты сөз үш мыңыншы жылдықта білім мен тәлім-тәрбие беруді ұжымдық оқыту негізде жаңаша ұйымдастырудың ғылыми ұстанымы болып табылады. Оны сендер де басшылыққа алып, білгендеріңді білмегендерге үнемі үйрете отырып, біріңді бірің оқытсаңдар, онда бәрің де орта мектепті жоғары деңгейде бітіріп, болашақ өмірде береке берер бірліктерің де, тұлғалық мәртебелерің де зор болады.

Алдағы алар белестерің көп болсын әрі сәтті болсын!

Авторлар





1-тарау



МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

1-ТАРАУ. МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  гармоникалық тербелістерді $[x(t), v(t), a(t)]$ эксперименттік, аналитикалық және графикалық тәсілдермен зерттеу;
-  еркін және еріксіз тербелістердің пайда болу шарттарын сипаттау;
-  механикалық тербелістер мен электрмагниттік тербелістердің арасындағы ұқсастықтарды салыстыру;
-  компьютерлік модельдеу арқылы заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін зерттеу.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
тербелістер	колебания	oscillation
механикалық тербелістер	механические колебания	mechanical oscillation
гармоникалық тербелістер	гармонические колебания	harmonic oscillation
серіппелі маятник	пружинный маятник	spring pendulum
математикалық маятник	математический маятник	mathematical pendulum
электрмагниттік тербелістер	электромагнитные колебания	electromagnetic oscillation
еркін тербелістер	свободные колебания	free oscillation
еріксіз тербелістер	вынужденные колебания	forced oscillation
тербелмелі контур	колебательный контур	oscillatory circuit

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «тербелістер», «механикалық тербелістер», «гармоникалық тербелістер», «серіппелі маятник», «математикалық маятник», «электрмагниттік тербелістер», «еркін тербелістер», «еріксіз тербелістер», «тербелмелі контур».

§ 1.1

Гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері

1. Тербелістер деп уақыт ағымына қарай дәлме-дәл немесе оған жуық дәлдікте қайталанып отыратын қозғалыстарды немесе процестерді айтады.

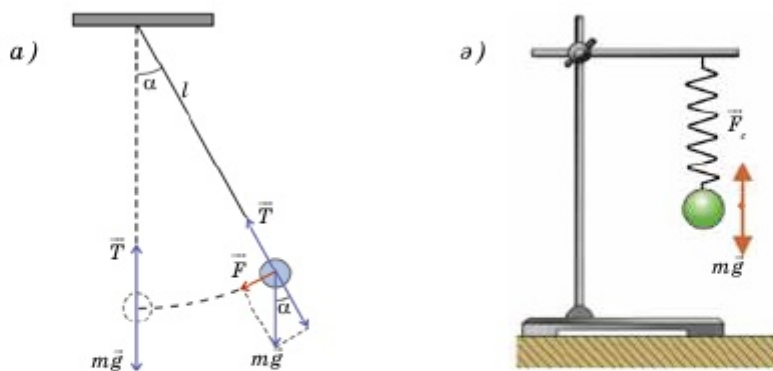
Тербелмелі қозғалыстар табиғатта және техникада жиі кездеседі. Мысалы, ағаш бұтақтары, сағат маятниктері, гитара ішегі, серіппедегі жүктер, жәндіктердің қанаттары, жер сілкінісі кезіндегі жер қыртысы, айнымалы электр тогы – міне, осылардың барлығы тербелмелі қозғалыс жасайды.

Табиғаты әртүрлі физикалық тербелмелі құбылыстар мен процестер бәріне ортақ жалпы заңдылықтарға бағынады да, бірдей теңдеулермен сипатталып өрнектеледі.

2. Физикада адамның тіршілік әрекеті үшін өте маңызды тербелістердің екі түрі – *механикалық* және *электрмагниттік*, сондай-ақ олардың біріккен *электрмеханикалық* түрі қарастырылады.

Механикалық тербелістер кез келген тербелістер сияқты *еркін* және *еріксіз* тербелістер болуы мүмкін. *Еркін тербелістер* сыртқы күш жүйені тепе-теңдік күйінен шығарғаннан кейін оның ішкі күштерінің әрекетімен ғана жасалады. Мысалы, тепе-теңдік күйлерінен шығарылған серіппедегі жүктің ауытқуы немесе маятниктің тербелісі еркін тербеліс болып табылады (1.1.1-сурет).

Сыртқы периодты өзгеретін мәжбүрлеуші күштердің тұрақты әрекет етуі салдарынан орындалатын тербелістер *еріксіз тербелістер* деп аталады.



1.1.1-сурет. Математикалық және серіппелі маятниктер

Тербелістегі дененің қозғалыс заңы $x = f(t)$ түріндегі функция арқылы беріледі.

3. Еркін тербелістердің қарапайым түрі *гармоникалық тербелістер* болып табылады.

Гармоникалық тербелістер деп тербелмелі қозғалысты сипаттайтын физикалық шамалардың уақытқа тәуелді синус немесе косинус заңына сәйкес периодты өзгерісін айтады.

Гармоникалық механикалық тербелістердің дифференциалдық теңдеуі кез келген еркін тербелістер үшін мына түрде жазылады:

$$x'' + \omega_0^2 x = 0 \text{ немесе } \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0. \quad (1.1)$$

Бұл теңдеудің шешуі, яғни x ауытқудың шамасы синус немесе косинус заңына негізделген периодты өзгертін функция болып табылады:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ немесе } x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.2)$$

мұндағы x – дененің тепе-теңдік күйінен ауытқуы; A – тербеліс амплитудасы, яғни дененің тепе-теңдік күйінен ең үлкен ауытқуы; ω_0 – тербелістің циклдік (дөңгелектік) жиілігі, φ_0 – уақыттың бастапқы мезетіндегі ($t = 0$) тербеліс фазасы; $(\omega_0 t + \varphi_0)$ – бұл t уақыттағы тербеліс фазасы. Тербеліс фазасы тербеліс жүйесінің берілген амплитудада кез келген уақыт мезетіндегі күйін (координатасын, жылдамдығын және үдеуін) анықтайды. Синус (косинус) плюс бірден (+1) минус бірге (-1) дейін өзгере алатындықтан, x ауытқу плюс A -дан (+ A) минус A -ға (- A) дейінгі мәндерді қабылдай алады.

Гармоникалық тербелістер жасайтын жүйенің белгілі бір күйі қайталанып отыратын уақыт аралығын **тербеліс периоды** деп атайды да, T әрпімен белгілейді:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (1.3)$$

Халықаралық бірліктер жүйесінде (ХБЖ) периодтың өлшем бірлігі **секунд (с)** болып табылады.

Периодты білсек, тербеліс жиілігін, яғни бірлік уақыт ішіндегі толық тербелістердің санын анықтай аламыз:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.4)$$

ХБЖ-да жиілік бірлігі – **Герц (1 Гц = 1 с⁻¹)**.

(1.3) және (1.4) өрнектерін салыстырып, циклдік жиілікті аламыз:

$$\omega_0 = 2\pi\nu.$$

4. Қарапайым тербеліс жүйелерінің мысалдары ретінде математикалық маятникті немесе серіппедегі жүкті алуға болады (1.1.1-сурет).

Математикалық маятник деп массасы еленбейтін ұзын және созылмайтын жіпке ілінген нүктелік денені айтады. Бұндай жүйе идеал модель болып табылады. Іс жүзінде осы модельді жіңішке және созылмайтын салмақсыз жіпке ілінген шағын өлшемді нақты денемен алмастыруға болады (1.1.1, а-сурет).

Математикалық маятник тербелісінің тәжірибеде анықталған циклдік жиілігі

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

теңдігімен өрнектеледі де, тербеліс периоды *Галилейдің эксперименттік формуласымен* анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Математикалық маятникке екі күш әрекет етеді: $m\vec{g}$ – ауырлық күші және жіптің \vec{T} керілу күші. Осы екі күштің қорытқы \vec{F} күші әрекетінен маятник гармоникалық тербеліс жасайды. Бұл кезде α ауытқу бұрышы 5° -тан аспау керек.

Серіппелі (физикалық) маятник деп бір ұшы бекітілген, қатаңдығы k болатын серіппеге ілінген массасы m жүкті айтады (1.1.1, ә-сурет).

Жүк тербелісінің тәжірибеде анықталған циклдік жиілігі мынаған тең:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Серіппедегі жүктің тербеліс периоды (1.3) *Гюйгенстің эксперименттік формуласымен* анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

5. Тербеліс жасайтын дененің жылдамдығы мен үдеуінің уақытқа тәуелділігін анықтайық. Жылдамдықтың Ox осіндегі v_x проекциясы $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ауытқудың t уақыт бойынша туындысы арқылы анықталады:

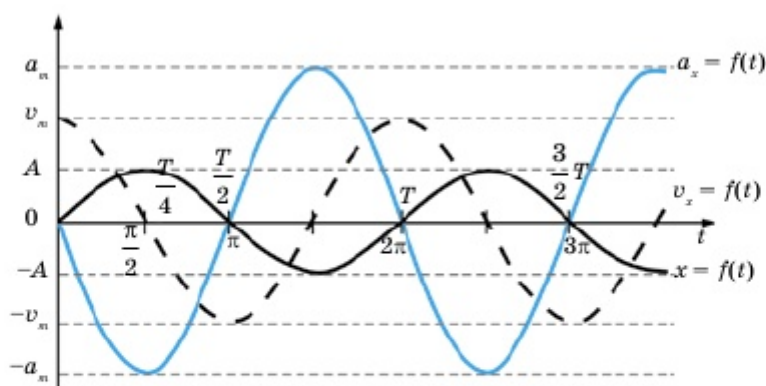
$$v_x(t) = x'(t) = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right). \quad (1.5)$$

Ал тербеліс үдеуінің Ox осіндегі a_x проекциясы v_x жылдамдықтың уақыт бойынша туындысы болып табылады:

$$a_x(t) = v'(t) = x''(t) = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi). \quad (1.6)$$

(1.2), (1.5) және (1.6) теңдеулерін салыстыра отырып, мынадай қорытынды жасаймыз: жылдамдықтың және үдеудің амплитудалары тиісінше $A\omega_0$ және $A\omega_0^2$ шамаларына тең. Жылдамдықтың (1.5) фазасы ығысудың (1.2) фазасына қарағанда $\frac{\pi}{2}$ шамасына, ал үдеудің (1.6) фазасы ығысу фазасына қарағанда π шамасына озады.

1.1.2-суретте x ауытқу мен v_x жылдамдық және a_x үдеу проекцияларының *уақытқа тәуелділік графиктері* көрсетілген. Графиктен көрініп тұрғандай, ең үлкен ауытқу кезінде ($x = \pm A$) дене бір сәтке тоқтайды да, жылдамдық нөлге теңеледі.



1.1.2-сурет. x , v_x және a_x шамаларының уақытқа тәуелділік графиктері

Тербеліс жылдамдығының максимум мәні, яғни жылдамдық амплитудасы (v_m) дене тепе-теңдік күйінен өту сәтінде ($x = 0$) орын алады.

Дененің тепе-теңдік қалпынан өту кезінде үдеу нөлге тең болады және ең үлкен ауытқу кезінде үдеудің амплитудасы a_m ең үлкен мәнге жетеді.

Қосымша деректер



Фуко маятнігі математикалық маятник болып табылады, оның тербеліс жазықтығы Жер бетімен салыстырғанда Жердің айналу бағытына қарама-қарсы бағытта жайлап айналып отырады. Оның алғашқы көрсетілімі 1851 жылдың наурыз айында Парижде өтті. Жан Бернар Леон пантеонының күмбезіне Фуко массасы 28 кг металл шарын ұзындығы 67 м болат сымға іліп, шардың төменгі бетіне үшкір істікті бекітті (1.1.3-сурет). Маятниктің ілгегі оның барлық бағытта еркін тербеліс жасауына мүмкіндік берді. Ілгек ілінген нүктенің астыңғы жағындағы еденде диаметрі 6 м дөңгелек шарбақ жасалып, оның жиектеріне құм жолақтары төселді, маятник еркін тербелістер жасаған кезде шарға бекітілген үшкір істік құм жолақтарын кесіп өтеді де, онда көрнекі із қалдырады. Маятникті еркін тербеліске келтірер алдында бүйірден соққы алмауы үшін оны ауытқытып, жіпке байлап қояды да, соңынан жіпті жағып жібереді. Ілгек сымның көрсетілген ұзындығында маятниктің тербеліс периоды 16,4 секунд, ал әрбір тербеліс сайын маятниктің құм жолақты кесіп өткендегі ауытқуы 3 мм шамасындай болды, бір сағат ішінде маятниктің тербеліс жазықтығы сағат тілі бойынша 11 градусқа бұрылды; сөйтіп, 32 сағат шамасында толық бір айналым жасап, өзінің алғашқы қалпына оралды.



1.1.3-сурет. Фуко маятнігі



Сұрақтар

1. Қандай процестерді тербелістер деп атайды? Еркін тербелістер, еріксіз тербелістер және гармоникалық тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
2. Гармоникалық механикалық тербелістер қандай дифференциалдық теңдеумен сипатталады? Бұл дифференциалдық теңдеудің шешуі қалай жазылады? Гармоникалық тербелістер қандай шамалармен сипатталады?
3. Гармоникалық тербелістердің ауытқуы, жылдамдығы және үдеуі қандай теңдеулермен өрнектеледі? Олардың графиктері қандай? Графиктері бір-бірінен қалай ерекшеленеді? Ұқсас параметрлері бар ма?
4. Серіппелі маятник, математикалық маятник деп нені айтады? Олардың периодтары қандай формулалармен анықталады? Бұл формулалардан қандай қорытындылар жасауға болады?
5. Математикалық маятникті қолданып, Жер бетінің әртүрлі нүктелерінде еркін түсу үдеуінің әртүрлі болатынын қалай түсіндіруге болады?



Тапсырма (теориялық талдау)

1.1.2-суреттегі x ауытқу, v_x жылдамдық және a_x үдеу проекцияларының уақытқа тәуелділік графиктерін талдаңдар. Олардың ең үлкен мәндері мен фазаларын салыстырып, айырмашылықтарын анықтаңдар. Бәріне бірдей өзгермейтін параметрлерді де көрсетіңдер. Сонымен қатар x , v_x және a_x шамаларының периодты өзгерісін сипаттайтын теңдеулерін жазып, есте сақтаңдар.



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

1. Секундомер, серіппе және массасы белгілі m дене берілсе, екінші дененің белгісіз массасын қалай табуға болады?
2. Әртүрлі екі денені серіппеге іле отырып, олардың тербеліс жиіліктерін анықтап алыңдар да, денелердің массаларын салыстыру алгоритмін жасаңдар.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Ұзындықтарының айырмашылығы 16 см болатын екі математикалық маятник бірдей уақытта біреуі 10 тербеліс, ал екіншісі 6 тербеліс жасайды. Осы маятниктердің l_1 және l_2 ұзындықтарын анықтаңдар.

<i>Берілгені:</i>	<i>ХБЖ</i>	<i>Шешуі:</i>
$\Delta l = 16$ см	0,16 м	Егер t уақытта n тербеліс жасалса, онда тербеліс периоды мынаған тең:
$n_1 = 10$		$T = \frac{t}{n}$ (1)
$n_2 = 6$		
$l_1 = ?$		Есеп шартынан екі маятниктегі тербелістер бірдей уақытта жасалады, сондықтан
$l_2 = ?$		$n_1 T_1 = n_2 T_2,$

мұндағы T_1 және T_2 – сәйкесінше бірінші және екінші маятниктердің тербеліс

периодтары. Математикалық маятниктің тербеліс периоды $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, мұндағы l – математикалық маятниктің ұзындығы, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – еркін түсу үдеуі. Олай болса:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}} \quad \text{және} \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}. \quad (2)$$

(2) формуланы (1) өрнегіне қойып және $l_2 - l_1 = \Delta l$ екенін ескеріп, теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\begin{cases} n_1\sqrt{l_1} = n_2\sqrt{l_2}, \\ l_1 - l_2 = \Delta l. \end{cases}$$

Теңдеулер жүйесін шешіп, маятниктердің ұзындықтарын табамыз:

$$l_1 = \frac{n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \Delta l, \quad l_2 = \frac{n_1^2}{n_1^2 - n_2^2} \Delta l.$$

$$l_1 = \frac{6^2}{10^2 - 6^2} \cdot 0,16 = 0,09 \text{ м}; \quad l_2 = \frac{10^2}{10^2 - 6^2} \cdot 0,16 = 0,25 \text{ м}.$$

Жауабы: $l_1 = 9 \text{ см}; l_2 = 25 \text{ см}.$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 1.1.1. Материялық нүкте периоды 6 с және бастапқы фазасы нөлге тең гармоникалық тербелістер жасайды: $x = A \cos \omega t$. Қозғалыс басталғаннан есептегенде, нүктенің тепе-теңдік күйінен амплитуданың жартысына ауытқу уақытын анықтаңдар. (*Жауабы:* 1 с)
- 1.1.2. Қазақстанның ең биік нүктесі Хан Тәңірі шыңына (6995 м) және «Көктөбе» телемұнарасына (371,5 м) көтерілген маятникті сағат бір тәулікте қанша уақытқа қалып қояды? (*Жауабы:* 94,8 с; 5 с)
- 1.1.3. Периодтың қандай бөлігінде маятниктің жүгі тепе-теңдік күйінен 3,09 мм-дей қашықтықта болды? Тербеліс амплитудасы 1 см. Маятник тербелісі серіппенің максимал созылуынан басталады. (*Жауабы:* 1/5)

В

- 1.1.4. Хан Тәңірі шыңының 6995 м биіктігіндегі маятниктің тербеліс периоды Жер бетіндегі тербеліс периодына тең болуы үшін математикалық маятниктің ұзындығын оның қандай бөлігіне қысқарту қажет?
(*Жауабы:* $2 \cdot 10^{-3}$)
- 1.1.5. Қатаңдығы 200 Н/м серіппеге ілінген массасы 500 г жүк тербеліс жасайды. Тербеліс амплитудасы 10 см. Жүктің ең үлкен тербеліс жылдамдығын, тербелістің толық механикалық энергиясын табыңдар.
(*Жауабы:* 2 м/с, 1 Дж)

1.1.6. Математикалық маятник 70 секундта 50 тербеліс жасайды. Осы маятник ілінген жіпті 4 есе қысқартсақ, тербеліс периоды қандай болады?

(Жауабы: 0,7 с)

1.1.7. Егер маятникті Жерден Айға апарса, оның тербелістерінің периоды қалай өзгереді? Айдың массасы Жер массасынан 81 есе кем, ал Жер радиусы Ай радиусынан 3,7 есе үлкен. (Жауабы: 2,4 есе өседі)

С

1.1.8. Серіппеге гир тастары салынған таразы табақшасы ілінген. Табақшаның вертикаль тербелісінің периоды 0,15 с болды. Табақшаға қосымша гир салғаннан кейін вертикаль тербелістердің периоды 0,25 секундқа тең болды. Қосымша гир салған соң серіппелі маятниктің тепе-теңдік нүктесі қандай шамаға ығысты? (Жауабы: 9,9 мм)

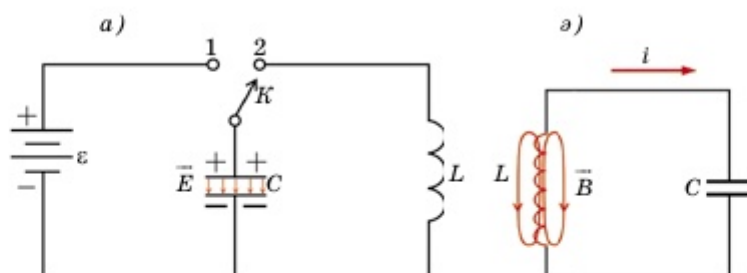
1.1.9. Екі серіппеге бір жүкті кезекпен іледі. Жүктің бірінші серіппедегі тербеліс периоды 0,3 с, ал екінші серіппедегі тербеліс периоды 0,4 с. Тізбектеле жалғанған осы серіппелерге ілінген жүктің тербеліс периодын анықтаңдар. (Жауабы: 0,5 с)

1.1.10. Серіппелі маятник 3,14 с периодпен тербеледі. Егер жүк тепе-теңдік күйден 0,25 м ауытқыса, оның үдеуінің модулі қандай болады? (Жауабы: 1 м/с²)

§ 1.2

Еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер

1. Электрмагниттік тербелістер кездейсоқ ашылды. Лейден банкасын (ол ең алғашқы конденсатор болатын) ойлап шығарып, оған электрстатикалық машинаның көмегімен үлкен заряд беруді үйренгеннен кейін банканың электр разрядын бақылау басталды. Лейден банкасының (конденсатордың) астарларын шарғыға (катушкаға) оралған сыммен тұйықтағанда, шарғы өзегіндегі болат шыбықтардың магниттелетіні анықталды. Мұнда таңғаларлық ештеңе жоқ еді, өйткені электр тогы шарғыдан өткенде оның болат өзегі магниттелуге тиіс болатын. Таңғаларлық жағдай мынау еді: шарғының магниттелген өзегінің қай ұшы солтүстік полюс, қай ұшы оңтүстік полюс болатынын білу мүмкін болмады. Тәжірибе бірдей жағдайларда қайталанса да, өртүрлі нәтиже беріп, магнит полюстері орындарын үнемі өзгертіп отырды. Кейінірек сыйымдылығы C конденсаторға жалғанған индуктивтілігі L шарғыдан тұратын *тербелмелі контур* деп аталатын айнымалы электр тогы тізбегінде (1.2.1-сурет) электрмагниттік тербелістердің пайда болатыны ашылған соң, бұл құбылысты түсінуге мүмкіндік туды.



1.2.1-сурет. Идеал тербелмелі контур ($R = 0$)

Тербелмелі контурдың конденсаторын тұрақты ток көзіне K кілт арқылы 1-нүктеге қосып (1.2.1, *a*-сурет), оны зарядтаймыз, ал кілтті 2-нүктеге қоссақ, онда конденсатор разрядтала бастайды, яғни оның астарларындағы өр аттас зарядтар қарама-қарсы қозғалысқа келіп, тізбекте ток жүреді (1.2.1, *ә*-сурет). Ток шамасы максимумге жеткенде конденсатор астарларының арасындағы \vec{E} электр өрісінің кернеулігі нөлге теңеледі де, шарғының \vec{B} магнит өрісінің индукциясы максимумге жетеді. Зарядтардың қозғалыстары тоқтағаннан кейін конденсатор қайта зарядталады. Бұл кезде конденсатор астарларының арасында электр өрісі қайта пайда болады да, шарғыдағы магнит өрісі жоғалмайды. Бұдан кейін зарядтар тағы да қарама-қарсы қозғалып, орындарын ауыстырады. Міне, осылайша тербелмелі контурда q , \vec{E} және \vec{B} шамаларының *электрмагниттік тербелісі* пайда болады.

Электрмагниттік тербелістер деп біртұтас электрмагниттік өрістің электр өрісінің кернеулік векторы (\vec{E}) мен магнит өрісінің индукция векторының (\vec{B}) өзара байланысқан тербелістерін айтады.

Контурдағы конденсатордың q зарядының шамасы периодты түрде төмендегі заңға сәйкес өзгереді:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1.7)$$

мұндағы q_m – конденсатор зарядының амплитудалық мәні, ω_0 – *контурдың меншікті жиілігі* деп аталатын циклдік жиілік:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1.8)$$

Ендеше, еркін электрмагниттік тербелістің периоды мынаған тең:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (1.9)$$

Бұл өрнек **Томсон формуласы** деп аталады.

Тербелмелі контурда пайда болатын айнымалы ток күші де периодты өзгертін функция, оның шамасы зарядтың уақыт бойынша туындысы арқылы табылады:

$$i = q' = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \quad (1.10)$$

мұндағы $I_m = \omega_0 q_m$ – ток күші тербелісінің амплитудалық мәні.

Конденсатор астарларының арасындағы кернеу де ток сияқты периодты өзгертін функциямен сипатталады:

$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1.11)$$

мұндағы $U_m = \frac{q_m}{C}$ – кернеудің амплитудалық мәні; C – конденсатордың сыйымдылығы.

(1.7) және (1.10) өрнектерді салыстырып, i ток күші тербелісінің фазасы q зарядтың тербеліс фазасынан $\frac{\pi}{2}$ шамасына озып отыратынын көреміз. Егер шарғыдағы ток күші максимум мәнге жетсе, онда конденсатор заряды мен кернеуі нөлге тең болады және керісінше шарғыдағы ток күші нөл болғанда конденсатордағы заряд пен кернеу ең үлкен мәнге жетеді.

Жазық конденсатордың сыйымдылығын есептеу формуласын еске түсірейік:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad (1.12)$$

мұндағы $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электр тұрақтысы, ϵ – ортаның диэлектрлік өтімділігі, S – конденсатор астарларының ауданы, d – конденсатор астарларының арақашықтығы.

2. Өдетте, электромагниттік тербелістер жиілігі механикалық тербелістердің жиілігімен салыстырғанда өлдеқайда үлкен болады. Сондықтан оларды бақылаудың және зерттеудің ең қолайлы құралы **электрондық осциллограф** болып табылады (1.2.2-сурет).



1.2.2-сурет.
Электрондық осциллограф



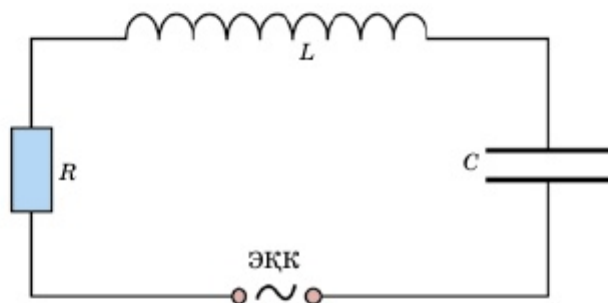
1.2.3-сурет.
Кернеу тербелісінің осциллограммасы

Осциллографтың электронды-сәулелік түтігінде электрондардың жіңішке шоғы экранға келіп түседі де, оны жарықтандырады. Түтіктің горизонталь бағытта ауытқытатын пластиналарына «аратісті» айнымалы жаймалау U_x кернеуі беріледі (1.2.3-сурет). Кернеу едәуір баяу өседі де, күрт кемиді. Пластиналар арасындағы электр өрісі электрондық сәулені тұрақты жылдамдықпен горизонталь бағытта экранда жүгіртеді де, содан кейін лезде кері оралуға мәжбүр етеді. Осыдан кейін барлық әрекет қайталанады. Егер түтіктің вертикаль ауытқытатын пластина-

ларын конденсаторға жалғаса, оның разрядталуы кезіндегі кернеудің тербелісі сәулені вертикаль бағытта тербелтеді. Нәтижесінде экран бетінде тербелістердің уақытқа қатысты жайма графигі пайда болады. Бұндай тербелістер еркін электрмагниттік тербелістер болып табылады, өйткені біздің қарастырып отырған тербелмелі контур (1.2.1-сурет) электр кедергісі жоқ ($R = 0$) идеал контур. Идеал тербелмелі контурда пайда болатын тербелістер *еркін электрмагниттік* тербелістерге мысал бола алады.

Еркін электрмагниттік тербелістер деп жүйенің жинақтаған энергиясының есебінен пайда болатын тербелістерді айтады.

Нақты жағдайда (1.2.4-сурет) тербелмелі контурдың электрлік кедергісі нөлге тең емес ($R \neq 0$). Соның салдарынан мұндай контурдағы тербелістер өшетін электрмагниттік тербеліс болып табылады. Алайда еріксіз электрмагниттік тербелістерді де шығарып алу қиын емес. Ол үшін тербелмелі контурды сыртқы периодты өзгертін электр қозғаушы күшке ($\varepsilon = \varepsilon_0 \cos \omega t$) қосу қажет.



1.2.4-сурет. Нақты тербелмелі контур ($R \neq 0$)

Еріксіз электрмагниттік тербелістер деп сыртқы көздің беретін энергиясы есебінен жүйеде пайда болатын тербелістерді айтады.

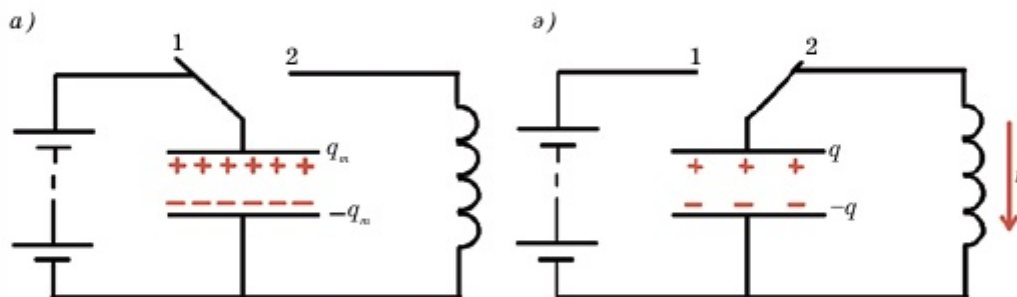
3. Контурда конденсатор зарядталғанда пайда болатын электр энергиясы мен шарғыдан ток өткенде пайда болатын магнит энергиясының шамалары да периодты өзгеріп отырады. Енді тербелмелі контурда электр және магнит өрістері энергияларының тербелістері қалай пайда болатынын қарастырайық. Конденсаторды кілт арқылы батареяға жалғап (1.2.5, а-сурет), оны зарядтаймыз. Осы кезде конденсатор астарлары арасындағы электр өрісі энергиясы:

$$W_{эл} = \frac{q_m^2}{2C}, \quad (1.13)$$

мұндағы q_m – конденсатордың максимал заряды, ал C – сыйымдылығы. Зарядталған конденсатордың астарларының арасында U потенциалдар айырымы пайда болады.

Енді кілтті 2-нүктемен қосып, тізбекті тұйықтасақ конденсатор разрядтала бастайды (1.2.5, б-сурет). Ток күші бірден максимал мәніне жетпейді, бірте-

бірге артады. Бұл өздік индукция құбылысымен түсіндіріледі. Пайда болған ток шарғыда айнымалы магнит өрісін, ал магнит өрісі өз кезегінде өткізгіш ішінде құйынды электр өрісін туғызады. Құйынды электр өрісі магнит өрісі арта бастаған кезде токтың өсуіне қарсы әрекет етіп, лезде өсуіне кедергі келтіреді.



1.2.5-сурет. Тербелмелі контур сұлбасы

Конденсатор разрядталған сайын электр өрісінің энергиясы кеміп, шарғының магнит өрісінің энергиясы арта бастайды, ол мына формуламен анықталады:

$$W_m = \frac{Li^2}{2}, \quad (1.14)$$

мұндағы i – айнымалы ток күші, L – шарғының индуктивтілігі.

Конденсатор толық разрядталмаған кезде контурдың электрмагниттік өрісінің **толық энергиясы** магнит және электр өрістері энергияларының қосындысына тең болады:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}. \quad (1.15)$$

Конденсатор толық разрядталған мезетте ($q = 0$) оның астарларының арасындағы электр өрісінің энергиясы нөлге тең. Ал шарғыдағы токтың магнит өрісінің энергиясы, энергияның сақталу заңы бойынша ең үлкен шамаға жетеді. Демек, бұл мезетте ток күші де I_m максимал мәніне жетеді.

Осы кезде шарғы ұштарындағы потенциалдар айырымы нөлге тең болатынына қарамастан, электр тогы бірден тоқтай алмайды. Оған өздік индукция құбылысы бөгет жасайды. Ток күші және оны туғызатын магнит өрісі кеми бастағанда, құйынды электр өрісі пайда болып, оны демеп отырады. Нәтижесінде ток біртіндеп кеміп, нөлге тең болғанға дейін конденсатор қайтадан кері зарядталады (яғни астарлардағы зарядтардың таңбалары кері өзгереді). Осы мезетте (яғни $i = 0$ болғанда) магнит өрісінің энергиясы да нөлге тең болады, ал конденсатордың электр өрісінің энергиясы тағы да ең үлкен мәніне жетеді. Осыдан кейін конденсатор тағы да разрядтала бастайды да, жоғарыда сипатталған процестер қайталанатын болады. Егер энергия шығыны болмаса, онда қайталанатын процестер ұзаққа созылып, тербеліс өшпейтін еді. Тербеліс периодына тең уақытта жүйенің

күйі де дәлме-дәл қайталанып отырар еді. Осылайша, толық энергия сақталар еді де, оның мәні кез келген уақыт мезетінде электр өрісінің немесе магнит өрісінің максимум энергиясына тең болар еді:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2}. \quad (1.16)$$

Алайда контурда энергия шығынының болатыны анық. Өйткені шарғының және қосқыш сымдардың белгілі бір кедергісі болатындықтан ($R \neq 0$), онда пайда болған электромагниттік өрістің энергиясы біртіндеп Джоуль–Ленц заңына ($Q = I^2Rt$) сәйкес өткізгіштің ішкі жылу энергиясына түрленеді.



Сұрақтар

1. Электромагниттік тербелістер қалай ашылды? Электромагниттік тербелістер деп нені айтады?
2. Тербелмелі контурдағы шарғы мен конденсатордың рөлі қандай? Контурдағы электромагниттік тербелістің жиілігі мен периоды қандай формулалармен анықталады? Тербелмелі контурдағы ток күші мен кернеу қандай заңға сәйкес өзгереді? Өрнектері қандай?
3. Қандай процестер еркін және еріксіз электромагниттік тербелістер деп аталады?
4. Электромагниттік тербелістер кезіндегі энергияның түрленуі қалай орындалады?
5. Тербелмелі контурдағы электр және магнит өрістерінің максимум энергиялары қалай анықталады? Кез келген уақыт мезетіндегі толық энергиясы қандай формуламен анықталады?



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Электр тізбегіндегі заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графигін Excel бағдарламасы бойынша талдап зерделендер (кітап соңында №1 қосымшаны қараңдар).

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Сыйымдылығы 40 нФ конденсаторды 100 В кернеуге дейін зарядтап, индуктивтілігі 0,1 мГн шарғымен тұйықтайды. Контур кедергісін елеусіз аз деп есептеп, осы тербелмелі контурдағы ток күшінің амплитудасын анықтаңдар.

Берілгені:

$$C = 40 \text{ нФ}$$

$$U_m = 100 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ мГн}$$

$$I_m = ?$$

ХБЖ

$$4 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}$$

$$10^{-4} \text{ Гн}$$

Шешуі:

Контур кедергісі елеусіз аз және оған сыртқы ЭҚК қосылмағандықтан, контурда өшпейтін еркін тербелістер пайда болды.

Контурдағы зарядтың еркін гармоникалық тербелістерінің теңдеуі:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

Тербелмелі контурдағы ток күші: $i = q' = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$, мұндағы ток күшінің амплитудалық мәні

$$I_m = \omega_0 q_m. \quad (1)$$

$U_m = \frac{q_m}{C}$ болғандықтан, $q_m = CU_m$. Бұл өрнекті (1) формулаға қойып, меншікті жиілікті $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ескеріп, ток күшінің амплитудалық мәнін табамыз:

$$I_m = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot CU_m \text{ немесе } I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

$$I_m = 100 \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-8}}{10^{-4}}} = 2 \text{ А.}$$

Жауабы: $I_m = 2 \text{ А}$.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 1.2.1. Тербелмелі контур сыйымдылығы 1 мкФ конденсатордан және индуктивтілігі L шарғыдан тұрады. Контур кедергісін елеусіз аз деп есептеп, контурды 2 кГц жиілікке баптау үшін шарғының индуктивтілігі қандай болуы керек? (*Жауабы: 6,34 мГн*)
- 1.2.2. Тербелмелі контурдың конденсатор астарларындағы ең үлкен заряды $q_m = 2$ мкКл, контурдағы ток күшінің амплитудалық мәні $I_m = 4$ мА. Өткізгіштерді қыздыруға кеткен энергия шығынын ескермей, тербеліс периодын есептеңдер. (*Жауабы: $\pi \cdot 10^{-3}$ с*)
- 1.2.3. Тербелмелі контурдағы ток күшінің уақыт бойынша өзгерісі: $i = -0,01 \sin 200\pi t$ (А). Конденсатор сыйымдылығы 507 нФ деп есептеп, электромагниттік тербелістердің периодын, шарғының индуктивтілігін, магнит өрісінің максимал энергиясын анықтаңдар.
(*Жауабы: 0,01 с, 5 Гн; 250 мкДж*)
- 1.2.4. Тербеліс процесіндегі конденсатор зарядының ең үлкен мәні $2 \cdot 10^{-8}$ Кл, шарғыдағы ең үлкен ток 1 А болса, тербелмелі контурдағы тербеліс периоды қандай? (*Жауабы: 125,6 нс*)
- 1.2.5. Егер идеал контурдағы ток 31,4 мА, конденсатор зарядының амплитудасы $2 \cdot 10^{-7}$ Кл болса, контур конденсаторындағы энергия тербелістерінің периоды қандай? (*Жауабы: 40 мкс*)

В

- 1.2.6. Тербелмелі контур индуктивтілігі 4 мГн шарғыдан және радиустары 1 см диск тәрізді астарлары бір-бірінен 0,278 мм қашықтықта орналасқан

жазық конденсатордан тұрады. Контурдың меншікті тербелістерінің периодын анықтаңдар. Егер конденсаторды диэлектриктік өтімділігі $\varepsilon = 4$ болатын диэлектрикпен толтырса, онда тербеліс периоды қандай болады?
(Жауабы: 1,256 мкс; 2,512 мкс)

- 1.2.7. Контур индуктивті шарғыдан және тізбектей жалғанған үш бірдей конденсатордан тұрады. Контурдағы тербелістер периоды 10 мкс. Егер конденсаторлардың тізбектей қосылуын параллель қосылуға ауыстырса, контур тербелісінің периоды қандай болады? (Жауабы: 30 мкс)
- 1.2.8. Контурдағы сыйымдылығы C конденсаторға сыйымдылығы $8C$ екінші конденсатор параллель қосылған. Нәтижесінде электрмагниттік тербелістер жиілігі 200 Гц шамасына өзгерді. Тербелістердің бастапқы жиілігін анықтаңдар. (Жауабы: 300 Гц)

C

- 1.2.9. Процестер идеал контурда орын алады деп есептеп, уақыттың $\frac{T}{12}$ мезеті үшін магнит өрісі энергиясының электр өрісі энергиясына қатынасын анықтаңдар. (Жауабы: 3)

§ 1.3

Механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсастығы

1. Механикалық тербелістердің (мысалы, математикалық маятниктің тербелісінің) тербелмелі контурда пайда болатын электрмагниттік тербелістерімен ұқсастығы бар. Екі жағдайда да тербеліске түсетін физикалық шамалардың табиғаты әртүрлі, алайда олардың өзгерістері бірдей заңдылықпен сипатталады.

Механикалық тербелістерде дененің координатасы x және оның қозғалыс жылдамдығының проекциясы v_x периодты түрде өзгеріп отырады, сол сияқты электрмагниттік тербелістерде конденсатордың заряды q және тізбектегі ток күші i өзгереді. Осыған орай механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсастығын көрсету маңызды.

Сонымен, механикалық және электрмагниттік тербелістердің төмендегі 1.3.1-кестеде көрсетілген шамаларын шартты түрде салыстыра отырып, олардың арасындағы ұқсастықтарды атауға болады.

1) Уақыт $t = 0$ болатын бастапқы мезетте тербелетін дене (математикалық маятник) тепе-теңдік күйінен ең үлкен h_m биіктікте болады, бұндай күйде оның жылдамдығы мен кинетикалық энергиясы нөлге тең ($W_k = 0$), ал потенциалдық энергиясы ең үлкен мәнді қабылдайды ($W_n = mgh_m$). Ал тербелмелі контурда $t = 0$

мезетте q_m зарядпен зарядталған конденсаторда электр өрісі пайда болады да, оның энергиясы ең үлкен мәнге жетеді $\left(W_{\text{ээ}} = \frac{1}{2C} q_m^2\right)$, ал тогы жоқ шарғыда магнит өрісі туындамағандықтан, энергиясы да нөлге тең ($W_n = 0$) болады.

Бұл жағдайда дененің W_n потенциалдық энергиясын электр өрісінің $W_{\text{ээ}}$ энергиясына, ал дененің h көтерілу биіктіктігін конденсатордың q зарядына ұқсастыруға болады.

2) Уақыт $t = \frac{1}{4} T$ шамасына жеткенде маятник тепе-теңдік күйінен ең үлкен v_m жылдамдықпен өтеді де, кинетикалық энергиясы ең үлкен мәнге жетеді $\left(W_k = \frac{1}{2} m v_m^2\right)$, ал биіктік $h = 0$ болғандықтан, потенциалдық энергия да нөлге теңеледі ($W_n = 0$). Осы уақытта тербелмелі контурда зарядтар толығымен шарғыға қарай өтіп, ток туғызады, ал конденсатор толықтай разрядталады, сөйтіп, электр өрісінің энергиясы нөлге дейін төмендейді. Есесіне шарғыдан өткен ток магнит өрісін туғызады да, оның энергиясы ең үлкен мәнге жетеді $\left(W_n = \frac{1}{2} L I_m^2\right)$.

Бұл жағдайда дененің W_n кинетикалық энергиясын магнит өрісінің W_n энергиясына, ал дененің m массасын шарғының L индуктивтілігіне ұқсастыруға болады.

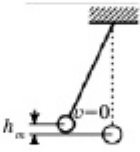
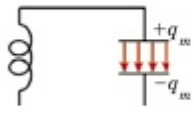

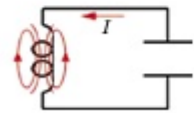
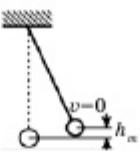
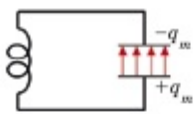

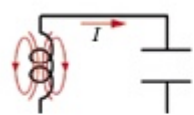
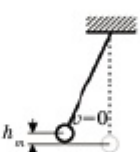
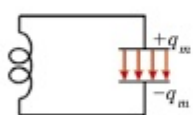
3) Уақыттың $t = \frac{1}{2} T$ мезетінде маятник өзінің оң жақтағы шеткі күйіне жетіп, h_m биіктікке көтеріледі де, дененің потенциалдық энергиясы ең үлкен мәнін қабылдайды ($W_n = mgh_m$), ал кинетикалық энергиясы нөлге теңеледі ($W_k = 0$).

Уақыттың $t = \frac{1}{4} T$ және $t = \frac{3}{4} T$ аралығында контурдағы ток күші бірте-бірте кеміп, есесіне конденсатор қайта зарядтала бастайды. Сөйтіп, шарғының магнит өрісінің энергиясы нөлге дейін ($W_n = 0$) әлсірейді, ал конденсатордағы электр өрісінің энергиясы ең үлкен шамаға $\left(W_{\text{ээ}} = \frac{1}{2C} q_m^2\right)$ жетеді.

4) Уақыттың $t = \frac{3}{4} T$ мезетінде дене кері бағытта қозғалып, тепе-теңдік күйінен өте бастайды да, 2-тармақта қарастырылған процесс кері бағытта қайталанады $\left(W_n = 0; W_k = \frac{1}{2} m v_m^2; W_{\text{ээ}} = 0; W_n = \frac{1}{2} L I_m^2\right)$.

5) Уақыттың $t = T$ мезетіне тербелмелі екі жүйе де өздерінің 1-тармақта қарастырылған бастапқы күйіне оралады.

Механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсас шамалары

Уақыт	Маятниктің механикалық тербелістері	Тербелмелі контурдың электрмагниттік тербелістері
$t = 0$	 $W_n = mgh_m$ $W_k = 0$	 $W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2$ $W_m = 0$
$t = \frac{1}{4} T$	 $W_n = 0$ $W_k = \frac{1}{2} m v_{max}^2$	 $W_{эл} = 0$ $W_m = \frac{1}{2} L I^2$
$t = \frac{1}{2} T$	 $W_n = mgh_m$ $W_k = 0$	 $W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2$ $W_m = 0$
$t = \frac{3}{4} T$	 $W_n = 0$ $W_k = \frac{1}{2} m v_{max}^2$	 $W_{эл} = 0$ $W_m = \frac{1}{2} L I^2$
$t = T$	 $W_n = mgh_m$ $W_k = 0$	 $W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2$ $W_m = 0$

1.3.2-кестеде механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың арасындағы ұқсастық келтірілген.

Механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын ұқсас шамалар

Механикалық тербелістер	Электрмагниттік тербелістер
Координата x	Заряд q
Амплитуда A	Максимал заряд q_m
Жылдамдық $v = x'$	Ток күші $i = q'$
Үдеу $a = v' = x''$	Ток күшінің өзгеру жылдамдығы $i' = q''$
Масса m	Индуктивтілік L
Серіппе қатаңдығы k	Электр сыйымдылықтың кері шамасы $\frac{1}{C}$
Күш F	Кернеу U
Деформацияланған серіппенің потенциалдық энергиясы $W_{\text{а}} = \frac{kx^2}{2}$	Конденсатордың электр өрісінің энергиясы $W_{\text{а}} = \frac{q^2}{2C}$
Жүктің кинетикалық энергиясы $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$	Шарғының магнит өрісінің энергиясы $W_{\text{к}} = \frac{Li^2}{2}$



Сұрақтар

1. Контурдағы электрмагниттік тербелістер мен математикалық маятник тербелістері арасындағы ұқсастық қалай көрініс табады?
2. Механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын қандай шамалардың арасында ұқсастықтар бар? Мұндай ұқсастық қандай ортақ заңға бағынады? Формулаларын жазып, мысал келтіріңдер.
3. Қандай құбылысқа орай конденсатордағы кернеу нөлге тең болғанда, тербелмелі контурда электр тогы бірден жоғалып кетпейді?
4. Тербелмелі контурдағы қандай физикалық шаманы механикалық тербелістердегі үйкеліс күшіне сәйкестендіруге болады? Олардың арасындағы ұқсастық қандай құбылыстарды түсіндіреді?



Тапсырма (теориялық талдау)



1. Серіппелі маятниктің тербелістері мен тербелмелі контурдың электрмагниттік тербелістері арасындағы энергетикалық түрленулердің ұқсастығын уақыттың төменде көрсетілген аралықтары үшін сипаттап жазыңдар:

$$1) \frac{1}{4} T < t < \frac{1}{2} T; \quad 2) \frac{1}{2} T < t < \frac{3}{4} T.$$

2. Өшетін электрлік және механикалық тербелістер жағдайында шамалардың лездік мәнін анықтайтын формулаларды q заряд пен x ауытқу үшін жазыңдар. Тербелістерінің өшуі баяу өтетін жағдай үшін заряд пен ауытқудың уақытқа тәуелділік графиктерін салыңдар.

I ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Тербелістер** деп уақыт ағымына қарай дәлме-дәл немесе оған жуық дәлдікте қайталанып отыратын қозғалыстарды немесе процестерді айтады.
- **Гармоникалық тербеліс** деп тербелмелі қозғалысты сипаттайтын физикалық шамалардың уақыт бойынша синус немесе косинус заңына сәйкес периодты өзгерісін айтады:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ немесе } x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- **Серіппелі маятник** деп бір ұшы бекітілген, қатаңдығы k серіппеге ілінген массасы m жүкті айтады. Серіппелі маятниктің периоды Гюйгенс формуласымен анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

- **Математикалық маятник** деп массасы еленбейтін ұзын және созылмайтын жіпке ілінген нүктелік денені айтады. Математикалық маятниктің тербеліс периоды Галилей формуласымен анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

- **Электрмагниттік тербелістер** деп біртұтас электрмагниттік өрістің электр өрісінің кернеулік векторы (\vec{E}) мен магнит өрісінің индукция векторының (\vec{B}) өзара байланысқан тербелістерін айтады.

- **Электрмагниттік тербелістің периоды** Томсон формуласы бойынша табылады:















$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

- **Тербелмелі контур** деп сыйымдылығы C конденсатордан және оның астарларына жалғанған индуктивтілігі L шарғыдан тұратын электр тізбегін айтады.
- **Еркін электрмагниттік тербелістер** деп жүйенің жинақтаған энергиясының есебінен пайда болатын тербелістерді айтады.
- **Еріксіз электрмагниттік тербелістер** деп сыртқы көздің беретін энергиясы есебінен жүйеде пайда болатын тербелістерді айтады.

2-тарау

АЙНЫМАЛЫ ТОК

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  генератор моделін қолданып, айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципін зерттеу;
-  физикалық шамаларды (период, жиілік, кернеу, ток күші мен электр қозғаушы күшінің максимал және әсерлік мәндерін) қолданып, айнымалы токты сипаттау;
-  синусоидалы айнымалы ток күшін немесе кернеуді гармоникалық функция түрінде көрсете алу;
-  айнымалы ток тізбегіне активті жүктеме (резистор) қосылған кездегі фаза ығысуын сипаттау;
-  айнымалы ток тізбегіне реактивті жүктемелер (шарғы, конденсатор) қосылған кездегі фаза ығысуын сипаттау;
-  өзара тізбектей қосылған (жалғанған) активті кедергіден, индуктивтіліктен және конденсатордан тұратын айнымалы токтың электр тізбегін есептеу;
-  айнымалы токтың активті және реактивті қуатының физикалық мағынасын түсіндіру;
-  векторлық диаграмма салу арқылы қуат коэффициентін анықтау;
-  резонанс шартын түсіндіру және оның қолданылуына мысал келтіру;
-  резонанстық жиілікті есептеу;
-  қуат формуласының негізінде трансформатордың жұмыс істеу принципін талдау;
-  электр энергиясын тасымалдау үшін жоғары кернеудегі айнымалы токтың экономикалық артықшылықтарын түсіндіру;
-  трансформатор орамасындағы орам санын эксперимент арқылы анықтау;
-  Қазақстандағы электр энергиясы көздерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалау.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
генератор	генератор	generator
айнымалы электр тогы	переменный электрический ток	alternating electric current

активті кедергі	активное сопротивление	ohmic resistance
сыйымдылық кедергі	емкостное сопротивление	capacitive resistance
лездік қуат	мгновенная мощность	instantaneous power
активті қуат	активная мощность	active power
реактивті қуат	реактивная мощность	reactive power
толық қуат	полная мощность	total power
электрлік резонанс	электрический резонанс	electric resonance
сапалылық	добротность	quality factor
трансформатор	трансформатор	transformer
электр энергетикасы	электроэнергетика	electrical power engineering
жылу электр станциясы	тепловая электростанция	thermal power plant
су электр станциясы	гидроэлектростанция	hydroelectric power plant
атом электр станциясы	атомная электростанция	nuclear power plant

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «генератор», «айнымалы электр тогы», «активті кедергі», «сыйымдылық кедергі», «лездік қуат», «активті қуат», «реактивті қуат», «толық қуат», «электрлік резонанс», «сапалылық», «трансформатор», «электр энергетикасы», «жылу электр станциясы», «су электр станциясы», «атом электр станциясы».

§ 2.1

Айнымалы ток генераторы

1. Айнымалы ток генераторы деп энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына түрлендіретін құрылғыны айтады.

Электр ток көздерінің даму тарихында олардың бірнеше түрлерін ажыратады.

Гальваникалық элемент – электролиттегі екі металдың немесе олардың тотықтарының өзара әрекеттесуіне негізделген электрлік токтың химиялық көзі (2.1.1, а-сурет), оны тізбекке қосып тұйықтағанда электр тогын өндіреді.

Электрстатикалық машина – электрстатикалық индукция құбылысын пайдаланып, механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіретін құрылғы (2.1.1, ә-сурет), мұндай машинаның полюстерінде (Лейден банкаларында) электр зарядтары жинақталады, разрядтағыштардағы потенциалдар айырымы бірнеше жүз мың вольтқа жетеді.

Күн батареясы – фотоэлектрлік түрлендіргіштердің (фотоэлементтердің) жиынтығы (2.1.1, б-сурет), мұндай батареяда Күн энергиясын тікелей тұрақты электр тогына түрлендіретін жартылай өткізгішті құрылғылар қолданылады, ал күн коллекторлары жылу тасымалдаушы материалды қыздыруға ғана арналып, электр тогын тікелей өндіре алмайды.

Термобатарея жылу энергиясын электр энергиясына түрлендіреді. Термо-батареяларда тізбектей немесе параллель қосылған бірнеше термопаралар пайдаланылады (2.1.1, в-сурет).

Өртүрлі генераторлардың сипаттамаларына қарай қолданылу саласы да түрліше болып келеді. Мысалы, электрстатикалық машиналар потенциалдар айырымының үлкен мәніне қол жеткізсе де, тізбекте қандай да бір елеулі ток күшін тудыра алмайды. Гальваникалық элемент шамасы үлкен ток бере алады, бірақ олардың жұмыс істеу ұзақтығы аз.



а) Гальваникалық элементі



ә) Электрстатикалық машина моделі



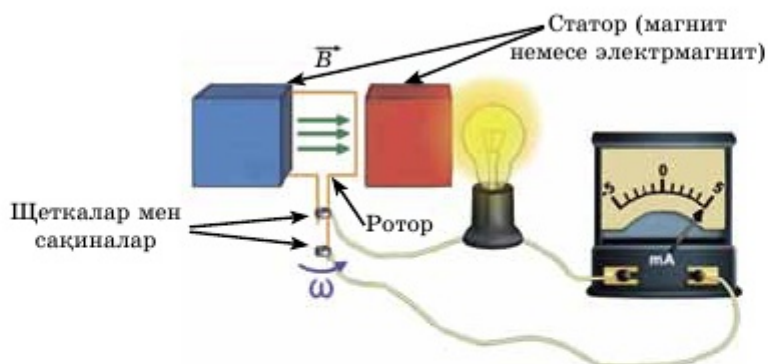
б) Күн батареясы



в) Термобатарея

2.1.1-сурет. Қарапайым ток көздері

2. Қазіргі энергетикада электромагниттік индукция құбылысына негізделген **айнымалы ток генераторлары** қолданылады. Мұндай генераторлар қажетті жоғары кернеудегі үлкен токтарды алуға мүмкіндік береді. Осындай генераторлардың қарапайым моделі – *магнит өрісінде айналып тұратын рама*. Раманы механикалық күшпен айналдырғанда онда индукциялық ток пайда болады (2.1.2-сурет).



2.1.2-сурет. Индукциялық ток көзінің моделі

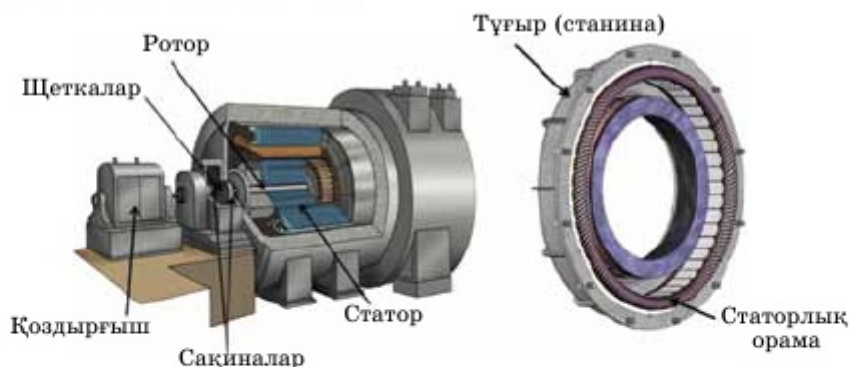
Қазіргі уақытта индукциялық генераторлардың көптеген түрлері бар. Алайда олардың барлығы да мынадай негізгі бөліктерден тұрады:

1) **статор** – магнит өрісін тудыратын қондырғы (қоздырғыш). Бұл тұрақты магнит немесе электрмагнит болуы мүмкін;

2) **ротор** – ЭҚК индукцияланатын (пайда болатын) орама.

3) **щеткалар мен сақиналар** – айналып тұрған бөліктерден индукциялық ток өндіретін немесе электрмагниттерді қоректендіретін қозғалмайтын қондырғы.

3. Айнымалы токтың электрмеханикалық генераторының жұмыс істеу принципі магнит өрісінде өткізгіш раманың айналуы кезінде пайда болатын индукциялық токқа негізделген. *Генератордың магнит өрісін тудыратын қозғалмайтын бөлігі – статор, ал айналатын бөлігі (яғни рама) – ротор* деп аталады (2.1.2 және 2.1.3-суреттер).



2.1.3-сурет. Айнымалы токтың өндірістік генераторы

Жоғары қуатты өндірістік генераторларда (2.1.3-сурет) тұрақты магнит орнына электрмагнит қолданылады. Статор мен ротор өзекшелерінің арасындағы саңылау магниттік индукция векторының (\vec{B}) ағынын ұлғайту үшін мүмкіндігінше өте тар болуы қажет.

Генератор **статоры** цилиндр пішінді болат **тұғыр** (*тұғыр* – машинаның әртүрлі жұмыс тораптары және т.б. тетіктері құрастырылатын негізгі көтергіш бөлігі).

Оның ішкі бөлігінде жуан мыс сымдары орналасатын ойықтар (пазалар) қашалып жасалады. Міне, осы ойықтардағы мыс сымдарында магнит ағыны өзгергенде айнымалы электр тогы индукцияланады. Магнит өрісін *ротор* туғызады. Ол болат өзекшеге тұрақты электр тогы өтетін орамдар кигізілген электрмагнит болып табылады. Магнит өрісін туғызатын электрмагнит орамдарындағы ток күші генератордың сыртқы тізбекке беретін ток күшінен едәуір аз болады. Сондықтан туындайтын айнымалы токты сыртқы тұтынушылар қозғалмайтын орамдардан алады. Ал электрмагнит айналатындай етіп жасалады да, оның орамдарына жылжымалы контактілер арқылы әлсіз тұрақты ток беріледі. Бұндай орамдарға ток *қоздырғыш* деп аталатын тұрақты токтың сыртқы көзінен *щеткалар* мен *сақиналар* арқылы жеткізіледі.

2.1.3-суретте айнымалы ток генераторының толық сұлбасы көрсетілген. Роторды қандай да бір сыртқы механикалық күшпен айналдырғанда, онда туындайтын магнит өрісі де өзгереді. Сөйтіп, статор орамасының орамдарынан өтетін магнит ағыны да периодты түрде өзгереді, соның нәтижесінде айнымалы ток индукцияланады.



Сұрақтар

1. Адамның өмірлік қарекетіндегі генераторлардың рөлі қандай?
2. Ток көздері түрлерінің жұмыс істеу принциптерінің өзгешеліктері қалай сипатталады?
3. Индукциялық генераторлардың негізгі бөліктері қандай? Олар қандай рөлдер атқарады?
4. Статор мен ротордың жұмыс істеу принциптерінің айырмашылықтары қандай? Олар генератор жұмысында қандай рөлдер атқарады?



Тапсырма (практикалық талдау)

Мектеп зертханасындағы генератор моделін пайдаланып, айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципін зерттеңдер.



Тапсырма (теориялық талдау)

Стандартты жиілікте (50 Гц) ток өндіретін турбиналық генераторлардың неліктен бір ғана жұп полюстерді, ал гидрогенераторларының бірнеше есе көп полюстерді иеленетінін түсіндіріңдер.

§ 2.2

Айнымалы ток

1. Айнымалы электр тогы *деп уақытқа байланысты периодты түрде өзгертін токты айтады.*

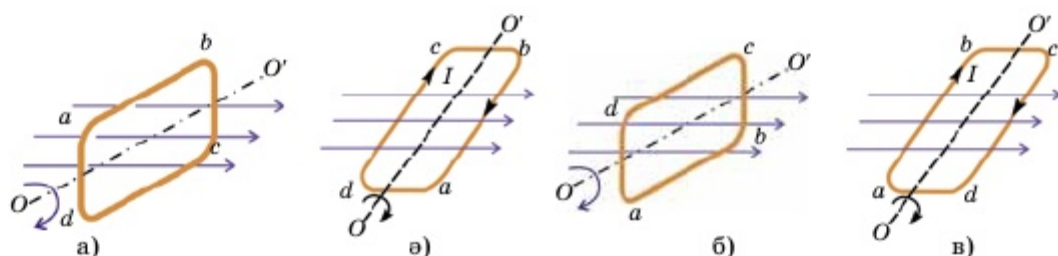
Айнымалы электр тогын алу процесі еріксіз электрмагниттік тербелістерді

туғызатын процестерге негізделген. Оған төменде сипатталған тәжірибе арқылы көз жеткізе аламыз (2.2.1-сурет). Тұрақты әрі біртекті магнит өрісіне $abcd$ сым орамынан жасалған раманы орналастырамыз.

Бұл рама OO' осінің төңірегінде айналғанда оның ауданын тесіп өтетін магнит ағыны шамасы бойынша да, бағыты бойынша да үнемі өзгеріп отырады. Нәтижесінде электромагниттік индукция заңына сәйкес, орамда шамасы мен бағыты айнымалы индукция ЭҚК-і пайда болады.

Айналмалы раманың жазықтығы магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр болғанда, одан өтетін магнит ағыны ең үлкен шамаға жетеді ($\Phi = \Phi_{max}$), ал ағынның өзгеру жылдамдығы нөлге теңеледі ($\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$), өйткені ab және cd өткізгіштері оларды қиып өтпейді, тек өрістің күштік сызықтарының бойымен ғана жылжиды (2.2.1, а-сурет). Демек, орамда пайда болатын магнит ағынының өзгеру жылдамдығына пропорционал өзгеретін индукция ЭҚК-інің абсолют шамасы нөлге тең:

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = 0. \quad (2.1)$$



2.2.1-сурет. Орамада айнымалы тоқтың индукциялануы

Раманың жазықтығы магнит өрісінің күш сызықтарына параллель болған жағдайда (2.2.1, а-сурет) ab және cd орам өткізгіштері өрістің күш сызықтарына перпендикуляр орналасады да, осы сәтте рама жазықтығын қиып өтетін магнит ағыны нөлге теңеледі ($\Phi = 0$). Бұл жағдайда орамда пайда болған ЭҚК ең үлкен мәнге жетеді, өйткені осы мезеттегі магнит ағынының өзгеріс жылдамдығы ең үлкен шамаға жетеді ($\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = max$). Бұл кезде орамның ab бөлігінде пайда болатын ЭҚК сызбадан бақылаушыға бағытталады, ал cd бөлігіндегісі керісінше бақылаушыдан сызбаға қарай бағытталады. Бұл жағдайда индукцияланған ЭҚК-інің абсолют шамасы ең үлкен мәнді қабылдайды:

$$\left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \varepsilon_{max}. \quad (2.2)$$

Бұдан әрі орамның айналуы кезінде ЭҚК өз бағытын өзгертпей, нөлге тең болғанға дейін кемиді (2.2.1, б-сурет). Яғни раманың ауданын тесіп өтетін магнит ағынының шамасы ең үлкен ($\Phi = \Phi_{max}$), ал оның өзгеру жылдамдығы ең аз

болған жағдай $\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0\right)$ қайтадан кері бағытта туындайды. Ендеше, пайда болған ЭҚК-інің абсолют шамасы да нөлге теңеледі:

$$\varepsilon_i = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = 0. \quad (2.3)$$

Орамның одан әрі айналуы кезінде (2.2.1, в-сурет) магнит ағынының өзгеру жылдамдығы артады: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \text{max}$, сондықтан ЭҚК абсолют шамаға қарай өседі. Бірақ енді орам жазықтығы басқа жағымен магнит өрісінің күш сызықтарына қарама-қарсы қозғалады да, ЭҚК-інің бағыты қарама-қарсы өзгереді: *ab* бөлігінде ЭҚК бақылаушыдан сызбаның ар жағына қарай, ал *cd* бөлігінде сызбадан бақылаушыға қарай бағытталады. Бұл жағдайда ЭҚК-інің абсолют шамасы тағы да ең үлкен мәнді қабылдайды:

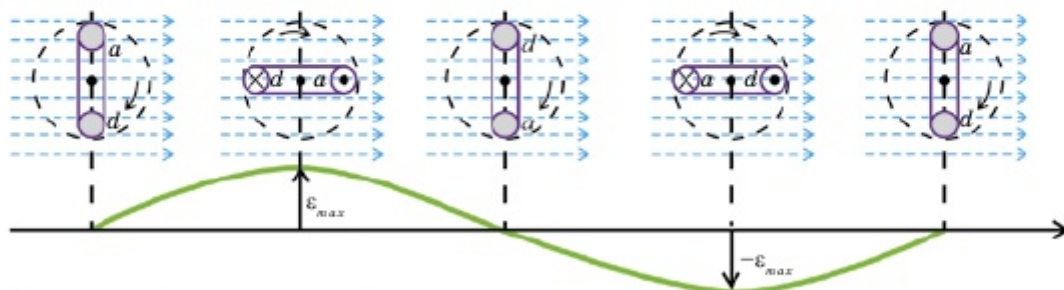
$$\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \varepsilon_{\text{max}}. \quad (2.4)$$

Келесі айналымдарда барлық жоғарыда сипатталған құбылыстар қайталана-тын болады.

Осылайша, *айналып тұрған өткізгіш орамдағы индукциялық ЭҚК-інің максимум шамасы оның бір айналуы кезінде «минус» шамасынан $(-\varepsilon_{\text{max}})$ «плюс» шамасына $(+\varepsilon_{\text{max}})$ дейін өзгереді. Сөйтіп, айнымалы ЭҚК-іне сәйкес өткізгіш орамда туындайтын айнымалы индукциялық токтың шамасы да, бағыты да үнемі өзгеріп отырады.*

2. Орамдағы ЭҚК-інің өзгеруін тікелей бақылау үшін оның ажыратылған ұштарын осциллографқа қосамыз. Орам магнит өрісінде айналғанда осциллограф токтың барлық өзгерісін көрсетіп отырады, ол бойынша орамдағы индукциялық ЭҚК-інің қалай өзгередінін біле аламыз.

2.2.2-суретте бір толық айналым жасау уақытында орамдағы индукциялық ЭҚК-інің өзгеру графигі бейнеленген. Суреттің жоғарғы жағында орамның магнит өрісіндегі кезекті орналасу күйі, ал төменгі жағында орамдағы индукциялық ЭҚК-інің синусоида бойымен өзгеріп отыратын мәндері көрсетілген. Орам жазықтығын тесіп өтетін магнит ағынының күш сызықтарының бағыттары тілшелермен көрсетілген. Кішкентай дөңгелекшелер сурет жазықтығымен қиылған орамның қимасын және ондағы токтың бағытын бейнелейді. *a* және *d* өріптерімен бұранданың орны көрсетілген.



2.2.2-сурет. Раманың толық бір айналымындағы индукциялық ЭҚК-інің өзгеру графигі

Осциллограмме көрсетілгендей, біртекті магнит өрісінде бірқалыпты айналу кезінде орамда пайда болатын ток синусоидалы өзгереді. Сондықтан мұндай ток – **айнымалы синусоидалы ток** деп аталады.

3. Электр тізбектерінде орын алатын айнымалы синусоидалы токтың тербелісі кезіндегі кернеу (немесе ЭҚК) синус немесе косинус заңы бойынша өзгереді:

$$\begin{array}{ll} \text{Кернеу} & \text{ЭҚК} \\ u = U_m \sin \omega t & \varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t \\ u = U_m \cos \omega t & \varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t \end{array} \quad (2.5)$$

Мұндағы U_m – кернеу амплитудасы, ε_m – ЭҚК амплитудасы, ω – циклдік жиілік, t – уақыт.

Егер тізбекте кернеу циклдік жиілікпен ω өзгерсе, онда тізбектегі ток күші сол жиілікпен өзгереді. Алайда *тізбектегі ток күшінің тербелістері кернеудің тербелістеріне сәйкес келуі міндетті емес*. Сондықтан жалпы жағдайда, ток күшінің лездік мәні мына формуламен анықталады:

$$\begin{array}{l} \text{Ток күші: } i = I_m \sin(\omega t + \varphi_{\kappa}); \\ i = I_m \cos(\omega t + \varphi_{\kappa}), \text{ мұндағы } \varphi_{\kappa} \text{ – фазалардың ығысуы.} \end{array} \quad (2.6)$$

4. Айнымалы токтың **период** және **жиілік** деп аталатын тағы екі негізгі сипаттамаларын қарастырайық.

Айнымалы токтың периоды деп ЭҚК (немесе кернеу, немесе ток күші шамаларының) толық бір тербеліс жасайтын уақыт аралығын айтады.

Айнымалы токтың жиілігі деп айнымалы токтың бір секунд ішінде жасайтын тербеліс санын айтады.

Қазақстан Республикасында өнеркәсіпте және электр желісінде қолданылатын айнымалы токтың стандартты жиілігі 50 Гц-ке тең. 50 Гц жиілік 1 секунд ішінде ток бір бағытта 50 рет және екінші бағытта 50 рет өтеді дегенді білдіреді.



Қосымша дерек

Әлемде кернеу мен жиіліктің негізгі екі стандарты кеңірек тараған. Олардың бірі – **америкалық стандарт**: 100–127 В және 60 Гц, айырғыштарының түрі А және В, екіншісі **европалық стандарт**: 220–240 В және 50 Гц, айырғыштарының түрі – С және М.



Сұрақтар

1. Айнымалы электр тогын алу процесі қандай құбылысқа негізделеді және қалай түсіндіріліп сипатталады?
2. Айнымалы токты қандай параметрлер сипаттайды, олар қандай гармоникалық функциялармен өрнектеледі және графиктерде қалай көрініс табады?
3. Біртекті магнит өрісінде бірқалыпты айналған рама орамындағы ЭҚК-інің уақытқа тәуелділік графигі синусоида болатыны белгілі. Егер раманың айналу жиілігі екі еселенсе, онда график қалай өзгереді?
4. Қозғалмайтын рама орамында айнымалы токты қалай алуға болар еді?



Тапсырма (теориялық талдау)

Магнит өрісінде айналатын металл сымнан жасалған раманың электрондық өткізгіштігін ескеріп, оның бойында пайда болатын айнымалы индукциялық электр тогын алудағы Лоренц күшінің рөлін ашып көрсетіңдер.

**Тапсырма (практикалық талдау)**

Әлемде қолданылатын айырғыштар мен розеткалар туралы реферат түрінде баяндама даярлаңдар да, презентация жасаңдар. Қазақстан туристерінің жиі баратын елдеріндегі розетка түрлеріне көбірек көңіл аударыңдар.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Рама индукциясы 25 мТл біртекті магнит өрісінде оның күш сызықтарына перпендикуляр орналасқан осьтің төңірегінде бірқалыпты айналады. Айналу жиілігі 360 айн/мин. Раманың көлденең қимасының ауданы 100 см², орам саны 600. Рамадағы индукциялық ЭҚК-інің ең үлкен мәнін және раманың бір айналым жасауға жұмсайтын уақытын анықтаңдар.

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$N = 600$		Электрмагниттік индукция заңына сәйкес N орамнан тұратын раманың ЭҚК:
$B = 25 \text{ мТл}$	$2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$	$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$
$\nu = 360 \text{ мин}^{-1}$	6 с^{-1}	мұндағы Φ – бір орамнан өтетін магнит ағыны,
$S = 100 \text{ см}^2$	10^{-2} м^2	яғни $\Phi = BS \cos \omega t = BS \cos 2\pi\nu t. \quad (2)$
$\varepsilon_{i \max} = ?$		(1) формулаға (2) теңдігін қойып,
$T = ?$		

$$\varepsilon_i = -N \frac{d(BS \cos 2\pi\nu t)}{dt} = 2\pi\nu NBS \sin 2\pi\nu t$$

өрнегін аламыз. $\sin 2\pi\nu t = 1$ болғанда ЭҚК ең үлкен шамаға жетеді: $\varepsilon_i = \varepsilon_{i \max}$.

Олай болса, рамадағы индукциялық ЭҚК-ің ең үлкен мәні

$$\varepsilon_{i \max} = 2\pi\nu NBS \text{ өрнегімен анықталады.}$$

Шамалардың сан мөндерін орнына қайсақ:

$$\varepsilon_{i \max} = 2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 600 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2} = 5,65 \text{ В.}$$

Бір айналым жасауға кеткен уақыт периодқа тең: $T = \frac{1}{\nu}$.

$$T = \frac{1}{6} = 0,167 \text{ с.}$$

Жауабы: $\varepsilon_{i \max} = 5,65 \text{ В}, T = 0,167 \text{ с.}$

**Өз бетінше шығаруға арналған есептер****А**

2.2.1. Айнымалы ток өтетін тізбек бөліктерінің ұштарындағы кернеу уақыт өтуіне қарай $u = U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$ заңы бойынша өзгереді. $t = \frac{T}{12}$ уақыт мезетіндегі лездік кернеу $u = 10 \text{ В}$. Тербеліс периодын $T = 0,01 \text{ с}$ деп алып, кернеудің U_0 амплитудасын, тербелістің ω циклдiк жиілігін және

- v жиілікті анықтаңдар. Уақытқа байланысты кернеудің өзгеру графигін сызыңдар. (*Жауабы*: 11,5 В; 628 рад/с; 100 Гц)
- 2.2.2. Біртекті магнит өрісінде 5 айн/с жылдамдықпен айналатын тікбұрышты рама арқылы өтетін магнит индукциясының ең үлкен ағынын табыңдар. Рамада индукцияланған ЭҚК-інің амплитудалық мәні 3,14 В.
(*Жауабы*: 0,1 Вб)
- 2.2.3. Магнит индукциясы 1 Тл болатын біртекті магнит өрісінде айналып тұрған тікбұрышты раманың уақыт бірлігіндегі айналым санын анықтаңдар. Рамада индукцияланған ЭҚК-інің амплитудалық мәні 6,28 В. Раманың ауданы 100 см², орам саны 10. (*Жауабы*: 10 айн/с)
- В**
- 2.2.4. Индукциясы 0,25 Тл болатын біртекті магнит өрісінде 10 с⁻¹ жиілікпен айналып тұрған радиусы 20 см дөңгелек өткізгіш контурдағы орамдар санын анықтаңдар. Контурдағы индукциялық ЭҚК-тің амплитудалық мәні 19,7 В. (*Жауабы*: 10)
- 2.2.5. Қабырғасы 2 см шаршы рама 4 с⁻¹ жиілікпен индукциясы 0,2 Тл болатын магнит өрісінде айналады. Рамада пайда болатын ЭҚК-ін анықтаңдар.
(*Жауабы*: 2 мВ)

§ 2.3

Айнымалы ток тізбегіндегі активті және реактивті кедергілер

1. Айнымалы ток тізбегіне қосылған өткізгіште болатын процестерді қарастырайық. Егер өткізгіштің индуктивтілігі өте аз, яғни индукциялық электр өрістері сыртқы электр өрісімен салыстырғанда еленбейтін болса, онда өткізгіштегі электр зарядтарының қозғалыстары кернеулігі өткізгіштің ұшындағы кернеуге пропорционал болатын сыртқы электр өрісінің әсерімен анықталады. Осы шарттарды ескере отырып, айнымалы ток тізбегіне *резисторды*, *шарғыны* және *конденсаторды* жеке-жеке қосқан кездегі оның параметрлерінің қалай өзгертіндігін көрсетейік.

2. *Айнымалы ток тізбегіндегі резистор*. Өткізгіштің ұштарындағы кернеу $u = U_m \cos \omega t$ гармоникалық заңы бойынша өзгерсе өткізгіштегі электр өрісінің \vec{E} кернеулігі де сол заң бойынша өзгереді. Осындай айнымалы электр өрісінің әсерінен өткізгіште айнымалы электр тогы пайда болады, оның жиілігі мен тербеліс фазасы кернеу тербелісінің жиілігі мен фазасына сәйкес келеді, мұндай ток күшінің лездік мәні мынаған тең:

$$i = I_m \cos \omega t.$$

Тізбектегі ток күшінің тербелісі оған берілген айнымалы кернеудің әрекеті-

нен туындайтын еріксіз электр тербелісі болып табылады. Ендеше, ток күшінің амплитудасы кернеу амплитудасына пропорционал:

$$I_m = \frac{U_m}{R}, \quad (2.7)$$

мұндағы R – өткізгіштің электр кедергісі.

Ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалары сәйкес келген кезде айнымалы токтың қуаты мынаған тең:

$$p = iu = I_m U_m \cos^2 \omega t. \quad (2.8)$$

Формуладағы $\cos^2 \omega t$ функциясының орташа мәні, графиктен көрініп тұрғандай, 0,5-ке тең (2.3.1-сурет), сондықтан орташа қуаттың мәні:

$$P_{\text{орт}} = \frac{I_m U_m}{2} = \frac{I_m^2 R}{2}. \quad (2.9)$$

Айнымалы ток қуатын есептеу формуласының түрі тұрақты ток формуласына ($P = I^2 R$) сәйкес келуі үшін ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері енгізіледі.

Айнымалы электр тогы күшінің әсерлік мәні деп оның амплитудалық мәнінен $\sqrt{2}$ есе аз шаманы айтады:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.10)$$

Ток күшінің әсерлік мәні кезінде айнымалы ток тізбегіндегі өткізгіште бөлінетін орташа қуат сол өткізгіште тұрақты ток тізбегінде бөлінетін қуатқа тең.

Айнымалы кернеудің әсерлік мәні оның амплитудалық мәнінен $\sqrt{2}$ есе аз:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.11)$$

Ток күші мен кернеу тербелісінің фазалары сәйкес келген кезде айнымалы токтың орташа қуаты ток күші мен кернеудің әсерлік мәндерінің көбейтіндісіне тең:

$$P = IU. \quad (2.12)$$

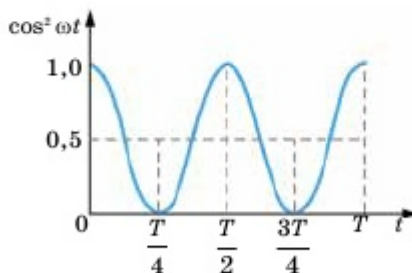
Айнымалы ток тізбегіне арналған электр өлшеуіш аспаптары шамалардың тек әсерлік мәндерін ғана көрсетеді.

Айнымалы ток тізбегінің бөлігінде бөлінетін қуаттың P орташа мәнінің сол бөліктегі I әсерлік ток күшінің квадратына қатынасымен анықтала-тын физикалық шама активті кедергі деп аталады да, R әріппен белгіленеді:

$$R = \frac{P}{I^2}. \quad (2.13)$$

Айнымалы ток тізбегінің бөлігінде бөлінетін орташа қуат электр тогы күшінің әсерлік мәнінің квадратын тізбек бөлігінің R активті кедергісіне көбейткенге тең:

$$P = I^2 R. \quad (2.14)$$



2.3.1-сурет. $\cos^2 \omega t$ функциясының графигі

Айнымалы ток жиілігінің мәні аз болғанда, өткізгіштің *активті кедергісі жиілікке тәуелді болмайды*, мұндай жағдайда өткізгіштің активті кедергісі іс жүзінде оның тұрақты ток тізбегіндегі электр кедергісімен бірдей болады.

Айнымалы ток тізбегінде активті кедергімен қатар *реактивті кедергілер* де пайда болады. *Реактивті кедергілер* тізбекке жалғанған индуктивті шарғы мен сыйымдылық конденсаторындағы ток күшінің немесе кернеудің өзгеруі салдарынан туындайды.

3. Айнымалы ток тізбегіндегі шарғы. Айнымалы ток өтетін кез келген өткізгіште өздік индукция ЭҚК-і пайда болады. Өздік индукция құбылысының айнымалы ток тізбектеріндегі процестерге әсерін түсіну үшін қарапайым мысалды қарастырайық. Айнымалы ток тізбегіне электр кедергісі нөлге тең идеал шарғы қосылсын. Ток күшінің

$$i = I_m \cos \omega t \quad (2.15)$$

гармоникалық заң бойынша өзгеруінен шарғыда өздік индукцияның ЭҚК-і пайда болады:

$$\varepsilon = -Li' = I_m L\omega \sin \omega t, \quad (2.16)$$

мұндағы L – шарғының индуктивтілігі, ω – айнымалы токтың циклдік жиілігі.

Шарғының электр кедергісі нөлге тең болғандықтан, оның кез келген уақыттағы өздік индукция ЭҚК-інің модулі сыртқы генератордың шарғының ұштарына беретін кернеуіне тең, ал таңбасы оған қарама-қарсы:

$$u = -\varepsilon = -I_m L\omega \sin \omega t. \quad (2.17)$$

Келтіру формуласына сәйкес:

$$u = I_m L\omega \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.18)$$

Шарғының ұштарындағы кернеу тербелісінің фазасы, (2.15) және (2.18) формулаларынан, ток күшінің тербеліс фазасына қарағанда $\frac{\pi}{2}$ шамасына озып отырады. $I_m L\omega$ – кернеу тербелісінің амплитудасы:

$$U_m = I_m L\omega. \quad (2.19)$$

Мұндағы $L\omega$ шамасын X_L әрпімен белгілеп ($X_L = L\omega$), *индуктивті кедергі* деп атайды:

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = L\omega. \quad (2.20)$$

$X_L = L\omega$ индуктивті кедергіні пайдаланған кезде идеал шарғының ұштарындағы кернеу амплитудасының шарғыдағы ток күші амплитудасымен байланысы тұрақты ток тізбегі үшін Ом заңы өрнегіне ұқсайды:

$$I_m = \frac{U_m}{X_L}. \quad (2.21)$$

(2.20) және (2.21) өрнектерінен мынадай қорытынды туындайды: индуктивті кедергі айнымалы ток жиілігіне тура пропорционал, сондықтан кернеудің тербеліс амплитудасының мәні тұрақты сақталған кезде шарғыдағы ток күшінің тербеліс амплитудасы жиілікке кері пропорционал болады: $I_m \sim 1/\omega$.

Идеал шарғыдағы кернеу тербеліс фазасының ток күші тербеліс фазасына қарағанда $\frac{\pi}{2}$ шамасына ығысуы мынаған әкеледі: шарғыдағы айнымалы ток қуаты бір период ішінде таңбасын қарама-қарсы өзгертеді; олай болса период ішіндегі идеал шарғыдағы айнымалы ток қуатының орташа мәні нөлге тең.

4. Айнымалы ток тізбегіндегі конденсатор. Конденсаторды айнымалы ток тізбегіне қосқан кезде оны зарядтау процесі периодтың төрттен бір бөлігіне созылады. Амплитудалық мәнге жеткеннен кейін конденсатордың астарлары арасындағы кернеу кемиді және конденсатор периодтың төрттен бір бөлігі ішінде разрядталады. Келесі периодтың төрттен бір бөлігінде конденсатор қайта зарядталады, бірақ ондағы кернеудің полярлығы қарама-қарсы өзгереді, осылайша конденсатордың зарядталуы мен разрядталуы одан әрі алма-кезек жалғаса береді. Конденсатордың зарядталу және разрядталу процестерінің алмасу периоды сырттан берілетін айнымалы кернеудің тербеліс периодына тең.

Тұрақты ток тізбектеріндегідей, конденсатордың астарларын бөліп тұратын диэлектрик арқылы электр зарядтары өтпейді. Бірақ конденсатордың периодты түрде қайталанатын зарядталу және разрядталу процестерінің нәтижесінде оның астарларына жалғанған сымдар арқылы айнымалы ток өтеді. Айнымалы ток тізбегіне конденсатормен тізбектей жалғанған қыздыру шамы үздіксіз жанып тұрғандай көрінеді, себебі адам көзі ток күші тербелістерінің жоғары жиілігінде шам жарығының периодты әлсіреуін сезбейді.

Конденсатордағы кернеу тербелісінің амплитудасы мен ток күші тербелісінің амплитудасы арасындағы байланысты қарастырайық. Конденсатордың астарларындағы кернеу гармоникалық заң бойынша өзгереді:

$$u = U_m \cos \omega t. \quad (2.22)$$

Конденсатор астарларындағы заряд шамасы да осы заң бойынша өзгереді:

$$q = Cu = U_m C \cos \omega t.$$

Тізбектегі электр тогы күшінің тербелісі зарядтың уақыт бойынша туындысы арқылы анықталады:

$$i = q' = -U_m \omega C \sin \omega t = U_m \omega C \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.23)$$

(2.22) және (2.23) өрнектерді салыстыра отырып, айнымалы ток тізбегіндегі конденсатор астарларындағы кернеудің фазасы ток күші тербелістерінің фазасына қарағанда $\frac{\pi}{2}$ шамасына кешігетінін көреміз. $U_m \omega C$ көбейтіндісі – электр тізбегіндегі ток күші тербелісінің амплитудасы болып табылады:

$$I_m = U_m \omega C. \quad (2.24)$$

Конденсатордағы кернеудің тербеліс амплитудасының электр тогы тербелісінің амплитудасына қатынасы конденсатордың сыйымдылық кедергісі деп аталады және X_c таңбасымен белгіленеді:

$$X_c = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{C\omega}. \quad (2.25)$$

Электр тогы күшінің амплитудалық мәні мен кернеудің амплитудалық мәні арасындағы байланыс түрі тұрақты ток тізбегінің бөлігі үшін Ом заңы өрнегіне ұқсайды, тек R электр кедергісінің орнына конденсатордың X_c сыйымдылық кедергісі алынады:

$$I_m = \frac{U_m}{X_c}. \quad (2.26)$$

Конденсатордың сыйымдылық кедергісі шарғының индуктивті кедергісі сияқты тұрақты шамаға жатпайды. Ол айнымалы ток жиілігіне кері пропорционал шама. Сондықтан конденсатордағы кернеу тербелісінің тұрақты амплитудасы кезінде конденсатор тізбегіндегі ток күшінің тербеліс амплитудасы жиілікке тура пропорционал артады: $I_m \sim \omega$.

Конденсатордағы кернеудің тербеліс фазасының ток күшінің тербеліс фазасына қатысты $\frac{\pi}{2}$ шамасына ығысуы конденсатордағы айнымалы токтың қуаты периодтың бірінші жартысында оң, ал екінші жартысында теріс таңбалы болатынын көрсетеді. Ендеше, конденсатордағы айнымалы ток қуатының период ішіндегі орташа мәні нөлге тең болады. Бұндай нәтиженің физикалық мағынасы былайша түсіндіріледі: алдымен сыртқы генератордың жұмысы есебінен конденсатор зарядталады да, электр өрісінің энергиясы жинақталады, содан кейін конденсатордың электр өрісінің энергиясы есебінен қарама-қарсы бағытта электр тогы пайда болады. Нәтижесінде электр тогының жұмысы және орташа қуат нөлге тең болып қала береді.



Сұрақтар

1. Айнымалы ток тізбегіне резистор жалғанса, ондай тізбек қандай физикалық шамалармен сипатталады? Қандай формулалармен өрнектеледі? Активті кедергі деп қандай кедергіні айтады?
2. Айнымалы ток тізбегіне шарғы жалғанса, ондай тізбек қандай физикалық шамалармен сипатталады? Қандай формулалармен өрнектеледі? Реактивті кедергі, индуктивті кедергі деп қандай кедергілерді айтады?
3. Айнымалы ток тізбегіне конденсатор жалғанса, ондай тізбек қандай физикалық шамалармен сипатталады? Қандай формулалармен өрнектеледі? Сыйымдылық кедергі деп қандай кедергіні айтады?
4. Айнымалы ток тізбегіндегі конденсатордағы ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері өзара қалай байланысады? Қандай формулалармен өрнектеледі?
5. Активті кедергісін ескермеуге болатын индуктивті шарғыдағы ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері өзара қалай байланысады?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

1. Тізбек $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу көзінен және активті кедергісі бар $R (L \rightarrow 0; C \rightarrow 0)$ резистордан тұрады. Резистордан өтетін ток күшінің лездік мәнін, ток күшінің амплитудалық мәнін жазыңдар. Тізбекті сызып, осы тізбек үшін $I_m(t)$ және $U_m(t)$ тәуелділіктерінің графиктерін салыңдар. Тізбектегі ток күші мен резистордағы кернеу тербелістерінің фазалары туралы не айтуға болады?

2. Тізбек $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу көзінен және сыйымдылығы $C (R \rightarrow 0; L \rightarrow 0)$ конденсатордан тұрады. Тізбектегі ток күшінің өрнегін, ток күшінің амплитудалық мәнін, конденсатордағы кернеуді жазыңдар. Бұл тізбек үшін $I_c(t)$ және $U_c(t)$ тәуелділіктерінің графиктерін салыңдар. Конденсаторы бар тізбектегі ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалары қалай ығысқан?
3. Тізбек $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу көзінен және индуктивтілігі $L (R \rightarrow 0; C \rightarrow 0)$ шарғыдан тұрады. Шарғыдағы кернеудің лездік мәні мен тізбектегі ток күшінің мәнін, ток күшінің амплитудалық мәнін жазыңдар. Тізбекті сызып, осы тізбек үшін $I_L(t)$ және $U_L(t)$ тәуелділіктерінің графиктерін салыңдар. Индуктивті шарғысы бар тізбектегі ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалары қалай ығысқан?

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Активті кедергісін есепке алмауға болатын индуктивті шарғы стандартты жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне қосылған. 220 В кернеу кезінде ток күші 2 А болады. Шарғының индуктивтілігін табыңдар.

Берілгені:

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$L = ?$$

Шешуі:

Индуктивтілікті табу үшін $X_L = \omega L$ формуласын қолданамыз,

мұндағы $\omega = 2\pi\nu$, сондықтан $X_L = 2\pi\nu L$, осыдан: $L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$.

Айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы қолданылады, онда тек

индуктивтік кедергі бар: $I = \frac{U}{X_L}$, осыдан: $X_L = \frac{U}{I}$.

Мұнда I және U – айнымалы токтың әсер етуші мәндері. Нәтижесінде:

$$L = \frac{U}{2\pi\nu I}.$$

Есептеу жүргіземіз: $L = \frac{220}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2} = 0,35 \text{ Гн.}$

Жауабы: $L = 0,35 \text{ Гн.}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.3.1. Активті кедергісі 8 Ом, индуктивтілігі 6 мГн шарғы циклдік жиілігі 1000 рад/с-қа тең айнымалы ток көзіне жалғанған. Ток пен кернеу тербелістері арасындағы фаза ығысуын анықтаңдар. (*Жауабы:* $\approx 37^\circ$)
- 2.3.2. Конденсатор стандартты жиілікті айнымалы ток тізбегіне қосылған. Бұл тізбекке жалғанған вольтметр 220 В кернеуді, ал амперметр 2,5 А ток күшін көрсетеді. Конденсатордың сыйымдылығын табыңдар. (*Жауабы:* 36 мкФ)
- 2.3.3. Шарғының индуктивті кедергісі 500 Ом, шарғы қосылған желінің эффективті кернеуі 100 В, ток жиілігі 1000 Гц. Тізбектегі ток амплитудасы

мен шарғының индуктивтілігін анықтаңдар. Шарғының және өткізгіш сымдардың активті кедергісін елемеуге болады. (Жауабы: 0,28 А; 0,079 Гн)

- 2.3.4. Активті кедергісі өте аз шарғы стандартты жиілікті айнымалы ток тізбегіне қосылған. 120 В кернеу кезінде бұл тізбектегі ток күші 2,5 А болады. Шарғының L индуктивтілігін анықтаңдар. (Жауабы: 0,15 Гн)

B

- 2.3.5. Кедергісі 100 Ом резистор стандартты жиіліктегі кернеуі 220 В айнымалы ток желісіне қосылған. Резистордағы $i = i(t)$ ток күшінің және $u = u(t)$ кернеудің t уақытқа тәуелділігін сипаттайтын теңдеуді жазыңдар.
- 2.3.6. Шарғыны жиілігі 10 кГц айнымалы ток тізбегінен жиілігі 50 Гц тізбекке қосса, оның индуктивті кедергісі неше рет азаяды? (Жауабы: 200 рет)

C

- 2.3.7. Кернеуі 21 В тұрақты ток тізбегіне шарғыны қосқанда ток күші 7 А болды. Егер шарғыны осындай кернеумен 50 Гц жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне қоса, онда тізбектегі ток күші 3 А болады. Шарғының индуктивтілігін анықтаңдар. (Жауабы: 0,02 Гн)
- 2.3.8. Қимасы $0,5 \text{ мм}^2$ мыс сымының 100 орамынан тұратын шарғы магнит өрісінде айналады. Бір орамның ұзындығы 40 см. Шарғының ұштарына жалғанған кедергісі 5,6 Ом өткізгіштегі токтың әсерлік мәнін анықтаңдар. Орамадағы ең үлкен ЭҚК-і 2 В. Мыстың меншікті кедергісі $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. (Жауабы: 0,2 А)
- 2.3.9. Ауданы 200 см^2 рама индукциясы 1 Тл болатын магнит өрісінде өз осінің төңірегінде 10 Гц жиілікпен айналады. Уақыттың бастапқы мезетінде рама жазықтығына түсірілген тіктеуіш (нормаль) магнит индукциясы сызықтарының бойында орналасқан. Осы рама үшін индукциялық ЭҚК-інің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар. (Жауабы: $\varepsilon = 1,256 \sin 62,8 t$)
- 2.3.10. Жиілігі 50 Гц болатын айнымалы ток желісіндегі кернеудің әсерлік мәні 120 В. Өрбір жарты периодта неон шамының жанатын уақытын анықтаңдар. Шамның жанатын потенциалы 84 В. (Жауабы: 6,7 мс)

§ 2.4

Активті және реактивті кедергіден тұратын тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы

1. *Тізбектей жалғанған резистор мен конденсатордан және шарғыдан тұратын электр тізбегін қарастырайық (2.4.1-сурет). Егер осы электр тізбегінің ұштарына гармоникалық заң бойынша өзгертін ω жиіліктегі амплитудасы U_m электр кернеуі берілсе, онда тізбекте сондай жиілікпен амплитудасы I_m электр тогының еріксіз тербелістері пайда болады. Ток күші мен кернеу тербелістерінің амплитудалары арасындағы байланысты қарастырайық.*

Кез келген уақытта тізбектей жалғанған элементтердегі кернеудің лездік мәндерінің қосындысы тізбекке берілген кернеудің лездік мәніне тең:

$$u = u_R + u_L + u_C. \quad (2.27)$$

Электр тогы күшінің өзгерісі тізбектің барлық элементтерінде іс жүзінде бір мезгілде өтеді, өйткені электромагниттік өзара әсерлесу жарық жылдамдығымен таралады. Сондықтан тізбектей жалғанған барлық элементтердегі ток күшінің тербелісі мына заң бойынша орындалады:

$$i = I_m \cos \omega t. \quad (2.28)$$

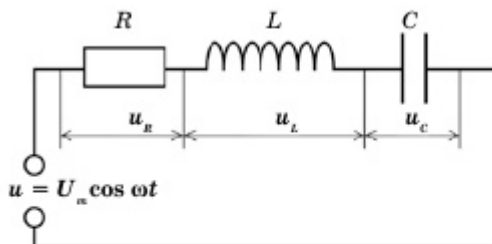
§2.3-те көрсеткеніміздей, резистордағы кернеудің тербелісі мен ток күші тербелісінің фазалары сәйкес келеді, конденсатордағы кернеудің тербеліс фазасы ток күшінің тербеліс фазасынан $\frac{\pi}{2}$ шамасына кешігеді, ал шарғыдағы кернеу тербелісінің фазасы ток күшінің тербеліс фазасынан $\frac{\pi}{2}$ шамасына озады. Сондықтан (2.27) теңдеуін периодты функциялар түрінде былай жазуға болады:

$$u = U_{Rm} \cos \omega t + U_{Lm} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) + U_{Cm} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.29)$$

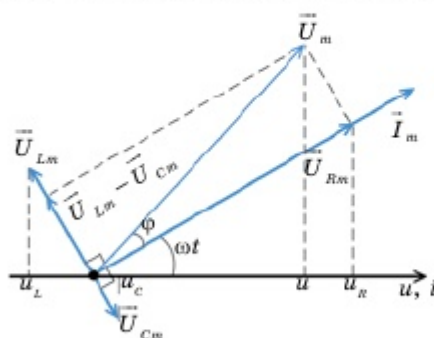
мұндағы U_{Rm} , U_{Lm} және U_{Cm} сәйкесінше резистордағы, шарғыдағы және конденсатордағы кернеу тербелістерінің амплитудалары.

2. Векторлық диаграммалар әдісін қарастырайық. Бұл әдісті қолданғанда белгілі бір бағытты таңдап алу маңызды. Бұл әдісте тізбекке әсер ететін *ток*, *кернеу* және *ӘҚК* векторлар түрінде қарастырылады. Вектордың модулі амплитудаға тең. Векторлар арасындағы бұрыш φ сан мәні бойынша олардың арасындағы фазалар ығысуына тең. Тізбектей жалғанған желілер үшін алғашқы бағыт ретінде, әдетте ток \vec{I}_m векторын таңдайды (2.4.2-сурет) да, соған қарап барлық фазалар ығысулары есептеледі, ал параллель тізбекте бас бағытқа кернеу векторының бағыты алынады.

Резистордағы, индуктивтік шарғыдағы және конденсатордағы кернеулер мен ток күшінің амплитудалық мәндерінің арасындағы байланыс (2.7), (2.19) және (2.24) формулаларында берілген. Резистордағы кернеу векторы $\vec{U}_{Rm} = R\vec{I}_m$ ток векторына параллель ($\varphi = 0$). Осы сияқты индуктивті және сыйымдылық кернеулерінің векторлар модульдері мына шамаларға тең: $U_{Lm} = \omega LI_m$ және $U_{Cm} = \frac{I_m}{\omega C}$. \vec{I}_m және \vec{U}_{Lm} векторлары сағат тіліне қарама-қарсы бағытта 90° бұрышпен, ал \vec{U}_{Cm} векторы оған кері бағытта салынады.



2.4.1-сурет. Айнымалы ток тізбегі



2.4.2-сурет. Векторлық диаграммалар

3. Айнымалы ток тізбегіндегі кернеу тербелісінің амплитудасын **векторлық диаграммалар әдісін** пайдалана отырып, оның жекелеген элементтеріндегі кернеудің амплитудалық мәндері арқылы көрсетуге болады. Векторлық диаграмманы құру кезінде резистордағы кернеудің тербелістері мен электр тогы күшінің тербеліс фазаларының сәйкес келетінін ескеру қажет. Сондықтан \vec{U}_{Rm} және \vec{I}_m векторларының бағыты сәйкес келеді (2.4.2-сурет). Конденсатордағы кернеу фаза бойынша ток күшінен $\frac{\pi}{2}$ -ге кешігетіндіктен, \vec{U}_{Cm} және \vec{I}_m векторының арасындағы бұрыш 90° -ты құрайды. Шарғыдағы кернеу фаза бойынша ток күшінен $\frac{\pi}{2}$ -ге озатындықтан, \vec{U}_{Lm} векторы мен \vec{I}_m векторының арасындағы бұрыш 90° -ты құрайды.

Векторлық диаграммада резистордағы, конденсатордағы және шарғыдағы кернеулердің лездік мәндері сағат тіліне қарсы бірдей ω бұрыштық жылдамдықпен айналатын U_{Rm} , U_{Cm} және U_{Lm} векторларының горизонталь осьтегі проекцияларымен анықталады. Тұтас тізбектегі кернеудің лездік мәні u тізбектің жекелеген элементтеріндегі кернеудің u_R , u_L және u_C лездік мәндерінің жиынтығына, яғни горизонталь осьтегі U_{Rm} , U_{Cm} және U_{Lm} векторлары проекцияларының жиынтығына тең. Сондықтан толық кернеудің \vec{U}_m амплитудасын жоғарыда көрсетілген векторлардың модульдерінің қосындысы ретінде табуға болады:

$$\vec{U}_m = \vec{U}_{Rm} + \vec{U}_{Cm} + \vec{U}_{Lm}. \quad (2.30)$$

2.4.2-суреттегі тікбұрышты үшбұрыштан толық тізбектегі кернеу тербелісінің U_m амплитудасын Пифагор теоремасы бойынша табамыз:

$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + (U_{Lm} - U_{Cm})^2} \quad (2.31)$$

немесе

$$U_m = \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2} = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (2.32)$$

Бұдан активті және реактивті кедергілерден тұратын тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңын аламыз:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (2.33)$$

Мұндағы бөлшектің бөліміндегі шама **тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегінің толық электр кедергісі** деп аталады да, Z әрпімен белгіленеді:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (2.34)$$

4. Толық кернеудің тербеліс фазасы $\omega t + \varphi$ шамасына тең болғандықтан (2.4.2-сурет), тізбектей жалғанған тізбектің толық кернеуінің лездік мәні мына формуламен анықталады:

$$u = U_m \cos(\omega t + \varphi). \quad (2.35)$$

Электр тогы күшінің тербеліс фазасына қатысты кернеудің тербеліс фазасының φ ығысуын векторлық диаграммадан табуға болады:

$$\cos \varphi = \frac{U_{Rm}}{U_m} = \frac{R}{Z} \quad (2.36)$$

немесе

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (2.37)$$

Ығысу бұрышын мына өрнекпен де табады:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (2.38)$$



Сұрақтар

1. Резистор, шарғы және конденсатор тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегіндегі ток күші мен кернеудің лездік мәндері үшін теңдеулер қалай жазылады?
2. Резистор, шарғы және конденсатор тізбектей жалғанған толық тізбек үшін кернеу мен ток күшінің амплитудалық мәндерін: а) векторлық диаграммалар әдісімен; ә) аналитикалық өрнектермен (яғни формулалармен) қалай анықтауға болады?
3. Резистор, шарғы және конденсатор қосылған айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы қалай жазылады?
4. Қандай шама айнымалы ток тізбегіндегінің толық электр кедергісі деп аталады және қандай формулалармен өрнектеледі?
5. Кернеу мен токтың арасындағы фазалық ығысу векторлық диаграмма арқылы және аналитикалық түрде қалай анықталады?



Тапсырма (эксперименттік зерттеулер)

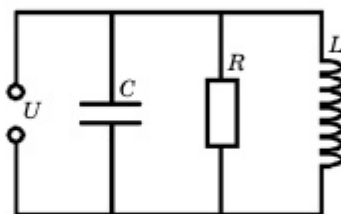
1. Қыздыру шамы индуктивті шарғымен тізбектей жалғанған. Егер айнымалы токтың жиілігін кемітіп, шарғыға темір өзекшені ендірсе шамның қызуы қалай өзгереді? Айнымалы ток күшінің мәнін тұрақты деп аламыз.
2. Бір-біріне тізбектей жалғанған кедергісі R резистордан және сыйымдылығы C конденсатордан тұратын айнымалы ток тізбегінің векторлық диаграммасын құрындар. Тізбек ұштарына $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ айнымалы кернеу берілген. Тізбектің кедергісін анықтаңдар.
3. Бір-біріне тізбектей жалғанған кедергісі R резистордан, сыйымдылығы C конденсатордан және индуктивтілігі L шарғыдан тұратын айнымалы ток тізбегі берілген. Тізбек ұштарына $u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ айнымалы кернеу беріледі. Берілген тізбектің толық кедергісі неге тең болады?
4. Тізбекке сыйымдылығы айнымалы конденсатор және қыздыру шамдары тізбектей қосылған. Егер тұрақты кернеу кезінде конденсатордың сыйымдылығын арттырса, шамның қызуы қалай өзгереді?
5. Тізбекке сыйымдылығы айнымалы конденсатор мен қыздыру шамы тізбектей қосылған. Егер конденсатордың сыйымдылығын азайтса, конденсаторға параллель тағы бір сондай конденсаторды қосса, осындай конденсаторды тізбектей жалғаса, айнымалы ток жиілігін арттырса, шамның қызуы қалай және неге өзгереді?



Айнымалы ток тізбегіне активті және реактивті кедергілерді параллель қосуға да болады. Оны төмендегі мысалда қарастырамыз.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Сыйымдылығы $C = 200$ мкФ конденсатор, кедергісі $R = 100$ Ом резистор және индуктивтілігі $L = 50$ мГн шарғы бір-біріне параллель жалғанған және кернеуі $U = 220$ В ток көзіне қосылған (2.4.3-сурет). Тізбектің параллель бөліктеріндегі I_{Cm} , I_{Rm} және I_{Lm} ток күштерінің амплитудалық мәндерін, тізбектің тармақталмаған бөлігіндегі I_m ток күшінің амплитудасын анықтаңдар.



2.4.3-сурет

Айнымалы ток жиілігі стандартты. Тізбектің Z толық кедергісін табыңдар.

<i>Берілгені:</i>	<i>ХБЖ</i>	<i>Шешуі:</i>
$C = 200$ мкФ	$2 \cdot 10^{-4}$ Ф	Амплитудалық кернеу $U_m = U\sqrt{2}$ тізбектің барлық параллель бөліктерінде бірдей болғандықтан, жеке бөліктердегі ток күштерінің амплитудаларын табу үшін Ом заңын қолданамыз:
$R = 100$ Ом	$5 \cdot 10^{-2}$ Гн	
$L = 50$ мГн		
$U = 220$ В		
$\nu = 50$ Гц		
$I_{Cm} - ?$		$I_{Cm} = \frac{U_m}{X_c} = \frac{U\sqrt{2}}{X_c}, \quad (1)$
$I_{Rm} - ?$		мұндағы сыйымдылық кедергі
$I_{Lm} - ?$		$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}. \quad (2)$
$I_m - ?$		(2) теңдікті (1)-ге қойып, іздеп отырған шамалардың бірін табамыз:
$Z - ?$		$I_{Cm} = 2\sqrt{2}\pi\nu CU. \quad (3)$

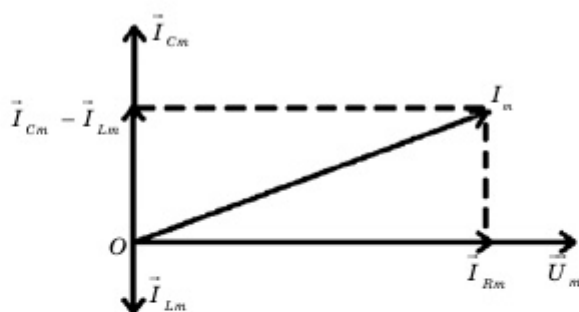
Осыған ұқсас жолмен I_{Rm} шамасын табамыз:

$$I_{Rm} = \frac{U_m}{R} \quad \text{немесе} \quad I_{Rm} = \frac{U\sqrt{2}}{R}. \quad (4)$$

Жоғарыдағы амалдарға сәйкес I_{Lm} анықталады: $I_{Lm} = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U\sqrt{2}}{X_L}$, мұндағы индуктивті кедергі $X_L = \omega L = 2\pi\nu L$, сондықтан

$$I_{Lm} = \frac{U\sqrt{2}}{2\pi\nu L}. \quad (5)$$

Тізбектің жалпы бөлігіндегі ток күшінің I_m амплитудасы оның параллель бөлігіндегі ток күштерінің амплитудаларының қосындысына тең болмайды, өйткені олардағы ток күші максимум шамасына уақыттың әртүрлі мезетінде жетеді. Сондықтан I_m шамасын табу үшін векторлық диаграмма қолданылады (2.4.4-сурет), алғашқы бағыт ретінде \vec{U}_m бағыты алынады.



2.4.4-сурет

Горизонталь бойымен активті кедергідегі ток көзінің \vec{I}_{Rm} амплитудасына сәйкес келетін векторды саламыз. Нақ осы вектормен \vec{U}_m кернеу амплитудасының векторы сәйкес келеді. Конденсатордағы кернеу тербелістері ток күшінің тербелісінен $\frac{\pi}{2}$ шамасына қалып отырады. Басқаша айтсақ, ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ шамасына озып отырады. Ендеше, олар резистордағы ток күшінің тербелістерінен де $\frac{\pi}{2}$ шамасына озып отырады. Сондықтан \vec{I}_{Cm} ток күшінің амплитудасына сәйкес векторды біз вертикаль жоғары бағыттап саламыз. Шарғыдағы ток күшінің тербелісі фазасы бойынша кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ шамасына кешігеді, сондықтан \vec{I}_{Lm} сәйкес келетін векторды вертикаль төмен бағыттауымыз. Содан соң \vec{I}_{Rm} және $\vec{I}_{Cm} - \vec{I}_{Lm}$ шамаларына сәйкес келетін векторлардың векторлық қосындысын тауып, Пифагор теоремасының көмегімен I_m мәнін анықтаймыз:

$$I_m = \sqrt{I_{Rm}^2 + (I_{Cm} - I_{Lm})^2}. \quad (6)$$

Мұндай тізбектегі Z толық кедергіні табу үшін (3), (4), (5) және (6) өрнектерін тиісті теңдіктерге қойып, әрі Ом заңына сәйкес мына өрнекті де ескереміз:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U\sqrt{2}}{Z}; \text{ сондықтан}$$

$$Z = \frac{U\sqrt{2}}{I_m}.$$

Есептеулерді жүргізейік:

$$I_{Cm} = 2\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 220 \approx 19,54 \text{ А},$$

$$I_{Rm} = \frac{220\sqrt{2}}{100} = 3,11 \text{ А},$$

$$I_{Lm} = \frac{220\sqrt{2}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,05} = 19,82 \text{ А},$$

$$I_m = \sqrt{3,11^2 + (19,54 - 19,82)^2} = 3,12 \text{ А.}$$

$$Z = \frac{220\sqrt{2}}{3,12} = 99,7 \text{ Ом.}$$

$$\text{Жауабы: } I_{C_m} = 19,54 \text{ А, } I_{R_m} = 3,11 \text{ А,} \\ I_{L_m} = 19,82 \text{ А, } I_m = 3,12 \text{ А, } Z = 99,7 \text{ Ом.}$$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.4.1. Конденсатор мен индуктивтік шарғыдан тұратын тербелмелі контурда ток күшінің амплитудалық мәні $I_m = 1$ мА. Конденсатор астарларындағы зарядтың максимал мәні $Q_m = 2$ мкКл, оның сыйымдылығы $C = 20$ мкФ. Шарғының индуктивтілігін анықтаңдар. (Жауабы: 0,2 Гн)
- 2.4.2. Тербелмелі контур сыйымдылығы 50 мкФ конденсатордан, индуктивтілігі 25 мГн шарғыдан және 20 Ом активті кедергіден тұрады. Контурдағы еркін электрмагниттік тербелістердің жиілігін анықтаңдар. (Жауабы: 127 Гц)
- 2.4.3. Кернеуі 220 В стандартты жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне 150 Ом активті кедергі және сыйымдылығы 16 мкФ конденсатор тізбектей қосылған. Тізбектегі ток күшінің I_m максимал мәнін табыңдар. (Жауабы: 1,25 А)

В

- 2.4.4. Стандартты жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне кедергісі 500 Ом резистор мен индуктивті шарғыны тізбектей қосқанда кернеу мен ток күші тербелістері арасындағы фазалар ығысуы $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$ шамасын құрады. L шарғының индуктивтілігін табу керек. Фаза бойынша φ_2 ығысу нөлге тең болу үшін тізбекке қандай C сыйымдылығын қосу керек? (Жауабы: 1,6 Гн; $6,3 \cdot 10^{-6}$ Ф)
- 2.4.5. Сыйымдылығы C зарядталған конденсатор индуктивтіліктері L_1 және L_2 екі параллель шарғыға қосылған. K кілт тұйықталғаннан кейін L_1 шарғыдағы максимал ток I_{m_1} болды. Тұйықталу кезінде конденсатор астарларындағы q_m максимал зарядты табу керек. Активті кедергіні елемеуге болады.

$$\text{(Жауабы: } q_m = I_{m_1} \sqrt{CL_1 \left(1 + \frac{L_1}{L_2}\right)})$$

- 2.4.6. Тербелмелі контур конденсаторындағы кернеудің әсерлік мәні 100 В. Конденсатордың сыйымдылығы 10 пФ. Конденсатор мен шарғыдағы энергияның максимал мәнін анықтаңдар. (Жауабы: 0,1 мкДж)

С

- 2.4.7. Сыйымдылығы 40 нФ конденсаторды 100 В-қа дейін зарядтап, индуктивтілігі 0,1 мГн шарғыға тұйықтаған. Тербелмелі контурдың кедергісін ескермейтіндей аз деп есептеп, ондағы токтың амплитудасын анықтаңдар. (Жауабы: 2 А)

- 2.4.8. Сыйымдылығы 1 мкФ конденсатор, индуктивтілігі 0,2 Гн шарғы және резистор стандартты жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне тізбектей қосылған. Тізбектегі ток күшінің амплитудасы 3 А, тізбектің ұштарына жалғанған вольтметрдің көрсетуі 300 В. Резистордағы кернеудің амплитудасын анықтаңдар. (*Жауабы: 385 В*)
- 2.4.9. Кедергісі 10 Ом, индуктивтілігі L шарғы жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне қосылған. Ток пен кернеудің фазаларының ығысуы 60° деп есептеп, шарғының индуктивтілігін анықтаңдар. (*Жауабы: 0,055 Гн*)
- 2.4.10. Индуктивтілігі 0,0184 Гн шарғы және R резистор бір-біріне параллель жалғанып, жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне қосылған. Егер ток пен кернеу арасындағы фазалар ығысуы 60° болса, онда R кедергі қандай болады? (*Жауабы: 10 Ом*)

§ 2.5

Айнымалы ток тізбегіндегі қуат

1. Айнымалы ток тізбегіндегі p лездік қуат i ток күшінің және u кернеудің лездік мәндерінің көбейтіндісіне тең:

$$p = iu. \quad (2.39)$$

Ток күші мен тізбектегі кернеу периодты түрде өзгертін болғандықтан, лездік қуат та уақыт ағымында өзгереді. Сондықтан айнымалы ток тізбегі әдетте оның орташа қуатымен сипатталады.

Айнымалы токтың P орташа қуатын **активті қуат** немесе **айнымалы ток қуаты** деп атайды. Тізбекте реактивті элементтер болған кезде электр тогының күші мен тізбектегі кернеудің тербелістері арасында φ бұрышына тең фазалар ығысуы пайда болады:

$$u = U_m \sin \omega t = U \sqrt{2} \sin \omega t, \quad (2.40)$$

$$i = I_m \sin (\omega t - \varphi) = I \sqrt{2} \sin (\omega t - \varphi). \quad (2.41)$$

Осыған орай **айнымалы токтың қуаты (активті қуат)** мынаған тең:

$$P = UI \cos \varphi, \quad (2.42)$$

мұндағы φ – ток күші мен кернеу тербелістері арасындағы фазалар ығысуы, I және U – ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері.

Ал $\cos \varphi$ шамасы – **қуат коэффициенті** деп аталады.

Соңғы формула мынаны көрсетеді: айнымалы ток желісінде тұтынатын қуат ток пен кернеудің тербеліс амплитудасына ғана емес, сонымен қатар қуат коэффициентінің мәніне де, яғни электр тогы мен кернеудің тербеліс фазаларының ығысуына да тәуелді болады.

2. Айнымалы ток желілеріндегі ток күші мен кернеу тербелістері фазаларының ығысуы индуктивті кедергілері едәуір жоғары элементтерді (мысалы, электр қозғалтқыштары мен трансформаторларды) тізбекке қосудан туындайды. Қуат коэффициентінің төмендеуі айнымалы токтың пайдалы қуатының азаюына әкеледі. Қуат коэффициентін арттыру үшін индуктивті элементтермен *параллель* жалғанған конденсаторларды қосады, бұл кезде тізбектің толық кедергісі мына формуламен анықталады:

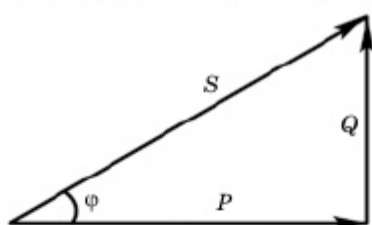
$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}. \quad (2.43)$$

3. Активті және реактивті кедергілері бар айнымалы ток тізбегінде активті қуатпен қатар реактивті қуат та өндіріледі.

Активті қуат $P = UI \cos \varphi$ ток көзінің электрмагниттік энергиясын энергияның басқа түрлеріне: механикалық, жылу, жарық және т.б. энергияларға қайтымсыз түрлендіру процесін сипаттайды.

Реактивті қуат $Q = UI \sin \varphi$ ток көзінің электрмагниттік энергиясын шарғының магнит өрісінің энергиясына және конденсатордың электр өрісінің энергиясына қайтымды түрлендіру процесін сипаттайды.

Толық қуат $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$ ток пен кернеудің берілген әсерлік мәндері кезінде активті қуаттың ең үлкен мәнін сипаттайды.



2.5.1-сурет.

Қуаттар диаграммасы

Толық, активті және реактивті қуаттар, 2.5.1-суретте көрсетілгендей, бір-бірімен векторлық диаграмма (қуаттардың үшбұрышы) түріндегі тригонометриялық қатынастықтар құрайды.

2.5.1-суреттен байқағанымыздай, айнымалы ток тізбегінің **қуат коэффициентін** активті қуаттың толық қуатқа қатынасы арқылы анықтауға болады:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (2.44)$$

Қуат түрлерінің өлшем бірліктері бірдей болғандықтан, оларды бір-бірінен ажырату үшін активті қуаттың бірлігі – **ватт (Вт)**, толық қуаттың бірлігі – **вольтампер (ВА)**, ал реактивті қуаттың бірлігі – **вольтампер реактивті (ВАр)** деп алынады.



Қосымша дерек

- Резистор активті қуатты тұтынады және оны жылу мен жарық түрінде береді.
- Индуктивтілік реактивті қуатты тұтынады және оны магнит өрісі түрінде береді.
- Конденсатор реактивті қуатты тұтынады және оны электр өрісі түрінде береді.



Сұрақтар

1. Лездік қуат және активті қуат сияқты физикалық ұғымдардың айырмашылықтары қалай түсіндіріледі?
2. Қуат коэффициентін қалай арттыруға болады?
3. Айнымалы токтың активті және реактивті қуаты ұғымдарының физикалық мағынасы қандай?
4. «Қуаттардың үшбұрышы» нені білдіреді? Қуат коэффициенті қалай анықталады?
5. Активті, реактивті және толық қуаттар қандай өлшем бірліктерімен өлшенеді?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

Қатты сымның бойымен қалалық желіден айнымалы ток өткізіледі де, оған параллель жіңішке жұмсақ металл қыл сымын (жібін) орналастырады. Бірінші жағдайда қыл сым бойымен қалалық желіден айнымалы ток өткізіледі. Екінші жағдайда тұрақты ток өткізіледі. Өр жағдай үшін қыл сымда не болып жатқанын түсіндіріңдер.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Электр желісіне $R = 1$ кОм кедергі, индуктивтілігі 50 Гн шарғы және сыйымдылығы $C = 1$ мкФ конденсатор тізбектей жалғанған. Тізбектегі кернеу мен ток арасындағы фазалардың φ ығысуын табыңдар. Егер кернеу амплитудасы $U_m = 100$ В, ал ток тербелісінің жиілігі $\nu = 50$ Гц болса, осы тізбектегі токтың орташа қуаты қандай?

Берілгені:	ХБЖ
$R = 1$ кОм	10^3 Ом
$L = 50$ Гн	
$C = 1$ мкФ	$1 \cdot 10^{-6}$ Ф
$U_m = 100$ В	
$\nu = 50$ Гц	
$\varphi = ?$	
$P = ?$	

Шешуі:

Сыйымдылық пен индуктивтілігі бар айнымалы ток тізбегіндегі ток пен кернеу арасындағы фазалардың ығысуы мына формуламен анықталады:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Мұндағы $\omega = 2\pi\nu$. Онда

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}}{R}.$$

Осыдан фазалардың ығысуы φ -ді анықтау қиын емес:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}}{R} \right).$$

Айнымалы токтың орташа қуаты P :

$$P = UI \cos \varphi. \quad (1)$$

Мұндағы U және I – осы тізбектегі кернеу мен ток күшінің әсерлік мәндері. Кернеудің әсерлік және амплитудалық мәндері мына формуламен байланысқан:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Ток күшінің I әсерлік мәнін табу қиындау. Оны толық айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы бойынша анықтауға болады:

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

Бұдан $\omega = 2\pi\nu$ және $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ шамаларын ескере отырып, мынаны аламыз:

$$I = \frac{U_m}{\sqrt{2 \left(R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C} \right)^2 \right)}}. \quad (3)$$

(2) және (3)-ті (1)-ге қойып, екінші ізделетін шама P қуатты табамыз:

$$P = \frac{U_m^2 \cos \varphi}{2 \sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C} \right)^2}}.$$

Есептеу жүргіземіз:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50 - \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}}{10^8} \right) = 85,5^\circ.$$

$$P = \frac{10^4 \cdot \cos 85,5^\circ}{2 \sqrt{10^8 + \left(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50 - \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} \right)^2}} = 0,03 \text{ Вт.}$$

Жауабы: $\varphi = 85,5^\circ$; $P = 0,03 \text{ Вт.}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.5.1. Индуктивті шарғыға $u = 100 \cos 100\pi t$ заңы бойынша өзгертін кернеу береді. Шарғыдағы ток күшінің амплитудасы 8 А , оның активті кедергісі 2 Ом . Шарғының индуктивтілігін L , активті ток қуатын P және қуат коэффициентін $\cos \varphi$ анықтаңдар.

(Жауабы: $9,3 \text{ Гн}$; 226 Вт ; $0,565$)

2.5.2. Электр тізбегі бір-біріне тізбектей жалғанған 4 Ом кедергіден, индуктивтілігі 6,37 мГн шарғыдан және сыйымдылығы 159 мкФ конденсатордан тұрады; тізбек жиілігі 200 Гц және кернеуі 120 В синусоидалы ток көзінен қоректенеді. Тізбектегі токты, барлық бөліктердегі кернеуді, активті, реактивті және толық қуатты есептеңдер.

(Жауабы: 24 А; 96 В; 32 В; 20 В; 2304 Вт; 2880 ВАр; 2880 ВА)

2.5.3. Кернеуі 220 В, жиілігі 50 Гц айнымалы токтың электр тізбегіне индуктивтілігі 0,0127 Гн және активті кедергісі 3 Ом шарғы қосылған. Шарғының реактивті кедергісін, шарғыдағы токты, шарғыдағы активті және реактивті қуатты, шарғының магнит өрісінде жинақталған энергияны табыңдар. (Жауабы: 4 Ом; 44 А; 5808 Вт; 7744 ВАр; 24,59 Дж)

2.5.4. Кедергісі 9,9 Ом жүктеме тұтынатын қуат вольтметр мен амперметрдің көмегімен өлшенеді. Вольтметр 120 В, амперметр 12 А көрсетеді. Аспаптардың көрсеткіштерінде қателіктер жоқ дей отырып, R_x кедергісі тұтынатын қуатты есептеңдер. Қуатты өлшеу қателіктерін табыңдар.

(Жауабы: 1425,6 Вт; 1%)

В

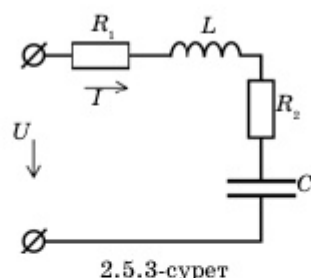
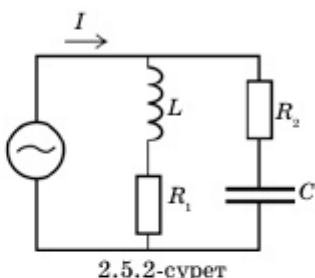
2.5.5. Кернеуі 240 В және жиілігі 50 Гц айнымалы электр тогының генераторына сыйымдылығы 40 мкФ конденсатор қосылған. Мыналарды анықтаңдар: сыйымдылықтың реактивті кедергісін; электр тізбегіндегі токты; тізбектің реактивті қуатын; конденсатордың электр өрісінде жинақталған максимал энергияны. (Жауабы: 80 Ом; 3 А; 720 ВАр; 2,3 Дж)

2.5.6. Индуктивтілігі 0,318 Гн және активті кедергісі 100 Ом шарғы жиілігі 50 Гц, өсерлік мәні 120 В синусоидалы кернеу көзіне жалғанған. Тізбекте жинақталған қуатты анықтаңдар. (Жауабы: 72,1 Вт)

2.5.7. Айнымалы ток желісіне индуктивтілігі 3 мГн және активті кедергісі 20 Ом шарғы мен сыйымдылығы 30 мкФ конденсатор тізбектей қосылған. Конденсатордағы кернеу 50 В. Мыналарды: тізбектің қысқыштарындағы кернеуді, тізбектегі токты, шарғыдағы кернеуді, активті және реактивті қуатты анықтаңдар. (Жауабы: 50,44 В; 0,471 А; 0,44 В; 4,44 Вт; -23,34 ВАр)

С

2.5.8. Тізбекке, 2.5.2-суретте көрсетілгендей, шарғы, конденсатор және резистор қосылған. Ток көзінің кернеуі 100 В, жиілігі 100 Гц. Шарғының индуктивтілігі 15 мГн, конденсатордың сыйымдылығы 20 мкФ, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 30$ Ом. Тізбектегі токтарды, активті, реактивті және толық қуатты анықтаңдар. (Жауабы: 6,9 А; 7,27 А; 1,17 А; 570 Вт; 389 ВАр; 690 ВА)

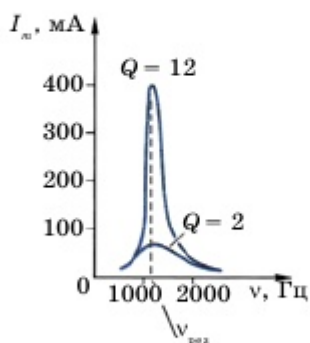


- 2.5.9. Кернеуі 220 В, жиілігі 50 Гц айнымалы токтың электр тізбегіне индуктивтілігі 25,5 мГн және активті кедергісі $R_A = 6$ Ом шарғы қосылған. $I = 22$ А, $U_A = 132$ В, $\cos \varphi = 0,6$. Активті кедергідегі ең үлкен қуатты; активті, реактивті және толық қуатты анықтаңдар. (Жауабы: 5808 Вт; 2904 Вт; 3872 ВАр; 4840 ВА)
- 2.5.10. Активті кедергісі $R_1 = 10$ Ом және индуктивтілігі $L = 0,0318$ Гн шарғыға активті кедергісі $R_2 = 1$ Ом және сыйымдылығы $C = 796$ мкФ қабылдағыш тізбектей жалғанған (2.5.3-сурет). Тізбекке $u = 169,8 \sin(314 t)$ заңы бойынша өзгертін айнымалы кернеу беріледі. Тізбектің толық кедергісін; тізбектің қуат коэффициентін; тізбектегі токты; активті, реактивті және толық қуатты анықтаңдар.
(Жауабы: 12,5 Ом; 0,88; 9,6 А; 1014 Вт; 553 ВАр; 1152 ВА)

§ 2.6

Электр тізбегіндегі кернеулер резонансы

1. Айнымалы ток элементтерін электр тізбегіне тізбектей жалғау кезіндегі резонанс. Тізбектей жалғанған электр тізбегінің айнымалы токқа жасайтын



толық кедергісі тек тізбектің параметрлеріне ғана емес, айнымалы токтың жиілігіне де тәуелді болады. Егер электр тізбегіне айнымалы ток амперметрін қосса, онда кернеу тербелісінің тұрақты амплитудасы кезінде ток күші тербелісі амплитудасының жиілікке тәуелділігі 2.6.1-суретте көрсетілген қисықтармен өрнектеледі.

Электр тогы күшінің тербеліс амплитудасының жиіліктің белгілі бір $\nu_{рез}$ мәнінде максимал мәнге дейін өсу құбылысын электрлік резонанс, ал максимал мәнге жететін жиілігін резонанстық жиілік деп атайды.

Тізбектегі ток күшінің жиілікке мұндай тәуелділігі төменгі жиіліктерде конденсатордың айнымалы токқа

әсер ететін сыйымдылық кедергісінің $\left(X_c = \frac{1}{\omega C}\right)$ өте үлкен шамаға жетуімен түсіндіріледі. Жиілік өскен сайын бұл кедергі кемиді, ал тізбектегі ток күші артады. Төменгі жиілікте шарғының индуктивті кедергісі ($X_L = \omega L$) кемиді де, жоғары жиілікте артады. Резонанстық жиілікте шарғының индуктивті кедергісі конденсатордың сыйымдылық кедергісіне тең:

$$X_L = X_c \text{ немесе } \omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ ендеше } \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = 0, \quad (2.45)$$

сондықтан ток күші (2.33) формуласына сәйкес максимал мәніне жетіп, электрлік резонанс пайда болады (2.6.1-сурет). Жоғары жиіліктерде индуктивті кедергі сыйымдылық кедергісінен асып түседі. Резонанстық жиіліктерден үлкен жиіліктерде индуктивті кедергі тізбектегі ток күшінің кемуіне әкеледі.

Тізбектей қосылған конденсатордағы және индуктивті шарғыдағы кернеудің тербелістері қарама-қарсы фазада өтетіндіктен, әрі электр тогы тізбектің барлық элементтерінде бірдей болғандықтан, шарғы мен конденсатордағы кернеу кез келген уақытта, олардың кедергілері тең болған кезде модульдері бойынша бірдей, бірақ қарама-қарсы таңбаланады:

$$u_L = -u_c. \quad (2.46)$$

(2.46)-ны ескерсек резистордағы лездік кернеу түсірілген кернеуге тең:

$$u = u_R + u_L + u_c = u_R. \quad (2.47)$$

Ендеше, (2.45) шарты және одан туындайтын (2.46) мен (2.47) шарттары да *кернеу резонансын* анықтайды.

Индуктивті және сыйымдылық кедергілері бірдей болған кезде тізбектей жалғанған айнымалы ток желісінде пайда болатын резонанс кернеулер резонансы деп те аталады.

(2.47) шартынан резонанс кезіндегі тізбектегі ток күшінің лездік және резонанстық мәндерін табуға болады:

$$i_{\text{рез}} = \frac{u}{R}, \quad (2.48)$$

$$I_{\text{рез}} = \frac{U_m}{R}. \quad (2.49)$$

Осындай нәтижені резонанс шартын (2.45) пайдалана отырып та алуға болады. Бұл шарт шарғының индуктивтілігі мен конденсатордың электр сыйымдылығының белгілі мәндері бойынша $\omega_{\text{рез}}$ резонанстық жиілікті анықтауға мүмкіндік береді. (2.45) теңдігінен мынаны аламыз:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0. \quad (2.50)$$

Осылайша, *айнымалы ток жиілігі контурдағы ω_0 еркін тербеліс жиілігімен сәйкес келген кезде резонанс туындайды.*

2. Резонанс кезінде шарғының индуктивті кедергісі мен конденсатордың сыйымдылық кедергісін индуктивтілік пен электр сыйымдылықтың мәндері арқылы өрнектеуге болады:

$$X_L = X_C = L\omega_{\text{рез}} = \frac{L}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.51)$$

Резонанс кезіндегі шарғы мен конденсатордағы кернеу тербелістерінің амплитудасын анықтайық:

$$U_{Lm} = U_{Cm} = I_m X_L = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.52)$$

(2.52) өрнегі шарғы мен конденсатордағы кернеу тербелістерінің амплитудалары резонанс кезінде берілген кернеудің тербеліс амплитудасынан едәуір асып кете алатынын көрсетеді.

$\sqrt{\frac{L}{C}}$ физикалық шамасы тербеліс контурының *толқындық кедергісі* деп аталады және ρ әрпімен белгіленеді:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.53)$$

(2.52) және (2.53) өрнектерінен резонанс кезінде шарғыдағы (немесе конденсатордағы) кернеу амплитудасының берілген кернеу амплитудасына қатынасы және контурдың толқындық кедергісінің оның активті кедергісіне қатынасы бір-біріне тең болатыны шығады:

$$\frac{U_{Lm}}{U_m} = \frac{U_{Cm}}{U_m} = \frac{I_m \rho}{I_m R} = \frac{\rho}{R}. \quad (2.54)$$

Бұл қатынас тербеліс контурының *сапалылығы* деп аталады және Q әрпімен белгіленеді:

$$Q = \frac{\rho}{R}. \quad (2.55)$$

Сапалылық 100 немесе одан да жоғары мәнге жетуі мүмкін. Контурдың сапалылығын біле отырып, белгілі кернеу амплитудасы бар айнымалы кернеу көзін қосқан кездегі шарғыдағы немесе конденсатордағы кернеудің еріксіз тербелісінің резонанстағы амплитудасын анықтауға болады. Мысалы, сапалылығы $Q = 100$ болатын тербеліс контурына амплитудасы 1 В айнымалы кернеу көзі қосылатын болса, онда резонанс орын алғанда шарғыдағы және конденсатордағы кернеудің мәжбүр тербелісінің амплитудасы 100 В-қа жетеді.

Тербелмелі контурды резонансқа келтіру кезіндегі кернеу амплитудасының арту құбылысы радиотехникада (радиоқабылдағыштар, күшейткіштер, жоғары жиілікті тербеліс генераторлары сұлбаларында) кеңінен қолданылады. Контурдың сапалылығы өскенде резонанстық шыңның ені кемиді. Өртүрлі

контурдың $Q = 2$ және $Q = 12$ сапалылығының мәндерінде алынған резонанстық қисықтардың түрі 2.6.1-суретте көрсетілген.

3. Айнымалы ток элементтерін электр тізбегіне параллель жалғағандағы резонанс. Резисторды, конденсаторды және шарғыны параллель жалғағанда тізбектің барлық элементтеріндегі кернеу $u = U_m \cos \omega t$ заңдылығы бойынша өзгереді, ал жалпы тізбектегі толық ток кез келген уақытта параллель тармақтардағы ток күшінің лездік мәндерінің жиынтығына тең. Жалпы тізбектегі ток күшінің тербеліс амплитудасы ток күшінің векторлық диаграммасындағы (2.4.4-сурет) тікбұрышты үшбұрыштан Пифагор теоремасына сәйкес анықталады:

$$I_m = \sqrt{I_{Rm}^2 + (I_{Cm} - I_{Lm})^2} = U_m \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}. \quad (2.56)$$

R реактивті, $\frac{1}{\omega C}$ сыйымдылық және ωL индуктивті кедергілерге кері пропорционал $\frac{1}{R}$, ωC және $\frac{1}{\omega L}$ шамалар өткізгіштік деп аталады.

ω жиілігінің кейбір мәнінде шарғының индуктивті кедергісі конденсатордың сыйымдылық кедергісіне тең:

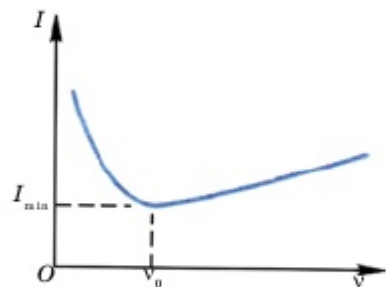
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ бұдан } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (2.57)$$

Мұндай жиілікте шарғы және конденсатор арқылы кез келген уақытта өтетін токтардың модульдері тең, бағыттары (немесе тербеліс фазалары) қарама-қарсы болып келеді. Олардың қосындысы нөлге, ал жалпы тізбектегі ток күші активті кедергі арқылы өтетін ток күшіне тең:

$$i = i_R, I_m = I_R = \frac{U_m}{R}. \quad (2.58)$$

(2.57) шарты орындалса электр тізбегінің толық кедергісі $Z = R$ ең үлкен мәнін қабылдайды. Параллель электр тізбегінің толық кедергісінің максимум мәніне электр тогы күшінің ең кіші мәні сәйкес келеді. Демек, тербелмелі контурдағы ток **резонанстарының шарты** деп аталатын (2.57) шарт орындалғанда жалпы тізбектегі ток күші ең кіші I_{min} мәнін қабылдайды.

2.6.2-суретте параллель қосылған шарғыда, конденсаторда және активті кедергісі бар элементте кернеу тербелістерінің тұрақты ампли-



2.6.2-сурет. Параллель жалғағандағы $I(v)$ тәуелділік графигі

тудасында толық тізбектегі ток күшінің тербеліс амплитудасының жиілікке тәуелділігі көрсетілген.

4. Кернеулер мен токтардың резонансы тек индуктивті-сыйымдылықты тізбектерде орын алады. Активті кедергісі үлкен тізбекте резонанс туындамайды. Кернеулердің резонансын айнымалы сыйымдылығы бар конденсаторды қолданып радиоқабылдағыштың ішкі контурын кернеулер резонансы пайда болатындай етіп баптау үшін тиімді. Баптау нәтижесінде қабылдағыштың қалыпты жұмысына қажетті шарғыдағы кернеудің шамасы антеннаның тізбекте туғызатын кернеуінің шамасынан әлдеқайда асып түседі.

Кернеулердің резонанс құбылысының пайдасымен қатар зиянды жағы да электртехникада жиі кездеседі. Тізбектің жекелеген бөліктерінде (шарғыда немесе конденсаторда) кернеудің генератор (ток көзі) кернеуінен артып кетуі олардың жекелеген бөлшектерін де, өлшеуіш аспаптарды да істен шығаруы мүмкін.



Сұрақтар

1. Айнымалы ток тізбегінде электр резонансының пайда болу шарты қандай? Токтың электрлік резонансы графиктік түрде қалай бейнеленеді?
2. Электрлік резонанс кезінде кернеу мен ток күші қандай аналитикалық формулалар бойынша анықталады?
3. Резонанстық жиілік деп қандай жиілікті айтады? Ол қандай аналитикалық өрнекпен анықталады?
4. Қандай шамалар тербелмелі электр контурының толқындық кедергісі және сапалылығы деп аталады?
5. Айнымалы ток желілеріндегі тізбектей және параллель жалғауларда туындайтын резонанстық жиіліктер бірдей ме? Олардың принциптік айырмашылықтары қандай? Қандай шамалар өткізгіштік деп аталады?
6. Электрлік резонанстың пайдалы және зиянды салдары қандай?



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Шамалары бірдей тұрақты және айнымалы кернеу көздері, осы кернеуге лайықталған шам, реостат, конденсатор және индуктивті шарғы салынған үш бірдей жабық жәшік берілген. Жәшіктердің сыртқа шығарылған қысқыштары реостатқа, конденсаторға және шарғыға қосылған. Оларды ашпай, әр жәшікте не барын қалай білуге болады?

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Кернеудің өсерлік мәні $U = 110$ В және жиілігі $\nu = 100$ Гц айнымалы ток желісіне сыйымдылығы $C = 50$ мкФ конденсатор, индуктивтілігі $L = 0,2$ Гн шарғы және кедергісі $R = 4$ Ом резистор қосылған. Тізбектегі ток күшінің өсерлік мәнін; резонанстық жиілікті; резонанс кезіндегі тізбектегі ток күшін; шарғының қысқыштарындағы кернеуді; конденсатор астарларындағы кернеуді анықтаңдар.

Берілгені:

$U = 110 \text{ В}$

$\nu = 100 \text{ Гц}$

$C = 50 \text{ мкФ}$

$L = 0,2 \text{ Гн}$

$R = 4 \text{ Ом}$

$I - ?$

$I_{\text{рез}} - ?$

$\nu_{\text{рез}} - ?$

$(U_L)_{\text{рез}} - ?$

$(U_C)_{\text{рез}} - ?$

ХБЖ

$5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$

Шешуі:

Тізбектегі ток күшінің өсерлік мәні Ом заңы бойынша анықталады:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (1)$$

мұндағы $\omega = 2\pi\nu$ – циклдік жиілік.

Резонанс кезінде $I_{\text{рез}}$ токтың максимал күші ω мәніне сәйкес келеді, онда (1) формуладағы квадрат түбірдің астындағы жақша ішіндегі өрнек нөлге тең болады. Олай болса, резонанстық циклдік жиілік

$$\omega = \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} \text{ болғандықтан, ізделетін резонанстық жиілік } \nu_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Резонанс кезінде тізбектегі ток күші (реактивті сыйымдылық пен индуктивті кедергілердің теңдігі жағдайында (1) теңдеуден анықталады):

$$I_{\text{рез}} = \frac{U}{R}. \quad (2)$$

Резонанс кезінде шарғы қысқыштарындағы кернеу:

$$U_{L_{\text{рез}}} = I_{\text{рез}} R_L = I_{\text{рез}} \omega L = 2\pi\nu_{\text{рез}} I_{\text{рез}} L = 2\pi\nu_{\text{рез}} \frac{U}{R} L.$$

Резонанс кезінде конденсатор астарларындағы қысқыштардың кернеуі:

$$U_{C_{\text{рез}}} = U_{L_{\text{рез}}},$$

өйткені резонанс кезінде сыйымдылық және индуктивті кедергі бір-біріне тең.

Сандық есептеулер:

$$(\omega = 2\pi\nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 100 = 628 \text{ рад/с})$$

$$I = \frac{110}{\sqrt{4^2 + \left(628 \cdot 0,2 - \frac{1}{628 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}\right)^2}} = 1,17 \text{ А},$$

$$\nu_{\text{рез}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}} = 50,4 \text{ Гц}, \quad I_{\text{рез}} = \frac{110}{4} = 27,5 \text{ А},$$

$$U_{L_{\text{рез}}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50,4 \cdot \frac{110}{4} \cdot 0,2 = 1,74 \cdot 10^3 \text{ В},$$

$$U_{C_{\text{рез}}} = U_{L_{\text{рез}}} = 1,74 \cdot 10^3 \text{ В}.$$

Жауабы: $I = 1,17 \text{ А}$; $\nu_{\text{рез}} = 50,4 \text{ Гц}$, $I_{\text{рез}} = 27,5 \text{ А}$;

$$U_{L_{\text{рез}}} = 1,74 \text{ кВ}; U_{C_{\text{рез}}} = 1,74 \text{ кВ}.$$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.6.1. Жиілігі 400 Гц айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі 0,1 Гн шарғы қосылған. Резонанс тудыру үшін бұл тізбекке қандай сыйымдылығы бар конденсаторды қосу керек? (Жауабы: 1,6 мкФ)
- 2.6.2. Тізбекке сыйымдылығы 2 мкФ конденсатор мен индуктивтілігі 0,005 Гн шарғы қосылған. Бұл тізбекте токтың қандай жиілігінде резонанс орын алады? (Жауабы: 1,6 кГц)
- 2.6.3. Сыйымдылығы 2,4 нФ конденсатор индуктивтілігі 32 мкГн және кедергісі 2 Ом шарғыға жалғанған. Контурдың резонанстық жиілігін анықтандар. (Жауабы: 0,57 МГц)
- 2.6.4. Конденсатор мен шарғы тізбектей жалғанған. Сыйымдылық кедергісі 5000 Ом. Кернеулердің резонансы 20 кГц жиілікте байқалу үшін шарғының индуктивтілігі қандай болу керек? (Жауабы: 0,04 Гн)
- 2.6.5. Конденсатор мен шарғы тізбектей қосылған, шарғының индуктивтілігі 0,01 Гн. Қандай сыйымдылықта жиілігі 1 кГц ток максимал мәніне жетеді? (Жауабы: 2,5 мкФ)

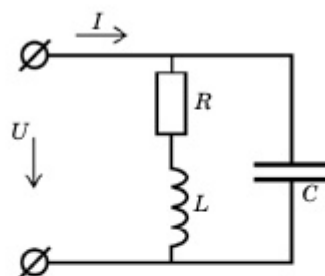
В

- 2.6.6. Тізбектей қосылған конденсатордан және шарғыдан тұратын тербелмелі контурдың резонанстық жиілігі $\nu_{\text{рез}} = 4$ кГц. Егер $\nu = 1$ кГц жиіліктегі айнымалы токқа контурдың жасайтын толық кедергісі $Z = 1$ кОм, ал шарғының активті кедергісі $R = 10$ Ом болса, оның индуктивтілігі қандай болады? (Жауабы: 10 Гн)

С

- 2.6.7. Кернеуі 220 В стандартты жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне тізбектей конденсатор, кедергісі 100 Ом резистор және индуктивтілігі 1 Гн шарғы қосылған. Бұл тізбекте конденсатордың қандай сыйымдылығында кернеулердің резонансы байқалады? Резонанс кезінде I_m токтың максимал күші қандай болады? Тізбектің Q сапалылығы және оның ρ толқындық кедергісі неге тең? (Жауабы: 10^{-5} Ф; 3,1 А; 3,2; 316 Ом;)
- 2.6.8. Активті кедергісі бар шарғыға конденсаторы тізбектей жалғанған тербелмелі контур сыртқы айнымалы кернеуге қосылған. Кернеудің амплитудасы тұрақты, бірақ жиілігі өзгеріп отырады. Сыртқы кернеудің жиіліктері 400 рад/с және 600 рад/с болғанда тізбектегі ток күшінің амплитудалары бірдей болып шықты. Токтың резонанстық жиілігін анықтаңдар. (Жауабы: ≈ 490 рад/с)
- 2.6.9. Кернеуі 220 В желіге индуктивтілігі 0,16 Гн шарғы және кедергісі 2 Ом өткізгіш, сондай-ақ сыйымдылығы 64 мкФ конденсатор тізбектей қосылған. Егер ток жиілігі 200 Гц болса, тізбектегі ток күші қандай? Кернеу резонансы қандай жиілікте орын алады? Шарғының және конденсатордың қысқыштарындағы ток күші мен кернеу қандай болады? (Жауабы: 1,2 А; 50 Гц; 5,5 кВ)

2.6.10. Активті кедергісі 20 Ом және индуктивтілігі 0,0637 Гн шарғы сыйымдылығы 65 мкФ конденсатормен параллель қосылған (2.6.3-сурет). Тізбектің тармақталмаған бөлігіндегі және тармақтарындағы тоқты; тармақтардағы активті қуаттарды; бірінші және екінші тармақтардағы және де бүкіл тізбектегі кернеулер мен тоқтың арасындағы фазалар ығысуының бұрыштарын анықтаңдар. Тізбекке 100 В кернеу берілген. Ток жиілігін 50 Гц деп алыңдар. Тізбекте ток резонансы орын алу үшін екінші тармақтағы сыйымдылықты қалай өзгерту керек? (Жауабы: $I_1 = 3,5$ А; $I_2 = 2,04$ А; $I = 2,54$ А; $P_1 = 250$ Вт; $P_2 = 0$; $\varphi_1 = 45^\circ$; $\varphi_2 = 90^\circ$; $\varphi = 10^\circ$; $C = 79,6$ мкФ)



2.6.3-сурет

§ 2.7

Электр энергиясын өндіру және жеткізу. Трансформатор

1. Электр энергиясын *электр станцияларында* өндіреді. Мысалы, жылу электр станцияларында энергияны роторын бу турбинасы айналдыратын генератор өндіреді. Өндірген энергияны тұтынушыға жеткізу қажет. Осыған байланысты станция мен тұтынушы арасына электр желілері тартылады.

Электр энергиясын алысқа жеткізу кезінде электр тогы сымдарды қыздырып, энергия шығыны орын алады. *Электр станциясынан ток тұтынушысы арасындағы қашықтық артқан сайын, электр сымдарының қыздырылуына көп энергия жұмсалады.*

Джоуль–Ленц заңы $Q = I^2 R \Delta t$ бойынша электр энергиясын жеткізуші сымдардың $R = \frac{\rho l}{S}$ кедергісін кеміту немесе I ток күшін азайту есебінен шығындарды кемітуге болады. *Сымдардың R кедергісі көлденең қимасының ауданы S неғұрлым үлкен, ал меншікті кедергісі ρ аз болған сайын кемиді.* Сымдар мыс немесе алюминийден жасалады, себебі қымбат емес металдардың арасында олардың меншікті кедергісі аз. Бірақ сымдардың жуандығын арттыру экономикалық жағынан тиімсіз, бұл металдың артық шығынына, сымдарды бағаналарға бекіту кезінде қиындықтардың туындауына әкеледі. Шығындарды азайтудың мұндай тәсілі іс жүзінде тиімсіз.

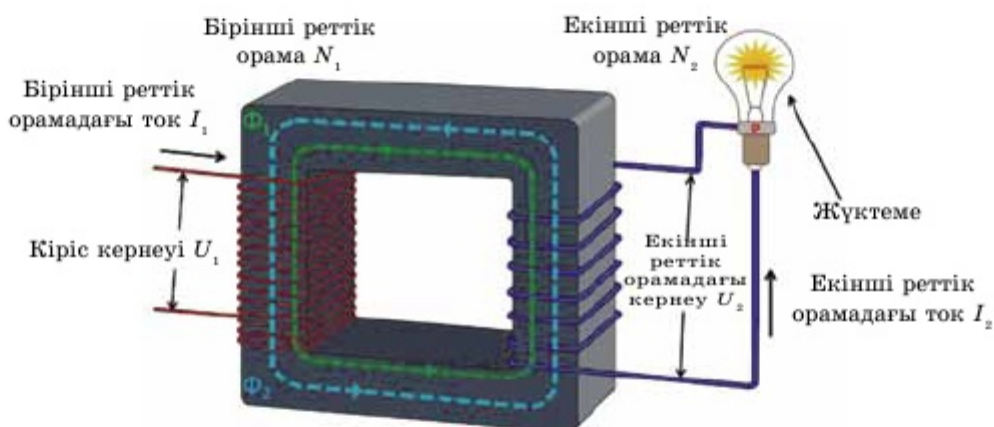
2. Экономикалық тұрғыдан шығынның айтарлықтай төмендеуіне ток күшін кеміту есебінен ғана қол жеткізуге болады. Алайда бұл берілген $P = IU$ қуатта ток күшінің кемуі тек кернеуді арттырғанда ғана мүмкін болады. Бұл маңызды

техникалық мәселені шешу *трансформаторды* жасағаннан кейін ғана мүмкін болды.

Трансформатор деп айнымалы токтың жиілігі мен қуатын өзгертпей, оның ток күші мен кернеуін түрлендіретін қондырғыны айтады.

Трансформатордың жұмысы *электрмагниттік индукция* құбылысына негізделген. Ең қарапайым трансформатор ортақ тұйық өзекшеге оралған бір-бірінен оқшауланған екі шарғыдан (орамалардан) тұрады. Орамалардың біріншісінен түрлендірілетін айнымалы ток өткізіледі, ал екіншісі тұтынушымен қосылады (2.7.1-сурет).

Бірінші орамадағы айнымалы ток өзекшеде айнымалы магнит ағынын туғызады, ол әр ораманың орамдарында индукциялық ЭҚК туғызады. Өзекше пластиналары болаттан жасалған, ол өте аз шығынмен қайтадан оңай магниттеледі. Өзекше магнит өрісін өз ішінде шоғырландырады және магнит ағыны оның барлық қималарында бірдей.



2.7.1-сурет. Трансформатор

Бірінші немесе екінші реттік орамадағы индукция ЭҚК-інің лездік мәні бірдей. Фарадей заңына сәйкес ол мына формуламен анықталады:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.59)$$

мұндағы Φ – магнит индукциясының ағыны.

3. Егер бірінші реттік орамадағы орам саны N_1 , ал екінші реттік орамада N_2 болса, әр орамада тиісінше ε_1 және ε_2 ЭҚК-і индукцияланады (магнит ағынының шашырауына кеткен шығындарды есепке алмағанда), ал олардың қатынасы мынаған тең:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (2.60)$$

Шарғыларда пайда болатын индукция (немесе өздік индукция) ЭҚК-і олардың бойындағы орам санына пропорционал.

Әдетте, трансформатордың орамаларының активті кедергісі аз болып келеді де, оларды елемуге болады. Бұл жағдайда бастапқы ораманың қысқыштарындағы кернеудің модулі индукцияның жиынтық ЭҚК-інің модуліне теңеседі:

$$R \approx 0 \Rightarrow |u_1| \approx |\varepsilon_1|. \quad (2.61)$$

Трансформатордың ажыратылған екінші реттік орамасында ток жүрмейді, сондықтан индукцияның жиынтық ЭҚК-і екінші реттік орама қысқыштарындағы кернеуге тең:

$$|u_2| \approx |\varepsilon_2|. \quad (2.62)$$

ЭҚК-терінің лездік мәндерінің өзгерісі бір мезетте максимумға жетеді және бір мезетте нөл арқылы өтеді, яғни синфазалы өзгереді. Сондықтан олардың қатынастарын ЭҚК-інің әсерлік мәндерінің қатынасымен немесе кернеулердің әсерлік мәндерінің қатынасымен алмастыруға болады:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k. \quad (2.63)$$

Бірінші реттік шарғыдағы орамдар санының екінші реттік шарғыдағы орамдар санына қатынасы k трансформация коэффициенті деп аталады. Трансформация коэффициенті қабылдайтын мәніне қарай трансформаторлар жоғарылатқыш ($k < 1$) және төмендеткіш ($k > 1$) трансформатор болып ажыратылады.

4. Екінші реттік тізбекке қандай да бір жүктемені (трансформатордың жұмыстық жүрісі) қосқан кезде онда *жүктеме тогы* (ол айнымалы және сол жиіліктегі) өтеді. Бұл ток Ленц ережесіне сәйкес өзекшеде бірінші ораманың ағынына қарсы бағытталған магниттік ағын туғызады. Нәтижесінде бірінші реттік шарғыдағы магнит индукциясының жиынтық ағыны да, ЭҚК-і де кемиді, демек, ток күші артады. Бірінші реттік тізбектегі ток күшінің мұндай артуы екінші реттік тізбектегі магнит ағынының, индукциялық ЭҚК-інің және ток күшінің артуына әкеліп соғады. Бірақ екінші реттік тізбекте токтың өсуі қарсы бағыттағы өздік индукция тогының артуымен қосарласа жүретінін білеміз, бұл өсе бастаған магнит ағынының азаюына әкеледі. Ақыр соңында тұрақты жүктеме кезінде екінші реттік тізбекте белгілі бір магнит ағыны мен индукциялық ЭҚК, ал бірінші реттік тізбекте нақты бір ток қалыптасады.

Осылайша, трансформатордың өзі екінші реттік тізбектегі жүктемеге орай энергия тұтынуын автоматты түрде реттейді. Сөйтіп, трансформатордың жұмыс барысында бірінші реттік тізбектен екінші реттік тізбекке үздіксіз энергия беріледі.

Бірінші реттік тізбекте қолданылатын қуат мына формуламен

$$P_1 = I_1 U_1 \cos \varphi_1, \quad (2.64)$$

жүктемеде бөлінетін қуат мына формуламен

$$P_2 = I_2 U_2 \cos \varphi_2 \text{ анықталады.} \quad (2.65)$$

Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) бірінші реттік тізбекте тұтынылатын қуаттың жүктеме қуатының қатынасымен анықталады:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cos \varphi_1}. \quad (2.66)$$

5. Электр генераторы өндіретін энергия тұтынушыға толығымен жеткізілмейді. Энергияның біразы трансформатор қосылған кезде оның орамдарын қыздыруға, кеңістікте магнит ағынының таралуына, өзекшеде пайда болатын Фуко құйынды токтарына және оны магниттеу шығындарына жұмсалады.

Осы шығындарды азайту үшін мынадай шаралар қолданылады:

1) кернеуі төмен ораманың көлденең қимасын үлкен етіп жасайды. Ол арқылы өтетін ток күші үлкен болады;

2) өзек тұйықталған, бұл магнит ағынының кеңістікте таралуын азайтады;

3) Фуко токтарын азайту үшін болат өзекше бір-бірінен ток өткізбейтін оқшаулатқышпен қапталған пластиналардан жасалады.

Осы шаралардың арқасында қазіргі заманғы трансформаторлардың пайдалы әсер коэффициенті 95–99%-ды құрайды, ал ток күшінің тербелістері мен кернеу арасындағы фазалардың ығысуы нөлге жақындайды.

Трансформатордағы аз шығындарды (1 – 5%) ескермеуге болады, яғни оның пайдалы әсер коэффициентін 100% деп есептесек, бірінші тізбекте тұтынылатын қуат жүктеме қуатына тең ($P_1 = P_2$). Сонда бірінші реттік орамадағы ток күшінің екінші реттік орамадағы ток күшіне қатынасы сәйкес кернеулерге пропорционал болады:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}. \quad (2.67)$$

Бұл трансформатордың көмегімен кернеуді арттыру арқылы ток күшін еселеп азайтуды немесе кернеуді кеміту арқылы ток күшін еселеп көбейтуді білдіреді.

Қазіргі уақытта трансформаторлар техникада да, тұрмыста да кеңінен қолданылады.



Қосымша дерек

Майкл Фарадей, өзінің жұмыс дәптерінде 1831 жылдың 29 тамызында былай деп жазыпты: диаметрі 15 см, жуандығы 2 см темір сақинаға ұзындықтары 15 м және 18 м оқшауланған екі сым жеке-жеке оралды. Бірінші орамадан ток өткенде, екінші орамаға жалғанған гальванометрдің тілі ауытқыды. Осылайша, трансформатордың бірінші қарапайым үлгісі жасалды.



Сұрақтар

1. Электр энергиясын жеткізудегі трансформатордың рөлі қандай?
2. Трансформатордың жұмыс істеу принципін қандай құбылысқа негіздеп түсіндіруге болады?
3. Трансформация коэффициенті қалай анықталады?

4. Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті қалай есептеледі?
5. Экономикалық тұрғыдан не себепті электр энергиясын жоғары кернеулі айнымалы ток арқылы жеткізу тиімдірек?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

Трансформатор туралы берілген тақырыптардың біріне реферат немесе презентация түрінде баяндама даярлаңдар:

- «Трансформатордың түрлері»;
- «Бүгінгі әлемдегі ең қуатты трансформатор»;
- «Трансформатордың қолданылуы».

ЕСЕП ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Кернеулігі 120 В айнымалы ток желісіне трансформация коэффициенті $k = 10$ болатын төмендеткіш трансформатордың бірінші реттік орамасы қосылған. Екінші реттік орамадағы кедергі $R_2 = 1,2$ Ом, ток күші $I_2 = 5$ А. Трансформатордың жүктемесіндегі $U_{ж}$ кернеуді және $R_{ж}$ жүктеме кедергісін табыңдар. Егер бірінші реттік орамада $N_1 = 10\ 000$ орам болса, екінші реттік орамадағы орам санын табыңдар. Бұндай трансформатордың ПӘК-і неге тең?

Берілгені:

$k = 10$
 $U_1 = 120$ В
 $R_2 = 1,2$ Ом
 $I_2 = 5$ А
 $N_1 = 10\ 000$

 $U_{ж} = ?$
 $N_2 = ?$
 $R_{ж} = ?$
 $\eta = ?$

Шешуі:

Трансформатордың k трансформация коэффициенті арқылы біз екінші реттік орамадағы N_2 орамдар санын оңай та-

бамыз: $k = \frac{N_1}{N_2}$, мұндағы $N_2 = \frac{N_1}{k}$.

$R_{ж}$ жүктемесіндегі кернеуді табайық.

Ол үшін мына жайтты ескеру керек: Трансформатордың екінші реттік орамасындағы R_2 кедергі өте аз болса ($R_2 \approx 0$), екінші орамадағы кернеу $U_2 = \frac{U_1}{k}$ өрнегімен табылар еді.

Алайда екінші реттік ораманың R_2 кедергісінің болуына байланысты жүктемеге $U_{ж}$ аз кернеу «барады», өйткені кернеудің ΔU жоғалуы R_2 кедергіде пайда болатын джоульдік жылуға жұмсалады.

Сондықтан $R_{ж}$ жүктемеде $U_{ж}$ кернеуі U_2 кернеуінен осы шығындардың ΔU шамасына кем болады:

$$U_{ж} = U_2 - \Delta U. \quad (1)$$

R_2 кедергісінде ΔU кернеуінің жоғалуын тізбек бөлігі үшін Ом заңын пайдаланып табамыз. R_2 кедергісі бар тізбек бөлігінде I_2 ток ағады (нақ осындай ток шамасы ондағы жүктемеден де өтеді):

$$I_2 = \frac{\Delta U}{R_2}, \text{ бұдан } \Delta U = I_2 R_2. \quad (2)$$

(2)-ні (1)-ге қойсақ, $U_{*} = U_2 - I_2 R_2$, мұндағы $U_2 = \frac{U_1}{k}$, сондықтан

$$U_{*} = \frac{U_1}{k} - I_2 R_2.$$

Жүктемедегі R_{*} кедергі Ом заңы бойынша: $I_2 = \frac{U_{*}}{R_{*}}$, мұндағы $R_{*} = \frac{U_{*}}{I_2}$.

ПӘК η – бұл A_n пайдалы жұмыстың A_r толық жұмысқа қатынасымен анықталады. Біздің жағдайда жүктемедегі ток жұмысы пайдалы жұмыс, бірінші реттік орамадағы ток жұмысы толық жұмыс болып табылады:

$$\eta = \frac{A_n}{A_r} 100\% . \quad (3)$$

Екінші реттік орама қысқыштарындағы токтың A_n жұмысы өзімізге белгілі формуламен анықталады:

$$A_n = U_{*} I_2 t. \quad (4)$$

Бірінші реттік орамадағы ток жұмысы $A_r = U_1 I_1 t$. Өйткені $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$, мұндағы $\frac{U_1}{U_2} = k$, сондықтан $k = \frac{I_2}{I_1}$. Осыдан $I_1 = \frac{I_2}{k}$. Сонда

$$A_r = U_1 \frac{I_2}{k} t. \quad (5)$$

(4)-ті және (5)-ті (3)-ке қойып, ПӘК табамыз:

$$\eta = \frac{U_{*} I_2 t}{U_1 \frac{I_2}{k} t} 100\% = \frac{U_{*} k}{U_1} 100\% .$$

Есептеу жүргіземіз:

$$N_2 = \frac{10\,000}{10} = 1000,$$

$$U_{*} = \frac{120}{10} - 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ В},$$

$$R_{*} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ Ом},$$

$$\eta = \frac{6 \cdot 10}{120} 100\% = 50\% .$$

Жауабы: $N_2 = 1000$; $U_{*} = 6 \text{ В}$;

$R_{*} = 1,2 \text{ Ом}$; $\eta = 50\% .$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.7.1. Жоғарылатқыш трансформатордың трансформация коэффициенті $k = 0,1$, оның бірінші орамасының активті кедергісі $R_1 = 10$ Ом, индуктивті кедергісі $X_{L1} = 20$ Ом. Ток көзінен бірінші орамаға $U_1 = 20$ В кернеу берілген. Бос жүріс режимінде екінші орамадағы U_2 кернеуді табыңдар.
(Жауабы: 178,9 В)
- 2.7.2. 220 В кернеумен ұзындығы 10 км электр желісіндегі мыс сым арқылы тұтынушыға 0,1 кВт қуат беру керек. Мыс сымның диаметрін табыңдар. Сымдарды қыздыруға кеткен шығын берілетін қуаттың 5% -ын құрайды. Қуат коэффициенті $\cos \varphi = 0,8$. Мыстың меншікті кедергісі $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.
(Жауабы: 5,3 мм)
- 2.7.3. Радиоқабылдағышты қоректендіруге арналған трансформатордың бірінші орамасында 12 000 орам бар, ол кернеуі 120 В айнымалы ток желісіне қосылған. Егер екінші ораманың кедергісі 0,5 Ом болса, оның орам саны қанша болады? Жүктемедегі кернеу 3,5 В, екінші орамадағы ток күші 1 А.
(Жауабы: 400 орам)
- 2.7.4. Трансформатордың бірінші орамасында $2,4 \cdot 10^3$ орам бар. 11 В жүктемедегі кернеуде сыртқы тізбекке 22 Вт қуат беру үшін екінші орамада қанша орам болуға тиіс? Екінші ораманың кедергісі 0,2 Ом. Желідегі кернеу 380 В. (Жауабы: 72 орам)
- 2.7.5. Егер бірінші орамадағы кернеу 220 В, екінші орамадағы ток күші 2 А болса, трансформатордың бірінші орамасының сым тоқтың қандай күшіне арналады? Екінші ораманың кедергісі 10 Ом, жүктемедегі кернеу 40 В.
(Жауабы: 0,54 А)

В

- 2.7.6. Трансформатор кернеуді 100 вольттан 5,6 киловольтқа дейін арттырады. Орамалардың біріне бір орам сым салып, ұштарын вольтметрге қосқанда, ол 0,4 В кернеуді көрсетті. Трансформатордың бірінші және екінші орамасындағы орамдар саны қанша болады?
(Жауабы: 250 орам; 14 000 орам)
- 2.7.7. Трансформация коэффициенті 5 болатын төмендеткіш трансформатор кернеуі 220 В желіге қосылған. Егер бірінші орамада энергия шығыны болмаса және екінші орамадағы кернеу 42 В болса, трансформатордың ПӘК-і қандай? (Жауабы: 95%)
- 2.7.8. Кернеуді 220-дан 42 В-қа дейін төмендететін трансформатордың тұйық сақиналы өзекшесі арқылы сым өткізіледі де, оның ұштары вольтметрге

қосылады. Вольтметр 0,5 В кернеуді көрсетеді. Трансформатордың бірінші және екінші орамаларында қанша орам бар?

(Жауабы: 440 орам; 84 орам)

С

2.7.9. Трансформатордың бірінші орамасына 220 В кернеу беріледі. Бос жүріс кезінде екінші орамадағы кернеу 130 В болды. Бірінші орамадағы орам саны 400. Егер шығын 3,8%-ды құраса, екінші орамадағы орам саны қанша? (Жауабы: 245 орам)

2.7.10. Трансформатордың бірінші орамасын айнымалы ток желісіне қосқанда оның екінші орамасында 12 В кернеу туындайды. Екінші ораманы желіге қосқанда бірінші орамада 120 В кернеу туындайды. Бірінші орамадағы орам сандарының екінші орамадағы орам сандарына қатынасын табыңдар.

(Жауабы: 3,16)

№1 зертханалық жұмыс

Трансформатордың орам санын анықтау

Жұмыстың мақсаты: трансформатордың орам санын анықтау.

Құрал-жабдықтар: зертханалық жиналмалы трансформатор; айнымалы кернеу көзі, 12 В; АВО-63 авометр; оқшаулатқышы бар сым.

Қысқаша теория. Трансформатордың орам санын анықтау үшін белгісіз параметрлері бар трансформатордың қасиеттерін қолдануға болады. Бос жүріс жағдайында бірінші және екінші орамалардағы кернеулердің (U_1 және U_2) қатынасы бірінші орамадағы N_1 орам санын екінші орамадағы N_2 орам санына бөлгенге тең:

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

Трансформатордың екінші орамасына белгілі N_2 орам санын орап, екінші орамдағы U_2 кернеуін өлшеп, бірінші орамдағы N_1 орам санын анықтауға болады:

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

Жұмыстың тәртібі:

1. Зерттелетін трансформатордың екінші реттік орамасына 20–40 орам ораңдар.
2. Трансформатордың бірінші реттік орамасының шығысын $U_1 = 12$ В айнымалы кернеу көзіне қосыңдар, екінші реттік орамадағы кернеуді өлшеңдер.
3. Кернеудің өлшенген мәндері және екінші реттік орамадағы белгілі орам саны бойынша бірінші реттік орамадағы N_1 орам санын формула бойынша анықтаңдар.

4. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазыңдар:

№ тәжірибе	U_1	U_2	N_1	N_2
1				
2				
3				

5. Өлшеулердің абсолюттік және салыстырмалы қателерін анықтаңдар. Абсолюттік қатені анықтау үшін $\Delta x_n = x_{\text{орт}} - x_n$ өрнегін, салыстырмалы қатені анықтау үшін $\varepsilon = \frac{\Delta x_n}{x_{\text{орт}}} \cdot 100\%$ өрнегін пайдаланыңдар. Мұндағы $x_{\text{орт}}$ – барлық өлшеулердің $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ мәндерінің орташа арифметикалық мәні. Абсолюттік және салыстырмалы қателердің орташа мәндері де барлық өлшеулердің орташа арифметикалық мәні бойынша табылады.
6. Нені өлшедіңдер және қандай нәтиже алынғаны туралы қысқаша қорытындылап жазыңдар.
7. Жұмыстың нәтижесін тереңірек пайымдау үшін төмендегі сұрақтарға жауап беріңдер.

? Сұрақтар

1. Трансформатор деп нені атайды?
2. Трансформатордың жұмыс істеу принципі қандай құбылысқа негізделген?
3. Трансформация коэффициенті дегеніміз не?
4. Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті дегеніміз не?
5. Тұрақты ток тізбегіне қосылған трансформаторда не байқалады?
6. Екінші реттік тізбек тұйықталмағанда (бос жүріс) трансформатор неге энергияны тұтынбайды?
7. Электр станцияларының маңына жоғарылатқыш трансформаторды не үшін орнатады?
8. Электр энергиясын тұтынушыларға қандай трансформаторды орнатады?

§ 2.8

Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану

1. **Электр энергетикасы** – шаруашылықтың барлық секторларын электр энергиясымен және жылумен қамтамасыз ететін базалық инфрақұрылымдық сала.

Қазіргі заманғы деңгейде энергетиканы дамытудың ерекшеліктеріне мыналар жатады: экологиялық талаптарды қатаң сақтау (атап айтқанда, парниктік газдар

шығарындылары жөніндегі Киото хаттамасын орындау), тиімділігі жоғары және ресурстарды үнемдейтін энергетикалық технологияларға көшу, сонымен бірге (дәстүрлі органикалық отындарды пайдаланбайтын) энергияның баламалы көздерін іздеу сияқты талаптар қойылып отыр. Дегенмен бүгінде электр энергиясының өлемдік өндірісіне басты үлесті **көмір қосады (40 %)**, ал **газға (19 %)**, **атом және гидроэнергетикаға 16 %** үлес тиеді.

Қазақстан энергетикалық ресурстардың ірі қорына (мұнай, газ, көмір, уран) бай энергетикалық держава болып табылады. 2019 жылдың қорытындысы бойынша Қазақстанда электр энергиясын өндіру көлемі 106 млрд кВт·сағ болды. Қазақстан электр энергиясын экспорттаушы ел болып табылады. Қазақстанда электр энергиясының 70%-ға жуығы көмірден, 14,6 % – гидроресурстардан, 10,6 % – газдан және 4,9% – мұнайдан өндіріледі.

2. Электр энергиясы үлкен және шағын электр станцияларында негізінен электрмеханикалық индукциялық генераторлардың көмегімен өндіріледі. Электр энергиясының негізгі өндірушілеріне мыналар жатады:

- **жылу электр станциялары (ЖЭС)**, мұнда органикалық жанғыш заттарды (көмір, газ т. б.) жағу кезінде түзілетін жылу энергиясы электр генераторының бу турбинасын айналдырады, осылайша органикалық отынның жылу энергиясы электр энергиясына түрленеді;

- **су электр станциялары (ГЭС)**, мұнда электр генераторларының турбинасын ағын су айналдырады; осылайша аққан судың механикалық энергиясы электр энергиясына түрленеді;

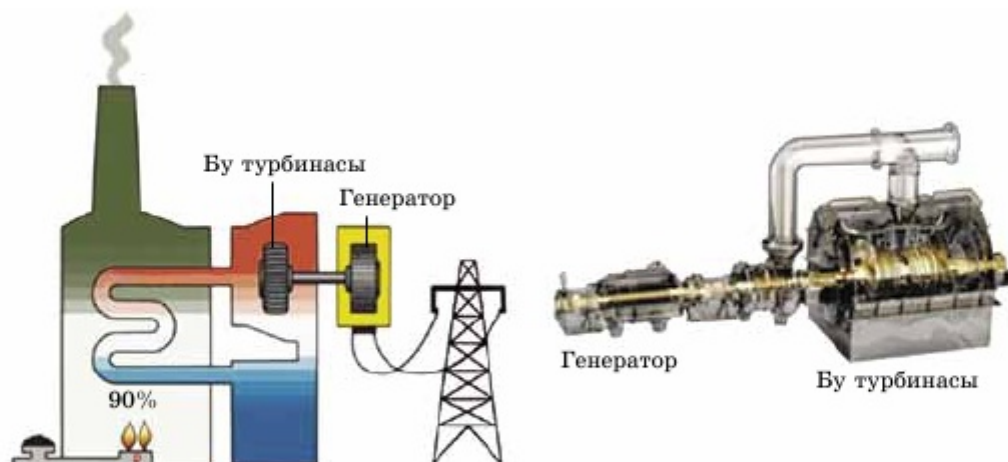
- **атом электр станциялары (АЭС)**, мұнда реакторда ауыр элементтердің ядролары бөлінетін тізбекті ядролық реакциясы кезінде атом энергиясы электр энергиясына түрленеді.

Аталған электр станциялары пайдаланылатын энергия ресурстарының түрлерін анықтайды. Оларды **алғашқы және екінші реттік жанғыш заттар, жаңартылмайтын және жаңартылатын энергия көздері** деп бөлу қабылданған.

Алғашқы энергия ресурстарына қандай да бір технологиялық өңдеулерден өтпеген табиғи шикізат материалдары, мысалы, **таскөмір, мұнай, табиғи газ және уран** жатады. Сонымен қатар мұндай энергия тасығыштар қатарына **күн сәулесі, жел, су ресурстары** да кіреді. **Екінші реттік энергия ресурстарына** алғашқы энергияның өңделген өнімдері: мысалы, **бензин, мазут, ядролық отындар** жатады.

Ресурстардың кейбір түрлері табиғатта тез қалпына келуі мүмкін, оларға: отын, қамыс, шымтезек және өзге де биоотын түрлері, өзендердің гидропотенциалдары жатады. Мұндай сапаға ие емес ресурстар **жаңартылмайтын** энергия көздері деп аталады, мысалы: көмір, шикі мұнай, табиғи газ, мұнай сіңген тақтатас (сланец) уран кені. Көбінесе, олар пайдалы қазбалар болып табылады. Күн, жел, өзендер мен теңіздердің ақпалы суларының энергиялары **жаңартылатын** энергия көздеріне жатады.

3. ЖЭС мысалында электр энергиясын өндіру процесін қарастырайық.



2.8.1-сурет. Жылу электр станциясының сұлбасы

Жылу электр станцияларындағы электр генераторларының роторы бу және газ турбиналарымен немесе іштен жану қозғалтқыштарымен айналысқа келтіріледі. Әрине, ең үнемді ЖЭС бу турбиналы ірі жылу электр станциялары болып табылады (2.8.1-сурет). Бу қазандығында отыннан бөлінетін энергияның 90%-дан астамы буга беріледі. Турбинада бу ағынының кинетикалық энергиясы ротордың айналым санын минутына бірнеше мыңға жеткізеді. Алайда *жылу электр станциясының пайдалы эсер коэффициенті* шамамен 40%. Энергияның көп бөлігі ыстық бумен бірге сыртқы ортада жоғалады.

Қазақстанда электр энергиясын 138 электр станциясы өндіреді. Олардың жалпы қуаты 21 673 МВт. 2018 жылдың 25 желтоқсанында республика бойынша энергияны пайдаланудың жылдық жүктемесі ең үлкен 14 823 МВт шамасына жетті. Өндірілген қуат 18 895 МВт немесе 106,8 млрд кВт · сағ мөлшеріндегі энергия (2017 ж. салыстырғанда 105,4%-ды құрады). Еліміздегі электр станциялары маңыздылығына қарай *ұлттық, өнеркәсіптік* және *аймақтық* станцияларға бөлінеді.

Ұлттық маңыздағы электр станцияларына ірі жылулық және су электр станциялары жатады.

Өнеркәсіптік маңыздағы электр станцияларына электр және жылу энергияларын қатар өндіретін жылу электр станциялары кіреді. Бұлар ірі өнеркәсіп ошақтарын және оларға жақын елді мекендерді энергия және жылумен қамтамасыз етеді.

Аймақтық маңыздағы станцияларға территориялармен кіріктірілген электр станциялары жатады. Олар электр энергиясын аймақтағы электр жүйесі компаниялары және энергия жіберетін ұйымдар арқылы таратып, таяу орналасқан қалаларды жылумен де қамтамасыз етеді.

Жылу электр орталықтары (қысқартылған түрде ЖЭО) деп аталатын жылу электр станциялары пайдаланылған бу энергиясының едәуір бөлігін өнеркәсіптік орындарда және тұрмыстық қажеттіліктерге (мысалы, жылыту және ыстық сумен қамтамасыз ету) пайдалануға мүмкіндік береді, сондықтан олардың үнемділігі мен практикалық маңыздылығы жоғары болып келеді. Нәтижесінде жылу электр орталығының пайдалы әсер коэффициенті 60–70%-ға жетеді. Қазіргі уақытта ЖЭО барлық электр энергиясының 40%-ын беріп, қалаларды жылу және электр энергиясымен қамтамасыз етеді.

4. Электр энергиясы көздерінің ішінде **гидроресурстардың** үлесі жоғары, алайда соңғы онжылдықта біршама қысқарды. *Бұндай көздердің артықшылығы олардың жаңарғыштығы мен салыстырмалы арзандығы болып табылады.*

Сонымен қатар *су электр станцияларын салу қоршаған ортаға елеулі зиянын да тигізеді*, өйткені суқоймаларын салу кезінде едәуір аумақтар су астында қалады. Қазақстан Республикасы жағдайында су ресурстарының біркелкі бөлінбеуі және климаттық жағдайларға тәуелділігі олардың гидроэнергетикалық потенциалын шектейді.

Су электр станцияларында генераторлардың роторларын айналдыру үшін **судың потенциалдық энергиясын** пайдаланады. Электр генераторларының роторларын гидравликалық турбиналармен айналысқа келтіреді. Бұндай станцияның қуаты бөгеттердегі су деңгейінің әртүрлі болуына және әр секунд сайын турбина арқылы өтетін су массасына тәуелді.

Энергия өндіруде уранды пайдалану кеңінен тарала бастады. Бұл отынның басқа шикізат энергия көздерімен салыстырғанда тиімділігі орасан зор. Алайда радиоактивті заттарды қолдану апат болған жағдайда қоршаған ортаның ауқымды ластануына әкеледі. Бұдан басқа атом электр станциясын салу және пайдаланылған отынның зиянды қалдықтарын сақтау әрі залалсыздандыру өте күрделі проблема болып табылады. Энергетиканың бұл түрін дамыту білікті де білімді инженерлердің тапшылығы салдарынан қиындау үстінде, әзірге санаулы елдер ғана ғылыми және техникалық мамандарды даярлап, атом электр станциясын білікті пайдалануды қамтамасыз ете алады.

Соңғы жылдары **жаңартылатын энергия көздеріне** көбірек назар аударылуда. Атап айтқанда, потенциалы зор күн мен жел энергиясын пайдалану технологиялары белсенді түрде әзірленуде (2.8.2-сурет). 2018 жылы Жамбыл облысында қуаты 100 МВт «Бурный» күн электр станциясы (КЭС) пайдалануға берілді. Бірлескен Қазақстан–Британ жобасы бойынша салынған бұл КЭС ТМД-дағы ең ірі күн электр станциясы болып табылады.

Жел электр станцияларын (ЖЭС) соққан желдің жылдамдығы 5 м/с шамасынан асатын орындарда салған тиімді саналады. Еліміздің байтақ даласының 80%–90%-ында жел жылдамдығы 6 м/с шамасынан асады. Жылдар бойы, тәуліктер бойы желдің үзбей соғатын аймақтары бар; бұларға оңтүстік өңірде Алматы,

Жамбыл, Түркістан, батыста – Атырау мен Маңғыстау, солтүстікте – Ақмола, орталықта Қарағанды облыстары жатады. Сарапшылардың бағалауы бойынша еліміздің жел энергетикалық өлеуеті жылына 1820 млрд кВт · сағ құрайды.



2.8.2-сурет. Күн батареялары (Алматы облысы Қапшағай маңы)

Қазақстанда жел энергиясын өндіру едәуір өсе бастады. Мысалы, 2011 жылы Жамбыл облысында Қордай жел электр станциясының қуаты 1500 кВт болатын бірінші кезегі пайдалануға берілді. 2014 жылы 9 жел генераторы салынып, құрылыстың бірінші кезегі аяқталды, соның арқасында жел энергиясының өндіретін қуаты 9 МВт шамасына артты.

5. *Электр энергиясын басты тұтынушысы өнеркәсіп болып табылады*, оның үлесіне өндірілетін электр энергиясының 70%-ы келеді. Сондай-ақ электр энергиясының ірі тұтынушысы *көлік* болып табылады. Қазіргі уақытта *темір-жол желілерінің* көп бөлігі электр тартымына ауыстырыла бастады. Ауылдар мен кенттер электрлік станцияларынан өндірістік және тұрмыстық қажеттіліктер үшін электр энергиясын алады. Электр энергиясы тұрғын үйлерді және тұрмыстық электр құралдарын қуаттандыру үшін қолданылады.

Қазіргі кезде электр энергиясының көп бөлігі механикалық энергияға айналдырылады. Өнеркәсіптегі барлық тетіктер электрқозғалтқыштарымен қозғалысқа келтіріледі, өйткені олар ыңғайлы, ықшам және процестерді автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Бұдан басқа өнеркәсіпте тұтынылатын электр энергиясының үштен бір бөлігі электрлік желімдеу, электрлік қыздыру мен металдарды балқыту, электролиз және т.б. сияқты технологиялық мақсаттар үшін пайдаланылады.

Осылайша, *қазіргі заманғы өркениеттің дамуын электр энергиясыз елестету мүмкін емес деген қорытындыға келеміз*. Ірі қалаларды электр энергия-

сымен жабдықтаудың апатты жағдайда орын алуы олардың қалыпты ырғағын бұзып, жансыздандыруға әкелетіні белгілі.

Қазіргі уақытта электр энергиясына деген қажеттілік өнеркәсіпте де, көлік, пен ғылыми мекемелерде де, тұрмыста да тұрақты өсуде.

Электр энергиясын неғұрлым тиімді пайдаланудың әлі ашылмаған мүмкіндіктері аз емес, олар өздерінің болашақ зерттеушілерін күтіп тұр.



Сұрақтар

1. Электр энергетикасының еліміздің әлеуметтік-экономикалық өміріндегі рөлі қандай?
2. Өндірілетін энергияның негізгі көздері қандай және олар бір-бірінен қалай ерекшеленеді?
3. ЖЭС-те электр энергиясын өндіру процесі қалай орындалады? ЖЭС-тің ПӨК-ін көтеру үшін қандай шаралар қолданылады?
4. Экономикалық таза энергия өндіру үшін Қазақстанда қандай жұмыстар атқарылып жатыр?



Тапсырма (практикалық зерттеу)

1. Өз пәтерлеріңдегі электр шамдарын энергия үнемдегіш шамдармен ауыстырған кездегі энергия шығынының қаншаға кемитінін есептеңдер.
2. Өртүрлі презентацияны, диаграмманы, бейнероликтер мен кестелерді пайдаланып, Қазақстандағы электр энергетикасының күйі мен дамуы туралы зерттеу жұмысын дайындаңдар.

II ТАРАУДЫҢ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАРЫ

- **Айнымалы ток генераторы** деп энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына түрлендіретін қондырғыны айтады.

- **Айнымалы электр тогы** деп уақытқа байланысты периодты түрде өзгертін тоқты айтады.

- **Айнымалы ток күшінің әсерлік мәні:** $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

- **Айнымалы кернеудің әсерлік мәні:** $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

- **Айнымалы ток тізбегіндегі активті кедергі:** $R = \frac{P}{I^2}$.

- **Шарғының индуктивті кедергісі:** $X_L = \omega L$.

- Конденсатордың сыйымдылық кедергісі: $X_c = \frac{1}{C\omega}$.

- Тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегіндегі Ом заңы:

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

- Тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі:

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

- Активті қуат: $P = IU \cos \varphi$.

- Реактивті қуат: $Q = IU \sin \varphi$.

- Толық қуат: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI$.

- Қуат коэффициенті: $\cos \varphi = \frac{P}{S}$.

• Электрлік резонанс – жиіліктің белгілі бір мәнінде электр тогы күшінің тербеліс амплитудасының максимал мәнге дейін өсу құбылысы.

- Электрлік резонанстың шарты: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, бұдан резонанстық жиілік:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

• Трансформатор – тұрақты жиілікте айнымалы ток күші мен кернеуін түрлендіретін құрылғы.

- Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cos \varphi_1}.$$





3-тарау



ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

3-ТАРАУ. ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  ауадағы тұрғын дыбыс толқындарының пайда болуын зерттеу;
-  графиктік әдісті қолданып, түйіндер мен шоқтықтарды анықтау және тұрғын толқындардың пайда болуын түсіндіру;
-  су бетінде екі толқын көзінен пайда болған интерференцияны зерттеу;
-  Гюйгенс принципін және механикалық толқындарда дифракциялық көріністі бақылаудың шарттарын түсіндіру.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
толқын	волна	wave
серпімді толқындар	упругие волны	elastic waves
механикалық толқындар	механические волны	mechanical waves
бойлық толқындар	продольные волны	longitudinal waves
көлденең толқындар	поперечные волны	transverse waves
толқын ұзындығы	длина волны	wavelength
толқын жылдамдығы	скорость волны	wave velocity
толқындық шеп	волновой фронт	wave front
толқындық бет	волновая поверхность	wave surface
қума толқын	бегущая волна	running wave
тұрғын толқын	стоячая волна	standing wave
шоқтық	пучность	antinode
түйін	узел	node
дифракция	дифракция	diffraction

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «толқын», «серпімді толқындар», «механикалық толқындар», «бойлық толқын», «көлденең толқын», «толқын ұзындығы», «толқын жылдамдығы», «толқындық шеп», «толқындық бет», «қума толқын», «тұрғын толқын», «шоқтық», «түйін», «дифракция».

§ 3.1

Механикалық толқындардың таралуы.

Толқын ұзындығы. Толқынның таралу жылдамдығы

1. Кез келген қатты, сұйық, газ тәріздес дененің жеке бөлшектері бір-бірімен өзара әрекеттеседі. Егер серпімді ортаның қандай да бір жерінде оның бөлшектерінің тербелісін тудырса, онда сыртқы әрекет тоқтатылса да, тербеліс сол ортада барлық бағыт бойынша тарай бастайды.

Тербелістердің таралуын зерттегенде ортаның дискреттік (молекулалық) құрылымы ескерілмейді және оны тұтас, серпімді орта деп қарастырады.

Тербелістердің тұтас ортада таралу процесі толқын деп аталады.

Толқындардың негізгі қасиеті олардың табиғатына тәуелсіз, затты тасымалдамай, энергияны тасымалдауы болып табылады.

Заттық ортада тарайтын серпімді ауытқулар механикалық толқындар деп аталады.

Серпімді (механикалық) толқындар бойлық және көлденең толқындарға ажыратылады.

Бойлық толқындарда серпімді ортаның бөлшектері толқынның таралу бағытында, ал *көлденең толқындарда* толқын тарайтын бағытқа перпендикуляр жазықтықта тербеледі.

Бойлық толқындар сығылу және созылу деформациясы кезінде серпімді күштер пайда болатын орталарда, яғни қатты, сұйық және газ тәріздес денелерде байқалады.



3.1.1-сурет. Бойлық және көлденең толқындар

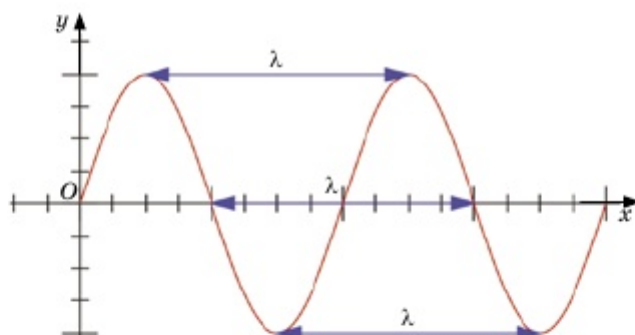
Бойлық толқынды диаметрі үлкен жұмсақ серіппе көмегімен бақылау оңай (3.1.1, а-сурет). Серіппенің бір шетін алақанмен соғып қалғанда, серіппенің сығылуы оның бойымен жүріп өтеді.

Созылған резеңке бау бойымен таралатын толқын көлденең толқынға жатады. Бұл процесс кезінде баудың жеке бөлшектері толқынның таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеледі (3.1.1, ә-сурет).

Көлденең толқындар ығысу деформациясы кезінде серпімді күштер пайда болатын ортада, яғни қатты денелерде ғана пайда болады. Сұйықтарда және газдарда тек бойлық толқындар, ал қатты денелерде толқындардың екі түрі де пайда болады.

2. Егер органның бөлшектерінің тербелістері *синусоидалық (немесе косинусоидалық) тербеліс заңына бағынатын болса, оған сәйкес келетін серпімді толқын гармоникалық* деп аталады.

3.1.2-суретте v жылдамдықпен x осі бойымен тарайтын гармоникалық көлденең толқын көрсетілген. Суреттегі синусоидалық қисық белгілі бір t уақыт мезетінде толқындық процеске қатысатын ортаның бөлшектерінің y ығысуы мен осы бөлшектердің тербеліс көзінен x қашықтығы арасындағы $y(x)$ тәуелділікті сипаттайды. Келтірілген толқындық $y(x)$ функцияның графигі гармоникалық тербеліс графигіне ұқсайды, бірақ олардың мәні өртүрлі. *Толқынның графигі* белгілі бір уақыт мезетіндегі ортаның барлық бөлшектері ығысуларының тербеліс көзіне дейінгі қашықтыққа тәуелділігін білдірсе, *тербеліс графигі* белгілі бір бөлшектің ығысуының уақытқа тәуелділігін сипаттайды.



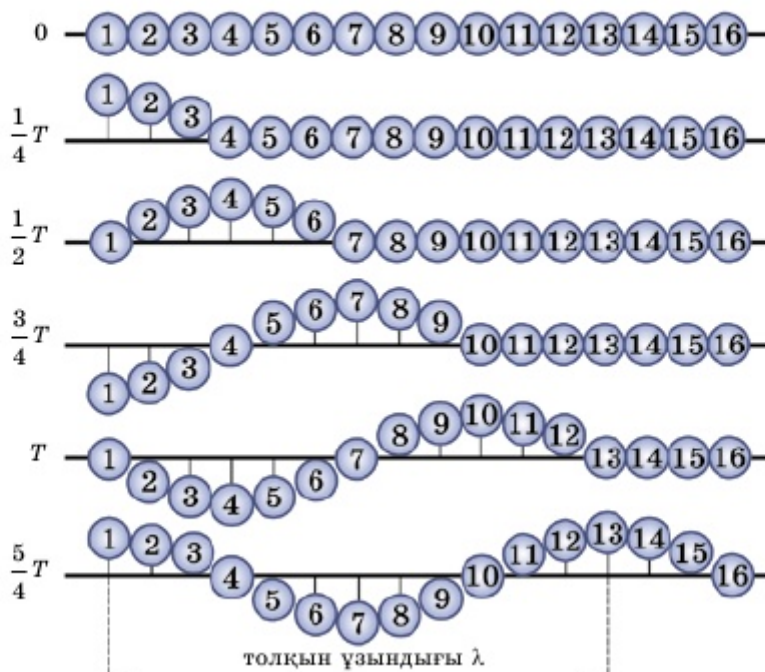
3.1.2-сурет. Гармоникалық көлденең толқынның графигі

Периодқа тең уақытта толқынның тарайтын λ қашықтығы толқын ұзындығы деп аталады.

Толқын ұзындығына бірдей фазамен тербелетін ең жақын нүктелер арасындағы қашықтық сәйкес келеді (3.1.2-сурет).

3.1.3-суретте көлденең толқынның таралу сұлбасы бейнеленген. Кішкене шарлардың уақыттың бастапқы мезетіндегі, периодтың жарты, төрттен бір, төрттен үш және толық периодтан кейінгі орны көрсетілген.

Бір периодтан кейін, яғни тербелістер 13-шарға жеткеннен кейін 1 және 13-шарлар бірдей тербелетінін байқауға болады. Белгілі бір уақыт өтсе де, осы шарлардың тербеліс фазалары бірдей.



3.1.3-сурет. Көлденең толқынның таралу сұлбасы

Толқынның таралу жылдамдығы v оның маңызды сипаттамалардың бірі, ол шекті және мына өрнекпен анықталады:

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (3.1)$$

Период пен жиілік арасындағы тәуелділікті $\left(T = \frac{1}{\nu}\right)$ ескерсек,

$$v = \lambda \nu. \quad (3.2)$$

3. Егер толқындық процесті тереңірек қарастырсақ, толқынның тек x осі бойымен орналасқан бөлшектерді ғана емес, белгілі бір барлық көлемдегі бөлшектер жиынын қамтитыны анық. Басқаша айтқанда, тербеліс көзінен тарайтын толқын кеңістіктің жаңа аймақтарын бірте-бірте қамти береді.

Толқындық бет деп бірдей фазада тербелетін нүктелердің геометриялық орнын айтады.

Толқындық шеп (фронт) деп t уақыт мезетінде тербелістер жететін нүктелердің геометриялық орнын айтады.

Толқындық беттер көп, ал толқындық шеп әр уақыт мезетінде тек біреу ғана бола алады. Толқындық шептердің жиынтығы толқындық бетті құрайды. Толқындық беттердің пішіні әртүрлі, қарапайым түрде, олар бір-біріне параллель жазықтықтардың жиынтығы немесе центрлік сфералар болып келеді. Соған сәйкес толқын **жазық** немесе **сфералық** деп аталады.

**Қосымша деректер**

Су бетіндегі толқындардың пайда болу механизмін қарастырайық. Жоғары бағытталған күштер амплитудасы кішкентай толқындарды тудырады. Ондай толқындардың үстінен ауа ағыны өткен кезде, ол толқын жотасында кішкене ауытқиды, содан кейін төменге ойыстарға қарай түседі. Егер ағын біркелкі болса, жел энергиясы толқындарға берілмес еді және олардың амплитудасы өгермейді. Егер ауа ағыны біркелкі болмаса, ойыстарда пайда болатын ауаның құйыны максимал қысым аймағын ауа ағыны жағына ығыстырады. Сондықтан да қысым өзгерулері судағы толқындармен фаза бойынша сәйкес келмейді, ауа ағыны энергиясының бір бөлігі толқындарға беріледі де, олардың амплитудасы артады. Осылайша, су бетінде алып толқындар да пайда болады.

**Сұрақтар**

1. Қандай процесс толқын деп аталады? Қандай толқын механикалық деп аталады? Толқынның барлық түрлеріне тән жалпы қасиеттері қандай?
2. Қандай толқындар көлденең және бойлық деп аталады?
3. Неліктен газдарда және сұйықтарда көлденең толқындар бола алмайды?
4. Гармоникалық толқын дегеніміз қандай толқын?
5. Толқын ұзындығын график бойынша және аналитикалық түрде қалай анықтауға болады? Толқынның таралу жылдамдығы қалай анықталады?
6. Толқындық шеп дегеніміз не? Толқындық бет дегеніміз не?

**Тапсырма (эксперименталды зерттеу)**

Баудың бір шетін бекітіп, ал бос шетін вертикаль жазықтықта қамшылай қозғаған кезде бауда пайда болатын толқынды бақылаңдар. Не байқағандарыңды сипаттаңдар. Серпімді күшті туғызатын не? Энергияны толқынмен тасымалдау қалай жүзеге асады? Суға тас лақтырған кездегі пайда болатын толқындармен салыстырыңдар.

ЕСЕПТЕРДІ ШЕШУ МЫСАЛДАРЫ

1-есеп. Судағы дыбыс жылдамдығы 1450 м/с. Қарама-қарсы фазаларда 725 Гц жиілікпен тербеліс жасайтын нүктелердің минимал қашықтығы қандай?

Берілгені:

$$v = 1450 \text{ м/с}$$

$$\varphi = 180^\circ$$

$$\nu = 725 \text{ Гц}$$

 $L = ?$ **Шешуі:**

Толқын ұзындығын табайық:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{1450}{725} = 2 \text{ м.}$$

Нүктелердің арасындағы қашықтық толқын ұзындығының жартысына тең болғанда олар қарама-қарсы фазада болады.

$$\text{Сондықтан: } L = \frac{\lambda}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ м.}$$

Жауабы: $L = 1 \text{ м.}$

2-есеп. Пойыз вагонында ұзындығы 1 м маятник ілулі тұр. Пойыз қозғалған кезде маятник рельстер торабындағы соққыдан тербеледі. Рельстердің ұзындығын 25 м деп алып, маятниктің күшті тербелуіне сәйкес келетін пойыз жылдамдығын анықтаңдар.

Берілгені:

$$l_1 = 1 \text{ м}$$

$$l_2 = 25 \text{ м}$$

$$v = ?$$

Шешуі:

Күшті тербеліс резонанс кезінде, яғни маятниктің тербеліс периоды вагонның тербеліс периодымен сәйкес келген кезде пайда болады: $v_1 = v_2$, мұндағы v_1 – маятниктің тербеліс жиілігі, ал v_2 – вагонның тербеліс жиілігі.

Жиілік пен период $v = \frac{1}{T}$ өрнегімен байланысқандықтан, $v_1 = v_2$ болғанда маятник пен вагон тербелістерінің периодтары да теңеледі: $T_1 = T_2$. Маятниктің периоды $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g}} = 2 \text{ с}$. Ендеше $T_2 = 2 \text{ с}$. Пойыз әр рельстің бойымен 2 секунд қозғалады. Шарт бойынша бұл қашықтық 25 м болғандықтан, пойыз жылдамдығы $v = \frac{25 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 12,5 \text{ м/с}$.

Жауабы: $v = 12,5 \text{ м/с}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 3.1.1. Жиілігі 200 Гц тербеліс көзі тудырған сутектегі дыбыс толқынының ұзындығын табыңдар. Сутектегі дыбыс жылдамдығы 1286 м/с. (*Жауабы: 6,43 м*)
- 3.1.2. Камертонның ауада тудырған тұрғын толқын түйіндерінің арасындағы қашықтық 15 см. Дыбыс жылдамдығын 340 м/с деп алып, камертонның тербеліс жиілігін табыңдар. (*Жауабы: 1133 Гц*)

В

- 3.1.3. 500 Гц жиілікте 300 м/с жылдамдықпен тарайтын толқындардың бір-бірінен 20 см қашықтықтағы нүктелердің фазалар айырымы қандай? (*Жауабы: $2\pi/3$*)
- 3.1.4. Бір-бірінен 10 см қашықтықтағы дыбыс толқыны нүктелерінің фазалар айырмасын табыңдар. Тербеліс жиілігі 680 Гц. Дыбыс жылдамдығы 340 м/с. (*Жауабы: $2\pi/5$*)
- 3.1.5. Өзен бойымен қозғалатын теплоход ысқырығы тудыратын ауадағы тербелістің жиілігі 400 Гц. Жағада тұрған бақылаушыға ысқырық дыбыс жиілігі 395 Гц тербеліс сияқты сезіледі. Теплоходтың қозғалыс жылдамдығы v қандай? Ол бақылаушыдан алыстап бара жатыр ма, әлде жақындап келе ме? Дыбыс жылдамдығы 340 м/с. (*Жауабы: 4,25 м/с, алыстап барады*)

3.1.6. Теңіздегі толқын жоталары арасындағы қашықтық $\lambda = 7$ м. Толқынға қарсы жүзгенде толқын катерді $t = 2$ с ішінде $N_1 = 3$ рет, ал бағыттас жүзгенде $N_2 = 1$ рет соғады. Катер мен толқынның жылдамдығын табыңдар. (Жауабы: $v_k = 7$ м/с; $v_r = 3,5$ м/с;)

3.1.7. Тербеліс көзінен $l = \frac{\lambda}{6}$ қашықтықта орналасқан нүктенің тепе-теңдік күйінен x ауытқуын табыңдар. $t = \frac{T}{2}$ мезеттегі тербеліс амплитудасы $x_m = 0,1$ м. (Жауабы: 86,6 мм)

С

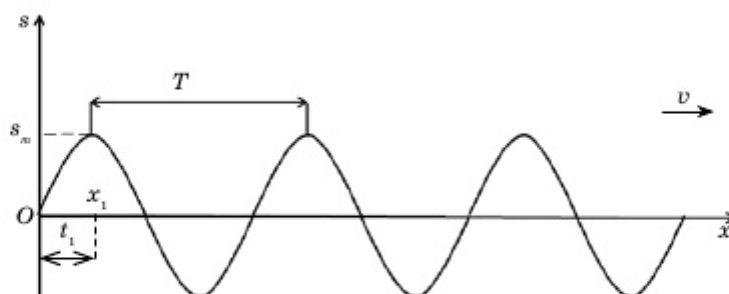
3.1.8. Біртіндеп су құйылып тұрған цилиндрлік ыдыстың жоғарғы ернеуіне дыбыстайтын камертонды жақындатқан. Сұйық бетінен ыдыстың жоғарғы шетіне дейінгі қашықтық $h_1 = 25$ см және $h_2 = 75$ см болғанда камертонның шығарған дыбысы күшейеді. Камертонның тербеліс жиілігін анықтаңдар. Дыбыс жылдамдығы 340 м/с. (Жауабы: 340 Гц)

3.1.9. Бүркіт қанаттарын 2 Гц жиілікпен қағады. Бүркіт 10 м/с жылдамдықпен 500 м қашықтыққа ұшса, ол қанатын қанша рет қағар еді? (Жауабы: 100)

§ 3.2

Қума толқын теңдеуі

1. Гармоникалық толқын тараған кезде кеңістіктің кез келген нүктесінде *тербелісті сипаттайтын теңдеуді* табылық. Ол үшін жіңішке резеңке бау бойымен тарайтын толқынды қарастырайық.



3.2.1-сурет. Жіңішке бау бойымен тарайтын гармоникалық толқын

Ox осін бау бойымен бағыттайық, ал санақ басын баудың сол жақ шетімен байланыстырайық (3.2.1-сурет). Тербелетін нүктенің тепе-теңдік жағдайынан орын ауыстыруын s арқылы белгілейік.

Сонда баудың сол жақ ұшындағы нүктенің тербелісін синус (немесе косинус) периодты функциясы бойынша былайша өрнектейміз:

$$s = s_m \sin \omega t, \quad (3.3)$$

мұндағы s_m – тербеліс амплитудасы. Бастапқы фаза нөлге тең ($\varphi_0 = 0$).

Тербелістер бау бойымен v жылдамдығымен тарайды деп есептесек, онда олар координатасы x_1 нүктеге (3.2.1-сурет) t_1 уақытта жетеді:

$$t_1 = \frac{x_1}{v}. \quad (3.4)$$

Бұл нүкте осы мезетте тербеле бастайды, бірақ оның тербеліс уақыты алғашқы нүктенің тербелісіне қарағанда t_1 шамасына кешігеді.

Толқын тараған кездегі өшу процесін ескермесек, координатасы x_1 нүктенің тербеліс амплитудасы да s_m болады, алайда фазасы басқа мәнді қабылдайды:

$$s = s_m \sin \left[\omega \left(t - t_1 \right) \right] = s_m \sin \left[\omega \left(t - \frac{x_1}{v} \right) \right]. \quad (3.5)$$

(3.5) формуласы Ox осімен тарайтын **қума толқын теңдеуі** деп аталады. Егер тербелістердің бастапқы φ_0 фазасы нөлге тең болмаса, онда (3.5) теңдеуін былайша жазамыз:

$$s = s_m \sin \left[\omega \left(t - \frac{x_1}{v} \right) + \varphi_0 \right]. \quad (3.6)$$

2. Синус аргументі толқын фазасы деп аталады:

$$\omega \left(t - \frac{x_1}{v} \right) + \varphi_0. \quad (3.7)$$

Синусты косинусқа ауыстырғанда бастапқы фаза $\frac{\pi}{2}$ мәнге ауысады. (3.6) теңдеуіндегі ω шамасын $2\pi v$ шамасына ауыстырып және жылдамдық үшін (3.2) өрнекті қолданып, бұл теңдеуді былай түрлендіреміз:

$$s = s_m \sin \left[2\pi v \left(t - \frac{x_1}{\lambda v} \right) + \varphi_0 \right] = s_m \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right]. \quad (3.8)$$

Соңғы теңдеуді сипаттайтын функцияның **екіжақты периодтылыққа** ие екенін көруге болады: оның бірі – x -тің белгіленген мәнінде **уақыт бойынша периодтылық**, екіншісі – t уақыттың белгіленген мәнінде **кеңістік бойынша периодтылық**. Бұл (3.8) теңдеудегі t шамасын $t + T$ шамасына және x шамасын $x + \lambda$ шамасына ауыстырғанда ығысудың мәні өзгермейтінін білдіреді.

Уақыт және кеңістік бойынша периодты өзгеретін гармоникалық тербеліс қума толқын деп аталады.

Қума толқында бүкіл нүктелер бірдей периодпен, бірақ әртүрлі фазалармен тербелер еді. Координаталары x_1 және x_2 нүктелердің фазалар айырымы:

$$\Delta\varphi = \varphi(x_2) - \varphi(x_1) = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda}. \quad (3.9)$$

Егер $x_2 - x_1 = \lambda$ болса, онда фазалар айырымы 2π -ге теңеліп, нүктелер синфазалы (бірдей фазада) тербеледі. Егер $x_2 - x_1 = \frac{\lambda}{2}$ болса, онда фазалар айырымы $\frac{\pi}{2}$ -ге теңеледі де, нүктелер қарама-қарсы фазада тербеледі.

Табиғатта мүлтіксіз гармоникалық толқындар болмайды, себебі механикалық энергияның шығыны бар, сондықтан уақыт өте толқын өшеді. Егер бір толқын ұзындығында қума толқынның өшуі елеусіз болса және баудың ұзындығына өте көп толқын ұзындығы сәйкес келсе гармоникалық толқын туралы жуықтап айтуға болады.

? Сұрақтар

1. Ұзын жіп бойымен қозғалатын гармоникалық толқында тербелетін нүктенің ауытқуы қандай теңдеумен сипатталады?
2. Гармоникалық қума толқындарды қандай теңдеулермен өрнектеуге болады?
3. Қандай толқын қума толқын деп аталады?
4. Қандай шарттар орындалғанда қума толқындағы нүктелер синфазалы немесе қарсыфазалы тербеледі?

📖 Тапсырма (теориялық зерттеу)

Реферат немесе презентация түрінде «Жер сілкінісі» тақырыбына баяндама даярлаңдар. Осы құбылыстың табиғаттағы әртүрлі толқын түрлерімен байланысын ашыңдар.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Жиілігі $\nu = 500$ Гц және амплитудасы $s_m = 0,25$ мм дыбыс тербелістері ауада тарайды. Толқын ұзындығы $\lambda = 70$ см. Тербелістердің таралу жылдамдығын v және ауа бөлшектерінің максимал жылдамдығын v_m табыңдар.

<i>Берілгені:</i>	<i>ХБЖ</i>	<i>Шешуі:</i>
$\nu = 500$ Гц	$2,5 \cdot 10^{-4}$ м	Тербеліс жылдамдығы толқын ұзындығы мен тербеліс жиілігіне тура пропорционал: $v = \lambda \nu.$
$s_m = 0,25$ мм		
$\lambda = 70$ см		
$v = ?$ $v_m = ?$		Сондықтан жылдамдық $v = 0,7 \text{ м} \cdot 500 \text{ Гц} = 350 \text{ м/с}.$

Толқын теңдеуі мына формуламен өрнектеледі:

$$s = s_m \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right],$$

мұндағы s – тербеліс көзінен x қашықтықтағы t уақыт мезетіндегі нүкте ығысуы; s_m – тербелетін нүктелердің амплитудасы. Толқын тарайтын ортадағы нүктелердің жылдамдығын толқын теңдеуін уақыт бойынша дифференциалдап табуға болады:

$$v_m = s' = s_m \omega \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right].$$

Егер $\cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right] = 1$ болса, ауадағы бөлшектер жылдамдығы максимал болады: $v_m = s_m \omega = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 500 = 0,785$ м/с.

Жауабы: $v = 350$ м/с; $v_m = 0,785$ м/с.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 3.2.1. Балықшы қалтқының толқындарда 18 с-та 45 тербеліс жасағанын байқады, толқындардың көршілес жоталарының арасындағы қашықтық 1,2 м. Толқындардың таралу жылдамдығы қандай? (Жауабы: 3 м/с)
- 3.2.2. Толқын серпімді ортада 80 м/с жылдамдықпен таралады. Ортаның қарама-қарсы фазада тербелетін нүктелерінің арасындағы ең кіші Δl қашықтық 2 м. Тербеліс жиілігін табыңдар. (Жауабы: 20 Гц)
- 3.2.3. Жиілігі ν болатын тербеліс көзінен өшпейтін жазық дыбыс толқыны тарайды. Тербеліс көзінің амплитудасы A -ға тең. Егер бастапқы кезде тербеліс көзі нүктелерінің ығысуы максимал болса, онда тербелістердің $x(0, t)$ теңдеуі қандай болады? Дыбыс жылдамдығы 340 м/с екенін ескеріңдер.

(Жауабы: $x(0, t) = A \cos \left(2\pi \nu t - \frac{\pi \nu x}{170} \right)$)

В

- 3.2.4. Тербеліс көзінен толқын түзу сызық бойымен тарайды. Тербеліс амплитудасы 15 см. Тербеліс көзінен $l = \frac{1}{2} \lambda$ қашықтықтағы нүктенің тербеліс басталуынан $t = 0,5 T$ уақыт өткеннен кейінгі тепе-теңдік күйінен ығысуын табыңдар. (Жауабы: 0,15 м)
- 3.2.5. Көлде желсіз күні қайықтан ауыр зәкір лақтырылды. Зәкірдің түскен нүктесінен толқын тарала бастады. Жағада тұрған адам толқынның оған 40 с-тан кейін жеткенін, ал толқындардың көршілес жоталарының арасындағы қашықтық 0,3 м екенін байқады. 5 с-та жағаға толқын 10 рет соғылды. Қайық жағадан қандай қашықтықта болды? (Жауабы: 24 м)
- 3.2.6. Серпімді ортада орналасқан толқын көзі мен одан $l = 2$ м қашықтықта орналасқан орта нүктесі тербелістерінің $\Delta \varphi$ фазалар айырымын табыңдар. Тербеліс жиілігі $\nu = 5$ Гц, толқындар 40 м/с жылдамдықпен таралады. (Жауабы: 1,57 рад)
- 3.2.7. Жазық дыбыс толқынының теңдеуі: $s = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{l}{v} \right) \right]$, периоды 3 мс, амплитудасы 0,2 мм және толқын ұзындығы 2,1 м. Тербеліс көзінен 2 м қашықтықтағы орта нүктелері үшін келесі шамаларды: 7 мс уақыт мезетіндегі тепе-теңдік күйінен ығысуын; осы уақыт мезетіндегі жылдамдықты және үдеуді табыңдар. Тербелістердің бастапқы фазасын нөлге тең деп алыңдар. (Жауабы: $-0,1$ мм; 36,3 см/с; 438 м/с²)
- 3.2.8. Толқынның теңдеуі $x = \sin 2,5 \pi t$ берілген. Тербеліс басталғаннан кейін $t = 1$ с уақыт үшін тербеліс көзінен 20 м қашықтықтағы нүктенің тепе-теңдік

күйінен ығысуын, жылдамдығы мен үдеуін табыңдар. Тербелістердің таралу жылдамдығы $v = 100$ м/с. (Жауабы: 0; 7,85 м/с; 0)

3.2.9. Өшпейтін тербелістердің теңдеуі $x = 2,5 \sin 400 \pi t$ берілген. Тербеліс басталғаннан кейін 0,01 с уақыттағы тербеліс көзінен 75 см қашықтықтағы нүктенің тепе-теңдік күйінен ығысуын табыңдар. Тербелістің таралу жылдамдығы 400 м/с. (Жауабы: 2,5 см)

С

3.2.10. Бір сәуленің бойында тербеліс көзінен $L_1 = 15$ м және $L_2 = 20$ м қашықтықта жатқан екі нүктенің тербелістерінің фазалар айырымы $\pi/2$ рад. Тербеліс көзінің периоды 0,01 с деп алып, берілген ортадағы тербелістің таралу жылдамдығын анықтаңдар. (Жауабы: 2 км/с).

§ 3.3

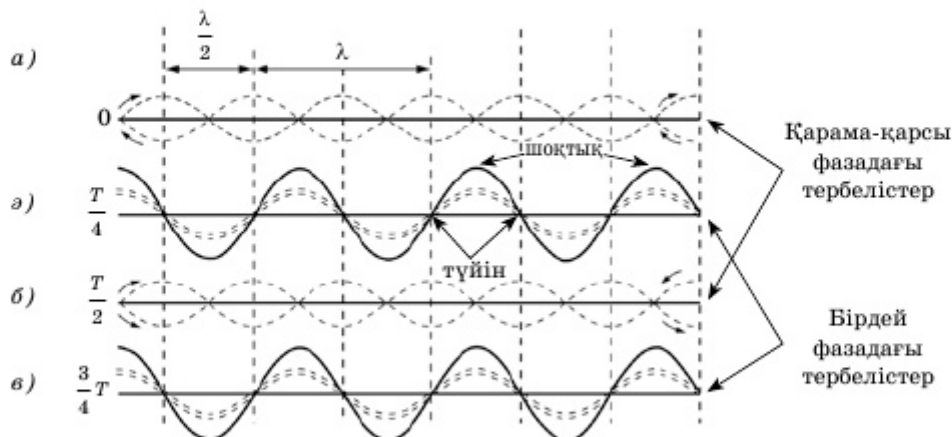
Тұрғын толқын теңдеуі

1. Тұрғын толқын деп бір-біріне қарама-қарсы бағытта бірдей жиілік және амплитудамен тарайтын екі құма толқынның қабаттасуынан пайда болатын толқындарды айтады.

Бау бойымен тарайтын толқынды қарастырғанда, ол шексіз тарайды деп есептеп, баудың екінші ұшы бар екенін ескермедік. Егер баудың екінші ұшы бекітілген болса, толқын бекітілген нүктеге дейін барып шағылады да, қарама-қарсы бағытпен тарай бастайды. Мұндай жағдайда қарама-қарсы бағытта тарайтын екі толқынның қабаттасуынан тұрғын толқын пайда болады (3.3.1-сурет).

Толқын баудың бекітілген шетінен шағылғанда оның тербеліс фазасы өзгеріске ұшырайды.

3.3.1-суретте бір-біріне қарама-қарсы бағытта периодтың төрттен бір уақытына кешігіп тарайтын екі құма толқынның орналасу қалпы көрсетілген.



3.3.1-сурет. Тұрғын толқындардың пайда болуы

Баудың қорытқы тербелісі екі тербелістің қабаттасуынан пайда болады. Егер кейбір нүктелерде бірдей фазадағы тербелістер қосылса, онда бұндай нүктелерде тербеліс амплитудасы екі еселенеді (3.3.1, *a* және *b*-сурет).

Бірдей фазада тарайтын екі толқынның қабаттасуы арқылы амплитудалары екі есе артатын нүктелер шоқтық деп аталады.

Егер белгілі бір нүктелерде қарама-қарсы фазалы тербелістер қосылса, бұл нүктелерде өшу пайда болады да, олар тыныштық қалпын сақтайды (3.3.1, *a* және *b*-сурет).

Түйіндер деп қарама-қарсы фазада тербеле отырып, түскен және шағылған екі толқынның қабаттасуы кезінде тыныштық күйінде қалатын нүктелерді айтады.

Түйіндер мен шоқтықтар бау бойымен орын ауыстырмайды. Өйткені түйіндер мен шоқтықтар тербелістерінің фазалар айырымы уақыт бойынша өзгермейді. Ол тек баудағы нүктелердің орналасу қалпына ғана тәуелді болады. Сөйтіп, уақыттың кез келген мезетінде бау нүктелерінің тепе-теңдік күйлерінен ығысуларының нәтижесінде кеңістікте орындарын ауыстырып тарамайтын толқын туындайды. Сондықтан мұндай толқын *тұрғын* толқын деп аталады.

2. Тұрғын толқын теңдеуін алу үшін түскен және шағылған толқындарды қарастырайық. Қума толқын теңдеуі:

$$s_1 = s_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right). \quad (3.10)$$

Шағылған толқын теңдеуі:

$$s_2 = -s_m \sin \omega \left(t - \frac{2l - x}{v} \right), \quad (3.11)$$

себебі толқын баудың екінші ұшына жетіп, кейін x нүктесіне қайта оралғанда $2l - x$ қашықтықты жүріп өтеді.

Қорытқы ығысу ($s = s_1 + s_2$) мына өрнек бойынша табылады:

$$s = s_m \left[\sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) - \sin \omega \left(t - \frac{2l - x}{v} \right) \right].$$

Синустардың айырымы туралы теореманы қолданып, соңғы теңдеуді, яғни *тұрғын толқынның теңдеуін* мына түрге келтіреміз:

$$s = 2s_m \sin \omega \frac{l - x}{v} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{l}{v} \right), \quad (3.12)$$

мұндағы тербелістер амплитудасы мынаған тең:

$$s_a = 2s_m \sin \omega \frac{l - x}{v}. \quad (3.13)$$

Түйін (немесе шоқтық) нүктелері $\frac{\omega \Delta x}{v} = \pi$ шартқа сәйкес келетін қашықтықта жатады. Осыдан:

$$\Delta x = \frac{\pi v}{\omega} = \frac{vT}{2} = \frac{\lambda}{2}. \quad (3.14)$$

Көршілес шоқтықтар (немесе түйіндер) арасындағы қашықтық толқын ұзындығының жартысына тең.

Екі көршілес түйіндердің (3.3.1-сурет) арасындағы барлық нүктелердің тербелістерінің фазасы тұрғын толқында бірдей болады. Берілген уақыт мезетіндегі көршілес түйін арасында нүктелердің ығысуы бір бағытта жүреді.

Қума толқында нүктелер бірдей амплитудамен, бірақ әртүрлі фазада тербеледі, ал тұрғын толқында тербеліс фазасы түйіндердің арасында бірдей болады, бірақ амплитуда нүктеден нүктеге өзгеріп отырады.



Сұрақтар

1. Тұрғын толқын деп қандай толқынды айтады? Қума толқын мен тұрғын толқынның айырмашылықтары қандай?
2. Шоқтықтар дегеніміз не? Түйіндер дегеніміз не?
3. Тұрғын толқын теңдеуі қалай алынады? Шоқтықтың (немесе түйіндердің) арақашықтығы қалай анықталады?
4. Тұрғын толқында энергия тасымалдана ма? Неге?



ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Серпімді біліктің бір шеті $s = s_m \cos \omega t$ заңымен өзгертін гармоникалық тербелістер көзіне қосылған, ал екінші шеті жақсы бекітілген. Біліктің бекіту нүктесінде шағылу тығыздығы азырақ ортада болады деп есептеп, біліктің кез келген нүктесіндегі тербеліс сипатын анықтаңдар.

Берілгені:

$$s = s_m \cos \omega t$$

Ортаның тығыздығы азырақ

$$s(x, t) = ?$$

Шешуі:

Есептің шарты бойынша түсетін толқын косинус-оидальдық функциямен сипатталып, төмендегі теңдеумен өрнектеледі:

$$s_1 = s_m \cos \left(t - \frac{x}{v} \right).$$

Толқын тарайтын ортадан тығыздырақ ортадан шағылғанда, шағылған нүктеде түйін пайда болып, фаза қарама-қарсы фазаға өзгереді. Мұндайда толқынның жартысы жоғалады. Ал толқын оптикалық тығыздығы азырақ ортадан шағылса, шағылған орында шоқтық пайда болады да, толқынның жартысы жоғалмайды. Мұндай жағдайда шағылған толқын мына теңдеумен өрнектеледі:

$$s_2 = s_m \cos \left(t + \frac{x}{v} \right).$$

Ендеше тұрғын толқын үшін мына өрнекті аламыз:

$$s(x, t) = s_1 + s_2 = s_m \cos \left(t - \frac{x}{v} \right) + s_m \cos \left(t + \frac{x}{v} \right),$$

бұл өрнекке косинустардың қосындысы туралы теореманы қолдансақ, мына түрге

$$\begin{aligned} \text{келеді: } s(x, t) &= s_m \left[\cos \omega t \cos \frac{\omega x}{v} + \sin \omega t \sin \frac{\omega x}{v} + \cos \omega t \cos \frac{\omega x}{v} - \sin \omega t \sin \frac{\omega x}{v} \right] = \\ &= 2s_m \cos \frac{\omega x}{v} \cos \omega t, \text{ немесе } \omega = \frac{2\pi}{T}, \lambda = vT, \frac{\omega x}{v} = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{\lambda} x = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x \text{ болғандықтан} \end{aligned}$$

$$s(x, t) = 2A \cos \frac{2\pi}{\lambda} x \cdot \cos \omega t,$$

мұндағы A – ауытқу амплитудасы ($A = s_m$).

$$x = \pm m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ болғанда тұрғын толқын шоқтықтары байқалады.} \\ (s = \pm 2A).$$

$$x = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ болғанда тұрғын толқын түйіндері байқалады.} \\ (s = 0).$$

Өз бетінше шығаруға арналған есептер

A

- 3.3.1. Тұрғын толқындағы бесінші және жетінші түйіндердің арасындағы l қашықтық 10 см болса, қума толқынның λ толқын ұзындығы қандай болады? (Жауабы: 10 см)
- 3.3.2. Тұрғын толқынның бірінші және төртінші түйіндерінің арақашықтығы 45 см. Толқын ұзындығын анықтаңдар. (Жауабы: 30 см).
- 3.3.3. Аспап ішегінде тұрғын толқын пайда болады. Түскен және шағылған толқындардың толқын ұзындығы l . Екі көршілес түйіннің арақашықтығы қандай? (Жауабы: $0,5 l$)

B

- 3.3.4. Тұрғын толқындағы екінші және бесінші шоқтықтардың арасындағы l қашықтық 15 см болса, қума толқынның λ ұзындығы қандай? (Жауабы: 10 см)
- 3.3.5. Шағылу тығыздығы аздау ортада болады деп есептеп, шоқтықтар мен түйіндердің орнын табыңдар да, тұрғын толқынның графигін сызыңдар. Қума толқын ұзындығы 16 см. (Жауабы: Шоқтықтар – $0,08 n$; Түйіндер – $0,04 (2n + 1)$)
- 3.3.6. Тұрғын толқынның шоқтығындағы тербеліс амплитудасы 1 м. Ал шоқтықтан 0,3 м қашықтықтағы нүктеде тербеліс амплитудасы 2 есе аз. Қума толқынның ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 1,2 м)
- 3.3.7. Тұрғын толқын қума толқын мен оның таралу бағытына перпендикуляр екі органы бөлетін шегаралық беттен шағылған толқынның қабаттасуынан пайда болады. Егер толқын тығыздығы аздау ортадан шағылса, тұрғын

толқынның түйіндері мен шоқтықтарының орналасу қалыптары қандай болады? Дыбыс тербелістерінің таралу жылдамдығы 340 м/с және периоды $3 \cdot 10^{-4}$ с. (*Жауабы:* Шоқтықтар – 0,051 n; түйіндер – $0,051(n + 1/2)$)

С

3.3.8. Ұзындығы 0,8 м ішек екі тірек арасында қатты керілген. Ішектегі толқынның таралу жылдамдығы 16 м/с. Ішекте қоздыруға болатын бірінші бес тұрғын толқынның жиіліктерін ең ұзынынан бастап табыңдар. Осы тербелістердің қайсысы естілетін дыбыс көздері болады? (*Жауабы:* 10, 20, 30, 40, 50 Гц; Жиілігі 20, 30, 40, 50 Гц тербелістегі дыбыс естіледі)

3.3.9. Тұрғын толқын қума дыбыс толқыны мен оның таралу бағытына перпендикуляр орталардың шегарасынан шағылған толқынның қабаттасуы кезінде пайда болады. Толқын тығызырақ ортада деп есептеп, тұрғын толқынның шоғырлары мен түйіндерінің орындарын табыңдар. Дыбыс толқындарының таралу жылдамдығы 340 м/с, жиілігі 4,3 кГц.

(*Жауабы:* Шоқтықтар – 0,04 n; Түйіндер – $0,04(n + \frac{1}{2})$)

3.3.10. Темір түтікте тұрғын толқын пайда болғанда 8 шоқтық байқалды. Егер темір түтік: а) ортасынан, ә) төменгі ұшынан бекітілсе, онда ауа бағанының l_2 ұзындығы қандай болады? Түтіктің ұзындығы 2 м. Дыбыстың темірдегі және ауадағы жылдамдықтары сәйкесінше 5930 м/с, 343 м/с.

(*Жауабы:* 0,925 м; 1,85 м)

№2 зертханалық жұмыс

Ауадағы дыбыс жылдамдығын өлшеу

Жұмыстың мақсаты: Тұрғын толқындардың пайда болу құбылысымен танысып, ауадағы дыбыс жылдамдығын тәжірибе жүзінде өлшеу.

Қажетті құрал-жабдықтар: 1) жылжымалы поршені бар түтікше; 2) өлшейтін сызғыш; 3) телефоны бар дыбыс генераторы.

Қысқаша теория. Дыбыс толқындары деп серпімді ортада тарайтын тербеліс жиіліктері 16 – 20 000 Гц аралығында болатын механикалық толқындарды айтады. Ауадағы дыбыс жылдамдығын өлшеуде тұрғын толқындар әдісі пайдаланылады. Тұрғын толқын деп бір-біріне қарама-қарсы бағытта бірдей жиілікпен және амплитудамен тарайтын екі қума толқындардың қабаттасуынан пайда болатын қорытқы толқынды айтады. Екі қума дыбыс толқынын қабаттастырып тұрғын дыбыс толқынын алуға болады. Мұндай тұрғын дыбыс толқындары жылжымалы поршені бар түтікшеде пайда болады (3.3.2-сурет). Түтікшедегі дыбыс көзінен шыққан қума толқындар түтікше бойымен тарап, поршеньнен шағылғанда кері тарайтын қума толқын пайда болады. Ал екі бағытта тарайтын толқындар қабаттасқанда тұрғын толқын пайда болады. Тұрғын толқынның шоқтықтарының және түйіндерінің арасындағы λ қашықтықты эксперимент арқылы өлшеп, сонымен қатар дыбыс генераторының ν жиілігі арқылы $v = \lambda\nu$ формуласын пайдаланып, ауадағы дыбыс жылдамдығын табады.

Жұмыстың орындау реті

1. 3.3.2-сурет бойынша мектеп зертханасындағы қондырғыны жинап құрастырыңдар. Суретте көрсетілген жабдықтар: 1 – дыбыс генераторы; 2 – дыбыс тербелістерін шығарушы көз; 3 – болат түтік; 4 – миллиметрлік шкала; 5 – поршень; 6 – көрсеткіш.



3.3.2-сурет

2. Мұғалімнің рұқсатымен дыбыстық генераторды 220 В желіге қосып бір-екі минут қыздырыңдар.

3. Сонан соң диапазон ауыстырғышымен және баптау тұтқасы арқылы мұғалім айтқан генерация жиілігіне қойыңдар. Ұсынылатын диапазон аралықтары 900 – 1500 Гц.

Нұсқау: жиілікті дыбыс жақсы естілетіндей, бірақ басқаларға кедергі келтірмейтіндей етіп қою керек.

4. Поршеньді түтік шетінде орналасқан дыбыс көзіне – телефонға тиістіре жақындатыңдар.

5. Поршеньді телефоннан жайлап және бірқалыпты алшақтатып, түтіктің бүкіл ұзындығы бойында дыбыстың күрт күшею нүктелерін белгілеп алыңдар. Бұл нүктелер толқынның шоқтықтары болып табылады. Шоқтықтар арасындағы қашықтықты тауып, тұрғын дыбыс толқындарының толқын ұзындығын анықтаңдар.

Қашықтықтарды l_m және нүкте нөмірлерін n бақылау журналына тіркеңдер.

6. 3 және 4-тармақтардағы әрекетті дыбыс тербелістерінің басқа екі жиілігі үшін қайталаңдар. Ұсынылатын диапазон аралықтары 900 – 1500 Гц.

Өлшеу нәтижелерін бақылау журналына тіркеңдер.

7. «Сеть» батырмасын басып, генераторды сөндіріңдер де, қондырғыны ток көзінен ажыратыңдар.

8. Барлық жағдайлар үшін тұрғын толқын ұзындығын анықтаңдар.

9. Ауадағы дыбыс жылдамдығын қума толқын ұзындығының барлық мөндері үшін есептеңдер.

10. Абсолюттік және салыстырмалы қателерді анықтаңдар. Ол үшін №1 зертханалық жұмыстың 5-тармағын пайдаланыңдар.

11. Нені өлшегендерің, қандай нәтиже алғандарың туралы қорытып жазыңдар.

12. Жұмыс нәтижесін пысықтау үшін төменде берілген сұрақтарға жауап беріңдер.

**Сұрақтар**

1. Тербелістердің периоды, амплитудасы, жиілігі және тербеліс фазаларының анықтамалары қалай тұжырымдалады?
2. Неге тұрғын толқын энергия тасымалдамайды?
3. Тұрғын толқындардың пайда болуы қалай түсіндіріледі?
4. Қума толқындағы орта нүктелері тербелістерінің амплитудалары бірдей ме? Тұрғын толқындарда ше?
5. Қума толқындағы ортаның тербеліс фазасы нүктеден нүктеге қалай өзгереді? Тұрғын толқында ше?

§ 3.4

Механикалық толқындардың интерференциясы

1. Табиғатта толқындық процестер орын алғанда кеңістіктің берілген нүктесінде бір уақытта екі толқынның қабаттасып қиылысатын құбылысы жиі кездеседі. Мысалы, суға екі тас лақтырылса, екі толқын пайда болып, олар бір нүктеде тоғысқанымен бір-біріне тәуелсіз, өз бағыттарын сақтап тарай береді. Алайда судың кейбір бөліктері бұрынғы күйінде қалып, ал кейбір бөліктерінде тербеліс күшейеді.

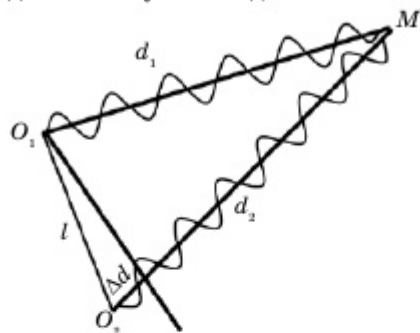
Екі толқынның қабаттасуын сипаттау үшін *толқынның когеренттілігі* деген ұғым енгізіледі.

Егер толқындардың фазалар айырымы уақыт бойынша тұрақты болса, онда олар когерентті деп аталады. Жиіліктері бірдей толқындар ғана когерентті бола алады.

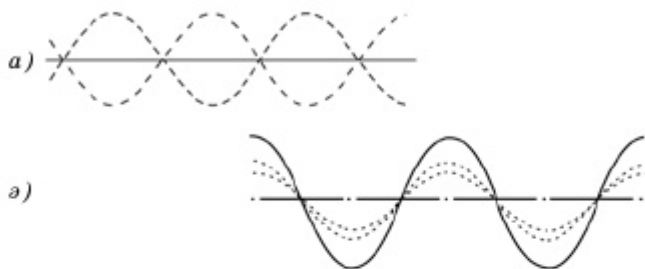
2. Толқындар интерференциясы деп екі (немесе бірнеше) толқынның кеңістікте қабаттасуы кезінде оның әртүрлі нүктелерінде қорытқы толқын амплитудасының күшею немесе әлсіреу құбылысын айтады.

Интерференциялық құбылыс тек когерентті толқындарда ғана байқалады.

O_1, O_2 стерженнің ұштарына бекітілген гармоникалық тербелістер жасайтын кішігірім екі шариктің су бетінде туғызатын толқындарын қарастырайық (3.4.1-сурет). M нүктесінде екі толқын бір уақыт мезетінде қабаттассын. Егер толқын көздері арасындағы қашықтық l осы толқындардың M нүктесіне дейін жүрген d_1 және d_2 жолдарынан кіші болса, онда толқындар амплитудасын бірдей деп есептеуге болады.



3.4.1-сурет. Екі когерентті көзден тарайтын толқындардың қабаттасуы



3.4.2-сурет. Когерентті толқындардың өшуі және күшеюі

Интерференция нәтижесі (күшеюі немесе әлсіреуі) толқындардың жол айырымы деп аталатын $\Delta d = d_2 - d_1$ шамасына тәуелді. Мысалы, егер фазалар айырымы $\Delta\varphi = \pi$ екі толқын қабаттасса, онда тербелістер қарама-қарсы фазада өтіп (3.4.2, а-сурет), жол айырымы толқын ұзындығының жартысына тең болады $\left(\Delta d = \frac{\lambda}{2}\right)$. Екінші толқын біріншіден жарты периодқа кешігеді. Мұндай жағдайда толқындар

бір-бірін өшіреді де, қорытқы тербеліс амплитудасы нөлге тең болады, сөйтіп, қарастырылатын нүктеде тербеліс болмайды. Осындай жағдай жол айырымының мәндері $\frac{3}{2}\lambda$, $\frac{5}{2}\lambda$... т.с.с. шамаларға тең болғанда да байқалады.

3.4.2, ә-суретте фазалар айырымы нөлге тең екі толқынның қабаттасуы бейнеленген. Мұндай жағдайда жол айырымы толқын ұзындығына тең болады ($\Delta d = \lambda$) да, екі толқынның жоталары бір-біріне сәйкес келеді. Сөйтіп, қорытқы тербеліс амплитудасы екі еселеніп, толқындар бір-бірін күшейтеді. Жол айырымы екі толқын ұзындығына, үш толқын ұзындығына т.с.с. тең болғанда да, тап сондай интерференциялық нәтиже алынады. Міне, осылайша толқындардың **интерференциясының минимум және максимум шарттарын** анықтауға болады.

Егер белгілі бір нүктеде бір-бірімен қабаттасқан толқындардың жол айырымы толқындардың бүтін санына тең болса, онда ортаның осы нүктесінде толқын күшейеді (максимум шарты):

$$\Delta d = k\lambda, k = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (3.15)$$

Егер белгілі нүктеде бір-бірімен қабаттасқан толқындардың жол айырымы жарты толқындардың тақ санына тең болса, онда ортаның осы нүктесінде толқын әлсірейді (минимум шарты):

$$\Delta d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (3.16)$$

Егер белгілі нүктеде бір-бірімен қабаттасқан толқындардың жол айырымы λ және $\frac{\lambda}{2}$ арасындағы бір мәнге ие болса, онда амплитуда да нөл мен екі еселенген амплитуда арасындағы мәнді иеленеді.

Екі механикалық толқынның интерференция нәтижесін қарастырғанда энергияның сақталу заңы туралы сұрақ туындауы мүмкін. Расында да, толқындар бір-бірін сөндіргенде энергия қайда кетеді? Толқындардың энергия тасымалдайтыны белгілі. Екі толқын белгілі бір нүктеде бірін-бірі өшіргенде энергия жоғалып кетпейді. Бұл энергия ортаның максимум шартына сәйкес келетін нүктелерінде қорытқы толқын амплитудасын күшейтіп арттыру үшін жұмсалады. Табиғаттағы барлық құбылыстар заңды жолмен өтеді. Сақталу заңдарына сәйкес толқынмен тасымалданатын толық энергия өзгермейді. Тек кейбір нүктелерде тербелістер әлсіреп, ал басқа нүктелерде оның есесіне күшейіп отырады.



Сұрақтар

1. Қандай толқындар когерентті деп аталады? Интерференция деп қандай құбылысты айтады?
2. Толқын интерференциясының максимум және минимум шарттары қалай анықталады?
3. Неге интерференциялық көрініс тербеліс көздерінің ортасынан өтетін түзудің маңында айқын көрінеді?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

1. Толқын ұзындығы 0,5 м болатын екі когерентті толқын қабаттасқан жағдайдағы жол айырымдары 0,1 м; 0,3 м; 0,5 м; 0,6 м; 0,7 м; 0,9 м; 1 м; 2 м; 3 м; 4 м және 5 м. Осы айырымдар үшін интерференциялық көріністерді сипаттаңдар.

2. Екі когерентті көзден бір нүктеге қарай тарайтын толқындарды салыңдар. Бұл толқындар қалай сипатталады?

§ 3.5

Гюйгенс принципі.

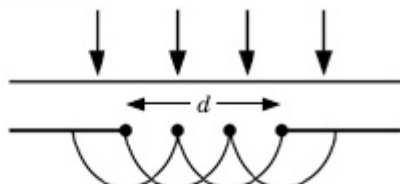
Механикалық толқындардың дифракциясы

1. Механикалық толқындар бөгеттерді айналып өтуге қабілетті. Мысалы, теңізде толқындар судан шығып тұрған тастарды орағытып өтеді де, әрі қарай бөгет болмағандай тарай береді. Бөгеттерді орағытып өту бүкіл толқындардың *іргелі қасиеті* болып табылады. Дыбыс толқындары осы қасиетті жақсы көрсете алады, өйткені дыбыс жолындағы бөгеттерге: ағаштарға, биік ғимараттарға қарамастан, оларды орағытып өтіп естіле береді.

Осындай құбылыстарды зерттей отырып, Христиан Гюйгенс 1678 жылы **Гюйгенс принципі** деп аталып кеткен мынадай қорытынды жасады:

Белгілі бір t уақыт мезетінде толқын жеткен шептің әрбір нүктесі екінші реттік толқындардың көзі болып табылады.

Сонымен, Гюйгенс принципіне сәйкес толқын бетінің әр нүктесі уақыттың келесі мезетінде толқын көзі ретінде қарастырылады (3.5.1-сурет).



3.5.1-сурет. Толқын шептері мен екінші ретті көздері

2. **Дифракция деп толқындардың өлшемдері толқын ұзындығымен шамалас (немесе одан кіші $d \leq \lambda$) бөгеттерді орағытып өту құбылысын айтады.**

Дифракция құбылысын Гюйгенс принципіне сүйеніп түсіндіруге болады.

Жазық толқын мөлдір экранның кішкентай саңылауына тура түссін дейік (сурет 3.5.1). Саңылаумен шектелген толқын шебі бөлігінің әр нүктесі екінші реттік толқындардың көзі болып табылады (біртекті ортада мұндай толқындар сфералық бет құрайды).

Белгілі бір уақыт мезеті үшін сфералық толқындардың беттерін жанай айна-



Христиан Гюйгенс ван Зейлихем – нидерланддық механик, физик, математик, астроном және өнертапқыш. Теориялық механиканың және ықтималдықтар теориясының қалаушыларының бірі. Оптикаға, молекулалық физикаға, астрономияға, геометрияға және сағаттың дамуына өз үлесін қосты. Сатурн сақиналарын және оның серігі Титанды ашты. Маятнігі бар сағаттың ең бірінші қолданылатын моделін ойлап тапты. Толқындық оптика негізін қалады.

лып өтетін сызық жүргізсек, толқын шебінің геометриялық көлеңке аймағына енгенін көреміз, яғни толқын саңылаудың шеттерін айналып өтеді.

3. Френель кейінірек Гюйгенс принципі жетілдіре түсті. **Гюйгенс–Френель принципі** деп аталған бұл жетілдірілген принцип мынадай қағидалармен толықтырылды:

- Бір көзден шығатын толқын шебінің барлық екінші реттік көздері өзара когерентті болып табылады.

- Толқындық бет бөліктерінің бірдей аудандары қарқындылығы (қуаты) бірдей толқындар (сәулелер) шығарады.

- Әрбір екінші реттік көз сол нүктеде толқындық бетке түсірілген сыртқы нормаль (перпендикуляр) бағытында молырақ жарық шығарады. Басқа бағыттағы екінші толқындардың амплитудалары осы бағытпен нормаль арасындағы α бұрышы үлкен болған сайын азая береді.

- Екінші реттік көздер үшін суперпозиция (қабаттасу) принципі күшінде қалады: толқындық беттің бір бөлігінің сәуле шығаруы басқаларының сәуле шығаруларына әсер етпейді (егер толқындық беттің бөлігін мөлдір емес экранмен жапса, онда жабылмаған бөліктің екінші толқындары экран жоқ кездегідей сәулелене береді).

Осы қағидаларға сүйеніп, Френель дифракциялық көріністердің сандық есептеулерін де жасай алады.

4. Дифракцияны бақылауға болатын шартты қарастыру үшін бірнеше мысалдар келтірейік.

Судағы дифракцияны бақылау үшін толқын жолына өлшемі толқын ұзындығымен шамалас жіңішке саңылауы бар экран қою керек. Экранға жеткен толқын оның сырт жағында саңылаудан шыққандай болып тарай береді. Егер саңылау толқын ұзындығынан үлкен болса, онда толқын одан бағытын өзгертпей тарайды.

Тағы бір мысал: көшеде келе жатқан екі адамның біреуі үйдің бұрышын айналып, екіншісіне көрінбей кетсін. Алайда ол айғайлап жауап қатса, оның дауысы естіледі. Өйткені дыбыс – механикалық толқын болып табылады, оның толқын ұзындығы бұрышты айналып өтерліктей едәуір үлкен. Ал жарық – электромагниттік толқын, оның ұзындығы дыбыс толқынының ұзындығына (10^{-1} м) қарағанда 10^8 есе кіші. Сондықтан көшеден бұрылып кеткен адамның дауысын естиміз, ал өзін көрмейміз. Бұдан дыбыс толқынының дифракциясы анық байқалады. Сонымен, **дифракцияның байқалу шарты** былайша белгіленеді:

$$d \leq \lambda,$$

мұндағы d – бөгеттің өлшемі, λ – толқын ұзындығы; $d \gg \lambda$ болғанда дифракция байқалмайды.



Сұрақтар

1. Гюйгенс принципінің физикалық мағынасы нені білдіреді? Бұл принцип қалай тұжырымдалады?
2. Қандай құбылыс дифракция деп аталады? Судағы толқындар дифракциясын қалай бақылауға болады? Гюйгенс принципі негізінде судағы дифракцияны қалай түсіндіруге болады?
3. Гюйгенс–Френель принципінің физикалық мағынасы нені білдіреді? Қалай тұжырымдалады және қандай қағидалармен толықтырылған?



**Тапсырма (эксперименттік зерттеу)**

Кішігірім бассейн бетіндегі толқындардың өз жолындағы әртүрлі мөлшердегі бөгеттерден қалай өтетінін зерттеңдер. Өздеріңнің бақылауларың мен қорытындыларыңды реферат түрінде жазбаша сипаттап, суреттерін де салып көрсетіңдер.







III ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Толқындық процесс** (немесе **толқын**) деп тербелістердің тұтас ортада таралуын айтады.
- **Механикалық толқындар** деп заттық ортада тарайтын серпімді ауытқуларды айтады.
- **Толқын ұзындығы** λ – периодқа тең уақытта толқынның тарайтын қашықтығы.
- **Толқындық шеп** – t уақыт мезетінде тербелістер жеткен нүктелердің геометриялық орны.
- **Толқындық бет** – бірдей фазада тербелетін нүктелердің геометриялық орны.
- **Қума толқын теңдеуі:** $s = s_m \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right]$.
- **Тұрғын толқын теңдеуі:** $s = 2s_m \sin \omega \frac{l-x}{v} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{l}{v} \right)$.
- **Шоқтықтар** – бірдей фазада тарайтын екі толқынның қабаттасуы салдарынан тербелістер амплитудасының екі есе өсуі орын алатын нүктелер.
- **Түйіндер** – қарама-қарсы фазада тербелетін түскен және шағылған толқындардың қабаттасуы кезінде тыныштық күйінде қалатын нүктелер.
- **Көршілес шоқтықтар** (немесе түйіндер) арасындағы қашықтық толқын ұзындығының жартысына тең: $\Delta x = \frac{\lambda}{2}$.
- **Когерентті толқындар** – фазалар айырымы уақыт бойынша бірдей толқындар.
- **Толқындар интерференциясы** деп екі (немесе бірнеше) толқынның кеңістікте қабаттасуы кезінде оның әртүрлі нүктелерінде қорытқы толқын амплитудасының күшею немесе әлсіреу құбылысын айтады.
- **Интерференцияның максимум шарты:**
 $\Delta d = k\lambda, k = 0, 1, 2, 3 \dots$
- **Интерференцияның минимум шарты:**
 $\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, 3 \dots$
- **Гюйгенс принципі:** белгілі бір t уақыт мезетінде толқын жеткен шептің әрбір нүктесі екінші реттік толқындардың көзі болып табылады;
- **Дифракция** деп өлшемдері толқын ұзындығымен шамалас (немесе одан кіші $d \leq \lambda$) бөгеттерді толқындардың орағытып өту құбылысын айтады.

4-тарау

ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  электрмагниттік толқындардың пайда болу шарттарын түсіндіру және олардың қасиеттерін сипаттау;
-  жоғары жиілікті электрмагниттік тербелістердің модуляциясы мен детекторлауды сипаттау;
-  амплитудалық және жиіліктік модуляцияны ажырату;
-  детекторлы радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін түсіндіру;
-  цифрлық форматтағы сигналды берудің аналогтық сигналдарды берумен салыстырғандағы артықшылықтарын түсіндіру;
-  байланыс құралдарын жүйелеу және оларды жетілдірудің жолдарын ұсыну.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
электрмагниттік өріс	электромагнитное поле	electromagnetic field
магнит өрісі	магнитное поле	magnetic field
электрмагниттік толқын	электромагнитные волны	electromagnetic waves
магнит өрісінің кернеулігі	напряженность магнитного поля	magnetic field strength
магнит өрісінің индукциясы	индукция магнитного поля	magnetic field induction
контур	контур	circuit
радиобайланыс	радиосвязь	radio communication
радиолокация	радиолокация	radiolocation
телевизия, теледидар	телевидение	television
Герц вибраторы	вибратор Герца	Hertzian dipole

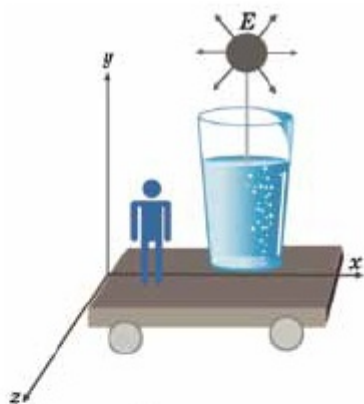
Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «электрмагниттік толқын», «электрмагниттік өріс», «ашық тербелмелі контур», «жабық тербелмелі контур», «радиобайланыс», «радиолокация», «Герц вибраторы».

§ 4.1

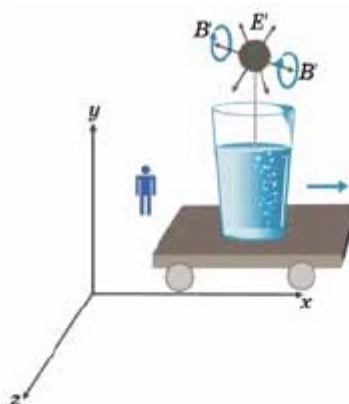
Электрмагниттік толқындардың сәуле шығаруы және оларды қабылдау

1. Электрмагниттік өріс. Айнымалы электр және магнит өрістерінің арасындағы өзара байланыс ашылғаннан кейін, бұл өрістер бір-біріне тәуелсіз жеке өмір сүрмейтіні анықталды.

Расында да, «тыныштықтағы заряд» тек электр өрісін (4.1.1-сурет), ал қозғалыстағы заряд (яғни ток) айнымалы электр өрісін де, магнит өрісін де туғызады. (4.1.2-сурет). Алайда «зарядтың тыныштығы» салыстырмалы ұғым ғана, өйткені Ғаламда қозғалмайтын материя түрі жоқ. Ендеше, кеңістікте үнемі бір-бірінен ажырамайтын айнымалы электр өрісі де, магнит өрісі де туындап отырады.



4.1.1-сурет. Тыныштықтағы заряд тек электр өрісін туғызады



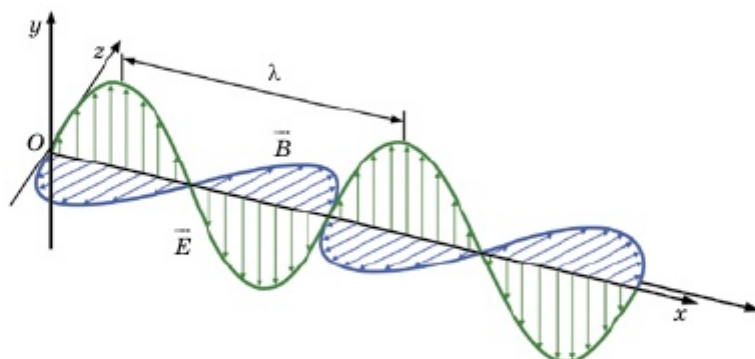
4.1.2-сурет. Қозғалыстағы заряд айнымалы электр және магнит өрістерін туғызады

Сонымен, электр және магнит өрістері *электрмагниттік өріс* деп аталатын біртұтас өріс болып табылады.

Электрмагниттік өріс деп зарядталған бөлшектердің өзара әрекеті жүзеге асырылатын айнымалы электр және магнит өрістерінің ажырамас бірлігі түріндегі материяның ерекше формасын айтады.

Электрмагниттік өрісте бірін-бірі қолдайтын айнымалы электр өрісі \vec{E} кернеулігінің және айнымалы магнит өрісі \vec{B} индукциясының тербелістері орын алады.

(4.1.3-сурет). Бұл екі өрістің өзара байланысқан тербелістері *электрмагниттік тербелістер* деп аталады да, кеңістікте *электрмагниттік толқындар* түрінде тарайды.



4.1.3-сурет. Электрмагниттік өріс векторларының тербеліс графигі

2. Электрмагниттік толқындар деп кеңістікте шекті ($c \approx 300\,000$ км/с) жылдамдықпен тарайтын электрмагниттік тербелістерді айтады.

Жоғарыдағы суретте көрсетілген электрмагниттік толқынды, су бетіндегі толқын сияқты түсінбеу керек: механикалық толқындар заттық ортада ғана туындайды, ал электрмагниттік толқындар бос кеңістікте де тарай береді. Суретте кеңістіктің әр нүктесіндегі \vec{E} және \vec{B} векторлары көрсетілген. Кеңістіктің әр нүктесінде электр және магнит өрістері уақыт бойынша периодты өзгереді. Негүрлым нүкте зарядтан алысырақ болса, өрістердің тербелістері оған соғұрлым кешірек жетеді. Олай болса, зарядтан әртүрлі қашықтықтағы тербелістер әртүрлі фазада өтеді.

\vec{E} және \vec{B} векторларының кез келген нүктедегі тербелістер фазасы дәлме-дәл келеді. Тербелістері бірдей фазамен өтетін ең жақын екі нүктенің арақашықтығы – *толқын ұзындығы* λ болады.

Электрмагниттік толқындағы \vec{E} және \vec{B} векторлары бір-біріне де, толқынның таралу бағытына да, яғни c жылдамдық векторына да перпендикуляр болады; ендеше электрмагниттік толқын – *көлденең толқын*.

Электрмагниттік толқындардың алғашқы көзі тербелуші заряд болып табылады. Зарядталған бөлшек *үдей қозғалғанда* электрмагниттік толқындар шығарады. Зарядталған бөлшектің үдеуі үлкен болған сайын, толқындық сәулелердің де қарқындылығы (интенсивтілігі) жоғары болады.

Электрмагниттік толқынның туындауын және кеңістікте өз бетімен таралуын былай түсіндіруге болады. Зарядталған бөлшек тұрақты жылдамдықпен қозғалғанда туындайтын электр және магнит өрістері оның соңынан қалмайтын будақтаған шлейфке ұқсайды. Бөлшек үдей қозғалғанда электрмагниттік өріске тән инерттілік орын алады да, пайда болған өріс бөлшектен «ажырап», электрмагниттік толқындар түрінде өз бетімен өмір сүре бастайды.

3. Электрмагниттік толқындарды экспериментте бақылау. Максвелл электрмагниттік толқындардың бар екендігінің ақиқаттығына аса қатты сенген еді. Бірақ олардың эксперимент жүзінде байқалғанын ол көре алмай кетті. Ол қайтыс болған соң, 10 жыл өткенде ғана электрмагниттік толқындарды Герц эксперимент жүзінде шығарып алды.

Электрмагниттік толқынды бақылау үшін жиілігі мейлінше жоғары электрмагниттік тербелістер жасау керек. Осы шарт орындалғанда, электр өрісінің \vec{E} (вектор) кернеулігі мен магнит өрісінің \vec{B} (вектор) индукциясы шапшаң өзгереді болады.

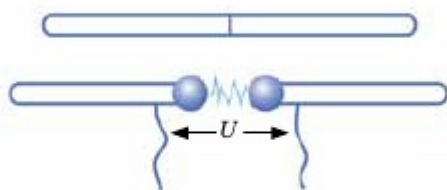
Тербелмелі контурдың көмегімен өнеркәсіптік токтың жиілігіне (50 Гц) қарағанда жиілігі анағұрлым жоғары тербелістерді мына формулаға сәйкес шығарып алуға болады:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (4.1)$$

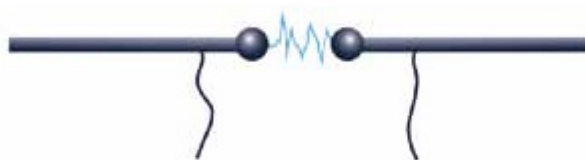
Алайда жиілігі жоғары электрмагниттік тербелістер кеңістікте тарайтын қарқынды электрмагниттік толқындар шығарып алудың кепілі бола алмайды. Қарапайым **тербелмелі контурда** магнит өрісі түгел дерлік шарғының ішінде, ал электр өрісі конденсатордың ішінде жинақталғандықтан, мұндай **жабық контур** электрмагниттік өрісті өте нашар шығарып таратады. Электрмагниттік толқынды **ашық тербелмелі контур** деп аталатын контурлар ғана кеңістікте қарқынды тарата алады.

Герц электрмагниттік толқындарды шығарып алу үшін **Герц вибраторы** деп аталатын қарапайым құрылғыны пайдаланды. Бұл құрылғы ашық тербелмелі контур болатын.

Герцтің заманында контурда тербелісті қоздыру үшін сымды ортасынан кесіп кішкене саңылау қалдырады (оны ұшқындық аралық дейді). Өткізгіштің екі бөлігін де жоғары потенциалдар айырымына дейін зарядтайды. Потенциалдар айырымы (яғни кернеу $U = \varphi_1 - \varphi_2$) бір шекті мәннен артқан кезде ұшқын шығып (4.1.4-сурет), тізбек тұйықталады да, ашық контурда тербелістер туындайды.



4.1.4-сурет. Вибратордағы ұшқындық аралық



4.1.5-сурет. Резонатордағы тербеліс (ұшқын)

Герц электрмагниттік толқындарды құрылымы толқын шығаратын вибраторға ұқсас басқа вибратордың (резонатордың) көмегімен қабылдап тіркеді (4.1.5-сурет). Электрмагниттік толқындардың айнымалы электр өрісі әрекетінен қабылдаушы вибраторда ток тербелістері қоздырылады. Егер қабылдаушы вибратордың меншікті жиілігі электрмагниттік толқынның жиілігімен дәл келсе, резонанс

байқалады. Резонаторды толқын шығарушы вибраторға параллель орналастырса, онда резонатордағы тербелістер үлкен амплитудамен өтеді. Герц бұл тербелістерді қабылдаушы вибратордың өткізгіштерінің өте кішкене аралығындағы ұшқындарды бақылау арқылы аңғарды.

Герц электрмагниттік толқындарды шығарып алып қана қойған жоқ, сонымен қатар олардың басқа толқындармен ұқсас қасиеттерін де анықтады. Атап айтқанда, ол электрмагниттік толқындардың металл табақтан шағылатынын және толқындардың интерференциясын бақылады. Вибратордан келген толқынды металл табақтан шағылған толқынмен қосқанда, интерференциялық көріністің максимум және минимумы пайда болатынына көз жеткізді. Қабылдаушы вибраторды жылжыта отырып, максимумдардың орнын және толқын ұзындығын анықтады.

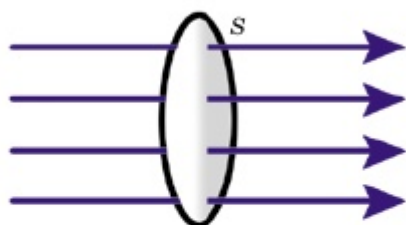
Герц тәжірибелерінде пайда болған толқын ұзындығы бірнеше ондаған сантиметр болды. Вибратордағы *электрмагниттік толқындардың жылдамдығын* $v = \lambda\nu$ формуласы бойынша есептегенде, ол жарық жылдамдығына тең болып шықты.

$$c \approx 300\,000 \text{ км/с.}$$

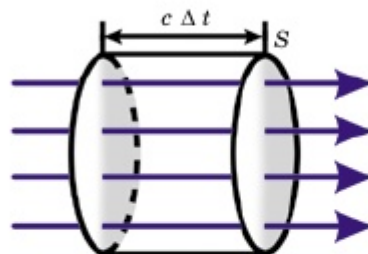
Осылайша, Максвеллдің теориялық болжамдарының дұрыс екендігін Герц тәжірибелері дәлелдеді.

4. Электрмагниттік сәулелер ағынының тығыздығы. Электрмагниттік толқындар өздерімен бірге энергия тасиды. Олардың энергетикалық сипаттамалары маңызды рөл атқарады, өйткені толқын көздерінің қабылдағыштарға тигізетін әсерін осындай сипаттамалармен анықтайды. Олардың ең бастыларының бірі – *сәулелер ағынының тығыздығымен* танысайық.

Ауданы S беттен өткен электрмагниттік толқындар энергия тасымалдайды. 4.1.6-суретте сондай бір кішкене аудан кескінделген, ондағы түзу сызықтар электрмагниттік толқындардың таралу бағытын көрсетеді. Бұл сәулелер – қарастырып отырған S бетке перпендикуляр сызықтар болып келеді, олардың бойларындағы барлық нүктелерде тербелістер бірдей фазада өтеді. Мұндай беттер *толқындық беттер* деп аталады.



4.1.6-сурет. Сәулелер ағыны



4.1.7-сурет. Толқындық цилиндр

Электрмагниттік сәулелер ағынының I тығыздығы деп сәулелерге перпендикуляр S беттен Δt уақыт ішінде өтетін ΔW электрмагниттік энергияның S аудан мен Δt уақыттың көбейтіндісіне қатынасын айтады:

$$I = \frac{\Delta W}{S\Delta t}. \quad (4.2)$$

Шындығында, бұл шама беттің бірлік ауданынан өтетін электромагниттік толқын сәулелерінің қуаты (бірлік уақыттағы энергия) болып табылады. Толқын ағынының тығыздығы ХБЖ-де *ватт бөлінген квадрат метрмен* (Вт/м²) өлшенеді. Бұл шаманы кейде толқынның *қарқындылығы* деп атайды.

I шамасын электромагниттік энергияның *w* тығыздығы мен оның таралу жылдамдығы *c* арқылы өрнектейік. Сәулелерге перпендикуляр орналасқан ауданы *S* бетті таңдап алып, жасаушысы (биіктігі) *c Δt* цилиндрді салайық (4.1.7-сурет). Цилиндрдің көлемі $\Delta V = Sc\Delta t$. Цилиндр ішіндегі электромагниттік өрістің ΔW энергиясы ондағы *w* энергия тығыздығы мен көлемнің көбейтіндісіне тең: $\Delta W = wc\Delta tS$. Осы энергия Δt уақыт ішінде цилиндрдің оң жақ табанынан өтіп үлгереді. Сондықтан (4.2) формуласын мына түрде жазамыз:

$$I = \frac{wc\Delta tS}{S\Delta t} = wc, \quad (4.3)$$

яғни *электромагниттік сәулелер ағынының тығыздығы электромагниттік энергияның тығыздығы мен оның таралу жылдамдығының көбейтіндісіне тең*.

5. Сәулелер ағыны тығыздығының оны туғызатын көзге дейінгі қашықтыққа тәуелділігін анықтайық. Ол үшін *нүктелік толқын көзі* ұғымын пайдаланамыз.

Егер жарық шығаратын көздің өлшемдері ол әсер ететін арақашықтықтан көп кіші болса, ол *нүктелік көз* деп саналады. Бұған қоса ондай жарық көзі электромагниттік толқындарды барлық бағытта да бірдей қарқындылықпен таратады деп есептеледі. **Нүктелік көз** – физикада қабылданған басқа үлгілер: материялық нүкте, идеал газ, тағы басқалар сияқты нақты көздердің идеалданған түрі.

Жұлдыздар жарық шығарады, яғни электромагниттік толқын шығарады. Жұлдыздарға дейінгі қашықтық олардың өлшемдерінен көп есе үлкен болатындықтан, нақ осы жұлдыздар нүктелік көздің жақсы үлгісі болып табылады.

Нүктелік көзден шыққан электромагниттік толқындардың бойындағы энергия уақыт өткен сайын бірте-бірте өсіп отыратын үлкен беттерді қамтып тарайды. Сондықтан бірлік уақыт ішінде бірлік ауданнан өтетін энергия, яғни толқын ағынының тығыздығы жарық көзінен қашықтаған сайын кеми түседі.

Толқын ағынының тығыздығы жарық көзіне дейінгі арақашықтыққа қалай тәуелді екенін анықтауға болады. Ол үшін нүктелік көзді радиусы *R*, бетінің ауданы $S = 4\pi R^2$ сфераның центріне орналастырайық.

Егер Δt уақыт ішінде барлық бағытта толқын көзі ΔW энергия шығарады десек, онда

$$I = \frac{\Delta W}{S\Delta t} = \frac{\Delta W}{4\pi\Delta t} \cdot \frac{1}{R^2}. \quad (4.4)$$

Нүктелік көздің шығаратын толқын ағынының тығыздығы жарық көзіне дейінгі қашықтықтың квадратына кері пропорционал келеді.

6. Толқындық сәулелер ағыны тығыздығының жиілікке тәуелділігі. Зарядталған бөлшектер үдемелі қозғалғанда ғана электромагниттік толқынды шығарып таратады. Электромагниттік толқындардың электр өрісі мен магнит индукциясы тербеле қозғалатын зарядталған бөлшектердің a үдеуіне пропорционал болады. Гармоникалық тербелісте үдеу жиіліктің квадратына пропорционал. Ендеше электр өрісінің E кернеулігі мен магнит өрісінің B индукциясы да жиіліктің квадратына пропорционал:

$$E \sim a \sim \omega^2, \quad B \sim a \sim \omega^2. \quad (4.5)$$

Электр өрісі энергиясының тығыздығы өріс кернеулігінің квадратына пропорционал. Магнит өрісінің энергиясы магнит индукциясының квадратына пропорционал екенін көрсетуге болады. Электромагниттік өріс энергиясының толық тығыздығы электр және магнит өрістерінің энергиялары тығыздықтарының қосындысына тең. Сондықтан толқын ағынының I тығыздығы үшін, (4.3)-ті ескерсек, мынадай пропорционалдықта болады:

$$I \sim w \sim (E^2 + B^2). \quad (4.6)$$

Ал (4.5) бойынша $E \sim \omega^2$ және $B \sim \omega^2$, ендеше

$$I \sim \omega^4. \quad (4.7)$$

Толқын ағынының тығыздығы жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал.

Зарядталған бөлшектердің тербеліс жиілігін екі есе арттырғанда шығарылған энергия 16 есе артады. Радиостанция антенналарында осы себепті жиілігі жоғары, ондаған мыңнан ондаған миллион герцке дейінгі тербелістерді қоздырады. Жиілігі 50 Гц болатын өндірістік айнымалы токтар толқын шығармайды деуге болады.

Электромагниттік толқындар энергия тасымалдайды. Толқын ағыны тығыздығы (толқынның қарқындылығы) энергия тығыздығын оның таралу жылдамдығына көбейткенге тең. Толқынның қарқындылығы жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал және тербеліс көзіне дейінгі қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді.



Сұрақтар

1. Электр және магнит өрістерінің көздері деп нені айтады? Қандай өріс электромагниттік деп аталады?
2. Электромагниттік толқын деп қандай процесті атайды? Электромагниттік толқындардың пайда болуының басты шарттары қандай?
3. Электромагниттік толқындардың табиғатта бар екенін теория жүзінде кім айғақтады? Оның ең басты атқарған ісі қандай?
4. Эксперимент жүзінде электромагниттік толқынның бар болуы қалай дәлелденеді?
5. Тербелмелі контурдың жиілігі оның қандай параметрлеріне тәуелді өзгереді және қандай формуламен өрнектеледі?
6. Қандай шаманы электромагниттік толқын ағынының тығыздығы деп атайды?
7. Электромагниттік толқын ағыны тығыздығының тербеліс көзіне дейінгі қашықтыққа және оның жиілігіне тәуелділігі қандай өрнекпен сипатталады?

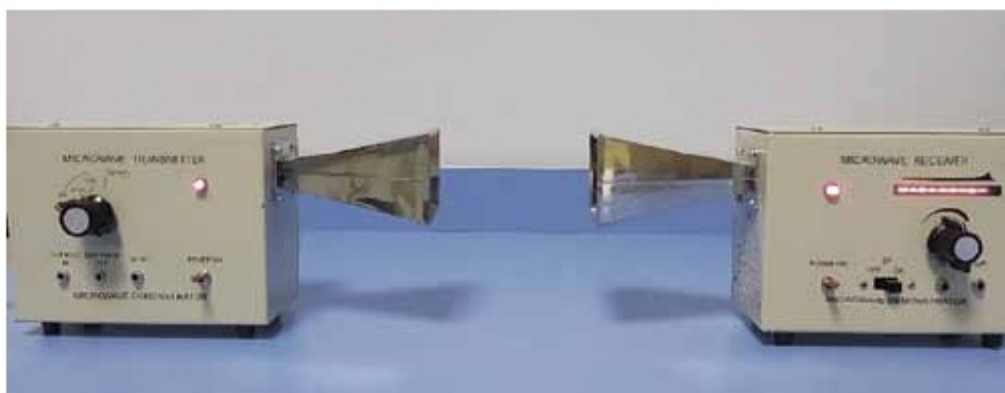


§ 4.2

Электрмагниттік толқындардың қасиеттері

1. Электрмагниттік толқындар басқа толқындар тәрізді *жұтылады, шағылады және сынады*. Бұл құбылыстарды оп-оңай бақылауға болады.

Осы кездегі радиотехникалық құрылғылар электрмагниттік толқындардың қасиеттерін бақылайтын өте көрнекі тәжірибелер жүргізуге мүмкіндік береді. Мұндай тәжірибелерде жоғары жиілікті арнаулы генератор шығаратын сантиметрлік диапазондағы толқындарды пайдаланған ыңғайлы. Генератордың электрлік тербелістерін дыбыс жиілігімен модуляциялайды. Қабылданған сигнал детекторланған соң, дыбыс күшейткішке беріледі. Осындай қондырғының жалпы түрі 4.2.1-суретте кескінделген. Рупор антеннасы рупор осі бағытымен электрмагниттік толқындар шығарады. Оған қарама-қарсы орналасқан рупор (қабылдағыш антенна) оның осі бойымен таралатын толқындарды ұстайды.

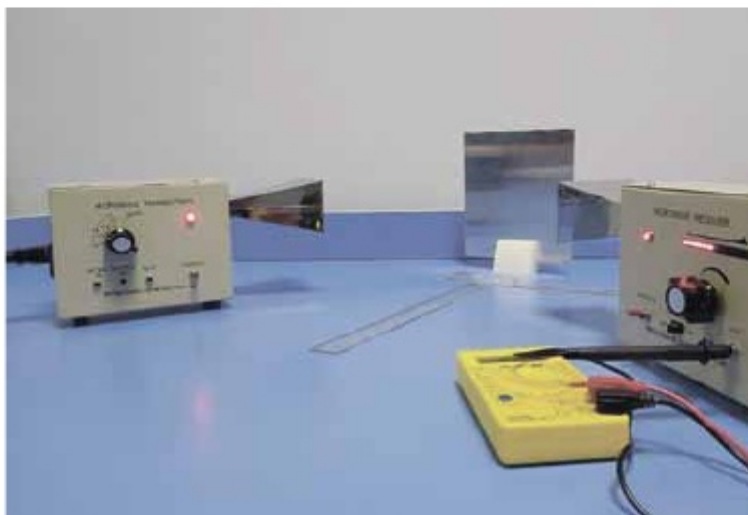


4.2.1-сурет. Электрмагниттік толқындардың қасиеттерін зерттеу аспаптары

Электрмагниттік толқындардың жұтылуы. Рупорларды бір-біріне қарсы орналастырып, дыбыс күшейткішті дыбыс жақсы естілетіндей қалыпқа келтіреді де, рупорлардың арасына әртүрлі диэлектрик денелер қойылады. Осы кезде дыбыстың бәсеңдегені байқалады.

Электрмагниттік толқындардың шағылуы. Егер диэлектрикті металл пластинамен алмастырса, онда дыбыс естілмей қалады. Шағылу салдарынан толқындар қабылдағышқа жетпейді. Шағылу, механикалық толқындар жағдайындағыдай, түсу бұрышына тең бұрышпен байқалады. Осыған көз жеткізу үшін рупорларды үлкен металл пластинаға бірдей бұрышпен орналастырады (4.2.2-сурет). Егер металл пластинаны алып қойса немесе оны бұрса, дыбыс жоғалады.

Электрмагниттік толқындардың сынуы. Электрмагниттік толқындар диэлектрик шегарасында өз бағытын өзгертеді (сынады). Бұған парафиннен жасалған үлкен үшбұрышты призманы пайдаланып көз жеткізуге болады. Шағылуды тәжірибеде көрсеткен сияқты рупорларды бір-бірімен бұрыш жасайтындай етіп орналастырады. Метал пластинаны призмамен алмастырады, призмада сынған толқынды екінші рупор қабылдайды. Призманы алып қойып немесе бұрса, дыбыстың жоғалып кеткені байқалады.



4.2.2-сурет. Электрмагниттік толқындардың шағылуы

2. Электрмагниттік толқындардың көлденеңдігі. Электрмагниттік толқындар көлденең толқындар болып табылады. Бұл толқынның электрмагниттік өрісінің \vec{E} және \vec{B} векторының оның таралу бағытына перпендикуляр екенін көрсетеді. Рупордан шығатын электр өрісі кернеулігінің тербелістері белгілі бір жазықтықта өтеді, ал магниттік индукция векторының тербелістері – оған перпендикуляр жазықтықта жасалады. Тербелістері белгілі бір бағытта өтетін толқындар **поляризацияланған** деп аталады. Детекторы бар қабылдағыш рупор тек белгілі бағытта поляризацияланған толқынды ғана қабылдайды. Мұны таратқыш не қабылдағыш рупорды 90° -қа бұру арқылы аңғаруға болады.

3. Электрмагниттік толқындардың интерференциясы. Екі немесе бірнеше антенналардан шыққан электрмагниттік толқындар кеңістікте бір-бірімен қабаттасады (бұл құбылысты суперпозиция деп атайды).

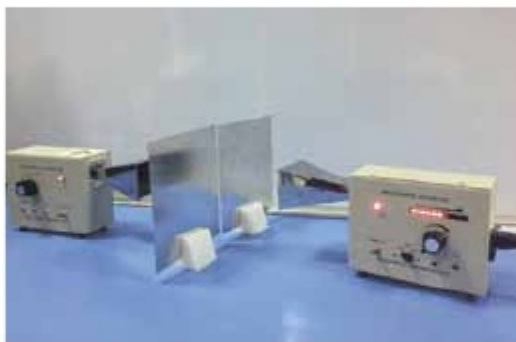
Жіліктері бірдей екі толқын қосылғанда пайда болған қорытқы толқын амплитудасының өсу немесе кему құбылысы толқындардың интерференциясы деп аталады.



Генрих Герц (1857–1894) – көрнекті неміс физигі, ол электромагниттік толқындардың бар екендігін алғаш рет экспериментпен дәлелдеді. Электромагниттік толқындарды зерттей келе, Герц электромагниттік толқындар мен жарық толқындарының негізгі қасиеттерінің бірдей екенін тағайындады. Герцтің жұмыстары электромагниттік өріс теориясының дұрыстығының, оның ішінде жарықтың электромагниттік теориясының эксперименттік дәлелі болды. Максвелл теңдеуінің қазіргі түрін Герц жазған. 1886 ж. Герц бірінші рет фотоэффект құбылысын бақылады.

дардың бөгеттерді орағытып өту құбылысын айтады.

Бөгеттердің өлшемдері толқын ұзындығынан кем немесе оған тең болса, ($d \leq \lambda$) онда дифракция ап-айқын байқалады. Электромагниттік толқындардың дифракциясын 4.2.3-суретте көрсетілген қондырғыларды пайдаланып, оңай байқауға болады.



4.2.3-сурет. Электромагниттік толқындардың дифракция құбылысын байқау

Жиілігі өте үлкен генератор мен қабылдағыштың арасына өлшемі (ені) толқын ұзындығымен шамалас ($d \leq \lambda$) жіңішке саңылауы бар металл экран қойылған. Қабылдағыштың орнын өзгертсек, тербеліс амплитудасының максимумдары мен минимумдарының кезекпен ауысқанын білеміз, өйткені толқын тар саңылауға

Екі толқын қосылған кездегі *қорытқы толқынның амплитудасының максимум шарты* мына формула бойынша анықталады:

$$\Delta l = k\lambda, \quad (4.8)$$

мұндағы $\Delta l = (l_2 - l_1)$ – толқындар жолының айырымы; $k = 0, 1, 2, \dots$.

Қорытқы толқын амплитудасының минимум шарты мына формула бойынша табылады:

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (4.9)$$

Электромагниттік толқындардың интерференциясын байқау үшін толқындарды жіберетін және қабылдайтын антенналарды қарама-қарсы қойып, олардың ортасына горизонталь қойылған металл қаңылтырын жоғары-төмен қозғау керек. Сонда дыбыстың бірде күшейіп, бірде бәсеңдегенін естиміз.

4. Электромагниттік толқындардың дифракциясы деп толқындардың тұзусызықты таралу заңынан ауытқуын немесе толқын-

дәл түскенде оны айналып өтіп күшейеді, немесе саңылауға дәл түспесе металл экраннан шағылып, кері қайтады.

Саңылаудың ені үлкен болғанда ($d \gg \lambda$) тербеліс амплитудасында ешқандай өзгеріс байқалмайды. Олай болса, *электрмагниттік толқынның дифракциясы тек мына шарт орындалса ғана байқалады: $d \leq \lambda$.*

Сұрақтар

1. Электрмагниттік толқындардың негізгі қасиеттері қандай?
2. Электрмагниттік толқындардың жұтылуы және шағылуы нені білдіреді?
3. Электрмагниттік толқындардың сынуы нені білдіреді?
4. Электрмагниттік толқындардың интерференциясы мен дифракциясы деп нені айтады?
5. Интерференцияның максимумдары мен минимумдары қалай анықталады? Дифракцияны бақылаудың шарты қандай?

Тапсырма (теориялық зерттеу)

1. Жабық тербелмелі контур ашық тербелмелі контурға айналды. Неге контурдағы еркін электрлік тербелістер жылдам өшеді?
2. Егер шарғының индуктивтігі және конденсатордың сыйымдылығы 2 есе артса, тербелмелі контурдағы еркін электрлік тербелістердің периоды қалай өзгереді?
3. Контурдың индуктивтігі 3 есе азайса, жиілік қалай өзгереді?

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Радиолокациялық станцияның импульсінің қуаты $P = 100$ кВт. Сөуле шығару конусының көлденең қимасының ауданы $S = 2,3$ км² болатын нүктедегі толқынның электр өрісінің максимал кернеулігін табыңдар.

Берілгені:

$$P = 100 \text{ кВт}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$\epsilon = 1$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$S = 2,3 \text{ км}^2$$

$$E_m = ?$$

ХБЖ

$$10^5 \text{ Вт}$$

$$2,3 \cdot 10^6 \text{ м}^2$$

Шешуі:

Импульс қуаты P толқын энергиясы W -мен

$$P = \frac{W}{t}, \quad (1)$$

қатынасымен байланысқан, мұндағы t – сөуле шығару уақыты.

Екінші жағынан, қарқындылық, яғни сөуле шығару ағынының тығыздығы

$$I = \frac{W}{St} \text{ немесе (1) ескерсек, } I = \frac{P}{S}. \quad (2)$$

Енді толқын энергиясының көлемдік тығыздығы $w_{\text{эл.м}}$ арқылы I қарқындылықты анықтайық:

$$I = w_{\text{эл.м}} \cdot c, \text{ мұндағы } w_{\text{эл.м}} = \epsilon_0 \epsilon E_m^2, \\ \text{сондықтан } I = \epsilon_0 \epsilon E_m^2 c. \quad (3)$$

Енді (2) мен (3)-ті теңестіріп, шыққан теңдеуден E_m кернеулігін анықтаймыз:

$$\frac{P}{S} = \varepsilon_0 \varepsilon E_m^2 c, \text{ осыдан } E_m = \sqrt{\frac{P}{\varepsilon_0 \varepsilon c S}}.$$

$$E_m = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^5}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 2,3 \cdot 10^6}} = 4 \text{ В/м}.$$

Жауабы: $E_m = 4 \text{ В/м}$.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 4.2.1. Радиотолқындардың электр өрісінің ең үлкен кернеулігі 5 В/м-ден артпауға тиіс. Электрмагниттік сәулеленулердің қарқындылығы бұл жағдайда неге тең? (Жауабы: $66 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$)
- 4.2.2. Электрмагниттік толқын энергиясының тығыздығы $4 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/м}^3$. Сәулелену ағынының тығыздығын табыңдар. (Жауабы: 12 мВт/м^2)
- 4.2.3. Сәулелену ағынының тығыздығы 6 мВт/м^2 . Электрмагниттік толқынның энергия тығыздығын табыңдар. (Жауабы: $2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/м}^3$)
- 4.2.4. Электрмагниттік толқын энергиясының көлемдік тығыздығы $2 \cdot 10^{-16} \text{ Дж/см}^3$. Сәулелену ағынының тығыздығын (толқын қарқындылығын) табыңдар. (Жауабы: $0,06 \text{ Вт/м}^2$)

В

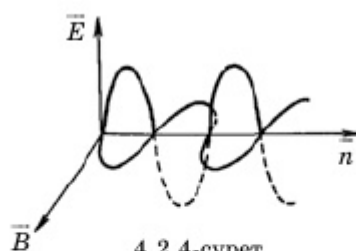
- 4.2.5. Алматы теледидар мұнарасынан 300 м қашықтықта электрмагниттік сәулелену ағынының тығыздығының (қарқындылығының) ең үлкен мәні 40 мВт/м^2 . Сенімді қабылдау болатын 120 км қашықтықтағы сәулелену ағынының тығыздығын анықтаңдар. (Жауабы: $0,25 \text{ мкВт/м}^2$)
- 4.2.6. Тербелмелі контурдағы электрмагниттік толқын түрінде тарайтын сәулелену энергиясын қалай арттыруға болады? Жауапты дәлелдеңдер.
- 4.2.7. Қандай жағдайда электрмагниттік толқын өзінің жолындағы тербелмелі контурға максимум энергиясын бере алады? Жауапты дәлелдеңдер.

С

- 4.2.8. Ауада тарайтын дыбыс толқынының да, электрмагниттік толқынның да толқын ұзындықтары бірдей 10 см. Бұлардың қасиеттерін (естіле ме; естілмей ме; көрінетін жарық сәулесі; көрінбейтін радиотолқын т.б.) сипаттаңдар. Толқын ұзындықтары бірдей болса да, бұл екі толқынның қасиеттерінің кереғар болу себебін түсіндіріңдер.
- 4.2.9. 4.2.4-суретте электрмагниттік толқынның «лезде түсірілген» кескіні көрсетілген. \vec{E} және \vec{B} векторлары бір-біріне де, толқынның таралу бағытына

да перпендикуляр. Толқынның таралу бағытын бұранда ережесімен анықтауға болады. Ол үшін оң бұранда сабын \vec{E} вектордан \vec{B} векторға қарай айналдыру керек. Толқынның қай бағытта тарайтынын анықтаңдар.

- 4.2.10. Электрмагниттік толқындарды қай зат жақсы шағылдырады: металл ма немесе жартылай өткізгіш пе? Жауапты дәлелдеңдер.



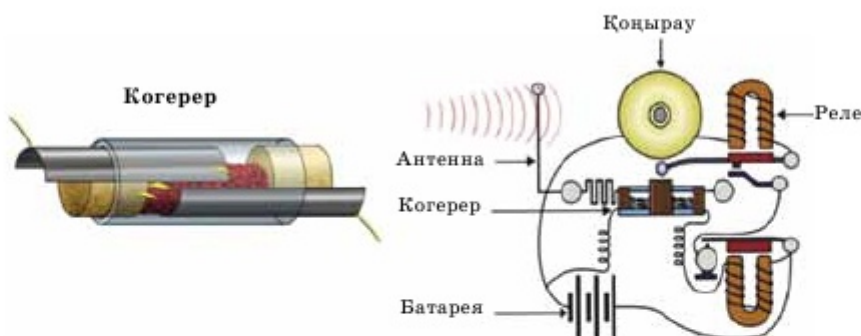
§ 4.3

Радиобайланыс. Детекторлық радиоқабылдағыш

1. Герц тәжірибелері 1888 ж. жарияланғаннан кейін ғалымдар электрмагниттік толқындарды шығаратын және қабылдайтын құрылғыны жетілдіру жолдарын іздей бастады. Ресейде ең алғашқылардың бірі болып электрмагниттік толқындарды зерттеумен шұғылданған Кронштадтағы офицерлер курсының мұғалімі Александр Степанович Попов еді. Ол Герц тәжірибелерін жаңғыртып жасап көріп, содан кейін электрмагниттік толқындарды тіркеудің анағұрлым сенімді өрі сезгіш тәсілін тапты.

Электрмагниттік толқындарды тікелей «сезетін» тетік есебінде А.С. Попов *когерер* (4.3.1-сурет) деп аталатын аспапты қолданды. Бұл аспап – екі электроды бар шыны түтік. Түтік ішінде ұсақ металл үгінділері салынған. Бұл аспаптың қызметі электр разрядтарының металл ұнтаққа тигізетін әсеріне негізделген. Кәдімгі жағдайда когерердің кедергісі үлкен болады, өйткені үгінділердің бір-біріне жанасу аралығы алшақ еді. Когерерге келген электрмагниттік толқын, оның ішінде жиілігі жоғары айнымалы ток туғызады. Үгінділер арасында ұсақ үшқындар шығады да, үгінділерді жақындатып пісіріп тастайды. Нәтижесінде когерердің кедергісі күрт азаяды. Аспапты сілкіп қалса, ол бұрынғы үлкен кедергісіне қайта ие болады. Сымсыз байланысты іске асыруда, автоматты қабылдауды іске асыру үшін А.С. Попов сигналды қабылданғаннан кейін когерерді сілкіп тұратын қоңыраулы құрылғыны пайдаланды. Электрмагниттік толқын түскен кезде оның тізбегі когерер арқылы тұйықталады. Толқынды қабылдау аяқталысымен, қоңырау жұмысы бірден тоқтатылады, өйткені қоңыраудың балғасы оның табақшасын да, когерерді де соғады. Когерерді соңғы сілкігенде аппарат жаңа толқынды қабылдауға дайын тұрады. А.С. Попов қабылдағышының схемасы 4.3.1-суретте келтірілген. Бұл сурет «Орыстың физика-химия қоғамының журналындағы» мақаласынан алынды.

Аппараттың сезгіштігін арттыру үшін А.С. Попов когерердің бір ұшын жермен жалғады, ал екіншісін жоғары шаншылған сымға қосып, тұңғыш рет **қабылдаушы антенна** жасады. Қабылдағышты жерге қосу Жердің өткізгіш бетін ашық тербелмелі контурдың бір бөлігіне айналдырады да, осыдан қабылдау қашықтығы артады.



4.3.1-сурет. А.С. Попов қабылдағышының сұлбасы

1895 жылы 7 мамырда А.С. Попов Петербургте орыстың физика-химия қоғамының мәжілісінде әлемде тұңғыш радиоқабылдағыш болып табылатын өз аспабының қызметін көрсетті. Бұдан кейін де А.С. Попов қабылдаушы және хабар таратушы аппаратураны табандылықпен жетілдіре берді. Ол хабарларды алыс шалғайға жеткізетін аспап жасауды өзінің негізгі мақсаты деп санады.

Шетелдерде осындай аспаптарды жетілдіруді италиялық Г. Маркони ұйымдастырған фирма шұғылданды. Кеңінен жүргізілген тәжірибелер Атлант мұхиты арқылы радиотелеграфпен хабар беруді жүзеге асыруға мүмкіндік берді.

2. Радиобайланыс принципін былай түсіндіруге болады: хабар таратушы антеннада туындаған жиілігі жоғары айнымалы электр тогы өзін қоршаған кеңістікте тез өзгеретін электромагниттік өріс туғызады да, ол электромагниттік толқын түрінде тарайды. Қабылдаушы антеннаға жеткеннен кейін, электромагниттік толқын оның бойында жиілігі хабарлағыш таратқан жиіліктей айнымалы ток туғызады.



Александр Степанович Попов (1859–1906) – орыс физигі, радионы ойлап тапқан. Электромагниттік толқындардың көмегімен сымсыз байланыс жасау мүмкін деген сеніммен Попов дүниежүзінде бірінші рет өз сұлбасында сезгіш элемент когерерді қолданып, радиоқабылдағыш жасады. Радиобайланыс бойынша жасалған тәжірибелерде Поповтың приборларының көмегімен алғаш рет радиотолқындардың кемедең шағылуын байқаған.

Радиобайланыстың дамуындағы ең бір маңызды кезең 1913 жылы *өшпейтін электромагниттік тербелістердің генераторын* жасау болды.

Электромагниттік толқындар қысқа және ұзақтау импульстерден тұратын телеграф сигналдарын жеткізумен қатар, сөз бен музыканы да жеткізетін жоғары сапалы *радиотелефон байланысын* іске асыруға мүмкіндік берді.

Радиотелефон байланысында дыбыс толқынындағы ауа қысымының тербелісі микрофонның көмегімен дәл сондай электр тербелістеріне айналдырады. Бір қарағанда, егер осы тербелістерді күшейтіп антеннаға жеткізсе, электромагниттік толқындар арқылы сөз бен музыканы алысқа жеткізуге болатын сияқты. Бірақ ондай тәсілмен жеткізу іске аспайды. Мәселе мынада: дыбыс жиілігіндегі тербелістер тым баяу тербелістерге жатады, ал жиілігі дыбыс жиілігіндегі төмен электр-

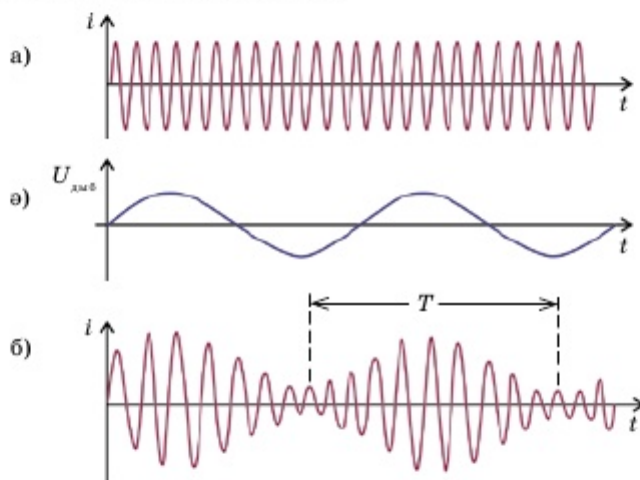
магниттік толқындар кеңістікте тарай алмайды (дәлірек айтқанда, жиілігі дыбыс жиілігіндей электрмагниттік толқындар іс жүзінде болмайды).

3. Дыбысты жеткізу үшін жоғары жиілікті тербелістерді өзгертеді, яғни басқаша айтқанда *модуляциялайды*. Оны жиілігі дыбыс жиілігіндей төмен электр тербелістерінің көмегімен жасайды. Тербелмелі процеске қажетті ақпаратты енгізу мақсатында белгілі заңдылық бойынша гармоникалық тербелістердің амплитудасын, жиілігін немесе фазасын өзгерту модуляцияға мысал бола алады.

Жоғары жиілікті сигналды модуляциялаудың қарапайым түрі *амплитудалық модуляция* болып табылады.

Амплитудалық модуляция деп жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын жіберілетін дыбыс сигналының заңдылығына сәйкес өзгертуді айтады.

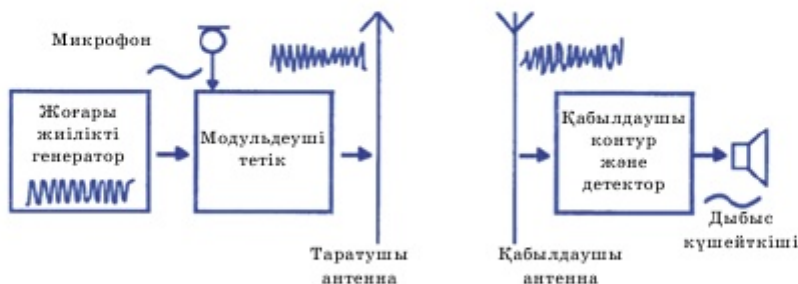
4.3.2-суретте үш график көрсетілген: а) жиілігі жоғары тербелістердің графигі, оны *тасушы жиілік* деп атайды; ә) дыбыс жиілігіндей тербелістердің, яғни модуляциялайтын тербелістердің графигі; б) амплитудасы бойынша модуляцияланған жиілігі жоғары тербелістердің графигі.



4.3.2-сурет. Тербелістердің графиктері:

- а) жоғары жиілікті тербеліс графигі; ә) дыбыс жиілігіндегі тербелістер графигі;
- б) амплитуда бойынша модуляцияланған жиілігі жоғары тербелістер графигі

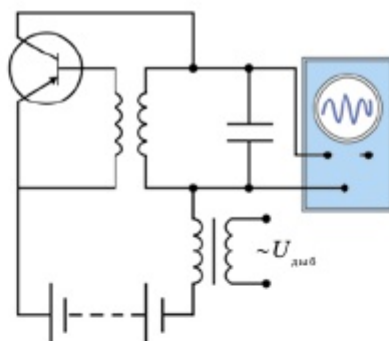
Радиобайланыстың негізгі принциптері 4.3.3-суреттегі блок-сызбамен берілген.



4.2.3-сурет. Радиобайланыстың блок-сызбасы

Өшпейтін тербелістер көзіне, яғни генераторына арнайы әрекет жасау арқылы жоғары жиілікті тербелістердің радиобайланыстағы *амплитудалық модуляциясына* қол жеткізуге болады. Мысалы, тербелмелі контурда тербеліс көзі туғызған кернеуді өзгерте отырып, модуляцияны жүзеге асыруға болады. Генератор контурындағы кернеу неғұрлым жоғары болса, контурға бір период ішінде көзден түсетін энергия да соғұрлым мол болады. Бұл контурдағы тербелістердің амплитудасын үлкейтуге себепші болады. Кернеу кеміген кезде контурға берілетін энергия да кемиді. Сондықтан контурдағы тербелістер амплитудасы да кемиді.

Егер контурдағы кернеуді генератор өндіретін тербелістердің жиілігінен көп кіші жиілікпен өзгертетін болсақ, онда бұл тербелістердің амплитудасының өзгерістері шамамен кернеудің өзгерістеріне тура пропорционал болады. Міне, осындай тәуелділік заңдылығы амплитудалық модуляция үшін қолданылады. Мысалы, осындай мақсат үшін амплитудалық модуляцияны жүзеге асыратын қарапайым құрылғыда тұрақты кернеу көзіне төменгі жиіліктегі айнымалы кернеу көзін тізбектей жалғап қосады. Мұндай кернеу көзі ретінде, мысалы, трансформатордың екінші реттік орамасы (бірінші реттік орамасымен жиілігі дыбыс жиілігіндей ток өтетін болса) қызмет атқарады (4.3.4-сурет). Нәтижесінде генератордың тербелмелі контурындағы тербелістер амплитудасы транзистордағы кернеудің өзгерістерімен үйлесе өзгереді. Бұл жоғары жиіліктегі тербелістердің төмен жиіліктегі сигналмен амплитудасы бойынша модуляцияланғанын білдіреді.



4.3.4-сурет. Амплитудалық модуляцияны жүзеге асыратын құрылғының сызбасы

Жоғарыдағы айтылғандарға сүйеніп, тербелістердің модуляциясына мынадай анықтама беруге болады.

Модуляция деп тербелістер периодымен салыстырғанда (4.3.2. б-сурет) толқын амплитудасының немесе жиілігінің белгілі заңдылық бойынша баяу өзгеруін айтады.

Тербелістер модуляциясы кез келген тәсілде мына заңдылыққа бағынуы қажет: *амплитуданың немесе жиіліктің өзгеру жылдамдығы тербелістің T периоды ішінде модульденген параметр сәл ғана өзгертіндей болуға тиіс.*

Егер тербелмелі контурдан кернеуді осциллографқа берсе, онда осциллографтың экранынан модуляцияланған тербелістердің уақыттық жаймасын тікелей бақылауға болады.

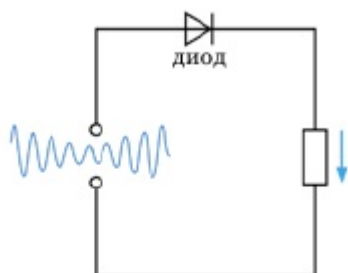
Кейбір жағдайларда амплитудалық модуляция орнына *жиіліктік модуляция* қолданылады; *мұндай модуляцияда тербеліс жиілігін басқарушы сигналға сәйкес өзгертеді*. Жиіліктік модуляцияның артықшылығы өртүрлі жиіліктегі бөгеуілдерге қарсы берік орнықтылығы болып табылады.

4. Жиілігі жоғары модуляцияланған сигналдың қабылдағышқа түскеннен кейін де телефон мембранасында не дыбыс күшейткішінде дыбыс жиілігіндегі тербелісті туғызатын қабілеті болмайды. Ол тек біздің құлағымыз сезбейтін жиілігі жоғары тербелістерді ғана қоздыра алады. Сондықтан қабылдағышта әуелі жиілігі жоғары модуляцияланған тербелістерден дыбыс жиілігіндегі сигналды бөліп алу керек. Қабылдағышта жиілігі жоғары модуляцияланған тербелістерден жиілігі төмен тербелістерді ажыратып бөліп алу процесі *детекторлау* (немесе *демодуляциялау*) деген атау алды.

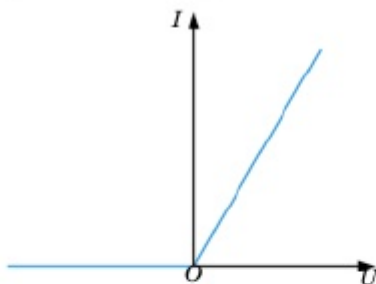
Детекторлау (демодуляциялау) деп жоғары жиілікті тербелістерді төменгі жиіліктегі электр тербелістеріне түрлендіруді айтады.

Детекторлау біржақты өткізгіштігі бар элементтен – детектордан тұратын құрылғы арқылы іске асырылады. Ондай элемент қызметін электрондық шам (вакуумдық диод) немесе жартылай өткізгішті диод атқара алады.

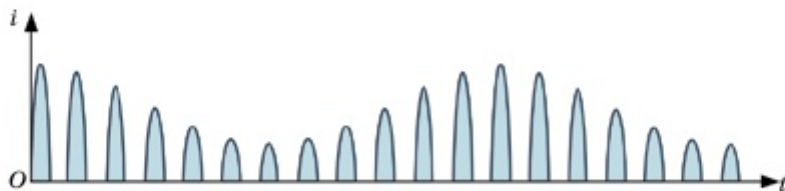
Жартылай өткізгішті детектордың жұмысын қарастырайық. Тізбекке бұл аспап модуляцияланған тербелістер көзімен және жүктемемен тізбектей жалғансын (4.3.5-сурет). Берілген тізбекте ток көбінесе бір бағытта өтеді (суретте бағдарсызықпен көрсетілген), өйткені тура бағыттағы диодтың кедергісі кері бағыттағыдан көп кіші. Жалпы алғанда, кері токты ескермей, диодты біржақты өткізгіш деп есептеуімізге болады. Диодтың вольтамперлік сипаттамасы мұндай жағдайда, 4.3.6-суретте көрсетілгендей, түзу сызықпен бейнеленеді. Шындығына келгенде, ол екі түзу кесіндіден тұратын сынық сызық болып табылады.



4.3.5-сурет. Тізбекте жартылай өткізгішті диод модуляцияланған тербелістер көзімен және жүктемемен бірге жалғанған

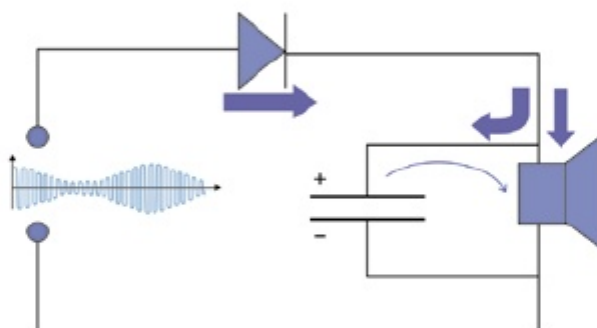


4.3.6-сурет. Диодтағы токтың вольтамперлік сипаттамасы



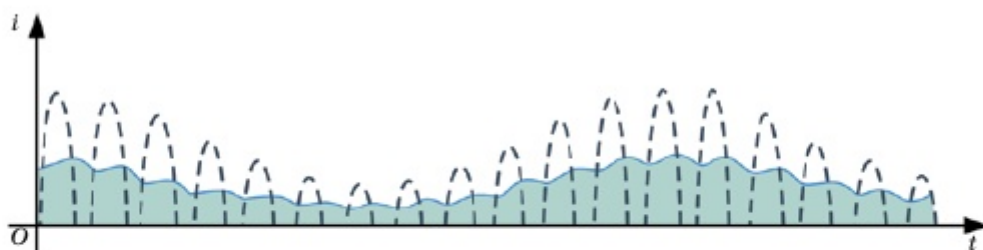
4.3.7-сурет. Толықсыма токтың графигі

Диод жалғанған тізбекте (4.3.5-сурет) графигі 4.3.7-суретте көрсетілген толықсыма ток ағады. Толықсыма ток сүзгінің көмегімен тегістеледі. Ең қарапайым сүзгі жүктемеге жалғанған конденсатор болып табылады (4.3.8-сурет).



4.3.8-сурет. Жүктемеге жалғанған конденсатор толықсыма токты тегістейді

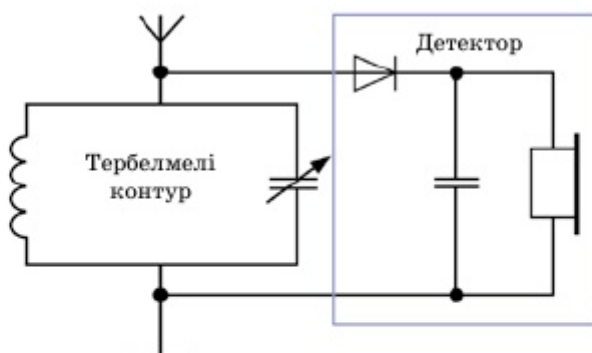
Сүзгінің жұмысы мынаған саяды. Диод токты өткізген уақыт мезеттерінде, оның бір бөлігі жүктеме арқылы өтеді, ал екінші бөлігі конденсаторға тармақталып бөлініп кетеді де, оны зарядтайды. Токтың тармақталуы жүктеме арқылы өтетін токтың толықсуын азайтады. Есесіне диод жабылған кездегі импульстердің арасындағы уақыт аралықтарында конденсатор жүктеме арқылы жартылай разрядталады. Сондықтан импульстер арасындағы интервалда ток жүктеме арқылы бұрынғы бағытта өтеді. Өрбір жаңа импульс конденсатор астарын зарядтайды. Осының арқасында жүктеме арқылы дыбыс жиілігіндегі ток үнемі өтеді де, оның тербеліс пішіні (4.3.9-сурет) хабарлаушы станциядағы жиілігі төмен сигналдың (дыбыстың) пішінін (4.3.2,ә-сурет) дәлме-дәл дерліктей қайталайды.



4.3.9-сурет. Дыбыс жиілігіндегі тербелісті бөліп алу

Күрделі сүзгілер кішігірім жоғары жиілікті толықсуларды тегістеп жібереді де, жиілігі дыбыс жиілігіндегі тербелістер туындайды (4.3.9-сурет); бұндай дыбыс тербелісі 4.3.7-суреттегі тербеліске қарағанда жатық.

5. *Ең қарапайым радиоқабылдағыш* бір-бірімен байланысқан екі контурдан тұрады: оның бірі – антеннамен байланысқан тербелмелі контур, ал екіншісі – детектордан, конденсатордан және телефоннан тұратын контур (4.3.10-сурет).



4.3.10-сурет. Қарапайым радиоқабылдағыштың сұлбасы

Тербелмелі контурда модуляцияланған тербелістерді радиотолқын қоздырады. Телефондардың шарғылары жүктеме ролін атқарады. Олар арқылы дыбыс жиілігіндегі жиіліктегі ток өтеді. Жоғары жиіліктің аздаған толықсулары мембрананың тербелістеріне елеулі әсер етпейді де, құлаққа сезілмейді.

Тербелістердің амплитудасын немесе жиілігін модуляциялауға болады. Амплитудалық модуляциялауды жүзеге асыру жеңілiрек болады.

Детекторлау кезінде айнымалы ток түзеліп, жоғары жиілікті толықсулар сүзгіде тегістеледі.

6. Радиотолқындардың таралуына Жер бетінің пішіні және физикалық қасиеттері, сондай-ақ атмосфераның күйі күшті әсер етеді.

Жер бетінен 100–300 км биіктіктегі атмосфераның жоғарғы бөліктеріндегі иондалған газ қабаты радиотолқындардың таралуына елеулі ықпалын тигізеді. Осы қабатты **ионосфера** деп атайды. Күннің электромагниттік толқындар шығаруы және Күннен шығатын зарядталған бөлшектер атмосфераның жоғарғы қабаттарында ауаның иондалуын туғызады.

Ионосфера электр тогын өткізеді де, кәдімгі металл пластина тәрізді толқын ұзындығы $\lambda > 10$ м радиотолқындарды шағылдырады. Бірақ ионосфераның радиотолқындарды шағылдыру және жұту қабілеті жыл мезгілдеріне және тәулік мезгілдеріне қарай өзгеріп отырады.

Толқындардың ионосферадан шағылуы және радиотолқындардың Жердің дөңес бетін орағытып өту қабілеті арқасында Жер бетіндегі шалғай, тікелей көрінбейтін орындарда тиянақты радиобайланыс мүмкін болады. Негұрлым толқын ұзындығы үлкен болса, соғұрлым бұл орағыту күштірек білінеді. Тек 100 м едәуір артық ұзындықтардағы толқындар (орташа және ұзын толқындар) ғана жерді орағыту есебінен шалғай аралықтармен радиобайланыс жасауға мүмкіндік береді.

Қысқа толқындар (толқын ұзындығының диапазоны 10 метрден 100 метрге дейін) ионосферадан және Жер бетінен көп қайтара шағылу есебінен үлкен қашықтықтарға тарай алады (4.3.11-сурет). Қысқа толқындардың көмегімен Жер бетінде қалаған шалғай аралықтардағы радиостанциялар арасында радиобайланыс орнатуға болады.

Ұзын радиотолқындар Жердің беткі қабаттарында және ионосферада айтарлықтай жұтылатын болғандықтан, бұл мақсат үшін жарамсыздау. Алайда шектеулі қашықтықтарда таратушы радиостанцияның қуаты едәуір көп болғанда, бәрінен де сенімді радиобайланыс ұзын толқындармен қамтамасыз етіледі.



4.3.11-сурет. Қысқа толқындардың ионосферада шағылуы

Ультрақысқа толқындар ($\lambda < 10$ м) ионосферадан әрі өтіп кетеді де, Жер бетін орағытып тарай алмайды. Сондықтан олар тікелей көріну шегінде жатқан орындар арасында радиобайланыс жасау үшін, сондай-ақ ғарыш кемелерімен байланыс жасау үшін пайдаланады.

Сонымен, радиотолқындардың таралуы олардың толқын ұзындығына байланысты өзгеріп отырады. Қысқа толқындар ($10 \text{ м} < \lambda < 100 \text{ м}$) ионосферадан және Жер бетінен бірнеше қайтара шағылады. Ұзын толқындар ($\lambda > 100 \text{ м}$) Жер бетін бойлай «сырғанады». Ультрақысқа толқындар ($\lambda < 10 \text{ м}$) ионосфераны тесіп өтеді.

7. Техникада түрлі бөзеттерден радиотолқындардың шағылу құбылысы кең түрде қолданылады. Толқын сезгіш қабылдағыштар шағылған сигналды ұстайды және күшейтеді. Осылайша, оның қай жерде екені туралы ақпарат алынады.

Радиотолқындар арқылы объектіні тауып, оның тұрған орнын дәл анықтау радиолокация деп аталады.

Радиолокациялық қондырғы – радиолокатор (немесе радар) – таратушы және қабылдаушы бөліктерден тұрады. Радиолокацияда аса жоғары жиілікті (10^8 – 10^{11} Гц) тербелістер пайдаланылады. Қуатты, аса жоғары жиілікті генератор сүйірлене бағытталған өткір толқын шығаратын антеннамен байланысқан. 10 см-ге шамалас және одан кіші толқын ұзындығымен жұмыс істейтін радиолокаторларда мұндай толқынды параболалық айна түріндегі антенналар шығарады. Метрлік диапазондағы толқындарға арналған антенналар күрделі вибраторлар жүйесі түрінде жасалады. Мұндай жағдайда өткір сәулеленулер толқындардың қосылуы арқылы алынады. Осыған орай арнайы жасалған антенна вибраторлардан өзіне түскен толқындарды тек берілген бағыт үшін ғана қосып күшейтеді. Өзге бағыттарда толқындар қосылғанда өзара бірін-бірі түгелдей немесе жартылай өшіреді.

Объектіден шағылған толқынды толқын шығарушы антеннаның өзі, не басқа қабылдағыш (бұл да сүйірлене бағытталған) антенна ұстайды. Радиолокатор шығаратын өткір толқынның бағыты айқын болғандықтан, оны радиолокатор «сәулесі» деп айтуымызға болады. Объектіні көздеген бағыт одан шағылған сәуленің бағыты ретінде анықталады.

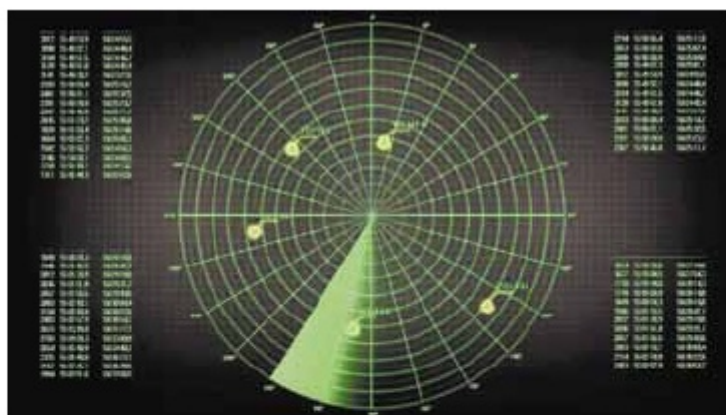
Объектіге дейінгі қашықтықты анықтауда сәуле шығарудың импульстік тәртібі қолданылады. Хабарлағыш толқындарды қысқамерзімді импульстермен шығарады. Өрбір импульстің ұзақтығы секундтың миллиондық үлесіндей, ал импульстің аралықтары бұл уақыттан шамамен 1000 еседей үлкен.

R арақашықтықты радиотолқынның объектіге дейінгі және кері жүріп өтуіне кеткен жалпы t уақытты өлшеу арқылы $R = \frac{ct}{2}$ өрнегі бойынша анықтайды.

Радиотолқындардың атмосферада таралу жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Радиотолқындардың шашырауы салдарынан таратқыштың энергиясының болымсыз аз бөлігі ғана қабылдағышқа келіп жетеді. Түскен сигналдарды радиолокаторлардың қабылдағыштары миллион-миллион есе (10^{12}) күшейтеді. Мұндай өте сезгіш қабылдағыш, әлбетте, хабарлағыш импульстерді жіберіп тұрған уақытта ажыратылып тұруы керек.

Жіберілген және шағылған сигналдарды тіркеу үшін электронды-сәулелік түтік қолданылады. Импульсті жіберген сәтте экранда бірқалыпты қозғалған нүктелік жарық ауытқиды. Экранда қашықтық шкаласының нөлінші бөлігінің маңында шарпу пайда болады (4.3.12-сурет).



4.3.12-сурет. Радиолокатор экраны

Осылайша экран бетіндегі жарқырауық дақ шкала бойымен бірқалыпты жүріп отырады да, шағылған бәсең сигнал түскен мезетте тағы да шарпу пайда болып, ауытқып кетеді. Экрандағы шарпулар арасындағы қашықтық сигналдың t жүріп өту уақытына, демек, объектіге дейінгі R арақашықтыққа пропорционал болады. Мұндай пропорционалдық шкаланы тікелей километрмен градуирлеуге мүмкіндік береді.

Радиолокациялық қондырғылар бірнеше жүз километрге дейінгі қашықтықтағы кемелер мен ұшақтарды бақылай алады. Олардың жұмысына ауа райы мен тәулік мезгілдерінің жағдайы онша әсер ете қоймайды. Үлкен өуежайларда көтерілетін және қонуға бет алған ұшақтарды локаторлар бақылап отырады. Жер бетіндегі радиолокациялық қондырғылар (4.3.13-сурет) жәрдемімен ұшқыштарға радио арқылы тиісті нұсқаулар жеткізіледі де, соның арқасында ұшу қауіпсіздігі қамтамасыз етіледі.



4.3.13-сурет. Жер бетіндегі радиолокациялық қызмет

Кемелер мен ұшақтар да навигациялық мақсаттар үшін қызмет ететін радиолокаторлармен жабдықталады. Ондай локаторлар радиотолқындарды шашырататын объектілердің қалай орналасқанын экранда көрсетеді. Жер бетінің радиолокациялық картасы оператордың көз алдында тұрады.

Қазіргі кезде радиолокация күннен-күнге әрқилы мақсаттар үшін қолданылып келеді. Локаторлардың көмегімен атмосфераның жоғарғы қабаттарындағы метеорларды бақылайды. Ауа райы қызметінде бұлттарды да бақылау үшін локаторлар пайдаланылады. Ақыр соңында локаторлар ғарыштық зерттеулерде де қолданылады. Өрбір ғарыш кемесінің бортында міндетті түрде бірнеше радиолокатор бар. АҚШ-та және Венгрияда 1946 жылы Ай бетінен шағылған сигналды қабылдау эксперименті іске асырылды. 1961 жылы бұрынғы кеңестік ғалымдар Шолпан планетасына радиолокация жүргізіп, осы планетаның өз осінен айналу периодын анықтай түсуге мүмкіндік алды. Қазіргі кезде Күн жүйесінің планеталарына да радиолокациялық жұмыстар жүргізіліп жатыр.

Радиолокаторлар ұшақтар мен кемелердің орнын анықтауға, ауа райы қызметінде, планеталарды зерттеуге және т.с.с. пайдаланылады.

Қазақстан мен Франция Алматы облысында 2017 жылдың 28 сәуірінде үш координаталы радиолокациялық станцияларды шығаратын «Groud Master 400» (қазақстандық индексі «НҮР») бірлескен зауыт ашты. Қазақстанда шығарылатын радиолокациялық техника өзінің тактикалық сипаттамасы бойынша өлемдегі ең үздіктердің бірі болып табылады, ол радиолокациялық барлауға және өуе кеңістігін бақылауға арналған.



Сұрақтар

1. Радиобайланыс бірінші рет қашан жүзеге асты? Радионы ең алғаш кім ойлап тапты?
2. Радиобайланыс қандай принциптердің негізінде жүзеге асады?
3. Амплитудалық модуляцияның физикалық мағынасы нені білдіреді?
4. Тербелістерді детекторлау не үшін қажет? Физикалық көзқарас тұрғысынан детекторлау қалай жүзеге асады?
5. Қарапайым радиоқабылдағыштың сұлбасы қандай? Осы сұлбаның негізінде радиоқабылдағыштың жұмысын қалай түсіндіруге болады?
6. Радиотолқындар қалай жіктеледі? Олар қандай жылдамдықпен тарайды? Айырмашылықтары қандай?
7. Радиолокацияның жұмыс істеу принципі радиотолқындардың қандай қасиеттеріне негізделген? Радиолокация қайда және қандай мақсаттар үшін қолданылады?
8. Жол-патрульдік қызметтің инспекторлары локаторлар аппараттын пайдаланып, машиналардың жылдамдығын анықтайды. Мұндай құрылғының физикалық принципі қандай?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

1. Неліктен ғарыштық кемелермен радиобайланыстың 2 есе артуы таратқыштың қуатының 16 есе артуын қажет етеді. Радиотолқындардың көзі нүктелік, ал ортада энергияның жұтылуы елеусіз аз.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Радиолокатор 15 см толқын ұзындығымен жұмыс істейді және секундына 4000 импульс береді. Өрбір импульстің ұзақтығы 2 мкс. Өрбір импульсте қанша тербеліс бар және локатордың барлау тереңдігі қандай?

Берілгені:

$$t = 1 \text{ с}$$

$$T_u = 2 \text{ мкс}$$

$$\lambda = 15 \text{ см}$$

$$N = 4000$$

$$N_u - ?$$

$$L - ?$$

ХБЖ

$$2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$0,15 \text{ м}$$

Шешуі:

Локатор зерттейтін толқын периоды:

$$T_m = \frac{\lambda}{c},$$

мұндағы λ – толқын ұзындығы. Демек, ұзақтығы T_u импульстегі тербелістер саны:

$$N_u = \frac{T_u}{T_m} = \frac{T_u c}{\lambda}.$$

Барлау тереңдігін мына формуладан табамыз:

$$N = \frac{tc}{2L}; \quad L = \frac{tc}{2N}.$$

Мұнда $t = 1$ с, $N - t$ уақыттағы импульстер саны:

$$N_u = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,15} = 4000;$$

$$L = \frac{1 \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 4000} = 37,5 \cdot 10^3 \text{ м};$$

Жауабы: $N_u = 4000$; $L = 37,5 \cdot 10^3$ м.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 4.3.1. Жер бетіндегі радиолокатор жіберген сигнал ұшақтан шағылған соң $2 \cdot 10^{-4}$ с уақытта қайта оралса, ұшаққа дейінгі қашықтық қандай? (Жауабы: 30 км)
- 4.3.2. Радиолокатор секундына 2000 импульс жібереді. Осы радиолокатордың өрекет ету қашықтығын анықтаңдар. (Жауабы: 75 км)
- 4.3.3. 30 м толқын ұзындығын шығаратын радиотаратқыш қандай жиілікте жұмыс істейді? (Жауабы: 10^7 Гц)

В

- 4.3.4. Егер электронды-сәулелік түтікшедегі жаймалау уақыты 1000 мкс болса, радиолокатордың өрекет ету қашықтығы қандай болады? (Жауабы: 150 км)
- 4.3.5. Радиолокатор сигналы объектіден $3 \cdot 10^{-4}$ секундта қайтып келді. Объектіге дейінгі қашықтық қандай? (Жауабы: 45 км)
- 4.3.6. Егер тербеліс периоды $0,2 \cdot 10^{-6}$ с болса, онда таратқыш шығаратын толқынның ұзындығы қандай? (Жауабы: 60 м)

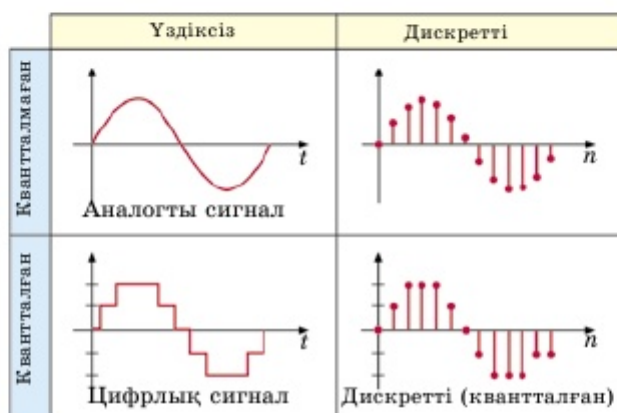
С

- 4.3.7. Айға жіберілген радиосигнал одан шағылып, 2,5 секундтан соң Жерде қабылданды. Шолпанға жіберген осындай сигнал 2,5 минуттан соң қабылданды. Локация кезіндегі Жерден Айға дейінгі және Жерден Шолпанға дейінгі қашықтықты анықтаңдар. (Жауабы: $3,75 \cdot 10^8$ м; $225 \cdot 10^8$ м)
- 4.3.8. Радиоқабылдағыш радиотолқындарды 3-тен 50 МГц-ке дейінгі диапазонында қабылдай алады. Оның тербелмелі контуры шарғысының индуктивтілігі 2-ден 5 мкГн-ге дейін өзгеруі мүмкін. Осы радиоқабылдағыштың тербелмелі контуры конденсаторының сыйымдылығы қандай шектерде өзгереді? (Жауабы: 2 пФ-дан 1,4 нФ)
- 4.3.9. Радиотаратқыш 30 м толқын ұзындығында жұмыс істейді, оның периоды мен жиілігін анықтаңдар. (Жауабы: 10^{-7} с; 10 МГц)
- 4.3.10. Егер электрлік тербеліс периоды 10^{-6} с болса, радиотаратқыш толқынының жиілігі мен ұзындығы қандай болады? (Жауабы: 1 МГц; 300 м)

§ 4.4

Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер. Байланыс арналары

1. Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ) деп кіретін аналогтық сигналды цифрлық сигналға, яғни «дискретті код» түріне түрлендіретін құрылғыны айтады. Сигналды кері түрлендіру цифрлық-аналогтық түрлендіргіш (ЦАТ) көмегімен жүзеге асырылады. Әдетте, АЦТ деп кернеуді екілік сандық кодқа түрлендіретін электрондық құрылғыны айтады. Мұндай құрылғыларда аналогты және цифрлық сигналдар қолданылады (4.4.1-сурет).



4.4.1-сурет. Сигнал түрлері

Бейнелерді жеткізуде және қабылдауда аналогты-цифрлық түрлендіргіштерде арнайы сигналдар қолданылады.

Аналогты сигнал деп берілген әрбір параметрі уақыттың функциясы ретінде мүмкін мәндердің үзіліссіз жиыны түрінде сипатталатын сигналды айтады.

Аналогты сигналдар үздіксіз өзгертін физикалық шамаларды көрсету үшін жиі қолданылады. Мысалы, термопарадан алынатын аналогты электр сигналы температураның өзгеруі туралы ақпаратты жеткізеді, ал микрофоннан алынған сигнал – дыбыстық толқындағы қысымның тез өзгеруін көрсетеді. Аналогты теледидар – телехабар таратудың бір түрі.

Дискретті сигнал (лат. *Discretus* – «үзік», «бөлінген») деп мүмкін мәндер тізімінен кез келген мәнді алатын және уақытқа байланысты үзіліссіз (аналогтыдан айырмашылығы) өзгеріп отыратын сигналды айтады. Ықтимал мәндер тізімі үздіксіз немесе цифрлық болуы мүмкін.

Дискретті және цифрлық сигналдар түсініктерінің арасында шатасу бар. Цифрлық сигнал дискретті деп жиі аталады, себебі ол дискретті (жеке) бөліктерден (samples) тұрады, цифрлық квантталған сигнал үзік сигнал болып табылмайды. Дискреттік пакеттік деректер беру үшін есептеу техникасында қолданылады.

Цифрлық сигнал – дискретті (цифрлық) мәндер тізбегі түрінде көрсетуге болатын сигнал. Қазіргі уақытта екілік цифрлық сигналдар (биттік ағын) кодтауының қарапайымдылығына және екілік электроникада қолдануға байланысты кең таралған. Цифрлық сигналды аналогты арналар (мысалы, электр немесе радиоарналар) арқылы беру үшін амалдаудың (манипуляцияның) әр түрі пайдаланылады.

Цифрлық сигналдың маңызды қасиеті қазіргі заманғы байланыс жүйелерінде оның үстемдігін анықтаған қайталағышта толығымен қалпына келу қабілеті болып табылады (белгілі бір деңгейден бастап шуылға дейін). Шынында да, қайталағышқа аздаған шуыл араласқан сигнал келіп түскенде оны бөгде шуылдардан толық тазартып, цифрлық сигналға қайта түрлендіреді. Ал аналогты сигнал оған түскен шумамен бірге ғана күшейтіледі.

Екінші жағынан, егер цифрлық сигнал үлкен бөгеуілдермен келсе, оны қалпына келтіру мүмкін емес, ал бұрмалаған аналогты сигналдан қиын болса да, ақпараттың бір бөлігін алуға болады. Егер аналогты форматтың (AMPS, NMT) ұялы байланысын цифрлық (GSM, CDMA) байланыспен салыстырсақ, соңғыларында бөгеуілдер болған кезде, кейде бүкіл сөздер сөйленбей шығады, ал аналогты желіде кедергілер болса да сөйлесуді жүргізуге болады.

Бұл жағдайдан шығу үшін цифрлық сигналды жиіліктегі байланыстың үзілісіне қалпына келтіру генераторларын орнату арқылы немесе байланыс жолының ұзындығын азайту арқылы жүзеге асырады (мысалы, ұялы телефоннан базалық станциялардың жерге жиі орналасуы арқылы қол жеткізілетін базалық станцияға дейінгі қашықтықты азайту арқылы).

Цифрлық жүйелерде цифрлық ақпаратты қалпына келтіру және тексеру алгоритмдерін пайдалану ақпарат берудің сенімділігін едәуір арттырады.

Аналогты және цифрлық сигнал арасындағы негізгі айырмашылық берілетін сигналдың құрылымында болады. Аналогты сигналдар амплитудасы мен жиілігі өзгеретін үздіксіз тербеліс ағыны болып табылады. Цифрлық сигнал мәндері таратушы ортаға тәуелді дискретті тербелістер болып табылады.

2. Радиотолқындар тек дыбысты ғана емес, сонымен бірге кескіндерді де қашықтыққа жеткізу үшін (теледидар) пайдаланылады.

Кескіндерді қашықтыққа жеткізу принципі былайша түсіндіріледі. Хабар таратушы станцияда кескін тізбекті электр сигналдарына түрленеді. Содан кейін ол сигналдармен жиілігі жоғары генератор өндіріп шығаратын тербелістерді модуляциялайды. Модуляцияланған электрмагниттік толқын хабарды алысқа жеткізеді. Жиілігі жоғары модуляцияланған тербелістер детекторланады да, жеткізілген сигнал көрінетін кескінге түрленеді. Қозғалысты жеткізу үшін киноға түсіру принципі пайдаланылады: қозғалыстағы объектінің кескіндерін (кадрлерді) бір секундта ондаған рет береді (телевизияда 50 рет).

Теледидарлық радиосигналдар тек ультрақысқа (метрлік) толқын диапазонында ғана жіберіледі. Осындай толқындар әдетте антеннаның тікелей көру шегінде ғана тарайды. Сондықтан теледидарлық хабармен үлкен атырапты қамту үшін телехабар таратқыштарын жиірек орналастыру және олардың антенналарын жоғарырақ көтеру керек. Алматыдағы «Көктөбе» телеорталығы мұнарасының төбе үстіндегі биіктігі 372 м.

Қазіргі кезде еліміздің теледидарлық жүйесі бірнеше мың хабар таратушы станцияларды қамтиды, олардың ақпаратын 10 млн теледидар қабылдайды.

Теледидар хабарларын қабылдаудың сенімді аймағы әсіресе ретрансляциялық серіктерді пайдалану нәтижесінде үздіксіз арта түсуде.



Сұрақтар

1. Байланыс арналарында қандай түрлендіргіштер мен сигналдар қолданылады?
2. Аналогтық және дискреттік сигналдар деп нені айтады? Цифрлық сигнал деп нені айтады?
3. Бейнелерді қашықтыққа жеткізу принципін қалай түсіндіруге болады?
4. Неліктен хабарды тарататын телеарна станциясының қашықтығы көкжиек сызығымен шектелген? Хабарды тарату қашықтығын арттыру үшін қандай қамдамдар жасау қажет?



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 4.4.1. Егер бақыланатын объектіге жіберілген радиоимпульс радиолокаторға 0,0001 секундта қайтып келсе, онда объект қандай қашықтықта болады?
(Жауабы: 15 км)
- 4.4.2. Егер хабар жеткізуші сигналдың жиілігі 50 МГц болса, онда теледидар сигналының толқын ұзындығы қандай? (Жауабы: 6 м)
- 4.4.3. Радиостанция жиілігі 440 Гц дыбыс сигналын жібереді. Егер радиобауар таратқыш ұзындығы 50 м толқында жұмыс істесе, онда дыбыс жиілігінде бір тербелісті жеткізетін жоғары жиіліктегі тербелістер саны қандай болады? (Жауабы: 13 636 тербеліс)
- 4.4.4. Радиобауар таратқыш антеннасында ток $i = 0,3 \sin 1,57 \cdot 10^6 t$ заңы бойынша өзгереді. Шыққан электромагниттік толқын ұзындығын табыңдар.
(Жауабы: 12 км)

В

- 4.4.5. Радиоқабылдағыштың тербелмелі контуры 25 м толқын ұзындығына бапталған. Оны 50 м толқын ұзындығына баптау үшін контурдың сыйымдылығын қанша есе арттыру керек? (Жауабы: 4 есе)
- 4.4.6. 100 м толқын ұзындығында жұмыс істейтін радиостанцияны тыңдау үшін 6 МГц жиілікке бапталған радиоқабылдағыш контурындағы сыйымдылықты неше есе арттыру керек? (Жауабы: 4 есе)
- 4.4.7. Индуктивтілігі 3 мГн шарғыдан және бір-бірінен 0,3 мм арақашықтықта орналасқан радиустары 1,2 см қос табақша түріндегі жазық конденсатордан тұратын тербелмелі контур қандай толқын ұзындығына бапталған? Конденсатор диэлектриктік өтімділігі 4 болатын затпен толтырылған.
(Жауабы: 753,6 м)

С

- 4.4.8. Телеорталықтың сәулелендіргіш антеннасының Жер деңгейінен биіктігі 300 м, ал теледидар қабылдағышы антеннасының биіктігі 10 м. Телехабар-

ды сенімді қабылдау үшін теледидарды телеорталықтан қандай қашықтыққа дейін аулақтатуға болады? (*Жауабы: 73 км*)

- 4.4.9. Радиоқабылдағышты толқын ұзындығы 25 м-ден 200 м-ге дейінгі радиотолқындарды қабылдау үшін баптауға болады. Ең қысқа толқыннан ең ұзын толқынды қабылдауға көшу үшін қабылдағыштың тербелмелі контурына жалғанған жазық конденсатордың пластиналарының арақашықтығын неше есе кеміту керек? (*Жауабы: 64 есе*)
- 4.4.10. Зарядталған конденсаторды идеал шарғыға қосқан. 10^{-8} с ішінде конденсатордың энергиясы алғашқы шамасымен салыстырғанда 4 есе кеміген. Контурдың шығарған толқын ұзындығын анықтаңдар. (*Жауабы: 5 м*)

§ 4.5

Байланыс құралдарының дамуы

1. Байланыс құралдары дамуының жалпы күйі. Қазіргі таңда үнемі дамып және жетілдіріп келе жатқан байланыс құралдары бар. Байланыс – елдің шаруашылық және экономикалық жүйесіндегі маңызды сала; адамдардың қарым-қатынас тәсілі; олардың өндірістік, рухани, мәдени және әлеуметтік сұраныстарын қанағаттандыру көзі.

Байланыс құралдарын дамытудың негізгі бағыттарына мыналар жатады:

1) радиобайланыс; 2) телефон байланысы; 3) телевизиялық байланыс; 4) ұялы байланыс; 5) интернет; 6) ғарыштық байланыс; 7) фототелеграф (факс); 8) бейнетелефон байланысы; 9) телеграфтық байланыс.

Радиобайланыс – кеңістікте таралатын радиотолқындардың көмегімен ақпараттарды сымсыз тарату және қабылдау.

Радиобайланыс түрлері: 1) радиотелеграф; 2) радиобайланыс; 3) радиохабар; 4) теледидар.

2014 жылы 28 сәуір күні «Байқоңыр» ғарышайлағынан «KazSat-3» ұлттық байланыс және хабар тарататын Жер серігі (спутник) ұшырылды (4.5.1-сурет).

«KazSat-3» серігінің пайдалануға берілуі Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық дамуының маңызды сәті болды. Меншікті ұлттық байланыс және хабар тарату серіктері бар елдің тіркелген серіктік байланыс арналарына деген қажеттілігін қанағаттандырады, елдің ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, мемлекет аумағында «цифрлық теңсіздікті» жояды.

2016 жылы Қазақстан Республикасының телеоператорларының шетелдіктен ұлттық және хабар тарататын Жер серігі арқылы байланысқа ауысуы толық аяқталды.



4.5.1-сурет. «KazSat-3» серірі

Бүгінгі күні «KazSat-3» серігінің базасында Қазақстан Республикасының барлық аумағында HD, DTH, IPTV форматтарында цифрлық теле және радиохабарларын тарату қамтамасыз етілген.

Қазақстан Республикасының аумағында теле және радиохабарларын таратушы ұлттық операторы «Қазтелерадио» АҚ «OTAU TV» серіктік теле және радиохабарлары бағдарламаларының пакетін таратады.

Қазақстандағы тіркелген телефон байланысы мен деректерді берудің ұлттық желісінің ірі операторы «Қазақтелеком» ұлттық компаниясы болып табылады. Компания интернетке кең аумақта қол жеткізуде, интерактивті теледидар, ұялыбайланыс, телеграф, жергілікті және алыс телефон байланыс қызметтерін ұсынады.

Caspio HD операторы өзінің бағдарламалар пакетін HD форматында «KazSat-3» технологиялық платформасын пайдалану арқылы республиканың кез келген нүктесіне таратады.

HEVC форматында хабар таратушы «Алма ТВ» операторы «KazSat-3» ресурстарын пайдаланады. Бұл формат арналар санын көбейтуге, тарататын хабардың суреттерінің сапасы мен жарықтығын жақсартуға, HD және Ultra HD (4K) арналарын таратуға мүмкіндік береді.

«KazSat-3» серігін құрастыру барысында аппараттың берілген сипаттамаларын және қажетті сенімділік деңгейін сақтауға мүмкіндік беретін заманауи техникалық шешімдер пайдаланылды.

2. Интернет байланысы. Интернетке қол жеткізу әртүрлі типтегі сымды, талшықты-оптикалық және сымсыз байланыс желілерін қолдану арқылы жүзеге асады. Жоғары жылдамдықты интернет байланысы модем мен телефон желілерін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Конфигурациялау үшін үй телефондары және байланыс желісі бар жабдықты қамтамасыз ететін жеткілікті қуатты байланыс операторы болуы керек.

Коммутацияланатын байланыс қоңырау шалған желі арқылы жүзеге асады. Сондықтан интернет пен телефонды бір уақытта пайдалану мүмкін емес. Сонымен қатар орташа алғанда мұндай байланыс желіге 56 Кбит/с дейінгі жылдамдықпен шығуға мүмкіндік береді.



4.5.2-сурет. Асимметриялық цифрлы абоненттік желі арқылы қосылу

Модем қосылымының тағы бір түрі **ADSL** деп аталады. Ол үшін де телефон желісі талап етіледі, бірақ цифрлық модем бір мезгілде желіге қосылуға және шығуға мүмкіндік береді. ADSL абонентке желіге қол жеткізудің жеткілікті жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді – орташа есеппен 24 Мбит/с-ға дейін. Желідегі жүктеме ассиметриялы түрде бөлінеді – кірістік қосылу шығысқа қарағанда жылдамырақ (жылдамдығы 1,4 Мбит/с-ға дейін) (4.5.2-сурет). Осыған байланысты файлдарды серверге жүктеу уақыты ұзағырақ болады.



4.5.3-сурет. Кабельді теледидар арқылы қосылу

DOCSIS стандартымен ақпаратты жеткізу түрі – теледидар кабелі арқылы қамтамасыз етіледі. Мұндай байланыс үйде интернет-провайдер болмаған жағдайда қолданылады. Оның көмегімен 27-ден 50 Мбит/с-қа дейінгі жылдамдық алынады. Оған қол жеткізу үшін үйде кабельді теледидар және арнайы модем болуы қажет (4.5.3-сурет).



4.5.4-сурет. Ethernet кабелі арқылы кіру

Ethernet – компьютерді желіге тікелей немесе Wi-Fi маршрутизаторы арқылы қосу үшін қолданылады (4.5.4-сурет). Мұндай арнаның өткізу қабілеті ADSL немесе теледидар кабелімен салыстырғанда жоғары. 50 Мбит/с жылдамдықпен екі бағытта – компьютерден серверге және керісінше жеткізеді. Оған абоненттің үйіндегі кең жолақты интернет арқылы ғана қосылады.



4.5.5-сурет. GPON арқылы қосылу

GPON – жеке талшықты-оптикалық желі арқылы қосылуды орнатуға арналған технология (4.5.5-сурет). Бұл провайдердің жабдықтарынан тікелей абоненттің пәтеріне дейін жүзеге асырылады. Желілік қосылуды орнатудың бұл түрі 1 Гб/с-қа дейінгі деректердің максималды жылдамдығын қамтамасыз етеді. Қосылу үшін кабельді абоненттің пәтеріне дейін созып, оптикалық модем орнату керек.

Талшықты және есілген жұпты қосылыстар GPON-ға қарағанда жиі кездеседі. Сонымен қатар оптикалық кабель көпқабатты үйге тартылады, ал интернет абоненттері үшін есілген жұп кабельдер қолданылады. Мұндай арнаның өткізу қабілеті төмен.



4.5.6-сурет. Антенна арқылы интернетке қол жеткізуді орнату

Бұл топқа *радио, мобильді, жерсеріктік (спутниктік)* интернет жатады. Аталған арналар арқылы байланысты реттеу үшін антенналар қажет.

Радиоинтернет провайдер қамтамасыз ететін кіру нүктесі арқылы жұмыс істейді. Одан сигнал белгілі бір радиусқа таратылады және абонент жабдықтарына пәтерде орнатылған антенна арқылы түседі. Одан әрі модемнің көмегімен сигнал компьютерге түседі. Егер кіру нүктесі алыс болса, сигнал тым әлсіз болуы мүмкін. Мұндай жағдайда антеннадан басқа сигнал күшейткіштерін қолданады.

Мобильді байланыс ұялы телефондарда немесе USB модемдерде орнатылған антенналар арқылы жұмыс істейді, қосымша жабдық қажет емес. Интернетке қосылудың бұл түрі қолжетімді, бірақ бөлінген желі бойынша сымды қосылысқа қарағанда өткізу қабілеті төмен.

Жерсеріктік (спутниктік) байланыс жасанды серікке бағытталған көше антенналары арқылы орнатылады. Сигнал үлкен қашықтықтарға байланысты кідіріспен түседі. Байланыстың басқа кемшіліктеріне жылдамдығының төмендігі, ауа райына тәуелділігі, жабдықтың және абоненттік төлемнің құнының жоғары болуы жатады. Алайда кейбір жерлерде мұндай байланыс жалғыз қолжетімді байланыс арнасы болып табылады (4.5.7-сурет).



4.5.7-сурет. Жерсеріктік интернет антеннасы

Ұялы телефон – ұялы байланыс желілерінде жұмыс істеуге арналған ұялы телефон, ұялы желінің қамту аймағында телефон байланысын жүзеге асыру үшін радиоқабылдағыш таратқышты және дәстүрлі телефон коммутациясын пайдаланады.

Ұялы телефондар – сымсыз құрылғылар (4.5.8-сурет). Бұл олардың ешқандай бекітілген электр желісіне қосылмағандығын білдіреді. Мұның қалай жұмыс істейтінін түсінуге көмектесетін ең жақсы әдіс – бұл радиоға жүгіну болып табылады, өйткені ұялы телефондар радиохабарларының жиілігінде жұмыс істейді.



4.5.8-сурет. Ұялы телефондар



Қосымша деректер

Радиотехникада кейбір құбылыстар түсініксіз болды. Мысалы, ең қарапайым, арзан транзистор мыңдаған километр қашықтықтағы объектіден сигнал қабылдайды.

Италиялық инженер Г. Маркони бірінші рет сымсыз телеграфпен Атлант мұхиты арқылы телеграф сигналдарын жіберді. Неге олар ғарышқа кеткен жоқ? Ионосфера өте қысқа толқындар үшін мөлдір, ал амплитудалық-модуляцияланған сигналдарды тарату үшін қолданылатын ұзын толқындар ионосферадан шағылады. Сондықтан өте ұзын қашықтықта ионосферадан шағылған сигналдар қабылданады. Белгілі бір жағдайларда ультракүлгін толқындар ионосферадан да шағылады, мұндай жағдайда оларды таңғаларлық үлкен қашықтықта қабылдауға болады. Ұзын толқындардың шағылу дәрежесі түнде күшейеді, өйткені ионосфераның төменгі қабатында молекулалардың иондалу дәрежесі азаяды.

**Сұрақтар**

1. Байланыс құралдарын дамытудың негізгі бағыттары қандай?
2. Радиобайланыс дегеніміз не? Радиобайланыстардың қандай түрлерін білесіңдер?
3. «KazSat-3» ұлттық байланыс және хабар тарату серігі қашан жіберілді? «KazSat-3» базасында цифрлық хабар тарату форматы қандай?
4. Интернет желілеріне қосылудың қандай түрлері бар?
5. Мобильді (ұялы) телефон қалай хабар алады?

**Тапсырма (эксперименттік зерттеу)**

- 1) Жұмыс істеп тұрған шағын радиоқабылдағышты ашық шелек не табаға орналастырыңдар. Дыбыс жақсы естіледі.
- 2) Ыдыстардың қақпағын жауып, тәжірибені қайталаңдар. Дыбыс өшеді. Неге?

IV ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Электрмагниттік өріс** деп зарядталған бөлшектердің өзара әрекеті жүзеге асырылатын айнаымалы электр және магнит өрістерінің ажырамас бірлігі түріндегі материяның ерекше формасын айтады.

- **Электрмагниттік толқын** деп кеңістікте шекті ($c \approx 300\,000$ км/с) жылдамдықпен тарайтын электрмагниттік тербелістерді айтады.

- **Электр тербелмелі контурдың шығаратын электрмагниттік тербелісінің жиілігі:** $\omega = 1/\sqrt{LC}$.

- **Электрмагниттік сәулелер ағынының I тығыздығы** деп сәулелерге перпендикуляр S беттен Δt уақыт ішінде өтетін ΔW электрмагниттік энергияның осы S аудан мен Δt уақыттың көбейтіндісіне қатынасын айтады:

$$I = \Delta W / S \Delta t.$$

- **Сәулелер ағынының тығыздығы** деп электрмагниттік энергияның тығыздығы w мен оның c таралу жылдамдығының көбейтіндісін айтады: $I = wc$.

- **Екі электрмагниттік толқын интерференциясының максимум шарты:**

$$\Delta l = k\lambda; \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

- **Екі электрмагниттік толқын интерференциясының минимум шарты:**

$$\Delta l = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

- **Электрмагниттік толқынның дифракциясын бақылау шарты:** $d < \lambda$.

- **Модуляция** деп тербелістер **периодымен** салыстырғанда толқын **амплитудасының** немесе **жиілігінің** белгілі заңдылық бойынша баяу өзгеруін айтады.


- **Детекторлау (демодуляциялау)** деп жоғары жиіліктегі тербелістерді төменгі жиіліктегі электр тербелістеріне түрлендіруді айтады.

- **Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер** деп кіретін аналогты сигналды цифрлық сигналға түрлендіретін құрылғыны айтады.

5-тарау

ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  жарық жылдамдығын анықтаудың зертханалық және астрономиялық әдістерін түсіндіру;
-  ақ жарықтың призма арқылы өткен кездегі жіктелуін түсіндіру;
-  механикалық және жарық толқындарының интерференциялық көріністеріне салыстырмалы талдау жүргізу;
-  жұқа қабыршаққа түскен және шағылған жарықтардан пайда болған интерференциялық максимумдар мен минимумдарды бақылау шарттарын анықтау;
-  Френель теориясын қолданып, жіңішке қылсымнан, саңылаудан, дөңгелек саңылаудан пайда болған дифракциялық көріністерді түсіндіру;
-  жарықтың толқын ұзындығын дифракциялық тордың көмегімен эксперимент арқылы анықтау;
-  жарықтың интерференция, дифракция және поляризация құбылысын талдай отырып, эксперимент арқылы электрмагниттік табиғатын дәлелдеу.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
жарық жылдамдығы	скорость света	velocity of light
сыну көрсеткіші	показатель преломления	refractive index
жарық дисперсиясы	дисперсия света	dispersion of light
жарық интерференциясы	интерференция света	interference of light
жұқа қабыршақтағы интерференция	интерференция в тонких пленках	thin film light interference
Ньютон сақиналары	кольца Ньютона	Newton rings
жарық дифракциясы	дифракция света	diffraction of light
дифракциялық тор	дифракционная решетка	diffraction grating

тор тұрақтысы (периоды)	постоянная решетки (период)	lattice constant (period)
жарық поляризациясы	поляризация света	polarization of light
табиғи жарық	естественный свет	natural light
поляризацияланған жарық	поляризованный свет	polarized light

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «жарық жылдамдығы», «сыну көрсеткіші», «жарық дисперсиясы», «жарық интерференциясы», «жұқа қабыршақтағы интерференция», «Ньютон сақиналары», «жарық дифракциясы», «дифракциялық тор», «тор тұрақтысы (периоды)», «жарық поляризациясы», «табиғи жарық», «поляризацияланған жарық».

§ 5.1

Жарықтың электромагниттік табиғаты. Жарық жылдамдығы

1. XVII ғасырда жарықтың екі теориясы пайда болды: оларды *толқындық* және *корпускулалық* теориялар деп атайды. Корпускулалық теорияны Ньютон, ал толқындық теорияны Гюйгенс ұсынды. Гюйгенстің түсінігіне сәйкес, жарық – барлық кеңістікті толтырып тұратын ерекше орта эфирде таралатын толқын. Екі теория ұзақ уақыт қатарласа қолданыс тапты. Теориялардың бірі қандай да бір құбылысты түсіндіре алмаған кезде, ол екінші теориямен түсіндірілді. Мысалы, анық көлеңкелердің пайда болуын, жарықтың түзу сызықты таралуын толқындық теорияға сүйене отырып түсіндіруге болмайтын еді. Бірақ XIX ғасырдың басында дифракция және интерференция сияқты құбылыстар ашылды, бұл толқындық теория корпускулалық теорияны жеңді деп пайымдауға себеп болды. XIX ғасырдың екінші жартысында Максвелл *жарық электромагниттік толқындардың жеке жағдайы* екенін көрсетті. Бұл жұмыстар жарықтың электромагниттік теориясына негіз болды. Бірақ XX ғасырдың басында жарықтың сәулеленуі және жұтылуы кезінде *бөлшектер ағыны* сияқты әрекет ететіні мәлім болды.

Кейінірек жарықтың *толқындық-корпускулалық екіжақтылығы оның іргелі қасиеті* деген қорытынды жасалды.

Жарықтың жылдамдығы әлемдегі негізгі тұрақты шамалардың бірі болып табылады және вакуумда өзара әсерлесудің шекті жылдамдығын анықтайды.

Әрине, жарық мөлдір заттық ортада тарай отырып, өзінің жылдамдығын өзгертеді. Заттағы жарық жылдамдығын сипаттау үшін *негізгі оптикалық сипаттамалардың бірі – n сыну көрсеткіші (немесе коэффициенті)* алынады. *Сыну*

көрсеткіші вакуумдағы жарық жылдамдығы заттағы жарық жылдамдығынан қанша есе артық екенін көрсетеді.

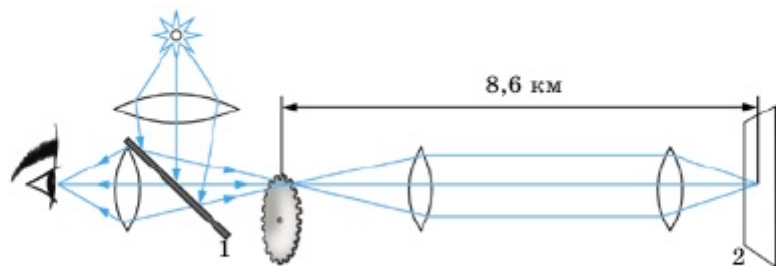
Жарық жылдамдығын анықтаудың бірнеше жолы бар. Олардың негізгілері: астрономиялық және зертханалық әдістер.

2. Жарық жылдамдығын өлшеудің астрономиялық әдісі. Жарық жылдамдығын алғаш рет 1676 жылы дат астрономы Олаф Рёмер өлшеді. Ол Юпитердің ең үлкен серіктерінің бірі – Ио осы үлкен планетаның көлеңкесінде болатын уақытты белгілеп алды (5.1.1-сурет). Рёмер өлшеуді біздің планета Юпитерге жақын келгенде және біз Юпитерден сәл (астрономиялық ұғымдар бойынша) алшақтағанда жүргізді. Бірінші жағдайда жарқылдар арасындағы аралық 48 сағ 28 мин болса, келесіде серік 22 минутқа кешікті. Осыдан жарық алдыңғы бақылау орнынан соңғы осы бақылау орнына дейінгі қашықтықты өту үшін 22 мин қажет деген қорытынды жасалды. Иоға дейінгі қашықтық пен кешігу уақытын біле отырып, ол **жарық жылдамдығын есептеп** шығарды, ол аса үлкен, шамамен 215 000 км/с болып шықты.



5.1.1-сурет. Жарық жылдамдығын анықтауға арналған астрономиялық әдіс

3. Жарық жылдамдығын өлшеудің зертханалық әдістері. 1849 жылы француз физигі Арман Ипполит Луи Физо зертханалық тәжірибе жасап, жарық жылдамдығын өлшеді. Ол жарық жылдамдығын аспан денелеріне бақылау жасамай-ақ, **айналмалы дөңгелек** әдісімен өлшеді. Оның зертханалық қондырғысының сұлбасы 5.1.2-суретте берілген.



5.1.2-сурет. Зертханалық әдіспен жарық жылдамдығын анықтау құрылғысының сұлбасы

Жарық айнадан (1) шағылып, дөңгелектің тістері арқылы өтіп, 8,6 км қашықтықтағы тағы бір айнадан (2) шағылды. Дөңгелектің жылдамдығын жарық келесі саңылаудан көрінгенге дейін арттырды. Физоның есептеулері **313 000 км/с** нәтижені берді. Бір жылдан кейін Л. Фуко айналмалы айнамен осыған ұқсас эксперимент жүргізіп, жарық жылдамдағы үшін **298 000 км/с** болатын жаңа нәтиже алды.

Жарық жылдамдығын өлшеудің басқа да дәлірек зертханалық әдістері жасалды. Америкалық физик А. Майкельсон айналмалы айналарды қолданып, жарық жылдамдығын өлшеудің жетілдірілген әдісін ұсынды.

Мазерлер мен лазерлердің пайда болуымен адамдарда жарық жылдамдығын өлшеуге арналған жаңа мүмкіндіктер мен тәсілдер пайда болды, ал теорияның дамуы тікелей өлшеулер жүргізбей-ақ, жарық жылдамдығын жанама есептеуге мүмкіндік берді.

Бүгінгі күні жарық жылдамдығының ең дәл мәні ретінде 1975 жылы Бас Ассамблеясының мәжілісінде тағайындалған $299\,792\,458\text{ м/с} \pm 1,2\text{ м/с}$ мәні қабылданған. **Жарық жылдамдығын шамамен $3 \cdot 10^8\text{ м/с}$** деп алады.

Жарық жылдамдығын анықтау ғылымда өте маңызды рөл атқарды, жарықтың табиғатын анықтауға ықпал етті.



Сұрақтар

1. XVII ғасырда жарықтың қандай теориялары пайда болды? Неге бұл теориялар ұзақ уақыт сақталып келеді?
2. Заттағы жарық жылдамдығын қандай оптикалық шамалармен сипаттайды?
3. Жарық жылдамдығын өлшеудің астрономиялық әдісі қандай?
4. Луи Физо тәжірибесінің мәні неде? Бүгінгі күнгі жарық жылдамдығының ең дәл мәні қандай?

§ 5.2

Жарық дисперсиясы. Жарық интерференциясы

1. Заттардың әртүрлі түстерге боялу себебі адамды ертеден қызықтырды. Зерттеушілердің қолында өте көп әрі тұрмыстық, әрі ғылыми бақылаулардың жиынтығы бола тұрса да, И. Ньютонның жұмысына дейін бұл мәселе шешуін таппаған күйінде қалды. Түс дененің өзіндік қасиеті деп саналды. Шындығына келгенде, кез келген түс «ақ жарықтың» құрамдас бөлігі болып табылады. Оған айқын мысал ретінде ақ жарықтың әртүрлі түстерге жіктелуін көрсететін **дисперсия** құбылысын атауға болады.

Жарық дисперсиясының алғашқы эксперименттік бақылауларын И. Ньютон (1672 ж.) жүргізді. Ол терезе қақпағына кішкентай тесік жасап, одан өткен жіңішке жарық шоғының жолына үшбұрышты шыны призма қойды (5.2.1-сурет).

Жарық шоғы призмада сынып, қарама-қарсы қабырғада белгілі ретпен кемпірқосақтың барлық түстері: қызыл, қызғылт сары, сары, жасыл, көгілдір, көк және күлгін жолақ пайда болды. Бұл түрлі түсті жолақты Ньютон *спектр* (латынша «спектрум» – көрінетін) деп атады.



5.2.1-сурет. Призмадан өткен ақ жарықтың жіктелуі

Бастапқы түсу бағытынан ең аз бұрышқа ауытқыған қызыл сәулелер, ал ең үлкен бұрышқа ауытқыған күлгін сәулелер болды.

Мұндай эксперименттен кейін Ньютон мынадай қорытынды жасады:

1) *ақ жарықтың түрлі түсті спектрге жіктелуі оның құрылымының күрделілігін білдіреді*, ол әртүрлі түстердің, нақтырақ айтқанда, кемпірқосақтағы барлық түстердің қоспасы болып табылады;

2) *әртүрлі түстердің жарығы белгілі бір ортада әртүрлі сыну көрсеткіштерімен сипатталады*. Бұл қызыл түстерге қарағанда күлгін түстердің абсолюттік сыну көрсеткішінің үлкен екенін көрсетеді.

Жарықтың толқындық теориясына сәйкес электрмагниттік толқын болып табылатын жарықтың түсі оның жиілігімен анықталады. Жиілігі ең аз қызыл түс, ал ең үлкені күлгін түс болып табылады. Ньютонның тәжірибелеріне және жарықтың толқындық теориясына сүйенетін болсақ, мынадай қорытынды туындайды: *жарықтың сыну көрсеткіші жарық толқынының жиілігіне тәуелді өзгереді*.

Жарық дисперсиясы деп ортаның сыну көрсеткішінің өтетін жарықтың толқын ұзындығына тәуелділігін айтады.

Толқындардың таралуының әртүрлі жылдамдығына ортаның әртүрлі абсолюттік сыну көрсеткіштері сәйкес келеді:

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

ал толқынның жиілігі мен ұзындығы мына формула бойынша байланысады:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}. \quad (5.2)$$

Формуладан толқын ұзындығы жарық жылдамдығына тура пропорционал, ал жиілігіне кері пропорционал екені көрініп тұр. Бұдан толқын ұзындығы толқынның таралу жылдамдығы үлкен ортада (берілген жиілікте) үлкен болатынын көреміз.

Ендеше, *бір ортадан екіншісіне өткенде жарық толқынының таралу жылдамдығы*, демек, *толқын ұзындығы өзгереді*, ал *жиілік және оған тәуелді жарық түсі өзгеріссіз қалады*.

Егер жиіліктің артуымен сыну көрсеткіші монотонды өссе (толқын ұзындығының артуымен кемісе), онда жарық дисперсиясы *қалыпты* дисперсия деп аталады, кері жағдайда *аномаль* дисперсия дейді.

Дисперсия құбылысының ашылуы кемпірқосақтың пайда болуын түсіндіруге мүмкіндік берді. Атмосферадағы буланған су тамшыларында немесе мұз кристалдарында жарықтың сынуы салдарынан күн сәулесінің дисперсиясы, яғни кемпірқосақ пайда болады.

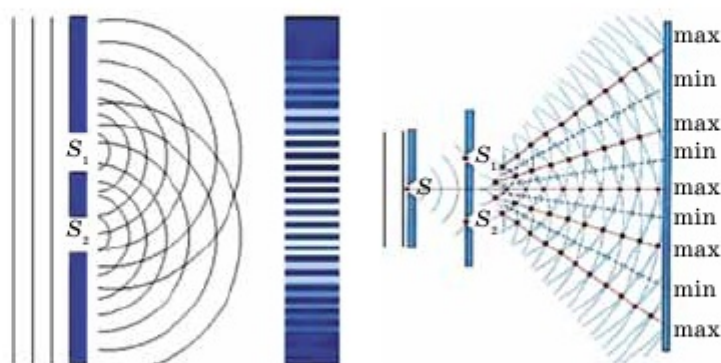
2. Жарық интерференциясы деп екі немесе бірнеше жарық толқындары қабаттасқанда жарық сәулесі энергиясының кеңістікте қайта таралып бөлінуін айтады. Нәтижесінде кеңістіктің әртүрлі нүктелерінде толқындардың күшеюі немесе әлсіреуі байқалады.

Жарық интерференциясын бақылау үшін қажетті шарт жарық толқындарының когеренттілігі болып табылады, яғни толқындардың жиілігі (толқын ұзындығы) бірдей және уақыт бойынша фазалар айырымы да тұрақты болуға тиіс. **Табиғатта мұндай шарттарға сәйкес келетін когерентті жарық көздері жоқ!**



Томас Юнг
(1773–1829),
ағылшын физигі,
толқынды оптиканы
жасаушылардың бірі.

1802 жылы ағылшын ғалымы Томас Юнг жарық интерференциясын бақылау үшін тәжірибе жасады. S тар саңылаудан шыққан жарық жақын орналасқан S_1 және S_2 екі саңылауға түседі (5.2.2-сурет). Әр саңылаудан өткен жарық шоғы кеңістікте жайылып, бір-бірімен тоғысады да, экранға жетеді. Экранның бетінде тоғысқан жарық шоқтарының (механикалық толқындардағы сияқты) интерференциялық көрінісі, яғни максимумдар мен минимумдардың кезектесе орналасқан қара және ақ жолақтары байқалады.



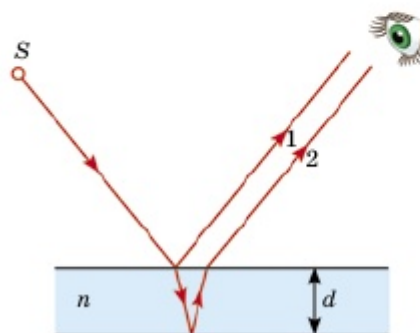
5.2.2-сурет. Тар саңылаулардан өткен жарық шоқтарының интерференциясы

3. Жұқа қабыршақтағы (пленкадағы) интерференция құбылысы табиғи жағдайларда кеңінен байқалады: сабын көпіршіктерінің, мұнай қабықшаларының, су бетіндегі май дақтарының түрлі түске боялуы, сондай-ақ жәндіктердің қанаттарының және раковиналарының жылтыр қабығының, сауда фирмаларының заттарындағы голографиялық таңбалардың беттеріне түскен жарықтың «ойнауы» – осылардың барлығы да жұқа қабыршақтағы табиғи интерференциялық көріністер болып табылады (5.2.3-сурет). **Жұқа қабыршақтардағы интерференция құбылысы** – қабыршақтың үстіңгі және астыңғы шегараларынан шағылған жарық интерференциясының нәтижесінде пайда болады.



5.2.3-сурет.

Табиғи интерференциялық көріністер



5.2.4-сурет. Жұқа қабыршақтың үстіңгі және астыңғы беттерінен шағылған екі жарық шоғының интерференциясы

Әртүрлі жұқа қабыршақтардың түстері – бұл да оның астыңғы және үстіңгі беттерінен шағылған екі толқын интерференциясының нәтижесі (5.2.4-сурет). Егер сынған толқын (2) шағылған толқыннан (1) бір жұп толқын ұзындығына кешігіп отырса, жарықтың күшеюі орын алады. Нәтижесінде қосылған екі жарық толқындарының интерференциясы пайда болады.

Қабыршақтың қалыңдығы үздіксіз өзгертіндіктен, интерференциялық бейнелердің түрі де өзгереді.

Жүргізілген есептеулер нәтижесінде жұқа қабыршақтардағы толқындардың жол айырымын анықтауға арналған формула алынды:

- өтетін жарық үшін:

$$\Delta = 2dn \cos \beta = k\lambda \text{ (максимум шарты);} \quad (5.3)$$

$$\Delta = 2dn \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ (минимум шарты).} \quad (5.4)$$

- шағылған жарық үшін

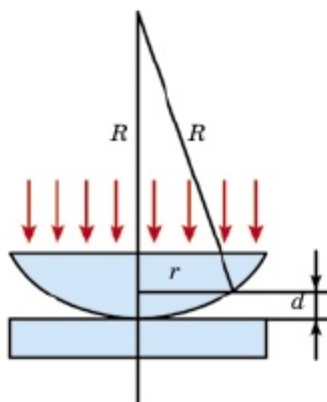
$$\Delta = 2dn \cos \beta = k\lambda \text{ (минимум шарты);} \quad (5.5)$$

$$\Delta = 2dn \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ (максимум шарты).} \quad (5.6)$$

Мұндағы Δ – толқындардың жол айырымы, d – жұқа қабыршақтың қалыңдығы, n – қабыршақтың сыну көрсеткіші, β – сыну бұрышы, λ – толқын ұзындығы, k – максимум немесе минимум реті.

Жұқа қабыршақтардың түрлі түстері: қабыршақтың қалыңдығына, қабыршақпен жанасатын заттарға, түсу бұрышына және жарық толқынының ұзындығына тәуелді. Егер қабыршақтың қалыңдығы бірдей болмаса, онда оны ақ жарықпен жарықтандыру кезінде түрлі түстер пайда болады. Қабыршақтың жұқа жерінде толқын ұзындығы қысқа сәулелер (көк, күлгін), қалың жерінде толқын ұзындығы ұзын сәулелер (қызғылт, қызыл) күшейеді.

4. Қарапайым интерференциялық көрініс жазық шыны пластина мен қисықтық радиусы үлкен жазық-дөңес линзаның арасындағы ауа аралығында да пайда болады (5.2.5-сурет). Мұндай интерференциялық көрініс концентрлі сақиналар түрінде бейнеленеді; оларды *Ньютон сақиналары* деп атайды. Жарықтың параллель шоқтары линзаның жазық бетіне тік түсіп, линза және пластина арасындағы ауа саңылауының жоғары және төменгі беттерінен жартылай шағылады.



5.2.5-сурет. Ньютон сақиналары байқалатын тәжірибенің сұлбасы

Шағылған жарықта оптикалық жол айырымы: $\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$, мұндағы d – саңылаудың ені (2.2.5-сурет). Ал орналасу реті k болатын ашық және қараңғы сақиналардың радиустары: $r_k = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$ және $r_k = \sqrt{k\lambda R}$, мұндағы R – линзаның қисықтық радиусы.

Жоғарыдағы барлық пайымдаулар шағылған жарық үшін жүргізілді.

Интерференцияны өтетін жарық үшін де бақылауға болады, бұл жағдайда жарты толқынның жоғалуы байқалмайды. Сондықтан өтетін және шағылған жарық үшін оптикалық жол айырымының $\frac{\lambda}{2}$ -ге тең, яғни шағылған жарықтағы интерференцияның максимумы өтетін жарықтағы минимумға сәйкес келеді және керісінше. Айырмашылығы: өтетін жарықта энергия жұтылады, шағылғанда энергия көп шығындалмайды, сондықтан шағылған жарықтардың интерференциясы айқынырақ көрінеді.

5. Толқынның интерференциясы түрлі мақсатта қолданылады. Интерференцияны қолданудың кейбір мысалдарын қарастырайық.

Интерференция құбылысы *интерферометрлер* деп аталатын өте дәл өлшеу аспаптарында қолданылады. **Интерферометр** – қысымға, температураға, қоспаларға және т. б. байланысты мөлдір денелердің (газдардың, сұйық және қатты денелердің) сыну көрсеткішінің болымсыз өзгерістерін де анықтауға мүмкіндік беретін өте сезімтал оптикалық аспап. Мұндай интерферометрлер интерференциялық *рефрактометрлер* деп аталады. Интерферометрлер өте кең қолданыста. Жоғарыда аталғандардан басқа, олар оптикалық құрал-саймандарды дайындау сапасын тексеруде, бұрыштарды өлшеуде, ұшу аппараттарын орағытып өтетін ауа ағындарындағы процестерді зерттеуде және т.б. қолданылады. Интерферометрдің көмегімен Майкельсон бірінші рет метрдің халықаралық эталонын жарық толқынының ұзындық стандартымен салыстыра сипаттады. Интерферометрдің көмегімен жарықтың қозғалыстағы денелерде таралуы да зерттелді, бұл кеңістік пен уақыт туралы көзқарастың іргелі өзгерістеріне алып келді.

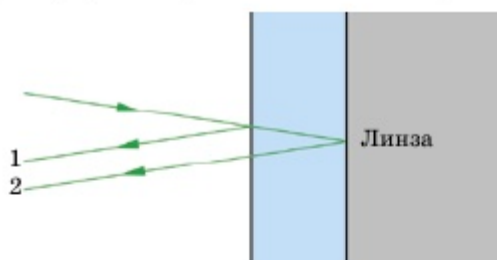
6. Қазіргі таңда жарық интерференциясы *оптиканың жарықтануы* деп аталатын салада кең қолданыс тапты. Оптиканың бұл саласында линзалардың беттерінен жарықтың *шағылу коэффициентін* төмендету мақсатында жұмыстар жүргізіледі. Линзаға түсетін жарық ішінара кері шағылады, шағылған жарықтың үлесі, әдетте, бірнеше пайызды құрайды. Қазіргі заманғы оптикалық техниканың объективтері бірнеше ондаған линзалардан тұратын күрделі жүйе болып табылады. Өрбір линзаның бетінде шағылу нәтижесінде жарықтың едәуір өлсіреуі орын алады, барлық линзалардан өткен кезде жарық энергиясының 90% -ға дейін жоғалуы мүмкін. Мұндай оптикалық жүйе арқылы зерттелетін зат беттерінің жарықталуы өте төмен болады.

Шығындарды қалай азайтуға болады? Ол үшін линзаның бетіне жұқа жарғақ түрінде *интерференциялық жабынды* жапсырылады (5.2.6-сурет).

Жабындының қалыңдығы 1- және 2-шағылған толқындар жарты толқын ұзындығына ығысатындай етіп алынады, сөйтіп, туындаған интерференция нәтижесінде, олар бір-бірін өшіреді. Мұндай жағдайда барлық жарық энергиясы линзалар арқылы жоғалмай өтеді. Интерференциялық жабындының қалыңдығы толқын ұзындығына тәуелді болғандықтан, жарық толқындарының барлық көрінетін диапазондағы шағылған толқындарды толық өшіруге қол жеткізу мүмкін емес.

Жүргізілген есептеулер жабынды мен линзаның сыну көрсеткіштерінің арасындағы байланыс $n_{\text{жабынды}} = \sqrt{n_{\text{линза}}}$ теңдігі арқылы анықталса ғана жарықтың толық өшетінін көрсетеді.

Әдетте, жабынды шағылу кезінде көрінетін спектрдің орташа, сары-жасыл бөлігі (онда күн сәулесінің қарқынды бөлігі жатыр) сөнетін етіп таңдалады. Сондықтан шағылған сәулелерде спектрдің шеткі қызыл және күлгін бөліктері басым. Бұл түстердің қоспасы сендерге жақсы таныс фотоаппарат объективінің ақшыл көк түсті сәулесі болып табылады.



5.2.6-сурет. Линза бетіндегі жарғақтың шегара беттерінен шағылған сәулелер



Сұрақтар

1. Қандай құбылыс дисперсия деп аталады? Дененің түстерін қалай түсіндіруге болады?
2. Вакуумдағы жарық жылдамдығы толқын ұзындығына, жиілікке, жарық қарқындылығына, жарық көзінің жылдамдығына немесе бақылаушыға байланысты ма?
3. Сыну көрсеткіші n ортаға өту кезінде толқын ұзындығы мен толқын жылдамдығы қалай өзгереді? Жарық жиілігі өзгере ме?
4. Жарықтың интерференция құбылысын қалай түсінеміз?
5. Ньютон сақинасы дегеніміз не және оларды қалай алуға болады? Ньютон сақиналары бойынша жарық толқынының ұзындығын қалай анықтауға болады?
6. Жарық интерференциясы қайда қолданылады?
7. Неге қабыршақтарда интерференциялық бейне алу үшін олар жұқа болуы керек?
8. Неге сабын көпіршігінің бетіндегі интерференциялық бояуы үнемі өзгереді?
9. Қабыршақты монохроматты жарықпен жарықтандырғанда бір жерде жарық дақтар, ал басқаларында қара дақтар көрінеді? Мұны қалай түсіндіруге болады?



Тапсырма (практикалық зерттеу)

Қалың жазық параллель шыны пластина арқылы өтетін ақ жарықтың жолын сызыңдар: сәуленің өту ерекшеліктерін түсіндіріңдер.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. S_1 және S_2 екі когерентті жарық көзінен экранға толқын ұзындығы 500 нм жарық түсті. Егер жарық көздері арасындағы қашықтық 0,5 мм, ал әрбір көзден экранға дейінгі арақашықтық 2 м болса, экранда O нүктесінен қандай қашықтықта (x) жарықталудың бірінші максимумы орналасады?

Берілгені:

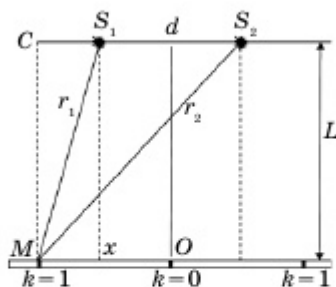
$d = 0,5$ мм
 $L = 2$ м
 $\lambda = 500$ нм
 $k = 1$

$x = ?$

ХБЖ

$5 \cdot 10^{-4}$ м
 $5 \cdot 10^{-7}$ м

Шешуі:



5.2.7-сурет

r_1, r_2 сәуле жолдарын S_1MC және S_2MC тікбұрышты үшбұрыштардағы гипотенуза ретінде қарастырып (5.2.7-сурет), Пифагор теоремасының көмегімен анықтаймыз.

$$r_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \tag{1}$$

$$r_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2. \tag{2}$$

Соңғы теңдіктен (2) бірінші теңдікті (1) мүшелеп азайтсақ: $r_2^2 - r_1^2 = 2xd$ немесе $(r_2 + r_1)(r_2 - r_1) = 2xd$ теңдіктері шығады.

Интерференция көздерінен экранға дейінгі $MC = L$ қашықтықпен салыстырғанда олардың арасындағы $S_1S_2 = d$ қашықтық көп кіші, яғни $d \ll L$ болса, интерференциялық көрініс айқын байқалады. Бұл жағдайда $r_1 + r_2 \approx 2L$ және

$$r_2 - r_1 = \frac{2xd}{2L} \text{ немесе } \Delta r = \frac{xd}{L}, \text{ бұдан } x = \frac{\Delta r L}{d}.$$

Интерференция кезінде жарықтандырудың максимум шартына сәйкес $\Delta r = k\lambda$ болатынын ескерсек, $x = \frac{k\lambda L}{d}$ теңдігін аламыз.

Есептеулер жүргізіп, сан мәнін табамыз: $x = \frac{1 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 2}{5 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Жауабы: $x = 2 \text{ мм.}$



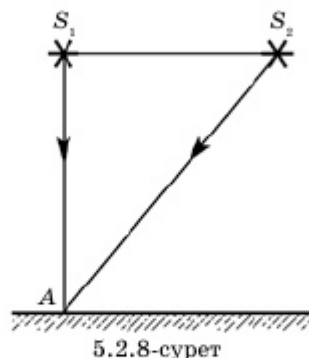
Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 5.2.1. Жиілігі $4 \cdot 10^{14}$ Гц жарық сәулесінің 1,5 м кесіндіде қанша толқын ұзындығы орналасады? (*Жауабы:* $2 \cdot 10^6$)
- 5.2.2. Екі когерентті сәуленің жол айырымы 2,5 мкм. Интерференциялық максимумдар беретін көрінетін жарық толқындарының (700-ден 400 нм аралықтағы) ұзындығын анықтаңдар. (*Жауабы:* 417 нм; 500 нм; 625 нм)
- 5.2.3. Алмас пластинасы жиілігі $0,75 \cdot 10^{15}$ Гц күлгін жарықпен жарықтандырылды. Егер алмастың осы толқындағы сыну көрсеткіші 2,465 болса, онда күлгін жарықтың вакуумдағы және алмастағы толқын ұзындықтары қандай болады? (*Жауабы:* 400 нм; 162 нм)

В

- 5.2.4. Толқын ұзындығы $5 \cdot 10^{-7}$ м S_1 және S_2 екі когерентті жарық көздерінің бір-бірінен қашықтығы 30 мм. Экран әр көзден 4 см қашықтықта орналасқан. S_1 көзіне қарама-қарсы орналасқан А нүктесінде экранда не байқалады (5.2.8-сурет)?
- 5.2.5. Сыну көрсеткіші $n = 1,54$ материалдан жасалған пластинканың бетін толқын ұзындығы 750 нм сәулелермен перпендикуляр жарықтандырғанда ол шағылған жарықта қара болып көріну үшін пластинканың ең кіші қалыңдығы қандай болуы керек? (*Жауабы:* 0,24 мкм)
- 5.2.6. Юнг тәжірибесінде интерференцияланатын сәулелердің бірінің жолына қалыңдығы 60 мкм және сыну көрсеткіші 1,55 шыны пластинаны перпендикуляр қойды. Ұзындығы 550 нм болатын монохроматты



5.2.8-сурет

жарықпен жарықтандырса, орталық ақ жолақ қанша жолаққа ығысады?

(Жауабы: 60)

- 5.2.7. Юнг тәжірибесінде саңылаулар толқын ұзындығы 550 нм монохроматты жарықпен жарықтандырылды. Саңылаулар арасындағы қашықтық 1 мм, одан экранға дейінгі қашықтық 3 м. Орталық максимумнан бірінші ақ жолаққа дейінгі қашықтықты табыңдар. (Жауабы: 1,65 мм)
- 5.2.8. Жазық пластинаға қойылған жазық-дөңес линзаның көмегімен Ньютон сақиналарын шағылған көк жарықта (450 нм) бақылау кезінде үшінші жарық сақинаның радиусы 1,06 мм-ге тең болды. Көк жарық сүзгіні қызылға алмастырғанда бесінші жарық сақинаның радиусы 1,77 мм-ге тең болды. Линзаның қисықтық радиусын және қызыл жарықтың толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: ≈ 1 м; 0,7 мкм)

С

- 5.2.9. Ньютон сақиналарын алуға арналған қондырғы пластина бетіне тік түсетін толқын ұзындығы 550 нм монохроматты жарықпен жарықталды. Шағылған жарықта төртінші қара сақина байқалатын орындағы линза мен шыны пластина арасындағы ауа саңылауының қалыңдығын табыңдар. (Жауабы: 1,1 мкм)
- 5.2.10. Сыну көрсеткіші 1,2-ге тең болатын мөлдір қабыршақтың қандай ең кіші қалыңдығында оның жоғарғы және төменгі беттерінен шағылған қызыл сәуле (800 нм) үшін максимум жарықтылықты бақылауға болады? Жарық 30° бұрышпен түседі. (Жауабы: 184 нм)

§ 5.3

Жарық дифракциясы. Дифракциялық тор

1. Механикалық толқындарды қарастырғанда *біз дифракция* деп толқындардың өзінің жолында кездескен бөгеттерді орағытып өту құбылысын айтқанбыз; кең мағынада алғанда *дифракция деп кедергілер маңында толқын таралуының геометриялық оптика заңдарынан ауытқуын айтады*.

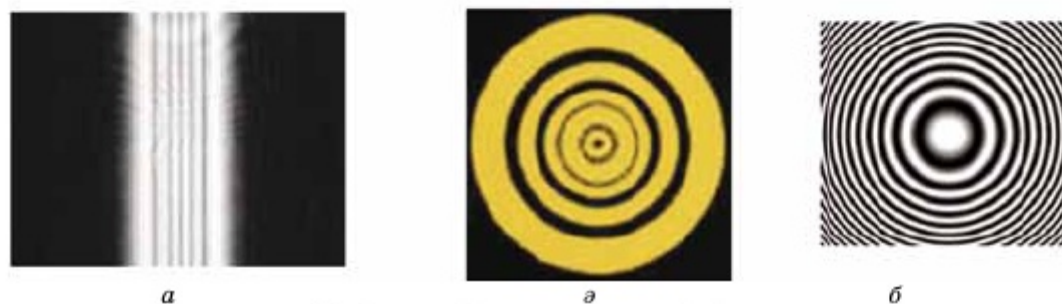
Жарықтың да осы сияқты толқындық қасиеттері бар. Алайда жарықтың толқын ұзындығының аз болуына байланысты жарық сәулелерінің дифракциясын бақылау үшін ерекше жағдайлар қажет.

Жарық дифракциясы деп жарық сәулелерінің жолындағы мөлдір емес денелерді орағытып өтіп, олардың геометриялық көлеңкесі аймағына ену құбылысын айтады.

Интерференция мен дифракция арасында айтарлықтай физикалық айырмашылық жоқ. Екі құбылыс та толқындардың қабаттасуы (суперпозициясы) нәтижесінде жарық ағынының қайта бөлінуінен туындайды. Айырмашылық тек мынада ғана: интерференция кезінде дискретті когерентті көздерден шыққан сәулелер бір-бірімен қабаттасады, ал дифракция кезінде бір ғана көзден шыққан сәулелер кездеседі.

Дифракция құбылысы Гюйгенс принципі арқылы түсіндіріледі (3-тарау). XIX ғасырдың басында О. Френель жарықтың толқындық табиғатын тереңірек түсіндіріп тұжырымдауда шешуші рөл атқарды. Ол дифракция құбылысын түсіндірді және жарықтың кез келген кедергілерді орағытып өтуі кезінде пайда болатын дифракциялық көріністі есептейтін сандық әдісті де тапты. Френель Гюйгенс принципі екіінші реттік толқындардың интерференциясы идеяларымен толықтырып, физикалық мағынасын кеңейтті. Френель идеясына сәйкес *кез келген уақыт мезетіндегі толқындық бет екінші реттік толқындарды орағытып өткен бет қана емес, олардың интерференция нәтижесі де болып табылады (Гюйгенс–Френель принципі)*.

5.3.1-суретте мысал үшін әртүрлі кедергілердің дифракциялық бейнелері ұсынылған: түзу жіңішке қылдың (сымның) төңірегіндегі дифракция (а); дискідегі дифракция (ә); дөңгелек саңылаудағы дифракция (б).



5.3.1-сурет. Дифракциялық көріністер

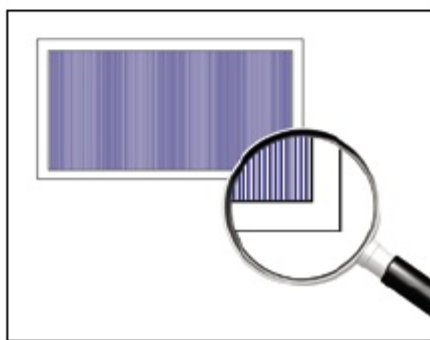
Суреттен дифракциялық көріністердің ашық және күңгірт жолақтар немесе концентрлі сақиналар түрінде бейнеленетіні көрініп тұр.

Жарықтың толқындық табиғаты өте ұсақ нәрселерді немесе нәрсенің жеке-леген бөліктерін айқын көру мүмкіндігіне шек қояды; себебі жарық қатаң түрде түзусызықты таралмайды, зерттейтін нәрсені орағытып өтіп бұлыңғырлатады. Сондықтан бейнелер анық болмайды. Бұл нәрселердің сызықтық өлшемдері жарық толқынының ұзындығынан аз болған жағдайда пайда болады. Жарықтың кедергілерді орағытып өтуі маңызды оптикалық аспаптардың – телескоптың және микроскоптың ажырату қабілетіне шек қояды. Осылайша, жарық дифракциясы геометриялық оптика заңдарының қолданылу шегін айқындайды.

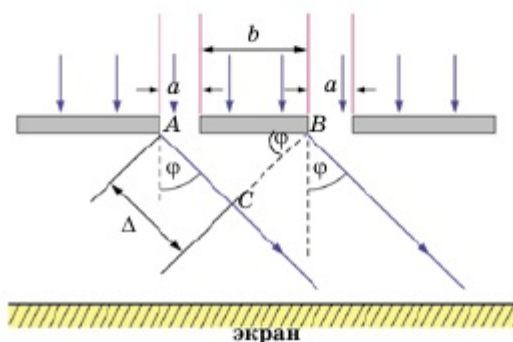
2. XIX ғасырдың ортасынан бастап **дифракциялық тор** (5.3.2-сурет) спектроскопияның маңызды құралы болды. Ғалымдар оның көмегімен жарқырайтын объектілердің сәулелену спектрлерін және түрлі заттардың жұтылу спектрлерін зерттеп, сол бойынша олардың химиялық құрамын анықтады. Фраунгофердің маңызды жаңалықтарының бірі Күн спектрінде қара сызықтардың табылуы болды. Мұндай сызықтар белгілі бір ұзындықтағы жарық толқындарының Күн төжі затының салқындау бөлігінде жұтылуы нәтижесінде пайда болады. Осындай жұтылу спектрлері бойынша аспан шырағының химиялық құрамын анықтайды.

Дифракциялық тор деп мөлдір емес элементтердің (немесе мөлдір заттағы бөлінген аралықтардың) реттеле орналасқан көп санының периодты құрылымы болып табылатын оптикалық аспапты айтады.

Торды дайындау үшін шыны пластинаға бөлу машинасының көмегімен алмас кескішпен параллель штрихтар салынады. Штрихтар – мөлдір емес аралықтар. Олардың арасындағы зақымдалмаған жерлер мөлдір саңылаулар болып табылады. Тор ұзындығының әрбір миллиметріне 100-ден 1200 штрихқа дейін салынады, ал барлық торда 100 000-нан астам штрихтар болуы мүмкін, демек, саңылаулардың саны да сондай. **Дифракциялық торлардың түрлері:** шағылдырғыш тор (штрихтар айналы (металл) бетке салынған, мұндай торда бақылау шағылған жарықта жүргізіледі); мөлдір тор (штрихтар мөлдір бетке салынған немесе мөлдір емес экранда саңылау түрінде тілініп жасалады, мұндай торда бақылау өтетін жарықта жүргізіледі).



5.3.2-сурет. Дифракциялық тор



5.3.3-сурет. Периоды $d = a + b$ болатын дифракциялық тор

Саңылаулары мөлдір емес аралықтармен бөлінген дифракциялық торды қарастырайық (5.3.3-сурет).

$d = a + b$ шамасы **дифракциялық тордың периоды** (немесе **тордың тұрақтысы**) деп аталады. Мұндағы a – саңылау енінің шамасы; b – мөлдір емес аралық енінің шамасы.

Егер 1 мм торға келетін штрихтар саны N белгілі болса, онда тор периодын мына формула бойынша табады: $d = \frac{1}{N}$.

Торға параллель сәуле шоғын бағыттайды, линза мен экранды оның фокалдық жазықтығында орналастырады. Тордың саңылауларында жарық дифракциясы орын алады. Әрбір саңылау екінші реттік толқынның көзі болып табылады. Әрбір саңылаудан шыққан сәулелер барлық бағыттар бойынша тарайды. Жинағыш линзаның фокалдық жазықтығында орналасқан экранда өртүрлі саңылаулардан шыққан жарық интерференциясы нәтижесінде дифракциялық максимумдар мен минимумдар жүйесі байқалады.

Тордан алынатын дифракциялық көріністің бір саңылаудан алынатын дифракциялық көріністен айтарлықтай айырмашылығы бар. **Тордан алынатын**

дифракциялық көрініске тән ерекшеліктеріне мыналар жатады: жіңішке және айқын максимумдар алынады, мұндай максимумдарда іс жүзінде барлық энергия шоғырланады.

3. Басты максимум шартын табамыз. Саңылаулардан бастапқы бағытқа кез келген ϕ бұрышымен шығатын жарық шоғын бөліп аламыз (5.3.3-сурет). Жарық шоқтары қабаттасқан кезде бір-бірін барынша күшейтуі үшін олардың арасындағы Δ жол айырымы, яғни осы шоқтар қосылғанға дейін жүріп өтетін жол айырымы толқын ұзындығының бүтін санына тең болуы қажет. Басқаша айтқанда, максимум шарты үшін жарық шоқтарының Δ жол айырымы λ толқын ұзындығының бүтін санына еселенуі қажет, яғни $\Delta = k\lambda$, мұндағы k бүтін сан.

5.3.3-суреттен ABC тік бұрышты үшбұрыштан дифракциялық көріністің **басты максимум шартын** таба аламыз:

$$\Delta = d \sin \phi = k\lambda, \quad (5.7)$$

мұндағы $d = a + b$ – тор периоды; максимум шарты үшін $k = 0, 1, 2, \dots$ **максимум реті** деп аталатын бүтін сан. Осылайша, максимумдар нөлдік реттік максимум, бірінші реттік максимум және т.б. болуы мүмкін.

Көптеген жарық шоқтарының интерференция теориясы тордағы саңылаулар өте көп болғанда, басты максимумдар арасындағы экран іс жүзінде күңгірт болатынын көрсетеді, сондықтан нақты тордан ешқандай «минимум» байқалмайды. Интерференцияның бас максимум шарты орындалмайтын барлық нүктелерде екінші ретті толқындар қосылғанда іс жүзінде бір-бірін сөндіреді.



Сұрақтар

1. Жарықтың дифракциясы деп қандай құбылысты айтады? Оны қандай принциптер негізінде түсіндіруге болады?
2. Дифракциялық тор деп қандай аспапты айтады? Ол қайда және қандай мақсатта қолданыс табады?
3. Дифракциялық тордың периоды деп нені айтады? Оны қалай анықтайды?
4. Дифракциялық көріністің бас максимум шарты қалай анықталады? Неге дифракциялық тордағы штрихтар саны көп болуы керек?
5. Дифракциялық торды ақ жарықпен жарықтандыру кезінде экранда алынған спектрдің орталық бөлігінде неге ақ жолақ байқалады?



Тапсырма (эксперименталды зерттеу)

1. Картон бөлігінде инемен тесік жасап, сол арқылы электр шамының қызған қыл сымына қараңдар. Не байқадыңдар? Түсіндіріңдер.

ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. 3000 штрихы бар ұзындығы 15 мм дифракциялық торға толқын ұзындығы 550 нм монохроматты жарық тік түседі. Дифракциялық тор спектрінде бақыланатын максимумдар санын және соңғы максимумға сәйкес бұрышты анықтаңдар.

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$l = 15 \text{ мм}$	$15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	Дифракцияның
$N = 3000$		$d \sin \varphi = k \lambda.$ (1)
$\lambda = 550 \text{ нм}$	$5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	максимум шартынан максимум мәнді табуға болады:
$N_{\max} = ?$		$k_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}.$ (2)
$\varphi_{\max} = ?$		Дифракциялық тордың ұзындығы мен штрихтарының санын білу арқылы, оның периодын табамыз:
		$d = \frac{l}{N}.$ (3)

(2) мен (3) ескерсек,

$$k_{\max} = \frac{l}{\lambda N}.$$
 (4)

Әрине, k бүтін сан болуы керек. Дифракциялық тормен берілетін максимумдардың жалпы саны:

$$N_{\max} = 2k_{\max} + 1.$$

Максимумдар орталық максимумның оң және сол жағында байқалады. Соңғы максимумға сәйкес келетін дифракция бұрышын (1) өрнек арқылы табамыз:

$$d \sin \varphi_{\max} = k_{\max} \lambda.$$

Осыдан және (3) және (4) өрнектерінен φ_{\max} бұрышын табамыз:

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{k_{\max} \lambda N}{l};$$

$$k_{\max} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^3 \cdot 5,5 \cdot 10^{-7}} = 9,09. \quad N_{\max} = 19.$$

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{9,09 \cdot 5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^{-3}} = \arcsin 0,99 = 81^\circ 54'.$$

Жауабы: $N_{\max} = 19, \varphi_{\max} = 81^\circ 54'.$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 5.3.1. Егер толқын ұзындығы 500 нм монохромат жарық үшін 30° бұрышқа екінші реттік максимум сәйкес келсе, дифракциялық тордың 1 мм-дегі штрихтар саны қанша болады? (**Жауабы:** 500)
- 5.3.2. Дифракциялық торға жарық шоғы тік түседі. Спектрде өз ретіне сәйкес қызыл сызықты (700 нм) байқау үшін, көру түтігін коллиматор осіне 30° бұрышпен орналастырады. Тор тұрақтысын табыңдар. Осы тордың ұзындық бірлігіне қанша штрихтар салынған? (**Жауабы:** 0,0028 мм; 357)
- 5.3.3. Бір миллиметріне 400 штрих сәйкес келетін дифракциялық торға толқын ұзындығы 500 нм монохроматты жарық перпендикуляр түседі. Спектрдің ең үлкен қандай ретін бақылауға болады? (**Жауабы:** 5)

- 5.3.4. Дифракциялық тордың бір миллиметрінде 20 штрих бар. Экранда екінші реттік максимум беретін қызыл жарық сәулелері қандай бұрышпен бағытталады? Қызыл жарық толқынының ұзындығы 600 нм деп есептеңдер.
(Жауабы: $1,4^\circ$)

В

- 5.3.5. Ені 0,1 мм саңылауға толқын ұзындығы 0,5 мкм монохроматты жарық тік түседі. Дифракциялық көрініс саңылауға параллель орналасқан экранда байқалады. Егер орталық дифракциялық максимумның ені 1 см болса, саңылаудан экранға дейінгі қашықтық қандай болады? (Жауабы: 1 м)
- 5.3.6. Бір миллиметрінде 400 штрихы бар дифракциялық торға монохроматты жарық ($\lambda = 0,6$ мкм) тік түседі. Осы тордың беретін дифракциялық максимумдарының жалпы санын табыңдар. Соңғы максимумға сәйкес келетін дифракцияның ϕ бұрышын анықтаңдар. (Жауабы: 9; 74°)
- 5.3.7. Дифракциялық тор тік түскен ақ жарықпен жарықталады. Екінші және үшінші реттік спектрлер жартылай бір-біріне қабаттасады. Екінші реттік спектрдің 575 нм толқын ұзындығына сәйкес келетін сары бөлігінің ортасы үшінші реттік спектрдің қандай толқын ұзындығымен қабаттасады? (Жауабы: 383 нм)

С

- 5.3.8. Монохроматты толқын тік түсетін дифракциялық тор периоды 7 мкм-ге тең. Егер бірінші және үшінші реттік дифракциялық максимумдар арасындағы бұрыш 8° -қа тең болса, толқынның ұзындығы қандай? Бұрыштарды кіші бұрыштар деп есептеңдер. (Жауабы: 499 нм)
- 5.3.9. Периоды 0,01 мм дифракциялық тордан 2 м қашықтықта орналасқан экранда алынған екінші реттік спектрдің (толқын ұзындықтары 380 нм-ден 760 нм-ге дейінгі аралықты қамтиды) толық ені қандай болады? (Жауабы: 15,2 см)

№3 зертханалық жұмыс

Дифракциялық тордың көмегімен жарық толқынының ұзындығын анықтау

Жұмыстың мақсаты: дифракциялық тордың көмегімен спектрдің түрлі аймақтарындағы жарық толқындарының ұзындығын анықтау.

Құрал-жабдықтар: дифракциялық тор, жарық көзі, жарық толқынының ұзындығын анықтауға арналған желілік қондырғы (5.3.4-сурет).

Қысқаша теориясы. Жарық дифракциясы дифракциялық тор көмегімен анық бақыланады. Толқын ұзындығы λ мына формула бойынша анықталады: $\lambda = \frac{d \sin \phi}{k}$.



5.3.4-сурет

Мұндағы d – тордың периоды, k – спектр реті, φ – сәйкес түстің жарық максимумы байқалатын бұрыш.

Максимумдер байқалатын φ бұрышы өте кішкентай (өйткені тор мен экран арақашықтығы a саңылаудан бастап белгілі бір толқын ұзындығының максимумы байқалатын b -ға дейінгі қашықтықтан өте үлкен) болғандықтан:

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \varphi = \frac{b}{a}.$$

Ендеше, толқын ұзындығы мынаған тең:

$$\lambda = \frac{db}{ka}.$$

Жұмыстың барысы

1. Дифракциялық торды аспаптың рамкасына орналастырып, оны көтергіш үстел тұғырына бекітіңдер.
2. Экранды дифракциялық тордан 50 см қашықтықта орналастырыңдар.
3. Жарық көзіне дифракциялық тор мен экрандағы саңылау арқылы қарап және ұстағыштағы торды жылжыта отырып, оны дифракциялық спектрлер экран шкаласына параллель болатындай етіп орналастырыңдар.
4. Экрандағы саңылаудың оң және сол жағында бірінші реттік спектрдегі қызыл жарық толқынының ұзындығын есептеңдер; өлшеу нәтижелерінің орташа мәнін анықтаңдар.
5. Күлгін жарық үшін де нақ осындай өлшеулер жүргізіңдер.
6. Өлшеу қателерін бірінші зертханалық жұмыстағыдай анықтаңдар.
7. Жазбаша түрде қорытынды жасаңдар.
8. Жұмыс нәтижесін пысықтау үшін төмендегі сұрақтарға жауап беріңдер.



Бақылау сұрақтары

1. Дифракция қандай құбылыс және дифракция қай кезде анық байқалады?
2. Дифракциялық тор дегеніміз не және мұндай тор не үшін қолданылады?
3. Өдетте, мөлдір дифракциялық тор қандай болады?
4. Дифракциялық тормен бірге қолданылатын линзаның қызметі қандай? Бұл жұмыста линза не үшін қолданылады?
5. Ақ жарықпен жарықтандыру кезінде неліктен дифракциялық бейненің орталық бөлігінде ақ жолақ пайда болады?

§ 5.4

Жарық поляризациясы

1. Жарық интерференциясы мен дифракциясы – жарықтың толқындық табиғатының тікелей дәлелі. Алайда толқындық теориямен түсіндірілетін тағы бір құбылыс *жарық поляризациясы* болып табылады.

Жарық поляризациясы деп жарық сәулесіне перпендикуляр жазықтықта жарық толқындарының әртүрлі бағыттарының бір-біріне эквивалентті бола алмайтындығын білдіретін сипаттамасын айтады.

Элементар жарық бөлшегі (жарық кванты) толқын түрінде де тарайды; оны арқанның бір ұшын бекітіп, ал екінші ұшын сілкігенде пайда болатын толқынмен салыстыруға болады. Арқанның тербеліс бағыты оны қай бағытта сілкігенге байланысты әртүрлі бола алады. Квант толқынының тербеліс бағыты да осылайша әртүрлі болуы мүмкін. Жарық шоғы көптеген кванттардан тұрады. Егер олардың тербелістері әртүрлі болса, мұндай жарық поляризацияланбаған, ал барлық кванттардың бағдарлары бірдей болса, жарық **толық поляризацияланған** деп аталады. Тербеліс бағыттары бірдей, кванттардың қандай бөлігі басым екендігіне байланысты поляризациялану дәрежесі әртүрлі болуы мүмкін.

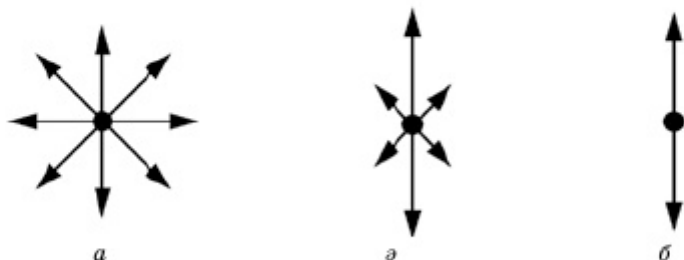
Бірыңғай бағытталған жарық бөлігін ғана өткізе алатын **жарық сүзгілері** бар. Егер мұндай сүзгі арқылы поляризацияланған жарыққа қарай отырып, сүзгіні бұрсақ, одан өткен жарықтың жарықтылығы өзгеріп отырады. Сүзгінің өткізу бағыты жарықтың поляризациясымен сәйкес келген кезде жарықтылық барынша жоғары болады, ал бағыттардың бір-бірінен ең үлкен алшақтау кезінде (90°) барынша төмен болады. Сүзгінің көмегімен шамамен 10% асатын поляризацияны, арнайы аппаратура шамамен 0,1% поляризацияны анықтайды.

Табиғи жарық көздерінен тарайтын сәулелер – электромагниттік толқындар. Мұндай электромагниттік толқындардың электр өрісінің кернеулік векторы кеңістіктің барлық бағыттарына бірдей ықтималдықпен бағдарланады (5.4.1, а-сурет) да, поляризациялану күйі белгілі бір бағыт бойынша нақты айқындалмайды.

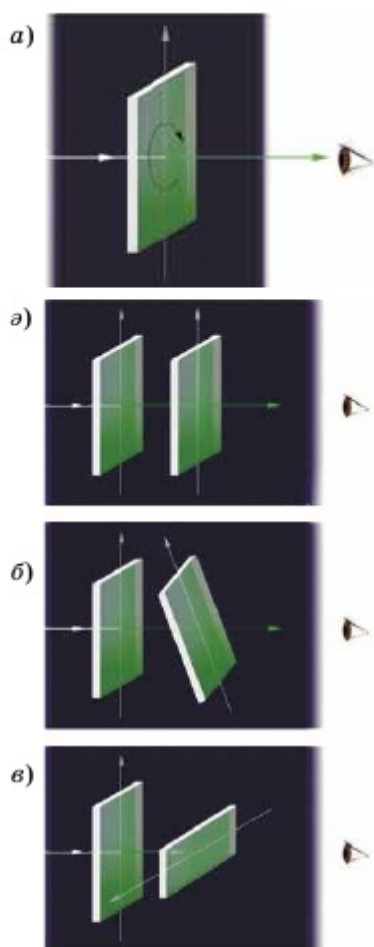
Вектор тербелістерінің өзге бағыттарына қарағанда басым бағыты бар жарық **жартылай поляризацияланған жарық** деп аталады (5.4.1, ә-сурет).

Табиғатта электр және магнит өрістерінің тербелістері қатаң белгілі бір бағытта өтетін электромагниттік толқындардың кең жиыны бар. Мұндай қасиет электромагниттік толқынның поляризациясын анықтайды.

Егер электромагниттік толқынның электр өрісінің кернеулік векторы кеңістікте қандай да бір бағыт бойында тербелсе, онда қарастырылып отырған электромагниттік толқынның **сызықтық поляризациясы** туралы сөз айтылады (5.4.1, б-сурет). Бұл жағдайда электромагниттік толқын **толық поляризацияланған** деп аталады.



5.4.1-сурет. а) поляризацияланбаған, ә) жартылай поляризацияланған, б) толық поляризацияланған жарық



5.4.2-сурет. Жарық поляризациясын бақылау

да қызығарлық ештеңе байқалмайды: тек жарық екінші кристалда жұтылғандықтан, жарық шоғы тағы бәсеңдей түседі. Ал егер бірінші кристалды қозғамай, екінші кристалды еркін айналдыра бастасақ, таңғаларлық құбылыс – жарықтың сөне бастағаны байқалады. Осьтер арасындағы бұрыш үлкейген сайын, жарықтың қарқындылығы азаяды (5.4.2, б-сурет). Осьтер бір-біріне перпендикуляр болғанда, жарық мүлде өтпейді. Оны екінші кристалл тұтасымен жұтып алады (5.4.2, в-сурет).

Заттың поляризациялану күйіне тәуелді оның жарық сәулелерін әртүрлі жұту құбылысы дихроизм деп аталады.

Дихроизмі күшті кристалдан жасалған қабыршақты поляроид дейді.

Поляризацияны жарық сүзгілері ретінде қолданылатын *турмалин, исланд шпаты* кристалдары арқылы жүзеге асыруға болатыны практикада дәлелденді.

2. Турмалинмен жасалған тәжірибе. Толып жатқан эксперименттердің ішінен өте қарапайым, әрі әсерлі біреуін қарастырайық. Бұл – турмалин кристалымен (жасыл түсті мөлдір кристалмен) жасалған тәжірибе.

Турмалин кристалының симметрия осі бар және бір осьті кристалл деп аталатын кристалдар қатарына жатады. Турмалин кристалынан оның көп жақтарының біреуі кристалл осімен параллель болатындай етіп тікбұрышты пластинаны қиып алайық.

Егер осындай пластинаға электр шамының жарығын не Күннің сәулесін тік түсірсек, онда пластинаны өзінен өтетін шоқтың төңірегінде айналдырса, жарықтың қарқындылығы өзгермейді (5.4.2, а-сурет). Жарық аздап қана жұтылады да, жасылдау түске боялады, басқа ештеңе болған жоқ деп ойлауға болады. Бірақ бұл олай емес. Мұндай жағдайда жарық толқындары өзінің жаңа қасиеттерінің шамалы бөлігін ғана көрсете алды. Жарық толқындарының жаңа қасиеттерін толығымен төмендегі тәжірибелер айқындай түседі.

Бірінші турмалин кристалы арқылы өткен жарық шоғы дәл осындай екінші турмалин кристалы арқылы да өтсін (5.4.2, б-сурет). Егер екінші пластинаны біріншіге параллель орналастырсақ, онда кристалдардың осьтері бірдей бағытталғанда

Поляроид дегеніміз – күшті дихроизм кристалдарынан тұратын жарғақ. Мысалы, герпатиттің бірдей бағдарланған кристалдары қондырылған целлулоидтан немесе целлофаннан жасалған жұқа пленка поляроид бола алады. Герпатит – көрінетін жарық аймағында өте күшті дихроизмді екіжақты сындыратын зат.

Қалыңдығы бар болғаны 0,1 мм герпатит пластинасында спектрдің көрінетін аймағындағы барлық кәдімгі сәулелер толығымен жұтылады. Поляроидтың артықшылығы – оның бет ауданын бірнеше квадрат дециметрге дейін үлкейтіп шығаруға болады.



Сұрақтар

1. Жарық поляризациясы деп нені айтады?
2. Табиғи жарық пен поляризацияланған жарықтың айырмашылығы неде? Жарықтың поляризациялану деңгейлері қалай сипатталады?
3. Жарықтың поляризациясы қалай бақыланады?
4. Қандай құбылыс дихроизм деп аталады? Поляроид дегеніміз не?
5. Неліктен поляризациялайтын материалдардан жасалған қорғағыш шынылардың әсері тек жарықтың жұтылуына тәуелді шыныларға қарағанда артықшылықтары көптеу?



Тапсырма (практикалық зерттеу)

3D форматтағы фильмдерді көргенде көрермендер арнайы көзілдіріктерді киеді, олар бейнені көлемді етіп көрсетеді. Осындай көзілдіріктердің жұмыс істеу принципі түсіндіріңдер.

№4 зертханалық жұмыс

Жарықтың интерференциясын, дифракциясын және поляризациясын бақылау

Жұмыстың мақсаты: жарық интерференциясы мен дифракциясына тән ерекшеліктерді зерттеу.

1-бөлім. Жарықтың интерференциясын бақылау.

Құрал-жабдықтар: 1) шырпы (сірікке); 2) спирт шамы; 3) натрий хлориді ерітіндісін бойына сіңірген сымның ұшына оралған мақта түйіршігі; 4) тұтқасы бар сым сақина; 5) сабын ерітіндісі құйылған стақан; 6) шыны түтікше; 7) 2 дана шыны пластина; 8) CD-диск.

Теориялық материал. Монохроматтық сәулелену кезіндегі интерференцияны бақылау үшін натрий хлориді ерітіндісін сіңірген мақта түйіршігін спирт шамы жалынында ұстаймыз. Осы кезде жалын сары түске боялады. Сым сақинаны сабын ерітіндісіне малып, сабын жұқа қабыршағын (пленкасын) алады да, оны қара экран (немесе перде) алдында вертикаль орналастырып, спирт шамының сары жалынымен жарықтандыра отырып, қабыршақтағы (пленкадағы) интерференция құбылысын бақылайды. Күңгірт және сары горизонталь жолақтардың пайда болатыны және пленка қалыңдығы азайған сайын жолақтар енінің өзгеретіні байқалады.

Когерентті сәулелердің жол айырымы жартылай толқындардың жұп санына тең болатын пленка бөлігінде ақшыл жолақтар, жартылай толқындардың тақ сандарында күңгірт жолақтар байқалады.

Пленканы ақ түспен жарықтандырғанда ақшыл жолақтардың боялуы орын алады. Шыны түтікше көмегімен сабын ерітіндісінің үстінде кішігірім сабын көпіршігін үрлеп туғызады. Оны ақ түспен жарықтандырғанда түрлі түсті интерференциялық жолақтардың пайда болғаны байқалады. Пленка қалыңдығының кішірею шамасына қарай көпіршіктегі сақиналар үлкейе отырып, төмен түседі.

Сондай-ақ бір-біріне беттестірілген екі шыны пластинаның жанасу бетіне қарағанда да интерференция құбылысы байқалады.

Пластиналардың жанасу беттерінің біркелкі болмауынан олардың арасында жұқа ауа қабаттары пайда болады, олар сақина тәрізді ашық құбылмалы немесе тұйықталған пішінсіз жолақтарды береді.

Пластиналарды қысып сығатын күшті өзгерткенде жолақтардың орны мен формасы шағылған жарықта да, өтетін жарықта да өзгереді.

CD-дискінің бетіне оны аударыстыра қарағанда да шағылған жарық сәулелеріндегі интерференция құбылысы анық байқалады.

Жұмыстың барысы

1. Спирт шамын жағыңдар.
2. Жалынға натрий хлориді ерітіндісі сіңірілген мақта түйіршігін ұстаңдар.
3. Сабын көпіршігін алу үшін сым сақинаны сабын ерітіндісіне батырыңдар.
4. Спирт шамының сары түсті жарығымен жарықталған пленкада пайда болған интерференция көрінісінің суретін салыңдар.
5. Пленканы ақ жарықпен жарықтандырғанда пайда болған интерференциялық көріністегі түстердің рет-ретімен орналасу тәртібін түсіндіріңдер.
6. Шыны түтікше көмегімен сабын ерітіндісінің үстінен кішігірім сабын көпіршігін алыңдар. Интерференциялық сақиналардың көпіршік бетінен төмен ығысуын түсіндіріңдер.
7. Беттестірілген екі шыны пластиналардан байқалатын интерференциялық көріністі суреттеңдер.
8. Пластиналарға түсетін күшті арттырса көрініс қалай өзгереді?
9. CD-дискіні жарықтандырғанда байқалатын интерференциялық көріністі сипаттаңдар.

2-бөлім. Жарықтың дифракциясын бақылау.

Құрал-жабдықтар: 1) штангенциркуль; 2) тік қыздыру қылсымы бар шам; 3) диаметрі 0,1–0,3 мм сым керілген рама; 4) қара түсті капрон мата.

Жұмыстың қысқаша теориясы. Жарықтың дифракциясы жарық сәулелерінің түзусыздықты таралуының ауытқуынан, жарықтың кедергілерді орағытып,

геометриялық көлеңке аймағына енуінен көрінеді. Ортаның біртекті еместігінен жарық қарқындылығының кеңістіктікте бөліне таралуы дифракциялық көріністі сипаттайды.

Жұмысты орындау үшін біртекті емес орта ретінде штангенциркуль қысқыштарының арасындағы саңылау қолданылады. Бұл саңылау арқылы жанып тұрған шамның тік орналасқан қыл сымына қарайды. Бұл кезде қылдың екі жағында оған параллель, құбылмалы жолақтар көрінеді. Саңылау енін азайту кезінде жолақтар алшақтайды, енділеу келеді және анық байқалатын спектрлерді құрайды. Бұл көрініс әсіресе штангенциркульді тік осьтің төңірегінде жайлап айналдырғанда жақсы байқалады.

Дифракциялық көрініс жіңішке жіптен де байқалады. Жіп керілген раманы жанып тұрған шамға қаратып, оның қыздыру қылсымына параллель орналастырады. Раманы көзге жақындатып не алыстатып, қылдың маңындағы дифракциялық көріністі байқауға болады: жарық және күңгірт жолақтар қылдың екі жағында орналасады, ал ортасында, яғни қылдың геометриялық көлеңкесінде ашық жолақ байқалады.

Капрон матада да дифракциялық көріністі байқауға болады. Капрон матада екіге бөлінген өзара перпендикуляр бағыт бар. Матаны осьтің төңірегінде айналдыра отырып, мата арқылы жанып тұрған шамның қылына қарайды, сонда екі қиылысқан тікбұрышты дифракциялық жолақтардың айқын дифракциялық көріністеріне қол жеткізуге болады. Жолақтардың ортасында ақ түсті дифракциялық максимум, ал әр жолақта бірнеше түстер көрінеді.

Жұмыстың барысы

1. Қарастырып отырған кезде байқалатын екі дифракциялық көріністердің суретін салыңдар (саңылаудың ені 0,05 және 0,8 мм).

2. Штангенциркульді вертикаль ось төңірегінде баяу айналдырғанда пайда болатын интерференциялық көріністердің өзгерісін сипаттаңдар (қысқыштардың арасы 0,8 мм).

3. Жіп керілген раманы жанып тұрған шамның алдында қыздыру қылына параллель орналастырыңдар. Раманы көзге жақындата немесе алыстата отырып, жіптің геометриялық көлеңкесінде ашық жолақтың байқалуына қол жеткізіңдер. Жіңішке жіптен байқалатын дифракциялық көріністі салыңдар.

4. Қара капрон мата арқылы жанып тұрған шамның жібіне қараңдар. Матаны ось төңірегінде айналдыра отырып, екі қиылысқан тікбұрышты дифракциялық жолақ түріндегі анық дифракциялық көрініске қол жеткізіңдер. Байқалатын дифракциялық көріністі көшіріп салып, оны сипаттаңдар.

3-бөлім. Жарықтың поляризациясын зерттеу және бақылау.

Мақсаты: поляризацияланған жарықтың қасиеттерін зерттеу және оларды практикада қолдануды үйрену.

Құрал-жабдықтар: 1) ұялы телефонның сұйық кристалды индикаторынан алынған поляроидтар; 2) органикалық әйнек (сызғыш); 3) қалыңдықтары да, жапсырма бағыты да әртүрлі мөлдір скотчтан жасалған үлгі; 4) ерітіндінің булану кезінде алынған шыны бетіндегі ас тұзының микрокристалдары; 5) ерітіндінің булану кезінде алынған шыны бетіндегі қанттың микрокристалдары, 6) шыны пластиналар; 7) медициналық тамызғыштың түтігі.

Жұмыстың барысы

1. Поляроидтарды бір тұзудің бойымен қойып, біреуін айналдыру арқылы жарықтың максимум сөңуіне қол жеткізіңдер.

2. Поляроидтар арасында қалыңдығы әртүрлі скотч үлгіні орналастырыңдар. Үлгіні поляризацияланған сәулемен сәйкес келетін ось төңірегінде айналдырыңдар.

3. Поляроидтар арасына мыналарды орналастырыңдар:

- органикалық әйнектен жасалған пластинка;
- тамызғыштың түтігін.

4. Поляроидтар арасында мыналарды орналастырыңдар:

- қант кристалдары бар шыны;
- ас тұзының кристалдары бар шыны.

5. Поляроид арқылы аспандағы бұлтқа, жиһаздағы жарқырау дағына, бума шыныдағы жарқырау дағына, терезедегі жарқырау дақтарына қараңдар.

6. Бақыланған құбылыстарды талдап, қорытынды жасаңдар.

7. Жұмыс нәтижесін пысықтау үшін төмендегі сұрақтарға жауап беріңдер.



Бақылау сұрақтары

1. Интерференция, дифракция және поляризация сияқты жарық құбылыстары қай кезде байқалады?
2. Жұқа қабыршақтағы (пленкадағы) интерференция қалай алынады?
3. Пленканы ақ жарықпен жарықтандыру кезінде туындаған интерференциялық көріністегі түстердің пайда болуын түсіндіріңдер.
4. Поляроидтардың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.

V ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- *Жарық жылдамдығы (c)* – әлемнің негізгі тұрақтыларының бірі, ол вакуумда өзара әсерлесулердің таралуының шекті жылдамдығын анықтайды.
- *Сыну көрсеткіші* вакуумдағы жарық жылдамдығының заттағы жарық жылдамдығынан қанша есе артық екенін көрсетеді.
- *Жарық дисперсиясы* деп нәтижесі ақ жарық шоғының спектрге жіктелуі болатын жарық толқындары жылдамдығының олардың жиілігіне тәуелділігін айтады.

- **Жарық интерференциясы** деп екі немесе бірнеше жарық толқындары қабаттасқанда жарық сәулесі энергиясының кеңістікте қайта таралып бөлінуін айтады.

- **Жұқа қабыршақтағы интерференция** – бұл жұқа қабыршақтың үстіңгі және астыңғы шегаралық беттерінен шағылған жарықтардың қабаттасуынан туындаған интерференция.

- **Жарық дифракциясы** деп жарық сәулелерінің жолындағы мөлдір емес денелерді орағытып өтіп, олардың геометриялық көлеңкесі аймағына ену құбылысын айтады.

- **Дифракциялық тор** деп мөлдір емес элементтердің (немесе мөлдір заттағы бөлінген аралықтардың) реттеле орналасқан көп санының периодты құрылымы болып табылатын оптикалық аспапты айтады.

- $d = a + b$ шамасы **дифракциялық тордың периоды** (немесе **тордың тұрақтысы**) деп аталады. Мұндағы a – саңылау енінің шамасы, b – мөлдір емес аралық енінің шамасы.

- **Жарық поляризациясы** деп жарық сәулесіне перпендикуляр жазықтықта жарық толқындарының өртүрлі бағыттарының бір-біріне эквивалентті бола алмайтындығын білдіретін сипаттамасын айтады.

6-тарау



ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

- ⇒ Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың шағылу заңын түсіндіру;
- ⇒ сфералық айнадағы сәуленің жолын салу және сфералық айнаның формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ⇒ Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың сыну заңын түсіндіру;
- ⇒ жарық сигналдарын тасымалдауда талшықтық оптика технологиясының артықшылығын түсіндіру;
- ⇒ шынының сыну көрсеткішін эксперименттік жолмен анықтау және экспериментті жақсартудың жолдарын ұсыну;
- ⇒ линзалар жүйесінде сәулелердің жолын салу;
- ⇒ әртүрлі радиустағы екі сфералық беттен тұратын жұқа линзаның формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ⇒ телескоп, микроскоп және лупадағы сәуленің жолын салу және түсіндіру.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
жарықтың шағылу заңы	закон отражения света	law of reflection
жазық айна	плоское зеркало	plane mirror
сфералық айна	сферическое зеркало	spherical mirror
сызықтық үлкейту	линейное увеличение	linear magnification
жарықтың сыну заңы	закон преломления света	law of refraction
салыстырмалы сыну көрсеткіші	относительный показатель преломления	relative refractive index
толық ішкі шағылу	полное внутреннее отражение	total internal reflection

оптикалық талшық	оптическое волокно	optical fiber
линза	линза	lens
жұқа линза	тонкая линза	thin lens
линзаның оптикалық күші	оптическая сила линзы	lens power
оптикалық аспап	оптический прибор	optical instruments
бұрыштық үлкейту	угловое увеличение	angular magnification
луּпа	луּпа	magnifying glass
телескоп	телескоп	telescope
микроскоп	микроскоп	microscope

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «жарықтың шағылу заңы», «жазық айна», «сфералық айна», «сызықтық үлкейту», «жарықтың сыну заңы», «салыстырмалы сыну көрсеткіші», «толық ішкі шағылу», «оптикалық талшық», «линза», «жұқа линза», «линзаның оптикалық күші», «оптикалық аспап», «бұрыштық үлкейту», «луּпа», «телескоп», «микроскоп».

§ 6.1

Гюйгенс принципі. Жарықтың шағылу заңы

1. Гюйгенс принципі бойынша *толқын тарайтын ортаның ұйытқу жеткен әрбір нүктесі екінші реттік толқындардың шығу көздері болып табылады.* Ендеше, толқындық беттің (шептің) t уақыт мезетіндегі орналасу күйін біле отырып, оның келесі $t + \Delta t$ уақыт мезетіндегі орналасу күйін табу үшін толқындық шептің әрбір нүктесін екінші реттік толқындар көзі деп қарау керек. Екінші реттік толқындардың бәріне жанама бет (3-тарау) келесі уақыт мезетіндегі *толқындық бет* болып табылады. Бұл принцип механикалық, жарық және т.б. кез келген толқындардың таралуын сипаттау үшін бірдей жарамды. Гюйгенс оны алғаш жарық толқыны үшін тұжырымдаған.

Гюйгенс принципі қолданып, екі ортаның шегара бетінен шағылған толқындар бағынатын заңды тұжырымдауға болады.

2. Жазық толқынның шағылуын қарастырайық.

Егер фазалары тең толқындық бет жазық болса, онда толқын жазық толқын деп аталады.

6.1.1-суретте MN – шағылдырушы бет, A_1A және B_1B түзулері – түскен жазық толқынның екі сәулесі (олар бір-біріне параллель). Ал AC жазықтығы – түскен толқынның толқындық беті.

Бетке түскен сәуле (A_1A) мен сәуленің түсу нүктесінен (A) тұрғызылған перпендикуляр арасындағы бұрыш (α) *түсу бұрышы* деп аталады. Шағылған сәуле (AA_2) мен сәуленің шағылу нүктесінен (A) тұрғызылған перпендикуляр арасындағы γ бұрышын *шағылу бұрышы* деп атайды.

Шағылған толқынның толқындық бетін табу үшін центрлері екі ортаның шекарасында жататын екінші реттік толқындардың шебін жүргізу керек. AC толқындық беттің әртүрлі бөліктері шағылдырушы шекараға бір мезгілде жетпейді. A нүктесінде тербелістің қозуы B нүктесіндегіден $\Delta t = \frac{CB}{v}$ уақытқа ерте басталады (мұндағы v – толқын жылдамдығы).

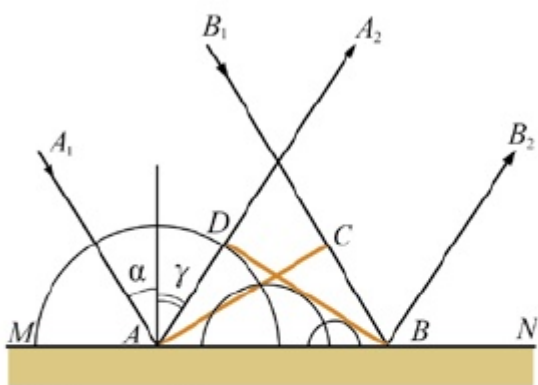
Толқын B нүктесіне жетіп, осы нүктеде тербеліс қоза бастаған мезетте, центрі A нүктесінде болатын екінші реттік толқын радиусы $r = AD = v\Delta t = CB$ болатын жарты сфера бетін құрайды. Сонда A мен B нүктелерінің арасында орналасқан көздерден тараған екінші реттік толқындардың беттері, 6.1.1-суретте көрсетілгендей, бірте-бірте кішірейте беретін жарты сфераларды құрайды. BD жазықтығы – екінші реттік толқындардың сфералық бетіне жанама бет. Ол шағылған толқынның толқындық беті болып табылады. Шағылған AA_2 және BB_2 сәулелері DB толқындық бетке перпендикуляр орналасады.

$AD = CB$ және ADB мен ACB тікбұрышты үшбұрыштар болғандықтан, $\angle DBA = \angle CAB$. Ал қабырғалары бір-біріне перпендикуляр бұрыштар өзара тең. $\alpha = \angle CAB$ және $\gamma = \angle DBA$, яғни:

$$\alpha = \gamma. \quad (6.1)$$

Жоғарыдағы деректерге сүйене отырып, **жарықтың шағылу заңын** былай тұжырымдауға болады: *түскен сәуле, шағылған сәуле және түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; сәуленің түсу бұрышы оның шағылу бұрышына тең.*

Егер жарық сәулелерінің таралу бағыттарын кері өзгертсек, онда шағылған сәуле түскен сәуле, ал түскен сәуле шағылған сәуле болады. *Жарық сәулелері жолдарының қайтымдылығы – олардың маңызды қасиеті.*



6.1.1-сурет. Екі ортаның шекарасынан шағылған сәулелер



Сұрақтар

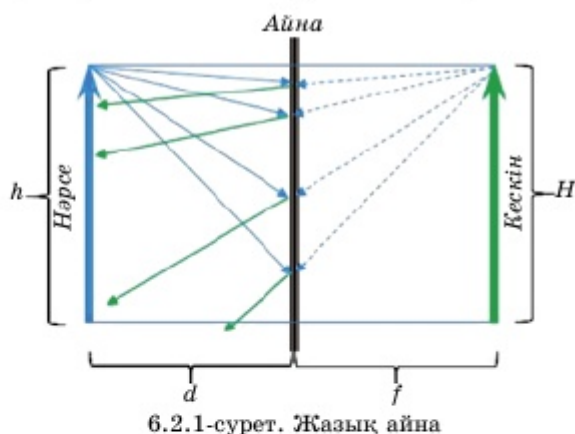
1. Қандай толқын жазық толқын деп аталады?
2. Жарық сәулелерінің түсу және сыну бұрыштары қалай анықталады?
3. Жарықтың шағылу құбылысы қандай жағдайда орын алады? Жарық сәулелерінің маңызды қасиетіне не жатады?
4. Жарықтың шағылу заңы қалай тұжырымдалады?

§ 6.2

Жазық және сфералық айналар

1. Айналар ертеден белгілі болды. Оларды қола, мыс, күміс сияқты металдардан жасады. Кейінірек шыны айналар пайда бола бастады, ол айналардың артқы жағы қалайымен жабылды. Айна сән-салтанаттың көрсеткіші болды және өте қымбат тұрды. XIX ғасырда айналарды күмісті қолдана отырып жасай бастады. Бұл технология әлі күнге дейін өзгеріссіз қалды. Айна – бір беті күмістің буымен тозаңдатып қапталған шыны пластина. Айналардың геометриялық пішіндерінің екі түрін қарастырамыз: *жазық және сфералық*.

Жылтыр бетке түскен параллель шоқтар шағылғанда параллель күйінде қалса, ондай жылтыр бет жазық айна деп аталады.



6.2.1-сурет. Жазық айна

Жазық айнадағы нәрсенің кескіні айна бетінен сәулелердің шағылуы арқылы алынады. Бұл кескін *жалған* болып табылады, өйткені ол шағылған сәулелердің өздерінен емес, олардың «айнаның сыртындағы жалғасының» қиылысуынан пайда болады (6.2.1-сурет).

Жарықтың шағылу заңының салдарынан нәрсенің жалған кескіні айналық бетке қатысты симметриялы орналасады.

Жазық айнадағы кескін айна сыртындағы жазықтықта пайда

болады және нәрсенің айнадан d қашықтықтығы қандай болса, дәл сондай f қашықтықта орналасады: $f = d$. Кескіннің өлшемі нәрсенің өз өлшеміне тең болады ($h = H$).

Бақылаушыға сәулелер айнаның арт жағындағы нүктелерден шыққандай боп көрінеді.

2. Шағылдыратын беттердің жазық болуы шарт емес. Беттері иілген айналар көп жағдайда *сфералық* болады.

Шағылдыратын беті сфераның сегменті болатын айна сфералық айна деп аталады.

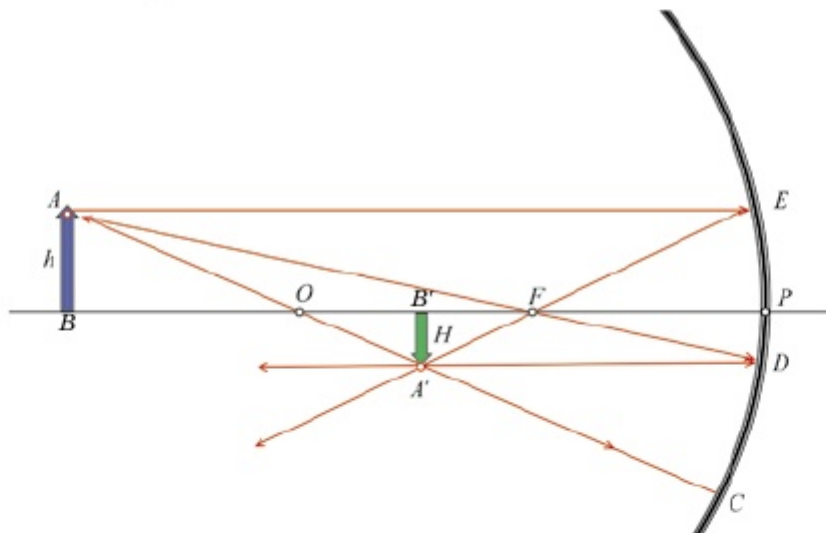
Сфера сегментінің қай жағымен (дөңес немесе ойыс) шағылдыруына байланысты сфералық айна *дөңес* немесе *ойыс* болуы мүмкін (6.2.2-сурет). Сфералық айнаның бетіне сәйкес келетін сфераның центрі оның *центрі* немесе *оптикалық центрі* O деп, сегменттің ортасы *айнаның полюсі* P деп, центр мен полюс арқылы өтетін түзу OP айнаның *бас оптикалық осі* деп аталады. Айнаның центрі және полюсінен басқа нүктелері арқылы өтетін түзулер, оның *қосалқы оптикалық осьтері* деп аталады.

Сфералық айнаның фокустық қашықтығы қисықтық радиусының жартысына тең $F = \frac{R}{2}$, сонымен қатар мынадай таңбалау қабылданған: ойыс айнада $F > 0$, дөңес айнада $F < 0$.

Кез келген нәрсенің қандай да бір A нүктесінің сфералық айнадағы кескінін 6.2.2-суретте көрсетілген сәулелердің көмегімен алуға болады:

– AOC сәулесі айнаның оптикалық центрі арқылы өтеді; COA шағылған сәуле де сол түзу бойымен өтеді;

– AFD сәулесі айнаның фокусы арқылы өтеді; шағылған DA' сәуле бас оптикалық оське параллель өтеді;



6.2.2-сурет. Нәрселердің сфералық ойыс айнадағы кескіндерін анықтайтын сәулелер

– AE сәулесі бас оптикалық оське параллель; EFA'_1 шағылған сәуле айнаның F фокусы арқылы өтеді.

3. Кескіннің орналасуы мен оның өлшемін *сфералық айнаның формуласымен* де анықтауға болады:
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad (6.2)$$

мұндағы d – дене мен айна арасындағы қашықтық, f – айнадан кескінге дейінгі қашықтық. d және f шамалары белгілі бір таңбалар ережесіне бағынады:

$d > 0$ және $f > 0$ – шынайы нәрселер мен кескіндер үшін;

$d < 0$ және $f < 0$ – жалған нәрселер мен кескіндер үшін.

6.2.2-суретте кескінделген жағдай үшін мыналарды аламыз: $F > 0$ (ойыс айна), $d = 3F > 0$ (нәрсе – шынайы). Сфералық айна формуласы бойынша:

$f = \frac{3}{2}F > 0$, ендеше кескін – шынайы. Егер ойыс айнаның орнында модулі бойынша дәл сондай фокустық арақашықтықтығы бар дөңес айна орналасса, онда келесі нәтижеге қол жеткізер едік:

$F < 0$, $d = -3F > 0$, $f = \frac{3}{4}F < 0$ – жалған кескін алынады.

Сфералық айнаның Γ **сызықтық үлкейтуі** оның H кескінінің және h нәрсенің сызықтық өлшемдерінің қатынасы арқылы анықталады. H шамасына белгілі бір таңбаны меншіктеу ыңғайлы, мысалы: кескін тура ($H > 0$ болса) немесе төңкерілген кескін ($H < 0$ болғанда). h шамасы әрқашан оң таңбалы саналады. Мұндай анықтамаға сүйеніп, сфералық **айнаның сызықтық үлкейтуін** табу үшін 6.2.2-суретке катеттері H және f , h және d болатын екі тікбұрышты ABP және $A'B'P$ үшбұрыштарын салып, олардың ұқсастықтары бойынша мына формуланы аламыз:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (6.3)$$

Сфералық айналар туралы есептер жалпы алғанда екі үлкен топқа бөлінеді: *кескіндерді салуға арналған есептер және сфералық айнаның формуласын қолданатын есептер.*



Қосымша деректер

«Ақылды» айна – бұл ғажайып медиа құрал, ол теледидар көрермендеріне жарнамаларды арнайы сұрыптап көрсету үшін қолданылады. Айнаға адам жақындай бергенде, ол жанданып, келе жатқан адамды өзіне баурап қызықтыратын көріністерді көрсете бастайды. Таңғажайып айнаға арнайы жүйе енгізіліп бекітілген, ол бейнелерді танып, өңдей алады. Мысалы, айна адамның жасын, жынысын, көңіл күйін анықтап, соған сәйкес экранда арнайы роликтердегі көріністерді көрсете алады.



Сұрақтар

1. Қандай айна жазық деп аталады? Жазық айнада нүктелік жарық көзінің кескінін қалай салады?
2. Бір түзуде орналасқан үш нүкте жазық айнада бейнеленеді. Бұл нүктелердің кескіндері бір түзудің бойында орналаса ма?
3. Қандай айна сфералық деп аталады? Сфералық айнадағы кескінді қалай және қандай сәулелердің көмегімен салады?
4. Сфералық айнадағы кескіннің орналасуын және өлшемін қалай анықтайды? Сфералық айналардың сызықтық үлкейтуі қалай анықталады?



Тапсырма (эксперименттік талдау)

1. Екі айнаны бір-біріне перпендикуляр қойып, біріккен айналардағы өз кескіндерінді көріңдер. Байқағандарыңды сипаттап жазыңдар.
2. Түсетін сәуленің бағыты мен шағылған сәуленің горизонтпен жасайтын бұрышы арасындағы сәйкестікті тағайындаңдар. Ол үшін айнаны горизонталь орналастырып, шағылған сәуле айна бетінде горизонталь орналасқанға дейін бақылаңдар. Байқағандарыңды сипаттап жазыңдар.
3. Үстелде айна жатыр. Айнаның жартысын жауып қойсақ, бұл айнадағы люстраның кескіні қалай өзгереді? Люстраның суретін көруге болатын аймақ қалай өзгереді?

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ

1-есеп. Ұзындығы 5 м және биіктігі 3 м бөлме қабырғасында жазық айна ілулі тұр. Адам айна ілулі тұрған қабырғадан 1 м қашықтықта тұрып, айнаға қарады. Адамның артында тұрған қабырға айнадан толық көріну үшін айнаның ең кіші биіктігі l қандай болуы керек (6.2.3-сурет)?

Берілгені:

$$L = 5 \text{ м}$$

$$H = 3 \text{ м}$$

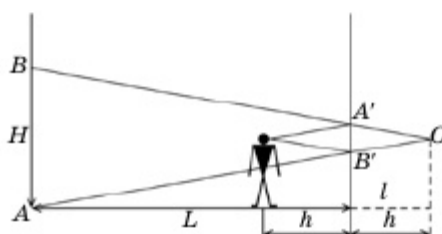
$$h = 1 \text{ м}$$

$$l = ?$$

Шешуі:

6.2.3-суреттен ABO және $A'B'O$ үшбұрыштарының ұқсас екені байқалады. Бұл үшбұрыштардың ұқсастығынан:

$$\frac{l}{h} = \frac{H}{L+h}, \text{ бұдан } l = \frac{Hh}{L+h}, l = \frac{3 \cdot 1}{5+1} = 0,5 \text{ м.}$$



6.2.3-сурет

Жауабы: $l = 0,5 \text{ м.}$

2-есеп. Зат пен оның дөңес айнадағы кескінінің арасындағы қашықтық 20 см, ал заттың кішірейтілуі 0,5 (6.2.4-сурет). Фокустық арақашықтық пен қисықтық радиусы неге тең?

Берілгені:

$$l = 20 \text{ см}$$

$$\Gamma = 0,5$$

$$F = ?$$

$$R = ?$$

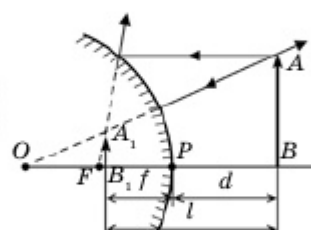
ХБЖ

$$20 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Шешуі:

AB заттың дөңес айнадағы A_1B_1 кескінін саламыз. Ол жалған, түзу, кішірейтілген болады. Оның кішіреюі:

$$\Gamma = \frac{f}{d}.$$



6.2.4-сурет

Дөңес айнаның формуласы бойынша $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}$ немесе $\frac{1}{d} - \frac{1}{l-d} = -\frac{1}{F}$.

$$F\text{-ті анықтайық: } \frac{1}{F} = \frac{1}{l-d} - \frac{1}{d} = \frac{d-l+d}{d(l-d)} = \frac{2d-l}{d(l-d)},$$

$$F = \frac{d(l-d)}{2d-l}.$$

$d = \frac{l}{\Gamma+1}$ үшін формуланы ескере отырып,

$$F = \frac{l\left(l - \frac{l}{\Gamma+1}\right)}{(\Gamma+1)\left(2\frac{l}{\Gamma+1} - l\right)} = \frac{l^2\left(1 - \frac{1}{\Gamma+1}\right)}{l(2 - \Gamma - 1)} = \frac{l(\Gamma+1-1)}{(1-\Gamma)(1+\Gamma)},$$

$$F = \frac{l\Gamma}{1-\Gamma^2}. \text{ Сфера сегментінің қисықтық радиусы: } R = 2F.$$

$$F = \frac{20 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5}{1 - 0,25} = 0,133 \text{ м. } R = 2 \cdot 0,133 = 0,266 \text{ м.}$$

Жауабы: F = 0,133 м, R = 0,266 м.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 6.2.1. Шағылған сәуле түскен сәулеге перпендикуляр болу үшін жазық айнаға сәуле қандай бұрышпен түсуі керек? (*Жауабы: 45°*)
- 6.2.2. Жарықтың жазық айнаға түсу бұрышы 16° тең. Шағылған сәуле мен айна арасындағы бұрыш қандай? (*Жауабы: 74°*)
- 6.2.3. Адам жазық айнаның алдында тұрды, содан кейін одан 1,5 м алшақтады. Адам мен оның бейнесі арасындағы қашықтық қаншаға өзгерді? (*Жауабы: 3 м*)

В

- 6.2.4. Көлдің жағасында тұрған бойы 1,5 м адам көкжиекпен 60° бұрыш құрайтын бағытпен Айды көреді. Адам көл суындағы Айдың көрінісін өзінен қандай қашықтықта көреді? (*Жауабы: 87 см*)
- 6.2.5. Жазық айна жарық көзіне қарай 5 см/с жылдамдықпен қозғалады. Айнадағы жарық көзінің кескіні қандай жылдамдықпен қозғалады? Айна жазықтығы жылдамдық векторына перпендикуляр. (*Жауабы: 10 см/с*)
- 6.2.6. Екі жазық айна бір-біріне бұрыш жасай орналасқан және олардың арасына нүктелік жарық көзі орналастырылады. Осы жарық көзінен бірінші айнаға дейінгі қашықтық 3 см, екіншісіне дейінгі қашықтық 4 см. Алғашқы кескіндердің арасындағы қашықтық 10 см. Айналардың арасындағы бұрышты табыңдар. (*Жауабы: 90°*)
- 6.2.7. Егер ойыс сфералық айна нәрсенің 4 есе үлкейтілген шынайы кескінін берсе, оның фокустық арақашықтығы қандай болады? Нәрсе мен кескінінің арақашықтығы 15 см. (*Жауабы: -4 см*)

- 6.2.8. Ойыс айнаның қисықтық радиусы 40 см. Айнадағы нәрсенің кескіні шынайы әрі 2 есе үлкейтілген және жалған әрі үлкейтілген болса, нәрсе қалай орналасқан? (Жауабы: -60 см; 20 см)

С

- 6.2.9. Қабырғада биіктігі 1 м айна ілулі тұр. Адам айнадан 2 м қашықтықта тұр. Адам айнада басының қалпын өзгертпей көре алатын бөлменің қарама-қарсы қабырғасының биіктігі қандай? Қабырға айнадан 4 м қашықтықта орналасқан. (Жауабы: 3 м)
- 6.2.10. Бір-бірімен 60° бұрыш құрайтын екі жазық айнада алынған нүктелік жарық көзінің кескіндерінің санын табыңдар. Жарық көзі бұрыштың биссектрисасында орналасқан. (Жауабы: 5)
- 6.2.11. Дене ойыс айнаның оптикалық осінде оның төбесінен 15 см қашықтықта орналасқан. Кескін айнадан 30 см қашықтықта алынды. Егер денені айнаға 1 см жақындатса, онда кескін қайда және қанша ығысады? (Жауабы: кескін солға қарай 5 см-ге ығысады)
- 6.2.12. Шағылдырғыш ретінде фокустық арақашықтығы 1 м, диаметрі 20 см ойыс сфералық айна қолданылады. Нүктелік көзден айнада шағылған сәуле қабырғада диаметрі 4 см дақ түрінде көрінсе, ол айнадан қандай қашықтықта орналасқан? Айнаның қабырғадан қашықтығы 12 м. (Жауабы: 1,11 м; 1,07 м)

§ 6.3

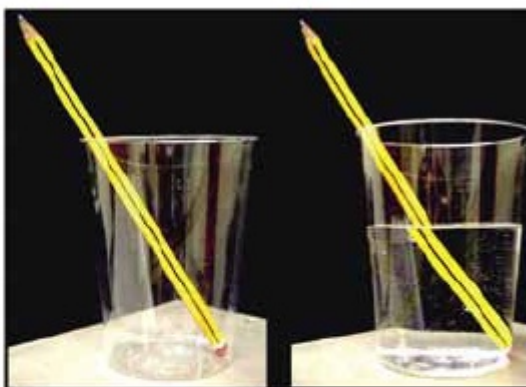
Жарықтың сыну заңы

1. Екі ортаның шегарасында жарық өзінің таралу бағытын өзгертеді. Жарық энергиясының бір бөлігі бірінші ортаға қайта оралады, яғни жарық шағылады. Егер екінші орта мөлдір болса, онда жарық сәулесі орталардың шегарасы арқылы жартылай өтеді, мұнда да таралу бағытын өзгертеді.

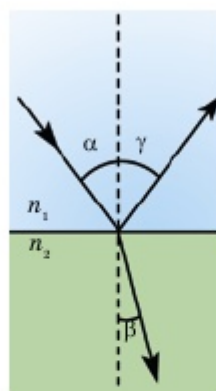
Жарықтың сынуы деп жарық сәулелерінің екі ортаның шегарасынан өткенде олардың алғашқы таралу бағытынан ауытқуын айтады.

Сыну салдарынан нәрселердің пішіндері, олардың орындары мен өлшемдері өзгерген сияқты болып көрінеді. Бұған қарапайым бақылау арқылы көз жеткізуге болады. Су құйылған шыны ыдысқа көлбеу қарындаш салып қояйық. Егер осы ыдысқа бүйірінен қарасақ, қарындаштың суға батып тұрған бөлігі ығысқан сияқты көрінеді (6.3.1-сурет). Бұл құбылыс екі ортаның шегарасында сәуле бағыты өзгеріп, жарықтың сынатындығымен түсіндіріледі.

Жарықтың сыну заңы *түскен сәуле, сынған сәуле және ортаны бөліп тұрған бетке түсу нүктесінен түрғызылған перпендикуляр өзара қалай орналасатынын анықтайды: α түсу бұрышы, β сыну бұрышы, γ шағылу бұрышы* деп аталады (6.3.2-сурет).



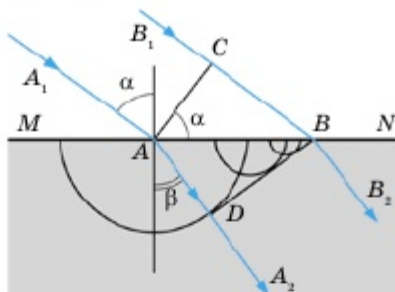
6.3.1-сурет. Қарындаштың ауа-су шеғарасында сынуы



6.3.2-сурет. Жарық сәулесінің екі ортаның шеғарасында сынуы

2. Жарықтың сыну заңы XVII ғасырда тәжірибе жүзінде тағайындалған. Оны Гюйгенс принципі көмегімен қорытып шығарайық.

Жарықтың бір ортадан екінші ортаға өткенде сынуы екі ортаның әрқайсысында жарықтың өртүрлі жылдамдықпен таралуы салдарынан болады. Толқынның бірінші ортадағы жылдамдығын v_1 , ал екінші ортадағы жылдамдығын v_2 арқылы белгілейік.



6.3.3-сурет. Параллель сәулелердің екі ортаның шеғарасында сынуы

Айталық, екі ортаны бөліп тұрған жазық шеғараға (мысалы, ауадан суға өтетін шеғараға) жазық жарық толқыны келіп түсті дейік (6.3.3-сурет). AC толқындық бет A_1A мен B_1B сәулелерге перпендикуляр. MN бетке алдымен A_1A сәуле келіп жетеді. B_1B сәуле ол бетке

$$\Delta t = \frac{CB}{v_1}$$

уақыттан кейін келіп жетеді. Сондықтан екінші реттік толқын B нүктесінде қоза бастаған мезетте A нүктесінен шыққан толқынның радиусы $AD = v_2 \Delta t$ болатын жарты сфера бетін құрайды.

Сынған толқынның толқындық бетін шығарып алу үшін екінші ортадағы орталардың бөліну шеғарасында жатқан екінші реттік барлық толқындарға жанама бет жүргізу қажет. Бұл жағдайда ол BD жазықтығы, екінші реттік толқындық шеп болып шығады.

Сәуленің α түсу бұрышы ABC үшбұрышының CAB бұрышына тең (өйткені бұл бұрыштардың қабырғалары өзара перпендикуляр). Олай болса:

$$CB = v_1 \Delta t = AB \sin \alpha. \quad (6.4)$$

Сәуленің β сыну бұрышы ABD үшбұрышының $\angle ABD$ бұрышына тең. Сондықтан

$$AD = v_2 \Delta t = AB \sin \beta. \quad (6.5)$$

(6.4) теңдікті (6.5) теңдікке мүшелеп бөліп, мынаны табамыз:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n, \quad (6.6)$$

мұндағы n – тұрақты шама, түсу бұрышына тәуелді емес.

Жоғарыда алынған нәтижелерге сүйеніп, **жарықтың сыну заңын** тұжырымдаймыз: *түскен сәуле, сынған сәуле және түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; түсу бұрышы синусының сыну бұрышы синусына қатынасы екі орта үшін тұрақты шама болады.*

3. Жарықтың сыну заңына енетін тұрақты шама **салыстырмалы сыну көрсеткіші** (қысқаша **сыну көрсеткіші**) деп немесе **екінші ортаның бірінші ортаға қатысты сыну көрсеткіші** деп аталады.

Гюйгенс принципінен сыну заңы ғана шығып қоймайды, **сыну көрсеткішінің де физикалық мағынасы** ашылады. Шынында да, сыну көрсеткіші шегарасында сыну құбылысы өтетін екі орталардағы жарық жылдамдықтарының қатынасына тең:

$$n = \frac{v_1}{v_2}. \quad (6.7)$$

Егер β сыну бұрышы α түсу бұрышынан кіші болса, онда (6.6) формуласы бойынша екінші ортадағы жарық жылдамдығы бірінші ортадағы жарық жылдамдығынан кем.

Орталардың вакуумға қатысты сыну көрсеткіші осы ортаның абсолюттік сыну көрсеткіші деп аталады. Ол түсу бұрышының синусының жарық сәулесі вакуумнан берілген ортаға өткен кездегі сыну бұрышының синусына қатынасына тең.

(6.7) формуласын пайдаланып, салыстырмалы сыну көрсеткішін бірінші және екінші ортаның n_1 және n_2 абсолюттік сыну көрсеткіштері арқылы өрнектеуге болады:

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (6.8)$$

Абсолюттік сыну көрсеткіші аз ортаны оптикалық тығыздығы аз орта деп атау қабылданған.

Жарықтың сыну заңын жоғарыдағы пайымдауларды ескеріп, былайша да тұжырымдауға болады: *түскен сәуле, түсу нүктесінен екі ортаның шегарасына тұрғызылған перпендикуляр және сынған сәуле бір жазықтықта жатады; сонымен қатар түсу бұрышы синусының сыну бұрышы синусына қатынасы және екінші ортаның абсолюттік сыну көрсеткішінің бірінші ортаның абсолюттік сыну көрсеткішіне қатынасы өзара тең әрі тұрақты болады:*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n = \text{const}. \quad (6.6')$$

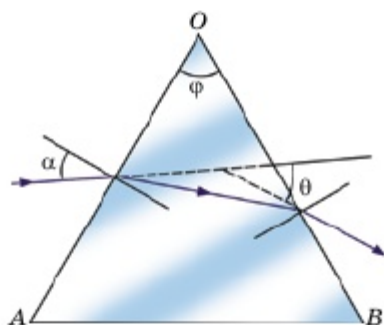
Абсолюттік сыну көрсеткіші берілген ортадағы жарықтың таралу жылдамдығымен анықталады, ол ортаның физикалық күйіне, яғни температурасына, тығыздығына, ондағы серпімді кернеулердің болу-болмауына тәуелді. Сыну

көрсеткіші жарықтың өзінің сипаттамасына да тәуелді. Қызыл жарық үшін ол жасыл жарыққа қарағанда аз, ал жасыл жарық үшін күлгін жарыққа қарағанда аз болады. Сондықтан әртүрлі заттардың сыну көрсеткіштері мөндерінің кестелерінде, әдетте n -нің берілген мәні қандай жарық үшін келтірілгендігі көрсетіледі. Ал егер көрсетілмесе, онда көрсетілген факторларға тәуелділікті ескермеу керектігін білдіреді.

Көп жағдайларда жарықтың вакуум – орта шегарасы арқылы өтуін емес, жарықтың ауа – сұйық немесе ауа – қатты дене шегарасы арқылы өтуін қарастыруға тура келеді. Алайда қатты немесе сұйық заттың n_2 абсолюттік сыну көрсеткішінің сол заттың ауаға қатысты сыну көрсеткішінен айырмашылығы шамалы. Мәселен, қалыпты жағдайда сары жарық үшін ауаның абсолюттік сыну көрсеткіші шамамен алғанда: $n_1 \approx 1,000292 \approx 1$. Олай болса,

$$n = \frac{n_2}{n_1} \approx n_2.$$

Жарықтың сыну заңы әртүрлі оптикалық құрылғыларда, мысалы, шыныдан не басқа мөлдір материалдардан жасалған *үшбұрышты призмалардағы сәулелердің жолын есептеуге мүмкіндік береді.*



6.3.4-сурет. Сәулелің призма жақтарында сынуы

6.3.4-суретте шыны призманың бүйір қырларына перпендикуляр жазықтағы қимасы кескінделген. Сәуле призма ішінде OA және OB жақтарында сынып, табанына қарай ауытқиды. Жақтардың арасындағы φ бұрышы **призманың сындыру бұрышы** деп аталады. Сәулелің ауытқу бұрышы θ призманың φ сындыру бұрышына, призма затының n сыну көрсеткішіне және α түсу бұрышына байланысты болады.

θ бұрышын сыну заңының формуласының көмегімен анықтауға болады; α және φ бұрыштарының шамалары аз болғанда ол төмендегі формуламен анықталады:

$$\theta \approx (n - 1) \varphi. \tag{6.9}$$



Сұрақтар

1. Жарықтың сыну құбылысы деп нені айтамыз? Суы бар стақанға салынған қарындаш неліктен сынған сияқты болып көрінеді?
2. Жарықтың сыну заңдары қалай тұжырымдалады? Түсу бұрышы мен сыну бұрышының, сондай-ақ екі ортаның абсолюттік сыну көрсеткіштерінің арасында қандай байланыс бар?
3. Қандай көрсеткіштер салыстырмалы және абсолюттік сыну көрсеткіштері деп аталады? Олардың физикалық мағынасы нені білдіреді?
4. Қандай ортаны оптикалық тығыздығы аз деп атайды? Егер сәуле оптикалық тығыздығы аз ортадан көбірек ортаға ауысса, онда сыну бұрышында қандай өзгеріс орын алады?
5. Жарықтың сыну заңы қайда қолданылады? Үшбұрышты призманы мысалға алып түсіндіріңдер.

**Тапсырма (эксперименттік талдау)**

Су ағынындағы жарықтың сынуын бақылаңдар. Байқағандарыңды сипаттап жазыңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Жарық сәулесі шынының бетіне 60° бұрышпен түседі. Шынының сыну бұрышы судың сыну бұрышына тең болуы үшін, ол судың бетіне қандай α_2 бұрышпен түседі. Мұндағы шынының сыну көрсеткіші 1,5; судың сыну көрсеткіші 1,33.

Берілгені:

$\alpha_1 = 60^\circ$

$n_1 = 1,5$

$n_2 = 1,33$

$\beta_1 = \beta_2$

$\alpha_2 = ?$

Шешуі:

Су мен шыныға қатысты сыну заңын жазамыз:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = n_1 \text{ және } \frac{\sin \alpha_2}{\sin \beta_2} = n_2, \text{ осыдан}$$

$$\sin \beta_1 = \frac{\sin \alpha_1}{n_1} \text{ және } \sin \beta_2 = \frac{\sin \alpha_2}{n_2}.$$

$$\beta_1 = \beta_2 \text{ және } \sin \beta_1 = \sin \beta_2 \text{ немесе } \frac{\sin \alpha_1}{n_1} = \frac{\sin \alpha_2}{n_2},$$

$$\text{мұндағы } \sin \alpha_2 = \frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_1 \text{ және } \alpha_2 = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \sin \alpha_1 \right).$$

$$\alpha_2 = \arcsin \left(\frac{1,33}{1,5} \sin 60^\circ \right) = 49^\circ.$$

Жауабы: $\alpha_2 = 49^\circ$.

**Өз бетінше шығаруға арналған есептер****А**

- 6.3.1. Егер күлгін жарықтың ауадағы толқын ұзындығы $3,97 \cdot 10^{-7}$ м, ал шыныда $2,32 \cdot 10^{-7}$ м болса, шынының күлгін жарық үшін сыну көрсеткіші қандай болады? (**Жауабы:** 1,7)
- 6.3.2. Алмас бен шынының абсолюттік сыну көрсеткіштері тиісінше 2,42 және 1,5. Егер жарықтың таралу уақыты екеуінде де бірдей болса, шынының қалыңдығы алмас қалыңдығынан неше есе артық болады? (**Жауабы:** 1,6)
- 6.3.3. Шағылған және сынған сәулелер өзара тік бұрыш құраса, шынының жазық бетіне жарық сәулесі қандай бұрышпен түседі? Шыныдағы жарық жылдамдығы $2 \cdot 10^8$ м/с. (**Жауабы:** 56°)
- 6.3.4. Жарық сәулесі қандай бұрышпен призмаға енсе, одан сондай бұрышпен шығады; алайда алғашқы бағытынан 15° ауытқиды. Призманың сындыру бұрышы 45° . Призма материалының сыну көрсеткішін табыңдар.

(**Жауабы:** 1,3)

В

- 6.3.5. Егер тік төмен қарасақ, су айдынының көрінетін тереңдігі 0,9 м-ге тең. Су айдынының анық тереңдігін анықтаңдар. Судың сыну көрсеткіші 1,33. (Жауабы: 1,2 м)
- 6.3.6. Сындыру бұрышы 45° болатын үшжақты шыны призмаға жарық сәулесі түсіп, одан 30° бұрышпен шығады. Сәуленің призмаға түсу бұрышын табыңдар. Шынының сыну көрсеткіші 1,5. (Жауабы: 40°)
- 6.3.7. Сындыру бұрышы 30° , сыну көрсеткіші 1,41 призманың бір жағы күмістелген. Жарық сәулесі күмістелмеген жағына 45° бұрышпен түсіп, шағылғаннан кейін призмадан осы жағы арқылы шығады. Түскен және шыққан сәулелердің арасындағы бұрышты табыңдар. (Жауабы: $0,17^\circ$)

С

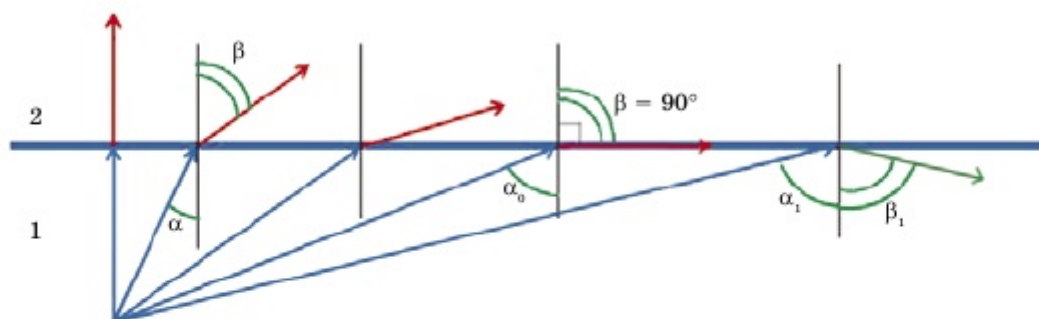
- 6.3.8. Тереңдігі 5 м су айдынының бетінде радиусы 1 м дөңгелек аржа қалқып жүр; оның центрінен 2 м биіктікте нүктелік жарық көзі орналасқан. Су айдынының түбіндегі дөңгелек көлеңкесінің радиусын анықтаңдар. Судың сыну көрсеткіші 1,33. (Жауабы: 2,8 м)
- 6.3.9. Турист су түбінде жатқан кішкентай тасты алмақшы болып, су бетіне 45° бұрышпен қолын батырды. Егер судың тереңдігі 32 см болса, тастан қандай қашықтықта қол су түбіне жанасады? Судың сыну көрсеткіші $\frac{4}{3}$. (Жауабы: 12 см)
- 6.3.10. Түбі жазық шыны ыдысқа қалыңдығы 10 мм су құйылған; су бетіне жарық сәулесі 58° бұрышпен түседі. Судың сыну көрсеткіші 1,33. Егер шынының түбінен шыққан сәуле түскен сәулеге қарағанда 6,2 мм ығысқан болса, шынының сыну көрсеткіші қандай болады? Сәуленің шыны ішіндегі жүрген жолы 5 мм. (Жауабы: 1,55)

§ 6.4**Толық ішкі шағылу**

1. Жарық оптикалық тығыздығы азырақ ортадан тығыздығы көбірек ортаға өткенде, мысалы, ауадан шыныға немесе суға өткенде, яғни $v_1 > v_2$ болғанда, сыну заңы (6.6) бойынша сыну көрсеткіші $n > 1$ болады. Сондықтан $\alpha > \beta$ шарты орындалып, сынған сәуле ортаны бөліп тұрған шеғараға тұрғызылған перпендикулярға жақындайды (6.3.3-сурет).

Егер жарық сәулесін оптикалық тығыздығы көбірек ортадан оптикалық тығыздығы азырақ ортаға қарай бағыттасақ (6.4.1-сурет), $\alpha < \beta$ болады да, сыну заңы былай жазылады:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{n}. \quad (6.10)$$



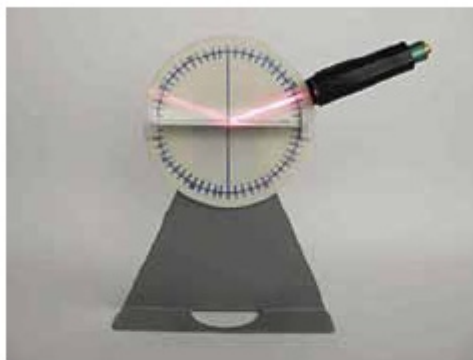
6.4.1-сурет. Оптикалық тығыздығы үлкен ортадан оптикалық тығыздығы кіші ортаға өткен кездегі жарықтың сынуы

Мұндай жағдайда $\alpha < \beta$, яғни сынған сәуле перпендикулярдан алшақтайды. Түсу бұрышын үлкейткен сайын β сыну бұрышы α бұрышынан ылғи да үлкен бола отырып, өсе береді. Ақырында, түсу бұрышының әйтеуір бір мәнінде сыну бұрышының мәні 90° -қа жуықтайды да, сынған сәуле орталардың бөлу шегарасы бойымен өтеді (6.4.1-сурет). Ең үлкен $\beta = 90^\circ$ сыну бұрышына α_0 түсу бұрышы сәйкес келеді.

Сөйтіп, $\alpha > \alpha_0$ болғанда жарықтың сынуы мүмкін болмай қалады. Олай болса, жарық толық шағылуға тиіс. Бұл құбылыс *жарықтың толық ішкі шағылуы* деген атау алды.

Жарықтың толық ішкі шағылуы деп түсу бұрышы белгілі бір шекті α_0 бұрышынан үлкен болғанда, жарықтың сыну көрсеткіші үлкен ортадан сыну көрсеткіші кіші ортаға қарай өткен кездегі оның екі мөлдір ортаның шегарасындағы барлық сәулелердің шағылуын айтады.

2. Толық ішкі шағылуды бақылау үшін жазық беті буылдыр шыны, жарты цилиндрді пайдалануға болады. Жарты цилиндрді, жазық бетінің ортасы дискінің центріне дәл келетіндей етіп, дискіге бекітеді (6.4.2-сурет). Жарық көзінен шыққан жіңішке жарық шоғын жарты цилиндрдің бүйір бетіне перпендикуляр, яғни радиус бойымен бағыттайды. Цилиндр беттен сәуле сынбайды. Жартылай цилиндрдің жазық бетінен сәуленің біраз бөлігі сыну және шағылу заңдарына сәйкес сынады және шағылады.



6.4.2-сурет. Жарықтың шағылуын зерттеуге арналған аспап

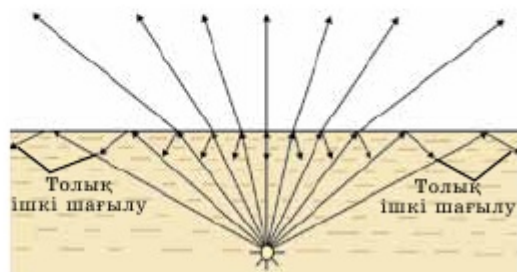
Егер түсу бұрышын үлкейтсек, онда шағылған шоқтың жарықтығы (демек, энергиясы да) артып, бұл кезде сынған шоқтың жарықтығы (энергиясы) кемитінін көруге болады. Әсіресе сыну бұрышы 90° -қа жуықтағанда, сынған шоқтың энергиясы тез кемиді. Ақыр соңында сынған шоқ екі ортаның бөлу шегарасының бойымен жүретін α_0 сыну бұрышы кезінде,

шағылған энергиясының үлесі 100%-ға жақындайды. Ал енді α_1 түсу бұрышы α_0 -ден үлкен болатындай етіп жарықтауышты бұрсақ, онда сынған шоқтың жойылып кеткенін және барлық жарықтың бөлу шегарасынан шағылғанын, яғни жарықтың **толық ішкі шағылуы** болғанын көреміз.

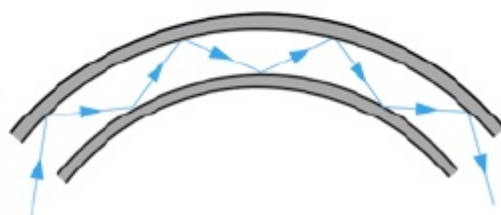
6.4.3-суретте су ішінде оның бетіне жақын орналасқан жарық көзінен шыққан сәулелер шоғы кескінделген және толық ішкі шағылу орын алған аймақтар көрсетілген.

90° сыну бұрышына сәйкес келетін түсу бұрышы **толық шағылудың шекті бұрышы** деп аталады. $\sin \beta = 1$ болғанда (6.10) формула мына түрге келеді:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}. \quad (6.11)$$



6.4.3-сурет. Судағы жарық шоғының шағылулары



6.4.4-сурет. Жарықжетектегіш

Бұл теңдіктен α_0 толық шағылудың шекті бұрышының мәнін табуға болады. Су үшін ($n = 1,33$) толық шағылу бұрышы $\alpha_0 = 48^\circ 35'$, шыны үшін ($n = 1,5$) $\alpha_0 = 41^\circ 51'$, ал алмас үшін ($n = 2,42$) $\alpha_0 = 24^\circ 40'$ шамаларын құрайды. Барлық жағдайда екінші орта ауа саналады.

3. Толық шағылу құбылысы жай тәжірибелерден оңай бақыланады. Стақанға су құйып, оны көз деңгейінен біраз жоғары ұстайық. Судың бетіне стақанның түбі арқылы төменнен қарағанда, жарықтың толық ішкі шағылуы салдарынан оның беті күміс жалатылған сияқты жарқырайды.

Көптеген аспаптарда, мысалы, бинокльдерде толық ішкі шағылу жарықтың призмаларда шағылуында қолданылады. Оның артықшылығы – жарық 100% шағылады және кескін айқын болады.

Толық ішкі шағылу **талшықтық оптика** деп аталатын жүйеде жарықты және кескінді жұмсақ әрі мөлдір талшық еспелерінің бойымен жеткізу үшін қолданылады. Мұндай **жарықжетектегіштер** (яғни **оптикалық талшықтар**) цилиндр пішіндес шыны талшық болып табылады; оның беті шынының сыну көрсеткішінен кіші көрсеткіші бар мөлдір материалдан жасалған жұқа жарғақпен жабылады. Жарық бірнеше рет толық шағылу арқылы кез келген жолмен (түзу не ирелең) жеткізілуі мүмкін (6.4.4-сурет). Талшықтар еспелерге (жгуттерге) топтастырылады. Мұндайда әр талшықтың бойымен кескіннің бір элементі беріледі.

Осылайша, жарықжетектегіш көмегімен жарық шоғының жолын қалаған бағытта бұруға болады. Талшықтық оптиканың диаметрі бірнеше микрометрден бірнеше миллиметрге дейінгі аралықта жатады.

Кескіндерді тасымалдау үшін әдетте көп тармақты жарықжетегіштер қолданылады. Талшықтық оптика байланысқа қажет кабельдерді дайындауда қолданылады (6.4.5-сурет). Мысалы, Атырау қаласындағы талшықты-оптикалық кабель шығаратын зауыт Қазақстанның талшықты-оптикалық өнімдері бойынша қажеттілігінің 30 %-ын қамтиды. Талшықты-оптикалық байланыс телефон байланысы және жоғары жылдамдықты интернет үшін қолданылады.



6.4.5-сурет. Талшықтық оптика кабельдері

4. Талшықтық оптика қазіргі кезде ақпаратты жеткізу үшін ең жетілген материалдық орта саналады, сонымен қатар ақпараттардың тасқынды ағындарын алысқа жеткізуде де болашағы зор деп болжанады. Талшықты-оптикалық кабельдердің ақпаратты 10 Гбит/с немесе одан да жоғары жылдамдықпен өткізуді қамтамасыз ете алатын қабілеттері де аса зор. Талшықтық оптика радиотолқындар мен электрмагниттік сәулелерге де, ішіндегі өзара бөгеттер мен әртүрлі тосқауылдарға да, басқа да көптеген проблемалық қиындықтарға да төтеп бере алады. Талшықты-оптикалық кабельді өндірістік қондырғылармен қатарластырып, ешқандай қауіптенбестен қолдана беруге болады. Талшықты-оптикалық кабельдердегі ақпараттарына ешқандай қауіп төнбейді; ол арқылы жіберілген сигнал сәуле шығармайды, сондықтан ешкімге қолды болып кетпейді.

Талшықтық оптиканың маңызды қасиеті – олардың ұзаққа шыдайтын беріктігі. Талшықтың қасиетін сақтау мерзіміне 25 жылдық кепілдік беріледі. Осы немесе одан кейінгі жылдардың ішінде мұндай кабельді ауыстырмай-ақ оған қажетіне қарай жеткізілген заманауи жабдықтар мен құралдарды қоса беруге болады.

Сұрақтар

1. Жарықтың толық шағылуы деп нені айтады?
2. Егер жарық судан шыныға өтсе, толық ішкі шағылу пайда болуы мүмкін бе?
3. Толық ішкі шағылу қандай жағдайда байқалады?

4. Толық ішкі шағылу қайда қолданылады?
5. Жарықжетектегіштің жұмыс істеу принципі неде? Талшықты-оптикалық кабельдердің артықшылықтары қандай?
6. Зергерлік істе тастарды бедерлеу не үшін қажет?



Тапсырма (теориялық талдау)

Атмосферадағы жарықтың рефракциясын қарастырыңдар. Сағымдардың пайда болу себептерін зерттеңдер. Оларды қай жерде бақылауға болады? Бақылау, зерттеу нәтижелерін реферат түрінде жазып көрсетіңдер.



Тапсырма (эксперименттік талдау)

Қабырғасы мөлдір ыдысқа органикалық шыныдан жасалған пластинаны қиғаштай түсіріп, ыдысқа күйбағыс майын құйыңдар. Байқағандарыңды сипаттап жазыңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Жарық сәулесі скипидардан ауаға өтеді. Бұл сәуле үшін шағылу бұрышының шекті көрсеткіші $42^{\circ}23'$. Жарықтың скипидарда таралу жылдамдығын табыңдар.

Берілгені:

$$\alpha_0 = 42^{\circ}23'$$

$$\beta = 90^{\circ}$$

$$v_{ck} = ?$$

Шешуі:

Толық ішкі шағылу кезінде сыну бұрышы 90° -қа тең. Жарықтың сыну заңы бойынша

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \text{ немесе } \frac{\sin \alpha_0}{\sin \beta} = \frac{v_{ck}}{c}.$$

v_{ck} – жарықтың скипидардағы, ал c – вакуумдағы (ауадағы) жылдамдықтары.

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_{ck}}{c}, \quad v_{ck} = c \sin \alpha_0$$

$$v_{ck} = 3 \cdot 10^8 \sin 42^{\circ}23' = 2,02 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Жауабы: $v_{ck} = 2,02 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 6.4.1. Абсолюттік сыну көрсеткіші 1,54 болатын ас тұзы үшін толық ішкі шағылу бұрышының шекті мәнін анықтаңдар. (*Жауабы:* $40,5^{\circ}$)
- 6.4.2. Жарық сәулесі сұйықтан ауаға өтеді. Толық ішкі шағылу бұрышының шекті көрсеткіші 45° . Жарықтың сұйықта таралу жылдамдығын анықтаңдар. (*Жауабы:* $2,1 \cdot 10^8 \text{ м/с}$)
- 6.4.3. Судың төменгі қабатынан тараған жарық сәулесі оның бетінен толық ішкі шағылады. Егер су бетіне самырсын майын құйса, сәуле ауаға шыға ала ма?

В

- 6.4.4. Жарықтың нүктелік көзі тереңдігі 3 м суқоймасының түбінде орналасқан. Ауаға шықтастан бұрын жарықтың суда жүрген ең үлкен жолын анықтаңдар. Судың салыстырмалы сыну көрсеткіші $\frac{4}{3}$. (Жауабы: 4,5 м)
- 6.4.5. Шыныда радиусы 15 мм сфералық ауа қуысы бар. Қуысқа жарық сәулелеріне параллель диаметрі үлкен жарық шоғы түседі. Қуысқа өтетін жарық шоғының радиусын анықтаңдар. Шынының сыну көрсеткіші 1,5. (Жауабы: 10 мм)
- 6.4.6. Слюдаға 54° -пен түскен жарықтың сыну бұрышы 30° болса, оның слюдадағы жылдамдығы және осы ортаның сыну көрсеткіші қандай болады? Слюда үшін толық ішкі шағылудың шекті бұрышын да табыңдар. (Жауабы: 1,62; $1,85 \cdot 10^8$ м/с; 38°)

С

- 6.4.7. Жарық сәулесі шыны призманың бетіне перпендикуляр бағытта түседі. Призманың сындырушы бұрышының қандай ең кіші мәнінде оның екінші бетінде жарықтың толық ішкі шағылуы орын алады? Шынының сыну көрсеткіші 1,5. (Жауабы: 42°)
- 6.4.8. Сыну көрсеткіші $\sqrt{2}$ сұйықтың бетінде радиусы 80 см қара диск қалқып тұр. Дискінің осі бойымен оның астындағы 1 м тереңдіктен нүктелік жарық көзі вертикаль жоғары 5 мм/с тұрақты жылдамдықпен көтеріліп келеді. Қанша уақыттан кейін жарық көзі сыртқы бақылаушы үшін көзге көрінбейтін болады? (Жауабы: 40 с)
- 6.4.9. Жарықжетектегіш сыну көрсеткіші 1,2 болатын біртекті мөлдір материалдан жасалған ұзын жіңішке жіп болып табылады. Оның бір ұшының қимасына жақын S жарық көзі орналасқан, екінші ұшы экраннан 50 см қашықтықта. Экрандағы жарық дағының d диаметрін анықтаңдар. (Жауабы: 88,6 см)
- 6.4.10. Ұзын, әрі өте жіңішке түзу жіп – жарықжетектегіш сыну көрсеткіші $n = \sqrt{1,25}$ мөлдір материалдан жасалған. Жіптің бір ұшы шашыраған жарық көзіне жапсырыла бекіген. Жіптің екінші ұшы оған (оптикалық талшыққа) перпендикуляр қойылған экраннан 7 см қашықтықта орналасқан. Экрандағы жарық дағының диаметрін анықтаңдар. Оптикалық талшықтың диаметрі жарық дағының диаметрінен кіші деп есептеңдер. (Жауабы: 8,1 см)

№5 зертханалық жұмыс**Шынының сыну көрсеткішін анықтау**

Жұмыстың мақсаты: шынының сыну көрсеткішін жазық параллель пластинаның көмегімен анықтау.

Құрал-жабдықтар: 1) қырлары тегістелген жазық параллель пластина; 2) өлшеуіш сызғыш; 3) тікбұрышты сызғыш.

Қысқаша теориясы. Жазық параллель пластинаның көмегімен сыну көрсеткішін анықтау әдісі жазық параллель пластинадан өткен сәуле түсу бағытына параллель шығатынына негізделген.

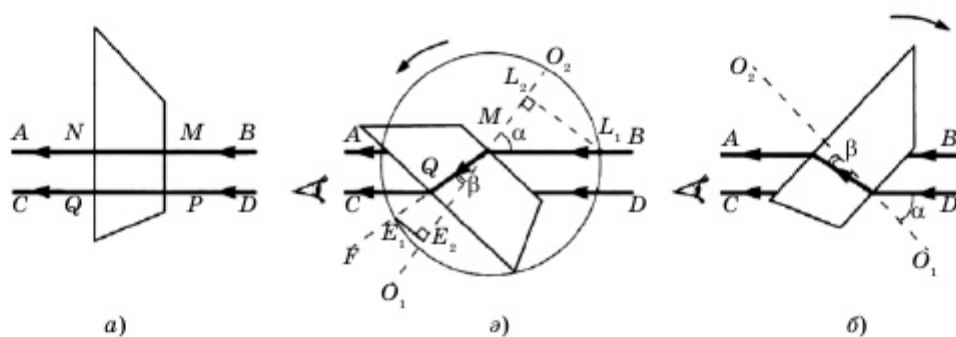
Сыну заңына сәйкес ортаның сыну көрсеткіші:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (1)$$

Мұндағы $\sin \alpha$ және $\sin \beta$ шамаларын есептеу үшін қағаз бетінде екі AB және CD параллель түзуін бір-бірінен 5–10 мм қашықтықта жүргізеді де, оларға шыны пластинаның параллель қырлары перпендикуляр болатындай етіп қояды. Пластина осылай орналасса, параллель түзулер ығыспайды (6.4.6, *a*-сурет).

AB және CD сызықтарын шыны арқылы үстел бетінің деңгейінде бақылай отырып, пластинаны тік осьтің айналасында сағат тіліне қарсы бағытта (6.4.6, *a*-сурет). QC сәулесі BM және MQ жалғасы болып көрінгенше бұрады.

Өлшеу нәтижелерін өңдеу үшін пластинаның контурын қарындашпен қоршап, сәулелердің түскен және шыққан нүктелерін белгілеп, оны қағаздан алып тастайды. M нүктесі арқылы пластинаның параллель қырларына O_1O_2 сызығын перпендикуляр жүргізеді және MF түзуін салады.



6.4.6-сурет. Жазық параллель пластина көмегімен шынының сыну көрсеткішін анықтау

Содан кейін BM және MF түзулерінің бойына ұзындықтары бірдей $ME_1 = ML_1$ кесінділерін салады да, тікбұрышты сызғыштың көмегімен L_1 және E_1 нүктелерінен O_1O_2 түзуіне L_1L_2 және E_1E_2 перпендикулярларын түсіреді. L_1L_2M және E_1E_2M тікбұрышты үшбұрыштардан мыналарды табады: $\sin \alpha = \frac{L_1L_2}{ML_1}$ және $\sin \beta = \frac{E_1E_2}{ME_1}$.

Демек,
$$n = \frac{L_1L_2}{E_1E_2}, \quad (2)$$

яғни сыну коэффициентін өлшеу L_1L_2 және E_1E_2 кесінділерінің ұзындығын сызғышпен өлшеуге өкеледі.

Айта кету керек, жоғарыда қарастырған тікбұрышты үшбұрыштарды басқа тәсілмен де салуға болады, мысалы: циркульдің көмегімен центрі M нүктесі бола-

тындай етіп радиусы ME шеңбер, содан кейін тікбұрышты сызғыштың көмегімен L_1L_2M және E_1E_2M тікбұрышты үшбұрыштарын саламыз.

Осыған ұқсас салуларды жазық параллель пластинаны сағат тілі бойымен бұрған кезде орындауға болады (6.4.6, б-сурет), сөйтіп, шынының сыну көрсеткішінің екінші сандық мәні табылады. Сонда қорытынды нәтиже үшін алдыңғы және соңғы өлшеулердің орташа мәнін алады.

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Жазық параллель пластинаны параллель AB және CD түзуіне қырынан қойыңдар.



а) Алдымен пластинаның параллель қырларын AB және CD түзулеріне перпендикуляр орналастырыңдар. Параллель сызықтардың жылжымайтынына немесе өзгеріп кетпейтініне көз жеткізіңдер.

ә) AB және CD сызықтарын шыны арқылы бақылап, пластинаны сағат тіліне қарсы бағытта тік осьтің айналасында QC сәулесі BM және MQ жалғасы болып көрінгенше бұрыңдар.

2. Пластинаның контурын, түскен және шыққан сәулелердің орындарын қарындашпен белгілеп, содан кейін оны қағаздан алып тастаңдар.

3. M нүктесі арқылы (6.4.6, ә-суретті қара) тікбұрышты сызғыштың көмегімен пластинаның параллель қырларына O_1O_2 сызығын перпендикуляр жүргізіңдер және MF (MQ жалғасы) салыңдар.

4. Центрі M нүктесінде болатын кез келген радиуспен шеңбер жүргізіп, BM және MF түзулерінің бойындағы L_1 және E_1 нүктелерін ($ML_1 = ME_1$) белгілеңдер.

5. Тікбұрышты сызғышты пайдаланып, O_1O_2 түзуіне L_1 және E_1 нүктелерінен перпендикулярларды түсіріңдер.

6. Кесіндінің $L_1L_2 = a$ ұзындығын сызғышпен өлшеңдер. Δa -ны табыңдар.

7. $a \pm \Delta a$ шамасын табыңдар.

8. $E_1E_2 = b$ кесіндінің ұзындығын сызғышпен өлшеңдер: Δb шамасын табыңдар.

9. Соңғы өлшеу нәтижесін жазыңдар:

$$b \pm \Delta b =$$

10. $n = \frac{L_1L_2}{E_1E_2} = \frac{a}{b}$ формуласы бойынша шынының сыну көрсеткішін есептеңдер.

11. Шынының сыну көрсеткішін өлшеудің абсолюттік қатесін табыңдар:

$$\Delta n = n \cdot \varepsilon = n \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right) = b\Delta a + a\Delta b =$$

12. Шынының сыну коэффициентін өлшеудің соңғы нәтижесін жазыңдар:

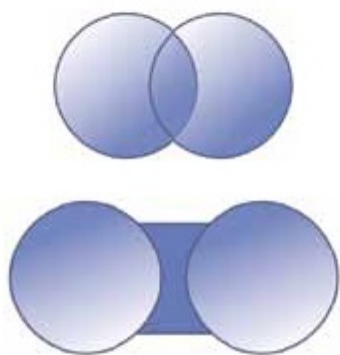
$$n \pm \Delta n =$$

§ 6.5

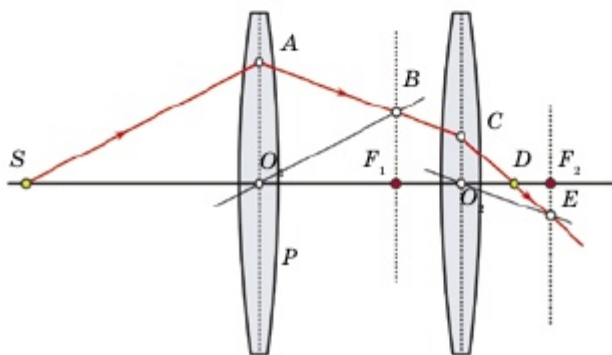
Линзалар жүйелерінде кескіндер салу. Жұқа линзаның формуласы. Оптикалық аспаптар

1. Линза адамзаттың ойлап тапқан ұлы жаңалықтарының бірі болып саналады. Линза XVII ғасырда-ақ, бір жағынан, телескопты жасап, Жер – Ғаламның центрі деген көзқарастың жалғандығын дәлелдеді. Екіншіден, микроскопты жасап, микроағзалар әлемін ашуға әкелді.

Линза деп жарық сәулелерін сындырып, нәрселердің оптикалық кескіндерін қалыптастыра алатын екі сфералық бетпен шектелген мөлдір денені айтады (6.5.1-сурет).



6.5.1-сурет. Дөңес және ойыс линзалар



6.5.2-сурет. Линзалар жүйесіндегі сәулелер жолы

Беттерінің қисықтық радиустарымен салыстырғанда қалыңдығын елемеуге болатын линза *жұқа линза* деп аталады. Жұқа линзалардың басты қасиеті – нәрсенің қандай да бір нүктесінен шыққан барлық осьтік сәулелер жұқа линзадан өткеннен кейін қайтадан бір нүктеде жиналады.

Шынайы оптикалық жүйелерде әдетте бірнеше линзалардан тұратын жүйе қолданылады; онда жүйелердегі кескін бірнеше линзада сәуле жолын салу арқылы, одан кейін екіншісінде және т.б. линзаларда салу арқылы алынады.

Линзалар жүйесіндегі сәулелер жолы бір линза үшін салынатын сәулелер жолына ұқсас әдіспен салынады. Екі линзадан тұратын жүйені қарастырайық (6.5.2-сурет), бірінші линзаның фокустық арақашықтығы O_1F_1 , екіншісінікі – O_2F_2 болсын. Бірінші линза үшін SAB жолын салып, AB кесіндісін екінші линзаның C нүктесіне енгенше созайық.

O_2 нүктесінен AB кесіндісіне параллель O_2E сәулесін жүргіземіз. Бұл сәуле екінші линзаның фокалдық жазықтығын E нүктесінде кесіп өтеді. Жұқа линзаның қасиетіне сәйкес AB сәулесі екінші линзадан өткеннен кейін CE жолымен жүреді. Осы сызықтың екінші линзаның оптикалық осімен қиылысуы D нүктесін береді. Бұл нүктеде S көзден шығып, екі линза арқылы өткен барлық сәулелер тоғысады.

Бірінші линзада алынған нәрсенің (дененің) кескіні (шын немесе жорамал), екінші линза үшін кескіні алынатын дене болып табылады. Бұл екінші кескін де жорамал немесе шын болуы мүмкін. Екі жұқа линзадан тұратын оптикалық жүйедегі есептеу линза формуласын екі рет қолдану арқылы жүргізіледі.

Күрделі оптикалық жүйелерді жасау үшін линзаларды бір-біріне қисындастыра орналастырудың әртүрлі амалдары қолданылады. Екі линзадан тұратын жүйенің D оптикалық күші әр линзаның оптикалық күштерінің қарапайым қосындысы ретінде табуға болады (ол үшін екі линза да жұқа және олар ортақ ось бойында мейлінше жақын орналасу шарты қойылады):

$$D = D_1 + D_2 \text{ немесе } \frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}. \quad (6.12)$$

Егер линзалар бір-бірінен белгілі бір қашықтықта бір осьтің бойында орналасса (осындай қасиеттерге ие линзалардың кез келген санынан тұратын жүйе *центрленген жүйе* деп аталады), онда олардың жалпы оптикалық күшін жеткілікті дәрежедегі дәлдікпен мына өрнек бойынша табуға болады:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} - \frac{L}{F_1 F_2}, \quad (6.13)$$

мұндағы L – линзалардың бас жазықтықтарының арақашықтығы.

Бірнеше линзаларды қатар қолданатын жүйелерге микроскоп пен телескоп жатады (олар кейінірек қаралады).

Линзаға оның фокусы жақын болған сайын сәулелерді тоғыстырып немесе шашыратып күштірек сындырады; оптикалық күші де соншалықты үлкен болады. Линзаның D оптикалық күші сфера беттерінің R_1 және R_2 қисықтық радиустарына да, линза затының сыртқы ортамен салыстырғандағы сыну көрсеткішінің n шамасына да тәуелді. Мұндай байланыс оптикада дәлелденген мына формула бойынша өрнектеледі:

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (6.14)$$

Дөңес беттердің қисықтық радиустары оң, ойыс беттер үшін теріс деп алынады. Бұл формула оптикалық күштері алдын ала берілген линзаларды жасау үшін қолданылады.

2. Жинағыш және шашыратқыш линзалардың қисындастырылған күрделі жүйесінен тұратын оптикалық аспаптар адамға екі әлемді – үлкен қашықтықтағы ғарышты және микроағзалардан тұратын микродүниені ашты.

Оптикалық аспаптар – линзалар жүйесі жәрдемімен зерттелетін объектіден келіп түскен жарықты түрлендіретін (сындыратын, шағылдыратын) құрылғылар.

Оптикалық аспаптарды қолдану мақсаттарына қарай екі топқа бөлуге болады:

- 1) өте ұсақ заттарды үлкейтіп көрсететін аспаптар (лупа, микроскоп);
- 2) алыстағы объектілерді жақындатуға арналған аспаптар (көру түтігі, бинокль, телескоп және т.б.).



6.5.3-сурет. Лупа мүмкіндік берді.

Нәрсені оптикалық аспап арқылы бақылаған кездегі көру бұрышының құралсыз көзбен қараған кездегі көру бұрышына қатынасы аспаптың **бұрыштық үлкейтуі** деп аталады:

$$\gamma = \left(\frac{\varphi}{\psi} \right).$$

(6.15) Бұрыштық үлкейту визуалды бақылау кезіндегі оптикалық аспаптардың маңызды сипаттамасы болып табылады.

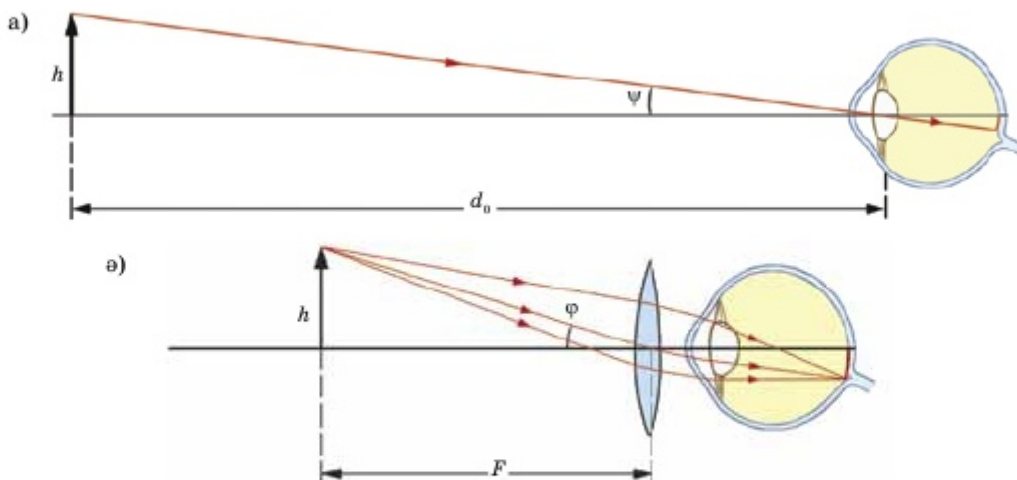
Визуалды бақылауға арналған ең қарапайым оптикалық аспапқа лупа жатады (6.5.3-сурет). Лупаны XVII ғасырдың екінші жартысында нидерландық табиғатты зерттеушісі А. Левенгук ойлап тапты, бұл лупа нәрсені 300 рет үлкейтуге

Лупаның әрекет ету принципі жинағыш линзаның қасиетін пайдалануға, яғни жорамал, тура және үлкейтілген кескіндерді алуға негізделген.

Лупа арқылы қарағанда (6.5.4, а-сурет) нәрсе $\varphi = \frac{h}{F}$ бұрышымен көрінеді (өйткені φ бұрышының шамасы өте кіші, сондықтан $tg\varphi = \frac{h}{F} = \varphi$), мұндағы h – нәрсенің сызықтық өлшемі (6.5.4, а-сурет). Осы нәрсені құралсыз көзбен қараған кезде оны қалыпты көздің ең жақсы көру қашықтығында $d_0 = 25$ см орналастыру керек. Сонда нәрсе мына бұрышпен көрінеді (6.5.4, а-сурет):

$$\psi = \frac{h}{d_0}. \tag{6.16}$$

Демек, лупаның **бұрыштық үлкейтуі** мынаған тең: $\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{d_0}{F}$. \tag{6.17}



6.5.4-сурет. Нәрсеге лупасыз қарағандағы (а) және лупамен қарағандағы (ә) сәулелердің жолдары

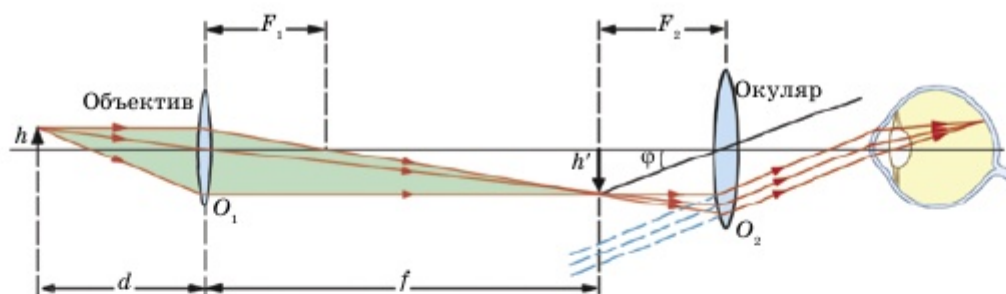
Микроскоп (6.5.5-сурет) өте ұсақ нәрселерді үлкейтіп көру үшін қолданылады. Микроскоптағы нәрсенің үлкейтілген кескіні оптикалық жүйе арқылы алынады, ол екі қысқа фокусты линза – O_1 объективтен және O_2 окулярдан тұрады (6.5.6-сурет). Объектив нәрсенің төңкерілген шынайы үлкейтілген кескінін береді. Бұл аралық кескін қысқафокустық жинағыш линзаға (лупаға) ұқсас окуляр арқылы көзге көрінеді. Окулярды аралық кескін оның фокалдық жазықтығында болатындай етіп орналастырады; бұл жағдайда нәрсенің кез келген нүктесінен сәулелер окулярдан кейін параллель шоқтар түрінде тарайды. Окуляр арқылы қарастырылатын нәрсенің жорамал кескіні әрқашан төңкерілген болады. Егер бұл қолайсыз болса (мысалы, кішкентай шрифтпен оқығанда), нәрсенің өзін объективтің алдында төңкеруге болады. Сондықтан микроскоптың бұрыштық үлкейтуі оң шама деп санау қалыптасқан.



6.5.5-сурет. Микроскоп

6.5.6-суреттен көру бұрышының өте кішілігін ескеріп, мыналарды аламыз:

$\varphi = \frac{h'}{F_2} = \frac{f \cdot h}{d \cdot F_2}$. Мұндағы d және f шамаларын жуықтап басқа шамаларға ауыстыруға болады: $d \approx F_1$ және $f \approx l$, мұндағы l – объектив пен микроскоп окулярының арасындағы қашықтық («тубус ұзындығы»).



6.5.6-сурет. Микроскоп окулярындағы сәулелердің жүру жолы

Сол нәрсені құралсыз көзбен қараған кезде (6.16) формуласына сәйкес көру бұрышы: $\psi = \frac{h}{d_0}$. Нәтижесінде, микроскоптың бұрыштық үлкейтуіне арналған формула былай жазылады:

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{l \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2} \quad (6.18)$$

Жақсы микроскоп бірнеше жүз есе үлкейте алады. Одан әрі үлкейту барысында дифракциялық құбылыстар пайда болады.

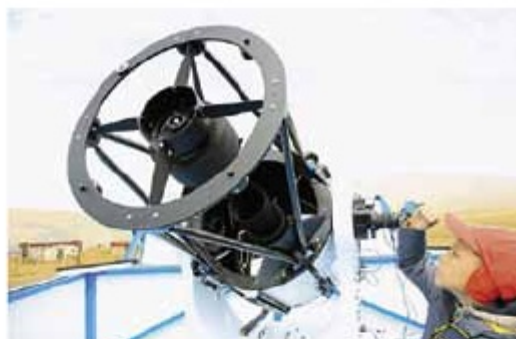
1609 жылы Галилео Галилей Нидерландыда ойлап тапқан **көру түтігі** туралы оған жеткен мәліметтердің негізінде өзінің алғашқы телескопын құрастырды. Ғалым көп ұзамай 32 есе үлкейтетін телескоп құрастырып, оның көмегімен Айдағы таулар мен кратерлерді және Күндегі дақтарды ашты. Юпитердің төрт серігі, Шолпан планетасының фазасы анықталды.

Көру түтігінің екі түрі бар, оларға мыналар жатады:

- **Астрономиялық бақылауға арналған Кеплердің көру түтігі.** Ол қашықтағы нәрсенің үлкейтілген және төңкерілген кескіндерін береді, сол себепті Жердегі бақылаушыға ыңғайсыз.

- **Жердегі бақылаушыға арналған Галилейдің көру түтігі** үлкейтілген тура кескіндерді береді. Галилей түтігінде окуляр шашыратқыш линза қызметін атқарады.

Телескоптар (көру түтігі) қашықтағы объектілерді бақылауға арналған. Олар екі линзадан тұрады: нәрсеге қараған фокустық қашықтығы (линза) үлкен жинағыш линза және бақылаушыға қараған фокустық қашықтығы (окуляр) кішкентай линза. Мысалы, Алматы облысындағы, қазіргі телескоптар Тянь-Шань астрономиялық обсерваториясында, Асы-Түрген обсерваториясында жұлдыздар мен ғарыштағы объектілерді бақылау үшін қолданылады (6.5.7-сурет және 6.5.8-сурет).

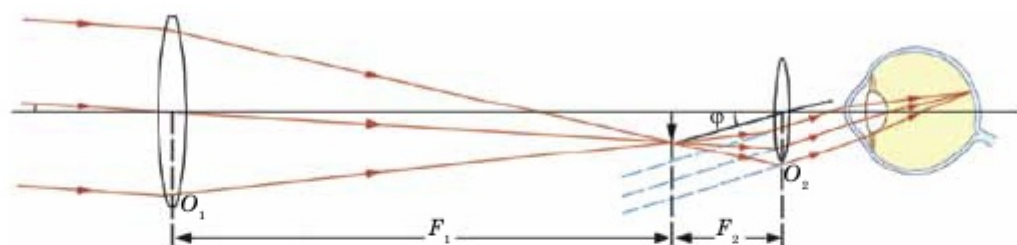


6.5.7-сурет. Тянь-Шань обсерваториясының телескопы



6.5.8-сурет. Асы-Түрген обсерваториясы

Астрономиялық телескоптағы сәулелер жүрісі 6.5.9-суретте бейнеленген. Бақылаушының көзі шексіздікке бейімделген деп есептелінеді, сондықтан қашықтағы нәрсенің әрбір нүктесінен тараған сәулелер окулярдан параллель шоқ түрінде шығады. Сәулелердің мұндай жүрісі *телескоптық* деп аталады. Астрономиялық түтікте сәулелердің телескоптық жүрісіне қол жеткізу үшін мына шарт орындалуы қажет: объектив пен окуляр арасындағы қашықтық олардың фокустық арақашықтықтарының қосындысына тең болуы қажет, яғни $l = F_1 + F_2$. Көру түтігі (телескоп) әдетте *үбұрыштық үлкейтүімен* сипатталады.



6.5.9-сурет. Астрономиялық телескоптағы сәулелер жүрісі

Телескоптың микроскоптан айырмашылығы онда бақыланатын нәрселер әрдайым бақылаушыдан алыста орналасады. Егер қашықтағы нәрсе ψ бұрышымен көзге көрінсе, телескоп арқылы ϕ бұрышымен байқалса, онда $\gamma = \frac{\phi}{\psi}$ қатынасы бұрыштық үлкейту деп аталады. Г сызықтық үлкейту сияқты ϕ бұрыштық үлкейтуге де кескіннің тура немесе төңкеріп шығуына байланысты плюс және минус таңбаларын қосып жазуға болады. Кеплер астрономиялық түтігінің бұрыштық үлкейтуі теріс, ал Галилейдің түтігінде оң таңба қолданылады. **Көру түтігінің бұрыштық үлкейтуі** фокустық қашықтықтар арқылы беріледі:

$$\gamma = \frac{F_1}{F_2}. \quad (6.19)$$

Үлкен астрономиялық телескоптарда объектив ретінде линзалар емес, сфералық айналар қолданылады. Мұндай телескоптар **рефлекторлар** деп аталады.



Қосымша деректер

Төрткөзді балықта шын мәнінде екі көз бар, алайда әр көз көлденең жарғақпен бөлінген. Осының арқасында төрткөзділер барлық омыртқалылардың ішінде судың беткі қабатында жүзеді, сөйтіп, судың астындағы дүниені де, үстіндегі дүниені де көре алады. Олардың жақсы көрулеріне ауа мен судың әртүрлі сыну көрсеткіштері кедергі бола алмайды, өйткені көз линзасының төменгі және жоғарғы жарты бөліктері әртүрлі радиуспен иіле алады.



Сұрақтар

1. Линза деп қандай денені айтады? Қандай линза жинағыш және шашыратқыш деп аталады?
2. Екі жұқа линзадан тұратын оптикалық жүйеде жарық көзінен шыққан сәулелер қалай өтеді?
3. Екі линзадан тұратын жүйенің оптикалық күші қалай анықталады?
4. Линзаның фокустық арақашықтығы оның орналасқан ортасының сыну көрсеткішіне байланысты бола ма? Мұндай жағдайда линзаның оптикалық күші қалай анықталады?
5. Қандай аспаптар оптикалық аспаптар қатарына жатады? Олардың ерекшеліктері қандай?

- Линзаның, микроскоп пен телескоптың бұрыштық үлкейтулерін қалай анықтауға болады?
- Лупадағы, микроскоптағы және телескоптағы сәулелер жолын қалай салып, түсіндіруге болады?



Тапсырма (эксперименттік-теориялық зерттеу)

- Күннің көмегімен фокустық қашықтыққа анықтама беріңдер.
- Кеплердің астрономиялық дүрбісінің және Галилей астрономиялық дүрбісінің жұмыс істеу принципін зерттеңдер.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

1-есеп. Оптикалық жүйе фокустық арақашықтықтарының модульдері бойынша бірдей екі линзадан тұрады. Линзалардың бірі – жинағыш, екіншісі – шашыратқыш. Линзалар бір осьтің бойында бір-бірінен алшақ орналасқан. Егер линзалардың орындарын ауыстырып орналастырса, онда Айдың осы жүйеде алынатын шын кескіні $l = 20$ см шамасына ығысады. Әр линзаның фокустық арақашықтықтарын табу керек.

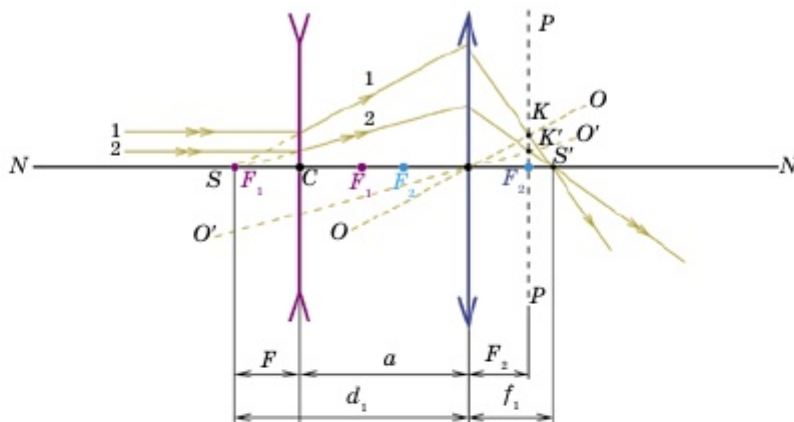
Берілгені:

$$l = 20 \text{ см}$$

$$F = ?$$

Шешуі:

Әуелі 1 және 2 параллель сәулелерінің шашыратқыш линзаға түскен жағдайын қарастырайық (6.5.10-сурет). Сәулелер шашыратқыш линзада сынғаннан кейін, олардың созындылары осы линзаның фокус қашықтығындағы S нүктеде қиылысады. S нүктесі жинағыш линза үшін «зерттеу объектісі» болып табылады.



6.5.10-сурет. Линзалардағы сәулелердің жолдары

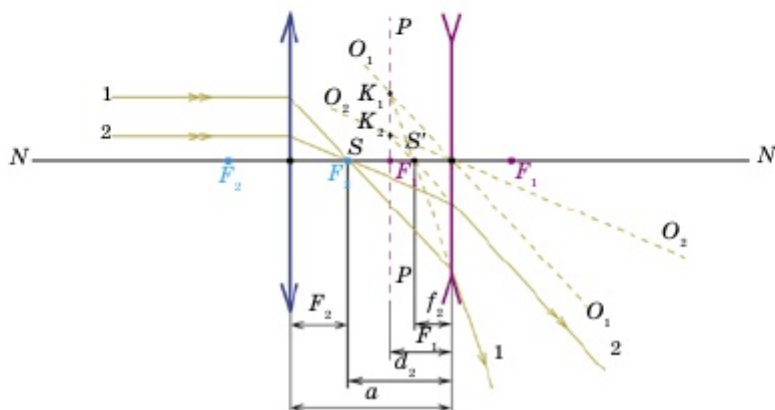
Кескіндерді салу ережесі бойынша «зерттеу объектісінің» жинағыш линзадағы кескінін аламыз. Жинағыш линзаға түскен 1 және 2 сәулелері сынғаннан кейін PP фокалдык жазықтығына жеткен соң, OO және $O'O'$ қосалқы оптикалық осьтердің осы жазықтықпен қиылысатын нүктелері арқылы өтеді де, NN бас оптикалық ось бойындағы S' нүктеде қиылысады.

Жинағыш линзаның формуласын қолданамыз:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1},$$

мұндағы $d_1 = F + a$; $F = F_1 = F_2$ (есептің шарты бойынша).

Енді линзалар орындарын ауыстырып (6.5.11-сурет), 1 және 2 параллель сәулелер жинағыш линзаға түскенде, одан сынғаннан кейін оның фокусында S нүктесінде тоғысады.



6.5.11-сурет. Линзалардағы сәулелердің жолдары

Фокустағы S нүктеден бағыттарын өзгертпей тараған сәулелер шашыратқыш линзаға түседі де, одан сынып шығады; сынған сәулелердің созындылары шашыратқыш линзаның PP фокальдық жазықтығымен O_1O_1 және O_2O_2 қосалқы осьтердің қиылысу нүктелері K_1 және K_2 арқылы өтеді. Объектінің S' кескіні шашыратқыш линзада сынған сәулелердің созындыларының NN бас осьтегі тоғысқан нүктесінде линзада f_2 қашықтықта орналасады. Шашыратқыш линзаның формуласын қолданамыз:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2},$$

мұндағы $d_2 = a - F$.

Формуладан f_1 мен $-f_2$ шамаларын табамыз:

$$f_1 = \frac{F(F + a)}{a}, \quad -f_2 = \frac{F(F - a)}{a}.$$

Есептің шарты бойынша бұл шамалардың айырымы мынаған тең:

$$l = f_1 - (-f_2) = \frac{F(F + a)}{a} - \frac{F(F - a)}{a} = \frac{2Fa}{a} = 2F.$$

Бұдан $F = \frac{l}{2} = 10$ см.

Жауабы: 10 см.

2-есеп. Қосдөңес шыныдан ($n = 1,5$) жасалған линзаның оптикалық күші 5 дптр. Сыну көрсеткіші 1,67 болатын сұйыққа батырылғаннан кейін бұл линза шашыратқыш линза сияқты әрекет етеді. Сұйыққа батырылған линзаның оптикалық күшін және фокустық арақашықтығын анықтау керек.

Берілгені:

$$n = 1,5$$

$$D = 5 \text{ дптр}$$

$$n_1 = 1,67$$

$$D_1 = ?$$

$$F_1 = ?$$

Шешуі:

Егер линза ауада болса, онда линзаның оптикалық күші мынаған тең:

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

$$\text{бұдан } \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{D}{n - 1}. \quad (2)$$

Сұйыққа батырылған шашыратқыш линзаның оптикалық күші:

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \left(\frac{n}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (3)$$

(2) және (3) теңдеулерден:

$$D_1 = \left(\frac{n}{n_1} - 1 \right) \frac{D}{n - 1} = D \frac{(n - n_1)}{n_1 (n - 1)}.$$

(3) теңдеуден фокустық арақашықтықты табамыз:

$$F_1 = \frac{1}{D_1}.$$

$$1) D_1 = \frac{5(1,5 - 1,67)}{1,67(1,5 - 1)} = -1,018 \text{ дптр.}$$

$$2) F_1 = \frac{1}{-1,018} = -0,98 \text{ м.}$$

Жауабы: -1,018 дптр, -0,98 м.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 6.5.1. Оптикалық күштері 5 дптр және 6 дптр екі линза бір-бірінен 60 см қашықтықта орналасқан. Линзалардағы кескін салуды пайдаланып, бірінші линзадан 40 см қашықтықта орналасқан нәрсенің кескінінің қайда орналасқанын табыңдар. (*Жауабы:* 1 м)
- 6.5.2. Оптикалық жүйе фокустық қашықтығы $F_1 = 20$ см және $F_2 = 10$ см екі жинағыш линзадан тұрады. Линзалардың арақашықтығы 30 см; нәрсе бірінші линзадан 30 см қашықтықта орналасқан. Кескін екінші линзадан қандай қашықтықта алынады? (*Жауабы:* 7,5 см)

- 6.5.3. Шашыратқыш линза өзінің алдында d қашықтықта тұрған нәрсенің кескінін Γ_1 -ге үлкейтіп береді. Фокустық арақашықтығы осындай жинақтағыш линза сондай d қашықтықта орналасқан сол нәрсенің кескінін $2\Gamma_1$ есе үлкейтеді. Линзалардың фокустық арақашықтықтары 2 см деп алып, d арақашықтықты табыңдар. (Жауабы: 6 см)

В

- 6.5.4. Шыны линзаның ауадағы оптикалық күші 5 дптр. Осы линзаның суға батырылған кездегі фокустық арақашықтығын табыңдар. Шынының және судың сыну көрсеткіштері сәйкесінше 1,5; 1,33. (Жауабы: 0,8 м)
- 6.5.5. Сыну көрсеткіші 1,5 болатын шыны кеспегінде қисықтық радиустары 10 см-ге тең қосдөңес линза пішініндегі ауа қуысы бар. Шыны ішінде бас оптикалық осьтің бойында линзадан 20 см қашықтықта құм түйіршігі бар. Линзадан құм түйіршігінің кескініне дейінгі қашықтықты табыңдар. (Жауабы: -8,57 см)
- 6.5.6. Жарықтың параллель шоғы оптикалық күші $D_1 = 2,5$ дптр жинағыш линзаға тік түседі. Одан 20 см қашықтықта оптикалық күші $D_2 = -5$ дптр шашыратқыш линза орналасқан. Линзалардың диаметрі 5 см. Шашыратқыш линзадан 30 см қашықтықта Э экран орналасқан. Экранда линзалар туғызған ашық түсті дақтың диаметрі қандай? (Жауабы: 2,5 см)

С

- 6.5.7. Қисықтық радиустары 12,5 см және 26 см жинағыш линза өзінен 50 см қашықтықтағы нәрсенің линзадан 24 см қашықтықта ауада орналасқан шын кескінін береді. Сұйыққа батырылған осы линза фокустық арақашықтығы 1 м шашыратқыш линза секілді әрекет етеді. Сұйықтың сыну көрсеткішін табыңдар. (Жауабы: 1,66)
- 6.5.8. Беттерінің қисықтық радиусы 0,3 м және 0,5 м қосдөңес шыны линза берілген. Линзаның оптикалық күшін және бас фокустық арақашықтығын табыңдар. Егер линзаны суға батырса, осы сипаттамалар қалай өзгереді? Мұндағы $n_{\text{шыны}} = 1,47$; $n_{\text{су}} = 1,24$. (Жауабы: 2,5 дптр; 0,4 м; 1 дптр; 1 м)

VI ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Жарықтың шағылу заңы:** түскен сәуле, шағылған сәуле және түсу нүктесінен тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; сәуленің түсу бұрышы оның шағылу бұрышына тең: $\alpha = \gamma$.
- Жылтыр бетке түскен параллель шоқтар шағылғанда параллель күйінде қалса, ондай жылтыр бет **жазық айна** деп аталады.

- Шағылдыратын беті сфера сегменті болатын айна **сфералық айна** деп аталады. Сфералық айна формуласы: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.

- Сфералық айнаның **сызықтық үлкейтуі** оның H кескіні мен нәрсенің h сызықтық өлшемдерінің қатынасы арқылы анықталады: $\Gamma = \frac{H}{h}$.

- **Жарықтың сыну заңы**: түскен сәуле, сынған сәуле, түсу нүктесінен екі ортаның шегарасына тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; сонымен қатар түсу бұрышы синусының сыну бұрышы синусына қатынасы және екінші ортаның абсолюттік сыну көрсеткішінің бірінші ортаның абсолюттік сыну көрсеткішіне қатынасы өзара тең әрі тұрақты шама:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n = \text{const},$$

мұндағы n – екі ортаның **салыстырмалы сыну көрсеткіші**.

- **Жарықтың толық ішкі шағылуы** деп түсу бұрышы белгілі бір шекті α_0 бұрышынан үлкен болғанда жарық сәулесінің сыну көрсеткіші үлкен ортадан сыну көрсеткіші кіші ортаға қарай өткенде оның екі мөлдір ортаның шегарасындағы шағылуын айтады.

- **Жарықжетектегіш (оптикалық талшық)** цилиндр пішіндес шыны талшық болып табылады; оның беті шынының сыну көрсеткішінен кіші көрсеткіші бар мөлдір қабықшамен қапталады.

- **Линза** деп жарық сәулелерін сындырып, нәрселердің оптикалық кескіндерін қалыптастыра алатын екі сфералық бетпен шектелген мөлдір денені айтады.

- Дене бетінің қисықтық радиусымен салыстырғанда қалыңдығы аз болатын линза **жұқа линза** деп аталады. **Жұқа линзаның формуласы**: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.

- **Линзаның оптикалық күші** D деп бас фокус арақашықтығына кері шаманы атайды: $D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$.

- Нәрсені оптикалық аспап арқылы бақылаған кездегі көру бұрышының құралсыз көзбен қараған кездегі көру бұрышына қатынасы аспаптың **бұрыштық үлкейтуі** $\gamma = \frac{\Phi}{\Psi}$ деп аталады.

№1 ҚОСЫМША

Компьютерлік модельдеу арқылы зарядтың және ток күшінің уақытқа тәуелділік графигін талдауға болады. Ол үшін Excel-де құрылған кестедегі цифрлық мәндер негізінде электрлік тізбектегі тербелістерді модельдеу жүзеге асырылады.

Практикалық тапсырма

Электрмагниттік толқындарды компьютерлік модельдеу

Тапсырманы орындау реті.

1. Excel кестелерін ашамыз. А бағанына керекті формулаларды енгіземіз және 1-суретте көрсетілгендей бастапқы мәліметтерді енгізу үшін ұяшықтар дайындамыз.

	A	B
1	Есептеу формулалары	
2	$\omega(0) = 1/\sqrt{LC}$	
3	$q = q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi)$	
4	$I = \omega(0) q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi + (\pi/2))$	
5		
6	Бастапқы мәліметтер	
7	Бастапқы уақыт мезетіндегі конденсатор заряды (Кл)	$q_{(\max)} =$
8	Шарғы индуктивтілігі (Гн)	$L =$
9	Конденсатор сыйымдылығы (Ф)	$C =$

1-сурет

2. $I(t)$ және $q(t)$ графиктерін салу үшін кестелерді дайындаймыз (2-сурет). 500 ұяшықтан кем емес (E бағаны).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Есептеу формулалары				N	Уақыт, с	Заряд, Кл	Уақыт, с	Ток күші, А
2	$\omega(0) = 1/\sqrt{LC}$				1				
3	$q = q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi)$				2				
4	$I = \omega(0) q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi + (\pi/2))$				3				
5					4				
6	Бастапқы мәліметтер				5				
7	Бастапқы уақыт мезетіндегі конденсатор заряды (Кл)	$q_{(\max)} =$			6				
8	Шарғы индуктивтілігі (Гн)	$L =$			7				
9	Конденсатор сыйымдылығы (Ф)	$C =$			8				
10					9				
11					10				

2-сурет

3. Бағдарлама қадамын есептейік (Δt уақыт интервалы). 3-суреттегідей В12 ұяшығына уақыттың бастапқы мәнін енгіземіз «0»; В13 ұяшығына – уақыттың максимал мәнін, мысалы, «0,005»; В13 – Δt уақыт интервалы « $=(B13-B12)/E501$ » (3-сурет).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Есептеу формулалары				N	Уақыт, с	Заряд, Кл	Уақыт, с	Ток күші, А
2	$\omega(0) = 1/\sqrt{LC}$				1				
3	$q = q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi)$				2				
4	$I = \omega(0) q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi + (\pi/2))$				3				
5					4				
6	Бастапқы мәліметтер				5				
7	Бастапқы уақыт мезетіндегі конденсатор заряды (Кл)	$q_{(\max)} =$			6				
8	Шарғы индуктивтілігі (Гн)	$L =$			7				
9	Конденсатор сыйымдылығы (Ф)	$C =$			8				
10					9				
11	Уақыт интервалы				10				
12	$t(0) =$	0			11				
13	$t(\max) =$	0,005			12				
14	$\Delta t =$	0,00001			13				

3-сурет

4. Бастапқы мәліметті толтырамыз. Мысалы, уақыттың бастапқы мезетіндегі конденсатор заряды $q_{\max} = 0,000002$ Кл, $L = 0,5$ Гн, $C = 0,00000005$ Ф.

5. Жиілікті есептейміз. В2 ұяшығына « $=1/(C8*C9)$ » формуласын жазамыз.

6. (F) уақыт бағанына жазамыз: ұяшық F2 «=B12»;
 ұяшық F3 «=F2 + B\$14»; ұяшық F4 «=F3 + B\$14»;
 ұяшық F5 «=F4 + B\$14» және т.б.

7. (G) Заряд бағанын толтырамыз:
 ұяшық G2 «=C7»; ұяшық G3 «=C\$7*cos(B\$2*F3)»;
 ұяшық G4 «=C\$7*cos(B\$2*F4)»;
 ұяшық G5 «=C\$7*cos(B\$2*F5)» және т.б.

8. (H) уақыт бағанын толтырамыз:
 ұяшық H2 «=F2»; ұяшық H3 «=F3»;
 ұяшық H4 «=F4»;
 ұяшық H5 «=F5» және т.б.

9. (I) ток күші бағанын толтырамыз:
 ұяшық I2 «0»;
 ұяшық I3 «=B\$2*C\$7*cos(B\$2*H3+(3,14/2))»;
 ұяшық I4 «=B\$2*C\$7*cos(B\$2*H4+(3,14/2))»;
 ұяшық I5 «=B\$2*C\$7*cos(B\$2*H5+(3,14/2))» және т.б.

Алынған нәтиже 4-суретінде көрініп тұр.

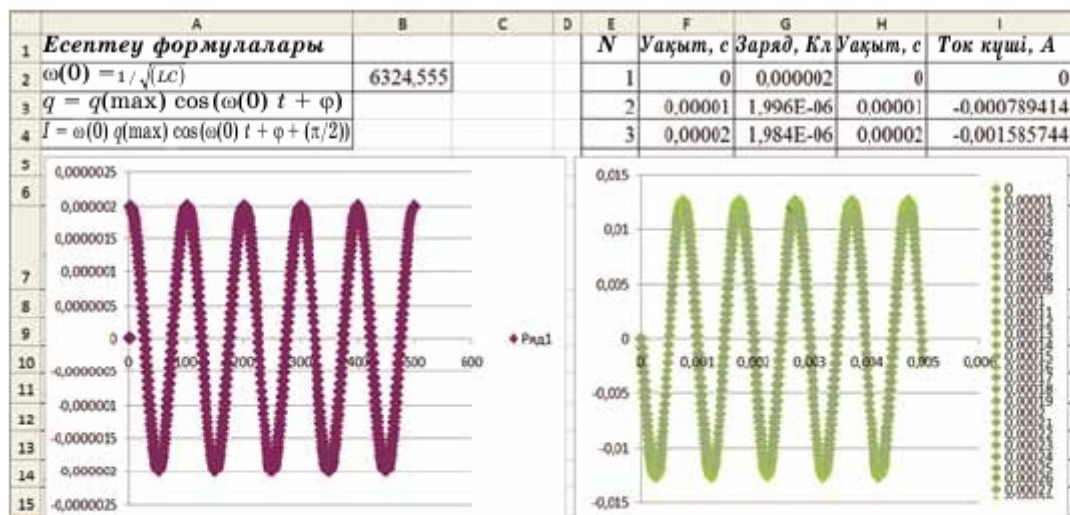
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Есептеу формулалары				N	Уақыт, с	Заряд, Кл	Уақыт, с	Ток күші, А
2	$\omega(0) = 1/\sqrt{LC}$	6324,555			1	0	0,000002	0	0
3	$q = q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi)$				2	0,00001	1,996E-06	0,00001	-0,000789414
4	$I = \omega(0) q(\max) \cos(\omega(0) t + \varphi + (\pi/2))$				3	0,00002	1,984E-06	0,00002	-0,001585744
5					4	0,00003	1,964E-06	0,00003	-0,002375733
6	Бастапқы мәліметтер				5	0,00004	1,936E-06	0,00004	-0,003156223
7	Бастапқы уақыт мезетіндегі конденсатор заряды (Кл)	$q_{(\max)} =$	0,000002		6	0,00005	1,901E-06	0,00005	-0,003924091
8	Шарғы индуктивтілігі (Гн)	$L =$	0,5		7	0,00006	1,858E-06	0,00006	-0,004676269
9	Конденсатор сыйымдылығы (Ф)	$C =$	0,0000005		8	0,00007	1,807E-06	0,00007	-0,005409748
10					9	0,00008	1,749E-06	0,00008	-0,006121595
11	Уақыт интервалы				10	0,00009	1,685E-06	0,00009	-0,006808963
12	$t(0) =$	0			11	0,0001	1,613E-06	0,0001	-0,007469105
13	$t(\max) =$	0,005			12	0,00011	1,535E-06	0,00011	-0,008099381
14	$\Delta t =$	0,00001			13	0,00012	1,451E-06	0,00012	-0,00869727

4-сурет

10. F және G бағандарын 2–501 жолы арасында белгілейміз. Бас менюде **Вставка** → **Диаграмма** → **Точечная** орындаймыз.

11. H және I бағандарын 2–501 жолы арасында белгілейміз. Бас менюде **Вставка** → **Диаграмма** → **Точечная**.

12. Зарядтың уақытқа тәуелділік графиктерін (қызыл) және ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін алдық (жасыл) (5-сурет).



5-сурет

Бастапқы мәліметтерді өзгертіп, $i(t)$ және $q(t)$ функциялары графиктерінің өзгерісін байқаймыз. Қорытынды жасаймыз.

№2 ҚОСЫМША

1. Іргелі физикалық тұрақтылар

Еркін түсу үдеуі	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитациялық тұрақты	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Жарықтық вакуумдағы жылдамдығы	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Элементар заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электр тұрақтысы	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магниттік тұрақты	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

2. Бірліктер атауының ондық үлестері

Аталуы	Белгіленуі	Негізгі бірлікке қатынасы	Аталуы	Белгіленуі	Негізгі бірлікке қатынасы
пета	П	10^{15}	деци	д	10^{-1}
тера	Т	10^{12}	сантис	с	10^{-2}
гига	Г	10^9	милли	м	10^{-3}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	нано	н	10^{-9}
гекто	г	10^2	пико	п	10^{-12}
дека	да	10^1	фемто	ф	10^{-15}

3. Өртүрлі ортадағы дыбыс жылдамдығы

Газ, 0°С	v , м/с	Сұйықтық, 18°С	v , м/с	Қатты дене	v , м/с
Азот	334	Бензин	1166	Алюминий	6260
Сутек	1284	Су	1497	Вольфрам	5460
Ауа	331,45	Глицерин	1923	Темір	5850
Гелий	965	Керосин	1330	Мыс	4700
Оттек	316	Мұнай	1330	Қалайы	3320
Метан	430	Сынап	1451	Қорғасын	2160
Хлор	206	Этил спирті	1180	Қатты болат	6000

4. Өткізгіштердің меншікті электр кедергісі (20°С температурада, мк Ом • м)

Алюминий	0,028	Молибден	0,057
Висмут	1,06	Никель	0,073
Вольфрам	0,055	Қалайы	0,12
Графит	8,0 – 20,0	Қорғасын	0,21
Дюралюминий	0,038	Күміс	0,016
Темір	0,098	Болат	0,10 – 0,14
Алтын	0,024	Мырыш	0,050
Мыс	0,017	Шойын	0,5

5. Өртүрлі ортаның сыну көрсеткіші

Азот	1,000207	Бензин	1,38 – 1,41	Алмас	2,417
Сутек	1,000138	Су	1,333	Тас тұзы	1,544
Су буы	1, 000252	Глицерин	1,47	Кварц	1,54
Ауа	1,000292	Тұз қышқылы	1,254	Мұз	1,31
Гелий	1,000035	Майсана майы	1,48	Рубин	1,76
Оттек	1,000272	Зығыр майы	1,48	Слюда	1,56 – 1,60
Ксенон	1,000702	Скипидар	1,47	Оптикалық шыны	1,51 – 1,77
Неон	1,000067	Спирт (этилдi)	1,354	Янтарь	1,546

6. Ішкі шағылудың шекті бұрышы

Алмас	24°	Этил спирті	47°
Су	49°	Өртүрлі сұрыптағы шыны	30 – 42°
Глицерин	43°	Этил эфирі	47°

7. Көрінетін спектрдің негізгі түстері

Түсі	Толқын ұзындығы		Түсі	Толқын ұзындығы	
	10 ⁻⁷ м	нм		10 ⁻⁷ м	нм
Қызыл	7,6–6,2	760–620	Көгілдір	5,0–4,8	500–480
Қызғылт сары	6,2–5,9	620–590	Көк	4,8-4,5	480–450
Сары	5,9–5,6	590–560	Күлгін	4,5-3,8	450–380
Жасыл	5,6–5,0	560–500			

ГЛОССАРИЙ

Атом электр станциясы (АЭС) – реакторда радиоактивті элементтердің тізбекті ядролық реакциясы кезінде алынған жылу энергиясын электр энергиясына түрлендіріледі.

Байланыс – елдің экономикалық секторындағы маңызды бөлімі, адамдардың қарым-қатынасы, олардың өндірістік, рухани, мәдени және әлеуметтік қажеттіліктерін қанағаттандыру.

Бейнесигнал – теледидар қабылдағышына детекторланған соң дәл алғашқыдай сигнал түседі. Ол вакуумды-электрондық түтіктің – кинескоптың экранында көрінетін кескінге түрленеді.

Гальваникалық элемент – электролиттегі екі металдың немесе олардың тотықтарының өзара әсерлесуіне негізделген электр тогының химиялық көзі.

Детекторлау (демодуляциялау) деп жоғары жиілікті тербелістерді төменгі жиіліктегі электр тербелістеріне түрлендіруді айтады.

Жарық дифракциясы деп жарық сәулелерінің жолындағы мөлдір емес денелерді айналып өтіп, олардың геометриялық көлеңкесі аймағына ену құбылысын айтады.

Жарық толқындарының интерференциясы деп екі немесе бірнеше жарық толқындары қабаттасқанда жарық сәулесі энергиясының кеңістікте қайта таралып бөлінуін айтады.

Жылу электр станциясы (ЖЭС) – органикалық отынды (көмір, газ, мазут, шымтезек, және т. б.) жағу кезінде түзілетін жылу энергиясын электр генераторының жәрдемімен электр энергиясына түрлендіретін станция.

Когорентті толқындар – фазалар айырмасы уақыт бойынша бірдей толқындар.

Модуляция деп тербелістер периодымен салыстырғанда толқын амплитудасының немесе жиілігінің белгілі заңдылық бойынша баяу өзгеруін айтады.

Радиотолқындар арқылы объектіні тауып, оның тұрған орнын дәл анықтау **радиолокация** деп аталады.

Су электр станциясы – су ағынының механикалық энергиясын электр генераторы арқылы электр энергиясына түрлендіретін электр станция.

Тербелістер деп уақыт ағымына қарай дәлме-дәл немесе оған жуық дәлдікте қайталанып отыратын қозғалыстарды немесе процестерді айтады.

Тербеліс периоды – гармоникалық тербелістер жасайтын жүйенің белгілі бір күйі қайталанып отыратын уақыт аралығы және T әрпімен белгілейді.

Тербелмелі контур – сыйымдылығы C конденсатордан және индуктивтілігі L шарғыдан тұратын, периодты электр тербелісін туғызатын тұйық контур.

Термобатарея – жылу энергиясын электр энергиясына түрлендіреді. Термо-батареяларда тізбектей немесе параллель қосылған бірнеше термопарлар пайдаланылады.

Тұтас ортада тербелістердің таралу процесі **толқын** деп аталады.

Толқындық бет – бірдей фазада тербелетін нүктелердің геометриялық орны.

Толқындық шеп – t уақыт мезетінде тербелістер жеткен нүктелердің геометриялық орны.

Трансформация коэффициенті – бірінші реттік шарғыдағы орамдар санының екінші реттік шарғыдағы орамдар санына қатынасын айтады.

Түйіндер – қарама-қарсы фазада тербеліске түскен және шағылған толқындардың қабаттасуы кезінде тыныштық күйде қалатын нүктелер.

Электрмагниттік өріс деп зарядталған бөлшектердің өзара әрекеті жүзеге асырылатын айнаымалы электр және магнит өрістерінің ажырамас бірлігі түріндегі материяның ерекше формасын айтады.

Электрмагниттік тербелістер деп біртұтас электрмагниттік өрістің электр өрісінің кернеулік векторы \vec{E} мен магнит өрісі индукция векторының \vec{B} өзара байланысқан тербелістерін айтады.

Электрмагниттік толқын деп кеңістікте шекті ($c \approx 300\,000$ км/с) жылдамдықпен тарайтын электрмагниттік тербелістерді айтады.

Электрстатикалық машина – электрстатикалық индукция құбылысын пайдалана отырып, механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіреді, осылайша машинаның полюстерінде (Лейден банкаларында) электр зарядтары жинақталады, разрядтағыштардағы потенциалдардың айырымы бірнеше жүз мың вольтқа жетеді.

Электрлік резонанс – электр тогы күшінің тербеліс амплитудасының жиіліктің қандай да бір мәнінде максимум мәнге дейін өсуі.

Электр энергиясы – үлкен және шағын электрстанцияларында негізінен электрмеханикалық индукциялық генераторлардың көмегімен өндіріледі.

Шоқтықтар – бірдей фазада тарайтын екі толқынның қабаттасуы салдарынан тербелістер амплитудасының екі есе өсуі орын алатын нүктелер.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Ақылбеков Ә., Ермекова Ж., Дәулетбекова А. Физика. – Астана: Фолиант, 2015. – 440 с.
2. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я. Задачи по физике для поступающих в вузы. – М.: МГУ, 1968. – 336 с.
3. Воробьев И. И., Зубков П. И., Кугузова Г. А., Савченко О. Я., Трубачев А. М., Харитонов В. Г. Задачи по физике. – М.: Наука, 1988. – 416 с.
4. Гинзбург В. Л., Левин Л. М., Сивухин Д. В., Четверикова Е. С., Яковлев И. А. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика. М., 1977. – 320 с.
5. Гольдфарб Н. И. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Высшая школа, 1973. – 352 с.
6. Косов В. Н., Красиков С. А. Численное моделирование на уроках физики. – Алматы: Алматыкітап, 2015. – 240 с.
7. Московкина Е. Г., Волков В. А. Сборник задач по физике. – М.: ВАКО, 2017. – 320 с.
8. Оськина В.Т. Физика и астрономия. 9–11 классы: олимпиадные задания. – Волгоград.: Учитель, 2011. – 143 с.
9. Романова В. В. Астрономия. Практикум. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2016. – 112 с.
10. Рымкевич А. П. Физика. Задачник. 10–11 кл. Пособие для общеобразоват. учеб. заведений. – 6-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2002. – 192 с.
11. Сборник задач по курсу общей физики/Под редакцией Цедрика М. С. – М.: Просвещение, 1989. – 271 с.
12. Сборник задач и вопросов по физике/Под общей редакцией Жданова Л. С. – М.: Наука, 1974. – 368 с.
13. Трофимова Т. И., Фирсов А. В. Курс физики с примерами решения задач. Том 1. – М.: Кнорус, 2010. – 584 с.
14. Уокер Дж. Физический фейерверк. – М.: Мир, 1989. – 298 с.
15. Физика. 11 кл. Проф. уровень – п.р. Пинского, Кабардина. – 2011. – 420 с. PDF (91.3 Мб).
16. Физика. Механика. 10 кл. Проф. уровень_под ред. Мякишева Г. Я. – 2010 – 496 с. pdf (5.8 Мб).
17. Физика. Молекулярн. физика. Термодинамика. 10 кл. Проф. ур Мякишев Г. Я., Синяков А. З. 2010. – 352 с. pdf (4.4 Мб).
18. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. (углубл. изуч.) Мякишев Г. Я., Синяков А. З. 2002. – 464 с. djvu (8.7 Мб).
19. Физика. Электродинамика. 10–11 кл. Проф. уровень Мякишев, Синяков, Слободсков. 2010. – 480 с. pdf (5.8 Мб).

Интернет-ресурстар

1. <http://www.fizika.ru>
2. <https://fiz.1sept.ru/fizarchive.php>
3. <http://www.edu.delfa.net/>
4. <http://www.eduspб.com>
5. <https://physics.ru/>

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
<i>I тарау. МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР</i>	
§1.1. Гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері	6
§1.2. Еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер.....	12
§1.3. Механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсастығы	19
<i>II тарау. АЙНЫМАЛЫ ТОК</i>	
§2.1. Айнымалы ток генераторы	27
§2.2. Айнымалы ток	29
§2.3. Айнымалы ток тізбегіндегі активті және реактивті кедергілер	34
§2.4. Активті және реактивті кедергіден тұратын тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы.....	40
§2.5. Айнымалы ток тізбегіндегі қуат.....	47
§2.6. Электр тізбегіндегі кернеулер резонансы.....	52
§2.7. Электр энергиясын өндіру және жеткізу. Трансформатор.....	59
№1 зертханалық жұмыс. Трансформатордың орам санын анықтау	66
§2.8. Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану....	67
<i>III тарау. ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС</i>	
§3.1. Механикалық толқындардың таралуы. Толқын ұзындығы. Толқынның таралу жылдамдығы	76
§3.2. Қума толқын теңдеуі.....	81
§3.3. Тұрғын толқын теңдеуі	85
№2 зертханалық жұмыс. Ауадағы дыбыс жылдамдығын өлшеу	89
§3.4. Механикалық толқындардың интерференциясы.....	91
§3.5. Гюйгенс принципі. Механикалық толқындардың дифракциясы	93
<i>IV тарау. ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР</i>	
§4.1. Электрмагниттік толқындардың сәуле шығаруы және оларды қабылдау	98
§4.2. Электрмагниттік толқындардың қасиеттері	104
§4.3. Радиобайланыс. Детекторлық радиоқабылдағыш	109
§4.4. Аналогты-сандық түрлендіргіштер. Байланыс арналары.....	121
§4.5. Байланыс құралдарының дамуы.....	124

V тарау. ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА

§5.1. Жарықтың электромагниттік табиғаты. Жарық жылдамдығы	132
§5.2. Жарық дисперсиясы. Жарық интерференциясы	134
§5.3. Жарық дифракциясы. Дифракциялық тор	142
№3 зертханалық жұмыс. Дифракциялық тордың көмегімен жарық толқынының ұзындығын анықтау	147
§5.4. Жарық поляризациясы	148
№4 зертханалық жұмыс. Жарықтың интерференциясын, дифракциясын және поляризациясын бақылау.....	151

VI тарау. ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

§6.1. Гюйгенс принципі. Жарықтың шағылу заңы.....	158
§6.2. Жазық және сфералық айналар	160
§6.3. Жарықтың сыну заңы.....	165
§6.4. Толық ішкі шағылу	170
№5 зертханалық жұмыс. Шынының сыну көрсеткішін анықтау	175
§6.5. Линзалар жүйелеріндегі кескіндер салу. Жұқа линзаның формуласы. Оптикалық аспаптар	178
№1 қосымша	189
№2 қосымша	192
Глоссарий	195
Пайдаланылған әдебиеттер	197

Оқу басылымы
Башарұлы Рахметолла
Шүнкеев Қуанышбек
Мясникова Людмила
Жантурина Нүргүл
Бармина Александра
Аймағанбетова Зухра

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы
11-сыныпқа арналған оқулық

Екі бөлімді

Бірінші бөлім

Редакторы Ү. Өмірзақ
Көркемдеуші редакторы А. Ысқақов
Техникалық редакторы Ү. Рысалиева
Корректоры Ү. Вахова
Компьютерде беттеген Ж. Есетова

ИБ 070

Теруге 27.04.2019 берілді. Басуға 09.07.2020 қол қойылды. Пішімі 70×90^{1/16}. Офсеттік қағаз. Мектептік әріп. Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 14,63. Есептік баспа табағы 12,02. Таралымы 6000 дана. Тапсырыс №5175.

«Атамұра» корпорациясы» ЖШС-і, 050000, Алматы қаласы, Абылай хан даңғылы, 75.

Қазақстан Республикасы «Атамұра» корпорациясы» ЖШС-нің
Полиграфкомбинаты, 050002, Алматы қаласы, М. Мақатаев көшесі, 41.



Оглавление

page1
page2
page3
page4
page5
page6
page7
page8
page9
page10
page11
page12
page13
page14
page15
page16
page17
page18
page19
page20
page21
page22
page23
page24
page25
page26
page27
page28

page34

page35

page36

page37

page38

page39

page40

page41

page42

page43

page44

page45

page46

page47

page48

page49

page50

page51

page52

page53

page54

page55

page56

page57

page58

page59

page60

page61

page62

page63

page64

page69
page70
page71
page72
page73
page74
page75
page76
page77
page78
page79
page80
page81
page82
page83
page84
page85
page86
page87
page88
page89
page90
page91
page92
page93
page94
page95
page96
page97
page98
page99

page104
page105
page106
page107
page108
page109
page110
page111
page112
page113
page114
page115
page116
page117
page118
page119
page120
page121
page122
page123
page124
page125
page126
page127
page128
page129
page130
page131
page132
page133
page134

page139

page140

page141

page142

page143

page144

page145

page146

page147

page148

page149

page150

page151

page152

page153

page154

page155

page156

page157

page158

page159

page160

page161

page162

page163

page164

page165

page166

page167

page168

page169

page174
page175
page176
page177
page178
page179
page180
page181
page182
page183
page184
page185
page186
page187
page188
page189
page190
page191
page192
page193
page194
page195
page196
page197
page198
page199
page200