

ФИЗИКА

Оқулық

1-бөлім

11

Жаратылыстану-математика
бағыты

I бөлім. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

1-тарау. Механикалық тербелістер

2-тарау. Электромагниттік тербелістер

3-тарау. Айнымалы ток

II бөлім. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

4-тарау. Толқындық қозғалыс

5-тарау. Электромагниттік толқындар

III бөлім. ОПТИКА

6-тарау. Толқындық оптика

7-тарау. Геометриялық оптика

**Шартты
белгілер:**Практикалық
тапсырмаШығармашы-
лық тапсырмаСыни тұрғы-
дан ойлауға
арналған тап-
сырмаӨзін-өзі тексе-
руге арналған
сұрақтарӨз бетінше
шығаруға
арналған
есептер■ Орта деңгейлі
тапсырмалар* Күрделлігі
жоғары
тапсырмаларҚосымша оқу
үшін**Алғы сөз****Құрметті оқушылар!**

Осы оқу жылы мектеп қабырғасында білім алатын соңғы жыл болғандықтан, сендер ер күннің пайдалы да жақсы білім әкелуі үшін талаптанып, тырысуларың керек. Себебі мектепте алған білім — кейін мамандық бойынша алатын арнайы білімнің шыңына апаратын баспалдақтың алғашқы сатысы.

Егер сендер физика немесе математика ғылымын таңдасаңдар, қателеспейсіңдер. Өлемдік өркениеттің ең басты дамытушысы ғылым екені тасқа таңба басқандай айқын. Ғылымның жетістіктері инженерлік генетиканы, атомдық энергетиканы, лазерлік техниканы, микроэлектрониканы, ғарыштық техниканы, жаһанданудың байланыс жүйелерін жасауға алып келді. Адамзат тарихында жаңа еңбек құралы — компьютер жасалынып, адамның ойлау қызметінің аясы кеңейді; нанотехнологияның шапшаң дамуы мен оның жетістіктері өлемді өзгерте бастады. Қазіргі өркендеу заманындағы ғылыми жетістіктердің осындай жоғары сатыға көтерілуінде көптеген ғылымдардың негізін қалаушы физика ғылымы шешуші рөл атқарады.

Табиғат құбылыстарын теориялық және эксперименттік тұрғыдан зерттеу физиканың негізі болып табылады. Олардың нәтижесінде континенттер мен адамзат баласын жақындастыратын көлік пен байланыс жүйелерінің жаңа түрлері пайда болды, ғарышты игеру басталды, жасанды биологиялық түрлер дүниеге келе бастады.

Физикалық зерттеу әдістері геологияда, медицинада, кванттық химияда, молекулалық биологияда, биофизикада пәрменді орын алуда. Ғылымның алғы шебі болып табылатын элементар бөлшектер физикасында соңғы жүзжылдықта таңғажайып жаңалықтар ашылды. Бәріміз жаңа өлемнің дүниеге келуінің куәсі болып отырмыз.

Қазіргі уақыт талабына сай мемлекетімізге инженерлер, ғалымдар, техникалық саладағы және халықшаруашылығындағы құрастырушы мамандар қажет. Сондықтан физика пәнін оқып-үйренудің маңызы зор.

11-сынып “Физика” оқулығында төменгі сыныптарда оқып кеткен механика, механикалық және электромагниттік тербелістер мен толқындар, толқындық оптика, атомдық және ядролық физика бөлімдері тереңрек қарастырылады, сондай-ақ салыстырмалылық теориясы, элементар бөлшектер физикасы бөлімдері оқып-үйретіледі.

Қандай да болмасын пәнді меңгеру еңбек пен жігерді қажет ететіні сөзсіз, яғни білімді іздеген ғана табады.

Оқуда табыс тілейміз!

Авторлар

I бөлім. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

1-тарау. МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР

§ 1. Механикалық гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері



Тірек ұғымдар:

- ✓ тербелістер
- ✓ тербелістердің периоды, жиілігі, амплитудасы
- ✓ гармоникалық тербелістердің теңдеулері
- ✓ гармоникалық тербелістердің графиктері

Бүгінгі сабақта:



- механикалық гармоникалық тербелістер туралы білімдеріңді тереңдетесіңдер;
- механикалық гармоникалық тербелістердің заңдарын тәжірибелік, аналитикалық және графиктік түрде оқып-үйренесіңдер.

Тербелмелі қозғалыс. Табиғатта да, күнделікті өмірде де барлық сипаттамалары бірдей уақыт аралықтары өткен сайын тең мәндерге ие болатын айрықша процестер кең таралған. Бұндай процестерді *периодты* деп атайды. Механикада материялық нүкте (дене) тепе-теңдік орнының маңында, оның екі жағына алма-кезек ауыса отырып қозғалатын болса, периодты қозғалыс *тербелмелі* деп аталады. Сонымен, егер периодты процестің өту барысында оны сипаттайтын барлық физикалық шамалар тұрақты тепе-теңдік күйімен (нөлдік жағдай) салыстырғанда оң немесе теріс мәндерді қабылдап отыратын болса, ол *тербелмелі процесс (тербеліс)* деп аталады. Бізді қоршаған ортада түрлі тербелмелі процестер жүріп жатады: өткеншектің тербелісі, жолды жөндеу жұмыстары, көпірдің үстімен қозғалған көліктер, электр желілері, адамдардың өзара тілдесуі, түрлі ішекті аспаптарда ойнау (1.1, а, ә, б, в, г-суреттер).

Сендер тербелістердің кейбір сипаттамаларымен 9-сыныпта танысқан болатынсыңдар.

Мұны білесіңдер

Бірдей уақыт аралықтарында дәл немесе жуықтап қайталанып отыратын процестер *тербелістер* деп аталады. *Тербелістер* периодты процестер болып табылады.

Периодты процестің табиғатына қарай тербелістер *механикалық* және *электромагниттік* болып екіге бөлінеді. Табиғаты өртүрлі



а)



а)



б)



в)



г)

1.1-сурет. Табиғаттағы өртүрлі тербелістердің мысалдары

тербелістерді сипаттайтын теңдеулердің жазылу формасы да, оларды сипаттайтын параметрлер де бірдей. Сондықтан осы тарауда біз алдымен механикалық, содан кейін электромагниттік тербелістерді оқып-үйренеміз.

Мұны білесіңдер

Тербелістердің негізгі сипаттамалары:

Тербеліс периоды (T) деп жүйе бастапқы күйіне қайтып оралатын ең аз уақытқа тең шаманы айтады, яғни бір период ішінде толық бір тербеліс жасалады.

Тербеліс жиілігі (ν) деп 1 с ішінде жасалатын тербеліс санына тең шаманы айтады, ол периодтың кері мәніне тең: $\nu = 1/T$. Өлшем бірлігі — герц; $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Тербеліс амплитудасы (x_m) деп тербелістегі физикалық шаманың максимал мәнін айтады.

Механикалық тербелістер *еркін және еріксіз* болуы мүмкін. Еркін тербелістер жасай алатын физикалық жүйе *тербелмелі жүйе* деп аталады.

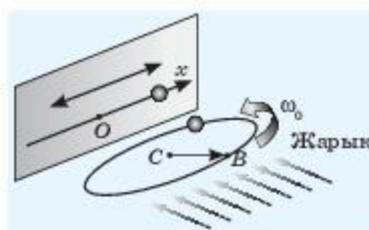
Тепе-теңдік күйінен шығарған соң ішкі күштердің әсерінен жүйе *еркін тербелістер* жасайды. Периодты түрде өзгеріп отыратын, сыртқы күштердің әсерінен жүретін тербелістер *еріксіз тербелістер* деп аталады. Ең қарапайым тербелмелі процесс — бұл гармоникалық тербелістер.

Механикалық гармоникалық тербелістер. Механикалық қозғалысты сипаттайтын физикалық шаманың (орын ауыстыру, жылдамдық, үдеу және т.б.) периодты түрде өзгеруін механикалық тербелістер деп атайды. Мысал ретінде тепе-теңдік қалпының (күйінің) маңында тербеліп тұрған материялық нүктені немесе денені қарастыруға болады.

Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалатын материялық нүкте де периодты қозғалыста болады, себебі ол толық айналым жасаған кезде бастапқы орнына қайтып келеді. Бұл кезде шеңбер жазықтығына перпендикуляр орналасқан экранда материялық нүктенің проекциясы тербелістер жасайды.

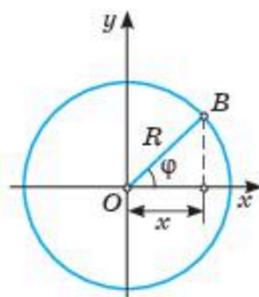


Ілмегі бар кішкене шарды ұзындығы 50 см шамасында болатын берік жіңішке жіпке байлап, оның екінші ұшынан ұстап айналдырайық (1.2-сурет). Қондырғыны суретте көрсетілгендей етіп жарықтандырайық. Сонда шар шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалады, ал оның шеңбер жазықтығына перпендикуляр орналасқан экрандағы көлеңкесі шеңбер центрінің экранға проекциясы болып табылатын O нүктесінің маңында тербеледі.



1.2-сурет

1.2-суреттен көрініп тұрғандай, шар сағат тіліне қарама-қарсы бағытта тұрақты ω_0 бұрыштық жылдамдықпен қозғалады. Сұлбада шардың қозғалысы сурет жазықтығында, ал экран оған перпендикуляр, горизонталь орналасқан. Шардың көлеңкесі (проекциясы) осы экранда орналасқан x осінің бойымен тербеледі.



1.3-сурет. Шеңбер бойымен қозғалыс және тербеліс тәжірибесінің сұлбасы

Шеңбердің C центрінің x осіне проекциясын O әрпімен белгілейік, онда шеңбер бойымен қозғалатын B материялық нүктенің (шардың) проекциясы O нүктесінің маңында тербеліске түседі, оның берілген уақыт мезетіндегі тепе-теңдік орнынан (O нүктесінен) ығысуын x әрпімен, ал максимал ығысуын $x_m = R$ әрпімен белгілейік. Уақытқа сәйкес x ығысудың қалай өзгеретінін анықтайық. 1.3-суреттен көрініп тұрғандай

$$x = R \cos \varphi. \quad (1.1)$$

B нүктесі шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалып тұрғандықтан, оның бұрыштық жылдамдығы $\omega_0 = \frac{\varphi}{t}$. Егер бастапқы $t_0 = 0$ уақыт мезетіндегі B нүктесінің орны φ_0 бұрышқа сәйкес келсе, онда t уақыт мезетінде

$$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0.$$

Осы мәнді (1.1) теңдеуге қойсақ,

$$x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1.2)$$

аламыз. Сонымен, материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы кезінде оның шеңбер жазықтығына перпендикуляр орналасқан жазықтыққа проекциясы x (ығысуы) тепе-теңдік орнының маңында $x_m = R$ -мен $-x_m = R$ аралығында тербеледі. Бұл тербеліс (1.2) теңдеуіне сәйкес *косинус заңы* бойынша өзгереді.

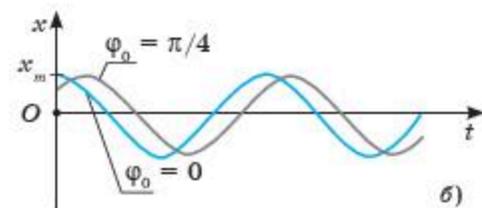
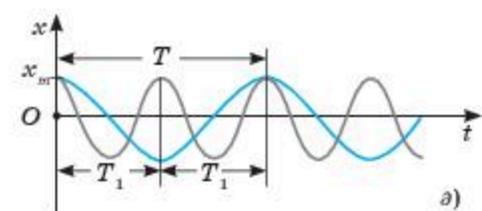
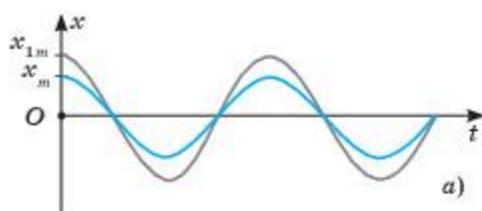
Егер біздің тәжірибеміздегі экранды вертикаль етіп қойсақ, шеңбер бойымен қозғалып тұрған B нүктесінің вертикаль экрандағы y оське проекциясы тепе-теңдік қалпының маңында

$$x = x_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1.3)$$

теңдеуіне сәйкес тербелетін болады.

Физикалық шаманың уақытқа тәуелді синус немесе косинус заңы бойынша периодты түрде өзгеруін гармоникалық тербелістер деп атайды.

Сонымен, (1.2) және (1.3) теңдеулері гармоникалық тербелістердің теңдеуі болып табылады. Бұл екі теңдеудің қайсысын қолдану ыңғайлы болатынын қарастырып, осы жағдайдағы бастапқы шарттарға сәйкес таңдап алуға болады.



1.4-сурет. Гармоникалық тербелістердің графиктері

Осы теңдеулердегі x — ығысу, x_m — тербеліс амплитудасы, ω_0 — меншікті тербелістердің циклдiк, яғни дөңгелектік жиілігі, t — уақыт. Косинус функциясының аргументі $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$ *гармоникалық тербелістің фазасы* деп аталады. *Бастапқы* $t = 0$ уақыт мезетінде $\varphi = \varphi_0$, сондықтан φ_0 *бастапқы фаза* деп аталады.

Механикалық тербелістер кезінде тербелісті сипаттайтын шамалар: дененің тепе-теңдік орнынан ығысуы, жылдамдық, үдеу, механикалық энергия.

Гармоникалық тербелістердің амплитудасы x_m , периоды T (жиілігі ν) және бастапқы фазасы φ_0 өртүрлі мәндерді қабылдаған жағдайлардың графиктерін қарастырайық (1.4-сурет).

1.4, *a*-суретте тербеліс периоды мен бастапқы фаза $\varphi_0 = 0$ бірдей болғанда амплитуданың екі түрлі $x_{1m} > x_m$ мәндеріне сәйкес (1.2) теңдеуінің графиктері көрсетілген.

1.4, а-суреттегі гармоникалық тербелістердің графиктері бір-бірінен тек тербеліс периодтарымен $T = 2T_1$ ерекшеленеді.

1.4, б-суретте бастапқы фазалары әртүрлі гармоникалық тербелістердің графиктері кескінделген.

Егер материялық нүкте гармоникалық тербелістер жасайтын болса, оның жылдамдығы мен үдеуі де периодты түрде өзгереді. Жылдамдық пен үдеудің өзгеру заңдылықтарын тағайындайық. Материялық нүкте x осінің бойымен тербеліп тұрсын, онда жылдамдық векторы да осы осьтің бойымен бағытталады. Жылдамдықты ығысудың уақыт бойынша бірінші туындысы ретінде табуға болады:

$$v = v_x = x'(t) = -\omega_0 x_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = \omega_0 x_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right);$$

$$v = v_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right), \quad (1.4)$$

мұндағы $v_x = \omega_0 x_m$ — тербеліс жылдамдығының амплитудасы.

(1.2) мен (1.4) өрнектерін салыстыра отырып, жылдамдық тербелістері ығысу тербелістерінен фаза бойынша $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ -ге озады (1.5, а, а-суреттер). Бұл жылдамдық модулінің максимал мәндері материялық нүкте тепе-теңдік орнынан өту мезеттеріне ($x = 0$) сәйкес келеді деген сөз.

Гармоникалық тербеліс кезінде $a = a_x$ үдеуді жылдамдықтың бірінші туындысы ретінде анықтаймыз:

$$a = v'(t) = -\omega_0^2 x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -\omega_0^2 x(t). \quad (1.5)$$

Соңғы (1.5) формуласын мына түрге келтірейік:

$$a = a_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi), \quad (1.6)$$

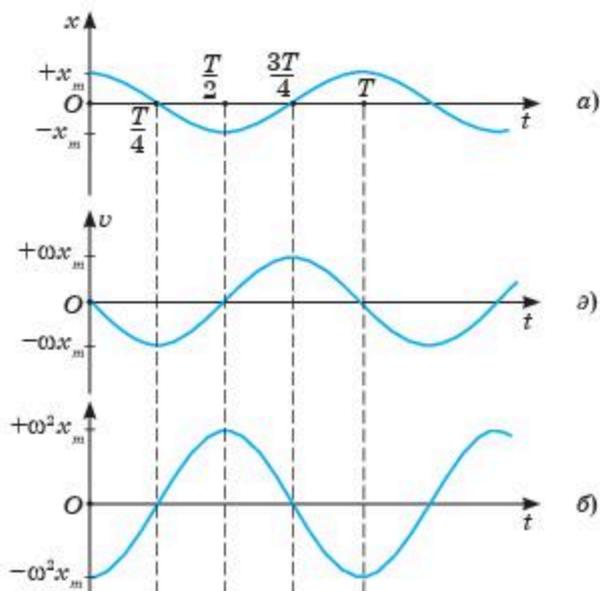
мұндағы $a_m = \omega_0^2 x_m$ — материялық нүктенің тербеліс үдеуінің амплитудасы.

(1.5) өрнегіндегі “-” таңбасы $a(t)$ үдеудің таңбасы әрқашан $x(t)$ ығысудың таңбасына қарама-қарсы болатынын көрсетеді. Олай болса, Ньютонның екінші заңына сәйкес, денені гармоникалық тербелістерге түсіретін күш әрқашан ($x = 0$) тепе-теңдік орнына қарай бағытталады.

(1.2) мен (1.6) өрнектерін салыстыра отырып, дененің ығысуы мен үдеуі ылғи да қарама-қарсы фазада тербеледі деген қорытындыға келеміз (1.5, а, б-суреттер).

Механикалық тербелістердің энергиясы. Механикалық тербелістердің барысында тербелмелі жүйенің кинетикалық энергиясының потенциалдық энергияға және керісінше потенциалдық энергияның кинетикалық энергияға айналу процесі үздіксіз жүріп жатады.

Кинетикалық энергияны өзімізге бұрыннан белгілі $E_k = \frac{mv^2}{2}$ формуласынан анықтайық.



1.5-сурет. Гармоникалық тербелістегі дене ығысуының, жылдамдықтың және үдеуінің графиктері

Осы өрнекке тербеліс жылдамдығын $v = x'(t) = -x_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ қойсақ,

$$E_k = \frac{m x_m^2 \omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$\sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{1 - \cos 2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$ екенін ескере отырып

$$E_k = \frac{m x_m^2 \omega_0^2}{4} [1 - \cos 2(\omega_0 t + \varphi_0)]$$

аламыз. Бұдан шығатын қорытынды: механикалық тербелістер кезінде жүйенің кинетикалық энергиясы оның тербеліс жиілігінен екі есе артық жиілікпен гармоникалық тербеліске түседі.

Потенциалдық энергияны $E_p = \frac{kx^2}{2}$ формуласынан анықтаймыз. Бұған $x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ өрнегін қойсақ, $E_p = \frac{kx_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$; $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$;

$k = \omega_0^2 m$ болғандықтан, $E_p = \frac{m \omega_0^2 x_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$ және $\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{1 + \cos 2(\omega_0 t + \varphi_0)}{2}$ екенін ескере отырып

$$E_p = \frac{m x_m^2 \omega_0^2}{4} [1 + \cos 2(\omega_0 t + \varphi_0)]$$

аламыз. Сонымен, жүйенің потенциалдық энергиясы да $2\omega_0$ циклдік жиілікпен тербеліске түседі.

Тербелмелі жүйенің толық механикалық энергиясын анықтайық:

$$E = E_k + E_p = \frac{mx_m^2 \omega_0^2}{4} [1 - \cos 2(\omega_0 t + \varphi_0) + 1 + \cos 2(\omega_0 t + \varphi_0)].$$

Бұдан

$$E = \frac{mx_m^2 \omega_0^2}{2}. \quad (1.7)$$

Тербелмелі жүйенің толық механикалық энергиясы уақытқа тәуелсіз, гармоникалық тербелістер үшін тұрақты шама.

Есте сақта!

Энергия шығыны жоқ идеал тербелмелі жүйенің еркін гармоникалық тербелістері нақты тербелмелі жүйелерде тербелістер әрқашан қандай да бір мөлшерде энергия шығындарымен бірге жүреді, сондықтан ерікті тербелістер біртіндеп өшеді.



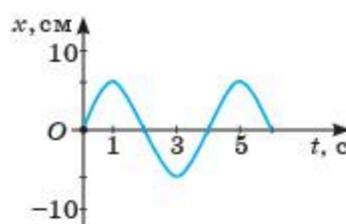
1. Тербелісті қозғалыстың басқа түрлерінен қалай ажыратуға болады?
2. Тербелмелі процестерге мысалдар келтіріңдер.
3. Гармоникалық тербелістерге анықтама беріңдер.
4. Механикалық гармоникалық тербелістің теңдеуін жазыңдар.
5. Тербеліс амплитудасы, периоды және жиіліктің анықтамасын беріңдер.
6. Тербеліс жиілігі ν мен ω циклдік жиілік арасында қандай байланыс бар?
7. 1.4-суреттегі тербелістердің бір-бірінен айырмашылығы неде?
8. Гармоникалық тербелістер кезінде материялық нүктенің жылдамдығы мен үдеуі қалай өзгереді?
9. Механикалық гармоникалық тербеліс кезінде энергияның түрленуі қалай жүреді?
10. Алғашқы $t_0 = 0$ уақыт мезетінде материялық нүктенің тепе-теңдік орнынан ығысуы тербеліс амплитудасына тең. Бұл жағдайда (1.2) және (1.3) теңдеулерінің қайсысын қолданған ыңғайлы? Неге?



1.1-суретте көрсетілген мысалда жүретін тербелістер туралы айтып беріңдер, олардың табиғаты қандай екенін түсіндіріңдер. Қысқаша эссе жазыңдар.



1. 1.6-суретте көрсетілген графиктен тербелістің амплитудасын, периоды мен жиілігін, бастапқы фазасын анықтаңдар.
2. Тербеліс теңдеуін жазыңдар.
3. Тербеліс теңдеуінен жылдамдық пен үдеудің теңдеулерін шығарып алыңдар.
4. Жылдамдық пен үдеудің амплитудалық мәндерін анықтаңдар.
5. $v = v(t)$ және $a = a(t)$ графиктерін салыңдар.



1.6-сурет

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Материялық нүктенің тербеліс теңдеуі $x = 7\cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ см. Тербелістің амплитудасын, периодын және бастапқы фазасын анықтаңдар. Материялық нүктенің $t = 2$ с уақыт мезетіндегі жылдамдығы мен үдеуін табыңдар.

Берілгені:

$$x = 7\cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ см}$$

$$t = 2 \text{ с}$$

$$x_m - ? \quad \varphi_0 - ? \quad T - ?$$

$$a - ? \quad v - ?$$

Шешуі. Есептің шартында берілген теңдеуді гармоникалық тербелістердің $x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ теңдеуімен салыстыра отырып анықтаймыз: $x_m = 7$ см, $\omega_0 = \pi$, $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$, бұдан $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{6,28}{3,14\text{с}^{-1}} = 2$ с.

Материялық нүктенің тербеліс жылдамдығының теңдеуі

$$v = x'(t) = -x_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -7\pi \sin\left(2\pi + \frac{\pi}{3}\right);$$

$$v = -22 \cdot 0,87 = -19 \text{ см/с.}$$

“-” таңбасы $t = 2$ с уақыт мезетінде жылдамдық векторы x осіне қарама-қарсы бағытталатынын көрсетеді.

Үдеуді анықтайық:

$$a = v'(t) = -\omega_0^2 x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -\omega_0^2 x(t);$$

$$a = v'(t) = -\pi^2 \cdot 7\cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right) = -9,86 \cdot 7\cos\left(2\pi + \frac{\pi}{3}\right) = -34,5 \text{ см/с}^2.$$

“-” таңбасы үдеу ығысуының бағытына қарама-қарсы, яғни тепе-теңдік орнына қарай бағытталатынын көрсетеді.

2-есеп. Массасы 5 г дене $x = 0,1\sin\frac{\pi}{2}\left(t + \frac{1}{3}\right)$ м теңдеуімен сипатталатын тербелістер жасайды. Тербеліс басталғаннан соң 20 с өткен мезетте кинетикалық және потенциалдық энергияның мәндері қандай болады?

Берілгені:

$$x = 0,1\sin\frac{\pi}{2}\left(t + \frac{1}{3}\right) \text{ м}$$

$$m = 5 \text{ г} = 0,005 \text{ кг}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$E_k - ? \quad E_p - ? \quad E - ?$$

Шешуі. Кинетикалық энергияны табу үшін

белгілі $E_k = \frac{mv^2}{2}$ формуланы қолданайық.

Алдымен жылдамдықты анықтайық:

$$v = x'(t) = -0,1\frac{\pi}{2}\cos\frac{\pi}{2}\left(t + \frac{1}{3}\right),$$

бұдан

$$E_k = \frac{m}{2}\left[0,1\frac{\pi}{2}\cos\frac{\pi}{2}\left(t + \frac{1}{3}\right)\right]^2 = 0,01\frac{m\pi^2}{8}\cos^2\frac{\pi}{6};$$

$$E_k = 0,01\frac{0,005 \cdot 9,86}{8} \cdot (0,87)^2 = 47 \text{ мкДж.}$$

Енді потенциалдық энергияны анықтайық. Есептің шартында берілген теңдеуден $\omega_0 = \frac{\pi}{2}$ болатынын көреміз және $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$; $k = \omega_0^2 m$ өрнегін қолданамыз:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{m\omega_0^2}{2} \cdot 0,01 \sin^2 \left(10\pi + \frac{\pi}{6} \right) = 0,01 \frac{m\omega_0^2}{2} \cdot \sin^2 \frac{\pi}{6};$$

$$E_p = \frac{0,01 \cdot (3,14)^2 \cdot 0,005}{8} = 15 \text{ мкДж.}$$

Тербелістердің толық энергиясын алдымен (1.7) өрнегінен табайық:

$$E = \frac{m x_m^2 \omega_0^2}{2} = \frac{0,005 \cdot 0,01^2 \cdot 3,14^2}{2} = 62 \text{ мкДж.}$$

Екінші жағынан $E = E_k + E_p = 47 \text{ мкДж} + 15 \text{ мкДж} = 62 \text{ мкДж}$.
Екі тәсілмен есептеп, бірдей нәтиже алдық.



1-жаттығу

1. Материялық нүкте $\Delta t = 1,0$ мин уақыт аралығында $N = 120$ тербеліс жасады. Оның T тербеліс периодын, ν жиілігін және ω_0 циклдік жиілігін табыңдар.

Жауабы: 0,5 с; 2 с⁻¹; 12,56 рад/с.

2. Материялық нүктенің тербеліс теңдеуі $x = 5 \cos \pi t$ (см). Тербелістің амплитудасын, периодын және жиілігін есептеңдер.

Жауабы: 5 см; 2 с; 0,5 с⁻¹.

3. Гармоникалық тербелістің теңдеуі $x = 0,15 \cos \left(0,6\pi t + \frac{\pi}{3} \right)$ м. Тербелістің амплитудасын, периодын және бастапқы фазасын табыңдар.

Жауабы: $T = 3,3$ с.

- *4. Тербеліс амплитудасы 7 см, жиілігі 0,5 Гц, бастапқы фазасы нөлге тең гармоникалық тербелістің теңдеуін жазып, графигін сызыңдар.

Жауабы: $x = 7 \cos \pi t$ (см).

- *5. Тербеліс фазасы $\frac{\pi}{3}$ болғанда ығысу 1 см-ге тең. Егер тербеліс фазасы $\frac{3\pi}{4}$ болса, ығысу қандай? Тербеліс амплитудасын табыңдар.

Жауабы: $x = -1,4$ см; $x_m = 2$ см.

- *6. Косинус заңы бойынша жүретін гармоникалық тербелістердің бастапқы фазасы $\varphi_0 = -\pi$, амплитудасы 6 см, ал циклдік жиілігі $\omega_0 = 3\pi$ рад/с. Нүктенің бастапқы уақыт мезетіндегі тепе-теңдік қалпынан ығысуы қандай?

Жауабы: $x = -6$ см.

- *7. Дене амплитудасы 0,1 м, жиілігі 2 Гц және бастапқы фазасы $\frac{\pi}{6}$ гармоникалық тербелістер жасайды. Егер дене тербелістерінің толық энергиясы 7,7 мДж болса, оның массасы қандай?

Жауабы: 0,0097 кг.

§2. Математикалық және серіппелі маятниктер



Тірек ұғымдар:

- ✓ тепе-теңдік орны
- ✓ ығысу
- ✓ математикалық маятник
- ✓ математикалық маятниктің тербеліс периоды
- ✓ серіппелі маятник
- ✓ серіппелі маятниктің тербеліс периоды

Бүгінгі сабақта:

- аналитикалық және тәжірибелік жолдармен математикалық және серіппелі маятниктердің тербелістерін зерттейсіңдер.



Өткен тақырыпта анықтағанмыздай, материялық нүктенің тербелістері әрқашан үдемелі (үдеу оң немесе теріс болуы мүмкін) қозғалады. Үдеуді тудыратын себеп *күш* екені де бізге белгілі.

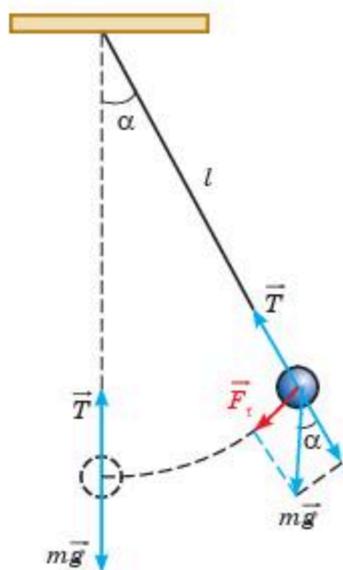
Ньютонның екінші заңының Ox осіне проекциясын жазайық:

$$F_x = ma_x = -m\omega_0^2 x. \quad (2.1)$$

(2.1) теңдеуінен гармоникалық тербелістер кезінде денеге әсер ететін күштің F_x орнынан ығысуға пропорционал екенін көреміз. “-” таңбасы пайда болған күштің “қайтарымды” сипатын көрсетеді. Сонымен, дене тепе-теңдік орнынан ауытқыған кезде қайтарушы күштің пайда болуы тербеліс туындауының қажетті шарты болып табылады. Тербелістегі

дененің тепе-теңдік орнына сәйкес келетін нүктеде оған әсер ететін барлық күштердің қорытқы күші нөлге тең. Бұл нүктенің координатасын, әдетте, нөлге тең деп алады.

Математикалық маятник гармоникалық тербелістерге түсе алатын тербелмелі жүйенің үлгісі болып табылады.



2.1-сурет. Математикалық маятник

Мұны білесіңдер

Математикалық маятник деп созылмайтын салмақсыз жіпке ілінген материялық шарды айтады (2.1-сурет).

Тепе-теңдік жағдайында, маятник вертикаль ілініп тұрғанда ауырлық күші $m\vec{g}$ жіптің \vec{T} керілу күшімен теңеседі. Маятник тепе-теңдік орнынан қандай да бір α бұрышқа ауытқығанда

ауырлық күшінің жанама құраушысы $F_{\tau} = -mg \sin \alpha$ пайда болады. Бұл өрнектегі “-” таңбасы жанама құраушы маятниктің ауытқу бағытына қарама-қарсы бағытталғанын көрсетеді.

Ньютонның екінші заңын үдеу мен күш векторларының жанама бағытына проекцияларын жазайық: $ma_{\tau} = F_{\tau} = -mg \sin \alpha$. Ауытқу бұрышының аз мәндері үшін α бұрышы $(15-20)^{\circ}$ -тан аспағанда $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha = \frac{x}{l}$ қатынасы орындалады. Сонымен, математикалық маятниктің аз тербелістері үшін Ньютонның екінші заңы былай жазылады:

$$ma_{\tau} = -m \frac{g}{l} x. \quad (2.2)$$

Жанама үдеуді ығысудың екінші туындысы ретінде анықтайық:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (2.3)$$

Белгілеуін енгізсек, (2.1) өрнекті былай жазуға болады:

$$x'' + \omega_0^2 x = 0. \quad (2.4)$$

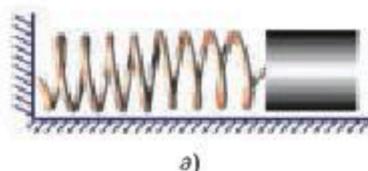
(2.4) өрнегінен ығысудың уақыт бойынша екінші туындысы ω_0^2 тұрақтыға дейінгі дәлдікпен қарама-қарсы таңбамен алынған ығысудың өзіне тең. Бұндай қасиет периодты синус және косинус функцияларына тән. Математика курсынан мұндай екінші дәрежелі дифференциал теңдеудің шешуі (1.3) болып табылатыны белгілі. Олай болса, математикалық маятниктің аз тербелістері гармоникалық болады.

(2.3) өрнегі — *математикалық маятниктің аз тербелістерінің меншікті жиілігінің формуласы*. Олай болса, математикалық маятниктің тербеліс периоды

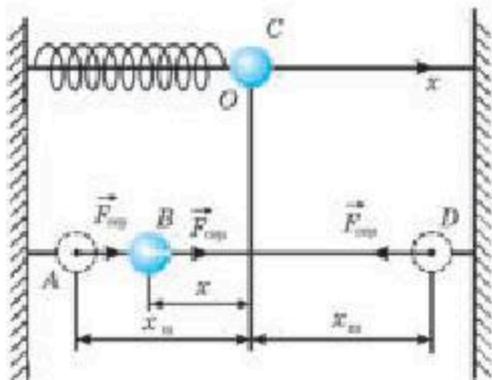
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (2.4)$$

Бұл — *Гюйгенс формуласы*. Математикалық маятниктің меншікті тербелісінің периоды тек қана оның ұзындығы мен еркін түсу үдеуіне тәуелді. Ол тербеліс амплитудасына да, жіптің вертикальдан ауытқу бұрышына да (аз бұрыштар үшін) тәуелді емес.

Серіппелі маятник — бұл абсолют серпімді салмақсыз серіппе мен массасы m материялық нүктеден (кішкене ауыр дене) тұратын тербелмелі жүйе. Серіппелі маятник *вертикаль* (2.2, а-сурет) немесе *горизонталь* (2.2, б-сурет) болуы мүмкін.



2.2-сурет. Серіппелі маятниктер: а) вертикаль; б) горизонталь



2.3-сурет. Горизонталь серіппелі маятниктің сұлбасы

Горизонталь серіппелі маятникті қарастырайық. Диаметрінің бойымен тесіліп, горизонталь білікке орнатылған кішкене шар сол біліктің бойымен үйкеліссіз сырғи алады. Ал білік екі вертикаль тіреуге бекітілген. Серіппенің бір ұшы кішкене ауыр денеге, екінші ұшы тіреуге бекітілген (2.3-сурет). Серіппе деформацияланбаған кезде шар С тепе-теңдік орнында тұрады. Егер серіппені созып немесе сығып, шарды тепе-теңдік орнынан шығарып

жіберсек, оған серіппе тарапынан әрқашан тепе-теңдік орнына қарай бағытталған серпімділік күші әсер ете бастайды. Серіппені сығып қоя берейік. Серпімділік күшінің әсерінен шар $a = \frac{F_{\text{сер}}}{m}$ үдеумен тепе-теңдік қалпына қарай қозғала бастайды, мұндағы m — шардың массасы.

Серіппенің деформациясы аз болса, Гук заңы орындалады: $F_{\text{сер}} = -kx$, бұдан $a = \frac{F_{\text{сер}}}{m} = -\frac{k}{m}x$. Үдеудің орнына ығысудың уақыт бойынша екінші туындысын қойып, мынадай белгілеуді енгізейік:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}. \quad (2.5)$$

Қажетті түрлендіруден кейін өзімізге белгілі теңдеуді аламыз: $x'' + \omega_0^2 x = 0$. Осыдан мынадай қорытынды жасауға болады: *серіппелі маятниктің аз тербелістері гармоникалық болып табылады.*

Тербеліс периодының $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ формуласына (2.5) өрнегін қойып, серіппелі маятниктің меншікті тербеліс периодының формуласын шығарып аламыз:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (2.6)$$

Есте сақта!

Тербеліс амплитудасының аз мәндерінде математикалық және серіппелі маятниктердің тербелістері гармоникалық болып табылады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Фуко маятнигі — бұл тәжірибелік құрал, оның көмегімен Жердің тәуліктік айналуын бақылауға болады.

Оны француз физигі, Париж ғылым академиясының мүшесі Жан Бернар Леон Фуко ойлап тапқан.

Жан Фуко алғаш рет өзінің тәжірибесін Париждегі Пантеон күмбезінің астында 1851 жылдың 8 қаңтарында жүргізді. Фуко ұзындығы 67 м болат сымға массасы 28 кг жүк іліп, оның астына үшкір таяқшаны бекітті. Ол маятникті Пантеон күмбезінің астына орналастырды. Маятниктің астына центрі дәл таяқшаның астында орналасқан, диаметрі шамамен 6 м-дей болатын дөңгелек қоршау жасап, оған құм төкті. Маятникті вертикальдан ауытқытып қоя бергенде ол тербеле бастайды. Осы кезде маятниктің үшкір таяқшасы қоршаудың үстінен өткен сайын құмды шашып, белгі салып отырады. Ең қызығы, таяқша құм үстінен өткен кезде құмды алдыңғы салған белгісінен шамамен 3 мм қашықтықта шашып отырған. Бұл маятниктің тербеліс жазықтығы еденмен салыстырғанда сағат тілінің бағытымен бағытталатынын көрсетеді. Шамамен 32 сағаттан кейін тербеліс жазықтығы толық бір айналым жасап, бұрынғы орнына қайтып келеді.

Тәжірибе нәтижесін қалай түсіндіруге болады? Құм дөңгелектің барлық нүктелерінің ішінде солтүстік полюске ең жақын жатқан нүкте бар, ол Жер осіне шеңбер центріне қарағанда жақынырақ орналасады. Жер 360° -қа бұрылғанда құм сақинаның солтүстік бөлігі оның центрімен салыстырғанда радиусы азырақ шеңбермен қозғалады, сондықтан бір тәулікте азырақ жол жүреді. Жан Фуконың маятнигі осы айырманы көрсетіп тұр. Сонымен, Фуко тәжірибесінде Жердің өз осінен айналатыны көрнекті түрде көрсетілді. Фуко маятниктері түрлі уақыттарда Санкт-Петербуртегі Исаакиев соборында, жапонның Нагасаки қаласындағы Фукусайдзи храмдар кешенінде, Сан-Петронио базиликасында (Болонья), Вильнюстағы Қасиетті Иоанндар костелінде т.б. жерлерде орнатылған.



2.4-сурет. Париж Пантеон күмбезіндегі Фуко маятнигі



1. Математикалық маятниктің меншікті тербеліс периоды қандай параметрлерге тәуелді?
2. Серіппелі маятниктің меншікті тербеліс периоды қандай параметрлерге тәуелді?
3. Қолда бар нәрселерден математикалық маятникті қалай жасауға болады?
4. Серіппелі маятникті өздерің жасай аласыңдар ма? Қалай жасайтындарыңды түсіндіріңдер.
5. Қандай шарттар орындалғанда математикалық маятник гармоникалық тербелістер жасайды? Жауаптарыңды негіздеңдер.
6. Қандай шарттар орындалғанда серіппелі маятник гармоникалық тербелістер жасайды? Жауаптарыңды негіздеңдер.



Мұғалімнің нұсқауымен 4-5 оқушыдан топтарға бірігіп, мына тапсырмаларды орындаңдар:

1. Математикалық маятниктің тербеліс периоды маятниктің массасына, тербеліс амплитудасына, ұзындығына тәуелділігін зерттеңдер. Маятникті берілген заттардан өздерің жасаңдар. Тәжірибелік зерттеудің жоспарын дайындаңдар. Тәжірибелердің нәтижелерін өздерің құрастырған кестелерге енгізіңдер. Қорытынды жасаңдар.
2. Серіппелі маятниктің тербеліс периоды оның массасына, тербеліс амплитудасына және серіппенің қатаңдығына тәуелділігін зерттеңдер. Маятникті сендерге берілген заттардан өздерің жасаңдар. Тәжірибелік зерттеудің жоспарын дайындаңдар. Тәжірибелердің нәтижелерін өздерің құрастырған кестелерге енгізіңдер. Қорытындылаңдар.



Математикалық маятниктің ұзындығы артады, ал серіппелі маятниктің массасы азаяды. Осы кезде қалған параметрлер қалай өзгереді? "Артады", "кемиді", "өзгермейді" деген сөздерді қолдана отырып, төмендегі кестені дәптерлеріңе толтырыңдар.

Маятник	Амплитуда	Период	Жиілік	Толық механикалық энергия
Математикалық				
Серіппелі				

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Бірінші математикалық маятниктің тербеліс периоды $T_1 = 3$ с, ал екінші маятниктікі $T_2 = 4$ с. Ұзындығы осы екі маятниктің ұзындықтарының қосындысына тең болатын математикалық маятниктің тербеліс периодын анықтаңдар.

Берілгені:

$$T_1 = 3 \text{ с}$$

$$T_2 = 4 \text{ с}$$

$$l = l_1 + l_2$$

$$T = ?$$

Шешуі. Өрбір маятник үшін тербеліс периодының формуласын жазайық:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Алғашқы екі формуладан ұзындықтарды табайық:

$$l_1 = \frac{T_1^2 \cdot g}{4\pi^2}; \quad l_2 = \frac{T_2^2 \cdot g}{4\pi^2}.$$

$$\text{Онда } l = \frac{g}{4\pi^2}(T_1^2 + T_2^2);$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{g}{4\pi^2}(T_1^2 + T_2^2)} \cdot \frac{1}{g} = \sqrt{T_1^2 + T_2^2};$$

$$T = \sqrt{9\text{с}^2 + 16\text{с}^2} = 5 \text{ с}.$$

2-есеп. Серіппелі және математикалық маятниктердің тербеліс периоды бірдей. Серіппенің қатаңдық коэффициенті $k = 20$ Н/м. Егер математикалық маятниктің ұзындығы $l = 0,4$ м болса, серіппелі маятниктің массасы қандай?

Берілгені:
 $k = 20$ Н/м
 $l = 0,4$ м
 $T_1 = T_2$
 $m - ?$

Шешуі. Математикалық және серіппелі маятниктердің тербеліс периодының формулаларын жазайық:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Тербеліс периодтары бірдей болғандықтан $\frac{l}{g} = \frac{m}{k}$, бұдан $m = \frac{kl}{g} = \frac{20 \cdot 0,4}{9,8} = 0,8$ кг.



2-жаттығу

1. Тербеліс периоды $T = 2$ с болатын математикалық маятниктің ұзындығы қандай?

Жауабы: $l \approx 1$ м.

2. Егер математикалық маятниктің ұзындығын екі есе арттырса, оның жиілігі неше есе өзгереді?

Жауабы: 1,41 есе азаяды.

3. Бірдей уақыт ішінде бір математикалық маятник $n_1 = 20$ тербеліс, ал екінші маятник $n_2 = 40$ тербеліс жасады. Олардың ұзындықтарының қатынасын есептеңдер.

Жауабы: $\frac{l_1}{l_2} = 4$.

- *4. Математикалық маятник амплитудасы 6 см гармоникалық тербелістер жасайды. Периодтың қандай бөлігінде маятник тепе-теңдік қалпынан 3 см-ден аспайтын қашықтықта болады?

Жауабы: $\frac{1}{3}$ бөлігінде.

- *5. Маятниктің ұзындығы $l_1 = 0,52$ м болса, сағат дұрыс жүреді. Егер оның ұзындығы $l_2 = 0,56$ м болса, сағат бір тәулікте қанша уақытқа артта қалады?

Жауабы: 54 мин.

6. Серіппеге ілінген массасы 0,2 кг шардың тербеліс жиілігі $\nu = 5$ Гц. Серіппенің қатаңдық коэффициенті қандай?

Жауабы: 197 Н/м.

7. Серіппенің қатаңдық коэффициенті 20 Н/м, оған ілінген жүктің массасы 0,2 кг болса, серіппелі маятниктің тербеліс периодын табындар.

Жауабы: 0,63 с.

8. Серіппелі маятник жүгінің массасын 4 есе азайтса, оның тербеліс периоды қалай өзгереді?

Жауабы: 2 есе азаяды.

- 9. Серіппелі маятник 15 с уақыт ішінде 30 тербеліс жасайды. Егер серіппенің қатаңдығы $k = 175$ Н/м болса, жүктің массасын табыңдар.

Жауабы: $m = 1,1$ кг.

- *10. Серіппеге ілінген мыс шар гармоникалық тербелістер жасайды. Егер мыс шарды дәл сондай алюминий шармен алмастырса, тербеліс периоды қалай өзгереді?

Жауабы: $\frac{T_1}{T_2} = 1,8$.

1-тараудың ең маңыздысы

Механикалық гармоникалық тербелістер деп дененің (материялық нүктенің) тепе-теңдік күйінен ығысуы оның жылдамдығы мен үдеуінің уақытқа тәуелді синус немесе косинус заңымен өзгеруін айтады.

Физикалық шаманың уақытқа тәуелді синус немесе косинус заңы бойынша периодты түрде өзгеруін *гармоникалық тербелістер* деп атайды.

$$x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

немесе

$$x = x_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

теңдеулері гармоникалық тербелістердің теңдеуі болып табылады.

Математикалық маятниктің тербеліс периоды

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

Серіппелі маятниктің тербеліс периоды

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

Механикалық гармоникалық тербелістегі жүйенің толық механикалық энергиясы

$$E = \frac{m x_m^2 \omega_0^2}{2}.$$

2-тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

§ 3. Еркін электромагниттік тербелістер



Тірек ұғымдар:

- ✓ электромагниттік тербелістер
- ✓ катушка
- ✓ конденсатор
- ✓ тербелмелі контур
- ✓ электр өрісінің энергиясы
- ✓ магнит өрісінің энергиясы
- ✓ өздік индукция электр қозғаушы күші

Бүгінгі сабақта:



- идеал тербелмелі контурда еркін электромагниттік тербелістердің пайда болу шарттарын оқып зерттейсіңдер;
- тербелмелі контурда электр зарядының уақытқа тәуелді өзгеріс заңдылықтарымен танысасыңдар.

Мұны білесіңдер

Тербелістер өзінің физикалық табиғатына қарай механикалық және электромагниттік болып бөлінеді. Табиғаты әртүрлі тербеліс сипаттамаларының өзгеріс заңдары бірдей және оларды бірдей теңдеулермен өрнектеуге болады.

Электромагниттік тербелістерді қарастырайық. Электромагниттік тербелістердің практикалық маңызы аса зор.

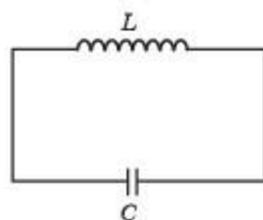
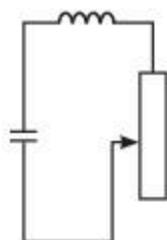
Электр энергиясын өндіру, электротехника мен радиоэлектрониканың барлық салалары, заманауи радиотехникалық құралдардың жұмысы т.б. электромагниттік тербелістерді қолдануға негізделген. Электромагниттік тербелістерде электр заряды, ток күші, кернеу, электр өрісінің кернеулігі, магнит өрісінің индукциясы тағы басқа да электродинамикалық шамалар периодты түрде өзгеріске түседі.

Тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістер. *Электромагниттік тербелістер деп электр және магнит өрістері энергияларының бір-біріне айналып, түрленуімен бірге жүретін электр заряды, ток күші және кернеудің периодты түрде өзгеру процесстерін айтады.*

Еркін электромагниттік тербелістерді зарядталған конденсаторды индуктивтік катушкамен тұйықталған жүйеде қоздыруға болады (3.1-сурет). Мұндай тербелмелі жүйеде өшетін тербелістер пайда болады, себебі жүйеге алғашында берілген энергия сымдарды қыздыруға тағы басқа да шығындарға жұмсалып, тербеліс энергиясы азая береді.



3.1-сурет. Тербелмелі контур

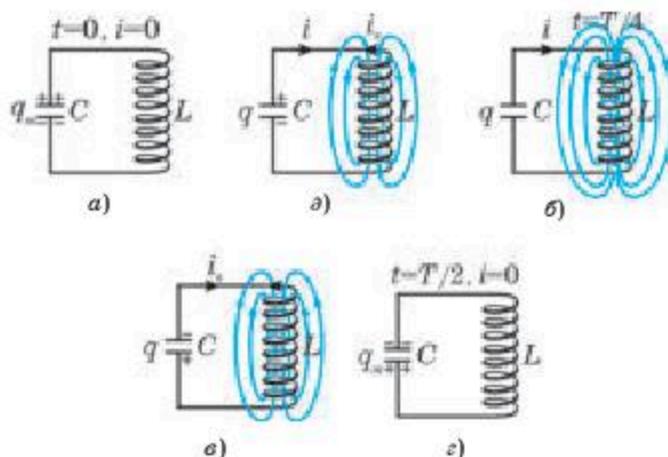


3.2-сурет. Тербелмелі контурдың сұлбаларда белгіленуі

Тербелмелі контурда пайда болатын электромагниттік тербелістердің негізгі заңдылықтарын тағайындау үшін катушка мен жалғастырушы сымдардың электр кедергісі нөлге тең деп алайық. *Индуктивтігі L катушка мен сыйымдылығы C конденсатордан тұратын электр тізбегін идеал тербелмелі контур* (3.2-сурет) деп атайды. Осы тербелмелі контурды қарастырайық.

Алдымен конденсаторды тұрақты ток көзіне қосып, зарядтап алайық (3.3, а-сурет). Сонда конденсатордың астарларында $\pm q_m$ заряд жинақталады да, астарлардың арасында пайда болған электр өрісінің энергиясы $W_e = \frac{q_m^2}{2C}$ мәніне тең болады.

Енді зарядталған конденсаторды катушкамен тұйықтайық. Катушка арқылы ток жүріп, конденсатор разрядтала бастайды (3.3, б-сурет). Токтың көбеюімен бірге, катушкадағы магнит өрісінің индукциясы да артады, сондықтан контурда өздік индукцияның электр қозғаушы күші пайда болады. Ленц ережесі бойынша өздік индукция тогы контурда артып келе жатқан конденсатордың разрядталу тогына қарама-қарсы



3.3-сурет. Тербелмелі контурда еркін электромагниттік тербелістердің пайда болуы

бағытталады. Бұл разрядталу тогының өсу жылдамдығын азайтады. 3.4-суретте разрядталу тогының уақытқа тәуелділік графигі кескінделген. Катушкадағы ток күші артқан сайын магнит өрісінің энергиясы $W_x = \frac{Li^2}{2}$

да арта береді, ал конденсатордың электр өрісінің энергиясы $W_c = \frac{q^2}{2C}$ азая бастайды.

Электромагниттік өрістің толық энергиясы кез келген уақыт мезетінде осы екі өріс

энергияларының қосындысына тең тұрақты шама болады: $W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$, мұндағы i — ток күшінің лездік мәні.

Конденсатордың разрядталуы барысында ток күшінің және оған сәйкес магнит өрісі индукциясының өсуі де баяулайды. Конденсатор толық разрядталған мезетте өздік индукцияның электр қозғаушы күші (ЭҚК) нөлге айналады, ал ток күші мен магнит өрісінің индукциясы ең үлкен мәніне ие болады. Бұл мезетке 3.3, б-сурет және 3.4-суреттегі

1-нүкте сәйкес келеді. Осы кезде магнит өрісінің энергиясы $W_x = \frac{LI_m^2}{2}$ максимал, мұндағы I_m — ток күшінің амплитудасы, ал электр өрісінің энергиясы ($W_c = 0$) нөлге тең. Бұдан соң ток күші және онымен бірге катушканың магнит өрісі кеми бастайды да, контурда өздік индукция электр қозғаушы күші пайда болады. Өздік индукция тогы контурдағы токпен бағыттас, себебі Ленц ережесі бойынша ол азайып келе жатқан токты күшейтеді (3.3, в-сурет және 3.4-суреттегі 1-2-бөліктер).

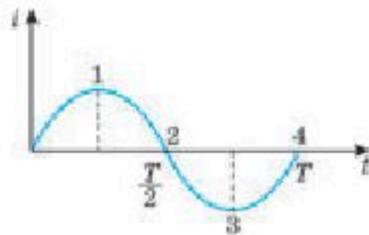
Конденсатор қайта зарядтала бастайды. Ток күші жылдам кемиді, оған сәйкес өздік индукцияның ЭҚК-і өседі де, ток күші нөлге тең болған мезетте электр қозғаушы күші максимал мәнге ие болады (3.3, г-сурет және 3.4-суреттегі 2-нүкте). Конденсатор қайта толық зарядталып болғанда электр өрісінің энергиясы ең үлкен мәніне жетеді, ал магнит өрісінің энергиясы нөлге айналады.

Осымен электромагниттік тербелістердің жарты периодын сипаттап өттік.

Бұдан соң процесс кері бағытта қайталанып, тағы жарты период өткенде жүйе алғашқы күйге қайтып оралады (3.4-суреттегі 4-нүкте).

Электромагниттік тербелістер кезінде контурда электр өрісінің энергиясы магнит өрісінің энергиясына және керісінше периодты түрде айналып отырады. Идеал тербелмелі контурда энергия шығыны болмайды, сондықтан тербелістер өшпейді. Толық энергия сақталады және кез келген мезетте ол мынаған тең:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2} \text{ немесе } \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \text{const.}$$



3.4-сурет. Тербелмелі контурдағы ток күшінің уақытқа тәуелділік графигі

Тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістердің теңдеуі. Біз қарастырған тербелмелі контурдың электр кедергісін $R = 0$ деп алғандықтан, онда пайда болатын еркін электромагниттік тербелістер өшпейтін гармоникалық тербелістер болып табылады. Осындай идеал тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістерді сипаттайтын теңдеуді қорытып шығарайық. Өзіміз білетіндей, идеал тербелмелі контурдағы тербелістердің толық энергиясы сақталады:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \text{const.}$$

Осы өрнектен уақыт бойынша туынды алайық. Тұрақты шаманың туындысы нөлге тең, демек,

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0.$$

Кез келген шаманың уақыт бойынша бірінші туындысы оның өзгеріс жылдамдығын анықтайды. Олай болса, соңғы өрнектен *магнит өрісі энергиясының өсу жылдамдығы электр өрісі энергиясының кему жылдамдығына тең* екенін көреміз. Соңғы өрнекті мынадай түрге келтіруге болады:

$$Li \cdot i' + \frac{q}{C} q' = 0. \quad (3.1)$$

Анықтама бойынша ток күші зарядтың уақыт бойынша бірінші туындысына тең: $i = q'$, онда $i' = (q')' = q''$.

Мынадай белгілеу енгізейік:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}. \quad (3.2)$$

Осы қатынастарды ескере отырып, (3.1) өрнегін мына түрге келтіруге болады:

$$q'' + \omega_0^2 q = 0. \quad (3.3)$$

Біз q зарядқа қатысты жазылған, өзімізге белгілі (1.2) теңдеуін алдық. Оның шешуі мына теңдеулер:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0); \quad (3.4)$$

$$q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (3.5)$$

Соңғы теңдеулерден мынадай қорытындыға келеміз: *тербелмелі контурда конденсатордың астарларындағы заряд мөлшері уақытқа тәуелді синус немесе косинус заңы бойынша өзгереді.*

Сонымен, идеал тербелмелі контурда электр зарядының гармоникалық тербелістері жүреді.

Тербелмелі контурдағы тербелістердің меншікті циклдік жиілігін (3.2) өрнегінен анықтайық:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (3.6)$$

Меншікті циклдік жиілік тербелмелі контурдың параметрлері — индуктивтілік және сыйымдылықпен анықталады.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC};$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (3.7)$$

(3.7) формуласы идеал тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістердің периодын анықтайды, ол Томсон формуласы деп аталады. Бұл формуладан контурдың индуктивтігі мен сыйымдылығы артқан сайын тербеліс периодының да артатыны көрініп тұр. Оның себебі индуктивтік неғұрлым үлкен болса, контурдағы ток күші соғұрлым баяу өзгереді, ал сыйымдылық неғұрлым үлкен болса, конденсатордың қайта зарядталуы соғұрлым ұзақ уақытқа созылады.

Тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістердің периоды — секундтың мыңдық бөлігінен миллиондық бөлігіне дейінгі мәндерге ие болатын өте аз шама, соған сәйкес жиілік (бірнеше миллион герц) өте үлкен шама. Сонымен, тербелмелі контурда жоғары жиіліктегі электромагниттік тербелістер пайда болады.

Біз білетініміздей, (3.4) және (3.5) теңдеулеріндегі косинустың (синустың) аргументі $\varphi = (\omega_0 t + \varphi_0)$ тербеліс фазасы деп аталады. Ол тербелістегі шаманың (зарядтың, ығысудың т.б.) кез келген уақыт мезетіндегі модулінің шамасын анықтайды. Фаза периодтың бөлігімен берілген уақыттың бұрыштық өлшемі болып табылады. Егер бастапқы $t_0 = 0$ уақыт мезетінде бастапқы тербеліс фазасы $\varphi_0 = 0$ болса,

$$\varphi = \omega_0 t = 2\pi \frac{t}{T} \quad (3.8)$$

аламыз. Тербелмелі контур кез келген радиобайланыс қондырғысының ең маңызды бөлігі болып табылады. Ол, әдетте, радиотехникалық құрылғының резонанстық жүйесі ретінде қолданылады. Жоғары жиілікті генераторларда тербелмелі контур электромагниттік тербелістер көзі болып табылады. Оптикалық диапазондағы электромагниттік тербелістер радиобайланыста, радиолокация мен радионавигация салаларында кеңінен қолданылады.



1. Электромагниттік тербелістердің анықтамасын беріңдер.
2. Идеал тербелмелі контур қандай элементтерден тұрады?
3. Еркін электромагниттік тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
4. Тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістердің толық энергиясы неге тең?
5. Тербелмелі контурда конденсатор разрядтала бастаған соң $\frac{T}{4}$; $\frac{T}{2}$; $\frac{3T}{4}$; T уақыт мезеттерінде конденсатордың электростатикалық өрісі мен катушканың магнит өрісінің энергиялары қандай мәндерге ие болады?
6. Тербелмелі контур конденсаторының астарларындағы заряд уақытқа тәуелді қандай заңмен өзгереді?
7. Тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістер қалай пайда болатынын түсіндіріңдер.
8. Тербелмелі контурда электромагниттік тербелістердің пайда болуында өздік индукция құбылысы қандай рөл атқарады?
9. Конденсатор мен резистордан тұратын контурда не себепті электромагниттік тербелістердің пайда болуы мүмкін емес?
10. Идеал тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістердің периоды қандай физикалық шамаларға тәуелді?
11. Тербелмелі контурдағы конденсатор зарядының бастапқы мәні өзгертілді. Осы кезде контурдағы электромагниттік тербелістерді сипаттайтын физикалық шамалардың қайсылары өзгеріске ұшырайды? Қайсылары өзгермей қалады?
12. Еркін электромагниттік тербелістердің периоды бастапқы уақыт мезетінде контурға берілген энергияға байланысты ма? Жауаптарыңды негіздеңдер.



1. Мына қатынастарды: $q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ және $i = q'$ пайдалана отырып, тербелмелі контурдағы ток күшінің уақытқа тәуелділік заңын шығарып алыңдар. Заряд пен ток күші тербелістерінің арасындағы фазалық айырмашылықты анықтаңдар. Бастапқы фазаның: 1) $\varphi_0 = 0$; 2) $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ мәндері үшін заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін салыңдар.
2. Мұғалімнің нұсқауымен 4-5 оқушыдан тұратын топтарға бірігіңдер. Топ мүшелерімен бірге идеал тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістер тақырыбына үш есеп құрастырыңдар. Құрастырған есептеріңнің шарттарын, олардың дұрыстығын және шығару жолдарын өзара талқылаңдар. Содан кейін басқа топпен есептеріңді алмастырыңдар да, ол есептерді шығарыңдар. Есептерді бағалаңдар. Шығарған есептерді ауызша немесе жазбаша талқылаңдар.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 10^{-5}$ Ф конденсатор мен индуктивтілігі $L = 0,2$ Гн катушкадан тұрады. Конденсаторды $U_m = 2$ В кернеуге дейін зарядтаған соң ол разрядтала бастайды. Катушканың магнит өрісінің энергиясы конденсатордың электр өрісінің энергиясына тең болған мезетте контурдағы ток күшін табыңдар. Контурдың кедергісі нөлге тең.

Берілгені:

$$C = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$U_m = 2 \text{ В}$$

$$W_s = W_x$$

$$i - ?$$

Шешуі. Конденсатордың разрядталуы басталған сәтте контурдың толық энергиясы $\frac{CU_m^2}{2}$.

$R = 0$ болғандықтан, электромагниттік тербелістердің толық энергиясы сақталады:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2}.$$

Берілген уақыт мезетінде есептің шарты бойынша $W_s = W_x$, олай болса,

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{Li^2}{2}.$$

Сондықтан былай жазуға болады: $\frac{CU_m^2}{2} = 2\frac{Li^2}{2}$, бұдан $\frac{CU_m^2}{2} = Li^2$.

$$i = U_m \sqrt{\frac{C}{2L}} = 2 \text{ В} \sqrt{\frac{10^{-5} \text{ Ф}}{2 \cdot 0,2 \text{ Гн}}} = 0,01 \text{ А}, i = 0,01 \text{ А}.$$

2-есеп. Идеал тербелмелі контурда конденсатор астарларындағы заряд $q = 10^{-3} \cos 10^4 \pi t$ (Кл) заңы бойынша өзгереді. Катушканың индуктивтігі $L = 0,2$ Гн. Тербеліс амплитудасын, периоды, жиілігін және конденсатордың сыйымдылығын анықтаңдар.

Берілгені:

$$q = 10^{-3} \cos 10^4 \pi t \text{ (Кл)}$$

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$q_m - ? \quad T - ? \quad \nu - ?$$

$$C - ?$$

Шешуі. Конденсатордың астарларындағы зарядтың гармоникалық тербелістерінің теңдеуін жазайық:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Осы теңдеуді есептің шартында берілген $q = 10^{-3} \cos 10^4 \pi t$ теңдеумен салыстыра отырып табамыз:

1. Заряд тербелістерінің амплитудасын: $q_m = 10^{-3}$ Кл.

2. Циклдік жиілік: $\omega_0 = 10^4 \pi = 3,14 \cdot 10^4$ рад/с.

3. Жиілік: $\nu = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{3,14 \cdot 10^4}{6,28} = 0,5 \cdot 10^4$ Гц = 5 кГц.

4. Тербеліс периоды: $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{10^4 \pi} = 2 \cdot 10^{-4}$ с.

5. Конденсатордың сыйымдылығын $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ формуласынан табамыз:

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{1}{3,14^2 \cdot 10^8 \cdot 0,2} \approx 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}.$$



3-жаттығу

1. Тербелмелі контурдың индуктивтігі $L = 1,6$ мГн, электр сыйымдылығы $C = 0,04$ мкФ, ал конденсатордағы ең үлкен кернеу $U_m = 200$ В. Контурды идеал деп есептеп, ондағы ток күшінің максимал мәнін анықтаңдар.

Жауабы: 1 А.

2. Идеал тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістердің толық энергиясы 0,2 мДж, кернеудің максимал мәні 100 В, ал ток күшінің ең үлкен мәні 1 А. Контурдың индуктивтілігі мен сыйымдылығын анықтаңдар.

Жауабы: 0,4 мГн; 0,04 мкФ.

- *3. Өрқайсысының диаметрі $D = 20$ см екі дөңгелек пластинадан тұратын ауа конденсаторының индуктивтілігі $L = 1$ мГн катушкамен тұйықталған. Конденсатор пластиналарының арақашықтығы 1 см, контурдың кедергісін ескермеңдер. Катушкадағы ток күшінің ең үлкен мәні 0,1 А. Конденсатордағы кернеудің ең үлкен мәнін есептеңдер.

Жауабы: 600 В.

- *4. Индуктивтілігі $L = 31$ мГн катушка астарларының ауданы $S = 20$ см², арақашықтығы $d = 1$ см жазық конденсатормен тұйықталған. Контурдың кедергісі $R = 0$. Ток күшінің максимал мәні $I_m = 0,2$ мА, кернеудің максимал мәні $U_m = 10$ В. Конденсатор астарларының арасындағы ортаның диэлектрлік өтімділігі қандай болады?

Жауабы: $\epsilon = 7$.

- *5. Идеал тербелмелі контурда кернеудің ең үлкен мәні $U_m = 30$ В, ал ток күшінің ең үлкен мәні $I_m = 1,4$ А. Катушканың магнит өрісінің энергиясы конденсатордың электр өрісінің энергиясына тең болған мезеттегі контурдағы кернеу мен ток күшінің мәнін есептеңдер.

Жауабы: ≈ 1 А; 21,3 В.

- *6. Идеал тербелмелі контур индуктивтілігі $L = 0,2$ Гн катушка мен сыйымдылығы $C = 10$ мкФ конденсатордан тұрады. Конденсатордағы кернеу $u = 1$ В болған мезетте контурдағы ток күші $i = 0,01$ А. Ток күшінің максимал мәнін анықтаңдар.

Жауабы: 0,012 А.

- *7. Идеал тербелмелі контур өзара тізбектеліп жалғанған сыйымдылықтары $C_1 = 4$ пФ және $C_2 = 8$ пФ екі конденсатор мен индуктивтілігі $L = 0,4$ мГн катушкадан тұрады. Катушкадағы ток күшінің максимал мәні $I_m = 1$ мА болса, әрбір конденсатор астарларындағы кернеудің максимал мәндері қандай?

Жауабы: 8,2 В; 4,1 В.

8. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 2,5$ мкФ конденсатор мен индуктивтілігі $L = 1$ Гн катушкадан тұрады. Конденсатордың астарларындағы зарядтың амплитудасы 0,5 мкКл. Заряд тербелістерінің теңдеуін жазыңдар.

Жауабы: $q = 0,5 \cdot 10^{-6} \cos 630t$.

9. Индуктивтілігі $L = 0,1$ Гн катушка мен сыйымдылығы $C = 2$ мкФ конденсатордан тұратын тербелмелі контурдың меншікті тербелісінің периоды табындар.

Жауабы: $2,8 \cdot 10^{-3}$ с.

10. Индуктивтілігі $L = 0,04$ Гн болатын тербелмелі контурдың еркін тербелістерінің жиілігі $\nu = 800$ Гц. Осы контур конденсаторының сыйымдылығын есептеңдер.

Жауабы: 1 мкФ.

- 11. Конденсатордың астарларындағы заряд $q = 0,03 \cos 10^5 \pi t$ (Кл) заңы бойынша өзгереді. Уақыт мезеті $t = \frac{T}{8}$ болған кездегі конденсатор астарларындағы зарядтың мәнін анықтаңдар.

Жауабы: 0,02 Кл.

- *12. Меншікті тербеліс жиілігі $\nu_1 = 20$ кГц тербелмелі контурдағы конденсаторды басқаға ауыстырғанда меншікті жиілік $\nu_2 = 30$ кГц болды. Егер осы екі конденсаторды параллель жалғаса, контурдың меншікті тербеліс жиілігі қандай болады?

Жауабы: 16,6 кГц.

- 13. Идеал тербелмелі контурдың сыйымдылығы $C = 0,5$ мкФ, конденсатордың астарларындағы максимал кернеу $U_m = 100$ В, ал контурдағы ток күшінің ең үлкен мәні $I_m = 50$ мА болса, оның меншікті тербеліс жиілігін табындар.

Жауабы: 160 Гц.

- *14. Өрқайсысының сыйымдылығы C бірдей үш конденсатор бір-біріне жалғанып, индуктивтілігі L катушкаға қосылған. Конденсаторларды алдымен параллель, содан кейін тізбектей жалғаса, контурдың еркін тербелістерінің периоды қалай өзгереді? Контурдың R кедергісін ескермендер.

Жауабы: 3.

- *15. Сыйымдылығы $C = 0,5$ мкФ зарядталған конденсаторды индуктивтілігі $L = 5,0$ мГн катушкамен тұйықтаған. Қанша уақыттан кейін конденсатордың электр өрісінің энергиясы катушканың магнит өрісінің энергиясына тең болады?

Жауабы: $3,9 \cdot 10^{-5}$ с.

§4. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Автотербелістер



Тірек ұғымдар:

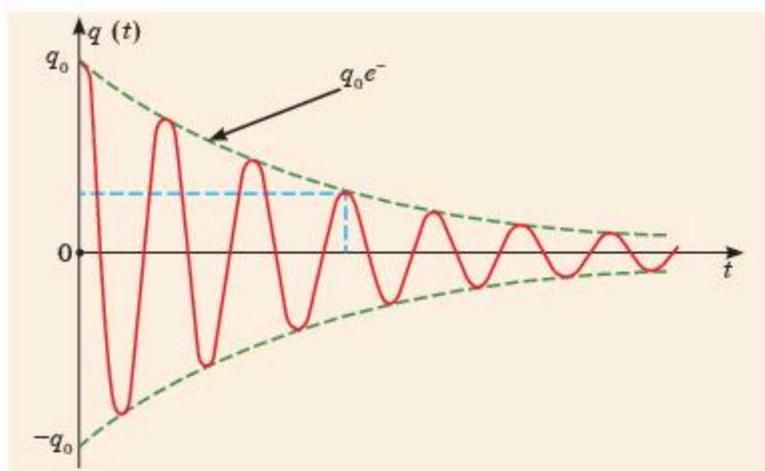
- ✓ өшетін тербелістер
- ✓ еріксіз тербелістер
- ✓ мәжбүр етуші күш
- ✓ резонанс
- ✓ автотербелістер
- ✓ жоғары жиілікті генератор



Бүгінгі сабақта:

- еріксіз тербелістердің пайда болу шарттарын оқып зерттейсіңдер;
- автотербелістер ұғымымен танысасыңдар;
- жоғары жиілікті генератордың жұмыс істеу принципімен танысасыңдар.

Өшетін тербелістер. Біз бұған дейін электр кедергісі нөлге тең болатын *идеал тербелмелі контурда* пайда болатын еркін электромагниттік тербелістерді қарастырып келдік. Мұндай идеал тербелістер тұрақты амплитудамен синусоидалық заң бойынша ұзақ уақыт бойы жүре береді. Шын мәнінде, кез келген нақты тербелмелі контурдың R электр кедергісі бар, сондықтан әр период сайын электромагниттік тербелістер энергиясының бір бөлігі контурдың элементтерін қыздыруға жұмсалып, жылу энергиясына айналады. Тербеліс энергиясы азайса, тербеліс амплитудасы да кемиді. Тербелмелі контурда жинақталған барлық энергия жұмсалып болған кезде тербелістер де тоқтайды. *Тербелмелі жүйе энергиясының кемуіне байланысты амплитудасы уақыт өтуіне қарай азайып отыратын тербелістер өшетін тербелістер деп аталады.* Дәл айтқанда, өшетін тербелістер гармоникалық заңға бағынбайды. Тербеліс амплитудасы экспоненциалдық заң бойынша кемиді (4.1-сурет).



4.1-сурет. Тербелмелі контурдағы зарядтың өшетін тербелістері

Еріксіз тербелістер. Тербелістер өшпеу үшін тербелмелі жүйеге сырттан қандай да бір периодты энергия көзімен әсер етіп, тербеліс энергиясының кемуін үнемі толықтырып отыру қажет. Механикалық толқындар үшін бұл периодты сыртқы күш болуы мүмкін, оны *мәжбүр етуші күш* деп атайды. Электромагниттік тербелістер үшін мұндай мәжбүрлеуші әсер периодты түрде өзгеріп отыратын кернеу (ток көзінің ЭҚК-і) болып табылады. Еріксіз тербелістер — бұлар өшпейтін тербелістер.

Электр тізбегіндегі сыртқы қорек көзінің айнымалы ЭҚК-і әсерінен болатын ток күші мен кернеудің периодты өзгерістерін еріксіз электромагниттік тербелістер деп атайды. Генераторларда өндірілетін айнымалы кернеу тудыратын электр тізбегіндегі айнымалы ток еріксіз электромагниттік тербелістердің ең кең таралған түрі болып табылады. Айнымалы токтың заңдарын келесі тарауда кеңінен қарастырамыз.

Сыртқы периодты әсер басталғанда біразға дейін күрделі тербелістер бақыланады. Бірақ жеткілікті уақыт өткен соң тербелістер бастапқы шарттардан тәуелсіз, тұрғылықты сипатқа ие болады. Сонымен, біраз уақыттан соң еріксіз тербеліске түскен тербелмелі жүйе өзінің бастапқы күйін “ұмытады”.

Есте сақта!

Тұрақталған еріксіз тербелістердің жиілігі мәжбүр етуші күштің жиілігіне тең. Электромагниттік тербелістер үшін бұл — ток көзінің ЭҚК-нің өзгеріс жиілігі.

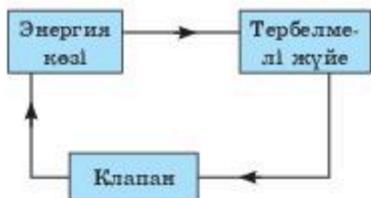
Тербелмелі жүйеге әсер ететін мәжбүрлеуші күштің (айнымалы кернеудің) ω жиілігі тербелмелі контурдың ω_0 меншікті жиілігіне жақындағанда және оның R электр кедергісі азайған кезде еріксіз тербелістердің амплитудасы мен контурдағы әр период сайын берілетін энергияның мөлшері артады.

Мұны білесіңдер

Тербелмелі жүйенің меншікті тербеліс жиілігі мәжбүр етуші күштің жиілігімен сәйкес келгенде еріксіз тербелістер амплитудасының күрт өсу құбылысы *резонанс* деп аталады.

Резонанс кезінде жүйеге сыртқы қорек көзінен энергия берілуі үшін ең қолайлы шарттар орындалады. Себебі бұл кезде периодтың барлық бөліктерінде сыртқы қорек көзінің жұмысы оң шама болып табылады.

Автотербелістер. Өшпейтін тербелістерді алудың тағы бір жолы бар, бұл — *автотербелістер*. Олар еріксіз тербелістерден сыртқы период-



4.2-сурет. Автотербелмелі жүйенің негізгі элементтері

құрылысына байланысты. Кез келген *автотербелмелі жүйе мынадай бөліктерден тұрады: энергия көзі, тербелмелі жүйе және клапан (кілт)* (4.2-сурет).

Клапан (кілт) тербелмелі жүйеге оның тербелістеріне сәйкес керек уақытта энергия көзінен келетін энергияны жіберіп, не жауып отырады. Бұл процесті тербелмелі жүйенің өзі автоматты түрде реттеп тұрады.

Электрлік автотербелістерге мысал ретінде транзисторлы генераторды қарастырайық (4.3-сурет). Ол тербелмелі контурдан, энергия көзінен және транзистордан тұрады.

Мұны білесіңдер

Транзистор — бұл өткізгіштігі әртүрлі үш жартылай өткізгіштен: эмиттерден, базадан және коллектордан тұратын триод. Транзисторлар *p-n-p* немесе *n-p-n* типтес болуы мүмкін. Эмиттер мен коллектордың негізгі заряд тасушылары бірдей (мысалы, кемтіктер), ал базаның негізгі заряд тасушыларының таңбасы оған қарама-қарсы (мысалы, электрондар).

Транзистор энергия көзін қажет уақыт мезетінде жүйеге қосып тұратын клапанның (кілттің) рөлін атқарады. Транзисторлы генератор жоғары жиіліктегі (МГц) тербелістерді шығарады, сондықтан кілт өте тез жұмыс істеуі керек және ол инерциясыз болуы тиіс. Транзистор бұл шарттарды толық қанағаттандырады.

Енді генератордың жұмысын қарастырайық. Тербелмелі контурдағы энергия шығынын толықтыру үшін оған тұрақты кернеу көзін қосады.



4.3-сурет. Транзисторлы генератор

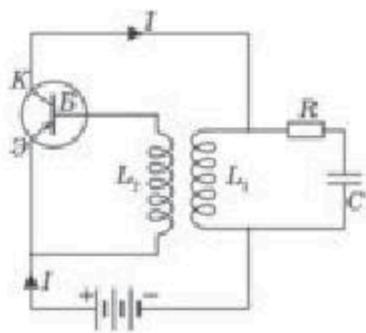
Егер ол тербелмелі контурға үнемі қосылы тұрса, периодтың бірінші жартысында (кернеу көзінің оң полюсіне конденсатордың оң зарядталған астары қосылы тұрған кезде) конденсаторды үстемелеп зарядтайды. Ал периодтың екінші жартысында конденсатор астарларындағы зарядтың таңбасы өзгерсе, конденсатор кернеу көзі арқылы разрядталады. Басқаша айтқанда, тербеліс периодының бірінші жартысында энергия контурға берілсе, екінші жартысында кернеу көзіне қайта беріледі. Әрине, мұндай жағдайда кернеу көзі энергия шығынын толтыра алмайды.

Ал егер кернеу көзі тербелмелі контурға периодты түрде, конденсатордың оң полюске қосылған астары оң зарядталып тұрған уақытта ғана қосылса, конденсатор тек қана үстемелеп зарядталып отырады. Онда тербелістер өшпейді. Кілтті (транзисторды) осылайша қолдану үшін *кері байланыс* қажет. Ол үшін индуктивтік катушканы пайдалануға болады. Генератордың жұмыс істеу принципі түсіну үшін оның сұлбасын қарастырайық (4.4-сурет).

Тұрақты кернеу көзі тербелмелі контурға транзистор арқылы қосылған. Транзистордың *Б* базасы *n*-типті жартылай өткізгіш, ал *К* коллектор мен *Э* эмиттер *p*-типті жартылай өткізгіштен жасалған болсын. Эмиттерге оң, коллекторға теріс потенциал берілген. Эмиттер база өтуі тура, ал база коллектор өтуі кері болады да, тізбекте ток жүрмейді.

Тізбекті тұйықтау үшін базаға эмиттермен салыстырғанда теріс потенциал беру керек және осы кезде конденсатор үстемелеп зарядталу үшін оның үстіңгі астары оң зарядталып тұруы тиіс. Конденсатордың үстіңгі астары теріс зарядталып тұрған кезде тізбектегі токтың болмауы шарт. Ол үшін эмиттермен салыстырғандағы базаның потенциалы оң болуы қажет.

Сонымен, тербелмелі контурдағы конденсаторды қажет кездерде үстемелеп зарядтап, энергия шығынын толықтырып тұру үшін эмиттерлік кернеу контурдағы кернеудің тербелістеріне сәйкес таңбасын периодты түрде өзгертіп отыруы керек. Жоғарыда айтылған кері байланыс, міне, осы үшін қажет. 4.4-суретте көрсетілгендей, L_2 индуктивтік катушка эмиттерлік өтуге қосылған. Бұл катушка тербелмелі контурдың катушкасымен индуктивтік байланыста. Электромагниттік индукцияның нәтижесінде L_1 катушканың магнит өрісінің тербелістері L_2 катушкадағы кернеудің тербелістерін тудырады, сондықтан эмиттерлік өтуде кернеудің тербелістері пайда болады. Тізбек керек кезінде тұйықталып тұру үшін эмиттерлік өтудегі кернеу тербелістерінің фазасын дұрыс реттеп алу



4.4-сурет. Транзисторлы генератордың сұлбасы

керек. Контурдағы энергия шығыны энергия көзінен келіп түскен энергиямен теңгерілгенше тербеліс амплитудасы өсе береді. Нәтижесінде өшпейтін стационар тербелістер режімі орнайды. Тербеліс жиілігі Томсон формуласымен анықталады:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Автотербелістердің жиіліктері өте кең диапазонда жатыр. Олар радиотехникада, радиобайланыста, теледидарда, ЭЕМ-де және т.б. жерлерде пайдаланылады.

Электромагниттік тербелістер тірі ағзаларға пайдалы да, зиянды да әсер етуі мүмкін. Адам ағзасының кез келген мүшесінің өзіне тән резонанстық жиілігі болады. Сыртқы тербелмелі әсердің жиілігі резонанстық жиілікпен дәл келгенде солқылдау байқалады, ал оның нәтижесінде ағзада қандай өзгерістер болатыны амплитудаға тәуелді. Электромагниттік сәулеленудің адамның психикасына әсер ететіні айқын дәлелденген.



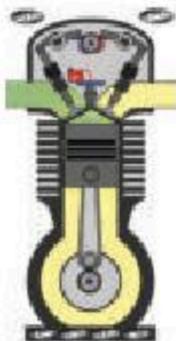
1. Нақты тербелмелі контурдағы еркін тербелістер не себепті өшеді?
2. Еріксіз тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
- *3. Еріксіз тербелістердің жиілігі мен амплитудасы қандай шамаларға байланысты?
- *4. Автотербелістердің еріксіз тербелістерден қандай айырмашылықтары бар?
- *5. Автотербелмелі жүйе қандай негізгі бөліктерден тұрады?
- *6. Жоғары жиілікті генератордың жұмысында транзистор қандай рөл атқарады?
- *7. Кері байланыс деген не?
- *8. Жоғары жиілікті генератордың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
- *9. Автотербелістерге мысалдар келтіріңдер.



1. Сыртқы мәжбүр етуші күштің әсерінен тіпті тербелмелі жүйе болып табылмайтын денелердің өзі де еріксіз тербеліске түсуі мүмкін. 4.5, 4.6-суреттерге қарап, қандай еріксіз тербелістер болып жатқаны туралы айтып беріңдер. Әрбір жағдайдағы мәжбүр етуші күшті атаңдар. Еріксіз тербелістерге тағы бірнеше мысалдар келтіріңдер.



4.5-сурет



4.6-сурет

2. Мұғалімнің нұсқауымен бірнеше топқа бірігіңдер. Электромагниттік толқындардың тірі ағзаларға әсері туралы мағлұматтар жинаңдар. Презентация дайындап, оны талқылаңдар.

§ 5. Механикалық және электромагниттік тербелістер арасындағы ұқсастықтар



Тірек ұғымдар:

- ✓ аналогия
- ✓ координата
- ✓ заряд
- ✓ жылдамдық
- ✓ ток күші
- ✓ серіппелі маятник
- ✓ тербелмелі контур
- ✓ конденсатор
- ✓ катушка

Бүгінгі сабақта:

- механикалық және электромагниттік тербелістерді салыстыра отырып, олардың негізгі сипаттамалары мен заңдылықтарының арасындағы ұқсастықтарды анықтайсыңдар.

Мұны білесіңдер

Механикалық және электромагниттік тербелістердің физикалық табиғаттары әртүрлі, бірақ тербелістегі физикалық шамалардың уақытқа тәуелді өзгеріс заңдылықтары бірдей. Оларды бірдей теңдеулермен сипаттауға болады. Табиғаты әртүрлі тербелмелі процестер бірдей параметрлермен сипатталады.

Механикалық және электромагниттік тербелістердің арасындағы ұқсастықтарды анықтайық. Біз серіппелі және математикалық маятниктердің механикалық тербелістері кезіндегі жүктің x координатасы мен оның v жылдамдығының, сол сияқты тербелмелі контурда электромагниттік тербелістер пайда болғанда конденсатордың астарларындағы q заряд пен контурдағы i ток күшінің периодты өзгерістерін қарастырдық.

Осы екі жағдайдағы тербеліске түсетін шамалардың физикалық табиғаты екі түрлі, алайда бұл тербелістер бірдей заңдылықтарға бағынады. Бұлардың тербеліс теңдеулері бірдей формада жазылады.

Тербеліс пайда болу үшін тербелмелі жүйеге қосымша энергия беру керек. Мысалы, серіппені созып немесе сығып біз оған қосымша потенциалдық энергия береміз. Енді маятникті еркіне қоя берсек, серпімділік күші оны тепе-теңдік орнына әкеледі. Тепе-теңдік орнына серіппенің

$$E_p = \frac{kx_m^2}{2} = 0$$

ең аз потенциалдық энергиямен сипатталатын деформацияланбаған күйі ($x = 0$) сәйкес келеді. Бұл жағдайда серіппелі маятниктің толық энергиясы оның кинетикалық энергиясына тең:

$$E = E_k = \frac{mv_m^2}{2}.$$

Инерция салдарынан жүк бұл тепе-теңдік күйден өздігінен өтіп кетеді.

Тербелмелі контурға артық энергияны (электр өрісінің энергиясын) конденсаторды зарядтау арқылы беруге болады. Бұдан соң конденсатор разрядталып болған ($q = 0$) мезетте электр өрісінің энергиясы

$W_s = \frac{q^2}{2C} = 0$ -ге дейін кемиді. Осы мезетте катушкадағы магнит өрісінің

энергиясы $W_x = \frac{Li_m^2}{2}$ максимум мәніне жетіп, тербелмелі контурдың толық энергиясына тең болады. Тербелмелі контур бұл күйден өздік индукцияның салдарынан өздігінен өтіп кетеді.

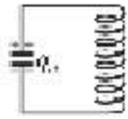
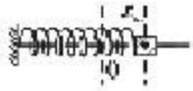
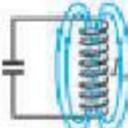
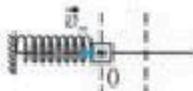
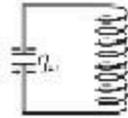
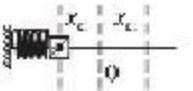
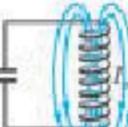
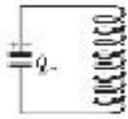
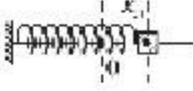
Механикалық тербелмелі жүйеде жүктің тепе-теңдік күйден ауытқуы тербелмелі контурдағы конденсатордың зарядталуының ана-

логиясы болып табылады. Бұл кезде серіппелі маятникке $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$

потенциалдық энергия, ал конденсаторға $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ электр өрісінің

энергиясы беріледі (5.1, а-сурет). Екі формуланың жазылу түрі бірдей: механикалық тербелістердегі серіппенің қатаңдығы k -ның орнында электромагниттік тербелістерде $\frac{1}{C}$ коэффициенті тұр, ал x_m координата-

сы q_m зарядқа сәйкес келеді. Дененің тепе-теңдік күйге қарай қозғалуы контурда электр тогының пайда болуына ұқсас. Дененің жылдамдығы инерцияның әсерінен біртіндеп артатыны сияқты, контурдағы ток күші өздік индукция құбылысы салдарынан біртіндеп артады.

№	Электромагниттік тербелістер	Механикалық тербелістер
5.1, а	 $t = 0$ $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_m = 0$	 $t = 0$ $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$ $E_k = 0$
5.1, б	 $t = \frac{1}{4}T$ $W_s = 0$ $W_m = \frac{LI_m^2}{2}$	 $t = \frac{1}{4}T$ $E_k = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_p = 0$
5.1, в	 $t = \frac{1}{2}T$ $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_m = 0$	 $t = \frac{1}{2}T$ $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$ $E_k = 0$
5.1, г	 $t = \frac{3}{4}T$ $W_s = 0$ $W_m = \frac{LI_m^2}{2}$	 $t = \frac{3}{4}T$ $E_p = 0$ $E_k = \frac{mv_m^2}{2}$
5.1, д	 $t = T$ $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_m = 0$	 $t = T$ $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$ $E_k = 0$

5.1-сурет. Электромагниттік және механикалық тербелістер арасындағы ұқсастықтар

Серіпшелі маятникте жүктің оң жақтағы шеткі орнында оған әсер ететін қайтарушы (серпімділік) күштің мәні максимал, соған сәйкес жүктің үдеуі де максимал болады. Жүк тепе-теңдік орнына жақындаған сайын қайтарушы күш пен үдеу азайып, жүктің жылдамдығы арта береді. Тепе-теңдік орнында жүкке әсер ететін күш нөлге тең, бірақ оның жылдамдығы максимал, сондықтан жүк инерция салдарынан ері қарай қозғала береді.

Тербелмелі контурда конденсатордың разрядталуы басталған мезетте оның астарларындағы заряд пен потенциалдар айырмасы максимал, ал контурдағы ток күші нөлге тең. Конденсатордың разрядталуы барысында тізбектегі ток күші артады, бұл разрядталу тогының артуына кедергі жасайтын өздік индукция тогының пайда болуына әкеліп

соғады (Ленц ережесі). Бұдан тізбектегі разрядталу тогының артуы тоқтамайды, бірақ баяулайды.

Периодтың төрттен бірі өткенде, яғни $t = \frac{1}{4}T$ мезетте жүк $x = 0$, $v = v_m$ тепе-теңдік орнынан өтеді, ал конденсатор толық разрядталады: $q = 0$, ал катушкадағы ток күші $i = I_m$ максимал мәніне жетеді (5.1, а-сурет). Бұл кезде маятниктің потенциалдық энергиясы $E_p = 0$, ал кинетикалық энергиясы $E_k = \frac{mv_m^2}{2}$ максимал.

Осыған ұқсас тербелмелі контурда $t = \frac{1}{4}T$ уақыт мезетінде электр өрісінің энергиясы $W_e = 0$, ал магнит өрісінің энергиясы $W_m = \frac{LI_m^2}{2}$ максимал. Соңғы формулаларды салыстыра отырып, механикалық тербелістердегі m масса электромагниттік тербелістердегі L индуктивтікке сәйкес екенін көреміз. Жүктің v жылдамдығы мен i ток күші бір-біріне сәйкес келеді. Жүк бұдан соң өзінің инерциясымен серіппені сығып, солға қарай жылжиды, ал катушкадағы ток электрондарды конденсатордың зарядталмаған бір астарынан екінші астарына қарай “айдайды”. Серіппе сығылады, конденсатор қайта зарядталады.

$t = \frac{1}{2}T$ мезетте жүк өзінің сол жақтағы ең шеткі орнына жетіп тоқтайды, ал конденсатор осы сәтте толық зарядталып болады (5.1, б-сурет), контурдағы ток күші нөлге тең. Енді жүк серпімділік күшінің әсерінен оңға қарай қозғала бастайды, ал конденсатор өзінің астарларының арасындағы потенциалдар айырымының әсерінен разрядтала бастайды.

Периодтың төрттен үш бөлігі өткенде, яғни $t = \frac{3}{4}T$ мезетте жүк тағы максимал жылдамдықпен тепе-теңдік күйден өтеді; конденсатор толық разрядталған, тізбектегі ток максимал (5.1, в-сурет). Ақырында $t = T$ болғанда екі жүйе де бастапқы күйлеріне қайта оралады (5.1, г-сурет).

Сонымен, *екі жүйедегі (серіппелі маятник пен тербелмелі контур) тербелістер бірдей жүреді, бірақ тербеліске түсетін шамалардың табиғаты әртүрлі. Бұл жерде қандай шаманың тербеліске түсетіні емес, олардың қалай, қандай заңдылықпен тербелетіні маңызды. Тербеліс заңы екі жағдайда да бірдей.*

Электромагниттік және механикалық тербелістердің арасындағы аналогияларды айқындаудың тербелмелі процестерді тереңірек түсінуге көмегін тигізуімен қатар, практикалық маңызы да бар. Механикалық және электрлік шамалар арасындағы аналогияларды пайдаланып, кейбір күрделі электрлік жүйелерді механикалық тербелмелі жүйемен үлгілеуге болады. Ал мұның өзі қайсыбір күрделі есептерді шешуге көмегін тигізеді.

Енді механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістерді сипаттайтын физикалық шамалардың ұқсастықтарын кесте түрінде өрнектейік (5.1-кесте).

5.1-кесте

Тербелістердің сипаттамалары

Механикалық тербелістер	Электромагниттік тербелістер
Координата x	Заряд q
Амплитуда x_m	Максимал заряд q_m
Жылдамдық $v = x'$	Ток күші $i = q'$
Үдеу $a = v' = x''$	Ток күшінің өзгеріс жылдамдығы $i' = q''$
Масса m	Индуктивтілігі L
Серішпенің қатаңдығы k	Электр сыйымдылыққа кері шамасы $\frac{1}{C}$
Күш F	Кернеу U
Деформацияланған серішпенің потенциалдық энергиясы $E_p = \frac{kx^2}{2}$	Конденсатордың электр өрісінің энергиясы $W_э = \frac{q^2}{2C}$
Жүктің кинетикалық энергиясы $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Катушканың магнит өрісінің энергиясы $W_m = \frac{Li^2}{2}$



1. Серіппелі маятникте қатаңдық коэффициентінің k артуы тербелмелі контурдағы қандай шаманың өзгерісіне сәйкес келеді?
2. Тербелмелі контурдағы индуктивтіктің кемуі серіппелі маятникте қандай шаманың өзгерісіне ұқсас болады?
3. Серіппелі маятниктің механикалық тербелістерінің теңдеуін электромагниттік тербелістердің теңдеуіне аналогиялық түрде жазыңдар.
4. Тербелмелі контурдың конденсаторының астарларының арасындағы кернеу нөлге теңескен сәтте неге контурдағы ток күші де нөлге теңеспейді? Осыған серіппелі маятниктің тербелістерінде қандай процесс сәйкес келеді? Түсіндіріңдер.
5. Тербелмелі контур индуктивтігі L катушкадан және бір-біріне параллель жалғанған, сыйымдылықтары C_1 және C_2 екі конденсатордан тұрады. Осыған сәйкес екі серіппелі маятниктен тұратын тербелмелі жүйені сызыңдар.



Осы параграфтың мәтініне сүйене отырып, математикалық маятниктің тербелістері мен тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістердің аналогиясын қарастырыңдар. 5.1-кестенің үлгісі бойынша осы тербелістердің аналогиялық сипаттамаларын кестеге толтырыңдар.

§6. Идеал тербелмелі контурдағы заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктері



Тірек ұғымдар:

- ✓ зарядтың тербеліс графиктері
- ✓ ток күшінің тербеліс графиктері
- ✓ фазалық ығысу
- ✓ компьютерлік модельдеу
- ✓ векторлық диаграммалар
- ✓ вектордың айналуы

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік тербелістерді графиктік тәсілмен зерттеуді қарастырып, тербелмелі процестерді компьютерде модельдеумен және векторлық диаграммалар тәсілімен танысасыздар.

Идеал тербелмелі контурдағы заряд пен ток күшінің тербеліс графиктері. Гармоникалық тербелістерді сипаттаудың графиктік тәсілі тербелістегі шамалардың уақытқа тәуелділігін көрнекті түрде көрсетуге, сонымен қатар егер масштаб белгілі болса, тербелістердің негізгі сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді. Алдымен идеал тербелмелі контурдағы заряд тербелістерінің графигін салайық. Ол үшін бастапқы фазаны ($\varphi_0 = 0$) нөлге тең деп алып, (3.4) теңдеуін қолданайық:

$$q = q_m \cos \omega_0 t. \quad (6.1)$$

Бұл теңдеудің графигі 6.1, *a*-суретте көрсетілген. Графикте ординаталар осінің бойына конденсатордың астарларындағы зарядтың мәндері, абциссалар осі бойының астыңғы жағына периодтың бөліктерімен көрсетілген уақыт, үстіңгі жағына тербеліс фазаларының сәйкес мәндері салынған.

Ток күшінің тербеліс теңдеуін табу үшін (6.1) заряд тербелістерінің теңдеуінен уақыт бойынша бірінші туындыны алайық:

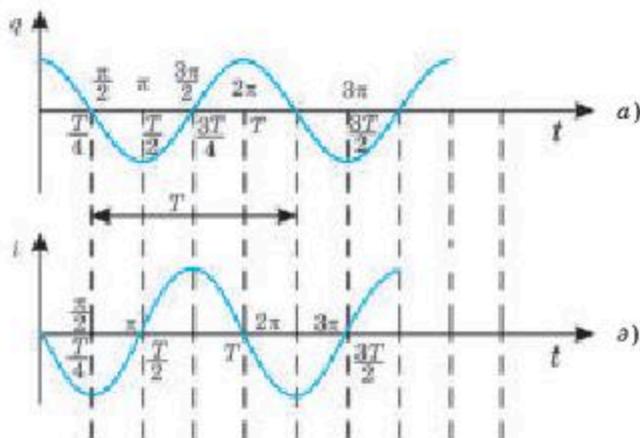
$$i = q' = -q_m \omega_0 \sin \omega_0 t \text{ немесе } q_m \omega_0 = I_m \text{ деп белгілеп,}$$

$$i = -I_m \sin \omega_0 t$$

немесе

$$i = I_m \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (6.2)$$

(6.1) мен (6.2) теңдеулерін салыстыра отырып, заряд тербелістері мен ток күші тербелістерінің арасында $\frac{\pi}{2}$ -ге тең фазалық ығысу бар екенін көреміз. Осыны ескере отырып, ток күшінің уақытқа тәуелділік графигін сызамыз (6.1, *a*-сурет).



6.1-сурет. Идеал тербелмелі контурдағы заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктері

Егер масштаб белгілі болса, 6.1-суретте көрсетілген графиктердің абциссалар осінен тербеліс периодын, одан жиілікті, ал ординаталар осінен тербелістеі шаманың амплитудасы мен лездік мөнін анықтауға болады. Графиктерден фазалық ығысу да айқын көрініп тұр. Конденсатор астарларындағы зарядтың мәні максимал болған мезеттерде тізбектегі ток күші нөлге тең.

Заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін компьютерде модельдеу. Жоғарыда қарастырған графиктерін компьютерде модельдеу тәсілімен зерттеу үшін “Открытая физика” (1.1-версия; фирма 1С) курсының CD-дискінде берілген тербелмелі контурдың үлгісін қолданамыз.

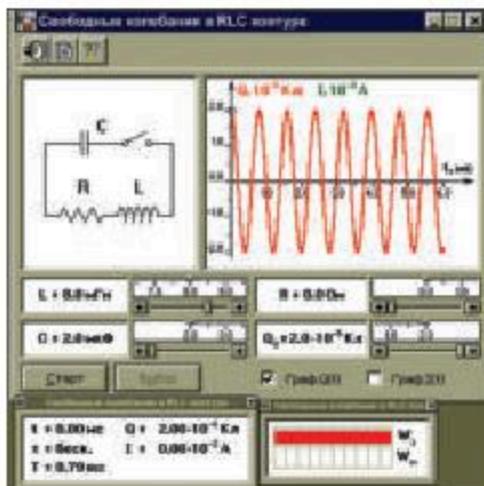
Жұмысты орындау үшін алдымен мынадай әрекеттер жасау керек:

1. “Открытая физика” бағдарламасын іске қосыңдар.
2. Мазмұнынан “Электричество и магнетизм” тарауын, оның ішінен “Свободные колебания в RLC контуре” бөлімін таңдап алыңдар.
3. Тербелмелі контурда жүретін барлық процестерді модельдеу тәжірибелерін ашылған “Свободные колебания в RLC контуре” терезесінде жүргізу керек.

4. Барлық тәжірибелік қондырғылар “Выбор” режимінде орындалады (осы түймені басып, L , C , R , Q_0 параметрлерінің тәжірибелерге қажетті мәндерін қою керек: сызғышты оның үстінде орналасқан көрсеткішке қатысты жылжыта отырып немесе бағдары бар түймелерді тінтуірмен басып, не сызғыштағы жүгіртпені көрсеткішке қатысты жылжыту керек).

Жұмыс барысы

1. Тербелмелі контурдың параметрлерін тербелмелі процесс өшпейтіндей етіп өзгертейік, ол үшін контурдың кедергісін $R = 0$ етіп алыңдар.



6.2-сурет. Электромагниттік тербелістерді компьютерлік модельдеу

2. Жүйенің бастапқы параметрлерін тағайындайық:

- а) конденсатордың заряды $2,0 \cdot 10^{-6}$ Кл;
- ә) конденсатордың сыйымдылығы 2 мкФ;
- б) катушканың индуктивтігі 8 мГн (6.2-сурет).

Зарядтың уақытқа тәуелділік графигін алу үшін Граф. $Q(t)$ пунктіне белгіні қойыңдар (6.2-сурет).

Ток күшінің уақытқа тәуелділік графигін алу үшін белгіні Граф. $Q(t)$ пунктінен алып тастап, Граф. $I(t)$ пунктіне қойыңдар.

Векторлық диаграммалар тәсілі. Гармоникалық тербелістерді көрнекті түрде кескіндеу үшін *векторлық диаграммалар* тәсілі қолданылады. Қандай да бір физикалық шаманың тербелістері

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (6.3)$$

теңдеуімен берілсін.

Өзара перпендикуляр болатын горизонталь және вертикаль екі ось жүргізейік (6.3-сурет). Тербеліс амплитудасын O нүктесінен бастап, қандай да бір таңдап алынған масштабпен, \vec{A} векторы түрінде горизонталь оське $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$ бұрышпен салайық. \vec{A} векторы сағат тіліне қарама-қарсы бағытта, сурет жазықтығына перпендикуляр өтетін O осінен ω_0 бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрсын. Онда φ бұрышы уақытқа тәуелді сызықтық заңдылықпен өседі.

Мұндай жағдайда горизонталь оське \vec{A} векторының проекциясы мынаған тең болады:

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

Бұл теңдеу тербелістегі x шамасының берілген уақыт мезетіндегі мүмкін мәнін анықтайды. Механикалық тербелістерде осы шаманың шамасы суды, ал электромагниттік тербелістерде заряд шамасын береді.

(6.3) өрнегінен уақыт бойынша бірінші туындыны алайық:

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

Қандай да бір шаманың уақыт бойынша бірінші туындысы сол шаманың өзгеріс жылдамдығына тең (серіппелі маятникте бұл — жүктің қозғалыс жылдамдығы $x' = v$, ал тербелмелі контурда зарядтың өзгеріс жылдамдығы, яғни ток күші $i = q'$). Сонымен, біз жылдамдықтың гармоникалық тербелісінің теңдеуін алдық:

$$x' = -A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right). \quad (6.4)$$

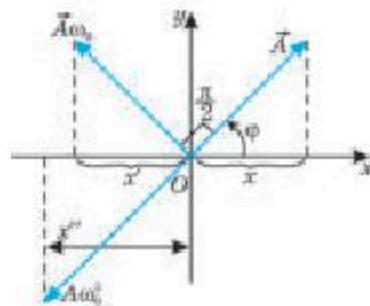
Бұл тербелістің амплитудасы $A\omega_0$ -ге тең. Оны векторлық диаграммаға горизонталь осьпен $\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right)$ бұрыш жасайтын вектор түрінде салайық (6.3-сурет). \vec{A} және $\vec{A}\omega_0$ векторларының арасындағы бұрыш $\frac{\pi}{2}$ -ге тең. $\vec{A}\omega_0$ векторының горизонталь оське проекциясы берілген уақыт мезетіндегі жылдамдыққа (ток күшіне) тең. (6.3) пен (6.4) теңдеулерін салыстыра отырып, екі тербелістің фазалар айырымы $\frac{\pi}{2}$ -ге тең екенін көреміз. Екінші туынды x'' , яғни жылдамдықтың не ток күшінің бірінші туындысы механикалық тербелістерде үдеуге, электромагниттік тербелістерде ток күшінің өзгеріс жылдамдығына тең:

$$x'' = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

немесе

$$x'' = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi). \quad (6.5)$$

$A\omega_0^2$ амплитуданы да векторлық диаграммаға салайық. \vec{A} және $\vec{A}\omega_0^2$ векторларының арасындағы бұрыш π -ге тең, бұл (6.3) және (6.5) тербелістерінің фазалар айырымына тең. Диаграммаға салынған амплитудалардың бәрі сағат тілінің бағытына қарама-қарсы ω_0 бұрыштық жылдамдықпен айналады. Олардың арасындағы бұрыштар уақытқа қатысты өзгермей, сәйкес тербелістердің фазалар айырымына тең болып қала береді. Сонымен, векторлық диаграммада гармоникалық тербелістегі шамалар мен олардың тербеліс фазаларының айырымдары көрнекі түрде кескінделеді. Мысалы, диаграммадан ығысу x пен үдеу x'' нөлге тең болғанда (\vec{A} мен $\vec{A}\omega_0^2$ векторлары вертикаль осьтің бойымен бағытталғанда) жылдамдықтың максимал мәнге жететінін көреміз. Ал жылдамдық $x' = 0$ болғанда x ығысу мен x'' үдеу ең үлкен мәнге ие болады.



6.3-сурет. Векторлық диаграммалар тәсілі

Фаза дегеніміз — периодтың бөлігімен есептелетін уақыттың бұрыштық өлшемі: $\varphi = 2\pi \frac{t}{T}$. Фазаны тек векторлық диаграммада ғана көрнекті түрде кескіндеуге болады, бұл тәсілдің құндылығының өзі, міне, осында.

Енді гармоникалық тербелістер синус немесе косинус заңына бағынады деген тұжырымдамаға қайта оралайық. Біз (6.2), (6.4) және (6.3) теңдеулерінде косинусты қолдандық. Егер синус функциясын пайдалансақ, теңдеулер қалай жазылар еді? Математикадан бізге

$$\cos\varphi = \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

қатынасы белгілі, осыны ескеріп (3.4) өрнегін былай жазамыз:

$$q = q_m \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} + \varphi_0\right).$$

Соңғы өрнекте бастапқы фаза $\left(\varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right)$ -ге тең екенін көреміз.

Егер бастапқы $t = 0$ уақыт мезетін конденсатор $q = q_m$ толық зарядталып тұрған сәтпен бірдей деп алсақ, бастапқы фаза $\varphi_0 = 0$, онда (6.4) теңдеуін қолданған ыңғайлы. Ал егер уақытты конденсатор толық разрядталған сәттен бастап санасақ (контурдағы ток күшінің мәні максимал), синус функциясын қолданған ыңғайлы:

$$q = q_m \sin\omega_0 t, \text{ мұнда } \varphi_0 = 0, t = 0 \text{ болғанда } q = 0.$$

Әрине, жалпы жағдайда бастапқы фаза φ_0 нөлге тең болмауы да мүмкін. Сондықтан әрбір нақты жағдайда алдымен бастапқы шарттарды талқылап алып, қандай функцияны қолдану ыңғайлы болатынын шешкен жөн.



1. Заряд пен ток күшінің тербеліс графиктерін салу үшін тербелістің қандай параметрлерін білу керек?
2. Заряд пен ток күші тербелістерінің арасындағы фазалық ығысу неге тең?
3. Идеал тербелмелі контурдағы заряд пен ток күшінің графиктің тәуелділіктерін компьютерде модельдеу үшін алдын ала қандай дайындық жұмыстарын жүргізу керек?
4. Ізделініп отырған графиктерді компьютерде алу үшін жүйенің қандай бастапқы параметрлерін тағайындау керек?
5. Компьютерде алынған графиктерден заряд пен ток күшінің тербелістерінің қандай параметрлерін анықтауға болады?
6. Векторлық диаграммалар тәсілімен бастапқы фазаны қалай анықтауға болады?
7. Бір векторлық диаграммада көрсетілген екі тербелістің фазалар айырмасын қалай анықтауға болады?
8. Векторлық диаграммадан берілген уақыт мезетіндегі тербеліс фазасын қалай анықтауға болады?
9. Векторлық диаграммалар тәсілін түсіндіріп беріңдер.



1. Заряд амплитудасының мәні 0,05 Кл, тербеліс периоды 0,02 с, зарядтың бастапқы тербеліс фазасы $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$. Осы мәліметтерге сүйеніп, идеал тербелмелі контурдағы $q = q(t)$ зарядтың және $i = i(t)$ ток күшінің графиктерін салыңдар.
2. Идеал тербелмелі контурдағы зарядтың және ток күші тербелістерінің векторлық диаграммасын тұрғызыңдар. Заряд тербелістерінің бастапқы фазасы: 1) $\varphi_0 = 0$; 2) $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$.

2-тараудың ең маңыздысы

Тербелмелі контурдағы зарядтың гармоникалық тербелістерінің теңдеуі

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

мұндағы q_m — конденсатор астарларындағы зарядтың ең үлкен мәні, оны *тербеліс амплитудасы* деп атайды.

$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$ — *тербеліс фазасы*;

φ_0 — *бастапқы фаза*;

$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ — *тербелістің меншікті циклдік жиілігі*;

$T = 2\pi\sqrt{LC}$ — *тербеліс периоды* (Томсон формуласы).

Механикалық және электромагниттік тербелістердің арасында аналогия бар.

Нақты тербелмелі жүйедегі еркін тербелістер өшеді. Өшпейтін тербелістер алу үшін энергия шығынын толықтырып отыру қажет. Оның екі жолы бар: біріншісінде энергия шығыны сыртқы энергия көзінен периодты түрде толықтырылып отырады. Мұндай тербелістер *еріксіз тербелістер* деп аталады. Ал екіншісінде энергия көзі тербелмелі жүйенің ішінде болады және оның берілуін жүйенің өзі реттеп отырады. Бұл тербелістер *авто тербелістер* деп аталады.

3-тарау. АЙНЫМАЛЫ ТОК

§7. Айнымалы ток генераторы



Тірек ұғымдар:

- ✓ айнымалы ток генераторы
- ✓ электромагниттік индукция құбылысы
- ✓ магнит ағыны
- ✓ индуктор
- ✓ якорь
- ✓ ротор
- ✓ статор

Бүгінгі сабақта:



- айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципі және құрылысымен танысасыңдар.

Ток генераторы деп механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын қондырғыны айтады.

Қазіргі кезде ең кең таралған генераторлар — бұлар айнымалы токтың электромеханикалық индукциялық генераторлары (7.1-сурет).

Айнымалы ток генераторларының артықшылығы — олардың құрылысының қарапайымдылығында және жеткілікті түрде жоғары кернеу мен үлкен токтарды алу мүмкіншілігінде. Электромеханикалық индукциялық генераторларда механикалық энергия электр энергиясына айналады.

Мұны білесіңдер

Тұйық контурды тесіп өтетін магнит ағыны өзгерген кезде контурда электр тогының пайда болу құбылысын *электромагниттік индукция* деп атайды.



7.1-сурет. ГЭС-те орнатылатын генераторлар

Контурдың S ауданын қиып өтетін Φ магнит ағыны деп мынадай шаманы айтады:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha,$$

мұндағы B — магнит индукциясының векторлық модулі, α — \vec{B} индукция векторы мен рамаға тұрғызылған \vec{n} нормальдың арасындағы бұрыш. Индукциялық ЭҚК индукциясы тұйық контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгеріс жылдамдығына тең:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Магнит индукциясы \vec{B} біртекті, магнит өрісінде ауданы S сымнан жасалған рама тұрақты ω бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрсын (7.2-сурет).

Рама ω бұрыштық жылдамдықпен айналатындықтан, \vec{B} векторы мен раманың жазықтығына тұрғызылған \vec{n} нормальдың арасындағы бұрыш $\alpha = \omega \cdot t$, онда $\Phi = BS\cos\omega t$, яғни магнит индукциясының ағыны гармоникалық заң бойынша өзгереді. Сондықтан рамада $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta(BS\cos\omega t)}{\Delta t}$ ЭҚК индукцияланады. Егер $\Delta t \rightarrow 0$ өте аз уақыт аралығын алсақ,

$$\mathcal{E}_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(-\frac{\Delta(BS\cos\omega t)}{\Delta t} \right) = -(BS\cos\omega t)' = BS\omega\sin\omega t.$$

$\mathcal{E}_m = BS\omega$ деп белгілейік, онда

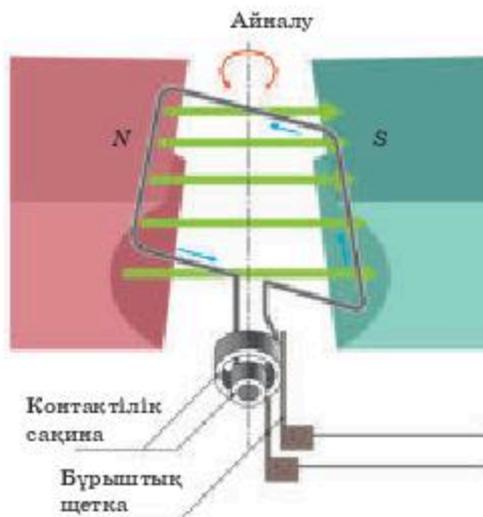
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin\omega t. \quad (7.1)$$

Сонымен, магнит өрісінде бірқалыпты айналып тұрған сым рамада индукциялық ЭҚК-і пайда болады да, сымның бойымен синусоидалық айнымалы ток жүреді. Бұл токты пайдалану үшін раманы кесіп, ұштарын электр оқшауланған екі сақинаға жалғайды. Сақиналарға щеткаларды қысып орналастырады. Рамамен бірге сақиналар айналған кезде щеткалар сақина бойымен сырғып отырады да, құрылғыға сыртқы тізбекті жалғайды, нәтижесінде сыртқы тізбекке ток беріледі (7.2-сурет). Осы кезде сыртқы тізбекке (жүктемеге) түсетін айнымалы кернеудің өзгеріс заңы мынадай болады:

$$u = U_m \sin\omega t$$

немесе

$$u = U_m \cos\omega t. \quad (7.2)$$



7.2-сурет. Айнымалы ток генераторының принциптік сұлбасы

Бұл екі өрнектің қайсысын таңдау, өткен тарауда талқыланғандай, уақытты бастап санау мезетін таңдап алуға байланысты болады. Тізбектегі ток күшінің тербеліс жиілігі кернеудің жиілігімен бірдей, бірақ жалпы жағдайда кернеу мен ток күші тербелістерінің фазалары өртүрлі болуы мүмкін.

Айнымалы ток генераторының құрылымы. Кез келген индукциялық генератордың негізгі бөліктері мыналар:

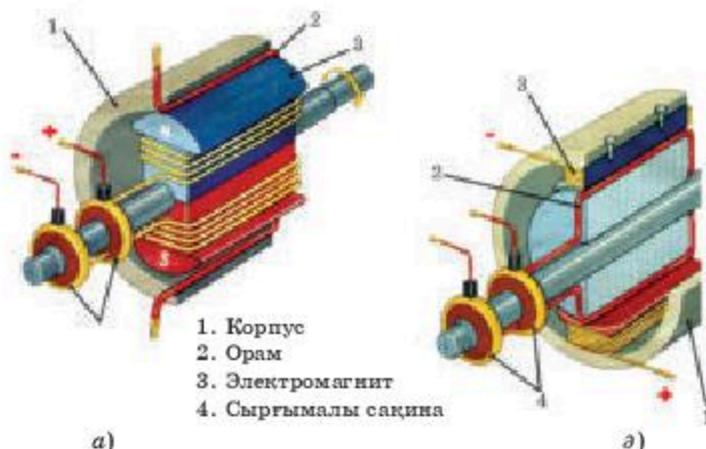
1. *Индуктор* — магнит өрісін тудыратын қондырғы. Бұл тұрақты магнит не электромагнит болуы мүмкін.

2. *Якорь* — ЭҚК индукцияланатын (пайда болатын) орама.

3. *Щеткалар мен сақиналар* — айналып тұрған бөліктерден индукциялық токты шығарып алатын немесе электромагниттерге қоректенетін ток беретін қондырғылар.

Тізбектей жалғанған орамаларда индукцияланған ЭҚК өр орамда пайда болатын ЭҚК-терінің қосындысына тең болады, сондықтан якорь көп орамнан тұрады.

Біз алдыңғы тарауда рамада пайда болатын ЭҚК $\mathcal{E}_m = BS\omega = \Phi\omega$, яғни раманы тесіп өтетін магнит ағынына пропорционал екенін білеміз. Магнит ағынын күшейту үшін индукциялық генераторларда арнайы магниттік жүйе қолданылады. Ол электротехникалық болаттан жасалған екі өзекшеден тұрады. Екі өзекшенің бірінші қуыстарында магнит өрісін тудыратын орамдар (электромагнит), ал екінші өзекшенің қуыстарында ЭҚК индукцияланатын орам (якорь) орналасады. Бір өзекше (әдетте, ішкісі) өзінің орамдарымен бірге горизонталь не вертикаль осьтен айналады, ол *ротор* деп аталады. Екінші қозғалмайтын өзекше *статор* деп аталады. 7.3, а-суретте якорь айналады, ал электромагнит қозғалмайды. Өндірістік генераторларда электромагнит айналады, яғни ол ротор болып табылады (7.3, а-сурет), ал якорь қозғалмайды (статор). Электромагнитті қоректендіретін ток күші якорьде пайда



7.3-сурет. Айнымалы ток генераторының үлгісі

болатын индукциялық ток күшінен анағұрлым аз болғандықтан, осындай құрылым ыңғайлы. Себебі қуаты жоғары тоқты қозғалмай тұрған орамнан шығарып алу жеңілдірек. Индукторға әлсіз ток сақиналар арқылы беріледі, ол ток тұрақты токтың жеке генераторында өндіріледі. Генератор өндіретін ток статордың орамынан қозғалмайтын шиналар арқылы электр энергиясының желісіне беріледі.

Біз қарастырып өткен генератор *бірфазалы* деп аталады. Бірфазалы генераторлар пайдалануға үнемсіз, сондықтан, әдетте, *үшфазалы* генераторлар қолданылады.

Заманауи су электрстансыларында биіктен құлаған су электр генераторының өзегін секундына 1-2 айналым жиілікпен айналдырады. Егер генератордың якорінде тек бір орам болса, ол жиілігі (1-2) Гц айналымы ток өндіреді. Ал бізге қажетті өндірістік токтың жиілігі 50 Гц болуы тиіс, сондықтан ток жиілігін қажетті мәнге дейін арттыру үшін генератордың якоріне (роторына) бірнеше орам орнатылады. Мұндай генератор беретін айналымы токтың жиілігі

$$\nu = n \cdot f, \quad (7.3)$$

мұндағы n — полюстер жұбының саны, f — ротордың айналу жиілігі.

Бу турбиналарының роторы өте тез айналады, сондықтан олардың якорінде тек бір орам болады. Бұл жағдайда ротордың айналу жиілігі мен өндірілетін токтың жиілігі бірдей, яғни ротордың айналу жиілігі 50 айн/с болуы тиіс.

Индукциялық ЭҚК амплитудалық мәнін арттыру үшін якорьдің орамын тесіп өтіп жатқан магнит өрісінің индукциясын немесе оның орамындағы орам санын арттыру керек. Магнит өрісінің \vec{B} индукциясын арттыру үшін индуктордың орамын болат өзекшеге орналастырады және якорь мен индуктордың өзекшелерінің арасындағы қуысты неғұрлым аз етіп жасайды.

Заманауи қуатты генераторлар (15—20) кВ кернеу өндіреді, олардың ПӘК-і (97-98)% -ға тең.

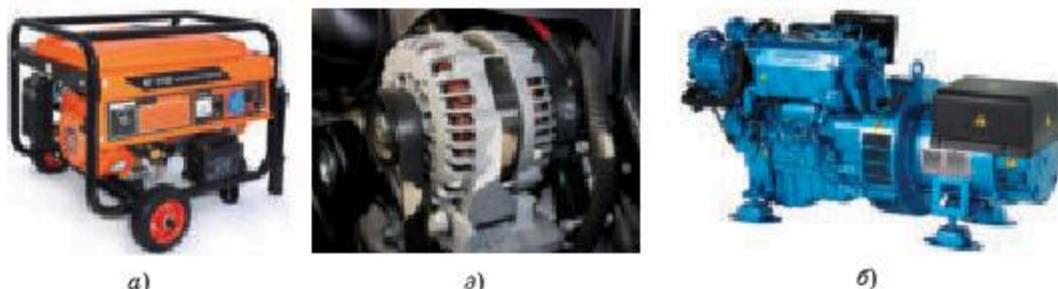
БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Электромагниттік индукция құбылысының негізінде айналымы ток алу мүмкіндігін алғаш рет Майкл Фарадей түсіндіріп берді. Фарадей ұсынған принципке құрылған алғашқы айналымы ток генераторын 1832 жылы француз ғалым-өнертапқышы Ипполит Пикси жасады. Бұл генераторда таға тәрізді магнит рычагты айналдыру арқылы айналымы қозғалысқа түсетін. Магнит полюстерінің арасына темір өзекшесі бар екі қозғалмайтын индуктивтік катушка орналастырды.

Кейінірек бұл құрылғыға тұрақты айналымы токты алу үшін коммутатор қосылды, осылайша Пиксидің генераторы қазіргі танымал құрылғыларға ұқсас түрге енді.



Ипполит Пикси
(1808—1835)



7.4-сурет. Айнымалы ток генераторлары

Қазіргі таңда айнымалы ток генераторларының көптеген түрлері жасалынып, қолданыста жүр. Олар электр энергиясын өндіру мақсатында қуатты электрстансыларында, сондай-ақ тұрақты электр жүйелерінен алыс орналасқан жекеменшік үйлер мен саяжайларда, кейбір алыс елді мекендердегі (7.4, а-сурет) электр энергиясының автономды көзі болып табылады. Сонымен қатар генераторлар өртүрлі көліктердің: автомобильдердің (7.4, б-сурет), электрлік берілумен жұмыс істейтін тепловоздардың, теңіз кемелерінің (7.4, в-сурет) электрлік жүйелерін қоректендіру үшін кеңінен қолданылады.

Автономды генераторлар өндіріс пен халықшаруашылығының кез келген саласында, құрылыс пен өндірістік мекемелерде, жөндеу жұмыстарын жүргізуде қолданылып жүр. Реанимациялық және хирургиялық бөлімдері бар емханаларда негізгі электр тогымен қамтамасыз ету жүйелеріне қоса, апаттық жағдайларда автономды генераторлар қолданылады, бұл адам өмірі үшін қаншалықты маңызды екені түсінікті.

Айнымалы ток генераторларының осыншама кең таралуын олардың шағын да ыңғайлы, алып жүруге қолайлы және қолданыста қарапайымдылығымен түсіндіруге болады.



1. Біртекті магнит өрісінде бірқалыпты айналып тұрған рамада не себепті ЭҚК пайда болады, ол қандай шамаларға тәуелді?
2. Магнит өрісінде айналып тұрған рамада индукцияланатын ЭҚК-тің өзгеріс заңын қорытып шығарыңдар.
3. Қозғалмай тұрған рамада айнымалы ток алуға бола ма? Болса, қалай?
4. Айнымалы ток генераторы қандай негізгі бөліктерден тұрады?
5. Генератордың жұмыс істеуінде ротор мен статордың рөлін түсіндіріңдер.
6. Көпполусті айнымалы ток генераторының қандай артықшылықтары бар?
7. Индукциялық токты сыртқы тізбекке қалай шығаруға болатынын түсіндіріңдер.



Осы параграфтың мәтінін оқып танысыңдар және одан алған ақпаратты қолдана отырып, төменде келтірілген кестені дәптерлеріңе толтырыңдар. Кестедегі дұрыс тұжырымды "+" таңбасымен белгілеңдер.

Тұжырым	Дұрыс	Дұрыс емес	Ақпарат жоқ
Айнымалы ток генераторының жұмысы тізбекте автотербелістерді қоздыруға негізделген.			
Айнымалы ток генераторы жұмысының негізінде электромагниттік индукция құбылысы жатыр.			
Айнымалы ток генераторы тұрақты токты айнымалы токқа айналдырады.			
Айнымалы ток генераторларын синхронды және асинхронды деп екі түрге бөлуге болады.			
Генератордың индукторында магнит өрісі туындайды.			
Генератордың қозғалмалы бөлігі ротор деп аталады.			
Кез келген генератордың якорі айналып тұрады.			
Егер генератордың якорінде бір ғана орам болса, ол бірфазалы деп аталады.			
Өндірілетін айнымалы токтың жиілігін арттыру үшін генератордың якоріне бірнеше орам орналастырылады.			
Әрбіреуінде фазасы қалғандарынан 120° -қа ығысқан ЭҚК индукцияланатын үш бірдей генератордан тұратын қондырғы үшфазалы генератор деп аталады.			

Есеп шығару мысалы

Ауданы $S = 100 \text{ см}^2$, $N = 200$ орамы бар сым рама индукциясы $B = 0,5 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде айналып тұр. Раманың айналу периоды $T = 0,1 \text{ с}$. Рамада индукцияланатын ЭҚК уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар және оның амплитудалық мәнін анықтаңдар. Айналу осі магнит өрісіне перпендикуляр.

Берілгені:

$$B = 0,5 \text{ Тл}$$

$$T = 0,1 \text{ с}$$

$$N = 200$$

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$\xi(t) = ? \quad \xi_m = ?$$

Шешуі. Раманың әрбір орамында индукцияланатын ЭҚК-і

$$\xi = -\Phi' = \xi_m \sin \omega t, \text{ мұндағы } \xi_m = BS\omega.$$

Олай болса, N орамда индукцияланатын ЭҚК-і

$$\xi = \xi N = N\xi_m \sin \omega t.$$

ЭҚК-нің амплитудалық мәні

$$\xi_m = N\xi_m = NBS\omega = NBS \frac{2\pi}{T};$$

$$\xi_m = 200 \cdot 0,5 \text{ Тл} \cdot 100 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \frac{6,28}{0,1 \text{ с}} = 62,8 \text{ В}.$$

ЭҚК-нің тербеліс теңдеуі $\xi = \xi_m \sin \omega t = \xi_m \sin \left(\frac{2\pi}{T} \right) \cdot t;$

$$\xi = 62,8 \sin \left(\frac{6,28}{0,1} \right) \cdot t = 62,8 \sin 62,8 t.$$

Жауабы: $\xi = 62,8 \sin 62,8t; \xi_m = 62,8 \text{ В}.$



4-жаттығу

1. Ауданы $S = 300 \text{ см}^2$ сым рама индукциясы $B = 0,5 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде индукция сызықтарына перпендикуляр осьтен $v = 50$ айн/с жиілікпен бірқалыпты айналады. Рамада пайда болатын ЭҚК-інің максимал мәнін және периодың табыңдар.

Жауабы: 4,71 В; 0,02 с.

2. Индукциясы $B = 0,03 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде қабырғасы $a = 8 \text{ см}^2$ рама $\omega = 100$ рад/с бұрыштық жылдамдықпен бірқалыпты айналады. Айналу осі индукция сызықтарына перпендикуляр және раманың ортасынан өтеді. Тербеліс периоды мен ЭҚК-інің амплитудалық мәнін анықтаңдар.

Жауабы: 0,06 с; 20 мВ.

3. Біртекті магнит өрісінде айналып тұрған рамада пайда болатын ЭҚК-інің теңдеуі мынадай: $\xi = 50 \sin(10^3 \pi t)$ (В). ЭҚК тербелістерінің амплитудасын, периодың, жиілігін, фазасын және бастапқы фазасын есептеңдер.

Жауабы: 50 В; $2 \cdot 10^{-3}$ с; 500 айн/с; $3,14 \cdot 10^3 t$; $\varphi_0 = 0$.

4. Ауданы $S = 500 \text{ см}^2$ сым рама индукциясы $B = 0,1 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде $v = 20$ Гц жиілікпен бірқалыпты айналады. Рамадағы ЭҚК амплитудасы 63 В болса, оның неше орамы бар?

Жауабы: 100.

5. ЭҚК-інің уақытқа тәуелді өзгерісі мына теңдеумен берілген: $\xi = 100 \sin 800 \pi t$ (В). Тербеліс амплитудасын, периодың, жиілікті, фазаны және бастапқы фазаны табыңдар.

Жауабы: $\xi = 100 \text{ В}; v = 400 \text{ Гц}; T = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \varphi_0 = 800 \pi t; \varphi_0 = 0$.

*6. Радиусы $r = 4$ см сым орам индукциясы $B = 0,04$ Тл біртекті магнит өрісінде $\nu = 50$ Гц жиілікпен бірқалыпты айналады. Орамның ортасынан өтетін айналу осі оның жазықтығында жатыр және магнит өрісінің индукция сызықтарымен $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасайды. Орамда индукцияланатын ЭҚК-інің амплитудасын табыңдар.

Жауабы: 63,1 мВ.

*7. Радиусы $r = 10$ см сым сақина орналасқан магнит өрісінің индукциясы уақытқа тәуелді $B = 0,04 \cos 5\pi t$ заңы бойынша өзгереді. Сақинаның жазықтығы магнит өрісінің индукция сызықтарымен $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасайды. Сақинада индукцияланатын ЭҚК-інің өзгеру заңын жазыңдар және оның ең үлкен мәнін анықтаңдар.

Жауабы: $\mathcal{E} = 0,014 \sin 5\pi t$; 14 мВ.

§ 8. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Айнымалы ток



Тірек ұғымдар:

- ✓ еріксіз электромагниттік тербелістер
- ✓ айнымалы токтың жиілігі
- ✓ ток күші мен кернеудің максимал мәндері

Бүгінгі сабақта:

- айнымалы токтың негізгі сипаттамаларымен танысасыңдар.



Мұны білесіңдер

Сыртқы қорек көзінен алынатын айнымалы ЭҚК әсерінен электр тізбегінде пайда болатын ток күші мен кернеудің периодты өзгерістерін еріксіз электромагниттік тербелістер деп атайды.

Еріксіз электромагниттік тербелістер. Электр тізбегінде еріксіз электромагниттік тербелістерді алу үшін тұйық контурды үзіп, оның ұштарына $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу түсіру жеткілікті.

Практикалық қолданылуы жағынан айнымалы ток тұрақты токқа қарағанда тиімді екені даусыз. Барлық тұрмысқа қажетті құралдар, өндірісте, агротехникада, құрылыста қолданылатын көптеген құрылғылар айнымалы токпен жұмыс істейді. Айнымалы ток күші мен кернеуді аса болымсыз энергия шығынымен кең ауқымда өзгертуге болады, ал мұның өзі электр энергиясын алыс қашықтықтарға жеткізуге мүмкіндік береді.

Айнымалы ток. Тізбекте орныққан еріксіз электромагниттік тербелістерді айнымалы ток деп қарастыруға болады. Мұндай тізбекте ток күші мен кернеудің сан мәні де, таңбасы да периодты түрде өзгеріп

отырады. *Уақыт өткен сайын шамасы да, бағыты да периодты түрде өзгеріп отыратын электр тогы айнымалы ток деп аталады.* Бұл кезде кернеу мен ток күшінің өзгерістері гармоникалық заңға бағынады.

Тізбектегі кернеудің гармоникалық өзгерістері өткізгіштердің ішіндегі электр өрісі кернеулігінің де дәл сондай өзгерістерін тудырады. Өткізгіштің бойымен бағытталған электр өрісі электрондарды бағытталған қозғалысқа келтіреді, сөйтіп тізбекте ток пайда болады. Ал егер өткізгіштің ішіндегі электр өрісі периодты өзгеріске ұшыраса, ток күші де соған сәйкес өзгередіні түсінікті.

Электр өрісі кернеулігінің өзгерістері өткізгіш ішінде жарық жылдамдығына тең жылдамдықпен тарайды, сондықтан кернеу тербелістерінің периодымен салыстырғанда өткізгіш ішінде өріс кернеулігінің өзгерістері лезде тарайды деп есептеуге болады. Олай болса, тізбек ұштарына түсетін кернеу өзгерген мезетте бүкіл тізбек бойындағы электр өрісі де өзгеріске ұшырайды. Демек, *берілген уақыт мезетінде өткізгіштің кез келген көлденең қимасындағы ток күшінің лездік мәні бірдей.* Мұндай ток *квазистационар ток* деп аталады. Квазистационар ток үшін Ом заңы орындалады:

$$I = \frac{\mathcal{E}_m}{R}.$$

Тұрақты ток сияқты айнымалы токтың да жылулық, магниттік және химиялық әсерлері бар. Айнымалы ток күші мен кернеудің электр өлшеуіш құралдары осы әсерлердің негізінде жұмыс істейді. Айнымалы ток өтіп жатқан өткізгіш қызады. Айнымалы токтың жұмысы мен қуатын тұрақты ток үшін қолданылатын формулалармен есептеп шығаруға болады. Бірақ, жоғарыда айтылғандай, айнымалы ток күші мен кернеу уақытқа тәуелді нөлден максимал мәнге дейін периодты түрде үздіксіз өзгеріп жатады. Сондықтан айнымалы ток тізбегінде ток күші мен кернеу туралы айтылғанда олардың *лездік* мәндері немесе *әсерлік* мәндері сөз болады.

Тек қана резистор мен айнымалы кернеу көзінен тұратын қарапайым тізбекті қарастырайық. Онда тізбек ұштарындағы кернеу мынадай:

$$u = U_m \cos \omega t. \quad (8.1)$$

Бұл өрнекте u — кернеудің лездік мәні, U_m — максимал, яғни амплитудалық мәні.

Ом заңы бойынша тізбектегі ток күші $i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t$.

Белгілеу енгізейік: $I_m = \frac{U_m}{R}$ — ток күшінің максимал (амплитудалық) мәні.

Онда

$$i = I_m \cos \omega t. \quad (8.2)$$

(8.1) мен (8.2) өрнектерін салыстыра отырып мынадай қорытындыға келеміз: егер электр тізбегі тек қана ток көзі мен резистордан тұратын болса, кернеу мен ток күшінің тербелістері бірдей жиілікпен және бірдей фазада жүреді, олар максимум мен минимум мәндеріне бірдей уақыт мезеттерінде ие болады. Жалпы жағдайда егер тізбекте резистордан басқа конденсатор не (немесе) катушка да бар болса, ток күші мен кернеудің тербеліс жиіліктері бірдей, бірақ фазалары өртүрлі болады. Сондықтан айнымалы ток тізбегінде кейбір жаңа заңдылықтар пайда болады, тұрақты токтың біз білетін кейбір формулалары басқаша түрге енуі мүмкін. Бұл жағдайларды келесі параграфта кеңінен қарастырамыз.

Айнымалы ток ток күші мен кернеудің максимал және лездік мәндерімен қоса, периодпен және жиілікпен сипатталады.

Айнымалы токтың (v) *тербеліс жиілігі* — уақыт бірлігіндегі ток күшінің толық тербеліс санына тең шама. ХБ жүйесіндегі жиіліктің өлшем бірлігі — Герц (Гц).

Айнымалы токтың циклдік жиілігі (ω) — 2π с ішіндегі толық тербеліс санына тең шама. ХБ жүйесіндегі циклдік жиіліктің өлшем бірлігі — радиан/секунд: $[\omega] = \text{рад/с}$. Радианның өлшем бірлігі жоқ болғандықтан, $[\omega] = \text{с}^{-1}$.

Ток күшінің тербеліс периоды (T) — ток күшінің толық бір тербелісіне кететін уақыт. ХБ жүйесіндегі периодтың өлшем бірлігі — секунд, яғни $[T] = \text{с}$.

Біз айнымалы ток индукциялық генераторларда өндірілетінін білеміз. Генератор роторының жарты айналымында тізбектегі айнымалы ток бір бағытта, ал келесі жарты айналымында оған қарама-қарсы бағытта жүреді.

Біздің үйімізді жарықтандыратын желідегі, заводтар мен фабрикаларға электр қуатын беретін желілердегі айнымалы токтың жиілігі 50 Гц. Бұл біздің елімізде де, әлемнің көптеген басқа елдерінде де өндірістік токтың стандартты жиілігі болып табылады. АҚШ-та өндірістік токтың жиілігі 60 Гц.

Егер үйдегі розеткаға кәдімгі вольфрам қылы бар электр шамын қосса, желідегі кернеудің жиілігіне сәйкес оның жарықтылығы секундына 100 рет өзгереді. Бірақ біздің көзіміз жарықтың мұншалықты тез жыпылықтауын ажырата алмайды, бізге шам үздіксіз бірқалыпты жарқырап тұрған сияқты болып көрінеді. Адамның көзі ұзақ уақыт ішінде шам тудыратын орташа жарықталынуды қабылдайды.

Айнымалы ток тізбегіндегі ток күші мен кернеуді амперметрлер мен вольтметрлердің көмегімен өлшей аламыз. Бірақ бұл жағдайда ток күші де, кернеу де периодты түрде нөлден максимал мәнге дейін үздіксіз өзгеріп жатады ғой, олай болса, электр өлшеуіш құралдар қандай мәнді көрсетеді?

Мұны анықтау үшін жоғарыда қарастырып кеткен электр шамында бір тербеліс периоды ішінде бөлінетін орташа қуатты есептейік. Ток күші мен кернеудің лездік мәндері үшін тұрақты токтың заңдары орындалатындықтан, айнымалы токтың лездік қуатын өзімізге белгілі $p = i^2 R$ формуласын қолданып анықтайық. Ток күшінің орнына (8.2) өрнегін қоямыз: $p = I_m^2 R \cos^2 \omega t$ және $\cos^2 \omega t = \frac{1 + \cos 2\omega t}{2}$ тригонометриялық қатынасты қолданамыз, сонда

$$p = \frac{I_m^2 R}{2} + \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\omega t.$$

Косинустың ең үлкен мәні +1, ал ең аз мәні -1 екені белгілі. Олай болса, бір тербеліс периоды ішіндегі $\cos 2\omega t$ орташа мәні нөлге тең, яғни орташа қуат жоғарыдағы өрнектің бірінші қосылғышымен анықталады:

$$\bar{p} = \frac{I_m^2 R}{2}. \quad (8.3)$$

Берілген жүктемеден тұрақты ток өткен кезде бөлінетін қуат одан айнымалы ток өткенде бөлінетін қуатқа тең болатын ток күшінің мәнін I_0 деп белгілейік. Онда $p = I_0^2 R$. Осы өрнекті (8.3)-пен салыстыра отырып $\frac{I_m^2 R}{2} = I_0^2 R$ аламыз, олай болса,

$$I_0 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (8.4)$$

Айнымалы ток күшінің әсерлік мәні (I_0) — бұл айнымалы ток өткізгіште қанша жылу мөлшерін бөліп шығарса, өткізгіште сонша уақытта дәл сондай жылу мөлшерін бөліп шығаратын тұрақты ток күшіне тең шама. Кернеудің әсерлік мәнін осыған аналогиялық түрде

$$U_0 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (8.5)$$

формуласымен анықтаймыз.

Ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері үшін Ом заңы орындалады.

Электр өлшеуіш құралдар ток күші мен кернеудің әсерлік мәндерін көрсетеді.



1. Айнымалы ток деп нені айтамыз?
2. Айнымалы ток тізбегінде неге тұйық контурдың барлық көлденең қималарында берілген уақыт мезетінде ток күшінің мәні бірдей болады?
3. Айнымалы ток пен тұрақты токты салыстырыңдар. Олардың ұқсастықтары мен айырмашылықтарын атап көрсетіңдер.
4. Айнымалы токтың негізгі сипаттамаларының анықтамаларын беріңдер.
5. Кернеу мен ток күшінің әсерлік мәндері қалай анықталады?
6. Өндірістік токтың жиілігі қандай?
7. Біз қолданып жүрген электр құралдары 220 В кернеумен жұмыс істейді. Бұл жерде кернеудің қандай мәні туралы айтылған?

Есеп шығару мысалы

Айнымалы ток тізбек бөлігінің ұштарындағы кернеу $u = 110\cos 100\pi t$ заңына сәйкес өзгереді. Кернеудің әсерлік мәнін және жиілігін анықтаңдар.

Берілгені:

$$u = 110\cos 100\pi t$$

$$U_0 = ? \quad \nu = ?$$

Шешуі. $u = 110\cos 100\pi t$ теңдеуін $u = U_m \cos \omega t$ теңдеуімен салыстыра отырып табамыз.

Кернеудің амплитудалық мәні $U_m = 110$ В, онда кернеудің әсерлік мәні $U_0 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{110}{\sqrt{2}} = 78$ В. Тербеліс жиілігі $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{100\pi}{2\pi} = 50$ Гц.



5-жаттығу

1. Кедергісі $R = 400$ Ом резистор кернеу $u = 220\cos 100\pi t$ заңдылықпен өзгереді. Осы тізбектегі ток тербелістерінің теңдеуін жазыңдар. Ток күшінің $t = \frac{T}{4}$ уақыт мезетіндегі мәнін табыңдар.

$$\text{Жауабы: } i = 0,55\cos 100\pi t; 0.$$

2. Кедергісі $R = 50$ Ом айнымалы ток тізбегінің бөлігіндегі кернеудің амплитудалық мәні 100 В, тербеліс жиілігі $\nu = 100$ Гц. Осы тізбек бөлігіндегі ток тербелістерінің теңдеуін жазыңдар.

$$\text{Жауабы: } i = 2 \cos 200\pi t (\text{А}).$$

*3. Ток күшінің әсерлік мәні $I_0 = 0,1$ А. Ток күшінің $t = \frac{3T}{2}$ уақыт мезетіндегі лездік мәні қандай?

$$\text{Жауабы: } -0,141 \text{ А.}$$

*4. Қуаты $P = 1$ кВт жылытқыш құрал $U = 220$ В кернеумен қоректенеді. Құралдан өтетін ток күшінің әсерлік және амплитудалық мәндерін есептеңдер.

$$\text{Жауабы: } 4,54 \text{ А; } 6,4 \text{ А.}$$

*5. Тізбектегі ток күші $i = 8,5\sin(628t + 0,325)$ заңымен өзгереді. Ток күшінің әсерлік мәнін, оның бастапқы тербеліс фазасы мен жиілігін табыңдар.

$$\text{Жауабы: } 6,03 \text{ А; } 0,325 \text{ рад; } 100 \text{ Гц.}$$

*6. Тізбек бөлігінің ұштарындағы кернеу $u = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$ заңымен өзгереді. Уақыттың $t = \frac{T}{12}$ мезетіндегі кернеу $u = 10$ В. Кернеудің әсерлік мәнін анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } 8,2 \text{ В.}$$

§9. Айнымалы ток тізбегіндегі активті және реактивті кедергілер



Тірек ұғымдар:

- ✓ активті кедергі
- ✓ сыйымдылық кедергісі
- ✓ конденсатор
- ✓ индуктивті кедергі
- ✓ катушка
- ✓ реактивті кедергі
- ✓ фазалар ығысуы



Бүгінгі сабақта:

- активті және реактивті кедергілері бар айнымалы ток тізбектерін зерттейсіңдер және әрбір қарастырылған жағдай үшін кернеу мен ток күшінің арасындағы фазалар ығысуын анықтайсыңдар.

Айнымалы ток тізбегіндегі активті кедергі. Айнымалы ток тізбегінде бізге бұрыннан белгілі шама — *резисторлардың, қосқыш сымдардың, қыздыру шамдарының тағы басқа да электр қыздырғыш құралдардың кедергісі активті кедергі* деп аталады.

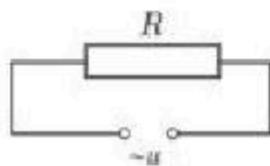
Себебі айнымалы ток тізбегінде бұдан басқа индуктивті және сыйымдылық кедергілері болуы мүмкін. Бірақ жылу энергиясы тек активті кедергіде бөлінеді, яғни тек активті кедергісі бар жүктеме ғана генератордан алынатын энергияны жұтады.

Мұны білесіңдер

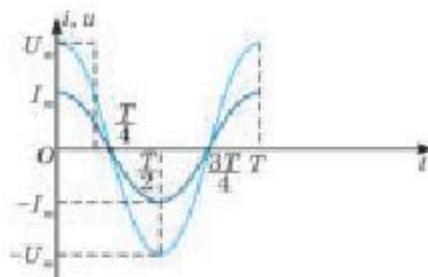
Айнымалы ток тізбегінің, ток көзінен басқа, тек қана резистор бар бөлігінде кернеу мен ток күшінің тербелістері $u = U_m \cos \omega t$; $i = I_m \cos \omega t$ теңдеулеріне сәйкес жүреді. Бұл теңдеулерді салыстыра отырып, ток күші мен кернеудің тербелістері өздерінің максимум және минимум мәндерін бірдей уақыт мезеттерінде алып отырады, яғни бірдей фаза мен жиілікте жүреді деген қорытынды жасауға болады.

Сонымен, тек қана активті кедергісі бар айнымалы ток тізбегінде (9.1-сурет) ток күші мен кернеудің тербелістері синфазалық түрде жүреді.

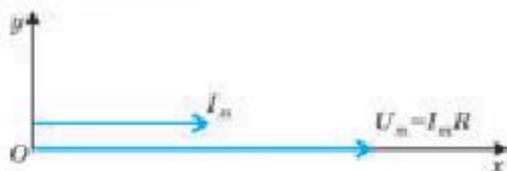
Активті кедергідегі ток күші мен кернеу тербелістерінің графиктері 9.2-суретте көрсетілген.



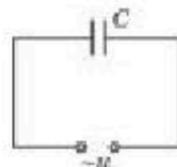
9.1-сурет



9.2-сурет



9.3-сурет. Тек активті кедергісі бар айнымалы ток тізбегі үшін векторлық диаграмма



9.4-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі конденсатор

Ток пен кернеу тербелістерінің фазалық арақатынасын көрнекті түрде векторлық диаграммалар тәсілі арқылы көрсетуге болады (9.3-сурет). Диаграммада айнымалы ток күшінің амплитудасы мен айнымалы кернеудің амплитудасы параллель векторлар түрінде кескінделеді, олардың арасындағы бұрыш, яғни тербеліс фазаларының айырымы нөлге тең.

Реактивті кедергі. Тұрақты ток үшін индуктивті катушка кәдімгі өткізгіш болып табылады, бұл жағдайда жоғарыда қарастырған активті кедергі ғана бар. Конденсатор тұрақты токты өткізбейді.

Айнымалы ток үшін индуктивті катушканың немесе конденсатордың кедергісі токтың жиілігіне, катушканың индуктивтігіне, конденсатордың сыйымдылығына тәуелді. *Айнымалы ток тізбегінде индуктивтілікке және (немесе) сыйымдылыққа байланысты пайда болатын кедергіні реактивті деп атайды.*

Айнымалы ток тізбегіндегі конденсатор. Сыйымдылығы C конденсаторды $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу көзіне қосайық (9.4-сурет). Сол кезде конденсатор қайта қайыра зарядталып отырады да, сыртқы тізбектен айнымалы ток жүреді.

Егер 9.4-суретте көрсетілген тізбекке конденсатормен тізбектей электр шамын жалғаса, конденсатордың сыйымдылығы үлкен болғанда шам жанады. Ал осы тізбекті тұрақты ток көзіне қосса, шам жанбайды, бұл тізбекте тұрақты ток жүрмейді. Себебі конденсатордың астарлары диэлектрикпен бөлінген, яғни тұрақты ток үшін тізбек тұйықталмаған. Айнымалы ток тізбегінде де конденсатор астарларының арасынан электр зарядтары өте алмайды, бірақ оның периодты түрде зарядталып, разрядталып тұруының нәтижесінде астарларды ток көзімен жалғап тұрған сымдардан айнымалы ток жүреді. Егер жалғағыш сымдардың электр кедергісін ескермесе, тізбек тек қана конденсатор мен $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу көзінен тұрады деп есептеуге болады. 10-сыныптың физика курсынан конденсатор астарларының арасындағы кернеу сыйымдылықпен былай байланысты: $u = \frac{q}{C}$ екенін білесіңдер, мұндағы q — конденсатор астарларындағы заряд. Конденсатор сыйымдылығы оның астарларындағы зарядқа тәуелді емес екенін есте ұстау керек. Сондықтан конденсатор астарларындағы заряд кернеудің өзгеру заңдылығына сәйкес өзгереді: $q = Cu$ немесе $q = U_m \cdot C \cdot \cos \omega t$.

Зарядтың уақыт бойынша бірінші туындысы

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

Белгілеу енгізейік:

$$I_m = \omega C U_m, \tag{9.1}$$

онда

$$i = I_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right). \tag{9.2}$$

Кернеудің теңдеуі $u = U_m \cos \omega t$ мен (9.2) теңдеуін салыстыра отырып, мынадай қорытындыға келеміз: *ток тербелістерінің фазасы конденсатордағы кернеу тербелістерінің фазасынан $\frac{\pi}{2}$ -ге озады.*

Ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графиктері мен векторлық диаграммасы сәйкесінше 9.5- және 9.6-суреттерде көрсетілген.

(9.1) өрнегі *ток күшінің амплитудасын* анықтайды.

Белгілеу енгізейік:

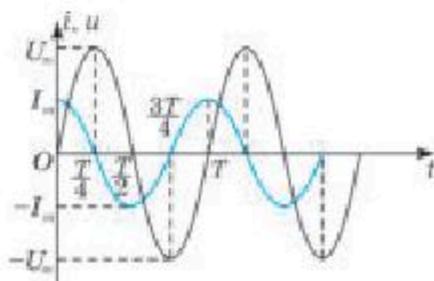
$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \tag{9.3}$$

Оны (9.1) формулаға қоямыз:

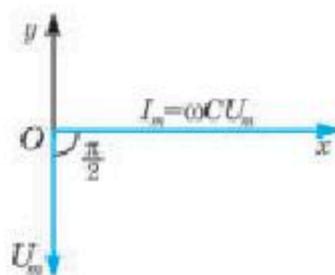
$$I_m = \frac{U_m}{X_C}.$$

Біз тізбек бөлігі үшін Ом заңының өрнегін алдық. Мұнда кедергінің орнында циклдік жиілік пен электр сыйымдылығы көбейтіндісінің кері мәніне тең шама тұр: $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_m}{I_m}$. Бұл шама *сыйымдылық кедергі* деп аталады.

Конденсатордың сыйымдылығы неғұрлым үлкен болса, сыйымдылық кедергі соғұрлым аз және ол жиілікке кері пропорционал. Ал жиілік неғұрлым жоғары болса, сыйымдылық кедергінің мәні соғұрлым төмен. Кернеудің амплитудасы тұрақты болса, ток күшінің амплитудасы жиілік өскен сайын оған тәуелді артады. Тұрақты ток үшін $\omega = 0$, сыйымдылық кедергі шексіз үлкен ($X_C = \infty$), сондықтан тізбекте ток жүрмейді.

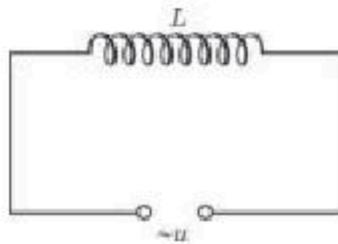


9.5-сурет



9.6-сурет

Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивті катушка. Айнымалы ток тізбегінде индуктивті катушка қосымша кедергі тудырады, мұны өздік индукция құбылысымен түсіндіруге болады.



9.7-сурет

Тек индуктивті катушка мен айнымалы кернеу көзінен ғана тұратын тізбекті қарастырайық (9.7-сурет). Катушканың активті кедергісі $R = 0$ болсын.

Катушкадағы лездік мәні

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -Li' \quad (9.4)$$

болатын өздік индукцияның ЭҚК-і пайда болады, мұндағы i' — ток күшінің уақыт бойынша алынған бірінші туындысы.

Ом заңы бойынша

$$iR = \mathcal{E}_{is} + u, \quad (9.5)$$

мұндағы R — катушканың активті кедергісі, u — катушканың ұштарындағы кернеудің лездік мәні. Идеал катушкада $R = 0$, сондықтан (9.5) теңдеу мынадай түрге енеді:

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

Ток күшінің өзгеріс заңдылығы

$$i = I_m \sin \omega t \quad (9.6)$$

болғандықтан, өздік индукция ЭҚК-і мынадай: $\mathcal{E}_{is} = -Li' = -\omega LI_m \cos \omega t$. $u = -\mathcal{E}_{is}$, олай болса, кернеу

$$u = \omega LI_m \cos \omega t = \omega LI_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right);$$

$$u = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (9.7)$$

мұндағы $U_m = \omega LI_m$ — кернеудің амплитудасы.

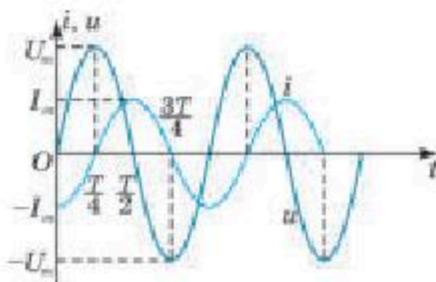
(9.6) мен (9.7) өрнектерін салыстыра отырып, мынадай қорытындыға келеміз: катушкадағы ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге артта қалады.

Катушкадағы ток күшінің максимал мәні

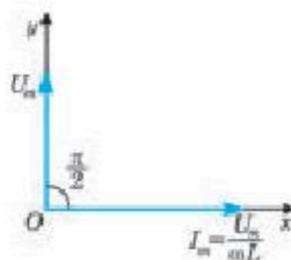
$$I_m = \frac{U_m}{\omega L}.$$

Бұл — идеал индуктивтік катушкасы бар айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы. Мұндағы ωL өрнегі катушканың индуктивті кедергісі деп аталады да, X_L өрпімен белгіленеді. Сонымен, катушканың индуктивті кедергісі

$$X_L = \omega L. \quad (9.8)$$



9.8-сурет



9.9-сурет

Егер ток күші мен кернеу амплитудасының орнына олардың әсерлік мәнін қолдансақ,

$$I_o = \frac{U_o}{X_L}$$

Индуктивті кедергі айнымалы токтың циклдік жиілігі мен индуктивтілігіне тура пропорционал. Индуктивтік артқан сайын кедергі де артады. Жиілік азайса, кедергі кемиді. Тұрақты ток үшін жиілік $\omega = 0$, онда индуктивті кедергі де нөлге тең. Индуктивті кедергідегі ток пен кернеудің уақытқа тәуелділік графиктері 9.8-суретте, ал осыған сәйкес векторлық диаграмма 9.9-суретте кескінделген. Суреттерден кернеу тербелістері ток күшінің тербелістерінен фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге озық екені айқын көрініп тұр.



1. Активті кедергі деп нені айтады?
2. Активті кедергісі бар айнымалы ток тізбегіндегі ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалық арақатынасы қандай?
3. Сыйымдылық кедергісі деген не?
4. Сыйымдылық кедергісі қандай шамаларға тәуелді?
5. Тек қана сыйымдылық кедергісі бар тізбектегі ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалық арақатынасы қандай?
6. Не себепті конденсатор қосылған тізбектен тұрақты ток жүрмейді, ал дәл осындай тізбектен айнымалы ток жүреді?
7. Айнымалы ток тізбегіне электр шамы қосылған. Егер оған тізбектей конденсатор жалғайтын болса, шамнан шығатын жарық энергиясы айтарлықтай өзгере ме? Жауаптарыңды негіздеңдер.
9. Индуктивті кедергі деген не?
10. Катушканың индуктивтігін арттырғанда индуктивті кедергі қалай өзгереді? Неге?
11. Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивті ток күшінің шамасына қалай әсер ететінін түсіндіріңдер.
12. Индуктивті катушканы алғашында тұрақты ток көзіне, кейін дәл сондай кернеуге есептелген айнымалы ток көзіне қосты. Қай жағдайда тізбектегі ток күші көп болады? Жауаптарыңды негіздеңдер.
13. Жіңішке мыс сымның 15—20 орамынан тұратын катушка 120 В айнымалы кернеуге есептелген. Оқушы оны 120 В тұрақты кернеу көзіне қосты. Осы кезде не байқалады?



1. Айнымалы токтың тізбек бөлігінде тек қана конденсатор бар. Ол $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ кернеу көзіне қосылған. Ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графигін салып, түсіндіріңдер: а) $\varphi_0 = 0$; ә) $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$. Векторлық диаграмманы тұрғызыңдар.
2. Тек қана индуктивті кедергісі бар тізбектің бөлігінде ток күші $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ заңымен өзгереді. Ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графигін салып, түсіндіріңдер: а) $\varphi_0 = 0$; ә) $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$. Векторлық диаграмманы тұрғызыңдар.

Есеп шығару мысалы

Тізбектің тек қана резистордан тұратын бөлігінде кернеу $u = 180 \cos 314t$ заңына сәйкес өзгереді. Бұл бөліктегі ток күшінің әсерлік мәні $I_0 = 1,7$ А. Тізбектің осы бөлігіндегі сыйымдылық кедергісі резистордың кедергісіне тең болатын конденсатордың сыйымдылығы қандай?

Берілгені:

$$u = 180 \cos 314t \text{ (В)}$$

$$I_0 = 1,7 \text{ А}$$

$$R = X_C$$

$$C = ?$$

Шешуі. Есептің шартында берілген кернеудің теңдеуінен оның әсерлік мәнін және циклдiк жиiлiктi табамыз:

$$U_0 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{180}{\sqrt{2}} \text{ В}, \quad \omega = 314 \text{ рад/с.}$$

$$\text{Резистордың кедергісі } R = \frac{U_0}{I_0}.$$

Есептің шарты бойынша $R = X_C = \frac{1}{\omega C}$, бұдан $C = \frac{I_0}{U_0 \cdot \omega}$.

$$C = \frac{1,7}{\frac{180}{\sqrt{2}} \cdot 314} = 42 \text{ мкФ.}$$

Жауабы: $C = 42 \text{ мкФ.}$



6-жаттығу

1. Жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіндегі конденсатордың сыйымдылық кедергісі $X_C = 5$ Ом. Конденсатордың сыйымдылығы қандай?

Жауабы: $6,4 \cdot 10^{-4} \text{ Ф.}$

2. Сыйымдылығы $C = 40$ мкФ конденсатор айнымалы ток тізбегіндегі кедергісі $X_C = 8$ Ом. Айнымалы токтың жиілігі мен периодын табыңдар.

Жауабы: 497,6 Гц; 0,002 с.

3. Жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегінің бөлігіне ерқайсысының сыйымдылығы $C = 1$ мкФ екі конденсатор тізбектей жалғанған. Осы бөліктің сыйымдылық кедергісін есептеңдер.

Жауабы: 6,4 кОм.

4. Ерқайсысының сыйымдылығы $C_1 = C_2 = 2$ мкФ екі конденсатор өзара параллель жалғанып, жиілігі 50 Гц айнымалы ток тізбегіне жалғанған. Осы бөліктің сыйымдылық кедергісін табыңдар.

Жауабы: 796 Ом.

- *5. Конденсатор жалғанған айнымалы токтың тізбек бөлігіндегі ток күші $i = 0,1 \cos(314t + 1,57)$ (А) заңымен өзгереді. Конденсатордағы кернеудің максимал мәні $U_m = 60$ В. Конденсатордың сыйымдылығы қандай?

Жауабы: 5 мкФ.

6. Айнымалы токтың жиілігі $\nu = 1$ кГц болса, индуктивтігі $L = 5$ Гн катушканың индуктивті кедергісін анықтаңдар.

Жауабы: 31,4 кОм.

7. Индуктивтілігі $L = 2$ Гн катушканың индуктивті кедергісі $X_L = 628$ Ом болса, айнымалы токтың жиілігі мен периоды неге тең?

Жауабы: 50 Гц; 0,02 с.

- *8. Катушканың ұштарындағы айнымалы кернеудің амплитудасы $U_m = 157$ В, ток күшінің амплитудасы $I_m = 5$ А, токтың жиілігі $\nu = 50$ Гц болса, оның индуктивтігі қандай? Катушканың активті кедергісі нөлге тең.

Жауабы: 0,1 Гн.

- *9. Катушканы жиілігі $\nu_1 = 50$ Гц айнымалы ток тізбегіне қосқан кезде ток күші $I_1 = 2$ А-ге тең болады. Айнымалы ток жиілігін екі есе арттырса, ток күші қалай өзгереді?

Жауабы: 1 А.

§ 10. Айнымалы токтың толық тізбегі үшін Ом заңы



Тірек ұғымдар:

- ✓ активті кедергі
- ✓ реактивті кедергі
- ✓ толық кедергі
- ✓ айнымалы токтың толық тізбегі үшін Ом заңы

Бүгінгі сабақта:

- айнымалы ток тізбегіндегі толық кедергі ұғымымен танысасыңдар және R , L , C элементтері бар айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңын оқып-үйренесіңдер.

Алдыңғы параграфта біз айнымалы ток тізбегіндегі кернеу мен ток күшінің тербеліс жиіліктері әрқашан бірдей болатынына, бірақ олардың фазалық арақатынастары кедергінің түріне байланысты екеніне көз жеткіздік. Егер тізбекте тек активті кедергі болса, кернеу мен ток күшінің тербелістері бірдей фазада жүреді. Тізбекте тек қана сыйымдылық кедергісі болған жағдайда ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ -ге озады, ал егер тізбекте активті кедергіні ескермеуге болатындай аз индуктивтік катушка ғана болса, ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ -ге кейін жүреді. Егер тізбекте осы үш түрлі кедергінің бәрі бар болса, ток күші мен кернеу тербелістерінің арақатынасы қандай болар еді?

Бұл сұраққа жауап беру үшін кедергісі R резистор, сыйымдылығы C конденсатор және индуктивтігі L катушка өзара тізбектей жалғанған тізбекті қарастырайық. Мұндай тізбекті **айнымалы токтың толық тізбегі** деп атайды. Тізбектің ұштарына $u = U_m \cos \omega t$ кернеу түсірейік (10.1-сурет). Ток күшінің i лездік мәні де, I_m амплитудалық мәні де тізбектей жалғанған тізбектің барлық бөлігінде бірдей болады. Ал ток көзінің полюстеріндегі лездік кернеу оның жеке бөліктеріндегі кернеудің лездік мәндерінің қосындысына тең:

$$u = u_R + u_C + u_L$$

Қарастырып отырған тізбекте еріксіз электромагниттік тербелістер, яғни айнымалы ток пайда болады. Резистор, конденсатор және катушкадағы кернеудің амплитудаларын сәйкесінше \vec{U}_{mR} , \vec{U}_{mC} және \vec{U}_{mL} деп белгілеп, оларды векторлық

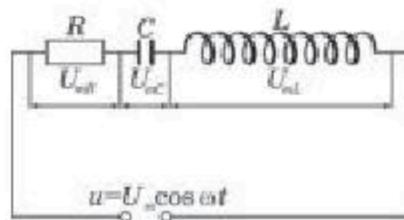
диаграммаға салайық (10.2-сурет). Ток күшінің амплитудасын горизонталь осьтің бойымен бағытталған вектор түрінде кескіндейік. Онда горизонталь ось пен әрбір кернеу амплитудасы векторының арасындағы бұрыш ток күші мен соған сәйкес кернеу тербелістерінің фазалық айырымына тең болады.

Активті кедергідегі кернеудің тербеліс фазасы ток күшінің тербеліс фазасымен сәйкес келеді, конденсатордағы кернеудің тербелісі ток күшінің тербелісінен фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге артта қалады, ал катушкадағы кернеудің тербелісі ток күшінің тербелісінен $\frac{\pi}{2}$ -ге озады. Түсірілген кернеудің U_m амплитудасын барлық кернеу векторлары қосындысының модулі ретінде табуға болады:

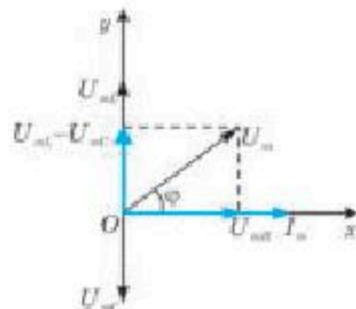
$$\vec{U}_m = \vec{U}_{mR} + \vec{U}_{mC} + \vec{U}_{mL}$$

Кернеулер белгілерінің үстіндегі нұсқамаларға (стрелкаларға) қарап, кернеуді векторлық шама деп қарастыруға болмайды. Бұл тек модульдері соларға сәйкес кернеулерге тең векторлар. 10.2-суреттен толық тізбектің ұштарындағы кернеудің амплитудасын Пифагор теоремасы бойынша $U_m = \sqrt{U_{mR}^2 + (U_{mL} - U_{mC})^2}$ өрнегіне тең екенін көруге болады. Ом заңына сәйкес

$$U_{mL} = I_m X_L, \quad U_{mC} = I_m X_C \quad \text{және} \quad U_{mR} = I_m R.$$



10.1-сурет. Тізбектелген элементтерден тұратын айнымалы ток тізбегі



10.2-сурет. R, L, C элементтері бар айнымалы ток тізбегі үшін векторлық диаграмма

Осы мәндерді жоғарыда келтірілген өрнекке қойсақ,

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

Бұдан

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}. \quad (10.1)$$

$X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ шамасын *реактивті кедергісі* деп атайды, ал

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (10.2)$$

айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі деп аталады.

Фазалар айырмасын (φ) векторлық диаграммадан анықтаймыз:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_{mL} - U_{mC}}{U_{mR}} \text{ немесе } \operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (10.3)$$

(10.1) теңдеуін айнымалы токтың толық тізбегі үшін Ом заңы деп атайды. $X_L = \omega L$ және $X_C = \frac{1}{\omega C}$ болғандықтан, (10.1) формуласын мына түрде жазуға болады:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (10.4)$$

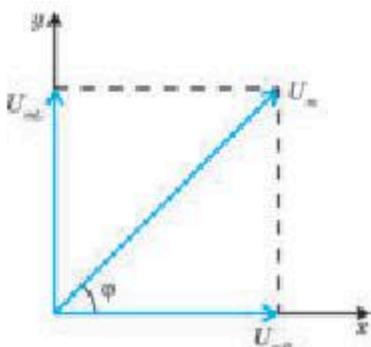
Фазалық ығысуды ескере отырып, ток күшінің тербеліс теңдеуін былай жазамыз:

$$i = I_m \cos(\omega t - \varphi). \quad (10.5)$$

Тізбекте конденсатор жоқ кездегі дербес жағдай үшін векторлық диаграмманы салайық (10.3-сурет).

Тізбекте конденсатор жоқ болғанда $I_m = \frac{U_m}{R}$ Ом заңын ток күші мен кернеудің амплитудалық мәндері үшін былай жазуға болады:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \text{ фазалық ығысу } \operatorname{tg} \varphi = \frac{U_{mL}}{U_{mR}} = \frac{\omega L}{R}.$$



10.3-сурет

Соңғы екі өрнек егер $\frac{1}{\omega C} = 0$, яғни $C = \infty$ болса, (10.4) және (10.5) формулаларымен бірдей болып шығады. Олай болса, тізбекте конденсатор жоқ болса, сыйымдылық C нөлге емес, шексіздікке тең екен. Шынында да, егер тізбектегі конденсатордың астарларын бір-біріне шексіз жақындатса, конденсаторды жоқ деп есептеуге болады. Жазық конденсатор сыйымдылығының $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ формуласынан егер $d = 0$ болса, $C = \infty$ екені шығады.

Осыдан бұрын айтып кеткеніміздей, генератордан алынатын энергия тек активті кедергіде ғана жылу энергиясы түрінде бөлініп шығады. Реактивті кедергіде энергия жұтылмайды. Реактивті кедергіде электр өрісінің энергиясы периодты түрде магнит өрісінің энергиясына айналып, түрленіп отырады. Периодтың бірінші ширегінде, конденсатор зарядталып жатқанда энергия тізбекке электр өрісінің энергиясы түрінде түсіп, жинақталады. Ал периодтың келесі ширегінде, конденсатор разрядталып жатқанда энергия магнит өрісінің энергиясы түрінде желіге қайтарылады.



1. Айнымалы токтың толық тізбегі қандай элементтерден тұрады?
2. Айнымалы ток үшін Ом заңын жазыңдар.
3. Тізбектелген R , L , C тізбектегі ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалық ығысуы қандай шамаларға тәуелді болады?
4. Осы параграфта 10.3-суретте кескінделген векторлық диаграмманы түсіндіріңдер.
5. Айнымалы ток тізбегіндегі толық кедергі неге тең? Оның формуласын қалай қорытып шығаруға болады?



1. Төменде көрсетілген жағдайлар үшін векторлық диаграмма тұрғызыңдар: а) $X_L = 0$, $R \neq 0$, $X_C \neq 0$; ә) $X_C = 0$, $R \neq 0$, $X_L \neq 0$; б) $R = 0$, $X_L \neq 0$, $X_C \neq 0$.
2. Айнымалы токтың толық кедергісі және толық тізбегі үшін екі есеп құрастырып, оларды парталас көршілеріңмен айырбастап шығарыңдар. Әрбір есептің мазмұны мен шығарылу жолын бірлесе отырып талқылаңдар, бір-бірлеріңнің жұмыстарыңды бағалаңдар.

Есеп шығару мысалы

Өсерлік мәні $U_0 = 110$ В кернеумен қоректенетін айнымалы ток тізбегіне сыйымдылығы $C = 5 \cdot 10^{-5}$ Ф конденсатор мен индуктивтілігі $L = 400$ мГн, активті кедергісі $R = 10$ Ом катушка тізбектей жалғанған. Айнымалы токтың жиілігі $\nu = 50$ Гц болса, оның тербеліс амплитудасын есептендер.

Берілгені:

$$U_0 = 110 \text{ В}$$

$$C = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$L = 400 \text{ мГн} = 0,4 \text{ Гн}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

$$I_m \text{ — ?}$$

Шешуі. Айнымалы ток үшін Ом заңын жазайық:

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

Кернеудің амплитудалық мәнін оның өсерлік мәнімен $U_0 = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ байланысын ескере отырып табамыз:

$$I_m = \frac{U_0 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}} = \frac{110 \cdot 1,41}{\sqrt{100 + \left(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,4 - \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}\right)^2}} = 2,47 \text{ А.}$$

Жауабы: $I_m = 2,47 \text{ А.}$



7-жаттығу

1. Кернеудің өсерлік мөні $U_0 = 220 \text{ В}$ болатын айнымалы ток желісіне $R = 199 \text{ Ом}$ активті кедергі мен сыйымдылығы $C = 40 \text{ мкФ}$ конденсатор тізбектей жалғанған. Тізбектегі ток күшінің амплитудасын табыңдар.

Жауабы: $1,45 \text{ А.}$

2. Кернеудің өсерлік мөні $U_0 = 127 \text{ В}$ тізбекке индуктивтілігі $L = 0,16 \text{ Гн}$, активті кедергісі $R = 2 \text{ Ом}$ катушка мен сыйымдылығы $C = 64 \text{ мкФ}$ конденсатор тізбектей жалғанған. Тербеліс жиілігі $\nu = 200 \text{ Гц}$ болса, ток күшінің өсерлік мөні қандай?

Жауабы: $0,67 \text{ А.}$

- *3. Сыйымдылығы $C = 5 \text{ мкФ}$ конденсатор мен кедергісі $R = 150 \text{ Ом}$, өткізгіш жиілігі $\nu = 50 \text{ Гц}$, кернеудің өсерлік мөні $U_0 = 120 \text{ В}$ болатын айнымалы ток тізбегіне тізбектей жалғанған. Ток күшінің өсерлік және амплитудалық мөндерін, ток пен кернеу тербелістерінің фазалар айырымын есептеңдер.

Жауабы: $0,18 \text{ А; } 0,26 \text{ А; } 76^\circ 49'.$

4. 10.4-суретте көрсетілген тізбектің ABC бөлігінде синусоидалық ток жүреді. Кернеудің AB бөлігіндегі мөні $U_{AB} = 30 \text{ В}$, ал BC бөлігіндегі мөні $U_{BC} = 40 \text{ В}$. Тізбектің AC бөлігіндегі кернеудің өсерлік мөнін табыңдар.



10.4-сурет

Жауабы: 50 В.

- *5. Катушканың кедергісін айнымалы ток тізбегіне қосып өлшегенде ол $R_1 = 110 \text{ Ом}$ болды. Осы тізбекке дәл сондай, бірақ меншікті кедергісі екі есе үлкен сымнан жасалған катушканы қосқанда оның кедергісі $R_2 = 140 \text{ Ом}$ болды. Бірінші катушканың активті кедергісін анықтаңдар.

Жауабы: 50 Ом.

§ 11. Айнымалы ток тізбегіндегі қуат



Тірек ұғымдар:

- ✓ айнымалы токтың лездік қуаты
- ✓ айнымалы токтың активті қуаты
- ✓ айнымалы токтың реактивті қуаты
- ✓ қуат коэффициенті

Бүгінгі сабақта:



- айнымалы токтың активті және реактивті қуаты ұғымының физикалық мағынасымен таныса-сыңдар. Қуат коэффициентін анықтауды және есептер шығаруды үйренесіңдер.

Мұны білесіңдер

Айнымалы ток тізбегіндегі кедергілерді *активті* және *реактивті* деп бөлуге болады. Генератордан алынатын энергия тек активті кедергіде ғана жылу энергиясы түрінде бөлініп шығады. Реактивті кедергіде энергия жұтылмайды, тек қана электр өрісінің энергиясы периоды түрде магнит өрісінің энергиясына және керісінше айналып, түрленіп отырады.

Егер тізбектей жалғанған активті және реактивті кедергілерден тұратын тізбектің ұштарына $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу берілсе, тізбектегі ток күшінің тербелістерінің теңдеуі мынадай болады: $i = I_m \cos(\omega t - \varphi)$. Кернеу мен ток күшінің тербеліс фаза-

ларының айырмасы мына өрнекпен анықталады: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$, яғни активті және реактивті кедергі мәндерінің арақатынасына тәуелді болады.

Осыған сәйкес айнымалы ток тізбегінде активті және реактивті қуат ұғымдары енгізіледі.

Айнымалы токтың активті қуаты. Айнымалы ток тізбегінде лездік қуат ток күші мен кернеудің лездік мәндерінің көбейтіндісіне тең:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m I_m \cos \omega t \cos(\omega t - \varphi).$$

Бұл өрнектегі $\cos(\omega t - \varphi)$ көбейткішті ашсақ,

$$p(t) = U_m I_m (\cos^2 \omega t \cdot \cos \varphi + \cos \omega t \sin \omega t \sin \varphi).$$

Бізге бір период ішіндегі орташа қуатты анықтау керек. Ол үшін уақытқа тәуелді тригонометриялық функциялардың орташа мәндерін

табайық: $(\cos^2 \omega t)_{\text{орт}} = \frac{0+1}{2} = \frac{1}{2}$; $\cos \omega t \sin \omega t = \frac{\sin 2\omega t}{2}$ болғандықтан, $(\sin 2\omega t)_{\text{орт}} = \frac{-1+1}{2} = 0$. Сонымен, қуатты анықтайтын өрнектегі екінші қосылғыштың орташа мәні нөлге тең.

Олай болса, айнымалы ток тізбегіндегі орташа қуат

$$P = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi. \quad (11.1)$$

Соңғы өрнекке ток пен кернеудің өсерлік мәндерін I және U деп белгілеп қойсақ,

$$P = IU \cos \varphi \quad (11.2)$$

шығады, мұндағы $\cos \varphi$ шамасы *қуат коэффициенті* деп аталады. Осы өрнек айнымалы токтың қуаты тек ток күші мен кернеуге ғана емес, сонымен қатар олардың тербеліс фазаларының айырымына да тәуелді екенін көрсетеді.

Егер тізбекте реактивті кедергі болмаса, онда $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$, олай болса, $P = I \cdot U$, яғни біз бұрыннан белгілі тұрақты ток қуатының формуласын алдық. Ал тізбекте активті кедергі жоқ болса, $\varphi = \frac{\pi}{2}$, $\cos \varphi = 0$ және $P = 0$.

Сонымен, тек реактивті кедергісі ғана бар тізбекте орташа активті қуат нөлге тең. (11.2) формуласынан қуатты арттыру үшін $\cos \varphi$ шамасын — қуат коэффициентін ұлғайту қажет екенін көреміз. Өндірістік қондырғыларда ең аз дегенде $\cos \varphi = 0,85$ болуы керек.

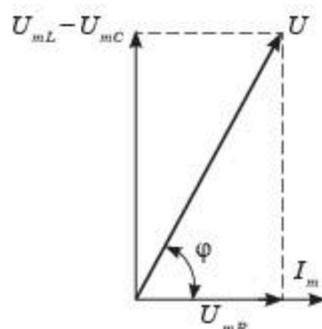
Айнымалы токтың реактивті қуаты. Айнымалы токтың *реактивті қуаты* энергия көзінен тізбектің реактивті элементтеріне: индуктивтік катушкаларға, конденсаторларға, қозғалтқыштардың орамдарына және т.б. бір период ішінде осы элементтерден қорек көзіне қайта қайтарылатын энергияның периодқа қатынасымен анықталады.

Реактивті қуат Q өрпімен белгіленеді және мына формуламен анықталады:

$$Q = U \cdot I \sin \varphi. \quad (11.3)$$

Реактивті қуаттың ХБ жүйесіндегі өлшем бірлігі *вольт-ампер* болып табылады: $[Q] = [B \cdot A]$.

Айнымалы токтың толық қуаты P_T өрпімен белгіленеді. Ол активті және реактивті құраушылардан тұрады, ХБ жүйесінде *вольт-ампермен* өлшенеді.



11.1-сурет. Айнымалы ток тізбегі үшін кернеулердің векторлық диаграммасы

Айнымалы токтың толық қуаты ток күші мен кернеудің өсерлік мәндерінің көбейтіндісіне тең:

$$P_T = U \cdot I. \quad (11.4)$$

Айнымалы токтың толық қуаты мен оның құраушыларының арасындағы қатынастарды анықтау үшін толық тізбек үшін кернеулердің векторлық диаграммасын тұрғызайық.

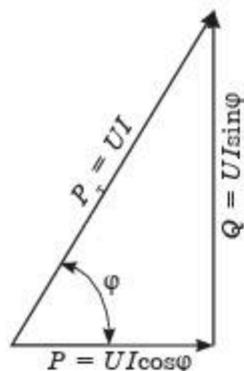
Біз бұрыннан білетініміздей, векторлық диаграммадағы ток күші мен кернеудің амплитудалық мәндерін кескіндейтін векторлардың арасындағы бұрыш сәйкес шамалардың тербеліс фазаларының айырмасына тең (11.1-сурет).

Кернеулердің векторлық диаграммасына сүйене отырып, *қуаттар үшбұрышын* тұрғызуға болады (11.2-сурет). Бұл үшбұрыштың екі катеті активті және реактивті қуаттарды, ал гипотенузасы толық қуатты кескіндейді. 11.2-суреттегі φ бұрышы ток пен кернеудің арасындағы фазалық ығысуға тең. Бұл бұрыштың косинусы *қуат коэффициенті* деп аталады:

$$\cos\varphi = \frac{P}{P_T} \quad (11.5)$$

Қуаттар үшбұрышынан айнымалы токтың толық қуатын анықтайық:

$$P_T = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (11.6)$$



11.2-сурет. Қуаттар үшбұрышы



1. Айнымалы токтың активті қуаты ұғымының физикалық мағынасы қандай?
2. Айнымалы токтың активті қуатын қалай анықтауға болады?
3. Қандай шама қуат коэффициенті деп аталады?
4. Тек қана реактивті элементтерден тұратын тізбектің активті қуаты неге тең?
5. Айнымалы токтың реактивті қуаты ұғымының физикалық мағынасы қандай?
6. Айнымалы токтың реактивті қуаты қалай анықталады?
7. Айнымалы токтың толық қуатын қалай анықтауға болады?
- *8. 11.1-суретте кескінделген векторлық диаграмманы түсіндіріп беріңдер.
- *9. Қуаттар үшбұрышын қалай тұрғызуға болатынын түсіндіріңдер. Оның көмегімен қуат коэффициентін қалай анықтауға болады?

Есеп шығару мысалы

Индуктивтігі $L = 0,5$ Гн, активті кедергісі $R = 100$ Ом катушка мен сыйымдылығы $C = 10$ мкФ конденсатор $u = 300\sin 200\pi t$ айнымалы кернеу көзіне тізбектей жалғанған. Ток күшінің амплитудалық мәнін, ток пен кернеу тербелістері фазаларының айырымын, қуат коэффициентін және тұтынатын активті қуатты табыңдар.

Берілгені:

$$L = 0,5 \text{ Гн}$$

$$R = 100 \text{ Ом}$$

$$C = 10 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$u = 300\sin 200\pi t$$

$$I_m \text{ — ? } \varphi \text{ — ?}$$

$$\cos\varphi \text{ — ? } P \text{ — ?}$$

Шешуі. Есептің шартында берілген $u = 300\sin 200\pi t$ теңдеуінен кернеудің амплитудалық мәнін $U_m = 300$ В және циклдік жиілігін $\omega = 200\pi$ рад/с табамыз.

1. Ом заңы бойынша ток күшінің амплитудалық мәні $I_m = \frac{U_m}{R}$, мұндағы

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

бегінің толық кедергісі.

Онда

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{300 \text{ В}}{\sqrt{10^4 \text{ Ом}^2 + \left(628 \text{ с}^{-1} \cdot 0,5 \text{ Гн} - \frac{1}{628 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-5} \text{ Ф}}\right)^2}} = 1,63 \text{ А.}$$

2. Фазалар ығысуын мына формуладан табамыз:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{628 \text{ с}^{-1} \cdot 0,5 \text{ Гн} - \frac{1}{628 \text{ с}^{-1} \cdot 10^{-5} \text{ Ф}}}{100 \text{ Ом}} = 1,55.$$

Кестедегі фазалық ығысудың мәні $\varphi = 57^\circ 12'$ тең.

3. Фазалық ығысуды біле отырып, кестеден қуат коэффициентін анықтаймыз: $\cos\varphi = 0,54$.

4. Активті қуатты мына формуламен есептейміз:

$$P = IU \cos\varphi = \frac{I_m U_m}{2} \cos\varphi = \frac{U_m^2}{2Z} \cos\varphi;$$

$$P = \frac{9 \cdot 10^4 \cdot 0,5 \text{ В}^2}{2 \cdot \sqrt{10^4 \text{ Ом}^2 + \left(3,14 - \frac{10^5}{628}\right)^2 \text{ Ом}^2}} = 132 \text{ Вт.}$$

Жауабы: 1,63 А; $57^\circ 12'$; 0,54; 132 Вт.



8-жаттығу

1. Өсерлік мәні $U_a = 110 \text{ В}$ айнымалы кернеу көзіне индуктивтілігі $L = 0,2 \text{ Гн}$ катушка мен $R = 20 \text{ Ом}$ активті кедергі тізбектей жалғанған. Айнымалы токтың жиілігі $\nu = 50 \text{ Гц}$ болса, оның активті қуатын есептеңдер.

Жауабы: 55 Вт.

2. Тізбектің бөлігіне өсерлік мәні $U_a = 220 \text{ В}$ айнымалы кернеу түсірілді. Бөліктің активті кедергісі $R = 100 \text{ Ом}$, ал ток күші мен кернеу арасындағы фазалар айырымы $\varphi = 0,3\pi$. Токтың активті қуатын анықтаңдар.

Жауабы: 167 Вт.

3. Өсерлік мәні $U_a = 220 \text{ В}$ айнымалы кернеу көзіне индуктивтілігі $L = 0,5 \text{ Гн}$ катушка, сыйымдылығы $C = 0,5 \text{ мкФ}$ конденсатор және $R = 10 \text{ Ом}$ активті кедергі тізбектей жалғанған. Токтың жиілігі $\nu = 50 \text{ Гц}$. Тізбектегі активті қуатты табыңдар.

Жауабы: 1,2 мВт.

4. Айнымалы ток тізбегінің индуктивтілігі $L = 0,5 \text{ Гн}$, активті кедергісі $R = 1 \text{ кОм}$ катушка мен сыйымдылығы $C = 1 \text{ мкФ}$ конденсатордан тұрады. Кернеудің амплитудасы $U_m = 100 \text{ В}$, тербеліс жиілігі $\nu = 50 \text{ Гц}$ болса, тізбекте қандай қуат бөлінеді?

Жауабы: 0,5 Вт.

5. Өсерлік мәні $U_a = 110 \text{ В}$, жиілігі $\nu = 50 \text{ Гц}$ айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі $L = 0,2 \text{ Гн}$ катушка, $R = 2 \text{ Ом}$ активті кедергі және сыйымдылығы айнымалы конденсатор қосылған. Сыйымдылықтың қандай мәнінде айнымалы токтың активті қуаты максимал болады? Оның мәні неге тең?

Жауабы: $C = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}$; $P \approx 605 \text{ Вт}$.

§ 12. Электр тізбегіндегі кернеулер резонансы



Тірек ұғымдар:

- ✓ контурдың меншікті жиілігі
- ✓ сыртқы периоды кернеудің жиілігі
- ✓ кернеулер резонансы
- ✓ кернеуді резонанстық күшейту

Бүгінгі сабақта:

- резонанс құбылысымен, оның пайда болу шарттарымен және қолданылуымен таныса-сыңдар;
- резонанстық жиілікті есептеуді үйренесіңдер.



Мұны білесіңдер

Тербелмелі жүйенің меншікті жиілігі сыртқы периоды мәжбүрлеуші әсердің жиілігімен дәл келгенде еріксіз тербелістер амплитудасының күрт өсу құбылысы *резонанс* деп аталады.

Резонанс механикалық және электромагниттік тербелістерге де тән құбылыс. Айнымалы ток еріксіз электромагниттік тербелістерге жатады, сондықтан белгілі бір шарттар орындалған кезде активті және реактивті кедергілері бар айнымалы ток тізбегінде резонанс бақылануы мүмкін. *Өзара тізбектей жалғанған айнымалы кернеу көзінен, активті кедергіден, индуктивті және сыйымдылық кедергілерден тұратын айнымалы ток тізбегіндегі резонанс тізбектелген немесе кернеулер резонансы деп аталады.* Кернеулер резонансының өзіндік ерекшелігі — сыйымдылық пен индуктивті кернеулердің айнымалы ток тізбегінің қысқаштарына түсірілген $u = U_m \cos \omega t$ кернеуден анағұрлым артық болады. Демек, кернеулер резонансы реактивті кедергілердегі кернеулердің еселеп артуына әкеліп соғады. Бұл кезде резонанстық ток қорек көзінің ішкі кедергісі мен R активті кедергіден өтумен шектеледі. Сонымен, резонанстық жиілікте тізбектелген контурдың толық кедергісі минимал мәнге ие болады.

Енді айнымалы ток үшін осы тізбектелген контурдың толық кедергісі қандай шарттар орындалғанда минимал болатынын анықтайық. Айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ өрнегімен анықталатыны белгілі.

Бұл формуладағы индуктивті кедергі мен сыйымдылық кедергісі бір-біріне тең болса, толық кедергі ең аз мәнге ие болатынын көреміз. Сонымен, егер

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (12.1)$$

болса, $Z = R$. Бұл кезде ток пен кернеудің тербеліс фазаларының айырымы $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = 0$, яғни ток пен кернеу тербелістері синфазалық болады. Мұндай шарт орындалғанда активті кедергідегі кернеу тізбекке түсірілген кернеуге тең: $U_R = U$, ал конденсатордағы U_C кернеу мен катушкадағы U_L кернеудің амплитудалары бір-біріне тең де, фазалары қарама-қарсы.

Егер тізбектің активті кедергісі R аз болса, ток амплитудасы $I_m = \frac{U_m}{R}$ өте жоғары мәндерге ие болады. Бұл — *электр тізбегіндегі резонанс*. Резонанс байқалу үшін тізбекке түсірілген кернеудің жиілігі (12.1) өрнегін қанағаттандыруы керек, бұдан резонанстық жиілікті анықтауға болады:

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

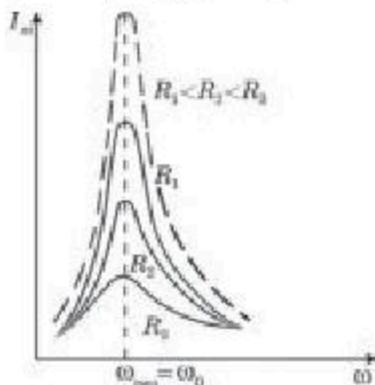
Екінші жағынан алғанда, идеал ($R = 0$) тербелмелі контурдағы тербелістердің меншікті циклдік жиілігі $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ өрнегімен анықталатыны бізге белгілі.

Соңғы екі өрнекті салыстыра отырып, мынадай қорытындыға келеміз: *сыртқы периодты кернеудің жиілігі контурдың меншікті жиілігіне тең болған кезде $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$ (12.1-сурет) электр тізбегінде резонанс бақыланады*. Активті кедергі неғұрлым аз болса, токтың амплитудасы соғұрлым жоғары болады. 12.1-суретте активті кедергілер $R_1 < R_2 < R_3$. Егер тізбектің активті кедергісі $R \rightarrow 0$ шексіз аз болса, ток амплитудасы шексіз артады: $I_m \rightarrow \infty$.

Жоғарыда айтып кеткеніміздей, активті, индуктивті және сыйымдылық кедергілер тізбектей жалғанғанда байқалатын резонансты *кернеулер резонансы* немесе *тізбекті резонанс* деп атайды. Себебі резонанс кезінде токтың өсуімен қатар, катушка мен конденсатордағы кернеулер де күрт өседі. Тізбектей жалғанған кезде конденсатор мен катушкадағы кернеулер қарама-қарсы фазада тербеледі, яғни кез келген уақыт мезетінде $-u_C = u_L$. Олай болса, резонанстық жиілік үшін осы екі кернеудің мәндері бір-біріне тең:

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

Кернеудің өрнегіне $\omega = \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ резонанстық жиілікті қойсақ,



12.1-сурет. Айнымалы ток үшін тізбектелген контурдағы резонанстық қисықтар

$$U_{L_{рез}} = I_m X_{L_{рез}}; X_{L_{рез}} = L\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{L}{C}}; U_{L_{рез}} = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

$$\text{Сонымен, } U_{L_{рез}} = U_{C_{рез}} = I_m X_{C_{рез}} = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Әдетте, тербелмелі контурлар үшін $\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} > 1$, сондықтан конденсатор мен катушкадағы кернеулер тізбекке түсірілген кернеуден әлдеқайда артық болады және R активті кедергі азайған сайын бұл артықшылық арта түседі. Жалпы резонанс туралы тек активті кедергінің мәндері айтарлықтай аз болғанда ғана айтудың мағынасы бар, 12.1-суреттен көрініп тұрғандай, активті кедергінің үлкен мәндерінде резонанс практика жүзінде байқалмайды.

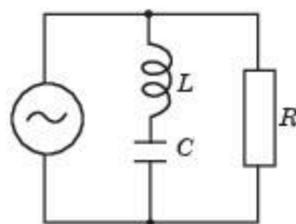
Резонанс құбылысының қолданылуы. Резонанс құбылысы қандай да бір нақты жиіліктегі кернеу тербелістерін күшейту үшін қолданылады. Кернеудің резонанстық күшейтілуі резонанстық жиілік маңында өте жіңішке интервалда жүзеге асырылады. Бұл, мысалы, радиоқабылдағыштарда (12.2-сурет) көптеген сигналдардың ішінен нақты бір жиіліктегі тербелістерді бөліп алып, керекті радиотолқынды ұстауға мүмкіндік береді. Кез келген радиоқабылдағыштың кіру тізбегі меншікті жиілігін түрлендіруге болатын тербелмелі контурдан тұрады. Оның резонанстық жиілігі конденсатордың сыйымдылығын өзгерту арқылы қажетті радиостансының жиілігімен дәл келетіндей өзгертіле алады.

Кернеулер резонансы *электр фильтрлерінде* кеңінен қолданылады. Егер берілетін сигналдың құрамынан қандай да бір жиіліктегі құраушысын шығарып тастау керек болса, қабылдағышқа параллель өзара тізбектей жалғанған конденсатор мен индуктивтік катушканы қосады. Онда резонанстық ток осы LC тізбекте тұйықталып, қабылдағыш (жүктеме) арқылы жүрмейді. Ал сигнал жиілігінің резонанстық жиілікке сәйкес келмейтін бөлігі қабылдағыш арқылы өтеді (12.3-сурет).

Жалпы электротехникада резонанс құбылысының зиянды әсерлері де көп. Резонанстың себебінен кейде құрылғыларға



12.2-сурет.
Радиоқабылдағыш



12.3-сурет. Электрлік
фильтр

түсетін кернеу қажетті мөлшерден асып кетеді де, олардың істен шығуына әкеліп соғады. Конденсаторлар мен катушкалары бар электр желілерін оқшаулау жұмыстарын есептеген кезде де резонансты ескеру қажет.



1. Резонанс деп қандай құбылысты айтады?
2. Резонанстық жиілік неге тең?
3. Резонанс кезінде активті, индуктивті және сыйымдылық кедергілердегі кернеулер неге тең?
4. Кернеулер резонансын қай жерлерде қолданады? Кернеулер резонансына тән белгілерді сипаттап беріңдер.



Кернеулер резонансына сәйкес векторлық диаграмманы салыңдар.

Есеп шығару мысалы

Бір-біріне тізбектей жалғанған конденсатор мен катушкадан тұратын тербелмелі контурдың жиілігі $\nu = 4$ кГц. Бұл контурдың резонанстық жиілігі $\nu_{\text{рез}} = 1$ кГц, айнымалы токқа әсер ететін толық кедергісі $Z = 10^3$ Ом, ал катушканың активті кедергісі $R = 10$ Ом. Катушканың индуктивтілігі қандай?

Берілгені:

$$\nu_{\text{рез}} = 1 \text{ кГц} = 1 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$\nu = 4 \text{ кГц} = 4 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$Z = 10^3 \text{ Ом}$$

$$R = 10 \text{ Ом}$$

$$L = ?$$

Шешуі. Резонанстық жиіліктің және тізбектің толық кедергісінің формулаларын жазайық, $\omega = 2\pi\nu$ екенін ескере отырып, $2\pi\nu_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, $Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}$.

Бұл теңдеулерді квадраттап, біріншісінен сыйымдылықты табамыз:

$$C = \frac{1}{4\pi^2\nu_{\text{рез}}^2 L}$$

Оны екінші теңдеуге қоямыз, түрлендірулерден кейін

$$Z^2 - R^2 = \frac{4\pi^2 L^2}{\nu^2} (\nu^2 - \nu_{\text{рез}}^2)^2 \text{ шығады, бұдан } L = \frac{\nu\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi(\nu^2 - \nu_{\text{рез}}^2)};$$

$$L = \frac{10^3 \text{ Гц} \sqrt{(10^6 - 10^2) \text{ Ом}^2}}{6,28(16 \cdot 10^6 - 10^6) \text{ Гц}^2} = 0,01 \text{ Гн} = 10 \text{ мГн.}$$

Жауабы: $L = 10$ мГн.



9-жаттығу

1. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L = 200$ мГн катушқадан және сыйымдылығы $C = 5 \cdot 10^{-5}$ Ф конденсатордан тұрады. Резонанстық жиілікті табыңдар.

Жауабы: ≈ 50 Гц.

2. Индуктивтілігі $L = 10^{-6}$ Гн катушқадан және өрбір астарының ауданы $S = 100$ см² ауалы жазық конденсатордан тұратын тербелмелі контур $\nu_{\text{рез}} = 2 \cdot 10^7$ Гц жиілікте резонансқа түседі. Конденсатор астарларының арақашықтығын есептеңдер.

Жауабы: 0,14 см.

*3. Конденсаторының сыйымдылығы $C_1 = 1$ мкФ болатын тербелмелі контурда резонанс $\nu_1 = 400$ Гц жиілікте байқалады. Егер осы конденсаторға параллель екінші конденсаторды қосса, резонанс $\nu_2 = 100$ Гц жиілікте байқалады. Екінші конденсатордың жиілігін анықтаңдар.

Жауабы: 15 мкФ.

*4. Үштарына жиілігі $\nu = 50$ Гц болатын $U = 110$ В айнымалы кернеу түсірілген тізбекке индуктивтігі $L = 0,5$ Гн катушка, $R = 40$ Ом активті кедергі және айнымалы конденсатор тізбектей жалғанған. Конденсатордың сыйымдылығы қандай болғанда тізбекте резонанс байқалады? Тізбектегі резонанстық тоқты және конденсатордағы кернеуді табыңдар.

Жауабы: 20,3 мкФ; 2,75 А; 431 В.

§ 13. Электр энергиясын өндіру, жеткізу және қолдану. Трансформатор



Тірек ұғымдар:

- ✓ электрстансылары
- ✓ жылу электрстансылары
- ✓ су электрстансылары
- ✓ электр тасымалдау желілері
- ✓ желідегі энергия шығыны
- ✓ трансформаторлар

Бүгінгі сабақта:

- электр энергиясын өндіру, жеткізу негіздерімен және электр энергиясын жеткізуде айнымалы кернеудің артықшылықтарымен танысасыңдар;
- трансформатордың жұмыс істеу принципін және оның құрылымын оқып-үйренесіңдер.

Электр энергиясын өндіру және жеткізу. Электрсіз заманауи өмірді елестету мүмкін емес. Электрлік құбылыстардың ашылуы мен электр энергиясын пайдалануды ойлап табу адамзат өркениетінің дамуында алға қарай зор секіріс болды десек артық айтпаймыз. Энергияның барлық басқа түрлерімен салыстырғанда электр энергиясының

артықшылықтары даусыз. Оны айтарлықтай аз шығынмен сымдардың бойымен өте алыс қашықтықтарға жеткізуге болады. Қарапайым қондырғылардың көмегімен электр энергиясын энергияның кез келген басқа түріне айналдыруға болады.

Мұны білесіңдер

Механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын қондырғы ток генераторы деп аталады. Ең кең таралған айнымалы токтың электромеханикалық индукциялық генераторлар электромагниттік индукция құбылысының негізінде жұмыс істейді.

Электр энергиясы айнымалы токтың индукциялық генераторларының көмегімен өртүрлі электрстансыларында өндіріледі. Электрстансылары көмір мен мұнай қорларының жанында (жылу электрстансылары) немесе өзен-көл суларының бойында (су электрстансылары) тұрғызылады. Жылу электрстансыларында отынның (мысалы, көмірдің) ішкі энергиясы электр энергиясына түрленеді. Жоғары қысымда қызған бу ағыны бу турбинасының роторын айналдырады, сонда онымен бір оське орнатылған генератордың роторы да айналады. Су электрстансыларында судың механикалық энергиясы электр энергиясына түрленеді. Өзенді бөгеп, бөгетпен суды биікке көтереді. Биіктен гидравликалық турбинаның қалақшаларына құлаған су ағыны оны генератордың роторымен қоса айналдырады.

Қазіргі кезде дүниежүзінде өндірілетін электр энергиясының біраз бөлігі атом электрстансыларында өндіріледі. Мұнда ауыр ядролардың тізбекті реакциясы кезінде бөлінген атомның ішкі энергиясы электр энергиясына түрленеді. Тізбекті реакция *ядролық реакторларда* жүреді. Бұл туралы біз ядролық физика тарауында 9-сыныпта қарастырғанбыз.

Электрстансыларының отын немесе су қорларының жанында орналасуынан электр энергиясын тұтынушыға дейін жеткізу мәселесі туындайды. Тұтынушылар, әдетте, электрстансыларынан алыста орналасады. Джоуль—Ленц заңы бойынша сымдардың бойында бөлінетін жылу энергиясы $Q = I^2 R t$, мұндағы $R = \rho \frac{l}{S}$ — жеткізу желісінің кедергісі жеткізу сымдарының l ұзындығымен анықталатындықтан, тұтынушыға дейінгі арақашықтық артқан сайын шығын да арта түседі.

Оны қалай азайтуға болады?

Негізінен, мұның екі жолы бар:

1. Электр желісі сымдарының кедергісін азайту керек. Желінің l ұзындығын өзгерте алмаймыз, онда сымдардың көлденең қимасының ауданын арттыру (жуан сымдарды пайдалану) немесе меншікті кедергісі аз материалдарды (мысалы, күмісті) қолдану керек. Бұл екі жолдың да іс жүзінде тиімсіз екені өз-өзінен түсінікті (қымбатқа түседі).

2. Джоуль—Ленц заңының өрнегіне қарасақ, шығынды азайтудың тағы бір жолы берілетін қуатты өзгертпей сақтай отырып, ток күшін азайту екенін көреміз. Қуат ток күші мен кернеудің көбейтіндісіне тең болғандықтан, ток күшін неше есе азайтсақ, кернеуді сонша есе арттыру керек. Олай болса, электр энергиясын жеткізу мәселесі тоқты трансформациялауға келіп тіреледі.

Генератордың өндіретін кернеуі U_0 , ал жүктеме тұтынатын кернеу U болсын. Онда $U_0 = U + IR$, мұндағы Z — желінің толық кедергісі. Өдетте, желінің активті кедергісі реактивті кедергісінен әлдеқайда артық болады, сондықтан

$$U_0 - U = IR.$$

Олай болса, желідегі энергия шығынын былай есептеуге болады:

$$Q = I^2 R t = (U_0 - U) I t.$$

Генератор қуатының берілген мәні үшін желідегі энергия шығыны оған түсірілген кернеуге кері пропорционал.

Генератор P қуатының берілген мәні үшін кернеудің мәндері U_1 және U_2 болатын жағдайлар үшін энергия шығынын есептейік:

$$Q_1 = I_1^2 R t = \frac{P^2}{U_1^2} R t; \quad Q_2 = I_2^2 R t = \frac{P^2}{U_2^2} R t.$$

Олардың қатынасы

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{U_2^2}{U_1^2}.$$

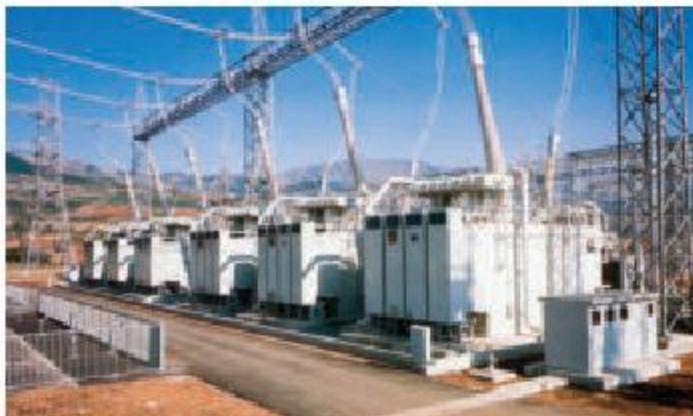
Егер желіге берілетін кернеу жеткілікті түрде жоғары болмаса, уақыт бірлігі ішінде сымдардағы шығын генератордың қуатынан асып кетуі мүмкін, онда энергия тұтынушыға мүлдем жетпей қалады.

Генератор қуатының берілген $P = IU \cos \varphi$ мәні үшін электрстансысынан тұтынушыға дейін тартылған сымдардағы қуат шығыны мынаған тең:

$$\Delta P = I^2 R = \frac{P^2 \cdot R}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{2 \rho l P^2}{U^2 S \cos^2 \varphi},$$

мұндағы S — сымның көлденең қимасының ауданы, l — ұзындығы, ρ — сым материалының меншікті кедергісі.

Осы айтылғандардан электр желісіне жоғары кернеу беру керек екені түсінікті. Айнымалы ток генераторларының өндіретін кернеуі жуықтап алғанда 20 кВ-тан аспайды. Сондықтан электрстансыларында жоғарылатқыш трансформаторлар қойылады. Өдетте, кернеу бірнеше саты жоғарылатылып барып электр желісіне беріледі. Желінің аяғында төмендеткіш трансформаторларды қолданып кернеу бірнеше саты төмендетіледі де, содан кейін тұтынушыға беріледі. Елімізде 220 В кернеу кеңінен қолданылады.



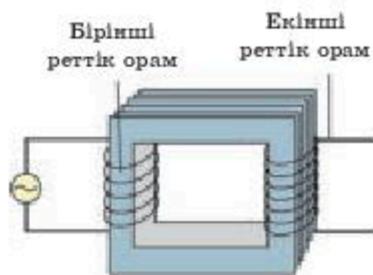
13.1-сурет

Трансформатор. Трансформатор электр энергиясын қашықтыққа жеткізу жүйесінің негізгі құрамдас бөлігі болуымен қатар, көптеген электр құрылғылары мен аппараттарда қолданылады. Заманауи техникалық аппараттар мен технологияларда трансформатор қолданылмайтын электронды құрылғыны табу қиын.

Қуаттың тұрақты дерлік мәнінде айнымалы токтың кернеуін ток күшімен қатар өзгертуді айнымалы токтың трансформациясы дейді.

Айнымалы токтың трансформациясын жүзеге асыратын құрал *трансформатор* деп аталады (13.1-сурет). Ол электромагниттік индукция құбылысының негізінде жұмыс істейді.

Бұл құралды орыс ғалымы П. Н. Яблочков 1876 жылдың 30 қарашасында ойлап тапқан, осы күні ол өзекшесі ашық трансформаторға патент алды. Бұл металл өзекшеге оралған сымнан тұратын қарапайым құрал еді. Бұдан кейін 1884 жылы Англияда ағайынды Джон мен Эдуард Гопкинстер алғашқы тұйық өзекшелі трансформаторды жасап шығарды. Заманауи трансформаторлар Фуко тогын азайту үшін оқшауланған пластиналардан құралған тұйық өзекшеден тұрады. Өзекше пластиналары трансформаторлық болаттан жасалады, ол өте аз шығынмен оңай қайта магниттеледі. Өзекшеге екі катушка кигізіледі (13.2-сурет).



13.2-сурет

Бір катушка айнымалы ток тізбегіне қосылады, оны *бірінші реттік орам (катушка)* дейді. Екінші катушкаға тұтынушыны, яғни электр қондырғыларын қосады. Оны *екінші реттік орам (катушка)* деп атайды. Катушкалардың активті кедергілері аз. Генератор бірінші реттік катушкаға U_1 айнымалы кернеу береді. Оның бойынан жүретін айнымалы ток трансформатордың өзекшесінде айнымалы магнит ағынын тудырады.

Соның нәтижесінде бірінші реттік катушканың әр орамында өздік индукция ЭҚК-і, ал екінші реттік катушканың әр орамында дәл сондай индукциялық ЭҚК-і пайда болады.

Егер бірінші реттік катушканың орам саны n_1 , ал екінші реттік катушкадағы орам саны n_2 болса, онда $\mathcal{E}_1 = en_1$, $\mathcal{E}_2 = en_2$, мұндағы e — бір орамдағы индукциялық ЭҚК. Осы екі өрнектен

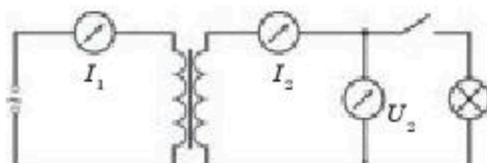
$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (13.1)$$

аламыз. Активті кедергі аз болғандықтан, бірінші реттік катушка үшін $U_1 \approx |\mathcal{E}_1| = n_1 e$.

ЭҚК-тің лездік мәндері e_1 мен e_2 синфазалық түрде өзгереді. Сондықтан (13.1) формуладағы олардың қатынасын осы ЭҚК-тердің \mathcal{E}_1 және \mathcal{E}_2 өсерлік мәндерімен алмастыруға болады:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Жүктемесіз трансформатор. Екінші реттік катушкаға жүктеме қосылмасын (13.3-сурет), яғни трансформатор зая жүрісте болсын. Онда екінші реттік орамада ток жүрмейді, сондықтан жуықтап алғанда оның қысқыштарындағы кернеуді $U_2 \approx |\mathcal{E}_2|$ деп алуға болады. Жүктеме жоқ



13.3-сурет. Жүктемесіз трансформатор

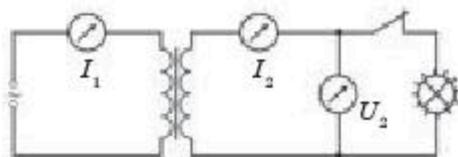
кезде екінші реттік тізбекте энергия шығыны жоқ, ал бірінші реттік тізбекте жалғаушы сымдар мен өзекшенің джоульдік жылу бөліну есебінен қызуына және өзекшенің қайта магниттелуіне кететін өте аз энергия шығыны бар, мұны ескермесе де болады. Сонымен, трансформатордың зая жүрісі үшін (13.1) теңдеуді ескере отырып,

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

өрнегін аламыз, мұндағы k — *трансформация коэффициенті*, яғни екінші және бірінші реттік катушкалардың орам сандарының қатынасына тең шама.

Трансформатордың зая жүрісінде $k = \frac{U_1}{U_2}$. Егер $k > 1$, онда $U_1 > U_2$, мұндай *трансформатор төмендеткіш* деп аталады. Егер $k < 1$ болса, $U_1 < U_2$ *трансформатор жоғарылатқыш* деп аталады.

Жоғарылатқыш трансформатордың бірінші реттік катушкасының орам саны екінші реттік катушканың орам санынан аз, ал төмендеткіш трансформаторда керісінше.



13.4-сурет. Жүктемелі трансформатор

Жүктемелі трансформатор. Екінші реттік тізбекке қандай да бір жүктеме қосайық (13.4-сурет). Онда бұл тізбекте жиілігі бірінші реттік тізбектегі ток жиілігіне тең i_2 айнымалы ток туады. Сондықтан екінші катушкада өздік индукция ЭҚК-і пайда болады.

Оның ұштарындағы кернеу аздап төмендейді. Ленц ережесі бойынша өздік индукция ЭҚК-і магнит ағынын азайтады. Бұл магнит ағыны екі катушканы бірдей тесіп өтетін болғандықтан, оның азаюы бірінші реттік катушкадағы өздік индукция ЭҚК-і \mathcal{E}_1 -дің кемуіне өкеп соғады. Ал бірінші тізбекте кернеудің U_1 мәні тұрақты болса да ток күші артады.

Өз ретінде бірінші реттік тізбектегі ток күшінің өсуі магнит ағынының артуын тудырады, онда екінші реттік тізбектегі индукциялық ЭҚК-і мен ток күші артады. Бұдан өрі осы сипатталған процестер берілген жүктеме үшін белгілі бір магнит ағыны екінші реттік тізбектегі индукциялық ЭҚК-і және бірінші реттік тізбектегі i_1 ток күші тұрақталғанша жүре береді.

Енді трансформатор генератордан өзінің зая жүрісіне қарағанда екінші реттік тізбек тұтынатын қуатқа тең қуатты көбірек алады. Егер аздаған энергия шығынын ескермесек, энергияның сақталу заңы бойынша генератордың энергиясы бірінші реттік тізбектен екінші реттік тізбекке магнит өрісі арқылы беріледі. Сондықтан шығынды ескермей, былай жазуға болады: $I_1 U_1 = I_2 U_2$, бұдан $\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = k$.

Кернеу бірнеше есе артса, ток күші сонша есе төмендейді. Заманауи трансформаторлардың $\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1}$ пайдалы өсер коэффициентінің мәні 99% -ға дейін барады, яғни энергия шығыны 1-2% -дан артпайды.

Тұрақты токты желімен тасымалдаса, шығын айнымалы токпен салыстырғанда өлдеқайда аз болар еді. Себебі қайта магниттелуге энергия шығыны жоқ. Бірақ тұрақты токты трансформациялауға болмайды, себебі трансформатор электромагниттік индукцияның негізінде жұмыс істейді. Алдымен айнымалы токтың кернеуін жоғарылатып, содан кейін оны тұрақты токқа түзетіп, желіге жіберуге болады. Тұтынушыға жеткен соң тұрақты токты қайтадан айнымалы токқа айналдырып, кернеуді қажет мөнге дейін төмендетуге болар еді. Бірақ тұрақты токты қайтадан айнымалы токқа айналдырудың қиыншылықтары бар. Сондықтан қазіргі кезде, негізінен, айнымалы ток қолданылады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Қазақстанда трансформаторларды "Alageum Electric" холдингтік компаниясының зауыттарында шығарады. Оның құрамына 30-дан аса ірі кәсіпорындар, соның ішінде Кентау, Шымкент, Орал, Алматы және Ақтау қалаларында орналасқан трансформатор зауыттары кіреді. Бұлардың ең көнесі — Кентаудағы зауыт, ол ТМД елдерінің ішіндегі ең ірі трансформатор қондырғыларын өндіруші болып табылады. Мұнда алғашқы ТМ-180/10 трансформаторы 1960 жылы 10 шілде күні шығарылған болатын.



"Кентау трансформатор зауытында" елу жылдан аса жинақталған тәжірибелердің нәтижелері "Орал трансформатор зауытына" да енгізілді. Оның өнімдері 90% экспортқа бағытталған, солардың ішінде қуаты 2500 кВт және 6, 10, 20 кВт-қа арналған құрғақ және майлы трансформаторлар; әртүрлі комплектілік трансформатор подстансыларын; 10, 20 кВ-қа есептелген КСО, КРУ, КРУН сериясының тарату қондырғыларын; түрлі мақсаттарда қолданылатын блокты-модульді ғимараттарды; төменгі вольтты қондырғыларды атап өтуге болады.

"Алматы электромеханикалық зауытында" жоғары және төменгі вольтты қондырғылар, комплектілік трансформатор қосалқы стансылары тағы басқалар өндіріледі.

Шымкентте 2019 жылдың 26 сәуірінде трансформатор қондырғыларын шығаратын жаңа "Asia Trafo" зауыты ашылды. Бұл зауыттың қуаты — жылына 120 трансформатор. Осы зауыттың ашылуы арқасында "Alageum Electric" холдингі Қазақстан нарығын 110 кВ-тан 500 кВ-қа дейінгі трансформаторлардың барлық түрімен қамтамасыз етіп отыр. Осының нәтижесінде Қазақстан нарығының қажеттіліктері 90% қамтамасыз етіледі және жергілікті өнімдердің үлесі 65—70%-ға жетеді деп күтілуде.

Дәстүрлі энергия көздері ретінде органикалық отын, яғни көмір, мұнай, газ пайдаланылатыны белгілі. Бірақ табиғатта олардың қоры шектеулі. Сонымен қатар органикалық отынның жану процесінде қоршаған ортаның ластануы заманауи қоғамның негізгі мәселесіне айналып отыр. Сондықтан бүгінгі таңда баламалы энергия көздерін іздестіру өте маңызды мәселе болып табылады. Солардың кейбіреуін қарастырайық.

Күн энергиясы. Күн сәулелерінің энергиясын *гелиоқондырғы* деп аталатын құрылғыларда энергия көзі ретінде, жылумен қамту үшін және фотоэлементтерді қолдана отырып, электр энергиясын алу үшін де пайдалануға болады.

Күн энергиясының артықшылықтарына оның мол қоры мен шусыз жұмыс істейтінін және атмосфераны ластамайтынын жатқызуға болады. Ал кемшіліктері — Күн сәулелерінің интенсивтігі қондырғы тұрған жердің климатына, тәуліктік және маусымдық ритмге тәуелді. Дербес күн электрстансыларын салу үшін өте үлкен жер телімдері қажет. Күн батареяларының әсерінен олар орналасқан жер қызады, ал бұл сол аймақта климаттық өзгерістер туғызуы мүмкін.

Жел энергиясы. Тағы бір келешегі зор энергия көзі ретінде желді атауға болады. Жел генераторларында желдің күшін турбинаның қалақшаларын қозғалту үшін пайдаланады. Ал оның айналысы электр генераторының роторына беріледі.

Жел генераторларының басты артықшылығы — желді аймақтарда жел таусылмайтын шексіз көп энергия көзі болып табылады. Сонымен қатар жел қозғалтқыштары атмосфераны ластамайды.

Балама энергия көздеріне мұхит суларының қабаттары арасындағы температуралар айырымын пайдалана отырып, электр энергиясын алатын судың жылу энергиясын, өзендер ағысының энергиясын, геотермальды энергияны және т.б. жатқызуға болады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!



Балама энергия көздерін дамыту проблемасына арналған "ЭКСПО-2017" халықаралық көрмесі 2017 жылы елімізде өтті.

Көрменің тақырыбы "Болашақтың энергиясы" энергия үнемдейтін әлемдік технологияларды дамытуға, судың, күннің, желдің, мұхиттың және т.б. энергия көздерін пайдаланатын жаңа технологияларды жасау мәселелеріне арналды.

"ЭКСПО-2017" халықаралық көрмесіне 115 мемлекеттен және 22 халықаралық ұйымдардан қатысушылар болды. Көрмеге қатысқан 4 млн-ға жуық адамдардың 15%-ы 187 шет мемлекеттерден келген туристер еді.



1. *Электр энергиясы қай жерде және қалай өндірілетіні туралы айтып беріңдер.*
2. *Электр желісіндегі энергия шығынын азайтудың қандай жолдары бар?*
3. *Неге жоғары вольтты электр желісі қолданылады?*
4. *Электр энергиясын өндіру мен тұтынушыға жеткізудің схемасын сызыңдар.*
5. *Су электрстансыларының жылу немесе атом электрстансыларымен салыстырғанда қандай артықшылықтары мен кемшіліктері бар?*
6. *Трансформатор қандай мақсаттарда қолданылады?*
7. *Трансформатордың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.*
8. *Трансформация коэффициенті деп нені айтамыз?*
9. *Төмендеткіш (жоғарылатқыш) деп қандай трансформаторды айтады?*
10. *Трансформатордың өзекшесін неге оқшауланған пластиналардан жасайды?*



Елімізде өткен "ЭКСПО-2017" халықаралық көрмесі туралы мәліметтер жинап, презентация дайындаңдар. Өздерің осы көрмеге қатыстыңдар ма? Көрмеден алған әсерлерің туралы әңгімелеп беріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Ұзындығы $l_0 = 35$ км электр желісіндегі кернеу $U = 140$ кВ. Ол тұтынушыға $P = 7$ МВт қуат беруге есептелген: $\cos\varphi \approx 1$. Желідегі энергия шығыны 5%-дан аспауы керек. Осы екі сымды желінің мыс сымдарының көлденең қимасының ауданын есептеңдер.

Берілгені:

$$l_0 = 35 \text{ км} = 35 \cdot 10^3 \text{ м}$$

$$U = 140 \text{ кВ} = 14 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$P = 7 \text{ МВт} = 7 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

$$\Delta P = 0,05 P$$

$$\cos\varphi \approx 1$$

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

$$S = ?$$

Шешуі. Электр желісіне берілетін қуат тұтынушыға берілетін қуаттың шамасынан тасымалдау кезінде желіде болатын қуаттың ΔP шығынынан артық болуы керек: $P_{\text{ж}} - P = \Delta P$.

$P_{\text{ж}} = IU$; $\Delta P = I^2 R$ қатынастарын және есептің шарты бойынша $\Delta P = 0,05P$ екенін ескеріп, жоғарыдағы теңдеуге қоямыз: $\sqrt{\frac{\Delta P}{R}} U = P + 0,05P$. Бұдан

$$R = \frac{\Delta P \cdot U^2}{(1,05)^2 \cdot P^2} = \frac{0,05U^2}{(1,05)^2 P}$$

Екі сымды желінің ұзындығы $l = 2l_0$. Енді $R = \rho \frac{l}{S}$ формуласынан мыс сымдардың көлденең қимасының ауданын табамыз:

$$S = \frac{\rho l}{R} = \frac{2\rho l_0 \cdot (1,05)^2 P}{0,05U^2};$$

$$S = \frac{2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 35 \cdot 10^3 \text{ м} \cdot (1,05)^2 \cdot 7 \cdot 10^6 \text{ Вт}}{0,05 \cdot (14 \cdot 10^4 \text{ В})^2} = 0,937 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 = 9,37 \text{ мм}^2.$$

Жауабы: 9,37 мм².

2-есеп. Радиоқабылдағышты қоректендіру үшін қолданылатын трансформатордың бірінші реттік орамасында $n_1 = 12000$ орам бар. Ол кернеуі $U_1 = 120$ В айнымалы ток тізбегіне қосылған. Екінші реттік ораманың кедергісі $R_2 = 0,5$ Ом болса, оның орам саны қанша? Радиоқабылдағыш ток күші $I = 1$ А болғанда $U_p = 3,5$ В кернеу тұтынады.

Берілгені:

$$n_1 = 12000$$

$$U_1 = 120 \text{ В}$$

$$R_2 = 0,5 \text{ Ом}$$

$$I = 1 \text{ А}$$

$$U_p = 3,5 \text{ В}$$

$$n_2 = ?$$

Шешуі. Жүктемелі трансформатордың екінші реттік орамасындағы кернеу $U_2 = U_p + IR_2$, мұндағы U_p — жүктемедегі кернеу.

Онда $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_p + IR_2}$ қатынасынан екінші орамадағы орам санын табамыз:

$$n_2 = n_1 \frac{U_p + IR_2}{U_1} = 12000 \frac{3,5 \text{ В} + 1 \text{ А} \cdot 0,5 \text{ Ом}}{120 \text{ В}} = 400.$$

Жауабы: $n_2 = 400$ орам.



10-жаттығу

1. Электр энергиясын $l = 40$ км қашықтыққа диаметрі $d = 5$ мм алюминий сымдармен жеткізгенде қандай қуат шығыны жұмсалатынын есептеңдер. Желідегі кернеу $U = 35$ кВ, есептелген қуат $P = 1,5$ МВт, $\cos\varphi = 0,87$.

Жауабы: 26%.

2. Электрстансысынан $l = 75$ км қашықтықта орналасқан жүктеме $P = 1$ МВт қуат тұтынады. Мыс сымдардың көлденең қимасының ауданы $S = 16$ мм² болса, желіге қандай қуат берілуі керек? Желідегі кернеу $U = 40$ кВ, $\cos\varphi = 0,63$.

Жауабы: 2 МВт.

3. Көлденең қимасының ауданы $S = 15$ мм² мыс сымдар арқылы $P = 200$ МВт қуатты қандай қашықтыққа тасымалдауға болады? Желідегі кернеу $U = 350$ кВ, $\cos\varphi = 0,87$. Шығын 10% -дан аспауы керек.

Жауабы: 16,7 км.

4. Трансформатордың бірінші реттік орамасындағы ток күші $I_1 = 0,5$ А, кернеу $U_1 = 220$ В. Екінші реттік орамасындағы ток күші $I_2 = 11$ А, кернеу $U_2 = 9,5$ В. Трансформатордың ПӘК-ін табыңдар.

Жауабы: 95%.

5. Трансформатордың бірінші орамасындағы ток күші $I_1 = 10$ А, ал оның ұштарындағы кернеу $U_1 = 110$ В. Екінші ораманың ұштарындағы кернеу $U_2 = 1000$ В болса, ток күшін анықтаңдар.

Жауабы: 1,1 А.

6. Жоғарылатқыш трансформатордың бірінші реттік орамасында $n_1 = 80$, екінші реттік орамасында $n_2 = 1280$ орам бар. Бірінші реттік орамасының ұштарындағы кернеу $U_1 = 120$ В, ал екінші реттік орамасындағы ток күші $I_2 = 0,25$ А. Трансформатордың пайдалы қуатын табыңдар.

Жауабы: 480 Вт.

7. Трансформация коэффициенті $k = 8$ төмендеткіш трансформатордың бірінші реттік орамасы $U_1 = 220$ В кернеуге қосылған. Екінші реттік орамасының кедергісі $R_2 = 2$ Ом, ондағы ток күші $I_2 = 3$ А. Бірінші реттік орамадағы энергия шығынын ескермей, екінші реттік ораманың қысқыштарындағы кернеуді анықтаңдар.

Жауабы: 21,5 В.

8. Трансформация коэффициенті $k = 5$ төмендеткіш трансформатор $U_1 = 110$ В кернеу көзіне қосылған. Екінші реттік ораманың кедергісі $R_2 = 1,2$ Ом, жүктеменің кедергісі $R = 1$ Ом болса, ондағы ток күші қандай?

Жауабы: 10 А.

9. Жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток көзінен $U_1 = 220$ В кернеумен қоректенетін трансформатордың зая жүрісінде бірінші реттік орамадағы ток күші $I_1 = 0,2$ А, ал оның активті кедергісі $R_1 = 100$ Ом. Бірінші реттік ораманың индуктивтілігін анықтаңдар.

Жауабы: 3,8 Гн.

§ 14. Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану



Тірек ұғымдар:

- ✓ энергияны тұтыну
- ✓ энергия ресурстары
- ✓ электрстансыларының тағайындалған қуаты
- ✓ электр энергиясымен қамтамасыз ету
- ✓ электр жүйелері

Бүгінгі сабақта:



- Қазақстандағы және әлемдегі электр энергиясының негізгі көздерімен танысасыңдар.

Қоғам дамыған сайын энергияны тұтыну қажеттігі қарқындап өсе түседі. Энергияның барлық басқа түрлерінің ішінде негізгі орынды электр энергиясы алады. Себебі оны өте аз шығынмен энергияның кез келген басқа түріне оңай айналдыруға және алыс қашықтыққа жеткізуге болады.

Қазақстан энергия ресурстарының мол қорын иелене отырып (мұнай, газ, көмір, уран), энергетикалық державаға айналды. Біздің елімізде электр энергиясының 70%-ы көмірден, 14,4%-ы гидроресурстардан, 10,6%-ы газдан және 5%-ы мұнайдан өндіріледі.

Қазіргі кезде Қазақстанда жұмыс істеп тұрған электрстансыларының негізгі түрлерін қарастырайық.

1. ГРЭС — бұл атау тарихи тұрғыда “Государственная районная электростанция” деген сөздердің бас әріптерінен құралған. Қазіргі кезде бұл атау аудандық электрстансысы мағынасына сөйкес келмейді. Заманауи ГРЭС — бұл қуатты конденсациялық жылу электрстансысы (КЭС) және олар еліміздің біріккен энергия жүйесінің құрамына кіреді. ГРЭС-тер қатты сығылған және қыздырылған (шамамен 540°С) буды пайдаланудың негізінде жұмыс істейді. Қатты қызған бу жоғары қысымда құбыр желісімен бу турбинасына беріледі, бұл жерде ол өте төмен қысымға дейін ұлғая отырып, турбинаның роторын айналдырады. Өз кезегінде, турбина электр генераторының роторын айналдырады.

2. ТЭЦ (теплоэлектроцентраль). Бұл жылу электрстансыларында электр энергиясын өндірумен қатар, қалған бу мен ыстық судың жылулық энергиясы тұрғын үйлер мен ғимараттарды жылытуға, ыстық сумен қамтуға жұмсалады.

3. ГЭС — су электрстансылары, мұнда энергия көзі ретінде жоғары көтерілген су массиві қолданылады. Ол үшін ыңғайлы өзендердің бойында плотиналар мен суқоймалары салынады. Жоғарыдан құлаған су гидротурбинаның қалақшаларына соғылып, оның роторын айналдырады да, генераторды іске қосады. Сонымен, ГЭС-терде судың потенциалдық энергиясы электр энергиясына айналады.



14.1-сурет. Екібастұз ГРЭС-1



14.2-сурет. Шүлбі ГЭС-1



14.3-сурет. Өскемен ГЭС-1

Шүлбі (14.2-сурет), Өскемен ГРЭС-тері (14.3-сурет) де осындай дәрежеде саналады.

Өндірістік электрстансыларына электр және жылу энергияларын аралас өндіретін жылу электрстансылары жатады. Олар ірі өндірістік мекемелер мен солардың маңындағы тұрғылықты мекендерді жылумен және электр энергиясымен қамтамасыз етеді. Оларға мына жылу электрстансылары жатады: ТЭЦ-3 “Қарағанды Энергоцентр” ЖШС; ТЭЦ-2 “Арселор Миттал Теміртау” АҚ; Балқаш ТЭЦ-і; ТЭЦ “Kazakhstan energy” ЖШС және т.б.

Аймақтық электрстансылар шоғырланған (интеграцияланған) жылу электр орталықтары (ТЭЦ) болып табылады. Олар сол аймақтағы қалаларды жылумен және электр энергиясымен қамтамасыз етеді.

Қазақстан Республикасының электр желілері электр энергиясын тұтынушыларға жеткізіп, таратуға арналған. Олар қосалқы стансы-

Қазіргі кезде Қазақстанда электр энергиясы өртүрлі типтегі 128 электрстансыларында өндіріледі. 2018 жылдың 1 қаңтарына сәйкес мағлұмат бойынша олардың жалпы қуаты 21672,9 МВт, пайдаланатын мөлшері 18791,4 МВт. Электрстансыларының типтеріне қарай энергия өндіру үлестері мынадай: ГРЭС (КЭС) 48,9%; ТЭЦ 36,6%; ГЭС 12,3%; қалған азғантай пайыз дәстүрлі емес энергия көздерінің үлесіне тиесілі.

Қазақстанда негізгі электр энергиясын тұтынушылар мыналар: өндіріс орындары 68,7%, халықтың тұрмыстық тұтынуы 9,3%, қызмет көрсету секторы 8%, транспорт 5,6%, ауылшаруашылығы 1,2%.

Электрстансылары маңыздылығы жағынан ұлттық дәрежедегі, өндірістік және аймақтық болып үшке бөлінеді.

Ұлттық маңыздағы электрстансыларына көтерме нарықтағы электр энергиясын өндіретін және оны тұтынушыларға сатуды қамтамасыз ететін ірі жылу электрстансылары жатады. Олардың ішінен Екібастұз ГРЭС-1 (14.1-сурет); Екібастұз ГРЭС-2; “Қазақмыс корпорациясының” ГРЭС-і; Тараз ГРЭС-і және т.б. атауға болады, сол сияқты жоғары қуатты Бұқтырма,

лардың таратушы құрылғылар мен кернеуі 0,4—1150 кВ болатын электр жеткізу желілерінің жиынтығынан тұрады.

Қазақстанның электр желілері мен таратушы жүйелері үш бөліктен тұрады: олардың екеуі солтүстікте, біреуі оңтүстікте. Солтүстікте ол бірыңғай Ресей энергетикалық жүйесімен, оңтүстікте Орта Азияның біріккен энергетикалық жүйесімен байланысқан. Бұл екі жүйе өзара бір желімен байланысады. Қазіргі кезде солтүстік және оңтүстік жүйелерді қосатын екінші желінің құрылысы жүріп жатыр, бұдан бөлек батыспен солтүстік энергия жүйелерін қосатын желі салудың мүмкіндіктері қарастырылуда.

Қазақстан Республикасының ұлттық жүйелік электр желісі (ҰЖЖ) аймақтар мен көрші мемлекеттердің (Ресей, Қырғызстан және Өзбекстан) энергожүйелерінің арасындағы байланысты, сонымен қатар электрстансыларынан көтерме бағамен тұтынушыға энергия беруді қамтамасыз етеді. Қазақстанда ҰЖЖ электр желілерін басқару компаниясы “KEGOC” акционерлік қоғамының балансында тұр.

Қазақстан Республикасының электрмен жабдықтау нарығының секторы энергиямен жабдықтау мекемелерінен (ЭЖМ) тұрады. Олар электр энергиясын энергия өндірушілерден орталықтандырылған сауда мекемелерінен сатып алып, нақты тұтынушыларға сатады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Дүниежүзіндегі ең алғашқы электрстансы 1882 жылы Нью-Йоркте тұрғызылды. Онда жалпы қуаты 500 кВт бірнеше Эдисон генераторлары орнатылған болатын. Қозғалтқыштар көмір жағатын бу қазандарынан алынатын бумен қозғалысқа келтірілетін. Кернеу автоматты түрде реттелетін, ал қозғалтқыш пен генератордың роторлары тікелей жалғастырылған еді. Қазандыққа көмір механикалық тәсілмен түсіп, күл мен шлак та автоматты түрде шығарылып тұрды. Стансы Нью-Йорктің ауданы 2,5 км²-ге тең бүтіндей бір ауданын электр энергиясымен қамтамасыз етіп тұрды.

Бүгінгі күннің тұрғысынан алғанда, алғашқы электрстансылары өте төмен 110 В кернеу өндіретін. Біз білетініміздей, кернеу неғұрлым төмен болса, ток күші соғұрлым жоғары, соған орай ток өтетін электр сымдарындағы энергия шығыны да көп болады. Сондықтан ол кездерде электр энергиясын алысқа жеткізу туралы тіпті сөз болмайтын. Бұл жағдай алғашқы электрстансыларын қалалардың орталығына салуға мәжбүр ететін. Ал қаланың ортасына жаңа құрылыс салу көптеген қиындықтар тудыратыны түсінікті. Қала ортасындағы жер телімдерінің аздығы және қымбатшылығы, отын жеткізу мен қалдықтарды шығару қиыншылықтары алғашқы электрстансыларын көп қабатты етіп салуға (мысалы, АҚШ-та) немесе тіпті оларды баржаларға орналастыруға (мысалы, Санкт-Петербуркте) мәжбүр етті.

Соңғы жылдары Қазақстанда да электр энергиясының жаңартылатын көздерін пайдалану қарқынды дамып келеді. Осы мақсатта жел және күн электрстансылары салынууда.

Жел энергиясы. 2015 жылдың тамыз айында Қазақстанда алғашқы өндірістік типтегі жел электрстансысы (ЖЭС) пайдалануға берілген болатын. Ол Ақмола облысында Ерейментау қаласының маңында орналасқан (14.4-сурет).



14.4-сурет. Ерейментау жел электрстансысы



14.5-сурет. Қапшағай КЭС-і

Қордай ЖЭС-1. Ол Жамбыл облысының Қордай ауданында орналасқан, қуаты 21 МВт. Бұл стансыда мұнарасының биіктігі 60 м, роторының диаметрі 54 м “Nordex” фирмасының 21 жел генераторлары орналасқан. Оның жанында қуаты 16 МВт · А екі трансформаторы бар 110/10 кВ жоғары вольтты қосалқы стансы — Қордай ЖЭС орналасқан және 110 кВ кернеуге есептелген ұзындығы 2,4 км электр желісі тартылған.

Жуық арада Маңғыстау және Ақмола облыстарында жалпы қуаты 57 МВт тағы 3 нысан пайдалануға берілмекші. Сонымен, 2019 жылдың аяғында жалпы қуаты 285 МВт 18 ЖЭС жұмыс істейді деп күтілуде.

Біздің елімізде күн энергиясын пайдалану да қарқынды дамып келеді. Қазақстан күн энергиясының потенциалы жоғары елдердің қатарына жатады. Бір жылда күн сәулесі орташа есеппен алғанда 2200—3000 сағ жарқырап тұрады екен. Ал оңтүстік өңірде жыл бойы ашық күндер саны 300-ге жуық екені анықталған.

Күн энергиясы. Біздің еліміздегі алғашқы күн электрстансыларының (КЭС) бірі — “Отар”, оның жалпы жобалық қуаты 7 МВт. Бірінші кезегі 2012 жылдың аяғында пайдалануға берілген болатын. 2013 жылы 20 желтоқсанда Қапшағай күн электрстансысы іске қосылды (14.5-сурет), оның жобалық қуаты 2 МВт. Еліміздің оңтүстігінде де, нақты айтқанда Түркістан облысының Сарыағаш (қуаты 20 МВт), Мақтаарал (4,95 МВт), Созақ (50 МВт) аудандарында, Арыс (14 МВт) және Кентау (50 МВт)

Жобаны “Самұрық-Энерго” АҚ компаниясының құрамына кіретін “Первая ветровая электрическая станция” ЖШС іске асырды. Бұл стансының қазіргі кездегі қуаты 45 МВт, ол әрқайсысының қуаты 2,05 МВт болатын 22 жел қондырғысынан және жаңа жекеменшік 220/35 кВ қосалқы стансыдан тұрады. ЖЭС жыл сайын 172,2 млн кВт/сағ энергияны органикалық отынды пайдаланбай, ауаға көмірқышқыл газын шығармай өндіреді. Өндірілген электр энергиясы толығымен Қазақстанның ұлттық электр желісіне беріледі. Ерейментау жел электрстансысының өндірген энергиясы арнайы “ЭКСПО-2017” халықаралық көрмесін электр энергиясымен қамтамасыз еткенін айта кеткен жөн.

Жел энергетикасына қомақты үлес қосатын нысандардың бірі —

қалаларында күн электрстансылары салынып жатыр. Сонымен, бұл өңірде 2025 жылға қарай жалпы жобалық қуаты 148,8 МВт болатын 13 жаңартылатын энергия көздері жұмыс істеп тұрады деген жоспар бар.

Қазіргі кезде жаңартылатын энергия көздерінің үлесі еліміздің жалпы энергия балансының бір пайызынан азырақ. Бұл үлесті 2020 жылы 3%, 2030 жылы 10%, ал 2050 жылы 50%-ға жеткізу жоспарланып отыр.

Әлемде электр энергиясын өндіру және тұтыну. Электр энергиясына деген сұраныс бүкіл әлемде жылдан-жылға артып отыр. Әлемдік деңгейде энергия тұтыну мөлшерін Халықаралық энергетикалық агенттік (ХЭА), Energy Information Administration (EIA) сияқты мекемелер зерттеп, есептеу жұмыстарын жүргізіп отырады. Кейбір болжамдар бойынша 2035 жылға қарай электр энергиясын жаңа тұтынушылардың саны халық санының өсуіне байланысты 1,6 млрд адамға жетсе, оған қазіргі кезде электр энергиясын өлі тұтына алмай келе жатқан 2,7 млрд адам тағы қосылады. Нәтижесінде аталмыш жылға қарай электр энергиясын тұтыну әлем бойынша 40—50%-ға өседі.

Осындай халықаралық мекемелердің есептеулері бойынша, бүгінгі күні барлық өндірілетін электр энергиясының 37%-ы өндірістік мекемелердің үлесіне келеді, 20%-ы транспортқа жұмсалады. Тұрғын үйлер мен түрлі ғимараттарды жылытуға және жарықтандыруға 11%, коммерциялық қажеттіліктерге 5% электр энергиясы кетеді. Дүниежүзі бойынша тұтынатын электр энергиясының қалған 27%-ы оны өндіру және тұтынушыға дейін жеткізу кезінде шығын болады. Қазіргі кезде электрстансыларында негізгі энергия көзі органикалық отын болып табылады, мұның өзі қоршаған орта ластануының глобальды мәселелерін тудырып отыр. Халықаралық экологиялық академияның (ХЭА) мағлұматтары бойынша 2013 жылы органикалық отынды жағу нәтижесінде ауаға шығарылған көмірқышқыл газының мөлшері әлем бойынша 32 Гт-ға жеткен. Энергия тұтыну мөлшерінің 2035 жылға қарай өсу болжамдарын ескерсек, экологиялық катастрофаны болдырмау шараларын дәл қазіргі кезден бастап жүргізу керек. Бұл бағытта халықаралық қауымдастық айтарлықтай іс-шараларды қолға алып жатыр. Мысалы, көмірдің орнына газды пайдалану қарқынды өсіп келеді. Болжам бойынша 2040 жылдарға қарай барлық өндірілетін электр энергиясының 60%-ы альтернативті энергия көздерінен алынатын болады.



- 1. Қазіргі кезде Қазақстан жерінде жұмыс істеп тұрған электрстансыларының қандай түрлерін білесіңдер? Олардың жұмыс істеу принциптерін түсіндіріңдер.
2. Қандай электрстансылары ұлттық деңгейдегі статуска ие? Мысалдар келтіріңдер.
3. Өндірістік электрстансыларын атаңдар.
4. ҰЖЖ деген не?
- 5. Әлем бойынша энергия тұтыну тенденциялары туралы айтып беріңдер.
- *6. Электр энергиясын өндіру мен тұтыну қарқынының өсуі қоршаған ортаның ластану мәселесімен қалай байланысты?



“Менің отбасымда электр энергиясын тұтыну” деген тақырыпта әңгіме жазыңдар. Ол үшін үйлеріңдегі барлық жарық беретін және басқа да тұрмыстық электр құралдарының техникалық құжаттарынан олардың әрқайсысы қандай қуат тұтынатынын анықтаңдар. Бұл құралдардың әрқайсысы бір тәулікте шамалап алғанда қанша уақыт жұмыс істеп тұратынын есептеңдер. Отбасыларың бір айда қанша электр энергиясын тұтынатынын табыңдар. Төлем квитанциясынан осындай уақыт аралығында шын мәнінде қанша энергия жұмсалатынын анықтаңдар. Бұл көрсеткішті есептелген мәнмен салыстырыңдар. Олардың айырмашылығы қандай? Нәтижені түсіндіріп, қорытынды жасаңдар.

3-тараудың ең маңыздысы

Ток генераторы деп механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын қондырғыны айтады.

Кез келген индукциялық генератор мынадай негізгі бөліктерден тұрады: *индуктор, якорь, щеткалар мен сақиналар*.

Уақыт өткен сайын шамасы да, бағыты да периодты түрде өзгеріп отыратын электр тогы *айнымалы ток* деп аталады.

Айнымалы ток тізбегіндегі кернеу мен ток күшінің тербелістерінің жиіліктері әрқашан бірдей болады, бірақ олардың фазалық арақатынастары жүктеменің түріне байланысты. Егер тізбекте тек активті кедергі болса, кернеу мен ток күшінің тербелістері бірдей фазада жүреді. Тізбекте тек қана сыйымдылық кедергісі болған жағдайда ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ -ге озады, ал егер тізбекте активті кедергісі ескермеуге болатындай аз индуктивтік катушка ғана болса, ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ -ге артта жүреді.

Айнымалы ток үшін Ом заңы $I = \frac{U}{Z}$, мұндағы $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ — *тізбектің толық кедергісі*.

Айнымалы ток тізбегіндегі активті қуаты $P = IU \cos \varphi$.

Сыртқы периодты кернеудің жиілігі контурдың меншікті жиілігіне тең $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$ болған кезде электр тізбегінде резонанс байқалады.

Қуаттың тұрақты дерлік мәнінде айнымалы токтың кернеуін ток күшімен қатар өзгертуді айнымалы токтың *трансформациясы* дейді.

Айнымалы токтың трансформациясын жүзеге асыратын құрал *трансформатор* деп аталады.

II бөлім. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

4-тарау. ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

§ 15. Серпімді механикалық толқындар



Тірек ұғымдар:

- ✓ көлденең толқын
- ✓ бойлық толқын
- ✓ қума толқын

Бүгінгі сабақта:

- серпімді ортада таралатын толқынның сипаты және қума толқынның теңдеуімен, энергиясымен танысасындар.



Көлге лақтырылған тастан жан-жаққа дөңгелек толқындар тарайды. Үстелдің үстінде жатқан арқанның бір ұшын жоғары және төмен жұлқып қалса, онда оның бойымен толқындар жүгіріп өтеді. Судағы толқын және арқан бойымен жүгіретін толқын толқындық қозғалыстың көрінерлік екі мысалы. Дыбыс та толқын түрінде тарайды, тіпті жарықта электромагниттік толқынға жатады. Электронның, заттың элементар бөлшегі кейбір жағдайда толқындық қасиетке ие. Ендеше, толқындық қозғалысты зерттеу өте маңызды, себебі олар физиканың көптеген салаларында кездеседі. Біз бұл тарауда назарымызды, негізінен, механикалық, яғни серпімді ортада тарайтын толқынды зерттеуге аударамыз.

Тербелмелі қозғалыс қатты, сұйық және газ тәрізді серпімді ортаның бір нүктесінен екінші бір нүктесіне беріле алады. Серпімді ортаның кез келген бір нүктесінде оның бөлшектерінің тербелісін қоздырсақ, онда бөлшектер арасындағы серпімділік күштерінің әсерінен бұл тербеліс осы ортадағы бөлшектердің бірінен кейін біріне белгілі бір жылдамдықпен тарайды (15.1-сурет).

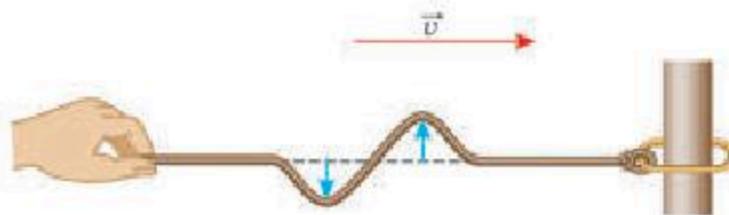
Тербелістің ортада таралу процесін толқындық қозғалыс деп атайды.

Толқын дегеніміз — уақыт өтуіне байланысты кеңістікте таралатын тербеліс.

Тербеліс таралған кезде энергия қоршаған ортаға беріледі, сондықтан үздіксіз толқын таралу үшін сол серпімді орта орналасқан тербеліс көзі болуы керек. Толқындық қозғалыс кезінде кеңістіктің бір аумағынан екінші аумағына бөлшектер емес, *энергия* тасымалданады (бөлшектердің күйі берілгендей болады). Егер ортаның бір бөлшегі тербелмелі



15.1-сурет



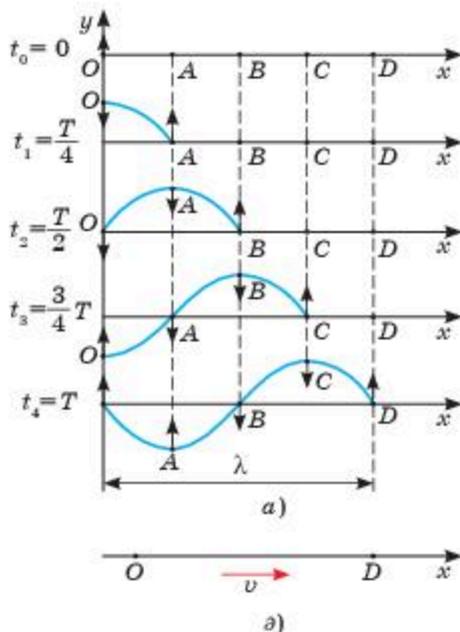
15.2-сурет

қозғалыс күйіне келсе, онда дәл осы күйге сол жүйемен байланысқан барлық жүйенің де бөлшектері тербелмелі қозғалысқа келеді, бірақ уақыт бойынша кешігеді. Пайда болу табиғатына қарай толқындар *механикалық және электромагниттік* болып бөлінеді. **Механикалық толқындарға** механикалық тербелістердің серпімді ортада таралу процесі жатады. Ал **электромагниттік толқындар** — бір-бірімен байланысқан айнымалы электр және магнит өрістерінің кезекпен өзгеруі. Сонымен қатар сол серпімді ортадағы нүктенің тербеліс бағытына және толқынның таралу бағытына байланысты толқындар **көлденең және бойлық толқындар** болып екіге бөлінеді.

Ортаның бөлшектері толқындардың таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеліс жасаса, **толқындар көлденең** деп аталады.

Көлденең толқындар тек серпімді қатты ортада немесе серпімділігі әртүрлі екі ортаның шегарасында (мысалы, судың бетінде) таралады. Себебі көлденең толқындарда қабаттардың бір-біріне қатысты ығысуы жүреді, ал ығысу кезінде серпімді күштері тек қатты денелерде ғана пайда болады (15.2-сурет).

Көлденең толқынның таралу процесін толығырақ қарастырайық (15.3-сурет). *O* нүктесінен қашықтықты горизонталь сызық бойына, ал таралуға перпендикуляр бағытқа, аралықтары толқын периодының төрттен бірімен бөлінген уақыттың бірнеше мезеттері үшін бөлшектердің *y* ығысуын салайық. Периодтың бастапқы мезетінде ($t = 0$) ортаның барлық бөлшектері тепе-теңдік қалыпта болады, *O* нүктесінде орналасқан бөлшек енді ғана жоғары қарай бағытталған үдеу алады. Тепе-теңдік қалыптан ауытқыған бөлшек көрші бөлшектерді де өзімен берге ілестіре қозғалта



15.3-сурет



15.4-сурет

бастайды. O нүктесінде орналасқан бөлшек периодтың төрттен біріне $t = \frac{T}{4}$ тең уақытта максимал ауытқиды, ал осы бөлшектен $x = v \cdot \frac{T}{4}$ қашықтықта орналасқан A нүктесіндегі бөлшек енді ғана жоғары бағытталған үдеу алады. $t = \frac{T}{2}$ уақыт мезетінде алғашқы бөлшек O нүктесіндегі тепе-теңдік қалпына төмен қарай бағытталған үдеумен оралады, ал O нүктесінен $x = v \cdot \frac{T}{2}$ қашықтықта орналасқан B нүктесіндегі бөлшек жоғары бағытталған қозғалысын бастайды. $t = \frac{3}{4}T$ уақыттан соң O нүктесіндегі бөлшек ең төменгі максимал ығысуға жетеді, A бөлшек тепе-теңдік қалыптан өтіп төмен қозғалады, B бөлшек ең жоғары жаққа ығысады, O нүктесінен $x = v \cdot \frac{3}{4}T$ қашықтықтағы C бөлшек жоғары қарай қозғала бастайды. Сонымен, $t = T$ уақыт өткен соң бірінші бөлшек O нүктесіне оралады, ал үдеуі жоғары бағытталады. A нүктесінде бөлшек ең төменгі орынға жетеді, B нүктесіндегі бөлшек төмен қарай тепе-теңдік қалыптан бағыттталып өте бастайды. C бөлшек жоғарыда максимал ауытқуға жетеді және O нүктесінен $x = v \cdot T$ қашықтықтағы D нүктесіндегі бөлшек жоғары қарай бағытталған үдеу алады. Өрі қарай процесс қайталанады.

Бойлық толқын, мысалы, горизонталь ілүлі тұрған ұзын спираль серіппеде пайда болады. Егер оның бір ұшына периодты түрде сырттан әсер етсек, онда оның бойымен серіппенің орамаларының сығылуы мен сиретулері түрінде толқын жүгіріп өтеді (15.4-сурет).

Біз табиғатта әртүрлі механикалық толқындарды байқай аламыз. Олар: дыбыс толқындары, ультрадыбыс, инфрадыбыс, су бетіндегі толқындар (ауырлық күші мен беттік керілу күшінің әсерінен пайда болады) мен жер қабаттарының тербелісін туғызатын сейсмикалық толқындар.

Толқындық бет және толқын шебі. Толқындық бет және толқын шебі ұғымдарын енгізу толқындық қозғалыстарды зерттеуді әлдеқайда жеңілдетеді.

Толқындық бет — бұл тербеліс фазалары сәйкес келетін нүктелердің геометриялық орны. Ал *толқын шебі* дегеніміз — тербеліс процесі өтіп жатқан бетті тербеліс жоқ беттен бөліп тұратын шегаралық бет.

Су бетіндегі кішкене дірілдеткіштен таралған толқын шебінің түрі сфера тәрізді, ал жалпақ ұзынша дірілдеткіштен таралған толқын шебінің түрі түзусызықты (жазық), цилиндр пішінді дауыс күшейткіштен шығатын толқын шебі цилиндр түрінде болады.

Толқындардың сипаттамалары. Толқындық қозғалыстарды сипаттау үшін екі физикалық шама — *толқынның ұзындығы және таралу жылдамдығы* енгізілген. *Толқын ұзындығы λ деп бірдей фазада тербеліс жасайтын толқынның жақын екі нүктесінің арақашықтығымен анықталатын физикалық шаманы айтады. Демек, бұл толқынның бір период ішінде жүріп өтетін арақашықтығы.* Толқынның жылдамдығы ортаның бір нүктесінен екінші нүктесіне тербелістің таралу жылдамдығымен сипатталады. Толқын шебін құрайтын сфераның барлық нүктелері бірдей фазада тербеледі, сондықтан *толқын шебінің таралу жылдамдығын фазалық жылдамдық* деп атайды. Жылдамдықтың бағыты толқын шебіне әр уақытта перпендикуляр болады. Изотропты ортада v фазалық жылдамдық тұрақты болғандықтан, оны толқын фазасының орын ауыстыруын сол ауыстыруға кеткен уақытқа қатынасымен табуға болады. T уақытта толқын фазасы λ толқын ұзындығына тең қашықтыққа орын ауыстырады, ендеше,

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (15.1)$$

Егер толқын гармоникалық болса, толқын бетінің қозғалыс жылдамдығы толқынның таралу жылдамдығына тең болады. Жылдамдықты анықтайтын (15.1) өрнек фазалық жылдамдық болып табылады. Гармоникалық толқынның фазалық жылдамдығы толқын энергиясының таралу жылдамдығымен сәйкес келеді. Толқынның жылдамдығы толқын таралатын ортаның затына және толқын түріне тәуелді болады. Толқынның периоды мен жиілігі өзара

$$T = \frac{1}{\nu} \quad (15.2)$$

қатынасымен байланысты болғандықтан, толқын таралуының фазалық жылдамдығын

$$v = \lambda \cdot \nu \quad (15.3)$$

формуласы арқылы да таба аламыз.

Қатты ортада бойлық толқынның таралу жылдамдығы

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (15.4)$$

мұндағы E — Юнг модулі, ρ — ортаның тығыздығы.

Газдағы дыбыс толқынының таралу жылдамдығы (дыбыс — бұл серпімді ортадағы бойлық толқын)

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (15.5)$$

мұндағы $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ — газдың тұрақты қысымдағы жылусыйымдылығының тұрақты көлемдегі жылусыйымдылығына қатынасы, M — газдың молярлық массасы.

Қума толқын теңдеуі. Синус заңы бойынша тербелетін толқын Ox осі бойымен таралатын болсын. Бұл керілген ішектің, резеңке шнурдың бойындағы көлденең толқын, қатты шыбық, газ немесе сұйықпен толтырылған құбырдың бойындағы қума толқын болуы мүмкін. O нүктесінде бастапқы фазасы нөлге тең болатын

$$y = A \sin \omega t$$

теңдеуімен сипатталатын тербеліс көзі бар. Мұндағы t — O нүктесінде тербеліс басталған мезеттен бастап саналатын уақыт, y — толқынның ығысуы, A — толқын амплитудасы, ω — циклдік жиілік. Бұл толқын 15.5-суретте тұтас сызықпен көрсетілген. Толқын v жылдамдықпен оңға қарай таралатын болсын дейік. $\Delta t = \frac{x}{v}$ уақыттан соң толқынның әрбір бөлігі $v \Delta t$ қашықтыққа ығысады, ол 15.5-суретте штрих сызықтармен бейнеленген. Сонда ортаның координатасы x болатын кез келген нүктесінің ығысуы мынаған тең:

$$y = A \sin \omega(t - \Delta t) = A \sin \omega(t - \frac{x}{v}).$$

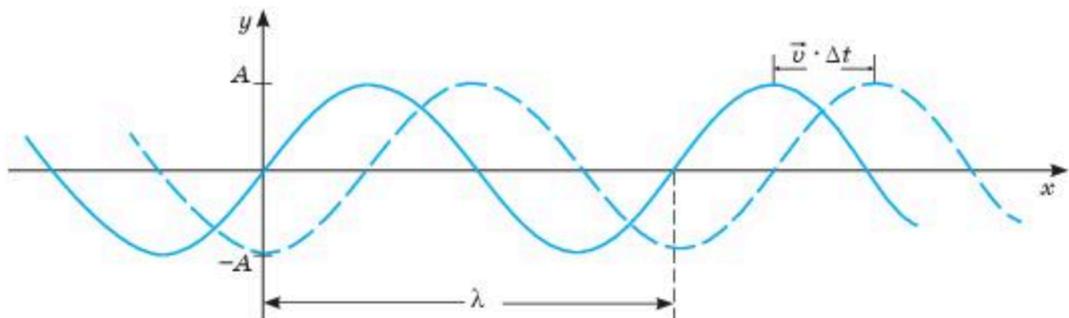
x нүктесінде тербеліс амплитудасы өзгермейді, бірақ формуласын жазған кезде ауысады. $y = A \sin \omega(t - \frac{x}{v})$ формуласы **қума толқынның теңдеуі** болып табылады.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ және $\lambda = vT$ екені белгілі, ендеше,

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi x}{Tv} \right) = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi x}{\lambda} \right),$$

мұндағы $\frac{2\pi}{\lambda} = k$ **толқындық сан** деп аталады. *Толқындық сан ұзындығы 2π -ге тең кесіндіге қанша толқын ұзындығы сәйкес келетінін көрсетеді.* Сонда қума толқынның теңдеуі мына түрге ие болады:

$$y = A \sin(\omega t - kx). \tag{15.6}$$



15.5-сурет

О нүктесінде тербелістің бастапқы фазасы нөлге тең болмаған жағдайда қума толқын теңдеуі мына түрде жазылады:

$$y = A \sin(\omega t - kx + \varphi_0).$$

Олай болса, синус заңы бойынша толқын таралатын орта бөлшектерінің тепе-теңдік қалыптан ығысуы $y(x, t)$ Ox осінің бойындағы x координат пен t уақытқа (15.6) теңдеуі бойынша тәуелді болады.

Қума толқынның энергиясы. Толқындық қозғалыстарда тербеліс көзінен шығатын энергияның тасымалдануы болатыны мәлім. Енді қума толқынның энергиясын есептейік. Серпімді ортадан ΔV аз көлемді бөліп алып, оның W_k кинетикалық энергиясын есептейік. Толқындық қозғалыстың толық энергиясы оның кинетикалық және потенциалдық энергияларының қосындысына тең. Кинетикалық энергияны

$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

формуласынан анықтайық. Толқынның жылдамдығын координатаның туындысы арқылы табамыз:

$$v = x' = (A \sin(\omega t - kl))' = A\omega \cos(\omega t - kl).$$

Біздің бөліп алған аз көлемді аумақтың массасы $m = \rho \Delta V$ -ға тең, мұндағы ρ — ортаның тығыздығы.

Сонда толқынның кинетикалық энергиясы төмендегідей болады:

$$W_k = \frac{\rho \Delta V A^2 \omega^2}{2} \cos^2(\omega t - kl). \quad (15.7)$$

Серпімді деформацияланған дененің потенциалдық энергиясы $W_p = \frac{k \Delta l^2}{2l}$ екені белгілі, мұндағы $k = \frac{ES}{l}$ — серпімділік коэффициенті, E — ортаның серпімділік модулі, S — көлденең қиманың ауданы, l — ортадан бөліп алған аумақтың бойлық ұзындығы. Сонда

$$W_p = \frac{ES \Delta l^2}{2l} \cdot \frac{l}{l} = \frac{ES l \Delta l^2}{2l^2} = \frac{E \Delta V \Delta l^2}{2l^2},$$

мұндағы $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ — салыстырмалы деформация деп аталады. Ендеше,

$W_p = \frac{E \varepsilon^2}{2} \Delta V$. Толқындардың серпімді ортада таралу жылдамдығы

$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ болғандықтан, $E = v^2 \rho$ шығады. Сонда толқын энергиясының формуласы мына түрге келеді:

$$W_p = \frac{E \varepsilon^2}{2} \Delta V = \frac{\rho v^2 \varepsilon^2}{2} \Delta V.$$

Энергияның тығыздығы деп бірлік көлемде таралатын белгілі бір энергияны анықтайтын физикалық шаманы атайды: $w = \frac{W}{V}$.

Қарастырылып отырған жағдайдағы толқын энергиясының тығыздығы $w = \frac{E \varepsilon^2}{2}$ немесе $w = \frac{\rho v^2 \varepsilon^2}{2}$.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Солитон — ерекше толқын. Шотланд инженері Скотт Рассел 1834 жылы толқынның ерекше түрін байқаған. Аспен серуендеп жүрген ол каналда кенет тоқтаған баржаның тұмсық жағына судың жиналып қалғанын, одан соң судың төбешік түрінде канал бойымен қуалай таралғанын көреді. Су төбешігі алғашқы пішінін және бір километр қашықтықта жылдамдығын сақтайтын жекелеген кума толқын — солитон (лат. *solus* — жалғыз) түрінде сақтаған.



1. Қандай қозғалыс толқындық қозғалыс деп аталады?
2. Толқын дегеніміз не?
3. Толқындық қозғалыстың негізгі ерекшелігі неде?
4. Толқынның таралу жылдамдығының толқын ұзындығы мен тербеліс жиілігіне тәуелділігі қандай?
5. Бойлық толқындарды көлденең толқындардан қалай ажыратуға болады?
6. Көлденең және бойлық толқындар қандай ортада пайда болуы мүмкін?
7. Қандай толқын кума толқын деп аталады? Оның формуласын жазыңдар.
8. Толқын шебі деген не? Толқын жылдамдығы толқын шебіне қатысты қалай бағытталған?
9. Толқындық бет жөнінде не білесіңдер?
10. Толқын шебінің түріне қарай толқындар қандай түрлерге бөлінеді?
11. Фазалық жылдамдық дегеніміз не?
12. Неліктен толқындардың энергияға ие болатынын түсіндіріңдер.
13. Теңіз толқынының жағаға жақындағанда биіктігі өседі (мысалы, цунами). Дәлелдеңдер.



1. 1905 жылы орыс дәрігері Н. И. Кротов пульстік толқынды тыңдау негізінде қан қысымын өлшеу әдісін ұсынды. Осы тақырыпты зерттеп, жобалық жұмыс дайындап, қорғаңдар.
2. "Толқындар және цунами" деген фотоальбом дайындаңдар. Жердің қай аймақтарында цунамидің пайда болуы неғұрлым ықтимал?

§ 16. Механикалық толқындардың таралуы. Механикалық толқындардың интерференциясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ толқындардың қабаттасуы
- ✓ когерентті толқындар

Бүгінгі сабақта:

- судың бетінде пайда болған интерференция құбылысын зерттейсіңдер.



Осы кезге дейін біз толқындардың қозғалысын оқып-үйренгенде бір ғана толқынды қарастырдық. Алайда суға бір мезгілде бірнеше тас лақтырылса, оның бетінде бірнеше толқын таралады. Немесе бір бөлмеде бірнеше адам сөйлегенде дыбыс толқындары бір-бірімен қабаттасады. Толқындар бір-бірімен кездескенде олар әрқайсысының әрі қарай таралуына кедергі келтірмейді. Бұл қасиет тек толқындық қозғалысқа



16.1-сурет

ғана тән және қандай толқын екенінде (су бетіндегі толқын ба, дыбыс толқыны ма, электромагниттік толқындар ма, жарық толқыны ма) байланысты емес. Бірақ толқындар кездескен жерлерде олардың қабаттасуы байқалады. Осы толқындардың жолында кездесетін ортаның әрбір бөлшегі екі толқынның тербелмелі

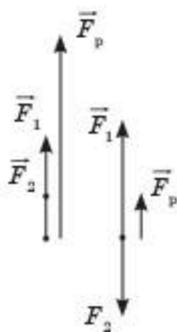
қозғалысына ілеседі. Ал енді әр бөлшектің қозғалысы осы тербелістердің қосындысын береді (16.1-сурет).

Демек, *толқындардың қабаттасуы* дегеніміз — *тербелістер өтетін ортаның әрбір нүктесінде осы толқындардың қосылуы*. Ортаның кез келген бөлігінің қорытынды ығысуы жеке-жеке бөлшектердің ығысуларының қосындысына тең. Бұл ығысулар басқа толқындар жоқ кезде де, таралып келе жатқан толқындардың әрбіреуі жүріп өткенде де пайда болады. Демек, толқын таралатын ортаның әрбір бөлшегіне бірнеше күштер әсер етеді. Ал олардың қорытқы әсері жеке күштердің векторлық қосындысына тең (16.2-сурет).

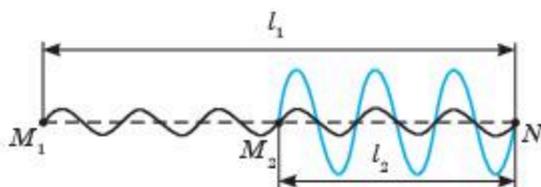
Екі немесе бірнеше толқындардың қабаттасуы кезінде кеңістіктің әртүрлі нүктелеріндегі қорытқы тербелістер амплитудаларының таралуы (максимум мен минимумдары кезекпен орналасқан) уақыт өтуімен өзгермей, тұрақты қалатын құбылысты интерференция деп атайды.

Кеңістікте интерференциялық сурет алу үшін қабаттасатын толқындардың жиіліктері мен тербеліс фазалары бірдей болуы қажет. Мұндай толқындар когерентті толқындар деп аталады. Когерентті толқындар бірдей жиілікпен тербелетін, ығысу фазалары тұрақты қалатын когерентті толқын көздерінен алынады.

Толқындар интерференциясының қалай пайда болатынын анықтайық. Ол үшін M_1 және M_2 екі толқын көзінен бір бағытта шығатын екі толқынның су бетіндегі таралуын қарастырайық (16.3-сурет).



16.2-сурет



16.3-сурет

Су бетінің қайсыбір N нүктесінде M_1N және M_2N тербелістері бір-біріне қабаттасқанда не болатынын анықтайық. Бірінші толқынның тербеліс теңдеуі

$$y_1 = A_{m_1} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi l_1}{\lambda}\right) \text{ немесе } y_1 = A_{m_1} \sin\varphi_1$$

болады, мұндағы

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi l_1}{\lambda} \quad (16.1)$$

шамасы — бірінші толқын тербелісінің фазасы.

Екінші толқынның теңдеуі

$$y_2 = A_{m_2} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi l_2}{\lambda}\right) \text{ немесе } y_2 = A_{m_2} \sin\varphi_2,$$

мұндағы

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi l_2}{\lambda} \quad (16.2)$$

шамасы — екінші толқын тербелісінің фазасы. Олардың қабаттасуы нәтижесінде басқа амплитудадағы гармоникалық тербеліс аламыз. Сонымен қатар егер тербеліс фазаларының айырымы

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2k\pi \quad (16.3)$$

болса, онда N нүктесінде қорытқы тербелістің күшеюі байқалады, яғни ол *максимум нүктесі* болады. Ал фазалар айырымы

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2(k + 1)\pi \quad (16.4)$$

болса, онда қорытқы тербеліс әлсірейді, яғни *минимум нүктесін* аламыз. (16.1) мен (16.2) формулаларын пайдаланып, фазалар айырымын есептейік:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi l_2}{\lambda} - \frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi l_1}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} (l_1 - l_2). \quad (16.5)$$

$\Delta l = (l_1 - l_2)$ шамасы *толқындардың жол айырымы* деп аталады. Сөйтіп, (16.3) мен (16.4) формулаларын ескере отырып, интерференция кезіндегі максимум және минимум шарттарын аламыз:

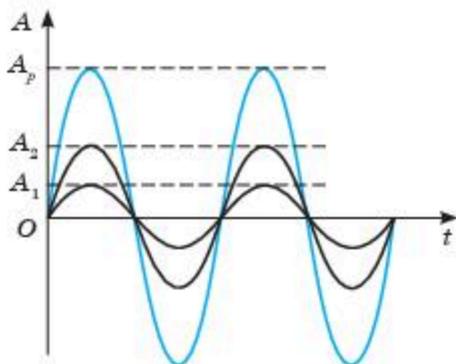
$$\frac{2\pi}{\lambda} (l_1 - l_2) = 2k\pi \text{ немесе } \Delta l = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (16.6)$$

теңдеуі — **бұл максимум шарты**, ал

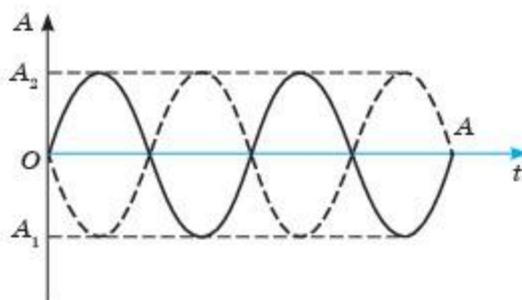
$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (16.7)$$

теңдеуі — **минимум шарты**.

Бұдан шығатын қорытынды: *егер толқындардың жол айырымы жарты толқындардың жұп санына тең болса, онда бұл нүктеде*



16.4-сурет



16.5-сурет

тербелістер күшейеді, ал егер жол айырымы жарты толқындардың тақ санына тең болса, онда бұл нүктеде тербелістер бәсеңдейді. Толқындар интерференциясының нәтижесінде толқындық қозғалыс энергиясы кеңістікте қайта бөлінеді. Максимум нүктелерінде энергияның концентрациясы пайда болады. Минимум нүктелері энергияның азаюына сәйкес келеді.

Бір түзудің бойында жатпайтын толқындар қабаттасқанда да максимум және минимум шарттары орындалатынын осыған ұқсас дәлелдеуге болады (16.4-сурет). Егер қарқындылығы бірдей екі когерентті толқын бір-біріне қарама-қарсы таралса, ерекше интерференциялық көрініс байқалады, мысалы, жіп бойымен таралатын түскен толқын мен шағылған толқындардың қабаттасуы пайда болады (16.5-сурет). Мұндай интерференция тұрғын толқынның пайда болуына әкеледі.



1. Қандай құбылысты интерференция дейміз? Оны бақылау үшін не істеу керек?
2. Қандай толқындар когерентті деп аталады?
3. Интерференция кезіндегі максимум мен минимум шарттары қандай?
4. Когерентті емес толқындар бір-бірімен қабаттасқанда толқындардың қосылу құбылысы бола ма? Неліктен?
5. Неліктен далаға қарағанда бос бөлмеде дыбыс қатты шығады?
6. Найзағайдың дыбысы интерференция құбылыстарына байланысты ма?
7. Диаметрі 30 см болатын тіреулерді бір-бірінен арақашықтықтары 2-3 м етіп су жағасына тұрғызсақ, олар судан келген толқындарды бәсеңдете ала ма?



1. Атлант мұхиты мен Жерорта теңізінің сулары Гибралтар бұғазында кездескенде неге араласпайтынын зерттеңдер.
2. Суда жүзетін кемелер, құстар, жануарлар және нәрселердің шекті жылдамдықтары болады ма, соны анықтаңдар.
3. Жағаға жақындайтын мұхит сулары неліктен жағалау сызығына параллель болатынын түсіндіріңдер.

§ 17. Тұрғын толқындар



Тірек ұғымдар:

- ✓ тұрғын толқын
- ✓ шоғыр
- ✓ түйін
- ✓ тұрғын толқын ұзындығы

Бүгінгі сабақта:

- графикалық әдісті қолданып түйіндер мен шоғырларды анықтау және тұрғын толқындардың пайда болуын түсінесіңдер.



Интерференцияның ерекше жағдайы болып табылатын *тұрғын толқын* деп жиіліктері мен амплитудалары бірдей біріне-бірі қарсы таралатын екі қума толқындардың қабаттасуы нәтижесінде пайда болатын толқынды айтады. Толқынның таралу бағытына Ox осінің бағытын алайық (17.1-сурет). Кездесетін толқындардың фазалары бірдей болатын нүктені координаттың басы ретінде, ал олардың бастапқы фазалары нөлге тең болатын мезеттен бастап уақытты есептей бастаймыз. Енді бірінші толқынның теңдеуін мына түрде жазуға болады: $y_1 = A \sin(\omega t - kx)$. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ екені белгілі, онда

$$y_1 = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \text{ немесе}$$

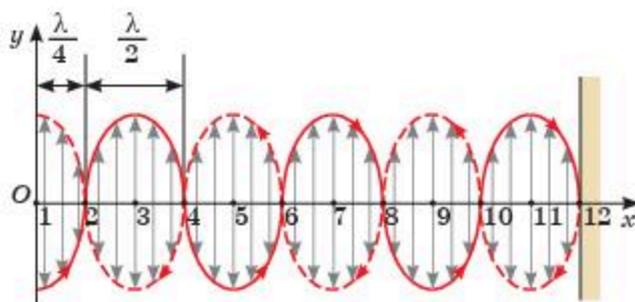
$$y_1 = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right). \quad (17.1)$$

Ал екінші толқынның теңдеуінде $\frac{x}{\lambda}$ шамасының алдында минус таңбасы қойылады:

$$y_2 = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right). \quad (17.2)$$

Бір мезгілде екі тербеліске қатысатын нүктенің ығысуы y_1 және y_2 -нің алгебралық қосындысына тең болады: $y = y_1 + y_2$.

$$\text{Ендеше, } y = A \left[\sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right) + \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \right].$$



17.1-сурет

Тригонометриядан $\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos\frac{\alpha - \beta}{2}$ екені белгілі, олай болса,

$$y = 2A\cos\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sin\frac{2\pi}{T}. \quad (17.3)$$

Бұл теңдеу (17.3) *тұрғын толқынның теңдеуі* болып табылады. (17.3) теңдеуден тұрғын толқынның тербеліс амплитудасы:

$$A_{\tau} = 2A\cos\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x \quad (17.4)$$

тербелетін нүктелердің орнына тәуелді, бірақ уақытқа тәуелді емес екені шығады.

Сондықтан тұрғын толқынның теңдеуін мына түрде жазуға болады:

$$y = A_{\tau}\sin\frac{2\pi}{T} \cdot t; \quad (17.5)$$

$$2\pi\frac{\lambda}{2} = n\pi, \quad (17.6)$$

мұндағы $n = 0, 1, 2, \dots$ болатын нүктелерде тербеліс амплитудасы максимал мәнге жетіп және $2A$ -ға тең болады. Бұл нүктелерді *тұрғын толқынның шоғырлары* дейді (17.1-суреттегі 1, 3, 5, 7, ... нүктелер).

(17.6) теңдеуінің шартынан шоғыр мәндерінің координаталарын табамыз:

$$x_{\text{ш}} = n \cdot \frac{\lambda}{2}, (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (17.7)$$

Мәндері $2\pi\frac{x}{\lambda} = (2n + 1)\frac{\pi}{2}$, мұндағы $n = 0, 1, 2, \dots$ болатын нүктелерде тербеліс амплитудасы нөлге тең болады. Бұл нүктелерді *тұрғын толқынның түйіндері* дейді (17.1-суреттегі 2, 4, 6, 8, ... нүктелер). Түйіндерде орналасқан ортаның нүктелері тербелмейді. Түйіндердің координаталары төмендегі мәндерге ие:

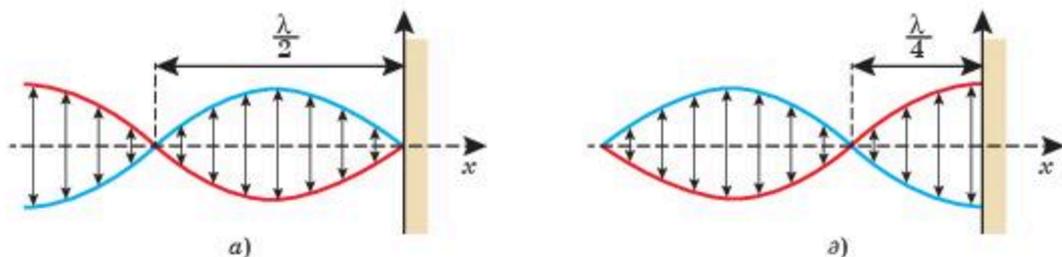
$$x_{\text{түй}} = (2n + 1)\frac{\lambda}{4}, (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (17.8)$$

(17.7) және (17.8) теңдеулерден көрші екі шоғырлардың немесе көрші екі түйіндердің арақашықтығы қума толқын ұзындығының жартысына $\lambda_{\tau} = \frac{\lambda}{2}$ тең екені шығады. Шоғырлар мен түйіндер бір-бірімен салыстырғанда толқын ұзындығының төрттен біріне $\frac{\lambda}{4}$ ығысқан.



Қума және тұрғын толқындарды салыстыру кестесін дәптерлеріңе толтырыңдар.

	Қума толқын	Тұрғын толқын
Теңдеулері		
Амплитудасы		
Фазасы		



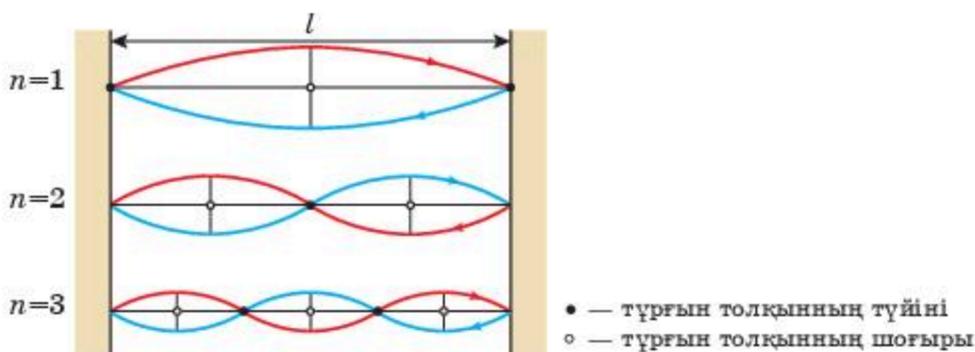
17.2-сурет. Шектің тербелісі

Тұрғын толқында көрші екі түйіннің арасында орналасқан барлық нүктелер бірдей фазада тербеледі. Түйіннің екі жағындағы ортаның нүктелері қарама-қарсы фазада, яғни тербеліс фазасы π шамасына ығысады. Құма толқын сияқты тұрғын толқында энергия тасымалданбайды. Ширек толқын ұзындығына тең қашықтықта орналасқан барлық нүктелер энергиясының қосындысы тұрақты болады. Нүктелердің арасында энергия алмасуы жүреді. Тұрғын толқынды құрайтын тура және кері толқындар бірдей мөлшерде және қарама-қарсы бағыттарда энергия тасымалдайды.

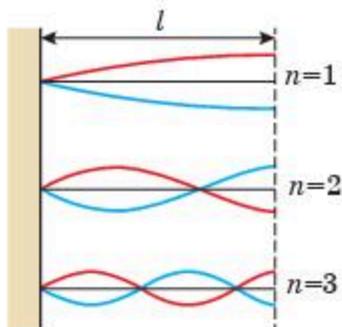
Кез келген толқын қимасындағы энергияның орташа ағыны нөлге тең.

Толқын таралатын ортаның тығыздығы толқын шағылатын бөгеттің тығыздығынан аз болған жағдайда шағылу нүктесінде түйін пайда болып, шағылған толқын қарама-қарсы фазаға өзгереді. Осы кезде жарты толқын жоғалады делінеді (17.2, а-сурет). Бөгеттің тығыздығы толқын таралатын ортаның тығыздығынан азырақ болса, шағылу нүктесінде шоғыр болады және жарты толқын жоғалмайды (17.2, б-сурет).

Ішектің тербелісі. Екі ұшы бекітілген керілген ішекте (мысалы, домбыра, жетіген, гитара сияқты аспаптардың) келденең толқынды қоздырғанда тұрғын толқын пайда болады және шектің бекітілген жерлерінде түйіндер орналасады (17.3-сурет).



17.3-сурет



17.4-сурет

Сондықтан ішекте, ішектің ұзындығында жарты толқын ұзындығы бүтін сан рет орналасқан тербелістер ғана едәуір уақыт тұрғын толқынды қоздырады.

Осыдан

$$\frac{2\pi}{\lambda} l = n \cdot \frac{\pi}{2} \text{ немесе } \lambda_n = \frac{2l}{n} (n = 1, 2, 3, \dots)$$

шарты шығады, мұндағы l — ішектің ұзындығы. Толқын ұзындығына

$$v_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2l} (n = 1, 2, 3, \dots)$$

жиіліктері сәйкес келеді, мұндағы v — шектің сызықтық тығыздығы бойынша анықталатын толқынның фазалық жылдамдығы.

v_n жиіліктері ішек тербелісінің *меншікті жиіліктері* деп аталады.

Егер шектің бір ұшы бекітілген болса, онда бекітілген жерінде түйін, ал бос ұшында шоғыр орналасады (17.4-сурет).

Ендеше, тұрғын толқынның максимал ұзындығы $\lambda = 4l_1$, сәйкесінше жиілігі $v = \frac{v}{2l}$.

Меншікті тербеліс жиілігінің жалпы формуласы $v_n = n \frac{v}{4l}$, мұндағы $n = 1, 3, 5, \dots$.

Меншікті жиіліктер негізгі жиіліктер деп аталатын

$$v_1 = \frac{v}{4l}$$

жиіліктеріне еселенеді.

$n = 2, 3, \dots$ жиіліктеріне сай келетін жиіліктер *обертондар* (бірінші обертон $n = 2$ -ге, екінші обертон $n = 3$ -ке және т.б. сәйкес келеді) деп аталады.

Жалпы жағдайда ішектің тербелістері меншікті жиіліктері әртүрлі бірнеше тұрғын толқындардың қабаттасуынан болуы мүмкін.



1. Қандай толқын тұрғын толқын деп аталады? Тұрғын толқынның пайда болу процесін түсіндіріңдер.
2. Тұрғын толқынның түйіндері мен шоғырларына анықтаманы негіздеп айтыңдар.
3. Тұрғын толқынның ұзындығы мен жиілігі неге тең?
4. Не себепті тұрғын толқын энергия тасымалдамайды? Дәлелдеңдер.
5. Қандай жиіліктерді обертондар деп айтады?



1. Дыбыстың тұрғын толқындарын пайдаланатын музыкалық аспаптарды зерттеңдер.
2. Екі жағы да ашық және тек бір жағы ашық түтіктердегі ауада пайда болатын тұрғын толқындарды сипаттаңдар.

§18. Гюйгенс принципі. Толқындардың дифракциясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ Гюйгенс принципі
- ✓ екінші реттік толқын

Бүгінгі сабақта:

- Гюйгенс принципі және механикалық толқындарда дифракциялық көріністі бақылаудың шарттарын түсінесіңдер.



Изотропты серпімді ортада механикалық толқындар түзусызықты және бірқалыпты таралады. Енді толқын бір бөгетке, мысалы, жартасқа, қатты қабырғаға кездескенде не болатынын қарастырайық. Толқындардың жайын сипаттайтын жалпы принципті 1690 жылы голландтық физик Христиан Гюйгенс ұсынған еді. Кейінірек бұл принципті Гюйгенс принципі деп атады.

Гюйгенс принципі: *толқын шебі барып жеткен ортаның әр нүктесі екінші реттік толқындардың көзі болып табылады.*

Егер орта біртекті болса, екінші реттік толқындар сфералық болады. Егер Гюйгенс принципі бойынша толқын бетінің әрбір нүктесін екінші реттік сфералық толқын көзі дейтін болсақ, қайсыбір t уақытында толқын бетінің орнын білсек, оның келесі $t + \Delta t$ уақытындағы орнын анықтай аламыз (18.1, а, ә-суреттер).

Екінші реттік толқындардың бәріне жанама бет келесі уақыт мезетіндегі толқын беті болып табылады. Олар $\Delta R = v_{\phi} \cdot \Delta t$ қашықтыққа тарайды.

Тұтас сызықпен толқын бетінің t мезеттегі, ал пунктир сызықпен $t + \Delta t$ мезеттегі, Гюйгенс принципі бойынша тұрғызылған толқын беттері көрсетілген. Күтілгендей, біртекті ортада жазық толқын жазық, ал сфералық толқын сфералық болады.

Гюйгенс принципі табиғаты әртүрлі толқындар — механикалық, электромагниттік, соның ішінде жарық толқындары үшін бірдей және тең.



Христиан Гюйгенс
(1629—1695)



18.1-сурет

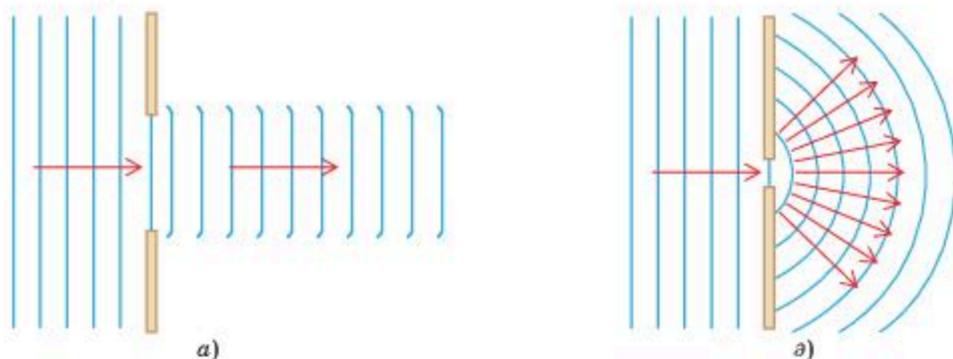
Гюйгенс өзінің принципін механикалық толқын әрі дыбыс толқындары үшін тұжырымдаған еді.

Механикалық толқындар жағдайында Гюйгенс принципі көрнекі түрде түсіндіріледі: *тербелістер барып жеткен ортаның бөлшектері, өз кезегінде, тербеле отырып, ортаның өзара әсерлесетін көршілес бөлшектерін қозғалысқа келтіреді.*

Толқындардың дифракциясы. Егер жарық шоғының жолына күңгірт тосқауыл қойсақ, онда оның артында көлеңке пайда болады. Ал дыбыс толқындарынан тасалану оңай емес. Дыбыс бұрыш-бұрыштан немесе бетон дуалдың ар жағынан да естіледі.

Сонда бұл тосқауылдар не себептен тосқауылдың ар жағында “дыбыс көлеңкесін” тудырмайды деген сұрақ туады. Судың бетінде таралған толқынға қатысты егер оның жолында судан шығып тұрған онша үлкен емес тас жатса, осындай сұрақ туады. Мұнда егер тас үлкен болса, онда “көлеңке”, яғни толқынның энергиясы жетпейтін кеңістік аумағы пайда болады. Осы бақылаулардан төмендегідей қорытындыға келеміз: толқын жолындағы тосқауылдың өлшемі толқын ұзындығымен салыстырылатындай болса, толқын тосқауылды орағытып өтеді.

Толқынның тізу сызық бойымен таралудан ауытқуын немесе толқындардың тосқауылды орағытып өту құбылысын дифракция (лат. *diffractus* — сынық) деп атайды. Су бетіндегі толқынның дифракция құбылысын судың қасиеттерін көрсететін физикалық аспап арқылы бақылайды. Егер толқын жолына жіңішке саңылауы бар тосқауыл қойсақ және ол саңылаудың өлшемі толқын ұзындығынан кіші болса, онда тосқауылдың сырт жағынан дөңгелек толқындардың таралғанын көреміз (18.2-сурет). Гюйгенс принципіне сүйеніп мұны оңай түсіндіре аламыз. Толқын жеткен ортаның әрбір нүктесінің өзі екінші реттік толқынның көзі болып табылады. Ал тар саңылаудағы екінші реттік толқындар бір-біріне өте жақын орналасады. Сондықтан оларды бір нүктелік көз деп есептеуге болады. Егер саңылаудың өлшемі толқын ұзындығынан үлкен болса, одан өткен толқындар өз пішінін өзгертпейді.



18.2-сурет



1. Гюйгенс принципін тұжырымдаңдар.
2. Дифракция толқынның қандай қасиеті?
3. Бөгеттердің өлшемі қандай болған жағдайда дифракция құбылысы байқалады?
4. Су бетіндегі толқындардың дифракциясын бақылаңдар және түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Су бетінің тербеліс жиілігі 5 Гц болғанда толқын 3 м/с жылдамдықпен тарайды. Бір түзудің бойында бір-бірінен 20 см қашықтықта жатқан екі нүктедегі фазалар айырымын табыңдар.

Берілгені:

$$v = 5 \text{ Гц}$$

$$v = 3 \text{ м/с}$$

$$l = 20 \text{ см}$$

φ — ?

Шешуі. Толқын ұзындығына тең қашықтықтағы фазалар айырымы 2π -ге тең болса, онда l қашықтықтағы фазалар айырымы $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}$ болады. Толқын ұзындығын $\lambda = \frac{v}{\nu}$ формуласынан табамыз.

Соңғы теңдікті алғашқы теңдікке қоя отырып, фазалар айырымын анықтаймыз:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi l \nu}{v}; \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot 0,2 \cdot 5 \text{ Гц}}{3 \text{ м/с}} = \frac{2\pi}{3} = 120^\circ.$$

Жауабы: 120° .

2-есеп. Көл бетінде тұрған қайықтан суға тас лақтырылған соң толқындар тараған. Жағада тұрған бақылаушы оған толқынның 30 с-та келіп жеткенін және 20 с ішінде жағаға 40 рет келіп соққанын, бірінші мен үшінші өркештер арасындағы қашықтық 1 м екенін байқаған. Қайық жағадан қандай қашықтықта тұр?

Берілгені:

$$\tau_1 = 30 \text{ с}$$

$$N = 40$$

$$\tau_2 = 20 \text{ с}$$

$$\Delta l = 1 \text{ м}$$

l — ?

Шешуі. Біртекті ортада толқын бірқалыпты түзу-сызықты тарайды. Қайықтың жағадан қашықтығы

$$l = v\tau_1, \tag{18.1}$$

мұндағы v — толқын жылдамдығы.

$$v = \frac{\lambda}{T} \tag{18.2}$$

формуласынан толқынның таралу жылдамдығын табамыз, мұндағы λ — толқын ұзындығы, ал T — толқын тербелісінің периоды.

Есептің шарты бойынша $\lambda = \frac{\Delta l}{2}$ (Δl кесіндісіне λ толқын ұзындығы

сыяды), ал $T = \frac{\tau_2}{N}$. Осыдан $v = \frac{\lambda \cdot N}{\tau_2} = \frac{\Delta l \cdot N}{2\tau_2}$.

Алынған өрнекті (18.1) теңдеуге қойып, қайықтың жағадан қандай қашықтықта тұрғанын анықтаймыз: $l = \frac{\Delta l \cdot N \cdot \tau_1}{2 \tau_2}$; $l = \frac{1 \text{ м} \cdot 40 \cdot 30 \text{ с}}{2 \cdot 20 \text{ с}} = 30 \text{ м}$.

Жауабы: 30 м.

3-есеп. Кездейсоқ алынған M нүктесіне бірінші жерден шыққан дыбыс 0,35 с-та жетеді. Ал екінші бір жерден шыққан дыбыс сол нүктеге 0,38 с-та жетеді. Егер толқындар когерентті, ал толқын ұзындықтары 6,8 м болса, M нүктесінде дыбыс күшейе ме, әлде әлсірей ме?

Берілгені:

$$\tau_1 = 0,35 \text{ с}$$

$$\tau_2 = 0,38 \text{ с}$$

$$\lambda = 6,8 \text{ м}$$

$$v = 340 \text{ м/с}$$

k — ?

Шешуі. Толқындардың интерференциясы кезіндегі максимум шарты $\Delta l = k\lambda$, мұндағы Δl — толқын жүрісінің жол айырымы, k — бүтін сан (1, 2, 3, ...).

Егер біз k саны бүтін сан екенін тапсақ, онда M нүктесінде дыбыс күшейеді, егер k саны бүтін болмаса, онда әлсірейді. Алдымен бірінші дыбыс шыққан жерден M нүктесіне дейінгі қашықтықты табайық:

$$l_1 = v \cdot \tau_1 \text{ және } l_2 = v \cdot \tau_2.$$

Сонда толқындардың жол айырымы $\Delta l = l_2 - l_1 = v(\tau_2 - \tau_1)$.

$k = \frac{\Delta l}{\lambda}$ болғандықтан, $k = \frac{v(\tau_2 - \tau_1)}{\lambda}$. Алынған шамалардың мәндерін

орындарына қойсақ, $k = \frac{340 \text{ м/с} \cdot (0,38 - 0,35) \text{ с}}{6,8 \text{ м}} = 1,5$ шығады, яғни k саны бүтін емес, демек, M нүктесінде дыбыс әлсірейді.



11-жаттығу

1. Егер толқынның таралу жылдамдығы 340 м/с болса, 440 Гц жиілік кезіндегі толқын ұзындығын анықтаңдар.

Жауабы: 77 см.

2. Толқынның таралу жылдамдығы 5 км/с, ал тербеліс жиілігі 100 кГц болса, бір сәуледе жататын және бірдей фазада тербелетін құма толқынның ең жақын екі нүктесінің арақашықтығын есептеңдер.

Жауабы: 5 см.

3. Көлдің жағасында тыныштықта тұрған бақылаушының жанынан 12 с ішінде толқынның 8 өркеші өтеді. Бірінші және үшінші өркештердің арақашықтығы 12 м. Су бөлшектерінің тербеліс периодын, таралу жылдамдығын табыңдар.

Жауабы: 1,5 с; 4 м/с.

4. Вибратордың тербеліс теңдеуі $x = 3,0 \sin 20\pi t$ (см). Жазық толқынды деп есептесек, тербеліс басталғаннан 0,1 с өткеннен кейінгі тербеліс көзінен 5 м қашықтықта орналасқан нүктенің ығысуын анықтаңдар (толқынның таралу жылдамдығы 200 м/с).

Жауабы: -3 см.

5. Ұзындығы 6 м жазық толқын ортада 25 м/с жылдамдықпен тарайды. Тербелістердің амплитудасы 50 см. Орта бөлшектерінің максимал тербеліс жылдамдығын, олардың бір период ішіндегі орын ауыстыруын және жолын табыңдар. Толқынның теңдеуін жазыңдар. Бастапқы мезетте толқын бөлшегінің ығысуы амплитуданың жартысына тең.

$$\text{Жауабы: } v_m = 13 \text{ м/с; } 0 \text{ м; } l = 4x_m = 2 \text{ м; } x = 0,5 \sin\left(8,3\pi t + \frac{\pi}{6}\right).$$

6. Зеңбіректен 4 км қашықтықта тұрған бақылаушы жарқылдан кейін 12 с өткенде жарылыстың дыбысын естиді. Осы мәліметтер бойынша дыбыстың ауадағы жылдамдығын анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } 333 \text{ м/с.}$$

7. Адам 16 Гц жиіліктен 20 000 Гц жиілікке дейінгі дыбысты естиді. Адамның қабылдайтын толқын ұзындықтарының интервалын есептеңдер. Дыбыстың ауадағы жылдамдығы 340 м/с.

$$\text{Жауабы: } 21,25 \text{ м-ден } 17 \text{ мм-ге дейін.}$$

8. Дыбыстық сезім адамда шамамен 0,10 с сақталады. Негізгі және тосқауылдан шағылған дыбысты ажырату үшін адам тосқауылдан қандай қашықтықта болуы керек? Дыбыстың ауадағы жылдамдығы 340 м/с.

$$\text{Жауабы: } 17 \text{ м.}$$

9. Бірінші кемеден екінші кемеге бір мезгілде ауамен және сумен екі сигнал жіберілді. Бірінші сигнал екіншісінен 2 с-тан кейін жетеді. Дыбыс ауада 340 м/с, ал суда 1480 м/с жылдамдықпен таралса, кемелердің арақашықтығын табыңдар.

$$\text{Жауабы: } 883 \text{ м.}$$

10. Екі когерентті көз 300 Гц жиілікпен бірдей фазада тербеледі. Тербелістердің ортада таралу жылдамдығы 1,5 км/с. Толқындардың жол айырымының қандай ең аз мөнінде тербелістердің максимал өлсіреуі, максимал күшеюі байқалады? Бірінші толқын көзінен 20 м, екіншісінен 30 м қашықтықта орналасқан нүктеде интерференция нәтижесі қандай болады?

$$\text{Жауабы: } 5 \text{ м; } 2,5 \text{ м; } \text{max.}$$

11. Тербеліс көзі $y = 0,05 \sin 500\pi t$ өшпейтін тербелістер жасайды. Тербеліс көзінен 60 см қашықтықтағы нүктенің ығысуын анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } y = 0.$$

- *12. Серпімді шнурдың бойымен 15 м/с жылдамдықпен көлденең толқын таралады. Шнур нүктелерінің тербеліс периоды 1,2 с, тербеліс амплитудасы 2 см. Тербеліс көзінен 45 см қашықтықтағы және 4 с уақыттан соң шнур нүктесінің фазасын және ығысуын анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } \varphi = 5,24 \text{ рад; } y = -1,73 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

4-тараудың ең маңыздысы

Тербелістің ортада таралу процесін *толқындық қозғалыс* деп атайды.

Толқын дегеніміз — уақыт өтуіне байланысты кеңістікте таралатын тербеліс. Орта бөлшектері толқындардың таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеліс жасаса, толқындар *көлденең* деп аталады.

Көлденең толқындар тек серпімді қатты ортада немесе серпімділігі әртүрлі екі ортаның шегарасында (мысалы, судың бетінде) таралады.

Орта бөлшектерінің тербеліс бағыты толқындардың таралу бағытына сәйкес келсе, толқындар *бойлық* деп аталады. Бойлық толқындар қатты, сұйық және газ тәрізді денелерде таралады.

Қума толқынның теңдеуі мына түрге ие болады: $y = A \sin(\omega t - kl)$.

Қарастырылып отырған жағдайдағы қума толқын энергиясының тығыздығы:

$$w = \frac{E\varepsilon^2}{2} \text{ немесе } w = \frac{\rho v^2 \varepsilon^2}{2}.$$

Екі немесе бірнеше толқындардың қабаттасуы кезінде кеңістіктің әртүрлі нүктелеріндегі қорытқы тербелістер амплитудаларының таралуы (максимум мен минимумдары кезекпен орналасқан) уақыт өтуімен өзгермей, тұрақты қалатын құбылысты интерференция деп атайды.

Кеңістікте интерференциялық сурет алу үшін қабаттасатын толқындардың жиіліктері мен тербеліс фазалары бірдей болуы қажет. Мұндай толқындар когерентті толқындар деп аталады. Когерентті толқындар бірдей жиілікпен тербелетін, ығысу фазалары тұрақты қалатын когерентті толқын көздерінен алынады.

Интерференцияның максимум шарты

$$\frac{2\pi}{\lambda}(l_1 - l_2) = 2k\pi \text{ немесе } \Delta l = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda,$$

ал

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

теңдеуі — *минимум шарты*.

Тұрғын толқын деп жиіліктері мен амплитудалары бірдей біріне-бірі қарсы таралатын екі қума толқындардың қабаттасуы нәтижесінде пайда болатын толқынды айтады.

Тұрғын толқын теңдеуі $y = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cdot \sin \omega t$.

Тұрғын толқындағы тербеліс амплитудасы $A_T = 2A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x \right)$.

Гюйгенс принципі: *толқын шебі барып жеткен ортаның әр нүктесі екінші реттік толқындардың көзі болып табылады.*

Толқынның түзу сызық бойымен таралудан ауытқуын немесе толқындардың тосқауылды орағытып өту құбылысын дифракция (лат. diffractus — сынық) деп атайды.

5-тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

§ 19. Электромагниттік өріс



Тірек ұғымдар:

- ✓ Максвелл теориясы
- ✓ құйынды электр және магнит өрісі
- ✓ ығысу тогы
- ✓ электромагниттік өріс



Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқынды тудыратын айнымалы біртұтас электромагниттік өріс екенін білесіңдер.

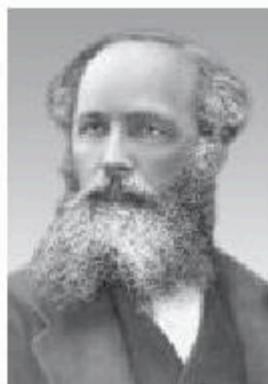
Мұны білесіңдер

Толқындық процестердің көптеген заңдылықтарының универсал қасиеттері табиғаты әртүрлі болып келетін серпімді ортадағы механикалық толқындарда, су бетіндегі толқындарда және т.б. бірдей болады. Бұл қасиет электромагниттік өріс тербелістерінің таралу процесі болып табылатын электромагниттік толқынға да тән. Бірақ толқындардың өзге түрлерінің таралуы белгілі бір материялық ортада ғана мүмкін болса, электромагниттік толқын тек вакуумда емес, әр заттың ішінде де тарала алады. Радиотолқындар, инфрақызыл, ультракүлгін, рентген сәулелері, көрінетін жарық және т.б. электромагниттік толқындар болып табылады.

Электромагниттік құбылыстар физикасына Фарадейдің қосқан негізгі жаңалығы Ньютонның алыстан әсер ету теориясынан бас тартып, кеңістікті күш сызықтарымен толтырып тұратын өріс ұғымын енгізуі еді. Алыстан әсер ету теориясына сәйкес, барлық денелер бір-бірімен тікелей әсерлеседі немесе өзара әсер бастықта лезде тарайды. Бұл теория электромагниттік құбылыстарды түсіндіре алмады. Фарадей ұсынған жақыннан әсер ету теориясына сәйкес, денелердің өзара әсері күш өрістері арқылы шекті жылдамдықпен таралады.

1860—1865 жылдары Максвелл электр және магнит өрістері туралы Фарадейдің идеялары негізінде және көптеген тәжірибелер нәтижелерін қорыта келе зарядтар мен токтар жүйесі туғызатын *электромагниттік өріс* теориясын жасады. Электромагниттік өріс теориясының негізін *Максвелл теңдеулері* деп аталатын теңдеулер жүйесі құрайды. Максвеллдің теңдеулерінен электромагниттік толқындардың бар болатыны шығады.

Ал Герц осы толқындарды эксперимент жүзінде алды.

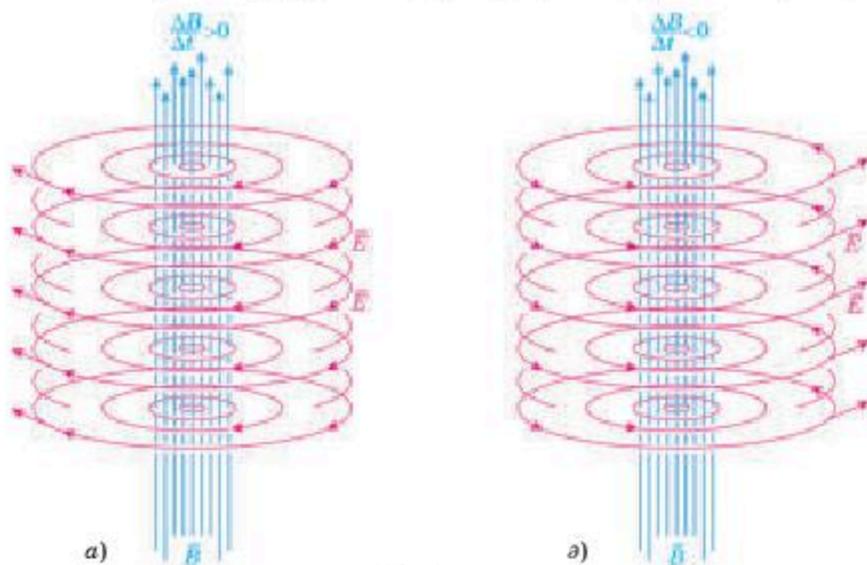


Джеймс Максвелл
(1831—1879)

Магнит өрісі өзгергенде айнымалы электр өрісінің пайда болуы. 1831 жылы Фарадей ашқан электромагниттік индукция құбылысын терең зерттей отырып, Максвелл мынадай қорытындыға келді: *магнит өрісінің кез келген өзгерісі қоршаған кеңістікте құйынды электр өрісін туғызады.*

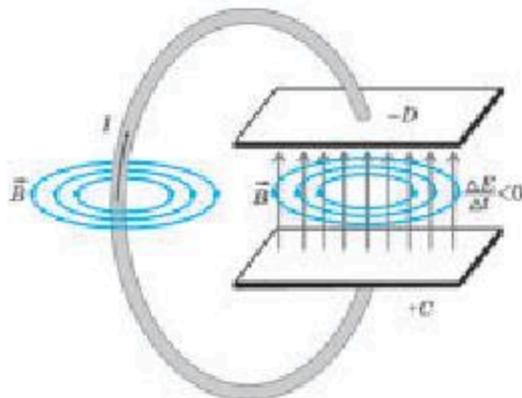
Фарадей тәжірибелеріндегі тұйықталған өткізгіште индукциялық ЭҚК-ін тудыратын осы құйынды электр өрісі. Бұл құбылыстың ерекшелігі сол, құйынды электр өрісі тек өткізгіште ғана емес (ол өрістің бар-жоғын көрсететін қосымша құрал), бос кеңістікте де пайда бола алады. Кеңістіктің кез келген нүктелеріндегі магнит өрісі индукциясының $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ өзгерісі кезінде құйынды электр өрісі туындайды. Электр өрісінің күш сызықтары магнит индукциясының сызықтарын орап қоршайды және оның жазықтығына перпендикуляр орналасады (19.1, а-сурет).

Магнит индукциясы $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$ артса, құйынды электр өрісі \vec{E} кернеулік векторының бағыты сол бұранда ережесімен анықталады. Магнит индукциясы $\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0$ кемігенде \vec{E} кернеулік векторының бағыты оң бұранда ережесімен анықталады (19.1, б-сурет). Сонымен, электр өрісін электр зарядтары және айнымалы магнит өрісі тудырады. Ал магнит өрісін тек қозғалыстағы зарядталған бөлшектер ғана тудыратыны белгілі. *Магниттік зарядтар жоқ* деген пікір — Максвелл идеяларының бірі. Табиғаттың үйлесімділік пен симметриялық қасиеттері осы жерде сақталмай тұрған сияқты. Айнымалы электр өрісі, өз кезегінде, не себепті магнит өрісін тудыратын кері процесті жүзеге асыра алмайды?



19.1-сурет

Электр өрісі өзгергенде айнымалы магнит өрісінің пайда болуы. Максвелл ғылыми көрегенділікпен мұндай процестің табиғатта бар екеніне көмілгенді. Бұл тұжырымға ол Ампер заңын жинақтап, қорытындылау мақсатында жүргізген зерттеу жұмыстарынан соң келді. Ампер заңының тек тұрақты және тұйықталған ток жүретін өткізгіштердің арасындағы өзара әсерлесу күші үшін тағайындалғанын анықтаған Максвелл мынадай мәселе қойды: *өткізгіште тұйықталмаған және айнымалы ток импульсі туатын жағдайда бұл заң орындала ма?*



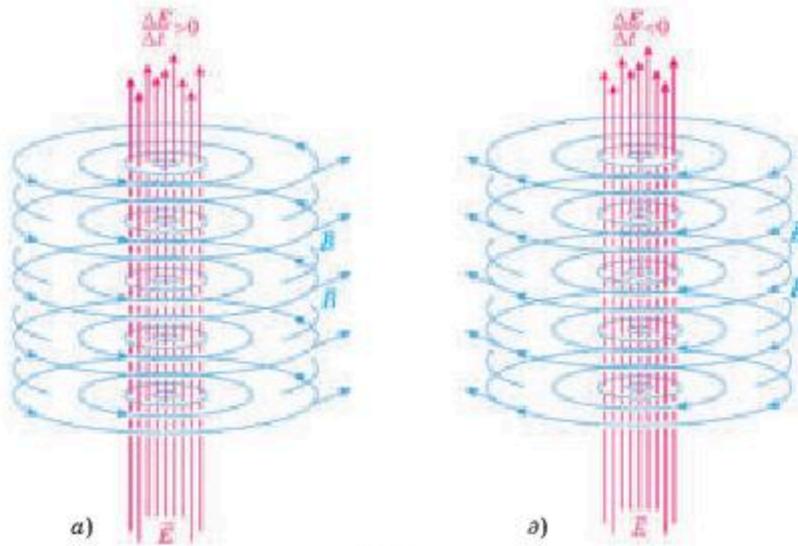
19.2-сурет

Максвелл диэлектрикпен толтырылған конденсатордың астарларын өткізгіш арқылы қосқанда байқалатын разрядты зерттеген (19.2-сурет). Разряд кезінде аз уақыт аралығында өткізгіш бойымен C астардан D астарға қарай бағытталған *өткізгіштік ток* айнымалы магнит өрісін туғызады. Өткізгіштік ток конденсатор астарларының арасында үзіліп қалады. Бірақ астарлардың арасындағы диэлектрикте магнит өрісінің пайда болатыны анықталған. *Осы айнымалы магнит өрісін ығысу тогы деп аталатын уақыт бойынша өзгертін электр өрісі* тудырады деген болжамды алғаш рет Максвелл айтты. Сонымен, Максвелл болжамы: *уақыт бойынша өзгертін электр өрісі қоршаған кеңістікте айнымалы магнит өрісін тудырады.*

Магнит өрісінің индукция сызықтары электр өрісінің кернеулік сызықтарын қоршап орналасады және оған перпендикуляр бағытталады. Электр өрісінің кернеулігі $\frac{\Delta E}{\Delta t} > 0$ артқанда пайда болатын магнит өрісінің индукция \vec{B} векторы \vec{E} векторымен оң бұранда жасайды (19.3, *a*-сурет). Керісінше электр өрісінің кернеулігі кемігенде $\frac{\Delta E}{\Delta t} < 0$ магнит индукциясының \vec{B} векторы \vec{E} векторымен сол бұранда жасайды (19.3, *б*-сурет). *Ығысу тогы* ұғымын енгізгеннен кейін кез келген электр тогын тұйықталған деп қарастыруға болады, оны *толық ток* деп атайды:

$$I_{\nu} = I_{\text{отн}} + I_{\text{мг}}.$$

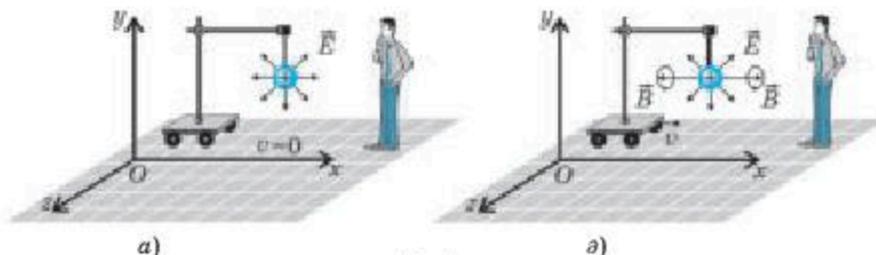
Мысалы, тербелмелі контурдың катушкасындағы *өткізгіштік ток* (электрондардың реттелген қозғалысы) конденсатор астарларының арасындағы ығысу тогына (айнымалы электр өрісі) ауысады. Айта кету керек, ығысу тогы кезінде өткізгіштік ток сияқты Джоуль—Ленц заңы бойынша жылу бөлінбейді.



19.3-сурет

Электр және магнит өрістерінің біртұтастығы мен салыстырмалылығы. Максвелл теориясына сәйкес, айнымалы электр және магнит өрістерінің арасындағы үзілмейтін байланыс ашылғаннан кейін материяның ерекше түрі — *электромагниттік өрістің* бар екені айқындалды. Бұл өрістердің дербес, бір-біріне тәуелсіз пайда бола алмайтыны анықталды. Электр өрісі электр зарядтарынан немесе айнымалы магнит өрісінің әсерінен пайда болады. Сол сияқты магнит өрісі де не айнымалы электр тогының, не құйынды электр өрісінің әсерінен туады. Тұрақты өрістің дербес жағдайында не электр өрісінің ($\vec{B} \neq 0, \vec{E} = 0$), не магнит өрісінің ($\vec{E} \neq 0, \vec{B} = 0$) қасиеттері байқалады. Және бұл қасиеттердің білінуі таңдап алынған санақ жүйелеріне байланысты. Жібек жіпке ілінген зарядталған шарды қарастырайық. Бақылаушы жермен байланысқан санақ жүйесінде тұр. Жермен салыстырғанда тыныш тұрған шардың тек зарядталған электр өрісі бар (19.4, а-сурет). Қозғалыстағы зарядталған шардың электр өрісі кеңістікте магнит өрісін туғызады (19.4, ә-сурет).

Жалпы алғанда, айнымалы электромагниттік өрістің электр өрісінің кернеулігі мен магнит өрісі индукциясының бір-бірінен артықшылығы жоқ.



19.4-сурет

Электромагниттік өріс біртұтас. Электромагниттік өріс теориясын сипаттайтын теңдеулер жүйесін талдай отырып, Максвелл *электромагниттік өріс кеңістікте электромагниттік толқын түрінде тарай алады* деген теориялық болжам жасады.

Максвелл теориясының негізінде жұлдыздар мен планеталарда, тіпті Өлем көлемінде өтіп жатқан, сондай-ақ микродүниедегі атомдар ішінде өтетін сан алуан құбылыстарды түсініп, сипаттау мүмкін болды.



1. Фарадейдің қандай идеялары Максвеллдің теориясында жалғасын тапты?
2. Құйынды электр өрісінің көзі не?
3. Магнит өрісін тек қозғалыстағы зарядтар ғана емес, уақыт бойынша өзгертін электр өрісі де тудыратынын қалай түсіндіруге болады?
4. Өткізгіштік ток пен ығысу тогының ұқсастығы мен айырмашылығы неде?
5. Максвелл теориясына кіретін негізгі физикалық шамаларды атаңдар.
6. Электромагниттік өрістің электрлік компонентінің көздерін атаңдар.
7. Потенциалдық және құйынды өрістердің айырмашылықтары қандай?
8. Электромагниттік өрістің магниттік компонентінің көздерін атаңдар.
9. Электромагниттік өріс ұғымын енгізуге қандай идеялар түрткі болды?
10. Бір санақ жүйесінде өзара перпендикуляр болатын электр өрісі мен магнит өрісі неліктен кез келген басқа санақ жүйесінде де өзара перпендикуляр бола алады?
11. Электр өрісі бар санақ жүйесінен басқа бір санақ жүйесіне ауысқанда неге магнит өрісінің пайда болатынын және керісінше жағдайды қысқаша түсіндіріңдер.

§ 20. Электромагниттік толқындар



Тірек ұғымдар:

- ✓ электромагниттік толқын жылдамдығы
- ✓ жарық — электромагниттік толқын
- ✓ электромагниттік толқын — көлденең толқын
- ✓ толқын ұзындығы

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқынның таралу механизмімен танысасыңдар.



Айнымалы электромагниттік өріс тербелістерінің кеңістікте таралуын электромагниттік толқын деп атайды. Максвеллдің болжамы бойынша электромагниттік толқын тогы бар өткізгіштің бойымен, диэлектрикте және электр зарядтары жоқ вакуумда да тарала алады. Максвелл теориясынан шығатын аса маңызды салдардың бірі — *электромагниттік толқынның таралу жылдамдығының*

шектілігі. Оның есептеулері бойынша электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}},$$

ал вакуумдағы таралу жылдамдығы

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (20.1)$$

мұндағы $\epsilon_0 \approx 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрлік және $\mu_0 \approx 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ — магниттік тұрақтылар. Бұл — электромагниттік өрістің іргелі қасиеті. Электромагниттік толқынның ортадағы таралу жылдамдығы Максвелл формуласы бойынша анықталады:

$$v = \frac{c}{n} \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (20.2)$$

мұндағы n — ортаның сыну көрсеткіші, ϵ — ортаның диэлектрлік және μ — магниттік өтімділіктері.

Электромагниттік толқынның теориялық есептеулер арқылы табылған вакуумдағы жылдамдығы тікелей өлшенген жарық жылдамдығына тең болуының маңыздылығы ерекше. Жарық *электромагниттік толқын* болып шықты. Бұл қорытындыны дәлелдейтін жарықтың кейбір қасиеттерін алдыңғы тарауда білетін боламыз.

Енді электромагниттік толқынның кеңістікте таралу механизмін қарастырайық. Алдыңғы тақырыптарда айнымалы электр және магнит өрістерінің бір-біріне түрленуін толығырақ айтқан едік. Осы түрленулерді жүзеге асыру үшін кеңістіктің кез келген бір аймағында өрістің біреуінің ұйытқуын туғызу қажет. 20.1-суретте құйынды электр және магнит өрістері ұйытқуының таралу процесі көрсетілген. Оны тепе-теңдік қалпында тербелетін немесе шеңбер бойымен тербеле қозғалатын электр заряды арқылы жүзеге асыруға болады. Кеңістіктің бір нүктесінде өте үлкен жиілікпен тербелетін электр зарядының айналасында модулі мен бағыты гармоникалық заң бойынша

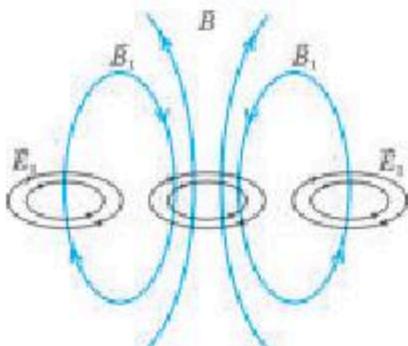
$$E = E_0 \sin \omega t \quad (20.3)$$

өзгеретін электр өрісінің \vec{E} кернеулік векторы пайда болады. Нақ осы мезетте модулі және бағыты да периодты түрде өзгеретін \vec{B} магнит өрісінің

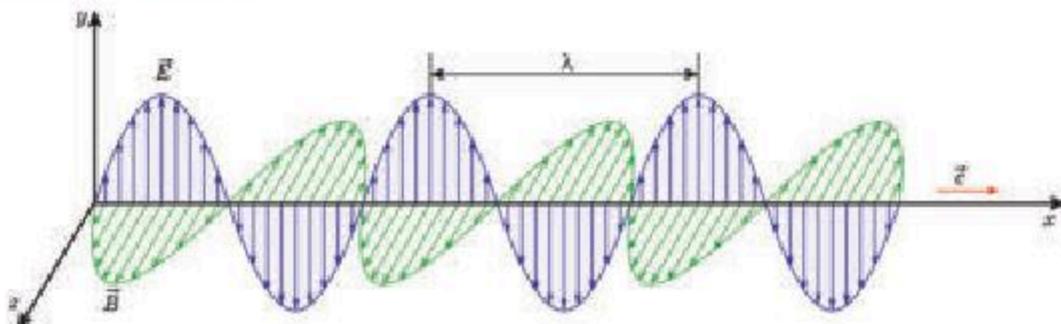
$$B = B_0 \sin \omega t$$

индукциясының векторы да туындайды.

Бұл өрістің тербелістері жақын жатқан нүктелердегі электромагниттік тербелістер көзі болып табылады және оған бір-біріне



20.1-сурет



20.2-сурет

перпендикуляр электр өрісінің кернеулік векторы мен магнит өрісі индукциясы векторының тербелістері кешігіп жетеді. Осы (20.1) формулаға сәйкес Ox осінің оң бағытымен c жылдамдықпен таралатын электр өрісі кернеулігінің гармоникалық қума толқынының теңдеуі (20.2-сурет)

$$E = E_0 \sin \omega t \left(t - \frac{x}{c} \right). \quad (20.4)$$

Электромагниттік толқынның магнит өрісінің индукциясы да уақыт пен кеңістік бойынша электр өрісінің кернеулігімен синхронды өзгереді. Сондықтан магнит өрісінің индукциясы үшін гармоникалық қума толқынының теңдеуін

$$B = B_0 \sin \omega t \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

түрінде жаза аламыз.

Осылай электромагниттік өріс кеңістіктің барлық бағытында $3 \cdot 10^8 \frac{m}{c}$ жылдамдықпен электромагниттік толқын түрінде тарайды. Электромагниттік толқындағы \vec{E} және \vec{B} векторларының кез келген нүктесіндегі тербеліс фазалары бірдей.

Бірдей фазада тербелетін ең жақын екі нүктенің арақашықтығы электромагниттік толқын ұзындығын береді:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}. \quad (20.5)$$

Электромагниттік толқынның негізгі сипаттамасы — оның тербеліс жиілігі ν (немесе периоды T). Себебі электромагниттік толқын бір ортадан екінші ортаға өткенде толқын ұзындығы өзгереді, ал жиілігі өзгермейді.

Электр өрісінің кернеулік және магнит өрісінің индукция векторларының тербеліс бағыттары толқынның таралу бағытына перпендикуляр. Демек, *электромагниттік толқын — көлденең толқын.*

Электромагниттік толқынның \vec{c} таралу жылдамдығы кернеулік және индукция векторлары жататын жазықтықтарға перпендикуляр орналасады. Демек, электромагниттік толқындағы \vec{E} және \vec{B} вектор-

лары бір-біріне және толқынның таралу жылдамдығының бағытына перпендикуляр. Егер бұрандасы оң бұрғыны \vec{E} векторынан \vec{B} векторына қарай айналдырса, онда бұрғының ілгерілемелі қозғалысы толқын жылдамдығының \vec{c} векторымен дәл келеді (20.2-сурет). Сонымен, электромагниттік толқындарды тербелуші электр зарядтары шығарып таратады. Бұл қалайша жүзеге асады?

Өткізгіштегі ток күші өзгергенде оның магнит өрісі де өзгереді. Ал ток күшінің өзгеруі өткізгіштегі электр зарядтарының қозғалыс жылдамдығының өзгеруіне, яғни зарядтардың үдемелі қозғалысына байланысты. Және бұл эксперимент жүзінде дәлелденген. Ендеше, *электромагниттік толқын электр зарядтарының үдемелі қозғалысы кезінде туындайды.*

Сонымен, айнымалы электр және магнит өрістері электромагниттік толқын көзі болып табылады. Зарядтың үдеуі неғұрлым үлкен болса, туындаған толқынның интенсивтігі соғұрлым жоғары болады. Зарядталған бөлшек үдей қозғалғанда электромагниттік өріске төн инерттілік байқалады. Өріс үдей қозғалған зарядталған бөлшектен бөлініп шығады да, электромагниттік толқындар түрінде кеңістікте еркін тарала бастайды.



1. Қандай толқынды электромагниттік толқын дейді?
2. Электромагниттік толқынның вакуумдағы және ортадағы таралу жылдамдығын қалай анықтаған?
3. Электр өрісі кернеулігінің өзгеру жылдамдығы кеңістіктің белгілі бір аймағында тұрақты болса, электромагниттік толқын пайда бола ма?
4. Гармоникалық электромагниттік толқынның электр және магнит векторлары толқын көзінен r қашықтықта қалай өзгереді?
5. Жазық электромагниттік толқынның электр және магнит векторлары өзара қалай байланысқан?
6. Электромагниттік толқынның таралу бағытын қалай анықтауға болады?
7. Не себепті электр зарядының үдемелі қозғалысы барысында ғана электромагниттік толқын туындайды?



Электромагниттік толқындардың көзі ретінде қандай физикалық процестер қызмет атқаратынын зерттеңдер.

§21. Электромагниттік толқындарды шығару. Герц тәжірибелері



Тірек ұғымдар:

- ✓ Генрих Герц
- ✓ Герц вибраторы
- ✓ Герц тәжірибелері

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқындарды шығарып алу тәжірибелерімен танысасыңдар.



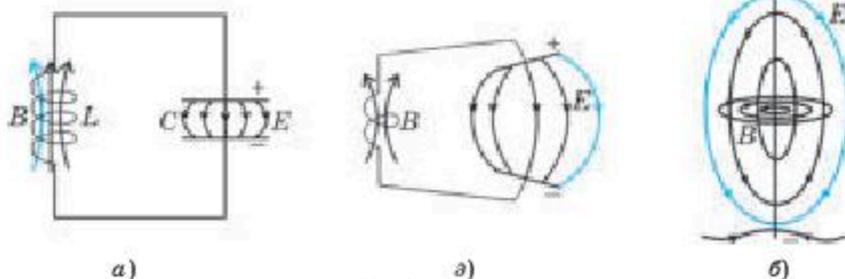
Кез келген теорияның дұрыс не бұрыс екенін дәлелдеуде эксперимент басты рөл атқарады. Электромагниттік толқындардың табиғатта бар екеніне Максвелл сенімді еді. Максвелл теориясына сол замандағы физиктердің басым көпшілігі сияқты алғашқыда күмәнмен қараған неміс ғалымы Генрих Герц 1887—1888 жылдары электромагниттік толқындарды эксперимент жүзінде ашты.

Ашық вибратор. Тәжірибе жүзінде электромагниттік толқынды қалай алуға болады? Сендер білетін тербелмелі контурдағы электромагниттік өріс тербелісі кеңістікте тарала алмайды. Себебі айнымалы электр өрісі түгелге дерлік конденсатор астарларының арасында, ал магнит өрісі катушканың ішінде жинақталған (21.1, а-сурет). Мұндай контур *жабық контур* деп аталады.

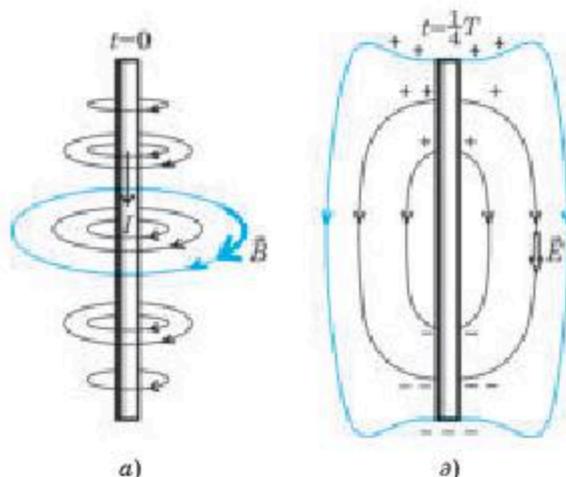
Конденсатор астарларын бір-бірінен алшақтатсақ, электр өрісі кеңістіктің кеңірек аймағын қамти бастайды. Конденсатордың сыйымдылығы кемігенде Томсон формуласы бойынша меншікті тербеліс жиілігі $\left(\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$ артады. Егер катушканың орам сандарын да азайта бастасақ, онда индуктивтік L кемиді (21.1, б-сурет). Конден-



Генрих Герц
(1857—1894)



21.1-сурет



21.2-сурет

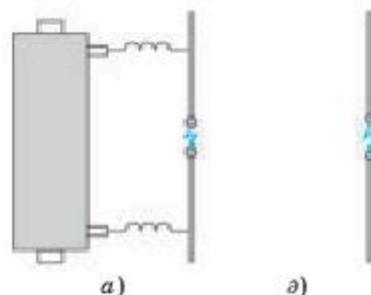
сатор пластиналарының аудандарын кішірейте отырып әрі катушқаны жазып, созып жіберсек, түзу сымның кесіндісі шығады (21.1, б-сурет).

Бұл құрылғы *ашық тербелмелі контур* немесе *Герц вибраторы* деп аталады. Ашық вибратордың сыйымдылығы мен индуктивтігі өте аз. Сондықтан вибратордағы электромагниттік өріс тербелістерінің меншікті жиілігі аса жоғары болады. Тұйықталған тізбектегі айнымалы токтың күші өткізгіштің өне бойында бірдей болса, ашық вибратордағы жағдай басқаша. Бірдей уақыт мезетінде вибратордың түрлі бөлігіндегі ток күші әртүрлі, оның ортасында ток күші максимум мәніне жеткенде вибратордың ұштарында нөлге тең болады. Ашық вибратордағы ток күші максимал болған кезде оның айналасындағы кеңістікте туындайтын магнит өрісі де максимум мәніне жетеді. Ал электр өрісінің кернеулігі нөлге тең (21.2, а-сурет). Ширек $\left(t \approx \frac{1}{4}T\right)$ периодтан соң ток күші нөлге тең болып, енді вибратордың ұштарында электр зарядтары шоғырланады (21.2, б-сурет). Электр өрісінің кернеулігі максимал мәнге дейін артады. Осылайша ток пен зарядтардың тербелістері, яғни электромагниттік тербелістер пайда болады да, электромагниттік өріс вибратор маңындағы кеңістікті толық қамтиды.

Сонымен, *ашық вибраторды қоршаған кеңістікте өзгермелі магнит өрісінің әсерінен құйынды электр өрісі туса, өз кезегінде, өзгермелі электр өрісі құйынды магнит өрісін туғызады*. Нәтижесінде вибратордан үлкен қашықтықта өрістің тербелісі таралып, *электромагниттік толқын* туындайды.

Герц тәжірибелері. Электромагниттік толқынды алу үшін Герц жұқа ауа қабаты арқылы бөлінген түзу өткізгіштің бірдей екі бөлігінен тұратын вибраторды қолданған (21.3, а-сурет). Ауа аралығымен бөлінгендіктен, вибратордың екі тармағына жоғары кернеу көзінің

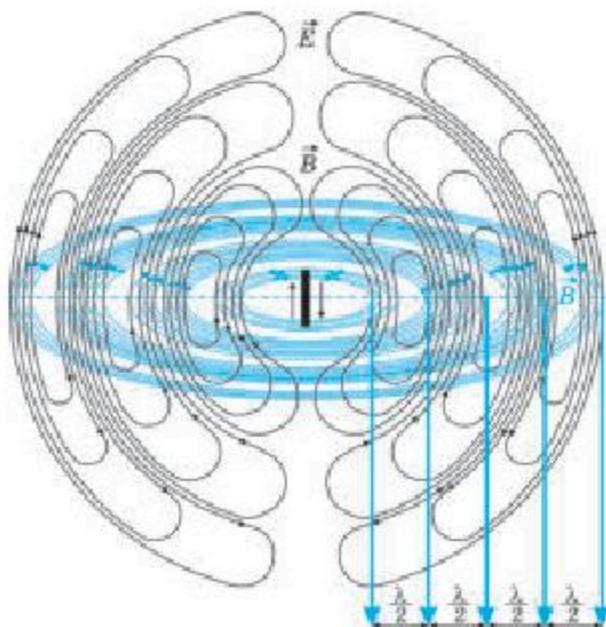
көмегімен едәуір зарядтар беру мүмкін болды. Потенциалдар айырымы белгілі бір мәнге жеткенде электрлік ұшқын байқалады. Иондалған ауа мен электр зарядтары вибратордың бір жартысынан екіншісіне белгілі бір мәнге жеткенде электрлік ұшқын байқалады. *Иондалған ауа мен электр зарядтары вибратордың бір жартысынан екіншісіне ағып, ток импульсін береді.*



21.3-сурет

Сөйтiп, ашық контурда электромагниттік тербелiстер туады. Ток аса шапшаң өзгере отырып ток көзi арқылы тұйықталмай, тек контурда ғана өтуi тиiс. Оны вибратор мен ток көзiнiң арасына дроссель қосу арқылы реттейдi. Ашық контурдағы электромагниттік тербелiстiң тез өшiп қалуының басты себебi — толқын шығарғанда энергия тасымалданады және контурда жылу энергиясы бөлiнедi.

Электромагниттік толқындардың электр өрiсiнiң \vec{E} және магнит индукциясының \vec{B} векторлары бiр-бiрiне перпендикуляр. \vec{E} векторы вибратор арқылы өтетiн жазықтықта жатады, ал \vec{B} векторы осы жазықтыққа және толқынның таралу бағытына перпендикуляр. Сол себептi магнит индукциясының сызықтары вибраторға перпендикуляр концентрлi шеңберлердi құрайды. Магнит сызықтары $\frac{\lambda}{2}$ қашықтықтағы нүктелерде өзiнiң бағытын өзгертедi (21.4-сурет).



21.4-сурет

Электромагниттік толқынның интенсивтігі вибратор осіне перпендикуляр бағытта максимал болып, осьтің бойымен таралмайды.

Электромагниттік толқынды қабылдап тіркеу үшін Герц *қабылдағыш деп* атаған екінші вибраторды (немесе резонаторды) қолданған (21.3, ә-сурет). Ашық контурдан тарайтын толқынның айнымалы электр өрісінің өсерінен қабылдағышта электрондар еріксіз тербеледі, шапшаң өзгертін индукциялық ток қоздырылады. Вибраторлардың өлшемдері бірдей болса, онда екеуіндегі электромагниттік тербелістердің меншікті жиіліктері сәйкес болғандықтан, резонанс салдарынан қабылдағыштағы еріксіз тербелістердің амплитудасы айтарлықтай үлкен болады. Осы еріксіз тербелістерді Герц қабылдағыш антеннаның арасындағы өте кішкентай саңылауда пайда болған ұшқындарды бақылау арқылы аңғарған.

Герц өзінің тәжірибелерінде электромагниттік толқынды алумен ғана шектелген жоқ. Ол электромагниттік толқынның басқа толқындарға тән қасиеттерін зерттеген. Тәжірибе жүзінде электромагниттік толқынның жылдамдығын анықтайды, ол жарық жылдамдығына тең болып шықты. Сонымен, Герцтің эксперименттік зерттеулерінде Максвеллдің теориялық болжамдары нақтылы дәлелденді және жарықтың электромагниттік теориясын жасаудың алғашқы баспалдағы салынды.



1. Неліктен жабық тербелмелі контур электромагниттік толқынды шығарып тарата алмайды?
2. Не себепті ашық вибраторда электромагниттік тербеліс кезінде толқын шығарылады?
3. Герцтің электромагниттік толқынды қоздыру және тіркеу тәжірибелерін түсіндіріңдер, оны сипаттаңдар.
4. Таратқыш және қабылдағыш вибраторларда ұшқындық аралық қандай рөл атқарады?
5. Контурдағы электромагниттік тербелістер кезінде неліктен энергия шығындалады?
6. Жабық тербелмелі контур ашық контурмен алмастырылған. Осы кезде еркін электр тербелістері неге тезірек өшеді?
7. Қандай физикалық процестер электромагниттік толқын көзі болып табылады?



12-жаттығу

1. Ашық тербелмелі контурдағы ток күші $i = 0,2 \cos 5 \cdot 10^5 \pi t$ заңы бойынша өзгереді. Ауада таратылатын электромагниттік толқынның ұзындығын λ анықтаңдар. Өлшем бірліктер ХБ жүйесінде алынған.

Жауабы: $\lambda = 1256$ м.

2. Ұзындығы $\lambda = 400$ м электромагниттік толқындағы, жиілігі 1 кГц дыбыс тербелісінің периодына тең уақыт аралығында жасайтын тербеліс санын есептеңдер.

Жауабы: 750.

3. Ашық тербелмелі контурдың түзу вибраторындағы ток күші $i = 400 \cos 2 \cdot 10^8 \pi t$ (мА) заңымен өзгереді. Вибратордың ұзындығын табыңдар.

Жауабы: $l = 1,5$ м.

4. 25 мкГн индуктивтікпен 100 м толқын ұзындығын қалай резонансқа келтіруге болады?

Жауабы: сыйымдылығы 113 пФ конденсатор.

5. Тербелмелі контур индуктивтігі 1 мГн катушка мен сыйымдылықтары 500 пФ және 200 пФ болатын тізбектей жалғанған конденсаторлардан тұрады. Осы тербелмелі контур қандай толқын ұзындығына арналған?

Жауабы: 711 м.

6. Индуктивтік катушкадағы токты 0,6 с ішінде 1 А-ге өзгерткенде 0,2 мВ ЭҚК-і индукцияланады. Тербелмелі контуры осы катушкадан және сыйымдылығы 14,1 нФ конденсатордан тұратын генератор қандай толқын ұзындығын шығарады?

Жауабы: 7,2 мм.

§ 22. Электромагниттік толқындардың энергиясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ **электромагниттік толқын ағынының тығыздығы**

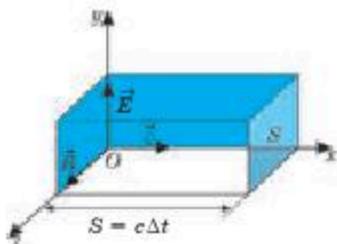
Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқын энергия тасымалдайтынын және оның сипаттамасын түсінесіңдер.



Толқындардың барлық түрлерінің ең басты қасиеті — олар затты емес, энергияны тасымалдайды. Бұл қасиет электромагниттік толқынға да тән.

Электромагниттік толқын ағынының тығыздығы. Үдемелі қозғалатын зарядталған бөлшек жан-жағына электромагниттік толқын шығарып таратады. Электромагниттік толқынның *басты энергетикалық сипаттамаларының бірі электромагниттік толқын шығару ағынының тығыздығы* болып табылады.



22.1-сурет

Электромагниттік толқын шығару ағынының тығыздығы деп ауданы S беттен Δt уақыт ішінде толқынның таралу бағытына перпендикуляр өтетін электромагниттік W энергияның беттің ауданы мен энергияның өту уақыты көбейтіндісіне қатынасын айтады:

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} \text{ немесе } I = \frac{P_{\text{сгр}}}{S}. \quad (22.1)$$

Басқаша айтсақ, толқын шығару ағынының тығыздығы дегеніміз — беттің бірлік ауданынан бір периодта өтетін электромагниттік толқын шығарудың орташа қуаты. Оны толқынның интенсивтігі деп те атайды. Толқын ағыны тығыздығының ХБ жүйесіндегі өлшем бірлігі — $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Жазық электромагниттік толқын тарайтын кеңістіктен беттік ауданы S аймақты бөліп алайық. Ол 22.1-суретте көрсетілгендей, толқынның жылдамдығына перпендикуляр орналасқан Δt уақыт ішінде осы беттен $\Delta V = Sc\Delta t$ шағын көлем ішіндегі энергия өтіп үлгереді. Осы көлемдегі электромагниттік өрістің энергиясы мынаған тең:

$$W = w \cdot \Delta V = w \cdot S \cdot c \Delta t, \quad (22.2)$$

мұндағы w — электромагниттік толқын энергиясының тығыздығы. Бұл формуланы (22.1) өрнекке қойып,

$$I = w \cdot c \quad (22.3)$$

табамыз. *Электромагниттік толқын шығару ағынының тығыздығы электромагниттік энергия тығыздығы мен толқынның таралу жылдамдығының көбейтіндісіне тең.*

Біз қарастырған Герц вибраторынан, нүктелік немесе басқа да толқын көздерінен шығатын электромагниттік толқын энергиясы қашықтыққа байланысты өзгереді. Толқынның интенсивтігі нүктелік толқын көзі үшін барлық бағытта бірдей болса, Герц вибраторында оське перпендикуляр бағытта ғана максимал болады. Гармоникалық тербелетін нүктелік зарядтан сфералық электромагниттік толқын тарайды. Осы сфералық толқынның электр өрісінің кернеулігі мен магнит өрісінің индукциясы қашықтықтың бірінші дәрежесіне кері пропорционал $\frac{1}{r}$ түрде өте баяу кемиді. Электростатикалық өрістің кернеулігі $E \sim \frac{1}{r^2}$ екенін еске түсірейік.

Электромагниттік толқын радиостансыдан алыс қашықтыққа тарай алады. Ал толқын ағынының тығыздығы немесе бірлік ауданға келетін қуат қашықтық артқанда шапшаң кемиді:

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} = \frac{W}{4\pi \cdot \Delta t} \cdot \frac{1}{R^2}, \quad (22.4)$$

мұндағы $S = 4\pi R^2$ — сфера бетінің ауданы. Нүктелік көзден шығатын толқынның интенсивтігі арақашықтықтың квадратына кері пропорционал.

Енді электромагниттік өріс энергиясының тербеліс жиілігіне тәуелділігін қарастырайық. Егер электр заряды Ox осінің бойымен $x = x_m \cos \omega t$ гармоникалық заңдылық бойынша тербелсе, онда оның үдеуі уақыт бойынша $a = x'' = |\omega^2 x_m \cos \omega t|$ гармоникалық заңдылықпен өзгереді. Электромагниттік толқынды үдемелі қозғалатын зарядталған бөлшек шығарады. Олай болса, толқынның электр өрісінің кернеулігі мен магнит индукциясы үдеуге тура пропорционал: $E \sim a$, $B \sim a$. Электр өрісі энергиясының тығыздығы

$$w_s = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \quad (22.5)$$

мен магнит өрісі энергиясының тығыздығы

$$w_x = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \quad (22.6)$$

өзара тең. Ендеше, электромагниттік өріс энергиясының тығыздығы $w = w_s + w_x = 2w_s$ болады.

Енді электр өрісінің кернеулігі мен магнит өрісінің индукциясы $E \sim a \sim \omega^2$ және $B \sim a \sim \omega^2$ екенін ескерсек, өрістің энергия тығыздықтары $w_s = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \sim \omega^4$ және $w_x = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \sim \omega^4$ жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал болады.

Электромагниттік толқын ағынының тығыздығы немесе толқынның интенсивтігі жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал: $I = wc \sim \omega^4$. Электромагниттік өрістің тербеліс жиілігі неғұрлым жоғары болса, толқынның интенсивтігі, яғни бірлік ауданға келетін қуат соғұрлым артады.



1. Электромагниттік толқын ағынының тығыздығы толқынның қандай сипаттамасы болып табылады?
2. Толқынның энергиясы қашықтыққа байланысты қалай өзгереді? Оның радиотехникада маңызы бар ма?
3. Толқын энергиясының электромагниттік тербеліс жиілігіне тәуелділігі қандай? Бұл радиобайланыста қандай рөл атқарады?
4. Не себепті ұялы телефонда 900 МГц, 1800 МГц жиілік қолданылады?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Радиотолқынның электр өрісі кернеулігінің максимал мәні $E_m = 0,5$ В/м-ден аспауы тиіс. Осы жағдайда электромагниттік толқынның I интенсивтігі неге тең?

Берілгені:

$$E_m = 0,5 \text{ В/м}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$$

$$I = ?$$

Шешуі. Электромагниттік толқынның интенсивтілігін толқын энергиясының көлемдік тығыздығы арқылы өрнектейік: $I = w_{\text{эм}} \cdot c$.

Электромагниттік өріс энергиясының тығыздығы

$$w_{\text{эм}} = 2w_{\text{эл}},$$

$$\text{мұндағы } w_{\text{эл}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}, \text{ сондықтан } w_{\text{эм}} = \varepsilon_0 \varepsilon E_m^2.$$

Олай болса, $I = \varepsilon_0 \varepsilon E_m^2 \cdot c$. Өлшем бірлігін тексерейік:

$$[I] = \frac{\Phi}{\text{М}} \cdot \frac{\text{В}^2}{\text{М}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}^2}{\text{В} \cdot \text{М}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Дж}}{\text{М}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{М}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2};$$

$$I = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2} = 664 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/М}^2 = 664 \frac{\text{мкВт}}{\text{М}^2}.$$

$$\text{Жауабы: } 664 \frac{\text{мкВт}}{\text{М}^2}.$$

2-есеп. Телемұнарадан $r_1 = 300$ м қашықтықта электромагниттік толқын шығару ағынының тығыздығы максимал $I_1 = 40$ мВт/м² болады. Радиотолқынды жақсы қабылдайтын $r_2 = 120$ км қашықтықтағы I_2 толқын шығару тығыздығын табыңдар.

Берілгені:

$$r_1 = 300 \text{ м}$$

$$I_1 = 40 \text{ мВт/М}^2$$

$$r_2 = 120 \text{ км}$$

$$I_2 = ?$$

Шешуі. Таратушы антеннадан r_1 қашықтықтағы электромагниттік толқынның интенсивтігі

$$I_1 = w_1 \cdot c,$$

мұндағы w_1 — электромагниттік толқын энергиясының көлемдік тығыздығы және осы жерде ол электр өрісінің кернеулігімен анықталады:

$$w_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E_{m1}^2}{2}.$$

E_{m1} кернеулік антеннаға дейінгі арақашықтыққа кері пропорционал: $E_{m1} \sim \frac{1}{r}$, сондықтан толқын энергиясының тығыздығы w_1 арақашықтықтың квадратына кері пропорционал: $w_1 \sim \frac{1}{r_1^2}$.

Олай болса, энергия ағынының тығыздығы I_1 арақашықтықтың квадратына кері пропорционал болады: $I_1 \sim \frac{1}{r_1^2}$. Сөйкесінше r_2 қашықтық

үшін $I_2 \sim \frac{1}{r_2^2}$. Ендеше, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$, осыдан $I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$;

$$I_2 = 0,4 \left(\frac{300}{1,2 \cdot 10^5} \right)^2 \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2} = 2,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2}.$$

$$\text{Жауабы: } 2,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2}.$$

3-есеп. Индуктивті катушкадағы ток күші 1,2 с уақыт аралығында 2 А-ге өзгергенде индукциялық ЭҚК-і 0,4 мВ болады. Жазық ауа конденсаторындағы пластинаның ауданы 50 см², пластиналардың арақашықтықтары 3 мм болса, бұл катушканың тербелмелі контуры қандай ұзындықтағы толқынды қабылдайды?

Берілгені:

$$\Delta I = 2 \text{ А}$$

$$\Delta t = 1,2 \text{ с}$$

$$\mathcal{E} = 0,4 \text{ мВ} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

$$S = 50 \text{ см}^2 = 50 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$d = 3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\lambda \text{ — ?}$$

Шешуі. Толқынның жылдамдығын, ұзындығын және тербеліс периодын байланыстыратын формуланы $v = \frac{\lambda}{T}$ пайдаланамыз. Тербелмелі контурдың тербеліс периодын Томсон формуласы арқылы табамыз:

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

Электромагниттік индукция заңына сәйкес ЭҚК-і модулі бойынша $\mathcal{E} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$. Осыдан контурдағы катушканың индуктивтілігін табамыз: $L = \frac{\mathcal{E} \Delta t}{\Delta I}$. Жазық конденсатордың электр сыйымдылығын $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ формуласынан анықтаймыз. Ендеше, $\lambda = vT = 2\pi v \sqrt{\frac{\mathcal{E} \Delta t}{\Delta I} \cdot \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}}$. Формулаға сандық мәндерді қойсақ, $\lambda = 112 \text{ м}$ шығады.



13-жаттығу

1. Электромагниттік толқынның көлемдік энергия тығыздығы $2 \cdot 10^{-16} \text{ Дж/см}^3$. Толқын шығару ағынының тығыздығын табыңдар.

$$\text{Жауабы: } 0,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

2. Электромагниттік толқын энергиясы тығыздығының шекті мәні $2,2 \cdot 10^{-10} \text{ Дж/м}^3$. Толқынның ауадағы электр өрісі кернеулігінің максимал мәнін және интенсивтігін анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } 5 \text{ В/м}; 6,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

3. Радар импульсінің қуаты 100 кВт. Сөуле шығаратын конустың көлденең қимасының ауданы 2,3 км² болатын нүктедегі электр өрісінің ең жоғары кернеулігін есептеңдер.

$$\text{Жауабы: } 4 \text{ В/м}.$$

4. Электромагниттік толқын энергиясының кеңістіктің берілген нүктесіндегі және берілген уақыттағы тығыздығы $w = 5,2 \text{ мкДж/м}^3$ екенін ескере отырып, оның электр және магнит векторлары модульдерінің мәндерін осы уақыт мезетінде және осы нүктеде бағалаңдар: $\varepsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, $\mu_0 = 1,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$.

$$\text{Жауабы: } 2,6 \text{ мкТл}; 0,76 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

5. Егер электр өрісінің кернеулік векторының модулі $E_m = 0,3$ кВ/м-ге тең болса, электромагниттік толқын энергиясының тығыздығы кеңістіктің берілген нүктесінде және берілген уақытта қандай болады? ($\varepsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

$$\text{Жауабы: } w = \varepsilon_0 E^2 = 0,8 \text{ мкДж/м}^3.$$

6. Егер тербеліс жиілігі 15 МГц болса, электромагниттік толқынның электр өрісінің кернеулік және магнит индукция векторлары тербелісінің 30 периодына тең уақыт аралығында қандай қашықтыққа таралады?

$$\text{Жауабы: } l = 600 \text{ м.}$$

7. Электромагниттік толқынның электр өрісінің кернеулік және магнит индукция векторлары тербелістерінің фазасы оның таралу бағытында $\varphi = 2\pi\nu\left(t - \frac{r}{c}\right)$ өрнегімен анықталады, мұндағы r — тербеліс көзінен есептелетін қашықтық. Тербелістерінің фазалар айырымы $\Delta\varphi = 2\pi\nu$ болатын екі кеңістіктік нүктенің бір-бірінен $\Delta r = cT = \lambda$ қашықтықта орналасатынын көрсетіңдер.

$$\text{Жауабы: } \Delta\varphi = 2\pi\nu \frac{\Delta r}{c} \text{ рад; } \Delta r = \lambda \text{ кезінде } \Delta\varphi = 2\pi.$$

- *8. Егер тербелмелі контур индуктивтігі $2 \cdot 10^{-3}$ Гн катушкадан және жазық конденсатордан тұрса, ол қандай толқын ұзындығына арналған? Конденсатор пластиналарының арақашықтығы 1 см, пластиналардың арасын толтырып тұрған диэлектриктің диэлектрик өтімділігі 11-ге тең, пластиналардың ауданы 800 см^2 .

$$\text{Жауабы: } 2350 \text{ м.}$$

- *9. Индуктивтік катушкадағы тоқты 1 А-ге өзгерткенде 0,06 с ішінде 0,2В ЭҚК-і пайда болады. Контурсы осы катушкадан және сыйымдылығы 14 100 Ф конденсатордан тұратын генератор шығаратын радиотолқынның ұзындығы қандай болады?

$$\text{Жауабы: } 77500 \text{ м.}$$

- *10. Тербелмелі контурдағы электромагниттік толқындардың энергиясы $W = 0,5$ мДж, тербеліс жиілігі $\nu = 400$ кГц, конденсатордың максимал заряды $q_0 = 50$ нКл. Осы контурдағы катушканың индуктивтігін есептеңдер.

$$\text{Жауабы: } 0,06 \text{ Гн.}$$

- *11. Электр өрісінің кернеулік векторының максимал мәнінің модулі $E_m = 0,2$ мВ/м болатын электромагниттік толқын өзін толық жұтатын қабырғаға қандай қысым түсіреді? Толқын қабырғаға нормаль бойымен түседі: $\varepsilon_0 \approx 0,9 \cdot 10^{-11}$ Ф/м.

$$\text{Жауабы: } p = 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ Па.}$$

§ 23. Электромагниттік толқындардың қасиеттері



Тірек ұғымдар:

- ✓ шағылу, сыну
- ✓ поляризация
- ✓ интерференция және дифракция

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқынның қасиеттерін сипаттауды үйренесіңдер.

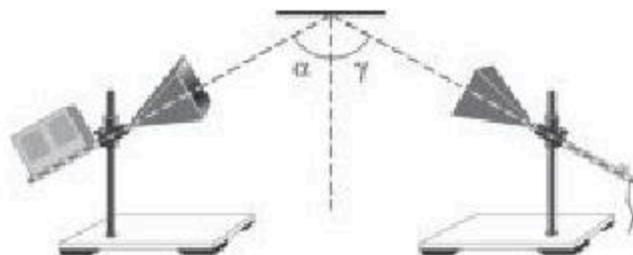


Электромагниттік толқындардың қасиеттерін ұзындығы 3 см электромагниттік толқын шығаратын арнайы генераторды қолданып зерттейді. Аса жоғары жиілікті генератор қоздыратын электромагниттік толқын рупор түріндегі таратқыш антеннада ось бағытымен шығарылады. Қабылдағыш антеннаның пішіні дәл таратқыш антенна сияқты. Қабылдағыш антеннада кристалдық диод орнатылған, ол антеннада қозатын жиілігі жоғары айнымалы токты бір полярлы толықсыма токқа айналдырады. Ток күшейтілгеннен кейін дыбыс қабылдағышқа немесе гальванометрге беріліп тіркеледі. Тәжірибелік қондырғының сұлбасы 23.1-суретте көрсетілген.

Электромагниттік толқындардың шағылуы. Таратқыш және қабылдағыш рупорлардың арасына металл қаңылтыр қойылса, дыбыс естілмейді. Электромагниттік толқын металл қаңылтырдан шағылады. Егер генератордың рупорын 23.2-суретте көрсетілгендей бағыттасақ, онда қабылдаушы антенна түсу бұрышына тең бұрышпен шағылатын электромагниттік толқынды қабылдайды. Оны дыбыстың жақсы естілгенінен байқаймыз. Электромагниттік толқынның металл бетінен шағылуын түсіну оңай. Металға келіп түскен толқынның



23.1-сурет



23.2-сурет

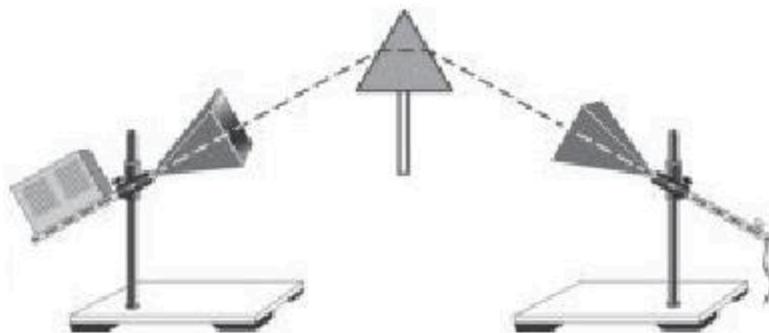
электр өрісінің әсерінен металл бетінде еркін электрондардың еріксіз тербелістері қозады. Осы еріксіз тербелістердің жиілігі электромагниттік толқынның жиілігіне тең. Бетке түскен электромагниттік толқынның энергиясы металдағы *еркін электрондардың еріксіз тербелістерін* қоздыруға жұмсалады. Толқын металдан өте алмайды, металл бетінің өзі екінші реттік толқын көзі болып табылады, яғни шағылады. Диэлектриктен толқынның шағылуы әлсіз, өйткені диэлектрикте электромагниттік толқынның әсерінен байланысқан *электрондардың еріксіз тербелістері* қозады. Бірақ олардың еріксіз тербелістерінің амплитудасы металдағы еркін электрондардың еріксіз тербелістерінің амплитудасынан анағұрлым кіші. Сондықтан толқынның диэлектриктен шағылуы нашар.

Электромагниттік толқынның шағылу қасиеті радиобайланыс жүйесінде, радиолокацияда қолданылады.

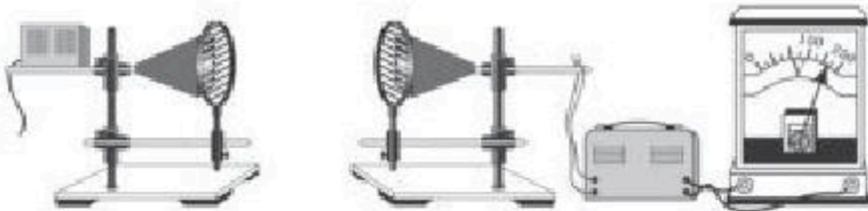
Электромагниттік толқынның сынуы. Электромагниттік толқынның сынуын парафинмен толтырылған үшбұрышты призматы пайдаланып бақылауға болады. Таратқыш антеннаның рупорын 23.3-суреттегідей бағыттауымыз. Қабылдаушы антенна толқынды тіркемейді. Енді диэлектрик болып табылатын парафиннен жасалған призматы суретте көрсетілгендей орналастырсақ, антенна толқынды тіркейді. Демек, электромагниттік толқын екі ортаны бөліп тұрған *ауа-парафин және парафин-ауа шекараларынан өткенде сынған*. Электромагниттік толқын бір ортадан екінші ортаға өткенде *сыну заңының* орындалатынын зерттеулер көрсетті.

Электромагниттік толқынның жұтылуы. Рупорларды бір-біріне қарама-қарсы қойып, олардың арасына түрлі диэлектриктер, мысалы, фанера, плексиглас және т.б. қойсақ, толқынның жұтылатынын байқауға болады. Жұтылу дәрежесі түрлі диэлектриктер үшін әртүрлі.

Электромагниттік толқындардың поляризациясы. Электромагниттік толқынның \vec{E} және \vec{B} векторларының бір-біріне және толқынның таралу бағытына перпендикуляр болуы оның көлденең толқын екенін көрсетеді. Таратқыш антеннадан шығатын толқынның электр өрісінің



23.3-сурет



23.4-сурет

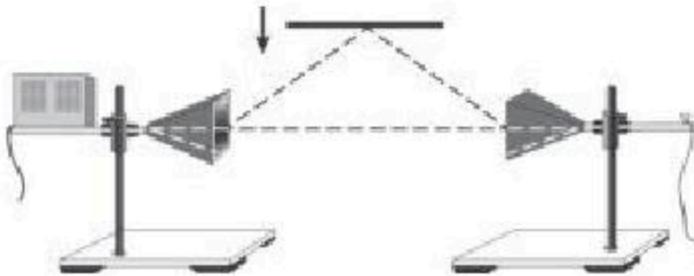
кернеулік \vec{E} векторының тербелістері белгілі бір жазықтықта өтеді. Ал магнит индукциясының \vec{B} векторының тербелістері оған перпендикуляр жазықтықта жасалады. *Өріс тербелістері бір бағытта өтетін электромагниттік толқынды поляризацияланған толқын деп атайды.*

Поляризация латынның “*polus*”, гректің “*polos*” — “полюс, осьтің шеті” деген сөздерінен алынған. Толқын шығаратын антеннаның рупоры мен қабылдағыштың арасына металл шыбықтан жасалынған торларды орналастырайық (23.4-сурет). Тордың екеуін де вертикаль не горизонталь бағытта отырып, толқынның өтуін гальванометр арқылы тіркейді. Бұл жағдай электр өрісінің кернеулік векторы \vec{E} шыбықтарға перпендикуляр болғанда байқалады. Егер екінші торды 90° -қа бұрсақ, онда толқын шыбықтардан өтпейді.

Демек, электромагниттік толқын — поляризацияланған көлденең толқын. Электр өрісінің кернеулік векторы металл шыбықтарға параллель бағытталғанда оларда еркін электрондардың еріксіз тербелістері қозады да, толқын шағылады. Кернеулік векторы шыбықтарға перпендикуляр бағытталғанда еріксіз тербелістері көлденең болғандықтан, еркін электрондардың амплитудасы мардымсыз. Электромагниттік толқын шағылмай өтеді. Айта кету керек, егер электромагниттік толқын көлденең емес, қума толқын болса, онда тордың кез келген қалпында ол шыбықтардан өтіп кетер еді. Пәтерлердегі теледидар антеннасын орнатқанда электромагниттік толқынның поляризацияланғанын ескеру қажет. Егер кернеулік векторы антеннаға параллель қалпын сақтаса, антеннада қозатын индукциялық токтың амплитудасы максимал болады.

Электромагниттік толқындардың интерференциясы. Кеңістікте екі немесе бірнеше таратқыш антеннадан таралған электромагниттік толқындар бір-бірімен қабаттасады. *Жиіліктері бірдей екі толқын қосылғанда қорытқы толқын амплитудасының арту немесе кему құбылысын толқындардың интерференциясы дейді.*

Бірдей фазада тербелетін екі электромагниттік толқын кеңістіктің бір нүктесіне келіп жеткенде $\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ шарты орындалса, интерференция нәтижесінде қорытқы тербеліс амплитудасы максимал

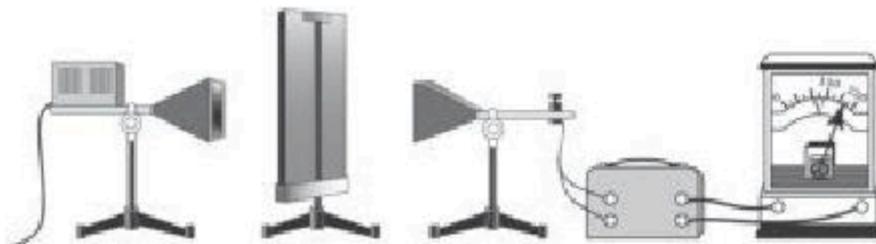


23.5-сурет

болады. Мұндағы $\Delta l = l_2 - l_1$ шамасы толқындардың жол айырымы, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Егер толқындардың жол айырымы $\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ тақ санды жарты толқынға тең болса, онда интерференцияның минимум шарты орындалады. Қорытқы тербеліс сол нүктеде минимал болады. Электромагниттік толқындардың интерференциясын бақылау үшін таратқыш пен қабылдағыштың рупорларын 23.5-суреттегі сияқты қарама-қарсы орналастырып, горизонталь бағыттағы металл қаңылтырды жоғарыдан төмен қозғалтайық. Сонда дыбыстың біресе күшейіп, біресе бәсеңдегенін байқаймыз. Рупордан шығатын толқынның біраз бөлігі қабылдағыш антеннаға түседі. Қалған бөлігі антеннаға металл бетінен шағылып барып түседі. Металл қаңылтырды жоғары немесе төмен қозғалта отырып, тура толқын мен шағылған толқынның жол айырымын өзгертеміз. Интерференцияның максимум немесе минимум шарттарының қайсысы орындалатынына байланысты дыбыс не күшейеді, не әлсірейді.

Электромагниттік толқындардың дифракциясы. *Толқындардың тұзусызықты таралу бағытынан ауытқуын, бөгеттерді орағытып өтуін толқынның дифракциясы деп атайды.* Толқын жолындағы бөгеттердің өлшемдері толқын ұзындығынан кіші немесе онымен шамалас болған жағдайларда толқын дифракциясы айқын байқалады. Электромагниттік толқындардың дифракциясын 23.6-суретте көрсетілген қондырғының көмегімен бақылайды. Аса жоғары жиілікті генератор мен қабылдағыштың арасында жіңішке саңылауы бар металл экран тұр. Қабылдағыштың орнын ауыстырсақ, тербеліс



23.6-сурет

амплитудасының максимумдары мен минимумдарының кезек ауысатынын көреміз. Бұл саңылаудың шетін орағытып өтетін толқындардың дифракциясы нәтижесінде ғана мүмкін болады. Ендеше, электромагниттік толқындарда дифракция құбылысы байқалады. Дифракция құбылысын оптика бөлімінде толығырақ қарастыратын боламыз.



1. Не себепті электромагниттік толқындар металл бетінен жақсы, ал диэлектриктен жасалған денелерден нашар шағылады?
2. Бір ортадан екінші ортаға өткенде электромагниттік толқын бағытының өзгеруін қалай түсіндіруге болады?
3. Қандай толқын поляризацияланған толқын деп аталады?
4. Электромагниттік толқындардың көлденеңдігін тәжірибе жүзінде қалай анықтауға болады?
5. Толқындардың интерференциясы дегеніміз не? Оның максимум және минимум шарттары қай кезде орындалады?
6. Қандай шарт орындалғанда электромагниттік толқынның дифракция құбылысы айқын байқалады?
7. Электромагниттік толқын жолына алюминий диск қойылса, қандай құбылыс байқалады?
8. Бөгеттің өлшемі d толқын ұзындығы λ -дан үлкен болғанда ($d > \lambda$) дифракция құбылысы байқала ма?

§ 24. Радиобайланыс принципі



Тірек ұғымдар:

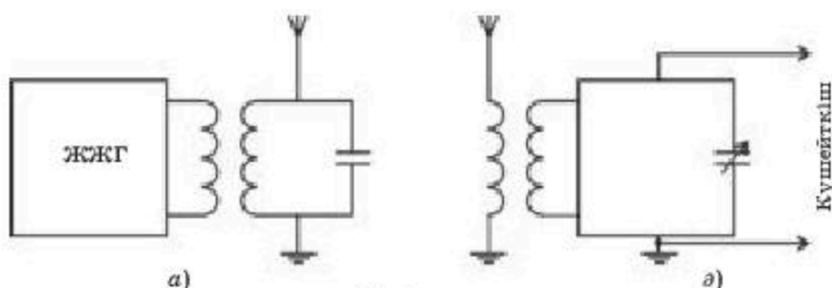
- ✓ А. С. Попов
- ✓ Г. Маркони
- ✓ когерер
- ✓ радиотелеграф
- ✓ радио

Бүгінгі сабақта:

- радиобайланыс түрлерін және Попов пен Маркони ашқан жаңалықтарды білесіңдер.



Радиобайланыстың қарапайым сұлбасы 24.1-суретте көрсетілген. Осы сұлбаға сүйене отырып, радиобайланыстың негізгі физикалық принципін жүзеге асырады. Кеңістікте таралатын электромагниттік



24.1-сурет



Попов Александр
Степанович
(1859—1906)

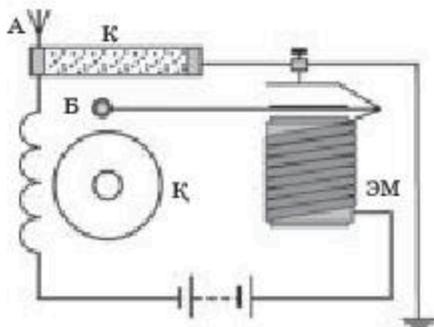
толқын арқылы ақпаратты тарату және қабылдау үшін радиотолқындарды пайдаланады. Таратқыш радиостансысында жоғары жиілікті тербелістер генераторы антеннада жиілігі жоғары айнымалы ток тудырады. Ол, өз кезегінде, кеңістікте шапшаң өзгеретін электромагниттік өріс туғызады да, электромагниттік толқын түрінде тарайды (24.1, *a*-сурет). Қабылдағыш антеннаға жеткен электромагниттік толқын таратқыш стансысы қандай жиілікпен жұмыс істейтін болса, жиілігі дәл сондай айнымалы ток туғызады. Қабылдағыш антеннаға қосылған тербелмелі контур резонанс нәтижесінде бізге қажетті радиосигналды күшейтіп бөліп алады (24.1, *ә*-сурет).

Радиобайланыстың мынадай түрлері бар: *радиотелеграф, радиотелефон және радиохабар тарату, телехабарлар тарату, радиолокация.*

Радионы ойлап табу. Радиотелеграф байланысы. Герц тәжірибелері тұңғыш рет электромагниттік толқындарды таратуға болатынын көрсетті.

Оның тәжірибелерінде толқынның таралуы аз қашықтыққа және зерттеу жүргізілген үстел шегінде ғана жүзеге асырылған еді. Электромагниттік толқынның алыс қашықтыққа сымсыз таралу мүмкіндігіне Герцтің өзі күдікпен қараған екен. Тұңғыш рет электромагниттік толқынды сымсыз байланыс жасау үшін қолдануға болатынын 1895 жылы 7 мамырда орыс ғалымы А. С. Попов Ресейдің Физика-химия қоғамының мәжілісінде тәжірибе жасап көрсетті. Попов электромагниттік толқындарды тіркеудің сенімді және жақсы сезгіш тетігі — *когерерді* қолданды. Оны Поповтың ашқан жаңалығынан бес жыл бұрын сезімталдығы нашар Герцтің ұшқындық қабылдағышының орнына қолдануды ұсынған француз физигі Э. Бранли еді.

Когерер — *екі электроды бар шыны түтік*. Оның ішіне ұсақ металл үгінділері салынған. Қалыпты жағдайда когерердің кедергісі үлкен болады, өйткені үгінділердің бір-біріне түйісуі нашар. Поповтың қабылдағышы когерерден (К), электромагниттік реледен (ЭМ), электр қоңырауы (Қ) және ток көзінен тұрады (24.2-сурет). Алғашқыда А. С. Попов өзінің қабылдағышын найзағайдағы электр разряды кезінде пайда болатын электромагниттік толқынды тіркеу үшін қолданған. Оны ол “найзағай тіркегіш” деп атаған. Антеннаға жеткен жиілігі жоғары электромагниттік



24.2-сурет

толқын еркін электрондардың еріксіз тербелістерін қоздырып, айнымалы ток туғызады. Айнымалы кернеудің өсерінен үгінділер арасында электрлік үшқындар туады да, үгінділерді пісіреді. Когерердің кедергісі 100—200 еседей күрт кемиді. Жайшылықта когерердің кедергісі өте үлкен болғандықтан, реле қоңырау тізбегін ток көзіне қоса алмайды. Енді электромагниттік толқын келгенде электр қоңырауының тізбегі когерер арқылы тұйықталады. Балға (В) қоңырауды соғып толқын келгенін хабарлайды.

Электромагниттік толқын аяқталысымен қоңырау тізбегі ажыратылады, өйткені балға қоңыраумен бірге когерерді де соғады. Когерерді сілкіп қалғанда оның кедергісі қайтадан бұрынғы үлкен мәніне ие болады да, келесі толқынды қабылдауға дайын тұрады.

Қабылдағыштың сезгіштігін арттыру үшін Попов когерердің бір ұшын жерге, ал екінші ұшын биіктікте тұрған өткізгіш сымға қосып тұңғыш қабылдағыш антенна жасады.

1896 жылы А. С. Попов электромагниттік толқын таратқышты жасады. Ол электромагниттік толқын таратқыш пен қабылдағышты жетілдіре отырып, телеграфтың Морзе әрпімен сигнал жіберіп және оны қабылдай бастады. Осы жылдың 24 наурызында әлемде бірінші рет 250 м қашықтыққа сымсыз, екі сөзден тұратын “Генрих Герц” деген радиограмма таратып, оны қабылдады және ол бұл толқындарды телефон арқылы құлаққа да қабылдауға болатынын іс жүзінде көрсетті. Байланыстың бұл түрі *радиотелеграфтық байланыс* деп аталып кетті. Телеграф толқындары қысқа және ұзын электромагниттік толқын импульстері, яғни Морзе әліппесінде қабылданған “нүкте” мен “тире” түрінде беріліп келеді.

Радиотехниканың дамуына және оның жан-жақты практикалық мақсаттарда қолданылуына зор үлес қосқан итальян өнертапқышы Г. Маркони болды. Ол 1897 жылы электромагниттік толқындарды сымсыз байланыс жүйесінде қолдануға болатынына патент алды. Г. Маркони 1901 жылы тұңғыш рет Еуропа мен Америка арасында Атлант мұхиты арқылы радиобайланысты жүзеге асырды. Радионы байланыс құралдары ретінде дамытуда оның ролі ерекше. А. С. Попов өзінің ашқан жаңалығына патент алмаған екен, сол себепті радионың негізін қалаушы ретінде дүниежүзі мойындамайды.

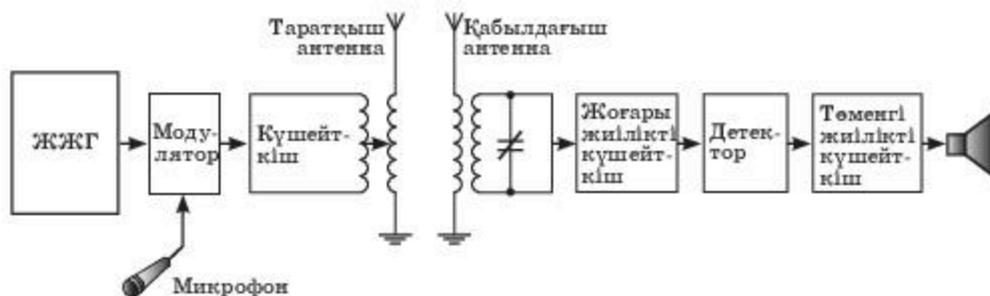
Радиотелефондық байланыс. Радиобайланыс дамуының ең маңызды кезеңі 1906 жылы американдық инженер Б. Форесттің үшэлектродты шамды — *триодты* ойлап шығаруымен байланысты. Триод негізінде 1913 жылы өшпейтін электрлік тербелістердің шамды генераторы жасалынды. Соның нәтижесінде электромагниттік толқын арқылы енді музыканы, сөзді, яғни дыбысты қашықтықта тарату жүзеге асырылды. Оны *радиотелефондық байланыс* деп атады.

Радиотелефон байланысын іске асыру енді тіпті оңай сияқты көрінеді. Дыбыс толқыны тудыратын ауа қысымының тербелісін микрофонда дәл сондай электрлік тербелістерге айналдырады. Оны күшейтіп дыбыс жиілігіндегі айнымалы токтың еріксіз тербелісін антеннада тудыруға болады. Бірақ мұндай тәсілмен радиотелефондық байланысты іске асыру мүмкін емес. Антенна шығаратын электромагниттік толқынның интенсивтігі жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал екенін еске түсірейік ($I \sim \omega^4$).

Дыбысты таратудың қиыншылығы мынада: радиобайланыс үшін жоғары жиілікті электрлік тербелістер керек, ал дыбыс жиілігі төменгі жиіліктегі тербелістер болып табылады. Мұндай төменгі жиіліктегі электромагниттік толқындар мүлдем шығарылып таратылмайды дерлік. Сондықтан дыбыс жиілігіндегі электромагниттік тербелістерді қандай да бір тәсілмен алысқа таралатын жоғары жиілікті электромагниттік тербелістерге айналдыру қажет болды.

Төменгі жиілікті электрлік тербелістерге сәйкестендіре отырып, жоғары жиілікті электромагниттік тербелістерді басқару жоғары жиілікті тербелістерді модуляциялау деп аталады. Модуляция — жоғары жиілікті тербеліс параметрлерінің бірін (амплитудасын, жиілігін немесе фазасын) төменгі (дыбыс) жиілікке сәйкес баяу өзгертетін процесс. Радиобайланыста амплитудалық, жиіліктік және фазалық модуляция қолданылады. Жоғары жиілікті тербелістерді *тасымалдаушы жиіліктер* деп атайды, өйткені олар дыбыс жиілігіндегі тербелістердің тасымалдаушылары рөлін атқарады.

Қазіргі заманғы радиотехникада, көбінесе ғарыштық байланыс жүйелерінде және телебейнеде өрқашан жиіліктік модуляция қолданылады. Радиоқабылдағышта жиілігі жоғары күрделі тербелістерден қайтадан төменгі жиілікті тербелістерді ажыратып, бөліп алады. Төменгі жиілікті сигналды қалпына келтіру процесін *демодуляция* немесе *детекторлеу* деп атайды. Детекторленген сигналды күшейткеннен кейін акустикалық тербеліске айналдырады. 24.3-суретте радиобайланысты жүзеге асырудың негізгі принциптерінің модульдік сұлбасы берілген.



24.3-сурет



1. Радиобайланыстың негізгі принциптері қандай?
2. А.С.Поповтың алғашқы қабылдағышы — “найзағай тіркегіштің” құрылысын сипаттаңдар.
3. Когерердің жұмыс істеуі қандай физикалық принципке негізделген?
4. Поповтың қабылдағышында электр қоңырауы қандай рөл атқарады?
5. Когерердің бір ұшын антеннаға, екінші ұшын жерге жалғаудың маңызы неде?
6. Радиотелеграфтық байланыс қалай жүзеге асырылады?
7. Төменгі (дыбыстық) жиіліктегі электромагниттік толқын арқылы радиобайланысты жүзеге асыру не себепті мүмкін емес?
8. Радиотелефондық байланыс деп қандай байланыс түрін айтамыз?
9. Г. Маркони ашқан жаңалықтың маңыздылығы неде?
10. Модуляция дегеніміз не?



Неге Нобель сыйлығының лауреаты Маркониі еске алып, 1937 жылы 20 маусымда дүниежүзінің радиостансылары 2 мин-қа хабарларын тоқтатқан?

§25. Модуляция және детекторлеу



Тірек ұғымдар:

- ✓ амплитудалық жиіліктік модуляция
- ✓ детекторлеу
- ✓ детекторлі радиоқабылдағыш

Бүгінгі сабақта:

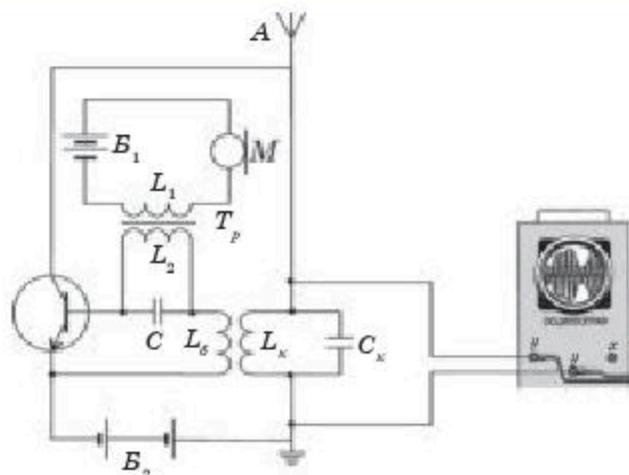
- амплитудалық және жиіліктік модуляцияны ажырата білесіңдер;
- детекторлі радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін түсінесіңдер.



Жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын, жиілігін немесе фазасын өзгерту арқылы модуляциялауға болады. Іс жүзінде модуляциялаудың үш тәсілі де пайдаланылады. Дегенмен біз көбірек пайдаланылатын тәсіл — *амплитудалық және жиіліктік модуляцияға* тоқталайық.

Амплитудалық модуляция (amplitude modulation). Амплитудалық модуляция кезінде жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын дыбыстық жиілікпен өзгертеді.

Транзисторлы генераторда өндірілетін жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын модуляциялауды 25.1-суретте көрсетілген сұлбаны пайдаланып іске асыруға болады. Модулятор микрофоннан M , ток көзінен B_1 және тізбектеліп қосылған трансформатордың (T_p) бірінші орамасынан L_1 тұрады. Трансформатордың екінші орамасы L_2 транзистордың базасы қосылған тізбектегі конденсаторға C параллель жалғанған. Катушканың кері байланыс орамасы L_6 арқылы өтетін жоғары жиілікті айнымалы токқа C конденсатордың кедергісі аз болады. Трансформатордың екінші орамасының L_2 индуктивті кедергісі үлкен. Сондықтан генератор өндіретін жоғары жиілікті айнымалы ток C конденсатордан оңай өтіп, ал модулятордың микрофондық тізбегінен өте алмайды.



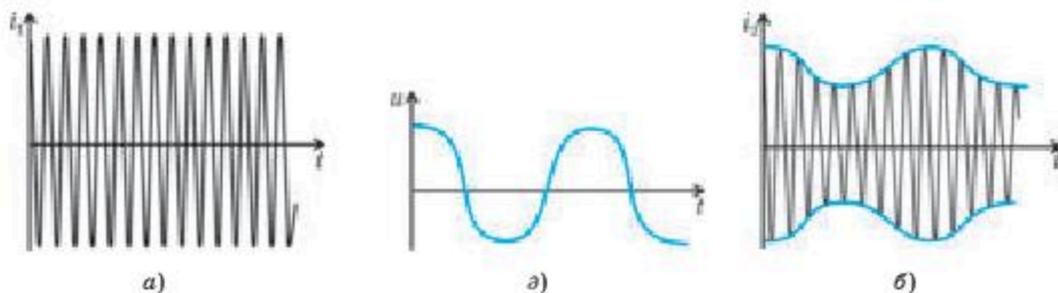
25.1-сурет

Дыбыс тербелістері жоқ кезде генератор жоғары жиілікті өшпейтін тұрақты амплитудалық гармоникалық тербелістер өндіреді:

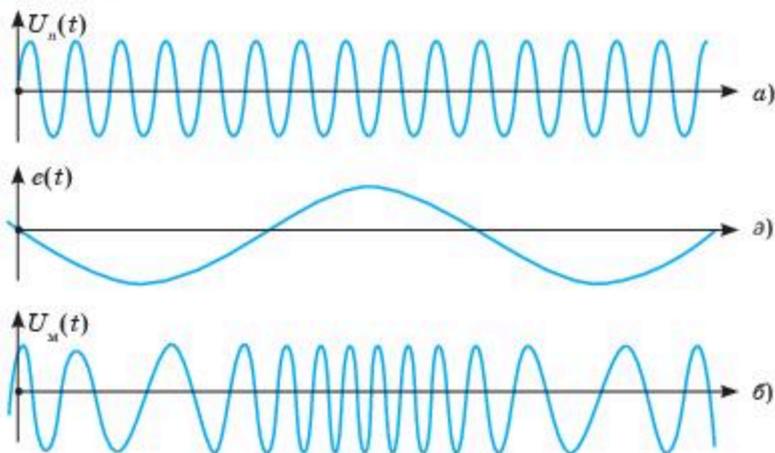
$$i_1 = i_0 \sin \omega t,$$

мұндағы ω — тасымалдаушы жиілік, i_0 — тербелістің тұрақты амплитудасы. Осы тербелістердің графигі 25.2, а-суретте берілген. Микрофон қосылғанда дыбыс толқындары оның тізбегінде төменгі жиілікті электр тогын тудырады (25.2, б-сурет). Бұл төменгі жиілікті Ω токтар үшін C конденсатордың кедергісі үлкен болады. Сол себепті трансформатор L_2 орамасының ұштарындағы кернеу толығымен тізбектің база-эмиттер бөлігіне түседі. Осының арқасында генератор контурының тізбегіндегі жоғары жиілікті айнымалы токтың амплитудасы дыбыс жиіліктеріне сәйкес үздіксіз өзгереді, яғни жоғары жиілікті тербелістердің модуляциясы іске асады. Оны контурға қосылған (25.2, в-сурет) осциллографтың экранынан көруге болады.

Жиіліктік модуляция (FM-frequency modulation). Жоғарыда айтылған амплитудалық модуляцияның айтарлықтай кемшілігі бар. Хабарлағыш пен қабылдағыштың арақашықтығы өжептәуір үлкен бол-



25.2-сурет

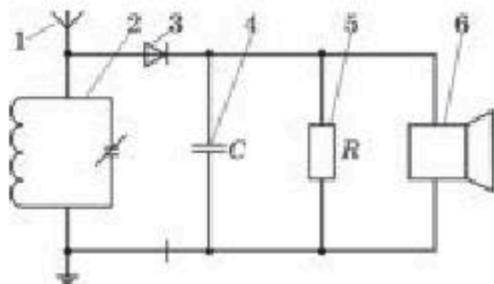


25.3-сурет

са, онда жоғары жиілікті модуляцияланған электромагниттік толқын қатты әлсірейді және әлсіреген толқын уақыт бойынша өзгере бастайды. Радиотолқындар атмосфера арқылы өткенде амплитуданың кездейсоқ өзгерулерін қажетті модуляциядан ажырату шамадан тыс кедергілердің (бөтен дыбыстар, шулар) әсерінен мүмкін болмай қалады. Осы кедергілерді жою үшін жиіліктік модуляция қолданылады (25.3-сурет).

Жиіліктік модуляция кезінде жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасы емес, жиілігі өзгереді болады. Кедергілерден қорғанысты күшейту үшін берілетін радиотолқынның тасымалдаушы жиілігі дыбыс тербелісінің амплитудасына пропорционал өзгереді. Неғұрлым дыбыс толқыны күшті болса, тасымалдаушы жиілік соғұрлым үлкен болады және керісінше. УҚТ радиостансылар мен телевидениеде дыбыс толқындарын беру үшін жиіліктік модуляция пайдаланылады.

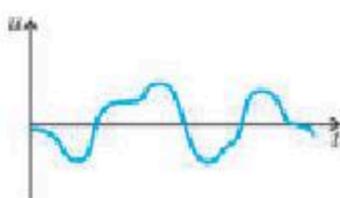
Детекторлеу. Радиоқабылдағыштың антеннасында барлық радиотаратқыштан, найзағайдың разрядынан, электрлік аспаптар мен электрлік қозғалтқыштар жұмыс істегенде шығатын ұшқындық разрядтан келетін электромагниттік толқындар жоғары жиілікті өлсіз индукциялық тоқты қоздырады. Сондықтан белгілі бір радиохабарды ғана тыңдау үшін тізбекке тербелмелі контурды қосу арқылы қажетті жиіліктегі толқынды бөліп алады. Ол тербелмелі контурдағы конденсатордың сыйымдылығын өзгертіп, контурдың меншікті тербеліс жиілігін антеннадағы қозған еріксіз тербелістердің жиілігіне сәйкестендіру арқылы, яғни резонанс нәтижесінде жүзеге асырылады. Жоғары жиілікті модуляцияланған электромагниттік толқынды қабылдағыш антенна ұстаған соң дыбыс жиілігінде тербелістерді күрделі сигналдан бөліп алу керек. Демодуляцияны немесе детекторлеуді жүзеге асыратын құрылғы ретінде біржақты өткізгіштік қасиеті бар *детектор* қолданылады. Детектордің рөлін жартылай өткізгішті *диод* немесе *транзистор* да атқара алады.



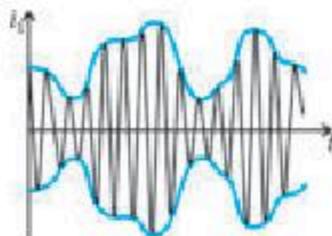
25.4-сурет

Ең қарапайым радиоқабылдағыш немесе детекторлі радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін қарастырайық. Жоғары жиілікті модуляцияланған тербелістер антеннадан 1 резонанстық контур 2 арқылы детекторге 3 келіп түседі (25.4-сурет). Детектор тізбегінде графигі 25.5-суретте көрсетілген амплитудалары өртүрлі қысқа мерзімді

импульстер тізбегі түрінде электр тогы туады. Осындай импульстер тізбегін дыбыс жиілігіндей айнымалы токқа түрлендіру үшін конденсатор 4 пен резисторды 5 пайдаланылады. Әрбір жарты период сайын жоғары жиілікті ток импульсі конденсаторды зарядтайды. Ал импульстер арасында конденсатор резистор арқылы разрядталады. Конденсатордың сыйымдылығы және резистордың кедергісі дұрыс таңдалып алынса, онда резистор арқылы дәл таратқыш стансыдағы дыбыс жиілігіндей айнымалы ток өтеді. Дыбыстағышта немесе телефон мембранасында берілген дыбыстар қайталанады.



а)



ә)

25.5-сурет



1. Амплитудалық модуляция дегеніміз не?
2. Жоғары жиілікті модуляцияланған тербелістерді өндіретін қондырғының жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
3. Модулятор қалай жұмыс істейді?
4. Радиоқабылдағыштағы антенна не үшін керек?
5. Қажетті радиостансының толқынын қалай қабылдауға болады?
6. Детекторді қандай мақсатта қолданады?
7. Ең қарапайым детекторлі радиоқабылдағыштың сұлбасын сызыңдар.
8. 25.4-суреттегі C конденсатор мен R резистордың атқаратын рөлін түсіндіріңдер.

§ 26. Радиотолқындардың таралуы. Радиолокация



Тірек ұғымдар:

- ✓ радиотолқындардың атаулары
- ✓ радиолокация

Бүгінгі сабақта:

- радиотолқындардың түрлері және радиолокация әдісімен танысасыздар.



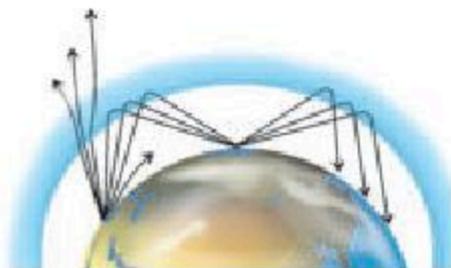
Радио- және телехабарларда, радиобайланыста, радиолокация мен радионавигацияда қолданылатын электромагниттік толқындарды *радиотолқындар* деп атайды. Радиотолқындарды 26.1-кестеде көрсетілгендей бірнеше диапазондарға бөледі.

26.1-кесте

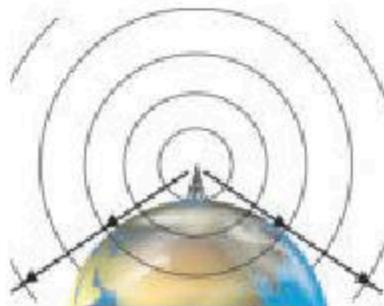
Толқындардың аталуы	Толқын ұзындықтарының диапазоны, λ , м
Аса ұзын толқын	$\lambda > 10000$
Ұзын толқын	10000—1000
Орташа толқын	1000—100
Қысқа толқын	100—10
Ультрақысқа толқындар:	
— метрлік;	10—1
— дециметрлік;	1—0,1
— сантиметрлік;	0,1—0,01
— миллиметрлік	0,01—0,001

Толқын ұзындықтары өртүрлі диапазондарда қолданылатын антенна түрлерінің ерекшелігі бар. Радиохабарларды тарататын ұзын, орташа, қысқа толқындарды вертикаль бағытталған өткізгіш вибраторлар шығарады. Қабылдау қашықтығын арттыру мақсатында антенналарды мүмкін болғанынша биік орнатуға тырысады. Радиолокация, ғарыштық радиобайланыс және телехабарлар үшін ультрақысқа толқындарды пайдаланады. Ұзындығы жарты толқын ұзындығына тең вибратор немесе бірнеше осындай вибраторлардан құралған антенна бағытталған метрлік электромагниттік сәуле шығарады. Сантиметрлік және дециметрлік диапазондағы радиосәулелерді шығару үшін параболалық шағылдырғыштар қолданылады.

Радиотолқындардың таралуына жер бедері мен су беттері, әсіресе атмосфераның жоғарғы қабаты — ионосфера көбірек әсер етеді. Ионосфераны жер бетінен 90—300 км биіктікте иондар мен электрондардан тұратын иондалған газ қабаты құрайды. Атмосфераның жоғары қабатының иондалуы, негізінен, Күннің ультракүлгін және рентген сәулелерінің әсерінен болады. Түнмен салыстырғанда иондардың концентрациясы күндіз 20 еседей артық. Сондықтан ионосфераның қасиеті тәулік бойы және жыл мезгіліне байланысты өзгеріп тұрады.



26.1-сурет



26.2-сурет

Ионосфера электромагниттік толқындарды шағылдырады және жұта алады. Ұзын радиотолқындар дифракция нәтижесінде көкжиектен асып алысқа жетеді. Өрі ионосферадан жақсы шағылады, сол себепті ұзын толқындар шалғай қашықтыққа тарайды.

Қысқа толқындардың алыс қашықтыққа таралуы оның жер бетінен және ионосферадан бірнеше дүркін шағылуының арқасында болады. Жердегі кез келген радиостансымен қысқа толқында байланыс орнатуға болады (26.1-сурет). Ультрақысқа толқындар ионосферадан шағылмай, ешбір кедергісіз өтіп кетеді. Олардың дифракциялық қасиеті нашар, жер бетін орағытып өтпейді. Сондықтан ультрақысқа толқынды байланыс таратқыш антеннаның тікелей көріну аймағында ғана жүзеге асырылады (26.2-сурет). Ретрансляторлар мен серіктерді пайдаланып, шалғай қашықтыққа теле- және радиобағдарларды тарату мүмкін болды.

Радиолокация. Радиотолқындар арқылы нысанды тауып, оған дейінгі қашықтықты және оның кеңістіктегі орнын, қозғалыс жылдамдығын анықтау радиолокация деп аталады. Радиолокация негізіне радиотолқындардың денелерден шағылуы алынған. Ол радиотолқындар шағылатын нысандардың сызықтық өлшемдері толқындардың ұзындығынан артық болғанда айқын байқалады. Сондықтан радиолокациялық стансыларда ультрақысқа толқындарды қолданады. Радиолокацияда нысанды табу үшін сүйірлене бағытталған электромагниттік толқын шоғы пайдаланылады. Дециметрлік және одан кіші толқын ұзындығымен жұмыс істейтін радиолокаторларда бағытталған толқынды параболалық металл айнаның фокусында орналасқан антенналар шығарады. Метрлік толқындарды сүйірлей бағыттау үшін белгілі бір қалыпта орналасқан антенналар жүйесін қолданады. Бір бағытта интерференция салдарынан толқындар күшейіп сүйірлене бағытталса, өзге бағыттарда олар бірін-бірі толығымен немесе жартылай өшіреді. Радиолокатор немесе радар таратқыш және қабылдағыш күрделі радиотехникалық жүйелерден тұрады. Радиолокатор *импульстік режимде* жұмыс істейді. Ұшақтың орнын анықтау үшін оған радиолокатордың антеннасын бағыттайды, ал генератор қысқа

мерзімді электромагниттік толқындардың периодты импульстерін шығарады (26.3-сурет). Өрбір импульстің ұзақтығы $t = 10^{-6}$ с шамасындай, ал импульстік аралықтары $t = 10^{-3}$ с, яғни 1000 еседей үлкен. Нысаннан шағылған электромагниттік толқынды радиолокатордың таратқыштан қабылдағышқа ауыстырылып қосылған антеннасы импульстердің үзлісі мезетінде қабылдайды. Электромагниттік толқынның нысанға барып және шағылып кері қайтуға кететін t уақытын өлшеу арқылы арақашықтықты анықтайды:

$$l = c \cdot \frac{t}{2},$$

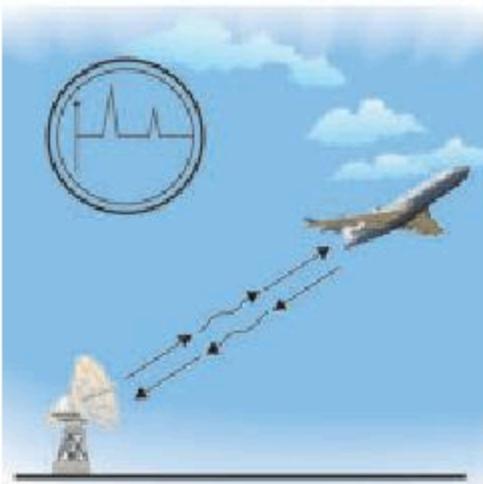
мұндағы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — радиотолқынның вакуумда таралу жылдамдығы.

Радардың экранында жіберілген және шағылған электромагниттік толқындардың импульстеріне сәйкес келетін электрондық шоқтың ауытқуын бақылайды және қашықтықты тікелей өлшейді. Өйткені экрандағы импульстерге сәйкес ауытқулардың арасы толқынның жүріп өту t уақытына және нысанға дейінгі l қашықтыққа тікелей пропорционал. Радиолокатор антеннасы кез келген бағытта қозғала алады. Антеннаның қозғалу бұрышы бойынша, мысалы, ұшақтың бағытын, оның координатасын анықтайды. Уақыттың өтуіне байланысты координаталардың өзгеруі бойынша нысанның жылдамдығы мен оның траекториясын есептейді.

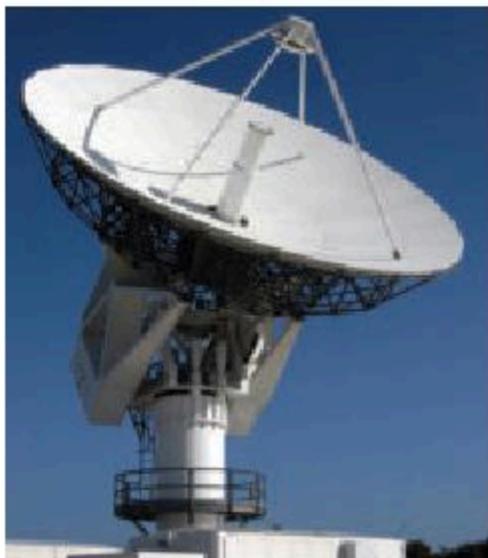
Қазіргі кезде радиолокацияны қолдану саласы аумақты, соның ішінде еліміздің қорғаныс мақсатында зымырандарды, ұшақтар мен кемелерді байқап, анықтап отырады. Радарлар бірнеше жүздеген километрге дейінгі қашықтықтағы нысандарды байқай алады. Өуежайлардағы операторлар ұшақтардың ұшуы мен қонуы, өуе жолындағы қозғалысын радиолокаторлар арқылы бақылайды және тиісті нұсқаулар беріп, ұшу қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Құрғақ және ылғалды жер бедері, қалалық ғимараттар, транспорттық коммуникациялар, су және т.б. радиотолқындарды түрліше шағылдырады. Ұшақтан радиолокациялық құралдар арқылы ұшқыш жерге дейінгі қашықтықты, ұшу жылдамдығын ғана біліп қоймайды, сонымен бірге жер бетінің радиолокациялық картасын көріп отырады. Ол бұндай ақпаратты күндіз де алып отырады.

Радиолокация ғарыштық зерттеулер мен астрономияда қолданыла-



26.3-сурет



26.4-сурет

ды. Радиотелескоптар (26.4-сурет) арқылы шалғайдағы ғарыш денелері шығаратын көрінбейтін кең диапазондағы электромагниттік толқындарды қабылдай отырып, әлемнің құрылысын зерттеу мүмкін болды. Радиолокациялық әдіс негізінде Жерден Айға және Меркурий, Шолпан, Марс, Юпитер планеталарына дейінгі қашықтықтар дәл анықталды.

Ғарыштық кемелердің барлығы бірнеше радиолокатормен жабдықталған. Олар тікелей планеталар бетінің қыртысын көрсете алады, аспан денелері туралы көп мағлұматтар береді.



1. Радиотолқындардың барлық диапазондарының шегарасын атаңдар. Әртүрлі диапазондарға сәйкес келетін жиіліктерді есептеп табыңдар.
2. Ұзын радиотолқындар не себепті алыс қашықтыққа тарай алады?
3. Шалғай қашықтыққа қысқа толқындар арқылы радиобайланыс қалай жүзеге асады?
4. Ионосфераның пайда болу себебі неде?
5. Жыл, тәулік мезгілдеріне байланысты қысқа толқындағы радиобайланыс сапасы не себепті өзгеріп отырады?
6. Не себепті телехабарлар үшін таратқыш антенналар биікке орналасуы қажет?
7. Радиолокация дегеніміз не?
8. Радиолокатордың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
9. Дененің кеңістіктегі координатасын, оған дейінгі қашықтықты, жылдамдықты қалай өлшейді?



1. Радиолокацияның дамуы.
2. Радиолокацияның қолданылуы.
3. Радиотелескоптар.

Есеп шығару мысалы

Радиолокатор 15 см толқын ұзындығында жұмыс істейді және жиілігі 4 кГц импульстер шығарады. Өрбір импульстің ұзақтығы $\tau = 2$ мкс. Нысанды анықтаудың ең алыс қашықтығы қандай болады? Бір импульстегі тербелістер саны қанша? Радиотолқындағы электромагниттік тербелістердің жиілігі қандай?

Берілгені:

$$\lambda = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

$$\nu_{\text{имп}} = 4 \text{ кГц} = 4 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$\tau = 2 \text{ мкс} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$l_m = ? \quad N_{\text{терб}} = ?$$

$$\nu_{\text{терб}} = ?$$

Шешуі. Нысанға дейінгі қашықтықты анықтау үшін

$$l_m = ct$$

формуласын пайдаланамыз. Мұндағы t — радиотолқынның таралу уақыты. Радиотолқынның радардан нысанға барып және шағылып қайтып келу уақыты

$$t_{\text{ж}} = 2t, \text{ осыдан } t = \frac{t_{\text{ж}}}{2} \text{ және } l_m = c \cdot \frac{t_{\text{ж}}}{2}.$$

Радиолокатор импульстік режимде жұмыс істейтіндіктен, τ уақыт ішінде радиотолқындарды шығарады және $t_{\text{ж}}$ уақытта кеңістікте таралып нысанға барып, кері шағылып қайтқаннан кейін ғана келесі импульсті шығарады.

$$\text{Сондықтан } t_{\text{ж}} = \frac{t}{N_{\text{имп}}} = \frac{t}{\frac{t}{T}} = \frac{1}{\nu_{\text{имп}}}.$$

$$\text{Ендеше, } l_m = \frac{c}{2\nu_{\text{имп}}}.$$

Біз белгісіз шамалардың бірін анықтадық. Енді бір импульстегі тербеліс санын $N_{\text{терб}}$ табайық. Ол бір импульстің τ ұзақтығының электромагниттік тербелістің $T_{\text{терб}}$ периодына қатынасына тең:

$$N_{\text{терб}} = \frac{\tau}{T_{\text{терб}}}.$$

Тербеліс периодын анықтайық:

$$T_{\text{терб}} = \frac{c}{\lambda}. \text{ Олай болса, } N_{\text{терб}} = \frac{\tau \cdot \lambda}{c}.$$

Енді электромагниттік тербеліс жиілігін табуымызға болады:

$$\nu_{\text{терб}} = \frac{1}{T_{\text{терб}}} = \frac{c}{\lambda};$$

$$l_m = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 4 \cdot 10^3} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ м}; \quad N_{\text{терб}} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,15} = 4 \cdot 10^3;$$

$$\nu_{\text{терб}} = \frac{3 \cdot 10^8}{0,15} = 2 \cdot 10^9 \text{ Гц}.$$

Жауабы: $3,7 \cdot 10^4$ м; $4 \cdot 10^3$; $2 \cdot 10^9$ Гц.



14-жаттығу

1. Электромагниттік толқын арқылы неліктен су астында жүзіп жүрген сүңгуір қайықпен радиобайланыс жасалынбайды?
2. Мұхитта белгілі бір тереңдікте жүзіп жүрген екі сүңгуір қайық арасында радиобайланыс жасау мүмкін бе?
3. Алматыдағы Көктөбеде орналасқан телемұнараның биіктігі 372 м, ал қабылдау антеннасының биіктігі 10 м. Көктөбенің өзінің биіктігі 250 м болса, телехабарлар қандай қашықтықта қабылданады? Жердің радиусы 6 400 км.

Жауабы: 100,5 км.

4. Радиолокатордан жіберілген импульстің нысанға барып және одан шағылып қайта келу ұзақтығы 0,0001 с болса, нысанға дейінгі қашықтықты есептеңдер.

Жауабы: 15 км.

5. Радиолокатордың жұмыстық толқын ұзындығы 5 см және шағылатын импульстерінің ұзақтығы 1,5 мкс. Өрбір импульсте неше тербеліс болады? Нысанды анықтаудың ең аз қашықтығын табыңдар.

Жауабы: 3000; 225 м.

6. Кеме радиолокаторы теңіз бетінен 25 м биіктікте орналасқан. Осы радармен теңіз бетіндегі құтқарушы нысанды қандай ең алыс қашықтықтан көруге болады? Осы кезде импульстер қандай жиілікпен шығарылады?

Жауабы: 18 км; $8,3 \cdot 10^8$ Гц.

- *7. Ғарышкемелерімен радиобайланыс қашықтығын 3 есе арттыру үшін неліктен таратқыштың қуатын 9 есе арттыру керек? Радиолокация қашықтығын 3 есе арттыру үшін таратқыштың қуатын неше есе арттыру керек? Екі жағдайда да радиотолқындардың көзі нүктелік деп есептеңдер. Радиотолқындардың таралуы кезіндегі энергияның жұтылуын ескеріңдер.

Жауабы: 81 есе.

§ 27. Цифрлық технология



Тірек ұғымдар:

- ✓ аналогтік сигнал
- ✓ цифрлық сигнал
- ✓ бит, байт
- ✓ негізгі цифрлық арна
- ✓ ақпараттық арна

Бүгінгі сабақта:



- аналогтікпен салыстырғанда цифрлық форматтағы сигналды берудің артықшылықтарын түсінесіңдер.

Күндер өткен сайын біздер цифрлық технология әлеміне еніп барамыз және бұл процесс уақыт өткен сайын үдей түсуде. XIX ғасырдың екінші жартысында ашылған телеграф және телефон байланыстары, XX ғасырдың бірінші жартысында дүниеге келген радио-телебейне байланысы аналогтік сигналдар негізінде жұмыс істеді. Телефон мен телеграфта сигналдар өткізгіш желілерде электр тогы арқылы бір нысаннан екінші нысанға тасымалданып отырады. Радиобайланыс пен телебейнеде аналогтік сигналдар электромагниттік толқындармен беріледі. Қазіргі таңда байланыс арналары хабарларды бірнеше сигнал түрлерімен таратады, соның ішінде кең таралғандары — *аналогтік және цифрлық сигналдар*. Сигнал (лат. *signum* — белгі) — берілген хабарды тасымалдайтын физикалық процесс. Электр сигналы — параметрлері тасымалданатын хабардың заңдылығымен өзгертін электр тогы немесе электр кернеуі. *Аналогтік сигнал* — *үздіксіз мәнді және уақыт функцияларының параметрлері жиілікпен, фазамен және амплитудамен сипатталатын деректер сигналы*. Оның пішіні синусоида түрінде болады. Аналогтік жүйенің тұтынушылар сұранысын қанағаттандыра алмауы жаңа цифрлық технологияның өркендеуіне жол ашты.

Аналогтік сигнал арқылы ақпарат таратудың кейбір ерекшеліктеріне тоқтала кетейік.

1. Аналогтік сигналдың формасы күрделі.
2. Бұрмаланған аналогтік сигналды түзету қиын, кейбір жағдайда мүмкін емес.
3. Хабар таратудың байланыс жолында жіберген сыртқы кедергілерге сезімтал аналогтік сигналдарды алғашқы қалпына келтіру қиын, тек күшейтуге болады.
4. Байланыс арнасын тығыздау мен топтау жиілікпен анықталады.
5. Тұтынушыларға көрсететін қызметі шектеулі.
6. Элементтік базалары күрделі және т.б.

Қоршаған ортадан келетін ақпаратты адам сезім мүшелері арқылы қабылдайды. Жарық, жылу, дыбыс — бұлар энергетикалық сигналдар, ал дәм және иіс — бұлар химиялық қосылыстар өрекетінің өсері, өрине, оның негізгі табиғаты бәрібір энергетикалық болып табыла-

ды. Біз үздіксіз энергетикалық өрекетті сезінеміз, бұл ақпараттың барлығы аналогтік болып келеді. Адам сөйлегенде дыбыс жиілігі 80 Гц-тен 12000 Гц-ке, ал есту мүмкіншілігі 16 Гц-тен 20000 Гц арасында болады. Олай болса, дыбыс — үздіксіз аналогтік сигнал. Енді осы дыбысты нотаға түсірсек, онда ол цифрлық ақпаратқа айналады. Аналогтік ақпарат пен цифрлық ақпараттың негізгі айырмашылықтары ең алдымен мынада: *аналогтік ақпарат — үздіксіз, ал цифрлық ақпарат — дискретті* (үздікті). Цифрлық сигнал — тек екі мәнді, яғни “0” мен “1”-ді қабылдайтын сигнал: кез келген уақыт мезетінде электр кернеуінің мәні екі деңгейдің біріне сәйкес келеді. Екі деңгейлі сигналды екілік *цифрлық сигнал* деп атайды. Кернеудің екі үздікті деңгейімен жұмыс істейтін екілік логикалық сұлбаларда деңгейлердің бірі, жоғарғысы логикалық “1”-ге (ақиқат) сәйкес келеді, ал екіншісі, төменгісі логикалық “0”-ге (жалған) сәйкес келеді. Үлкен деректерді сақтауда үшінші NULL “нәтиже жоқ” деңгейін де пайдаланады.

Цифрлық технологияда ақпараттар мөлшерін өлшеудің өзіндік ерекшеліктері бар. Ақпарат өлшемінің бірлігі *бит* деп аталады (ағылшынша “binary digit” сөзінің қысқарған түрі — “екілік цифр” деген сөз).

Бит — ақпарат мөлшерін өлшеудің екілік кодтағы бірлігі, оның шамасы мүмкіндігі тең екі жағдайдың бірі туралы ақпаратқа тең.

Байт — ақпараттың 8 битке тең өлшем бірлігі. Мұны компьютер біртұтас бірлік ретінде қарастырады. Байтпен компьютерде қолданылатын қажетті символдарды кодтайды. Ірі өлшем бірліктермен танысайық:

1 Кбайт (бір килобайт) = 2^{10} байт = 1024 байт.

1 Мбайт (бір мегабайт) = 2^{10} Кбайт = 1024 Кбайт.

1 Гбайт (бір гигабайт) = 2^{10} Мбайт = 1024 Мбайт.

Цифрлық сигналдың ерекшеліктерін атап өтейік:

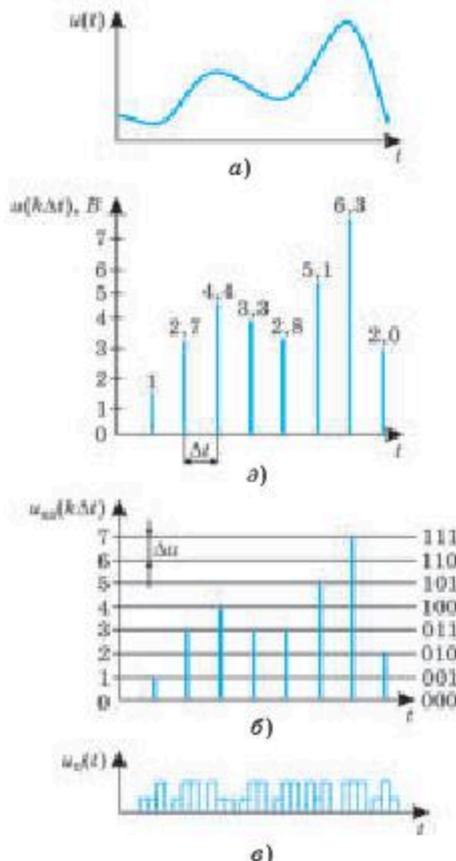
1. Цифрлық сигнал көбінесе 2-3 деңгейлі болып келеді.
2. Сигналдың қатесін табуға және оны түзетуге болады.
3. Байланыс жолында әлсіреген цифрлық сигналдарды алдымен қалпына келтіріп, содан кейін күшейтуге болады.
4. Байланыс арнасын тығыздау (сығымдау) мен топтау уақытпен орындалады.
5. Көрсететін қызмет өртүрлі.
6. Жылдамдығы есептеледі.

7. Интегралды микросхемаларды пайдалану мүмкіндігі жоғары. Мысал келтірейік, 100 беттік кітаптағы ақпаратты цифрлық форматқа ауыстырсақ, ол 0,166 Мбайт ғана болады. Цифрлық хабар тарату жүйесі 70-жылдардың басында жүзеге асырылды. Ол үшін аналогтік сигналдарды түрлендіру мақсатында, мысалы, адамның сөзі, импульстік кодтың модуляциясы (ИКМ) қолданылды. Оның негізгі

қағидасы мынада: аналогтік сигнал (27.1, а-сурет) алдымен уақыт бойынша дискреттеледі (27.1, ә-сурет), содан соң амплитуда (жиілік, фаза) бойынша квантталады (27.1, б-сурет), осыдан кейін квантталған амплитуда мәндері екілік сигнал түрінде кодталады (27.1, в-сурет).

Телефон сигналы спектрінің максимал жиілігі 3400 Гц болғандықтан, цифрлық дыбыс сигналы 64 Кбайт/с жылдамдықпен таралады, осы арнаны негізгі цифрлық арна деп атайды. Ақпарат көзі болып табылатын құрылғы, нәрсе немесе нысандар жиынтығынан ақпаратты оны қабылдаушыға жеткізу арнасын ақпараттық арна дейді. Байланыс жолында ақпараттық түрленіп берілетін арналар бар. Ақпаратты түрлендіруде цифрлық технологияны қолданатын құрылғы — компьютерлер.

Сыртқы құрылғылардан түскен ақпарат клавиатурадан, дискіден, микрофоннан ішкі кодқа түрленеді, өңделеді және түрі өзгеріп, сыртқы құрылғыларға — мониторға, принтерге, динамикке беріледі. 27.2-суретте цифрлық радио-телебайланыс жүйесінің негізгі модульдері көрсетілген сұлба берілген.



27.1-сурет. Цифрлық сигналды қалыптастыру:

а) аналогтік сигнал; б) дискреттеу; в) квантталған сигнал; г) цифрлық сигнал



27.2-сурет

Аналогтік дыбыс сигналы микрофонда электр тербелісінің сигналына өзгереді, енді осы ақпаратты цифрлық сигналға түрлендіру аналогтік-цифрлық түрлену немесе цифрлау делінеді. Ол АЦТ (аналогтік-цифрлық түрлендіргіш) құрылғысында жүзеге асырылады, яғни сигнал дискреттеледі, квантталады және кодталады (ИКМ). Байланыс арнасы арқылы цифрланған ақпарат қабылдағышқа келіп түседі де, ЦАТ-та (аналогтік-цифрлық түрлендіргіш) аналогтік сигналға өзгеріп, тұтынушыға жеткізіледі (динамик, монитор және т.б.). Цифрлық радиохабарда дыбыс сапасы ерекше, анық және айқын. Цифрлық технологиямен жасалатын радиохабарларының тағы бір артықшылығына қозғалыстағы радиоқабылдағыштарға келетін сигналдың сапасы жоғары болуы және оның сигналдарының ең күштісін автоматты түрде таңдай алуы жатады. Цифрлық радиохабарларға қоса “радиомультимедиа” түріндегі хабарлар да жүреді. Олар тыңдаушыларға қосымша ақпаратты радиоқабылдағыш дисплейіне береді. ЦРХ телефондармен және компьютерлермен тығыз байланысты. Ұялы телефондарға мультимедиа файлдарының жіберілуі мен қабылдануы осы ЦРХ арқылы іске асады. Дыбыс табиғатын өзгертпей, қаз-қалпында тыңдаушыларға жеткізу мәселесін цифрлық технология шешіп келеді. Қазіргі заманауи компьютерлердің қуаты мен икемділігі, дыбыс жазудың алгоритмдері мен сығымдау тәсілдері әбден жетілдірілген, дыбыс пен өуенді табиғи қалпына өте жақын күйде бере алады. Дыбысты, өуенді компьютерге көшіру цифрлық технологияның орасан жетістігі болып табылады және:

- цифрлық сигнал ешқашан сапасын жоймайды, өздігінен өзгермейді, ал аналогтік дыбыс магнитті лентада ұзақ сақталмайды және оның сапасы қайта көшіру кезінде төмендейді;
- компьютерде өңдеу зор шығармашылық мүмкіндіктер береді;
- көп арналы өңдеу, қосымша дыбыстармен араластыру, деңгейін өзгерту оңай жүзеге асырылады;
- шу деңгейі өте төмен;
- лазерлік технологиялармен кірігуі, CD және DVD технологиялары музыканы сақтау мен жеткізудің ең үздік құралдары болып қалыптасты;
- орасан зор музыкалық архивтер жасауға және оны еркін тасымалдауға мүмкіндік береді, MP3 тәсілімен (MPEG-1 Audio Layer 3) миллиондаған өндер, музыкалық шығармалар таратылады;
- қашықтыққа тасымалдау мүмкіндігі өте жоғары, цифрлық өуен сол табиғи күйінде өлемнің кез келген жерінде ойналады, интернетпен жіберу өте қолайлы.

Цифрлық теле-радиобайланысты Қазақстанда дамытудың бағдарламасы жасалынып іске асырылуда. 2012 жылы 3 шілдеде DVB-T2 цифрлық форматта Нұр-Сұлтан, Алматы, Қарағанды, Жезқазған, Жаңаөзен қалаларында алғаш рет эфирлік цифрлық телехабарлар тара-

тылды. Алматы қаласы мен облыс орталықтарында SDTV-дің 30 каналына тепе-тең екі мультиплекс каналы, ал басқа елді мекендерде 15 каналдан тұратын бір мультиплекс каналы жұмыс істейді. Цифрлық телехабарларды тарату желісінің құрылысы 2015 жылы аяқталды. Оған дейін ұлттық телехабарларды тарату операторы АҚ “Қазақтелерадио” аналогтік хабар тарату желісін параллель қолданған.

Цифрлық технология күннен-күнге қарқынды дамып келеді. Оның адамзат баласының өркениетті дамуына зор әсерін тигізуі сөзсіз.



1. Аналогтік сигналды таратудың артықшылықтары мен кемшіліктерін сипаттаңдар.
2. Цифрлық сигналды таратудың ерекшеліктерін жүйелеп талдаңдар.
3. “Smart city”-де цифрлық технология қалай қолданылады?

§ 28. Талшықты-оптикалық коммуникациялық желілер

Оптикалық талшық (жарық-жетек) концентрлі екі қабаттан, яғни өзекшеден және оптикалық қабықтан тұрады (28.1-сурет).

Өзекше жарықты тасымалдауға арналған. Оны қоршап тұрған оптикалық қабықтың сыну көрсеткіші өзекшенікінен басқаша болады және өзекшеде жарықтың толық ішкі шағылуын қамтамасыз етеді. Жарықтың толық ішкі шағылуын біз келесі тарауда оқитын боламыз.

Оптикалық қабықтың сыну көрсеткіші өзекшенікінен 1%-дан кіші болып келеді. Әрине, оптикалық қабықтың сыртында қосымша қорғағыш қабықша болады. Ол көбінесе бір немесе бірнеше қабаттан тұратын полимерден жасалынады және талшықты сыртқы зиянды әсерден қорғайды.

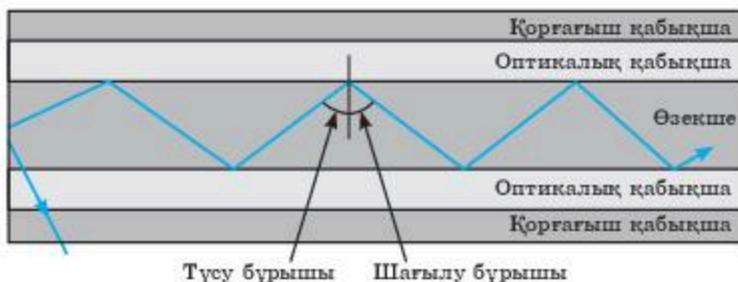
28.2-суретте жарықтың талшық бойымен таралуы көрсетілген.

Жарық сәулесі “ядро-оптикалық қабықша” шегарасына шекті бұрыштан артық бұрышпен түсетіндіктен, осы шегарада толық шағылуға ұшырайды. Түсу бұрышы мен шағылу бұрышы тең болғандықтан, жарық өрі қарай да шегарадан шағылады. Осылайша жарық сәулесі талшық бойымен сынық траекториямен қозғалады.

Шегараға шекті бұрыштан кіші бұрышпен түскен жарық сәулелері оптикалық қабықшаға өтіп, сонда жұтылады. Талшықты-оптикалық



28.1-сурет. Жарықжетектің құрылысы



28.2-сурет. Оптикалық талшықтағы толық ішкі шағылу

байланыс — ақпаратты таратуды электромагниттік толқындардың оптикалық диапазондағы диэлектрлік толқын таратқыш арқылы іске асыратын байланыс түрі. 1960 жылы лазер пайда болғаннан бастап байланыс жүйесіне оптикалық диапазондағы ЭМ толқындарды пайдалану мүмкіндігі ашылды.

Оптикалық талшықтың ерекшелігіне тоқталайық:

— негізін кремнийдің қос тотығы құрайтын кең тараған кварцтан жасалатын талшық арзан;

— оптикалық талшықтың диаметрі 100 мкм-дей, яғни өте жеңіл және ықшамды, оның авиацияда приборлар жасауда, кабельдік техникада перспективасы жоғары;

— шыны талшықтар металл емес, жеңіл, сондықтан аса берік пластикті қолданып, оны кез келген ортада қолдануға болады: ауада, жер астында және т.б.;

— талшықтық оптика негізінде жасалынған байланыс жүйелері электромагниттік жағымсыз әсерлерді, кедергілерді сезбейді, ал жарықжетекпен берілетін ақпаратты рұқсатсыз ешкім пайдалана алмайды. Талшықты-оптикалық байланыс жүйесінде бөтен біреулер ақпаратты пайдалана алмайды.

Қазақстанда FTTH технологиясы кеңінен дамуда. FTTH (Fiber to the home) — үйлерге, пәтерлерге орнатылатын талшықты-оптикалық кабель. Жоғары жылдамдықты коммуникациялық желілердің қызметіне өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыру үшін және көрсететін қызметтер спектрін кеңейту үшін 2011 жылы әмбебап талшықты-оптикалық байланыс желісінің құрылысы басталды. Қазақстанның ірі қалаларында және облыс орталықтарында талшықты-оптикалық желілері пайдалануға жаппай берілуде.

Азаматтар мен ұйымдарға ақпаратты және қызметтерді беру міндеттерінің шешімінде базалық құрауыштар ойдағыдай іске асырылды және “электрондық үкімет” инфрақұрылымы құрылды; осындай жобалар ретінде электрондық лицензиялар беру, салықтар мен айыппұлдар төлемі, электрондық нотариат, электрондық кеден, электрондық қолтаңба және т.б. жүзеге асырылуда.

Осы көрсетілетін қызметтердің, теле-радиохабарлардың, ақпаратты интернет арқылы жаһанға таратудың барлығында талшықты-оптикалық байланыстың болашағы зор екенін көрсетеді.



1. Интернет жүйесін сендер үйде, оқуда, жалпы өмірде қалай пайдаланасыңдар?
2. Цифрлық революция туралы не ойлайсыңдар?



Компакт-диск туралы баяндама дайындаңдар: ойлап табылуы, дайындау технологиясы, жазулар.

§ 29. Қазақстандағы байланыс құралдары



Тірек ұғымдар:

- ✓ Форт-Шевченко
- ✓ “Алтел”, “Kcell”, 4G мобильді байланыстары
- ✓ байланыс серіктері

Бүгінгі сабақта:

- Қазақстандағы байланыс құралдарының дамуы және мобильді байланыс жүйесімен танысасыңдар.

Қазақстан Республикасында тұңғыш радиостансы 1913 жылы Форт-Шевченко қаласында салынған еді. Ұшқындық хабарлағыштың қуаты небәрі 1 кВт және ол радиусы 300 км қашықтыққа дейін тұрақты байланыс орнатып, радиотелеграф режимінде жұмыс істеген.

XX ғасырдың екінші жартысында Қазақстандағы байланыс жүйесі қарқынды дамыды. Телеграф және телефон сияқты едәуір ескі байланыс құралдары жетілдіріліп қана қойған жоқ, сонымен қатар фототелеграф, радиохабар, телебейне, автоматты телефон стансылары, халықаралық байланыс және ғарыштық байланыс жүйелері күрт дами бастады. Бұрынырақ қалааралық телефон байланысы бағандарға ілінген сымдар арқылы жүзеге асатын. Сыртқы ортаның әсері байланыстың тұрақтылығына кедергі келтіретін. Сондықтан байланыстың кабельді және радиорелелі желілері бойынша жүзеге асатын түрлері кеңінен қолданыла бастады. Қазақстандағы алғашқы радиорелелі желі Алматы мен қазіргі Бішкек қалаларының арасында салынып, 1958 жылы іске қосылды. Радиорелелі желілерде дециметрлік және сантиметрлік толқындар пайдаланылған, ол толқындар антеннаның тікелей көрліну шегіне дейін тарайтын. Аралық шағын радиостансылар сигналды күшейтіп, өрі қарай көршілеріне бағыттайтын. Телехабарлар да аралары 100—130 км ретрансляторлар арқылы бүкіл республикаға осылайша таралды.

Теледидарлық хабар 1958 жылы әуелі Алматыда, одан соң Өскемен мен Қарағандыдағы телеорталықтардан таратыла бастады. Радиотелехабарлардың сапасы мен таралу аймағын арттыруда Алматыдағы Көктөбеде 1984 жылы іске қосылған телемұнараның рөлі аса маңызды

болды. Көктебедегі телемұнара 250 м биіктікте орналасқан және өзінің биіктігі 372 м-ге жетеді.

Ресейдегі ғарыштық радио-телебайланыс саласындағы жетістіктер “Орбита” деп аталатын жаңа байланыс жүйесін жасауға жол ашты. “Орбита” ғарыштық байланыс стансысы 1967 жылы Алматыда жұмыс істей бастады. Бұл жүйеде ретрансляциялық байланыс серіктері пайдаланылады. Қазіргі кезде халықаралық серіктік байланыс жүйесі жан-жақты даму үстінде. Ол үшін геостационарлық (36000 км) орбитада ұшатын серіктер қолданылады. Сонымен қатар елімізде талшықты-оптикалық байланыс жүйесінің Трансазиялық-еуропалық магистралі іске қосылды. Ұлттық серіктік байланыс жүйесі жасалынууда. 2006 жылдың 18 маусымында Байқоңыр ғарышайлағынан “Kazsat” бірінші қазақстандық байланыс серігі ұшырылды.

Қазіргі кезде осы сериялы байланыс серіктерін ұшыру бағдарламалары жүзеге асуда. Заманауи жаңа байланыс құралдарын дамытуда елімізде 2013 жылы қабылданған мемлекеттік “Ақпараттық Қазақстан-2020” бағдарламасы ақпараттық қоғамға өтуге жағдай туғызуға бағытталған. Соның ішінде интернет желісін қолданушылар санын 75% -ға, халықты эфирлік сандық теле-радиохабарларды таратумен қамту 95% -ға, электрондық түрде ұсынылатын мемлекеттік қызметтердің үлесін 50% -ға дейін жеткізу көзделген. Адамзат өркениетінің ХХІ ғасырдағы дамуы ғылыми-техникалық революцияның кезекті кезеңі ақпараттық, коммуникациялық технологияларды өмірдің барлық салаларына енгізумен сипатталады. Бұл технологиялар адам өмірінің тұрмыс-салтын өзгертіп, ақпараттық қоғамға, әлеуметтік-экономикалық және мәдени дамуы жоғары қоғамға көшу үшін іргетас өрі материалдық база болады. Қазіргі заманда ең жақсы және қарқынды дамыған байланыс жүйесі — мобильді радиобайланыс жүйесі (ұялы байланыс жүйесі). Әлемде алғаш рет 1973 жылы ұялы телефоннан қоңырау шалған “Motorolla” компаниясының мобильді байланыс жүйесі бөлімінің бұрынғы басшысы Мартин Купер еді. Бар-жоғы 41 жылдан соң мобильді телефон адамзат өмірін түбегейлі өзгертеді деп кім ойлаған. Мобильді радиотелефон тек байланыс үшін ғана емес, ол кредит карточкасына, тұрмыс құралдарының басқару пульті, фото-видеокамера және организер ретінде кең қолданыс табады.

Республикамыздағы мобильді байланыс жүйесінің даму тарихы 1994 жылы пайда болған бірінші ұлттық “АЛТЕЛ” байланыс операторынан басталады. Компания 825 МГц-тен 890 МГц жиіліктегі диапазонда AMPS (Advanced Mobile Phone Service) мобильді байланыстың аналогтік стандартындағы қызмет жүйесін ұсынды. Ол үшін “Motorolla” фирмасының технологиясы мен жабдықтары пайдаланылады. Еліміздегі байланыс құралдары дамуының кезекті кезеңі 1998 жылы “Кар-Тел” компаниясының қызмет көрсетуінен басталды. Қазіргі кезде Қазақстанда ұялы байланыс жүйесі, негізінен алғанда, GSM, UMTS және CDMA форматында жүзеге асырылады. Қазақстанда ұялы байла-

ныс желісін, негізінен, GSM (900, 1800) МГц, UMTS/WCDMA (2100) МГц және CDMA (450, 800) МГц стандарттарында мына операторлар қызмет көрсетеді:

- “Kcell” АҚ — сауда маркалары: Kcell, Activ және Vegaline;
- “Кар-Тел” ЖЖС — сауда маркасы — Beeline;
- “Мобайл Телеком Сервис” ЖЖС — сауда маркасы — Tele 2;
- “АЛТЕЛ” АҚ — сауда маркалары: Dalacom, Pathwovd және City.

Қазақстанда 4G технологиясы енгізілуде. Ал қолданыстағы 3G технологиясы бұл үшін буынның ұтқыр байланысы. Оның басты артықшылығы — деректерді берудің, интернетке қол жеткізудің жоғары жылдамдығы. 3G үшінші буынның желілері бейнетелефондық байланысты ұйымдастыруға, ұтқыр телефонда ағымды бейнені көруге және т.б. мүмкіндік береді. 2011 жылы ұялы байланыс операторлары қалаларда және Қазақстанның барлық облыс орталықтарында 3G үшінші буын желілерін пайдалануды енгізді.

4G-LTE технологиясы (Long Term Evolution) — деректерді 300 Мбит/с жылдамдықпен базалық стансыдан тұтынушыға және 75 Мбит/с жылдамдықпен тұтынушыдан базалық стансыға пакеттік беру үшін оңтайландырылған, жоғары жылдамдықты ұтқыр байланыс жүйесі.

4G технологиясы қол жеткізу қызметтерінің интернет жүйесіне енуін дамытуға, оның ішінде Ілеспе қызметтер спектрін кеңейтуге, ұтқыр ТВ (IPTV), бейнекөрсетілімдер және т.б. байланыстың сапа деңгейін арттыруға және тарифтерді төмендетуге мүмкіндік береді.

2012 жылдан бастап телекоммуникациялар желісінде 4G стандартындағы төртінші буынның желілерін салу жөніндегі жобаны Іске асыру басталды. Біздің елімізде 1980 жылдардың соңына қарай алғашқы кабельдік телебейне желілері салына бастады. Осы кезде республикада кабельдік телебейненің қызметін 146 оператор ұстануда.

2003 жылы наурыз айында Қазақстанда Кабельдік ТВ операторларының ассоциациясы құрылды. Ірі операторлар: “Алма-ТВ” АҚ; “Alem Communications Holding”; “Icon TV”; “Қазақтелеком”; “IDTV”.

Серіктік байланыс жүйесін дамытуда “Байқоңыр” ғарышайлағының маңызы зор. Серіктік “Жарық” байланыс жүйесі арқылы телехабарларды Қазақстанның барлық аймақтарына, Ресей, Өзбекстан, Қытай, Моңғолия мемлекеттерінің шегаралас елді мекендеріне тарату мүмкіндігі жүзеге асырылады. 2014 жылы ұшырылған “Kazsat-3” серігі телекоммуникациялық байланыста енді шетелдік байланыс операторларынан тәуелсіз болуды қамтамасыз етеді. 2014 жылы Жерді дистанциялық зондылайтын (ДЗ) тұңғыш қазақстандық “KazEOSat-1” серігі ұшырылды.



1. Өздерің тұратын қалаларда, мекенжайларыңда қандай байланыс түрін білесіңдер?
2. 3G, 4G стандарттары туралы жоба дайындаңдар.
3. 5G стандарты және жасанды интеллект туралы баяндама дайындаңдар.

§ 30. Жоғары жиілікті электромагниттік толқындардың биологиялық әсері және олардан қорғану



Тірек ұғымдар:

- ✓ санитарлық шекті мән 1000 В/м
- ✓ жиілігі жоғары электромагниттік толқын



Бүгінгі сабақта:

- байланыс жүйелерінде қолданылатын жиілігі жоғары электромагниттік толқындардың адам ағзасына тигізетін әсерін түсінесіңдер.

Адамзат гравитациялық өріс, радиоактивті сәулелер және электромагниттік сәулелер мұхитында өмір сүріп келеді. Өлемдік өркениеттің дамуы сыртқы ортаның табиғи өріс көздеріне жасанды сәуле шығарудың көздерін қосты. Электромагниттік сәуле шығарудың табиғи және жасанды түрлері бар. Табиғи электромагниттік өрістерге атмосфераның, Күн мен жұлдыздардың радиосәулеленуі, Жердің электр және магнит өрістері жатады.

Жасанды электромагниттік өріс көздеріне теле-радиостансылар, трансформаторлар, радиолокаторлар, электр желісінің жүйелері, микротолқынды пеш, электр пісіргіш, өлшеуіш құралдар, теледидар, ұялы телефон және т.б. жатады. Бұл өрістердің тірі ағзаларға әсер ету белсенділігі олардың интенсивтігіне және тербеліс жиілігіне байланысты өртүрлі болады. Мысалы, микротолқынды пештегі өрісте тауық етін тез пісіруге болады, ал осы кезде ыдыс сол суық күйінде қала береді. Жасанды электромагниттік сәулелену ортасы тұрақты электр және магнит өрістерінен төменгі жиілікті электромагниттік өрістерден және 30 кГц пен 300 ГГц диапазондық аралықтағы радиотолқындардан тұрады. Статикалық өріс тірі ағзаларға жақын аумақта ғана әсер етеді, өйткені оның энергия ағынының тығыздығы арақашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді.

Электр өрісі кернеулігінің адамдар үшін санитарлық шекті мән $1 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ -ге тең. Жоғары кернеулі электр жеткізу жүйелерінде бұл шекті деңгей ондаған, тіпті жүздеген метр аралыққа дейін ауытқиды. Арнайы жүргізілген зерттеулер алты күн бойы электр желісінің астында күніне 3 рет 15 мин-тан тұрғанның өзінде неврологиялық сипаттағы өзгерістерді, мидың жұмыс істеу қабілеттілігінің төмендеуін тудыратынын көрсетті. Қуатты электромагниттік өріс көздеріне өнеркәсіпте пайдаланылатын жиіліктегі токтарды жатқызуға болады. Жоғары кернеулі электр желісі бар аумақтардағы электр өрісінің кернеулігі 1 м-ге шаққанда бірнеше мың вольтқа жетуі мүмкін. Мысалы, кернеуі 330 кВ электр жеткізу торабындағы кернеулік $5000 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, ал кернеу 550 кВ болса, кернеулік $8000 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ -ге дейін жетеді. Дегенмен топырақ электромагниттік толқындарды жақсы жұтатын болғандықтан, электр желісінен 100 м қашық-

тықта өріс кернеулігі жүздеген вольтқа дейін кемиді. Сондай-ақ ғимараттар, ағаштар, жердің бедері өріске тосқауыл болады.

Радио мен теледидардағы жоғары жиіліктегі электромагниттік толқындардың адам ағзасына әсері оның тербеліс жиілігіне байланысты. Жиілік жоғары болғанда, яғни толқын ұзындығы қысқарақ болса, зиянды әсері күшейе түседі. Электромагниттік толқындар алысқа тарала алады, сондықтан олардың адамға әсерінің қауіптілігі сақталады.

Айнымалы электромагниттік толқындар адам денесіне өтіп, ондағы су молекулалары толқынның таралу жағына қарай бағытталады. Сіңір, шеміршек сияқты диэлектриктің айнымалы полярлануы және өткізгіш токтың пайда болуы есебінен ағза жасушаларының қызуын туғызады. Электромагниттік толқындар судың мөлшері көбірек болатын адам денесінің көз, ми, бүйрек, асқазан және т.б. мүшелеріне күштірек әсер етеді. Көз жанарының көмескіленуін тудырады, бұл әсер бірнеше жетіден кейін байқалуы мүмкін. Тұрақты магнит және электростатикалық өрістердің қуаты шекті деңгейден асқанда тыныс алу, асқорыту мүшелерінің, жүрек-тамыр жүйесінің зақымдануын тудырады. Жоғары жиілікті ультрадыбыстар, лазерлік сәулелер және электромагниттік толқындар адам миына өте күшті әсер етеді. Бейбіт мақсаттарға пайдаланбаған жағдайларда мұндай психотропты қарулардың әсерінен мидың қызметі өзгереді, ойлау, есте сақтау, өзін-өзі ұстау қабілеттілігі төмендейді, миға жаңа мәліметтер енгізілуі мүмкін.

Қазіргі кезде мұндай психотропты қаруды қолданбау мәселесі көтерілуде. Жоғары жиілікті электромагниттік толқындардың адам ағзасына зиянды әсерін ескере отырып, олардан қорғану жолдары жүзеге асырылады. Қысқатолқынды қуатты радиостансылар елді мекеннен алысырақ салынуы тиіс. Телеорталық, радиолокаторлық стансылардың айналасында арнайы санитарлық қорғаныс аймақтары құрылады. Кернеуі 750 кВ-тан жоғары болатын электр жеткізу тораптары тұрғын үйлерден кем дегенде 300 м қашықтықта орналасуы тиіс. Жоғары жиілікті желілер орналасқан жердің бәрінде де қорғаныс шаралары ескерілуі қажет. Компьютер мен теледидардың кинескоптарында арнайы қорғаныс қабаттары ескерілгенмен, электромагниттік сәуле шығару тұрғысынан олар әлі де қауіп көзі болып табылады. Теледидар хабарларын кем дегенде 2,5—3,4 м қашықтықтан көрген дұрыс. Сонымен қатар түрлі түсті теледидарды 1,5 сағ-тан артық қарамау және міндетті түрде арасына 30—40 мин үзіліс жасау қажет. Халқымыздың “Дені саудың — жаны сау” деген дана сөзін ұмытпайық.



1. Өздерің тұратын елді мекендерде, үйлерде, мектептердің маңайында жоғары кернеулі электр желісі бар ма?
2. Компьютер алдында күніне қанша уақыт отырасыңдар? Өздеріңнің көңіл күйлеріңді өздерің бақылаңдар.
3. Ұялы телефонның кішкентай радиостансы екенін есте сақтаңдар! Оның пайдасы мен зияны туралы баяндама жасаңдар.

5-тараудың ең маңыздысы

Максвелл *электромагниттік өріс теориясын* жасады. Максвелл теориясының идеялары: *магнит өрісі кез келген қоршаған кеңістікте қиғынды электр өрісін тудырады; айнымалы электр өрісі әрқашан қиғынды магнит өрісін тудырады; электромагниттік өріс кеңістікте электромагниттік толқын түрінде тарай алады.*

Электромагниттік толқында электр өрісінің \vec{E} кернеулігі мен \vec{B} магнит өрісі индукциясының периодты тербелістері өрбиді. \vec{E} мен \vec{B} векторлары бір-біріне және толқынның таралу бағытына перпендикуляр. *Электромагниттік толқын — көлденең толқын.*

Электромагниттік толқындар үдеумен қозғалатын зарядталған бөлшектердің (электрондардың) тербелісі кезінде шығарылады.

Электромагниттік толқын шығарудың энергетикалық сипаттамасы — *толқын ағынының тығыздығы (интенсивтігі):*

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t}.$$

Электромагниттік толқынның интенсивтігі толқын көзіне дейінгі қашықтықтың квадратына кері пропорционал және жиіліктің төртінші дәрежесіне тура пропорционал болады:

$$I \sim \frac{\omega^4}{r^2}.$$

Тұңғыш рет электромагниттік толқындарды шығарып алған — неміс ғалымы Г. Герц. Радиотелеграфтық байланыс жүйесін ойлап тапқан — А. С. Попов, ал радионы ойлап тапқан — Г. Маркони.

Электромагниттік толқындардың көмегімен радиобайланыс, радиолокация, теле-радиохабарлар, ғарыштық байланыс, радиотелескоптық зерттеулер және т.б. іске асырылады.

III бөлім. ОПТИКА

6-тарау. ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА

§ 31. Жарықтың электромагниттік табиғаты. Жарықтың жылдамдығы



Тірек ұғымдар:

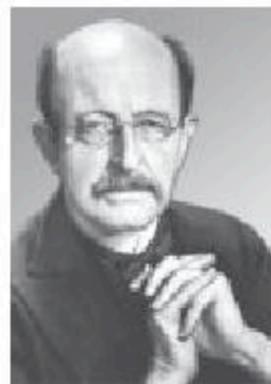
- ✓ жарық
- ✓ жарықтың толқындық теориясы

Бүгінгі сабақта:

- жарық жылдамдығын анықтаудың зертханалық және астрономиялық әдістерімен танысасындар.



Күнделікті өмірде жарық құбылыстарымен жиі кездесіп тұрамыз. Ал жарық энергиясын тұрмыста қолдануға әлдеқашан үйренгеніміз мәлім. Жарықтың ортада таралу заңдылықтары, сонымен қатар жарықтың әртүрлі заттармен өзара әсерлескен кездегі әсері де белгілі. Мәселен, жарықтың жылулық, химиялық әсері байқалады, бетке қысым түсіреді, яғни жарық механикалық әсер етеді. Қоршаған орта жөніндегі мәліметтердің 80%-ын біз көзіміз арқылы қабылдаймыз. Жарықтың көзге әсер етуінің өзі химиялық процесс. Жарық көздің сезімтал қабықшасына әсер етуі нәтижесінде көру жүйесін, соған сәйкес мидағы орталық жүйкені тітіркендіреді.



Макс Планк
(1858—1947)

Жарықтың таралу заңдылықтарын, оның заттармен өзара әсерлесу процесстерін және жарықтың табиғатын зерттейтін физиканың саласын оптика деп атайды.

Жарық табиғаты жөніндегі көзқарастарға қысқаша шолу. Жарық және оның табиғаты жөніндегі сұрақтарға адамзат ерте заманнан көңіл бөлген. Ерте замандағы адамдар көру қабілетінің құпиясын ашуға талаптанған. Б.з.д. III ғасырда ежелгі грек философтары жарықтың табиғаты жөнінде әртүрлі болжамдар ұсынған. Мәселен, Пифагор “адамның көзі “флюидтер” деген нәрсені бөліп шығарады, ал ол затқа тиеді, соның нәтижесінде адам көреді” деген. Евклид адам көзінен шығатын көру сәулелері бар деген теорияны ойлап тапты. Олар затты байқайды да, ол жөніндегі мәліметті адамға жеткізеді. Осы заттан бөлініп шыққан ұсақ атомдар адам көзіне тиеді де, содан адам көреді деп есептеген. Демек, әр заттан сол зат тәрізді қабыршақтар үздіксіз бөлініп шығады. Бұл “қабыршақ елестер” немесе осы заттың бейнесі адамның көзіне тиіп, онда сол заттың суретін, түсін, шамасын анықтайтын

сезім тудырады. Аристотель “жарық дегеніміз — кеңістіктегі жарық көзінен таралатын жарықтың әрекеті” деп түсіндірді. Платон бұл екі теорияны біріктіруге тырысты. Ол заттан шыққан сәуле мен көзден шыққан сәуленің өзара әсерінің нәтижесінде көзде заттың бейнесі пайда болады деді.

XVII ғасырдың ортасында (1672 ж.) ағылшын ғалымы Ньютон жарықтың корпускулалық теориясын ойлап шығарады. Бұл теория бойынша *жарық дегеніміз — жарық шығаратын заттардан бөлінетін жарық шоғының тез ұшатын бөлшектер (корпускулалар) ағыны*. Бұл теория 200 жыл бойы өмір сүрді. Ол жарықтың шағылуын, сынуын, түзусызықты таралуын, жарық дисперсиясын жақсы түсіндірді. Бірақ жарықтың интерференциясы мен дифракциясын түсіндіре алмады.

Осыдан біраз жыл өткеннен кейін, 1690 жылы голландтық физик Гюйгенс жаңа теорияны — *жарықтың толқындық теориясын ұсынды*. Бұл теория бойынша жарық дегеніміз — ерекше орта (эфир) тербелістерінің таралуы. Жарық та дыбыс тәрізді сфералық толқындармен таралады. Бірақ дыбыс толқындарына қарағанда жарық толқындары өте жоғары (300 000 км/с) жылдамдықпен таралады. Жарықтың толқындық таралу теориясын XVIII ғасыр бойы белгілі ғалымдар Л. Эйлер, М. В. Ломоносов, В. Франклиндер қолдады. Жарықтың толқындық теориясы жарықтың интерференциясын, дифракциясын, жарық сәулесінің тәуелсіз таралу құбылыстарын жақсы түсіндіреді. Бірақ ол жарықтың түзусызықты таралуын дәлелдей алмады. XIX ғасырдың бас кезінде О. Френель мен Т. Юнгтің жасаған тәжірибелерінің нәтижесі жарықтың толқындық таралу теориясын толық дәлелдеді.

Корпускулалық және толқындық теориялар 200 жыл бойы қатар өмір сүрді. Осы екі теория арасындағы талас көптеген жарық құбылыстарында болатын процестерді алдын ала анықтауға көмектесті.

XIX ғасырдың орта шенінде (1865 ж.) ағылшын физигі Максвелл электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы жарықтың таралу жылдамдығына тең екенін теория жүзінде дәлелдеді. Демек, кез келген электромагниттік ұйытқу жарық жылдамдығына тең жылдамдықпен таралуы тиіс. Олай болса, жарық — электромагниттік толқынның дербес түрі. Бұдан кейін Максвелл жарықтың барлық толқындық қасиеттерін түсіндіретін жарықтың электромагниттік теориясын құрды.

XIX ғасырдың аяғына қарай неміс физигі Г. Герц сыртқы фотоэффект құбылысын ашты (түскен жарықтың әсерінен заттың бетінен электронның ұшып шығу құбылысы). Мұны толқындық теория түсіндіре алмайды. 1900 жылы неміс физигі М. Планк жарық сәулені үлеспен (кванттық түрде) шығарады және жұтады деген болжам айтты. А. Эйнштейн бұл болжамды толықтырып, *жарық дегеніміз — локальдық бөлшектер, яғни фотондар деген ұйғарымға келді*. Жарық таралған кез-

де өзін электромагниттік толқын, ал заттармен өсерлескенде бөлшектер (үлестер) ретінде ұстайды. Осылайша жарықтың кванттық теориясы пайда болды. Бұл теория бойынша *жарық дегеніміз — жеке кванттар түрінде сәуле шығаратын және жұтатын электромагниттік толқындар.*

Демек, жарықтың корпускулалық және толқындық, яғни екіжақтылық қасиеті бар. Сонымен бірге жарық толқынының ұзындығы қысқа болған сайын жарықтың корпускулалық қасиеті айқын байқалады. Ал толқынның ұзындығы үлкен болса, жарықтың толқындық қасиеті басымырақ болады.



1. Оптика дегеніміз не?
2. Жарық дегеніміз не?
3. Жарықтың табиғатын кімдер зерттеді?

§ 32. Жарықтың интерференциясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ Юнг әдісі
- ✓ Френель әдісі
- ✓ жарықтың интерференциясы
- ✓ голография
- ✓ Ньютон сақиналары

Бүгінгі сабақта:

- механикалық және жарық толқындарының интерференциялық көріністеріне салыстырмалы талдау жүргізесіңдер.



Фазалар ығысуы тұрақты және жиіліктері бірдей толқындардың қосылуы жарық толқындарының өзара өсерлесуіндегі көңіл аударатын жағдай. Мұнда кеңістіктің кейбір нүктелерінде толқындардың қабаттасуынан бір-бірін күшейтетін, ал басқа бір нүктелерінде керісінше бір-бірін әлсірететін интерференция құбылысы байқалады. Экранда күңгірт және ашық жолақтар кезектесіп орналасады. Бұл — *интерференция құбылысы.* Жарықтың интерференциясы механикалық толқындардың интерференциясы сияқты өтеді. Жарықтың минимум (әлсіреу) және максимум (күшею) шарттары сәйкесінше формулаларымен анықталады. Сонымен қатар жарық толқындары интерференциясының кейбір ерекшеліктері бар. Егер екі жарық көзінен бірдей жиілікті синусоидалық жарық толқындары шығарылса, онда олар кездескен жерде интерференция көрінісі пайда болады. Бірақ осы көріністі бір-біріне қатысы жоқ бірдей жарық шығаратын екі жарық көзінен шыққан толқындар арқылы алу мүмкін емес. Жарық толқындарының интерференция құбылысы жоқ деген қорытындыға келгендей боламыз.



Томас Юнг
(1773—1829)

Интерференция құбылысын 1675 жылы Ньютон, кейінірек Юнг және Френель байқаған. Мұны қалай түсіндіруге болады? Шын мәнінде, мәселе толқынның цугінде екен. Дененің өртүрлі атомдары бір-біріне байланыссыз жарық шығарады. Сондықтан олардың жиіліктерінің бірдей болуына қарамастан, әр цугтің фазасы өртүрлі. Ал бұл жарықтың фазасы ретсіз өзгертін электромагниттік толқын екенін көрсетеді. Сонда екі толқынды бір-біріне қосқанда пайда болған қорытқы толқынның берілген нүктедегі амплитудасы да кездейсоқ түрде бір секундта миллион есе (максимум немесе минимум болып) өзгеріп отырады.

Жарық түскен бет біздің көзімізге біркелкі жарық түскен беттей болып көрінеді. Сондықтан жарық толқынының интерференциясы тек когерентті толқындар қабаттасқанда ғана пайда болады.

Қос сәулелі интерференция және оны іске асыру әдістері. Когерентті толқындарды интерферометрлердің көмегімен алады. Ең қарапайым түрі — бір жарықты екіге жіктеу.

1. Юнг әдісі. Ағылшын физигі Томас Юнг жарық толқындарының кеңістіктік когеренттігін алды. Ол S жарық көзінің алдына кішкентай саңылауы бар S_0 тосқауылды орналастырды. Жарық толқындары осы саңылаудан өтіп, бірдей фазамен бір уақытта екі кішкене S_2 және S_1 саңылауларға жетеді. Бұл саңылаулар бір-біріне жақын және жарық көзіне қатысты симметриялы орналастырылған (32.1, а, ә-суреттер).

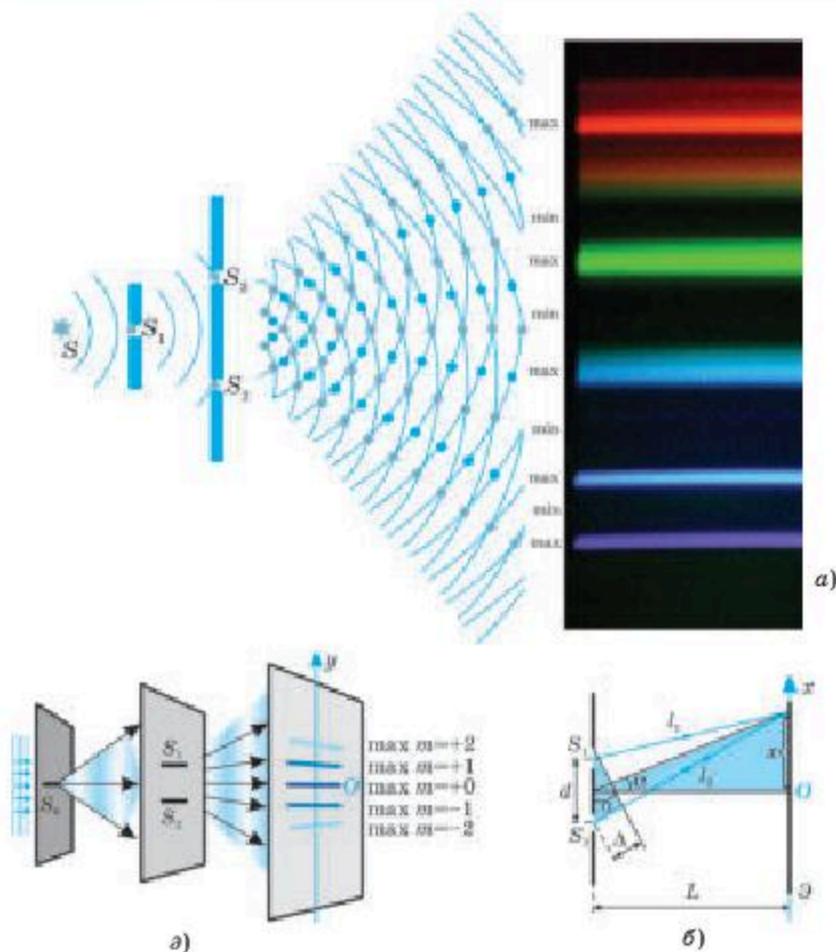
Сондықтан S_2 және S_1 саңылаулары бір толқындық бетте жатыр деп есептеуге болады. Гюйгенс принципі бойынша толқындық беттің әрбір нүктесі екінші толқын көзі болып табылады. Біз қарастырып отырған жағдайда бұл — бірінші және екінші саңылаулар. Бұл толқындар бір-біріне қабаттасып интерференциялық көрініс береді.



Огюстен Френель
(1788—1827)

32.1-суретте көрсетілген жол айырымын анықтау үшін есептеу жұмыстарын жүргізейік: $\Delta = \frac{d}{L} x$, мұндағы Δ — толқындар жүрісінің айырымы, d — S_3 және S_1 саңылауларының арақашықтығы, L — S_1 және S_2 саңылауларынан экранға дейінгі қашықтық, x — орталық максимумнан экрандағы интерференциялық сурет байқалған O нүктесіне дейінгі қашықтық (32.1, б-сурет).

2. Френель әдістері. Когерентті жарық толқынын алудың басқа жолын француз физигі Огюстен Жан Френель ұсынды. Ол қос призма (бипризма) мен қос айнаны пайдаланды. Бипризма әрқайсысының

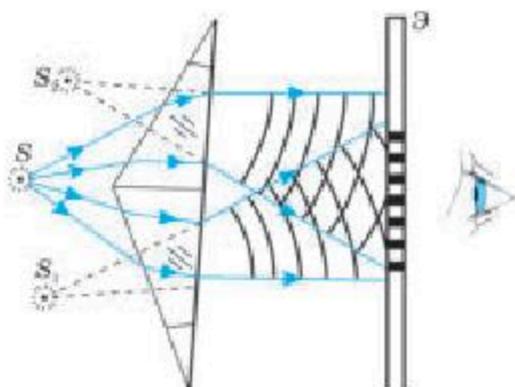


32.1-сурет

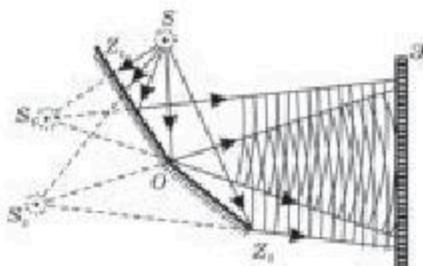
сыну бұрышы өте аз болып келген бірдей екі призмдан тұрады. Олар бір-біріне табандарымен беттестірілген. Френельдің қос призмасының табанындағы бұрышы өте доғал $\approx 175^\circ - 179^\circ$. S жарық көзінен шыққан сәуле бипризмаға түседі де, одан екі жарық толқыны S_1 және S_2 алынады. Олар шеңбердің бойында орналасқан (32.2-сурет).

Экранда тұрақты интерференциялық көрініс — кезектесіп орналасқан күңгірт ақ жолақтар пайда болады.

Қос айнаның жұмыс істеу принципі де жоғарыдағы тәрізді. Z_1 және Z_2 айналары S жарық көзінен шыққан сәулелерді шағылдырып



32.2-сурет



32.3-сурет



32.4-сурет

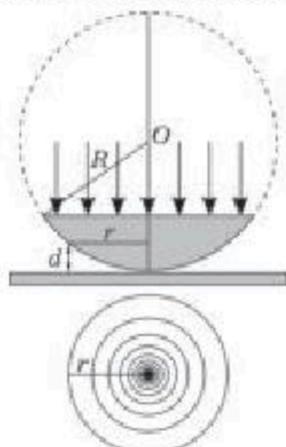
экранға бағыттап, екіге жіктейді, олар экранда интерференциялық сурет береді (32.3-сурет).

3. Жұқа пленка әдісі. Су бетіне майдың, мұнайдың, бензиннің тамшысы тамғанда әр түсті сурет пайда болатынын білеміз. Ондай суреттер сабынның көпіршігінде де, инелік қанатының үстінде де байқалады. Бензиннің жұқа қабыршағының бетіне жарық түскенде қандай процесс жүретінін қарастырайық (32.4-сурет). Бензиннің жұқа қабыршағы жазық параллель пластиналардан алынады. *S* жарық көзінен шығатын сәуле қабыршақтардан өткенде бірнеше когерентті сәулелерге бөлінеді. Біз жарық интерференциясын түскен жарықтан да, шағылған жарықтан да байқай аламыз. Бензин қабықшасы қалыңдығының үздіксіз өзгеруінен жұқа қабыршақтағы интерференциялық сурет түрленіп отырады.

Есептеу жұмыстарын жүргізіп, толқынның жұқа қабыршақтағы жол айырымын анықтайтын формуланы табайық:

а) *өтетін жарықта* $\Delta = 2dncos\beta$, мұндағы Δ — толқын жүрісінің жол айырымы, *d* — қабыршақтың қалыңдығы, *n* — қабыршақ затының сыну көрсеткіші, β — жарықтың сыну бұрышы;

ә) *шағылған жарықта* $\Delta = 2dncos\beta + \frac{\lambda}{2}$. Шағылған жарықта жол айырымына жарты толқын ұзындығы қосылады, өйткені шағылғанда жарты толқын жоғалады (32.4-сурет).



32.5-сурет

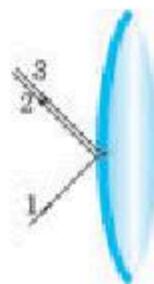
4. Ньютон сақиналары. Ньютон сақиналары — жұқа қабыршақтардағы интерференцияның дербес түрі, ол жұқа қабыршақ қалыңдығының біркелкі өзгертін жағдайында байқалады. 1675 жылы Ньютон астрономиялық рефрактордың дөңес объективі мен жазық шыны арасындағы жұқа ауа қабатының түсін бақылаған. Ньютон тәжірибесінде тығыз сығылған шыны мен объективтің арасындағы ауаның жұқа қабатының қалыңдығы шыны мен объективтің түйіскен жерінен объективтің сыртқы шетіне қарай біркелкі ұлғая бастайды (32.5-сурет).

Қарапайым есептеу арқылы өткен жарықтың радиусын, мәселен, ақшыл сақинаның радиусын анықтауға болады: $r = \sqrt{k\lambda R}$, мұндағы r — сақинаның радиусы, R — линзаның қисықтық радиусы, λ — толқын ұзындығы. Шағылған жарықта $r = \sqrt{2(k-1)\frac{\lambda}{2}R}$.

Жарық интерференциясының тұрмыста қолданылуы. Жарықтың интерференциясы физикалық құбылыс болғандықтан, ол ғылыми көзқарас тұрғысынан да, практикада қолдану мақсатында да қызығушылық тудырады. Жарық интерференциясының тұрмыста қолданылуы жайлы бірнеше мысалдар қарастырайық.

1. *Интерферометрлер* — өте кішкене бұрыштарды дәл өлшеуге, жарық толқынының ұзындығын, кіші кесінділердің ұзындығын, өртүрлі заттардың сыну көрсеткіштерін анықтауға, беттің өңделу сапасын тексеруге және беттің жылтырау дәлдігін анықтауға арналған сезімтал аспап. Интерферометрлер линза, айна және басқа оптикалық аспаптар беттерінің өңделу сапасын зерттеуге тиімді. Олардың көмегімен ұшатын аппараттардың маңайындағы ауада шапшаң өтетін процестерді зерттейді. Интерферометрдің жұмыс істеу әсері жарықтың интерференция құбылысына негізделген. Барлық интерферометрлерде жарық сәулелері өуелі екі немесе бірнеше когерентті сәулелерге бөлінеді, содан кейін осы сәулелер бір нүктеге жиналады. Интерферометрлердің жасалуы өртүрлі, бірақ әсерлері бірдей. Қазіргі ғылымда Майкельсонның екісәулелі интерферометрлері, Линниктің, Луммер—Герхенің және Фабри—Пероның көпсәулелі интерферометрлері қолданылады.

2. Интерференция құбылысы оптикалық құралдардың жарықтылығын реттеу — жарқындату үшін қолданылады, яғни *интерференцияның көмегімен шағылған сәулелердің шамасын не көбейтуге, не азайтуға болады*. Оптикалық аспаптарда көптеген оптикалық бөлшектер бар. Олардан шағылған сәулелердің үлкен бөлігі жоғалып, дененің кескіні солғын көрінеді. Ал егер линзаның бетіне жұқа қабыршақты жапсырса, шағылған сәулелердің осы қабыршақта бір-бірін жоюына қол жеткізуге болады. Сонда барлық жарық энергиясы линзадан өтеді де, кескін өлдеқайда анық болып шығады. Бұны қабыршақ затының сыну көрсеткішін есептеу нәтижесі көрсетті. Бірақ линзаны қоршаған ортаның сыну көрсеткіші ауаның сыну көрсеткішінен үлкен болуы шарт. Линзаның бетіне қабыршақты жапсыру технологиясын кеңес ғалымы, физик Г р е б е н щ и к о в іске асырды. Жарық екі рет шағылады: алдымен ауа қабыршақ шегінде, содан кейін қабыршақ линза шегінде (32.6-сурет). Қабыршақтың сыну көрсеткіші мен қалыңдығы шағылған сәулелер қарама-қарсы фазаларда болатын етіп таңдап алынады. Сондықтан олар бір-бірін өшіреді. Оның есесіне өтетін жарықтың шоғы ұлғаяды.



32.6-сурет

Өтетін жарықтың максимум шарты былай беріледі: $\Delta = 2dn\cos\beta = \frac{\lambda_0}{2}$. Егер жарық линза бетіне вертикаль түссе, онда β бұрышы 0° -қа тең. Сонда $\cos\beta = 1$. Демек, $d = \frac{\lambda_0}{4n}$, мұндағы d — қабыршақтың қалыңдығы, λ_0 — жарық толқынының ортадағы (ауадағы) ұзындығы, n — қабыршақтың сыну көрсеткіші. Жарықтың толық сөнуі $n_x = \sqrt{n_x}$ шарты орындалғанда байқалатынын есептеу жұмыстары көрсетті. Қабыршақтың қалыңдығы түсетін жарықтың толқын ұзындығына тәуелді болғандықтан, есептеу жұмыстары әлдеқайда қарқынды сәулелер, яғни көк немесе күлгін түстер үшін жүргізіледі. Сондықтан жарқынданған оптикалық линзаның реңі күлгін келеді.

3. *Интерферометрлердің* көмегімен қатты денелердің сызықтық ұлғаю коэффициентін анықтауға, сонымен қатар магнит өрісіндегі ферромагниттер шамасының өзгеруін де өлшеуге болады.

Жоғарыда келтірілген жарықтың интерференция құбылысын қолдануға келтірілген мысалдардан жарық интерференциясының маңызы туралы қорытынды жасауға болады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Көз алдарыңда кейде бұлыңғыр кішкентай дақтар пайда болады ма? Бұл дақтар дөңгелек қан жасушаларында жарық дифракциясынан туындаған интерференциялық көрініс болып табылады. Ал қан жасушалары қан қысымының көтерілуінен немесе соққының әсерінен капиллярлардан көзге түседі. Осмотикалық қысымның әсерінен кейін қан жасушалары шар сияқты үрленеді.



1. Жарық интерференциясының механикалық интерференциядан ерекшелігі неде?
2. Қос шоқты интерференцияны алу әдістерін атап өтіңдер.
3. Интерференциялық көріністерде екі жарық көзінен пайда болған максимум нүктелеріндегі жарықталу бір жарық көзінен алынған жарықталудан 4 есе артық болуы мүмкін. Бұл энергияның сақталу заңына қайшы келмей ме?
4. Инелік қанаты түсінің әртүрлі болуын түсіндіріңдер.
5. Әртүрлі екі жарық көзінен шыққан сәулелер неге интерференция бере алмайды? Немесе бір жарық көзінің әртүрлі екі нүктесінен шықса да солай болады. Неге?
6. Қызыл жарықты пайдаланып, Френельдің қос айнасы арқылы интерференциялық жолақтар алынды. Егер күлгін жарықты пайдалансақ, интерференциялық жолақтар көрінісі қалай өзгереді?
7. Жарықты сөндіруге бола ма? Егер болса, қалай?
8. Сабын көпіршігінің көкшіл түсті болып келетін жерінің қалыңдығы шамамен қанша?
9. Интерферометрлермен таныстыңдар. Ол қалай жұмыс істейді?
10. Интерференцияның тұрмыста қолданылуына мысал келтіріңдер.



“Майкельсон интерферометрі”, “Линниктің Луммер—Герхенің, Фарби—Пероның интерферометрлері және олардың қолданылуы”, “Оптиканың жарықтануы” тақырыбына шағын реферат дайындаңдар.



1. Судың бетіне бензиннің тамшыларын тамызыңдар. Бензин тамшыларының орындарда түрлі түсті дақтардың пайда болуын қалай түсіндіруге болады?
2. Сабын көпіршігін үрлеген кезде оның түсі әр қабатында түрліше болады? Неге? Түсіндіріңдер.



1. Неге кейбір құстар мен жәндік қанаттарының түстері әртүрлі бұрыштан қарасаң түсі өзгеше көрінеді?
2. Атмосфералық өзгерістерге түскен немесе ылғал жерде жатқан шынының бетінен әртүрлі түстерді көруге болады. Оның пайда болуын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Когерентті S_1 және S_2 жарық көздері толқын ұзындығы 500 нм болатын жарық шығарады. Жарық көздерінің арақашықтығы 0,5 мм, әрбір жарық көзінен экранға дейінгі қашықтық 2 м. Экрандағы O нүктесінен қандай қашықтықта жарықтың бірінші максимумы байқалады?

Берілгені:

$$k = 1$$

$$d = 0,5 \text{ мм} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\lambda = 500 \text{ нм} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$L = 2 \text{ м}$$

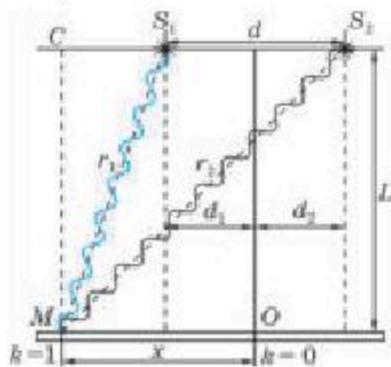
$$x = ?$$

Шешуі. Интерференция кезіндегі максимум шарты $\Delta = k\lambda$, мұндағы Δ — екі жарық көзінен шыққан сәулелердің жол айырымы, k — максимум реті, λ — жарықтың толқын ұзындығы. Спектр бірінші қатарда болғандықтан, $k = 1$. Ал 32.7-суреттен әр көзден шыққан сәулелердің жолдарын тікбұрышты S_1MC және S_2MC үшбұрыштарының гипотенузалары ретінде табамыз.

$d_1 = d_2 = \frac{d}{2}$ болғандықтан, Пифагор теоремасы бойынша:

$$r_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \text{ және } r_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2.$$

Соңғы екі өрнекті бір-бірінен азайтсақ, $r_2^2 - r_1^2 = 2xd$ немесе $(r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = 2xd$. Егер $S_1S_2 = d$ екі жарықтың арақашықтығы олардың экранға дейінгі $MC = L$ арақашықтығымен салыстырғанда онша үлкен болмаса, яғни $d \ll L$, онда интерференциялық көрініс анық байқалады. Бұл жағдайда $r_2 + r_1 \approx 2L$ және $r_2 - r_1 = \frac{2xd}{2L}$, $\Delta = r_2 - r_1$ болғандықтан, $\Delta = \frac{xd}{L}$. Сонда



32.7-сурет

Δ -ның мәндерін теңестіріп, $k\lambda = \frac{xd}{L}$ теңдігін аламыз. Бұдан $x = \frac{k\lambda L}{d}$.

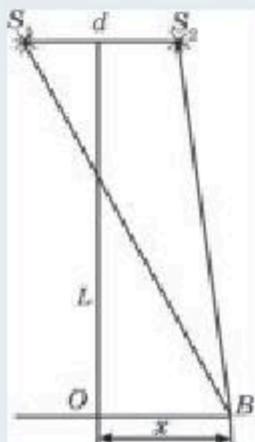
Сандық мәндерін орындарына қойсақ, $x = \frac{1 \cdot 500 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 2 \text{ м}}{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2 \text{ мм}$.



15-жаттығу

1. Кеңістіктің қайсыбір нүктесіне геометриялық жол айырымы 1,2 мкм когерентті сәулелер түседі, олардың вакуумдағы толқын ұзындығы 600 нм. Интерференция әсерінен осы нүктеде не байқалатынын анықтаңдар. Есепті ауа, су, сыну көрсеткіші 1,5 болатын шыны үшін шығарыңдар.

Жауабы: күшейеді, әлсірейді, күшейеді.



32.8-сурет

2. Экран S_1 және S_2 когерентті екі көзден шығатын толқын ұзындығы 590 нм жарықпен жарықталынады. Жарық көздерінің арақашықтығы 200 мкм және экранның O центрінен 15 мм қашықтықта B нүктесі арқылы O нүктесінен санағанда екінші интерференциялық жолақтың центрі өтеді (32.8-сурет). Жарық көздерінен экранға дейінгі қашықтықты анықтаңдар.

Жауабы: 2,03 м.

3. Арақашықтығы 0,32 мм болатын ақ жарықтың когерентті көздері жіңішке саңылаулар түрінде берілген. Интерференцияны бақылайтын экран жарық көздерінен 3,2 м қашықтықта орналасқан. Экрандағы екінші интерференциялық спектрдің қызыл ($\lambda_{\text{к}} = 760$ нм) және күлгін ($\lambda_{\text{к}} = 400$ нм) сызықтарының арақашықтығын табыңдар.

Жауабы: 7,2 мм.

4. Арақашықтығы 240 мкм екі когерентті жарық көздері экраннан 2,5 м қашықтықта орналасқан. Экранда қара және ақ жолақтар кезекпен қайталанып отырады. 5 см аралыққа 10,5 жолақ орналасқан. Экранға түсетін жарық толқынының ұзындығын есептеңдер.

Жауабы: 4,57 нм.

5. Қалыңдығы 0,5 мкм жұқа қабыршақ толқын ұзындығы 590 нм жарықпен жарықтандырылады. Егер қабыршақтың сыну көрсеткіші 1,48 болса, ал жарық қабыршақ бетіне перпендикуляр бағытталса, осы қабыршақтың өтетін жарықтағы түрі қандай болады? Егер қабыршақты сәулелерге қатысты көлбеу ұтаса, қабыршақтың түсі қалай өзгереді?

Жауабы: қара түстен ашық түске және керісінше.

6. Қандай минимал қалыңдық кезінде сыну көрсеткіші 1,54 болатын материалдан жасалған пластинаны оның бетіне перпендикуляр толқын ұзындығы 750 нм сәулелермен жарықтандырғанда ол шағылған жарықта қызыл, қара түске боялады?

Жауабы: 120 нм қызыл түске боялғанда, 240 нм қара түске боялғанда.

7. Жұқа қабыршақты ақ жарықпен жарықтандырып, оның бетіне перпендикуляр бойымен қараса, ол шағылған жарықта жасыл болып көрінеді. Егер қабыршақты сәулелерге қатысты көлбеу ұстасақ, не байқалады?

Жауабы: қызылдан көгілдірге, көкке, күлгінге айналып отырады.

8. Жұқа қабыршақты монохроматты параллель сәулелермен жарықтандырғанда оның бір жерлерінде ақ, екінші жерлерінде қара жолақтардың пайда болуын түсіндіріңдер.

9. Жұқа қабыршақты ақ жарықтың параллель сәулелерімен жарықтандырғанда қабыршақтың түрлі түске боялуын қалай түсіндіруге болады?

10. Бензин төгілген су беті неге түрлі түске боялады?

§ 33. Жарықтың дифракциясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ дифракция
- ✓ коллиматор
- ✓ Френель принципі

Бүгінгі сабақта:

- Френель теоремасын қолданып, дифракциялық көріністерді түсіндіресіңдер.



Жарықтың дифракциясы деп жарықтың түзу сызық бойымен таралудан ауытқуын немесе жарықтың тосқауылды орағытып өтуін айтады. Жарық дифракциясын XVII ғасырдың орта кезінде итальяндық физик Франческо Мария Гримальди ашты. Ол өте қарапайым тәжірибе жүргізді. Терезе қақпақтарының арасында өте жіңішке саңылау қалдырды. Сол саңылау арқылы жарық сәулесі жуандығы әртүрлі таяқшаларға түсті. Олардың көлеңкелерін зерттеп, ол геометриялық оптика заңының сақталмағанын байқады. Көлеңке болатын жерлерде ақ жолақтар байқалды. Оның үстіне олар боялған болып шықты. Бір саңылаудан пайда болған дифракцияны байқау қиын. Ол үшін саңылаудың немесе тосқауылдың өлшемі мен жарық толқынының ұзындығы шамалас болуы керек. Ал тұрмыста тосқауылдың шамасы жарық толқынының ұзындығынан әр уақытта үлкен. Сондықтан дифракция тосқауылдан әлдеқайда қашық аралықтарда байқалады. Мәселен, Ай тұтылған кезде Күннен шығатын жарық Жерді орағытып кетеді. Айдың түсі қоңыр қызғылт болып көрінеді. Өйткені осы ұзындықтағы қызыл толқынның жарық сәулелері Жерді орағытып өтіп, Ай бетінде интерференцияланады. Демек, дифракцияны бақылау үшін қажетті шарт орындалуы керек.

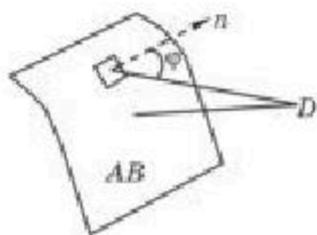
Жарық дифракциясы құбылысының пайда болуына бірнеше мысалдар қарастырайық. Егер жарық көзінің жолына жіңішке саңылауы бар тосқауыл қойсақ, онда қараңғы жерде орналасқан экраннан

саңылаудың кескінін күтеміз. Экрандағы жарық ақ дақ емес, кейде қара болып шығады. Немесе егер жіңішке сым, не адамның шашы тартылған саңылауды алсақ, онда экранда сымның (шаштың) көлеңкесі болуы керек. Шын мәнінде, экранда ол сымның бірнеше көлеңкесі пайда болады.

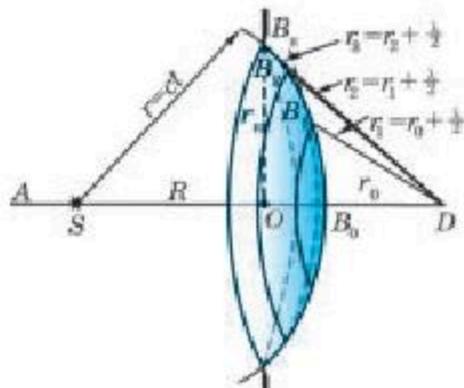
Жарық дифракциясының пайда болу себебі жарықталынудың берілген бетте таралуы жарықтың түзу сызық бойымен таралу негізінде геометриялық оптика болжаған суреттен өзгешеленеді. Жарықтың дифракция құбылысын Гюйгенс пен Френель түсіндірді. Гюйгенс—Френель принципі бойынша толқын шебінің әрбір нүктесін жаңа сфералық толқынның орталығы деп есептеуге болады. AB беті (33.1-сурет) алынған уақыт мезетіндегі толқын шебі болсын. Сонда D нүктесіндегі толқынның әсерінен болатын тербелісті анықтау керек.

Френель бойынша бұл нүктеге AB бетінің әрбір элементінен келетін екінші реттік толқындар тербелістерін анықтап, содан соң фазалары мен амплитудаларын ескере отырып тербелістерді қосу қажет. Демек, кез келген D нүктесі үшін қорытынды дифракциялық сурет осы нүктеге барлық екінші реттік толқындардан келетін толқындардың интерференция нәтижесі ретінде анықталады.

Бір нүктеге жиналатын сәулелердің дифракциясы. Радиусы r_k дөңгелек саңылаудан R қашықтықта орналасқан S жарық көзі берілсін (33.2-сурет). Жарық саңылаудың шетіндегі B_x нүктесіне түссін. Жарық мұнда өзінің бағытын өзгертеді. OS түзуінің бойынан саңылаудан шығатын жарық сәулелері жиналатын кез келген нүктені таңдап аламыз. S жарық көзі нүктелік және монохроматты, ал жарық толқыны таралатын орта изотропты орта болсын. Онда кез келген уақыт мезетінде алынған толқын шебі радиусы $r = ct$ сфера түріне ие болады. Бұл толқындық беттегі әрбір нүкте екінші сфералық толқындар көзі болып табылады. Толқындық беттің барлық нүктелеріндегі тербелістер бірдей фаза мен жиілікте өтеді. Демек, екінші реттік толқындар — когерентті толқындар. Бұл толқындар D нүктесінде қабаттасқанда біз



33.1-сурет



33.2-сурет

қорытқы тербеліс амплитудасының не өскенін, не кемігенін көреміз (D нүктесінен толқындық беттің әрбір нүктесіне дейінгі қашықтық әртүрлі, сондықтан әр нүктеден мұнда келетін тербелістің фазалары да өзгеше болады), яғни осы нүктеде ақ немесе қара дақтарды байқаймыз.

Байқалған құбылыс дөңгелек саңылаудан шығып, бір нүктеге жинақталған *сәулелердің дифракциясы* деп аталады.

Параллель сәулелердегі дифракция. Бірінші рет бұл дифракцияны зерттеген — неміс физигі Йозеф Фраунгофер. Фраунгофер дифракциясы — қосымша оптиканың көмегімен алынған жарық дифракциясы. Параллель сәулелер алу үшін жарық көзі шексіз алыста орналасуы керек. Зертханалық жағдайда параллель сәулелер алу үшін *коллиматор* (лат. *collimo* — түзу бойымен бағытталған) түтікшесін пайдаланады. Жарық көзін линзаның фокусына орналастырады. Сонда жарық сәулелері линзада сынғаннан соң параллель бағытқа кетеді. Осы параллель сәулелердің жолына тағы бір линза қойылады. Бұл линза сәулелерді екінші линзаның фокустық жазықтығында орналасқан экранда бір нүктеге жинайды.

Оптикалық аспаптардың айыру қабілеттілігі. Жарықтың дифракция құбылысы көптеген оптикалық аспаптардың және адам көзінің айыру қабілеттілігіне шектеу қояды. Адамның көз қарашығының диаметрі күндізгі жарық жағдайында $D = 2$ мм екені бізге белгілі. Ал бұл жарық толқындары өтетін саңылаудың диаметрі болып саналады. Адамның көзі $\lambda = 560$ нм ұзындықтағы толқындарды жақсы қабылдайды. Олай болса, орталық дифракциялық дақтың бұрыштық радиусы

$$\alpha = \frac{\lambda}{D} = \frac{560 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-3}} \approx 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ рад } 1' \quad (33.1)$$

болады. Демек, екі жарық көзі олардың бұрыштық арақашықтығы бір нүктелік жарық көзінен пайда болған дифракциялық ақ дақтың бұрыштық радиусынан артық болса, адамның көзіне жеке-жеке жарық көздері ретінде сезіледі.

Сондықтан адам көзінің айыру қабілеттілігі шамамен 1-ге тең болады. Телескоп арқылы жұлдызды фотосуретке түсіргенде жұлдыз фотосуретінің кескіні жарық дифракциясының әсерінен нүктелік болып шықпайды. Объектив диаметрі 6 м болатын телескоптың айыру қабілеттілігі шамамен $0,02''$. Дифракция құбылысы микроскоптың да айыру қабілеттілігін шектейді. Егер микроскоптың объективінен алынған нүктелік екі дененің кескіндері олардың дифракциялық кескіндерінің қабаттасуынан көрінбесе, онда кескіндерді окуляр арқылы үлкейту әрекеті кескіндерді көруге көмектесе алмайды.

Микроскоп объективінің диаметрі үлкейгенде жарықтың толқын ұзындығы, ал зат пен объектив арасындағы қашықтық азайғанда микроскоптың айыру қабілеттілігі артады. Сондықтан микроскоптың айыру қабілеттілігін үлғайтудың бір жолы қысқа толқындағы ультра-

күлгін жарық шығаруды қолдану болып табылады. Ол толқын фотоқабыршаққа түскенде оны жарықтандырады. Алынған кескін шығарылады, содан кейін оны қарауға болады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Кейде ауада өте әдемі реңктері бар перламутр бұлттарды көруге болады. Күн батқаннан кейін олар қардың бетін бояйды. Бұл бұлттардың пайда болу себебі — жарық дифракциясы. Перламутр бұлттар — 15-тен 27 км-ге дейін биіктіктерде полярлық ендікте байқалатын сирек құбылыс. Олар радиусы (0,1—3 мкм) көрінетін жарық толқынның ұзындығына жақын. Бұл тамшыларда жарық дифракциясы жүреді, ол тамшы радиусы мен толқынның ұзындығына байланысты.



1. Егер шаң болған айнаның алдына шырақ жақсақ, онда оттың айналасында түрлі түсті түстерді көруге болады.
2. Эксперимент жасап, оны түсіндіріңдер.



1. Оптикадағы дифракцияның ерекшеліктері қандай?
2. Гойгенс—Френель принципін түсіндіріңдер. Кішкене саңылау арқылы өткен жарық толқынының кеңістіктің қандай да бір нүктесінде тудыратын тербелісінің амплитудасын қалай есептеуге болады?
3. Френель аумақтары деген не? Олар қалай тұрғызылады?
4. Френель аумақтарының аудандары тең болатынын дәлелдеңдер. Френель аумақтарының теңдігі не береді?
5. Дөңгелек саңылаудың диаметрін үлкейткенде немесе саңылаудан экранға дейінгі қашықтықты өзгерткенде дифракциялық суреттің центріндегі жарықтылықтың периодты өзгертетінін қалай түсіндіруге болады?
6. Фраунгофер дифракциясының Френель дифракциясынан айырмашылығы неде?
7. Өте ұсақ заттарды микроскоп арқылы неге көре алмаймыз?
8. Көздің айыру қабілеттілігі қандай факторларға байланысты?
9. Айнасының диаметрі 6 м болатын оптикалық телескоп арқылы Айдағы ғарышкерді көруге бола ма?
10. Адам шашының жуандығын өлшейтін оптикалық әдісті ұсыныңдар.

§ 34. Дифракциялық тор



Тірек ұғымдар:

- ✓ дифракциялық тор
- ✓ тордың тұрақтысы
- ✓ шағылдырғыш торлар



Бүгінгі сабақта:

- "дифракциялық тор" ұғымымен танысасыңдар.

Айқын да анық дифракциялық суретті алу және бақылау үшін дифракциялық торды пайдаланады. *Дифракциялық тор дегеніміз — жарық дифракциясы байқалатын тосқауылдар мен саңылаулардың жиынтығы.*

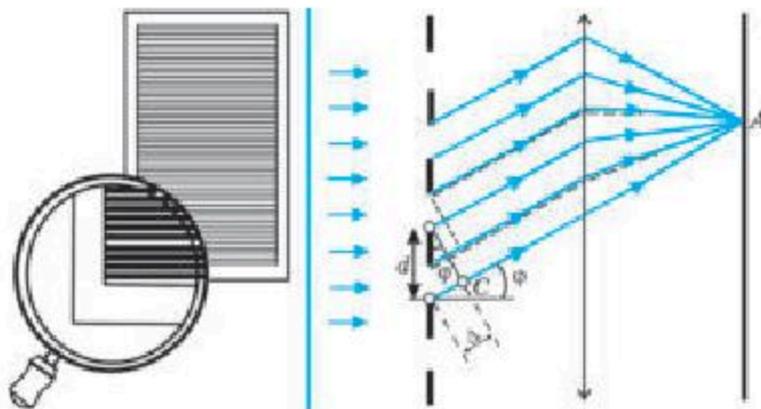
Дифракциялық торды реттелген *дифракциялық тор* және *реттелмеген дифракциялық тор* деп бөледі. Реттелген тор деп саңылаулары белгілі бір қатаң тәртіп бойынша орналасқан торларды, ал реттелмеген деп саңылаулары тәртіпсіз орналасқан торларды айтады. Геометриялық құрылысына қарай торларды жазық және кеңістіктік торлар деп те бөледі. Кеңістіктік реттелмеген торларға, мысалы, тұмандағы ауа тамшылары немесе мұз қиыршықтарының жиынтығы, көз кірпіктері жатады.

Жазық реттелген тор. Оны алмаз кескішпен жасалған параллель және бір-біріне өте жақын орналасқан саңылаулар мен тосқауылдар жиынтығынан дайындайды. Саңылаудың ені a , ал тосқауыл-штрихтің ені b болсын, сонда $b + a = d$ *тордың тұрақтысы* немесе *периоды* деп аталады.

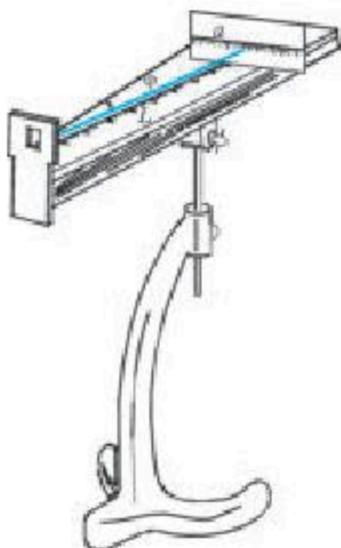
Жарықтың дифракциялық торда таралу процесін қарастырайық. Монохроматты сәулеленудің жазық шебі тор саңылауларының жазықтығына жетті дейік. Линзаның көмегімен барлық параллель шоқтарды экранға жинаймыз. Экранда φ бағытында таралатын параллель сәулелердің шоқтары жиналатын кез келген A нүктесін таңдап аламыз. Көрші екі саңылаудан шығатын жарық сәулелерінің жол айырымын 34.1-суреттің көмегімен оңай табамыз: $\Delta d = d \sin \varphi$. Егер $\Delta = 2k \frac{\lambda}{2}$ болса, A нүктесінде максимум байқалады. Онда дифракциялық тор үшін мына формула дұрыс:

$$d \sin \varphi = k \lambda. \quad (34.1)$$

Бұл формула арқылы максимумдардың бірінші, екінші т.с.с. қатарларын табуға болады. *Дифракциялық көрініс* — бұл *күңгірт аралықтармен бөлінген түрлі түсті жолақтар қатары*. Саңылаудан ақ жарық жібергенде орталықтағы ақ дақтың екі шетінен бірінші, екінші т.с.с. қатармен орналасқан боялған спектрлер көрінеді.



34.1-сурет



34.2-сурет

Сонымен бірге толқын ұзындығы артқан сайын (қызыл жарық) осы толқынның максимумы байқалатын бұрышы үлкен болады. Егер торға көк жарық түсірілсе, онда барлық максимумдар көк түске боялады. (34.1) формуладан бір толқын ұзындығы үшін бірнеше максимумдардың байқалуы мүмкін екенін көреміз. $n = 0$ жағдайында бұрыш $\varphi = 0$ болады, яғни максимум аламыз. Бұл *нөлінші реттік максимум* деп аталады. $n = \pm 1$ болса, $\sin\varphi = \pm \frac{\lambda}{d}$, онда *бірінші реттік максимумдарды* аламыз. Бұлар нөлдік максимумның екі жағында симметриялы орналасқан. $n = \pm 2$ болғанда $\sin\varphi = \frac{2\lambda}{d}$, яғни *екінші реттік екі симметриялы максимум* аламыз және т.с.с. Бірінші реттік максимум белгілі бір φ_1 бұрышымен байқалады.

Екінші реттік максимум φ_2 бұрышымен байқалады және ол φ_1 -ден үлкен. Егер тордың периоды кіші болса, онда φ бұрышының мәні әртүрлі толқындар айырымының мәніне сәйкес үлкен болады. Тордың периодын азайту әртүрлі ұзындықтардағы толқындар максимумдарының арасындағы бұрыштық қашықтықты арттыруға әкеліп соғады. Сонда осындай дифракциялық тордың көмегімен толқын ұзындықтары анық ажыратылады, яғни тордың сапасы жақсарады да, максимумдар айқындала түседі. Қазіргі дифракциялық торлардың 1 мм-інде 1200 штрих бар. Жұқа кескішпен металл айнаның бетіне параллель штрихтар жүргізіп жақсы тор жасауға болады. Бұл торлар *шағылдырғыш торлар* деп аталады. Мөлдір торлар дайындау үшін шыны пластинаның бетіне параллель штрихтар жүргізіледі.

Жарық толқынының ұзындығын анықтау. Жарық толқынының ұзындығын табу үшін 34.2-суретте көрсетілген аспап пайдаланылады. Миллиметрлік бөліктері бар ұзын сызғыштың бір ұшына қарай оның бойымен еркін қозғалатын етіп экран орналастырылады. Экранның ортасында саңылау бар. Сызғыштың екінші ұшына дифракциялық торды орнатамыз. Тор және саңылау арқылы жарық көзіне қарасақ, онда біз экранның қара фонында саңылаудың екі жағынан дифракциялық спектрлердің бірінші, екінші және т.с.с. реттерін көреміз. Дифракциялық тордың формуласын пайдаланып, өте аз бұрыш үшін $\sin\varphi \approx \text{tg}\varphi$ деп алуға болатынын және 34.2-суреттен $\text{tg}\varphi = \frac{a}{L}$ екенін ескеріп, жарық толқынының ұзындығын есептейміз:

$$\lambda = \frac{d \sin\varphi}{k} = \frac{d \text{tg}\varphi}{k} = \frac{da}{kL}, \quad (34.2)$$

мұндағы d — тордың периоды, a — саңылаудан анықталатын толқын ұзындығы спектрінің сызығына дейінгі қашықтық, L — дифракциялық тордан экранға дейінгі сызғыш бойымен алғандағы қашықтық.



1. Дифракциялық тор дегеніміз не?
2. Дифракциялық тордың периодын қалай есептейді?
3. Тор периодының өзгеруіне байланысты дифракциялық көріністің сапасы қалай өзгереді?
4. Дифракциялық тордың көмегімен жарық толқынының ұзындығын қалай табуға болады?

Есеп шығару мысалы

Толқын ұзындығы $\lambda = 750$ нм болатын сәуле дифракциялық торға қалыпты түскенде одан $L = 1$ м қашықтықта орналасқан экрандағы максимумдар қатары бір-бірінен $x = 15$ см қашықтықта болса, дифракциялық тордың периоды қандай? Тордың $l = 1$ мм-ге келетін сызықтар санын анықтаңдар. Бұл тор қанша максимум бере алады? Соңғы дифракциялық максимумға сәйкес сәулелердің максимал ығысу бұрышы қандай?

Берілгені:

$$L = 1 \text{ м}$$

$$k = 1$$

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

$$\lambda = 750 \text{ нм} = 750 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$x = 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$d - ? \quad N/l - ?$$

$$m - ? \quad \varphi_{\text{max}} - ?$$

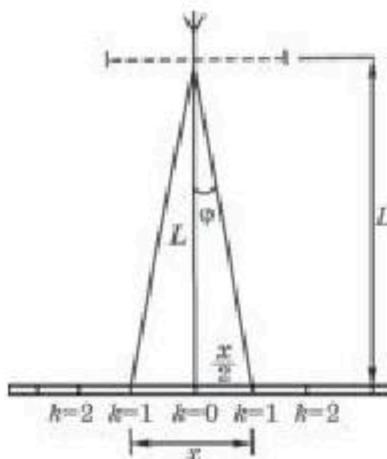
Шешуі. Дифракциялық тордың максимум шарты мынадай:

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad (34.3)$$

мұндағы d — тордың периоды, φ — берілген қатардың дифракциялық максимумы көрінетін бұрыш, k — дифракциялық қатардың реті, λ — түсетін жарықтың толқын ұзындығы. Біздің жағдайымызда $k = 1$. Есепті шығару үшін суретін сәлайық (34.3-сурет).

Есептің шарты бойынша $\frac{x}{2} < L$, бұл φ бұрышы өте аз деген сөз. Ал аз бұрыштар үшін $\sin \varphi = \text{tg} \varphi$. Суретте көрсетілгендей $\text{tg} \varphi = \frac{x}{2L}$. Сонда (34.3) формула $\lambda = \frac{d \cdot x}{2L}$ түріне ие болады. Осыдан тордың периодын табамыз: $d = \frac{2L\lambda}{x}$.

Физикалық шамалардың сандық мәндерін орындарына қойсақ, дифракциялық тордың тұрақтысы $d = \frac{2 \cdot 1 \text{ м} \cdot 750 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{15 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 10 \text{ мкм}$ болады.



34.3-сурет

Дифракциялық тордың ұзындығы тордың периодын оның бетіндегі сызықтар санына көбейткенге тең: $l = N \cdot d$. Бұдан $\frac{N}{l} = \frac{1}{d}$. Сандық мәндерін орындарына қойсақ, $\frac{N}{l} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = \frac{10^6}{10} = 10^5 \text{ м}^{-1}$, яғни 1 мм-ге келетін сызықтар саны $\frac{N}{l} = 100 \text{ мм}^{-1}$ -ге тең.

Сөуле дифракциялық тордан өткен кезде соңғы максимумның реті үшін сөуленің ауытқу бұрышы 90° -тан артық болмайтынын есте сақтау керек. Сонда алғашқы формуланы пайдаланып, дифракциялық максимум үшін $d \sin 90^\circ = k_{\max} \lambda$ аламыз. Бұдан $k_{\max} = \frac{d}{\lambda}$. Сандық мәндерін орындарына қояйық: $k_{\max} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{75 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 13,3 \approx 13$.

Орталық максимумның оң жағында 13 максимум, сол жағында 13 максимум көрінеді. Демек, максимумның жалпы саны алынған дифракциялық тордағы $m = 2k_{\max} + 1 = 27$ болады.

Енді соңғы дифракциялық максимумға сәйкес келетін сөуленің максимал ауытқу бұрышын табамыз. Бұл үшін тағы да алғашқы формулаға сүйенеміз: $d \sin \varphi_{\max} = k_{\max} \cdot \lambda$, осыдан $\sin \varphi_{\max} = \frac{k_{\max} \cdot \lambda}{d}$. Сандық мәндерін орнына қойсақ, $\sin \varphi_{\max} = \frac{13 \cdot 750 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{10 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 0,975$. Бұдан $\varphi_{\max} = 77^\circ$.



Жасанды перламутр түймелердің бетіне ұсақ штрих жүргізеді. Осыдан кейін түйме түрлі түсті болып көрінеді. Неге?



16-жаттығу

1. Дифракциялық торды толқын ұзындығы 590 нм жарықпен жарықтандырғанда үшінші реттік спектр 10° бұрышпен көрінеді. Екінші реттік спектр 6° бұрышпен көрінетін жарықтың толқын ұзындығын табындар.

Жауабы: 533 нм.

2. Үшінші реттік дифракциялық спектрде толқын ұзындығы 490 нм болатын төртінші реттік спектр сызығымен беттесетін сызықтың толқын ұзындығы қандай?

Жауабы: 653 нм.

3. 1 мм-ге 100 сызық сәйкес келетін дифракциялық торды толқын ұзындығы 720 нм жарықпен жарықтандырғанда спектрдің қандай ең үлкен ретін көруге болады?

Жауабы: 13.

4. 1 мм-ге 125 штрих сызылған дифракциялық тор мен экранның арақашықтығы 2,5 м. Торды толқын ұзындығы 420 нм жарықпен жарықтандырғанда экранда көк сызықтар көрінеді. Орталық сызықтан экрандағы бірінші сызыққа дейінгі қашықтықты анықтаңдар.

Жауабы: 13 см.

§ 35. Жарық дисперсиясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ дисперсия
- ✓ призма
- ✓ толықтауыш түстер
- ✓ алғашқы түстер

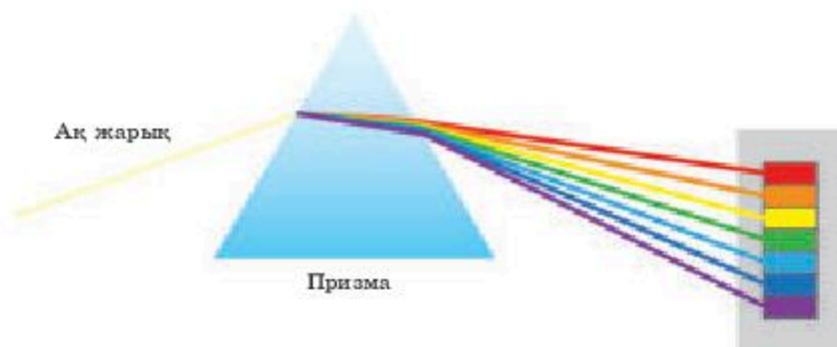
Бүгінгі сабақта:



- призма арқылы өткен кездегі жарықтың жіктелуін түсіндіресіңдер.

Өртүрлі заттардың түстері туралы сұрақ адам баласын ерте заманнан бері қызықтырып келді. Сонда да Ньютонға дейін бұл салада ешқандай белгілі нәрсе болмады. Түс заттың өзіне тән қасиет деп есептелді. Ал әр уақытта түрлі бақылау жүргізгенде жарықтану шарты өзгерген жағдайда дененің түсі де өзгередінін анықтауға болады. Жарық пен қараңғыны араластырғанда өртүрлі түстер пайда болады деген пікірлер де болды. Кемпірқосақ түсін жаңбыр тамшыларымен байланыстырды. Алмаз түстерінің ойнауы, шыны призмадан өткен түстің түрленуі де белгілі болатын. Бірақ Ньютонға дейін ешкім де бұл құбылыстарды салыстырып, олардың арасындағы байланысты білуге ұмтылған жоқ. 1666 жылы сол кезге дейін белгілі болып келген түс жөніндегі теорияларды іс жүзінде жоққа шығаратын эксперимент жасалынды. Бұл экспериментті Ньютонның өзі қалай сипаттап жазғанын келтірейік.

“1666 жылы шыны өңдеп жүрген болатымын. Мен түске қатысты белгілі құбылыстарды тексеру үшін үшбұрышты шыны призматы тауып алдым. Осы мақсатта мен өзімнің бөлмемді қараңғылады да, күн сәулесін өткізу үшін жақтауға өте кішкене саңылау жасадым. Осы саңылауға призматы одан сынған сәуле қарсы қабырғаға түсетін етіп орналастырдым. Осындай жолмен алынған түрлі түсті және күшейтілген түстерді қарау маған өте үлкен қанағаттандыру сезімін тудырды”. Жарық көзінен шығып, призма арқылы өткенде пайда болған өртүрлі түстерден тұратын жолақтарды *Ньютон спектрі* (лат. *spektrum* — көру) деп атайды (35.1-сурет).



35.1-сурет

Бұл эксперименттің екі ерекшелігі Ньютонды таңғалдырды. Жарық призмадан неге боялып шығады және дөңгелек саңылаудан түскен шоқ призмада сынып шыққаннан кейін неге жолақ түріне енеді? Ньютон сәуле шоғының ұзындығын оның енімен салыстырып, оның ұзындығының енінен 5 есе артық екенін тапты. Мұны түсіндіру өте қиын болды.

Бірақ Ньютон күн спектрінің әр түсін басқалардан жеке бөліп алып, оны екінші призмадан сынуға мәжбүр етті. Бұл жағдайда ол өртүрлі түстердің әрқалай сынатынын байқады. Мысалы, қызыл түс басқаларға қарағанда әлсіз, ал күлгін түс бәрінен де күшті сынады.

Ньютон мұны түсіндіре алмады. Бірақ эксперимент жарықтың призмадан сынғанда ұзынша болатынын түсіндірді. Бұл эксперимент ақ түстің күрделі түс екенін көрсетті. Ол негізгі жеті түстен тұрады: *қызыл, қызғылт сары, сары, жасыл, көк, көгілдір және күлгін*. Ақ түстің күрделі түс екенін көрсететін Ньютонның жасаған тағы бір тәжірибесі бар. Ньютон дөңгелектің бетін сектор түрінде негізгі жеті түске бояп қойды. Бұл дөңгелек қозғалтқыштың айналу осіне бекітілді. Дөңгелектің белгілі бір айналу жылдамдығында түсті дөңгелек ақ болып көрінеді.

Ньютонның ашқан құбылысы жарықтың *дисперсиясы* деген атақ ие болды (лат. *dispersio* — шашырау). Жарық дисперсиясының екі мағынасы бар: 1) дисперсия — күрделі ақ түсті спектрге ажырату құбылысы; 2) дисперсия — заттың сыну көрсеткішінің түсетін жарықтың толқын ұзындығына тәуелділігі.

Жарықтың жылдамдығы вакуумда 300 000 км/с екені белгілі. Ал басқа мөлдір ортадан өткенде жарық жылдамдығы өзгереді және ол вакуумдағыдан аз. Қызыл түсті жарық толқынының таралу жылдамдығы кез келген ортада максимал, ал күлгін түсті жарық толқынының таралу жылдамдығы минимал болады. Мысалы, суда $v_{\text{қызыл}} = 228\,000$ км/с, ал $v_{\text{күлгін}} = 227\,000$ км/с. Күкіртті көміртеkte $v_{\text{қызыл}} = 185\,000$ км/с, ал $v_{\text{күлгін}} = 177\,000$ км/с. Вакуумда жарық дисперсиясы болмайды, өйткені онда барлық жарық толқындары бірдей жылдамдықпен таралады.

Дисперсия құбылысының ашылуы кемпірқосақ құбылысын түсіндіруге көмектесті. Жарықтың су тамшыларында немесе атмосферадағы мұз қабыршақтарында сынуы күн сәулесінің суда немесе мұзда жіктелу дисперсиясының нәтижесі сияқты болады.

Жарықтың дисперсиясын қалыпты және аномальды деп бөледі. Көп жағдайда ортаның сыну көрсеткіші толқын ұзындығына кері пропорционал болатынын тәжірибелер көрсетті. Мұндай дисперсия *қалыпты дисперсия* деп аталады. Егер ортаның сыну көрсеткіші толқын ұзындығына тура пропорционал болса, ондай дисперсия *аномальды дисперсия* деп аталады.

Толықтауыш түстер. Күн спектрінен қызыл түсті бөліп алсақ, нәтижесінде көгілдір жасыл жарық шығады, егер одан көгілдір түсті бөлсек, сары жарық аламыз; егер жасыл түсті бөліп алсақ, онда қара қошқыл жарық аламыз. Ал егер жасыл, көгілдір және қызыл түстерді қоссақ, нәтижесінде ақ жарық аламыз. Дәл осы тәрізді сары мен жасыл түс араласқанда ақ жарық береді. Бір-біріне қосқанда ақ жарық беретін түстерді Ньютон *толықтауыш түстер* деп атаған.

Алғашқы түстер. 1807 жылы ағылшын физигі Томас Юнг өте маңызды жаңалық ашты. Ол қызыл, жасыл және көгілдір түстерді қосып, ақ түс алуға болатынын байқады. Сонымен қатар қызыл, жасыл және көгілдір түстердің көмегімен басқа түстерді алуға болады. Қызыл, жасыл және көгілдір түстерді Юнг *алғашқы түстер* деп атады. Осы алғашқы түстердің ешқайсысын басқа түстерді араластыру арқылы алу мүмкін емес. Мұны экранға қызыл, жасыл, көгілдір түстердің дақтарын проекциялай отырып, оңай тексеруге болады. Барлық үш түс қабаттасқан жерде ақ түс аламыз; қызыл түс пен көгілдір қабаттасқан жерде қара қошқыл; ал қызыл және жасыл түстер қабаттасқан жерде сары түс аламыз.

Заттың түстері. Тәжірибеден заттың түсі ол затқа ақ жарық түскенде беттің қандай түсті шашырататынына байланысты болатынын көреміз. Егер зат ақ жарықтың барлық құрамды бөлігін біркелкі шашыратса, онда әдеттегі жазықтықта ол ақ болып көрінеді (мысалы, қағаз беті). Ал зат (мысалы, күйе) өзіне түскен барлық түсті жұтса, ол қара түсті береді. Түрлі заттар өзіне түскен түсі әртүрлі жарықты бірдей шашыратпайды, сонымен қатар оларды әртүрлі жұтады. Сондықтан мөлдір денелерді жарық жолына ұстаса, олар алуан түске боялған тәрізді болып көрінеді. Мұндай заттар жарық сүзгісі деп аталады.



1. Жаңбырдан кейін кемпірқосақтың пайда болуын түсіндіріңдер. Неге ол доға формасында болады?
2. Қай кезде кемпірқосақ биік болып көрінеді: 4 немесе 5 сағ?
3. Кемпірқосақты бір шетінен тұрып көруге бола ма?



1. Ньютонның үшбұрышты призмамен жүргізген тәжірибесін айтып беріңдер.
2. Қандай құбылысты дисперсия дейміз?
3. Толықтауыш түстер деп қандай түстерді айтады?
4. Қандай түстерді алғашқы түстер дейді?
5. Заттың түсін қалай түсіндіресіңдер?
6. Қандай жағдайларда заттардың беттері қызыл, жасыл, ақ, қара болып көрінеді? Мұны тәжірибеде қалай көрсетуге болады?
7. Кемпірқосақтың пайда болуын түсіндіріңдер. Кейде кемпірқосақ екеу болып көрінеді. Неге?

§ 36. Жарықтың поляризациясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ поляризация
- ✓ оптикалық ось
- ✓ поляриодтер



Бүгінгі сабақта:

- “табиғи” және “поляризацияланған жарық” ұғымдарының айырмашылығын түсіндіресіңдер.

Табиғи және поляризацияланған жарық. Жарықтың ұзындығы 400—700 нм болатын электромагниттік толқындар екені бізге мәлім. Өрбір элементар сәуле шығарғыш (атом) белгілі бір бағытталған электр және магнит өрісі бар электромагниттік толқындар шығарады. Бірақ затта атомдар көп және олар ретсіз орналасқан. Сондықтан жарық олардан өртүрлі бағыттарға таралады да, барлық бағыттағы тербелістердің амплитудалары бірдей болады.

Тербеліс амплитудасы барлық жазықтықтарда бірдей болатын жарықты *табиғи жарық* деп атайды. Ал өртүрлі жазықтықтарда энергиялары өртүрлі болатын жарықты *жартылай поляризацияланған жарық* деп атайды. Егер жарықтың барлық энергиясы бір жазықтықта жинақталса, онда ондай жарықты толық поляризацияланған жарық деп атайды. *Тербеліс болатын жазықтықты тербеліс жазықтығы деп, ал оған перпендикуляр жазықтықты поляризация жазықтығы деп атайды.*

Табиғи жарықтың тербелісінен белгілі бір тербелістегі жарықты бөліп алу *жарықтың поляризациялануы* деп аталады. Поляризацияланған жарықты алу үшін қолданылатын аспаптарды *поляризациялағыштар* (поляризатор) деп, ал жарықтың поляризацияланған, поляризацияланбағанын, яғни табиғи екенін анықтайтын аспаптарды *талдағыштар* (анализатор) деп атайды. Поляризациялағыштар мен талдағыштардың құрылымы бірдей. Жарық шағылғанда да, сынғанда да поляризацияланады.

Жарық поляризациясының ашылуы. Жарықтың поляризациялану құбылысы алғаш рет турмалин кристалдарымен жасалған тәжірибелерден байқалды. *Турмалин* дегеніміз — жасыл қоңыр түсті кристалл, сондықтан жарық одан өткенде жасыл қара болып шығады. Турмалин кристалдарынан өлшемдері бірдей тіктөртбұрышты пластиналар кесіліп алынған. Тіктөртбұрыштың бір қабырғасы пластинаның ішіндегі кристалдардың бағытымен бағыттас болып келеді, оны *оптикалық ось* деп атайды. Бұл пластиналарды оптикалық осьтері беттесетін етіп орналастырып, олар арқылы жарықтың жіңішке шоғын жіберсек, онда экранда жасыл қара дақ көрінеді. Егер пластинаның екіншісіне тимей, біреуін айналдыра бастасақ, онда экрандағы дақ түскен жердің жарықтылығы әлсірей береді. Ал оны 90° бұрышқа бұрғанда дақ тіпті жоғалып кетеді. Пластинаның бұру бұрышын

арттырса, дақтың жарықтылығы қайтадан ұлғая береді де, бұрыш 180° -қа жеткенде жарықталыну максимум болады. Бұл жағдайда пластиналардың оптикалық осьтері қайтадан өзара параллель орналасады. Пластиналардың оптикалық осьтері бір-біріне перпендикуляр болса, экранның жарықтылығы минимал (жарық дағы жоғалады). Пластинаны айналдырудың бағыты жарықтылықтың өзгеруіне әсерін тигізбейді. Пластинаны қандай бағытта айналдырсақ та құбылыс сол күйде қайталаанады.

Бұл құбылысты қалай түсіндіруге болады? Мынадай болжам айтуға болады: бірінші турмалин пластинасы арқылы өткен жарық қандай да бір жаңа қасиетке ие болды делік. Ал *жарық дегеніміз электромагниттік толқындар екені белгілі*. Бұл толқындар — көлденең толқындар. Электр және магнит өрістерінің тербеліс жазықтықтары бір-біріне өзара перпендикуляр және олар толқынның таралу бағытына перпендикуляр болады. Жарық көзінен шыққан жарық шоғы сәулеге қатысты симметриялы, яғни оның тербелістері жазықтықтарда барлық мүмкін болатын бағыт бойынша өтеді. Ал толқын турмалин кристалының пластинасынан өткеннен кейін симметриялы бұзылады. Демек, турмалин кристалы жарықты белгілі бір жазықтықта ғана өткізетін қасиетке ие (мәселен, жарықтың турмалиннің оптикалық осіне параллель не перпендикуляр болуына қарай). Екінші кристалл бірінші кристалл арқылы өткен шоқтың осы жоғарыда айтылған қасиетін анықтауға көмектеседі. Демек, егер төмендегі болжамдарды ескерсек, поляризациялану құбылысын түсіндіруге болады.

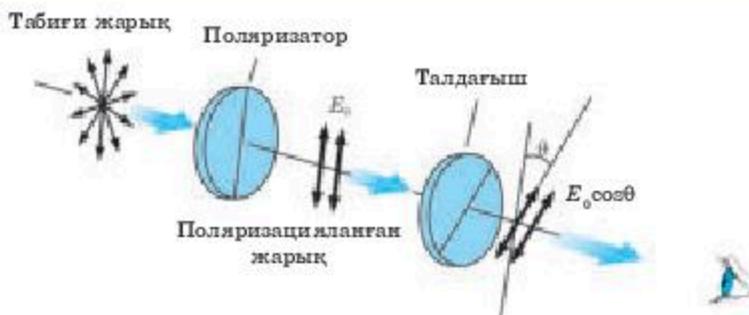
1. Турмалин пластинасы жарықтың тербеліс жазықтығы пластинаның оптикалық осіне қатысты белгілі бір орналасу жағдайында ғана жарықты өткізеді.

2. Жарық тербелісінің бағыты жарықтың таралу сызығының бағытына перпендикуляр, яғни жарық толқындары — көлденең толқындар.

3. Қарапайым жарық көзінен таралатын жарықтың өртүрлі жазықтықтардағы тербелістері бірдей болады.

Үшінші болжам турмалин кристалының кез келген орналасу жағдайында кристалл арқылы жарықтың кедергісіз өтуін түсіндіреді. Бұл кезде табиғи жарықтың таралу бағыты (жазықтығы) кристалдың жарықты өткізу бағытымен дәл келетін тербелістерінің саны бірдей болады (36.1-сурет).

Табиғи жарықтың турмалиннен (поляризатор) өтуі кезінде барлық мүмкін болатын тербеліс жазықтықтарының ішінен тек турмалин өткізетіндері E_0 ғана таңдап алынады. Сондықтан *турмалин арқылы өткен жарық кристалдың оптикалық осімен анықталатын жазықтығында жатқан көлденең тербелістердің жиынтығы болып табылады. Бұл жарық поляризацияланған деп аталады*,



36.1-сурет

ал мұның тербеліс жазықтығы поляризацияланған жарықтың тербелмелі жазықтығы деп аталады. Демек, бірінші пластина жарықты поляризациялайды, одан өткен жарық шоғының тербелісі тек бір жазықтықта, яғни поляризациялану жазықтығында ғана болады. Турмалиннің екінші кристалы (анализатор) бұл тербелісті тек екі кристалдың поляризациялану жазықтықтары сәйкес келген жағдайда ғана өткізеді. Егер бұл жазықтықтар бір-біріне перпендикуляр болса, онда ол жарықты өткізбейді. Қалған жағдайлардың бәрінде жарықтың бөліктері ($E_0 \cos\theta$) ғана өтеді, яғни өтетін жарықтың қарқыны төмендейді.

Механикалық модель арқылы поляризация құбылысын түсіндіру оңай. Серпімді жіп алып, оның бір ұшын бекітіп, екінші ұшын айналдырайық. Оның жолына жіңішке саңылауы бар екі жазықтық



36.2-сурет

орналастырсақ, онда саңылау арқылы өтетін жіптің тербелісі тек бір жазықтықта ғана болады. Егер осы тербелістің жолына жіңішке саңылауы бар параллель екі жазықтықты орналастырсақ, онда екінші жазықтықтың орналасу жағдайына байланысты жіптің тербелісі не одан өтеді, не өшеді.

Поляроидтер. Тұрмыста жарықты тек турмалин кристалдары ғана емес, сонымен қатар басқа кристалдар да поляризациялайды. Мысалы, исланд шпатының кристалдары бір уақытта бір-біріне өзара перпендикуляр поляризацияланған екі сәулені өткізеді. Турмалин кристалы тәрізді кейбір кристалдар поляризацияланған екі сәуленің біреуін толық жұтады, сондықтан ол арқылы тек белгілі бір бағытта ғана поляризацияланған сәуле өтеді. Ондай кристалдар дихронды кристалдар деп аталады. Поляризацияланған сәулелердің біреуін кешіктіріп жіберетін кристалдар да болады. Олардың қалыңдықтары 0,1 мм немесе одан да кіші болуы мүмкін (36.2-сурет). Осындай қабыршақты

целлулоидке жапсырып, шамасы бірнеше квадрат дециметр пластина болатын поляризациялағыш алынады. Бұл қабыршақтар *поляроидтер* деп аталады. Олар қолдануға өте қолайлы. Анализаторды айналдырған кезде одан өтетін жарық интенсивтілігін өзгертеді.



1. Турмалин кристалында болатын жарықтың поляризация құбылысын сипаттап түсіндіріңдер.
2. Қандай жарық табиғи, ал қандай жарық поляризацияланған деп аталады?
3. Поляризациялағыштың талдағыштан айырмашылығы неде?
4. Поляризациялағышты айналдыра талдағышты бұрғанда байқалатын құбылысты түсіндіріңдер.
5. Қандай заттар поляроидтер деп аталады?

6-тараудың ең маңыздысы

Интерференцияның максимум шарты

$$\Delta = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda;$$

минимум шарты

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Интерференция құбылысының әрқашан да болатынын, бірақ оны тек когерентті (жиіліктері бірдей және фазалар айырымы тұрақты) толқындар кезінде ғана бақылауға болатынын айта кету керек. Жарықтың интерференция құбылысын денелердің беттерін өңдеу сапасын анықтауда қолданады.

Жарық толқындарының *дифракциясын* дифракциялық тордың көмегімен оңай бақылауға болады, ол бірінен кейін бірі қайталанып келіп отыратын саңылаулар мен тосқауылдардан тұрады. Дифракциялық тор ($d \sin \alpha = k\lambda$) формуласының көмегімен жарық толқынының ұзындығы оңай анықталады.

Көлденең жарық толқындарына тән тағы бір құбылыс — *поляризация*. Оның мәнісі мынада: табиғи жарық (оның электромагниттік өрісі барлық мүмкін жазықтар бойынша тербеледі) поляризацияланған жарыққа айналады (тербелістер тек белгілі бір жазықтықта өтеді). Поляризация құбылысын поляризатор мен анализаторды пайдаланып бақылауға болады.

Жарық толқындарына тән тағы бір құбылыс — жарық дисперсиясы, яғни жарықтың сыну көрсеткішінің оның түсіне (жиілігіне) тәуелділігі. Ол ақ жарықтың призма арқылы оны құрайтын түстерге жіктелуі кезінде білінеді. Жарықтың дисперсиясы арқылы түстердің және кемпірқосақтың пайда болуы түсіндіріледі.

7-тарау. ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

§ 37. Жарықтың түзусызықты таралуы



Тірек ұғымдар:

- ✓ геометриялық оптика
- ✓ Ферма принципі
- ✓ жарық жылдамдығын анықтау әдістері
- ✓ Физо тәжірибесі



Бүгінгі сабақта:

- жарықтың таралуын зерттейтін геометриялық оптика бөлімімен танысасыздар;
- Ферми принципінің көмегімен геометриялық оптиканың заңдарын қорытуды, астрономиялық және зертханалық түрде жарық жылдамдығын анықтауды түсіндіресіздер.

Геометриялық оптика дегеніміз — жарықтың табиғатын қарастырмай, оның тек таралуын ғана зерттейтін оптиканың бөлімі. Геометриялық оптика — тек геометрияның заңдарына ғана сүйенетін абстрактілік оптика.

Геометриялық оптика толқындық оптиканың дербес түрі болып есептеледі. Ол қарастырылып отырған бөліктегі бөгеттің өлшемі толқын ұзындығымен салыстырғанда өте үлкен болған жағдайда қолданылады. Геометриялық оптиканың негізгі түсініктерінің бірі — жарық сәулесі ұғымы. *Жарық сәулесі дегеніміз — бойымен жарық энергиясы таралатын немесе толқын шебіне перпендикуляр жүргізілген және толқын ұйытқуының таралу бағытын көрсететін сызық. Жарық сәулесі жарық көзінен шығады.*

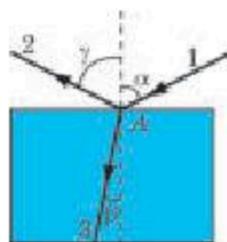
Геометриялық оптиканың заңдары өте ерте заманда жарық сәулелеріне алғашқы бақылаулар жүргізуден бастап эксперименттер арқылы табылған. Геометриялық оптикада жарықтың таралуын түсіндіретін негізгі төрт заң бар.

1. **Жарықтың түзусызықты таралу заңы:** *жарық сәулесі біртекті ортада түзу сызық бойымен таралады.*

2. **Жарықтың тәуелсіз таралу заңы:** *жарық сәулелері кездескенде бір-бірінің әрі қарай таралуына әсер етпейді.*

3. **Жарықтың шағылу заңы:** 1) (1) түскен сәуле, (2) шағылған сәуле және екі ортаның шеғарасындағы сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; 2) α түсу бұрышы γ шағылу бұрышына тең (37.1-сурет).

4. **Жарықтың сыну заңы:** 1) (1) түскен сәуле, (3) сынған сәуле, екі ортаның шеғарасындағы сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; 2) түсу бұрышының



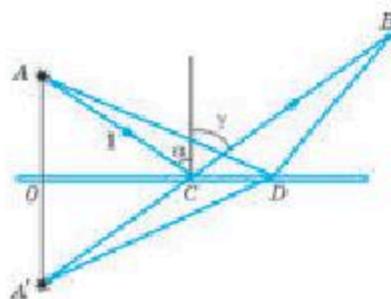
37.1-сурет

синусының сыну бұрышының синусына қатынасы берілген екі орта үшін тұрақты шама және ол бірінші ортаның екінші ортаға қатысты сыну көрсеткіші деп аталады, яғни $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$.

Ферма принципі. Біртекті ортада жарықтың түзу сызық бойымен қозғалу заңын, екі орта шегарасынан жарықтың сынуы мен шағылу заңын XVII ғасырдың ортасында француз ғалымы Пьер Ферма ұсынған Ферма принципінің көмегімен оңай алуға болады. Бұл принцип былай оқылады: *жарық кеңістіктің бір нүктесінен екінші нүктесіне ең аз уақыт кететін жолмен жүріп өтеді (таралады).*

Ферма принципі жарықтың түзу сызық бойымен таралу заңына қолданайық. Түзу (кесінді) — екі нүкте арасындағы ең қысқа қашықтық. Біртекті ортаның барлық нүктесіндегі жарық жылдамдығы бірдей. Берілген ортаның бір нүктесінен екінші нүктесіне өту үшін жарық түзу бойымен қозғала отырып қана ең аз уақыт жұмсайды.

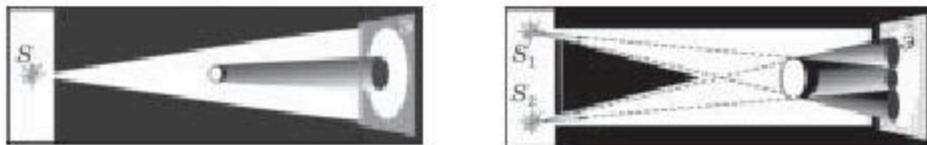
Енді шағылу заңын дәлелдейік. А нүктесінен шыққан 1-сәуле айнаның қандай да бір С нүктесінен шағылып, В нүктесіне өтеді (37.2-сурет). Ферма принципіне сәйкес жарық АСВ жолын ең аз уақытта жүріп өтуі тиіс. Бұл жол, шынында, басқа кез келген, мысалы, АDB жолынан қысқа. Жарық А нүктесінен С нүктесіне дейін түзу бойымен қозғалды, өйткені біртекті ортада ол түзу сызық



37.2-сурет

бойымен таралады және айнадан осы нүктеде шағылып, одан кейін В нүктесіне дейін де түзу бойымен жүріп өтеді. С нүктесінің орнын анықтау үшін ОА-ға тең ОА' кесіндісін А нүктесінен айна бетіне перпендикуляр етіп түсіреміз және А' пен В нүктелерін қосамыз. А'В кесіндісінің айна бетімен қиылысқан жері С нүктесінің орнын береді. АС = А'С болғандықтан, А нүктесінен шығып В нүктесіне жеткен жарықтың АСВ жолы А'СВ кесіндісіне тең. 37.2-суреттен кез келген D нүктесі арқылы өткен жарық жолы А'DB-ға тең және А'СВ-дан ұзын екені көрініп тұр, себебі А'В түзуі — А' және В нүктелері арасындағы ең қысқа қашықтық. Осы суреттен С нүктесінің осылай орналасуы түсу және шағылу бұрыштарының теңдігіне сәйкес келетінін көреміз: $\alpha = \gamma$.

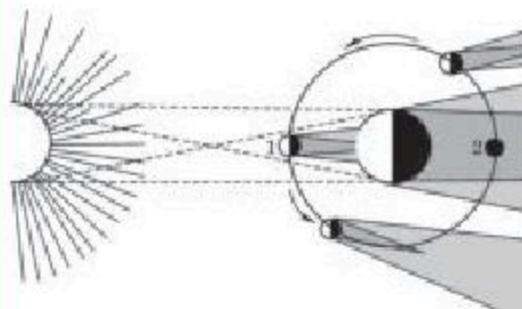
Жарықтың түзусызықты таралуы. Жарықтың түзусызықты таралуы көлеңке мен жартылай көлеңкенің пайда болуын түсіндіруге көмектеседі. *Көлеңке дегеніміз — мөлдір емес дененің артындағы кеңістіктің жарық энергиясы түспейтін аумағы.* Ашық, жарық күндері адамдардың, теректердің, құрылыстардың т.с.с. көлеңкелері анық көрінеді. Егер нүктелік жарық көзінен шыққан сәуленің жолына мөлдір емес зат қойсақ, онда сол заттың артында конус тәрізді көлеңке



37.3-сурет

пайда болады да, экранда сол заттың түрі қайталанатын көлеңке көрінеді (37.3-сурет). Егер жарық көзі ұзынша болып келсе, онда заттың ар жағында созылған конус тәрізді көлеңке пайда болады. Егер мөлдір емес денені екі жарық көзімен жарықтандырса, онда көлеңке үшеу болып шығады. Оның біреуі толық көлеңке, яғни екі жарық көзінің біреуінің де жарығы түспейтін кеңістіктің аумағы. Басқа екі көлеңке сәл күңгірттеу, өйткені ол көлеңкенің аумағына екі жарық көзінің біреуінен жарық түседі. Бұл көлеңкелер *алакөлеңкелер* деп аталады.

Күннің және Айдың тұтылулары. Жарықтың түзу сызықты таралуынан Күннің және Айдың тұтылулары пайда болады. Күнмен жарықтанған планеталар мен олардың серіктері көлеңкелер мен алакөлеңкелер береді. Мысалы, Айдың конус тәрізді көлеңкесінің максимал ұзындығы 384 000 км, ал Жердің конус тәрізді көлеңкесінің ұзындығы кеңістікте 33 млн км-ге созылады. Егер Ай Жерді айнала қозғалысы кезінде Жер мен Күннің ортасында болса (37.4-сурет, 1-жағдай) және олар бір түзудің бойына келіп қалса, онда ол Күннен келген сәулелені жабады да, *Күннің тұтылу құбылысы* байқалады. Күн толық немесе жартылай тұтылуы мүмкін. Тұтылуды Айдың көлеңкесі (толық тұтылу) немесе алакөлеңкесі (жартылай тұтылу) түскен жерлерден көруге болады. Күннің толық тұтылу уақыты әртүрлі, бірақ, әдетте, 2-3 мин-тан аспайды. Күннің тұтылуы тек жаңа ай туғанда ғана байқалады. Егер Ай Жерді айналғанда оның айналу орбитасының жазықтығы Жердің Күнді айналу орбитасының жазықтығына дәл келсе, онда Күннің тұтылуы әрбір жаңа ай туған сайын байқалған болар еді. Ай орбитасы жазықтығының Жер орбитасы жазықтығымен жасайтын бұрышы $5^{\circ}9'$ -қа тең. Күннің тұтылуы тек Жер мен



37.4-сурет

Ай орбиталарының қиылысатын жеріне Ай жақын келгенде ғана болуы мүмкін. Күннің толық тұтылуы бір жарым жыл ішінде бір қайталанатын. Бірақ Жердің белгілі бір аймағында осы құбылыстың қайталануы өте сирек кездеседі. Жер мен Айдың қозғалысы жақсы зерттелгендіктен, тұтылу болатын уақытты есептеу қиын емес.

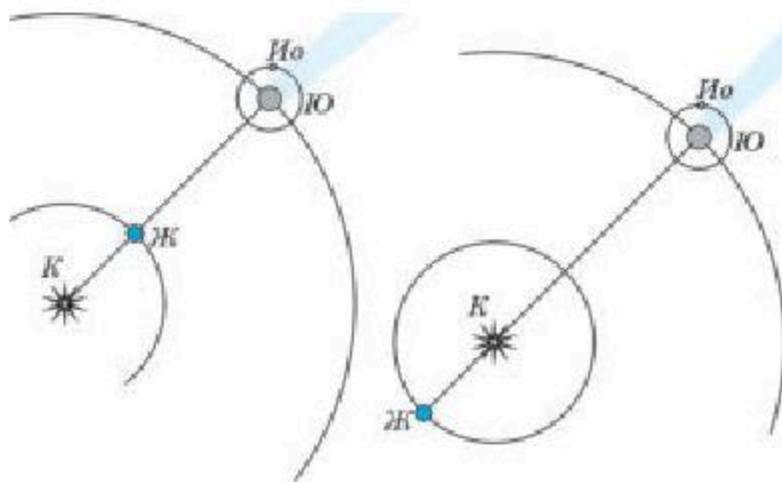
Айдың тұтылуы Ай Жердің көлеңкесінің аумағына түскенде болады (37.4-сурет, 2-жағдай). Айдың тұтылу уақыты Күннің тұтылу уақытына қарағанда әлдеқайда ұзағырақ, өйткені Жер көлеңкесінің диаметрі Ай көлеңкесінің диаметрінен әлдеқайда үлкен. Айдың тұтылу уақыты бір сағат шамасына созылуы мүмкін. Тұтылу кезінде Ай қоңыр қызыл түске боялады.



Тұтылу кезінде Ай түсінің қоңыр қызыл болатынын түсіндіріңдер.

Жарықтың жылдамдығы. Жарықтың тұзуусызықты таралуы оның жылдамдығын анықтауға мүмкіндік берді. 1607 жылы итальяндық физик Галилео Галилей бірінші болып жарықтың жылдамдығын анықтауға әрекет жасады. Үлкен алаңның қарама-қарсы жағына сағаттары бір уақытқа қойылған екі адамды тұрғызды. Бақылаушының біреуінің қолында қол шамы болды, оны ол жағады да, өзінің сағаты бойынша уақытты жазады. Ал екінші бақылаушы жарықтың сәулесін көріп, оны көрген уақытты жазып қояды. Бұл тәжірибе сәтсіз аяқталды. Өйткені уақыт аралығы өте аз еді.

1675 жылы дат астрономы Оле Рёмер Париж қаласында Юпитер серіктерінің тұтылуын бақылады (37.5-сурет). Ол Юпитердің әрбір серігінің орташа айналу уақытын тауып, оны кестеге түсірді. Жер мен Юпитер бір-бірінен ең алыс қашықтыққа барғанда кешігіп тұтылды. Рёмер бірден-бір дұрыс қорытындыға келді: жарық Жердің Күнді айналу орбитасының диаметріне тең қашықтықты жүріп өтуге уақыт жұмсайды (бұл уақыт 22 мин-қа тең, дәлірек айтқанда 1320 с). Бұдан кейін ол жарықтың жылдамдығын оңай есептеп шығарды. Жер мен Юпитер бір-біріне өте жақын келген кезде тұтылу орташа айналу пе-



37.5-сурет

риодынан анықталған уақыттан 22 мин-қа ерте басталатынына көңіл аударды:

$$c = \frac{2R_{\odot\oplus}}{r} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}}{1320 \text{ с}} = 2,27 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Қазіргі уақытты есептеу әдістері Жердің Күнді айналу орбитасының диаметріне тең аралықты жүріп өту үшін жарық 1000 с жұмсайтынын анықтады. Осыны ескерсек, жарық жылдамдығы

$$c = \frac{2R_{\odot\oplus}}{r} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}}{1000 \text{ с}} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

шамасына тең болады.

1722 жылы ағылшын астрономы Джеймс Брайдлей өзі ашқан жұлдыздар аберрациясы құбылысына сүйеніп жарықтың жылдамдығын тапты. Оның есебі бойынша жарық жылдамдығы 303000 км/с-қа тең. Жарықтың жылдамдығын табуға Рёмер мен Брайдлей қолданған әдістер *астрономиялық әдістер* деген атау алды. Жарықтың жылдамдығын анықтайтын *лабораториялық әдістер* де бар.

Физо тәжірибесі. 1849 жылы француз физигі Арман Ипполит Луи Физо жарықтың жылдамдығын Жер жағдайында есептеді. Жарықтың жылдамдығын дәл анықтау үшін уақыттың өте аз аралықтарын аса дәлірек анықтау қажет болды. Уақыттың аз аралықтарын анықтау үшін Физо 720 тісі бар *K* дөңгелекті қолданды (37.6-сурет). Жарық *S* жарық көзінен жартылай мөлдір *A* айнасына бағытталды, айна оны екі сәулеге бөледі. Шағылған сәуле дөңгелек тістерінің арасымен өтіп, *Z* айнасына жетеді. Одан шағылып, кейін бағытталған сәуле қайтадан тісті дөңгелекке түседі. Дөңгелектің айналу жылдамдығын өзгерте отырып, тісті дөңгелек арқылы өткен жарықты жартылай мөлдір *A* айнаға түсіріп және одан шағылған сәулені *T* көру түтікшесіне, демек, бақылаушының көзіне бағыттауға болады. Мұндай эффект алу үшін дөңгелектен айнаға дейінгі және кері жолды жарықтың жүріп өту уақыты дөңгелек тісінің еніне тең шамаға, яғни дөңгелектің бұрылуы үшін кеткен уақытқа тең болуы қажет. Уақытты табайық:



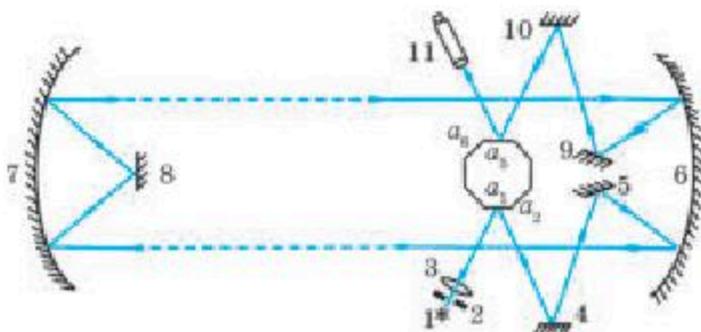
37.6-сурет

$t = \frac{2l}{c}$, мұндағы l — дөңгелектен Z айнаға дейінгі арақашықтық, c — жарық жылдамдығы. Егер дөңгелектің айналу жиілігі ν болса, онда оның дөңгелек тісінің еніндей шамаға айналу уақыты $\tau = \frac{1}{2\nu n}$, мұндағы n — дөңгелектегі тістер саны. Сонда $t = \tau$,

$$c = \frac{2l}{\tau} = \frac{2l}{\frac{1}{2\nu n}} = 4\nu nl.$$

Физо тәжірибесінде l қашықтық 8,6 км болды. Физо есептеулер жүргізіп, жарық жылдамдығының 313 000 км/с екенін тапты. Көрсетілген тәжірибеден басқа жарық жылдамдығын анықтайтын Керр эффектiсi (жарықтың поляризациясына негізделген), Фуко әдістері де бар (онда минутына 800 айналым жасайтын айналар пайдаланылды).

Майкельсон тәжірибесі. 1923 жылы Альберт Абрахам Майкельсон *айналмалы айна әдісін* жетілдіріп жасады. Оның қондырғысының сұлбасы 37.7-суретте келтірілген. Жарық көзінен 1 шыққан жарық шоғы диаграмма 2 және фокустаушы жүйе арқылы 3 өтіп, айналып тұрған сегізжақты айнаның a_1 жағына түседі. Бұл жақтан шағылып, жарық шоғы 4 айнаға жетеді, одан айналар жүйесі $4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ арқылы шет жақтағы айнаға a_5 бағытталады. Бұл жақтан да шағылып, жарық түтікшеге 11 енеді. 6 және 7 ойыс айналар екі таудың басына орналастырылды. Олардың арақашықтығы 35 373,21 м болатын. Сегізжақты айнаның айналу жылдамдығы 528 айн/с. Жарық екі таудың арасындағы қашықтықты екі рет жүріп өткен уақытында айна $1/8$ айналымға бұрылады, яғни a_5 жағының орнына a_6 жағы келеді. Сөйтіп, көру түтікшесінде жарық көрінді. $1/8$ айналымның ұзақтығы $\tau = \frac{1}{8\nu} = \frac{1}{8 \cdot 528}$ с = 236,7 мкс. Жарықтың жүріп өткен қашықтығы $l = 2 \cdot 35373,21\text{м} = 70746,42$ м. Жарық жылдамдығы $c = \frac{l}{\tau} = (299796 \pm 4)$. Қазіргі мәліметтер бойынша жарықтың вакуумдағы жылдамдығы $(299792458 \pm 0,3)$ м/с-ке тең.



37.7-сурет



1. Жарықтың түзусызықты таралу жылдамдығы не туралы айтылады?
2. Көлеңке деп нені айтады?
3. Жарықтың түзусызықты таралу заңын пайдаланып көлеңке мен алакөлеңкелерді қалай түсіндіруге болады?
4. Айдағы көлеңкелер айқын да қара, ал Жердегі көлеңкелер күңгірт, солғын болатыны неліктен?
5. Операция кезінде дәрігердің қолы операция жасап жатқан жерге көлеңке түсірмес үшін не істеу керек?
6. Күннің тұтылу процесін түсіндіріңдер. Қандай шарттар орындалғанда Күн толық тұтылады? Күннің тұтылуы жиі бола ма?
7. Айдың тұтылуы дегеніміз не? Оның балу себептері қандай? Айдың қандай фазаларында тұтылулар болады?
8. Жерде толық Ай тұтылуы болған кезде Айдағы ғарышкерлер қандай құбылыс байқайды?
9. Рёмер жарық жылдамдығын қалай анықтады?
10. Жарық жылдамдығын Физо қалай анықтады? Оның жасаған экспериментінің күрделілігі неде? Физо тісті дөңгелекті қандай мақсат үшін қолданды?
11. Жарық жылдамдығын Майкельсонның қалай анықтағанын айтыңдар. Оның экспериментінің артықшылығы неде?

§ 38. Жарықтың шағылу құбылысы. Жазық және сфералық айналар



Тірек ұғымдар:

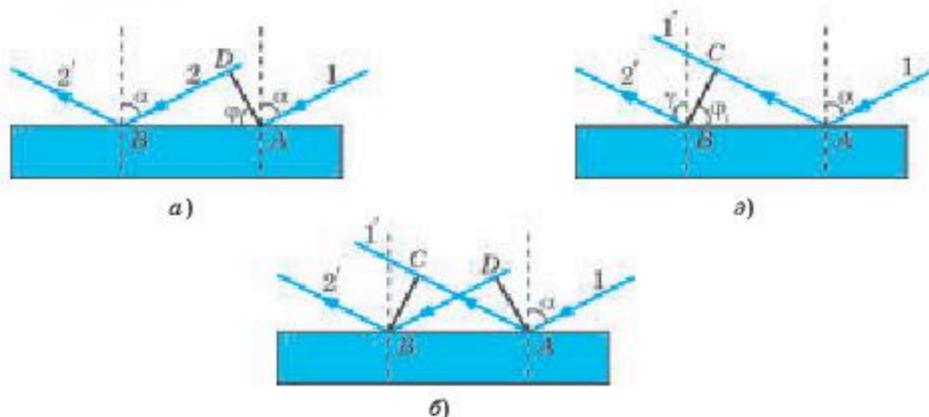
- ✓ шағылу құбылысы
- ✓ айналық шағылу
- ✓ жазық айна
- ✓ сфералық айна
- ✓ оптикалық ось
- ✓ фокустық жазықтық



Бүгінгі сабақта:

- сфералық айнадағы сәуленің жолын салу және жарықтың шағылу заңын түсіндіресіңдер;
- жазық және сфералық айнаның формулаларын есеп шығарғанда қолданасыңдар.

Жарықтың шағылу құбылысы. *Жарықтың шағылуы деп екі ортаның шегарасына бағытталған жарық сәулесінің жүру бағытының өзгеру құбылысын айтады. Бұл жағдайда жарық сәулесі шыққан ортасына қайта оралады.* Бұл құбылысты толығырақ қарастырайық. 38.1, *a*-суретте жартылай мөлдір екі пластинаға α бұрышымен түскен параллель екі жарық сәулесі 1 және 2 кескінделген. Олар белгілі бір γ бұрышымен шағылсын. Осы бұрыштың шамасын анықтайық. Жарықтың бірінші ортада таралу жылдамдығы v_1 -ге тең. Енді 38.1, *a*, *ә*-суреттерін қарастырайық. 1-сәуле екі ортаның шегарасындағы *A* нүктесіне түсіп, шағылады және 1' бағытында өзінің қозғалысын жалғастырады, ал сол уақытта 2-сәуле *D* нүктесінде болады (38.1, *a*-сурет). 1'-сәуле *C* нүктесіне жеткен уақыт аралығында 2-сәуле *D* нүктесінен *B* нүктесіне жетеді.



38.1-сурет

B нүктесі де A нүктесі секілді екі ортаның шегарасында орналасқан. Бұл жағдайда $1'$ -сәуле жүрген қашықтық $AC = v_1 t$ болады, ал 2 -сәуле жүрген қашықтық $DB = v_1 t$. Демек, AC мен DB кесінділері тең. Олай болса, ACB мен ABD үшбұрыштары өзара тең, өйткені $AC = DB$, ал AB қабырғасы ортақ, CB және AC қабырғалары, DB және AD қабырғалары өзара перпендикуляр.

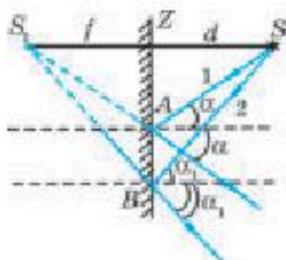
Тең үшбұрыштардың тең қабырғаларына қарсы тең бұрыштары жатады, демек, $\varphi = \varphi_1$ (себебі олар өзара тең DB мен AC қабырғаларына қарсы жатыр). Кез келген үшбұрыштың ішкі бұрыштарының қосындысы 180° -қа тең болғандықтан, ADB үшбұрышында $\varphi + 90^\circ + (90^\circ - \alpha) = 180^\circ$, яғни (38.1, б-сурет). Ал ACB үшбұрышы үшін $\varphi_1 + 90^\circ + (90^\circ - \gamma) = 180^\circ$, яғни $\varphi_1 = \gamma$. Жоғарыда біз $\varphi = \varphi_1$ екенін дәлелдегенбіз, демек, $\alpha = \gamma$ болады. Шағылудың екінші заңы (түсу бұрышы шағылу бұрышына тең) дәлелденді.

Шағылудың екі түрі бар: *айналық шағылу* және *шашырау* (диффузиялық).

Айналық шағылу дегеніміз — ол *теп-тегіс беттен шағылу* (бұл беттердің бұдырлығы жарық толқынының ұзындығымен салыстырғанда өте аз). Өртүрлі айналық беттерден шағылу қарқыны өртүрлі болады. Мысалы, күмістелген айна түскен сәуленің 96%-ына дейін шағылдырады. Ал тегіс жылтыраған қара түсті бет жарық энергиясының тек 1% -ын шағылдырады.

Шашырау немесе *диффузиялық шағылу* бұдыр беттен шағылу (бұл беттердің бұдырлығы өте жоғары) болып табылады. Диффузиялық шағылуда параллель жарық шоқтары өртүрлі бұрыштармен шағылып, барлық бағыт бойынша шашырайды. Жарықты барлық бағытта біркелкі шашырататын бет *тегіс бет* деп аталады. Мұндай беттер жоқ, бірақ оған жақын беттер бар, мысалы, бор.

Кез келген жарықпен жарықталған дененің бұдырлау бетіне қарасақ, біз ол бетті көре аламыз. Егер біз таза айнаның бетіне қарасақ, онда



38.2-сурет

оны көре алмаймыз да, оның орнына өзіміздің түрімізді, басқа заттардың кескіндерін көреміз. Сондықтан да микрофильмдер проекцияларын түсіретін экрандардың беттері айнадай тегіс емес, бұдырлы болып жасалады. Жарық тегіс емес беттерден жақсы шашырайды, мысалы, қағаз, сурет салатын қағаз, бор және т.б. Одан басқа жарықты тұман мен шаңның бөлшектері де жақсы шашыратады. Шашыраған жарық шағылған жарыққа қарағанда адамның көзін шаршатпайды.

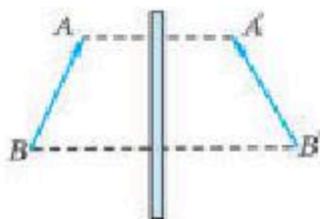
Жазық айна. Айна жазық және сфералық болып бөлінеді. *Жазық айна деп тегіс өңделген және шағылдыратын қабатпен жабылған, қисықтық радиусы шексіздікке ұмтылатын жазық бетті айтады.* S жарық көзінің Z жазық айнадағы кескінін алу жолын қарастырайық (38.2-сурет). Айнаға 1- және 2-сәулелерді жібереміз. Олардың екеуі де айнадан шағылады. Ал бізге ол S₁ нүктесінен шыққан тәрізді болып көрінеді. Бұл S₁ нүктесі S жарық көзінің кескіні.

Жарық шығарып тұрған S нүктесінен Z айнаға дейінгі қашықтықтың Z айнадан S₁ нүктесіне (жарықтың кескініне) дейінгі қашықтығына тең екенін, яғни $d = -f$ болатынын дәлелдеңдер.

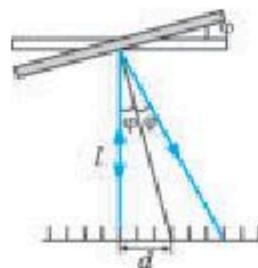
$$d = -f \tag{38.1}$$

жазық айнаның формуласы деп аталады. Жазық айнаның формуласын қорытып шығару үшін жарықтың шағылу заңы мен геометрия заңдарын пайдаланыңдар. Жазық айна заттың жорамал кескінін береді, сондықтан формулада айнадан кескінге дейінгі қашықтықтың алдында “-” таңбасы тұр. Жазық айнадан алған кескінінің кемшілігі — оның айналық симметриялығы (38.3-сурет).

Жазық айнаны айналық санау үшін де қолданады. Бізге өте аз шаманы өлшеу қажет болсын дейік. Жарық сәулесі айнаға 90° бұрышпен түссін (38.4-сурет). Сонда шағылған сәуле түскен сәуле түзуінің бойымен кері бағытталады. Егер айна φ бұрышына бұрылса, онда сәуле 2φ бұрышқа ауытқиды. Бұл жағдайда $\text{tg}2\varphi = \frac{d}{l}$. Егер айнаны бұру



38.3-сурет



38.4-сурет

бұрышы өте аз болса, онда айнаны микроскоптың тубусының ішіне орналастырады.

Мына жағдайды қарастырайық: өзара перпендикуляр орналасқан екі айнаның алдына жарық көзі қойылған (38.5, а-сурет). Жарықтың қанша кескінін көре аламыз? Эксперимент нәтижесі кескіннің үшеу екенін көрсетеді. Мұны қалай түсіндіруге болады? S' — S жарық нүктесінің бірінші айнадағы кескіні, S'' — жарық шығарып тұрған нүктенің екінші айнадағы кескіні, S''' — S' кескінінің екінші айнадағы кескіні. Ол кескін S'' кескінінің бірінші айнадағы кескінімен беттеседі. Нәтижесінде центрі O нүктесінде болатын шеңбер бойында орналасқан үш кескін алдық (38.5, ә-сурет). Сонда өзара перпендикуляр орналасқан екі айнадан алынатын кескіндердің санын табатын формула мынадай болады:

$$N = \frac{360^\circ}{90^\circ} - 1 = 3.$$

Жалпы жағдайда айналар бір-біріне кез келген α бұрышпен орналасқан кезде кескіндер саны

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \quad (38.2)$$

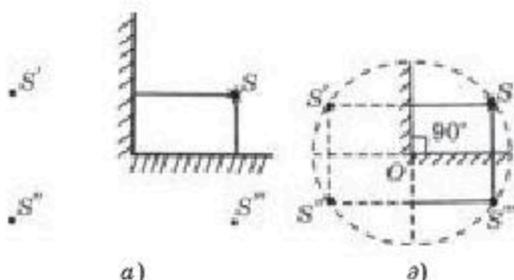
формуласымен табылады.

Бұл формуланы тәжірибе арқылы тексеріңдер.

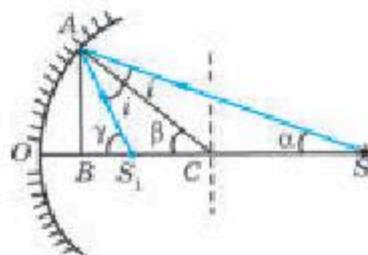
Жазық айналарды перископтарда қолданады. Ол — тасада жасырынып тұрып бақылау жүргізетін оптикалық құрал.

Сфералық айналар. Шағылдыратын беттері қисық болып келетін айналарды қисық айналар деп атайды. Қисық айналардың бір түрі — сфералық айналар. Олардың шағылдыратын беттері не ойыс, не дөңес болып келеді. Дөңес сфералық айналарды қарастырайық. Кез келген сфералық айнаның төбесі бар. Бұл — сфераның орта нүктесі. Оны O әрпімен белгілейді.

Сфералық айнаның оптикалық осі деп айнаның төбесі мен айна қисықтығының центрі арқылы өтетін түзуді айтады. 38.6-суретті қарастырайық. S — айнаның оптикалық осінде жатқан жарық көзі; S_1 — жарық көзінің кескіні; i — түскен сәуле мен сфералық айнаның



38.5-сурет



38.6-сурет

қисықтық радиусы арасындағы бұрыш; β — оптикалық ось пен айнаның қисықтық радиусы арасындағы бұрыш; α — түскен сәуле мен оптикалық ось арасындағы бұрыш; γ — шағылған сәуле мен оптикалық ось арасындағы бұрыш болсын. $OS = d$, $OS_1 = f$, $OC = r$, $AB = h$ деп белгілейік. S_1 нүктесі шағылған сәулелердің қиылысқан жеріндегі нүкте болғандықтан, жарық нүктесінің шын кескіні болып табылады. AB түзуі айнаның негізгі оптикалық осі OC -ға перпендикуляр. ASC үшбұрышын қарастырамыз. β бұрышы — бұл үшбұрыштың сыртқы бұрышы. Мына теореманы пайдаланайық: “үшбұрыштың сыртқы бұрышы онымен сыбайлас емес екі ішкі бұрыштың қосындысына тең”. Сонда $\beta = \alpha + i$ теңдігі орындалады. ΔSAS_1 үшін де γ бұрышы сыртқы бұрыш, демек, $\gamma = \alpha + 2i$. Соңғы теңдіктің екі жағына да α бұрышын қосып, $\gamma + \alpha = 2\alpha + 2i$ аламыз. Бірақ $\beta = \alpha + i$ болғандықтан, $\gamma + \alpha = 2\beta$. Оптикалық бас осьпен аз бұрыш жасайтын параксиаль сәулелерді қарастырайық. Сонда AB түзуі OS -ке перпендикуляр болады. Ал ABS тікбұрышты үшбұрышынан $\operatorname{tg}\alpha \approx \alpha = \frac{h}{d}$, ABC үшбұрышынан $\operatorname{tg}\beta \approx \beta = \frac{h}{r}$, ABS_1 үшбұрышынан $\operatorname{tg}\gamma \approx \gamma = \frac{h}{f}$. Осы өрнектерді $\alpha + \gamma = 2\beta$ формуласына қойып,

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r} \quad (38.3)$$

формуласын аламыз. Бұл формула *сфералық айнаның формуласы* деп аталады.

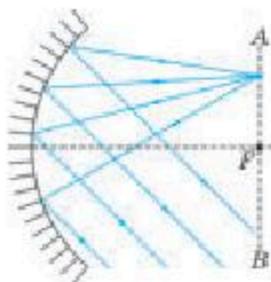
Нүктелік жарық көзі шексіздікте орналассын, сонда $d \rightarrow \infty$ және $\frac{1}{d} = 0$, демек, $\frac{1}{f} = \frac{2}{r}$ немесе $f = \frac{r}{2}$. Алыс нәрселерден келген сәулелердің, яғни оптикалық бас оське параллель сәулелердің жиналатын тұрақты нүктесін $\frac{2}{r}$ *сфералық айнаның негізгі фокусы* деп атайды. Ал айнаның төбесінен фокусқа дейінгі қашықтық айнаның *фокус аралығы* $F = \frac{r}{2}$ деп аталады.

Сонда сфералық айнаның формуласы былай жазылады:

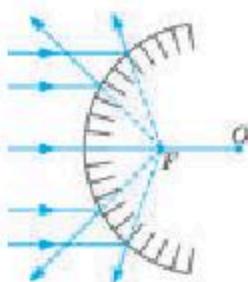
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (38.4)$$

Егер $r \rightarrow \infty$ болса, онда сфералық айнаның орнына жазық айна аламыз, яғни $d = -f$. Бұл — *жазық айнаның формуласы*.

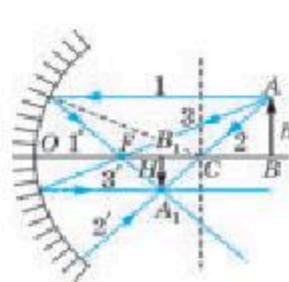
(38.4) формуласын талдайық. Ол үшін формуланы $\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$ түрінде жазайық. Егер $d > F$ болса, яғни зат айна фокусының артында тұрса, онда $\frac{1}{f} > 0$ және $f > 0$. Демек, біз шын кескін аламыз, яғни кескін айнаның алдында болады. Егер $d < F$ болса, онда $f < 0$, біз жалған кескін аламыз, яғни кескін айнаның арт жағында болады.



38.7-сурет



38.8-сурет



38.9-сурет

Егер айнаға түсетін параллель сәулелер бас оптикалық оське параллель болмаса, онда олар шағылғаннан кейін фокуста жиналмайды, фокустық жазықтықта жиналады. *Айнаның фокустық жазықтығы деп айнаның оптикалық бас осіне перпендикуляр болып, оның фокусы арқылы өтетін жазықтықты айтады (38.7-сурет).*

Дөңес айна (38.8-сурет) әрқашан жорамал кескін береді ($f < 0$). Бұл айнаның фокусы жорамал ($F < 0$), өйткені мұнда сәулелердің өздері емес, олардың жалғасы жиналады (айна жарық сәулелерін шашыратады). Осыны ескерсек, дөңес сфералық айнаның формуласы былай жазылады:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (38.5)$$

Сфералық айнадағы кескінді тұрғызу үшін негізгі үш сәулені пайдаланады (38.9-сурет):

- 1) 1-сәуле айнаның оптикалық бас осіне параллель жүреді де, айнадан шағылғаннан кейін айнаның фокусы арқылы өтеді (1'-сәулесі);
- 2) 2-сәуле айнаның қисықтық центрі арқылы өтіп, түскен сәуле сызығының бойымен кері шағылады (2'-сәулесі);
- 3) 3-сәуле айнаның фокусы арқылы өтіп, айнадан шағылғаннан кейін негізгі оптикалық оське параллель жүреді (3'-сәулесі).

Сфералық айналарда кескінді тұрғызу жұмыстарын жүргізгенде *параксиаль сәулелерді* пайдалану керек (*параксиаль сәулелер* дегеніміз — айнаға өте аз бұрышпен түсетін сәулелер).

Сфералық айналар заттың ұлғайған немесе кішірейген кескіндерін береді. *Айнаның ұлғайтуы дегеніміз — кескіннің сызықтық өлшемінің нәрсенің сызықтық өлшеміне қатынасына тең физикалық шама (38.9-сурет). $AB = h$, ал $A_1B_1 = H$ болсын, сонда $\Gamma = \frac{H}{h}$.* Есептеулер нәтижесі сфералық айнаның ұлғайтуы нәрседен айнаның төбесіне дейінгі $BO = d$ және кескіннен айнаның төбесіне дейінгі $OB_1 = f$ қашықтықтарға байланысты екенін көрсетті. Ендеше, айнаның ұлғайтуы

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}. \quad (38.7)$$

Параболалық ойыс айналар өзіне түскен жарықтың параллель сәулелер шоғын бір нүктеге жинайды. Егер мұндай айнаның фокусына жарық көзін орнатсақ, параллель сәулелер шоғын аламыз. Бұл автомобильдерде, прожекторларда, сондай-ақ аспан денелерін, мысалы, жұлдыздарды, планеталарды зерттеу үшін телескоп-рефлекторларда қолданылады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

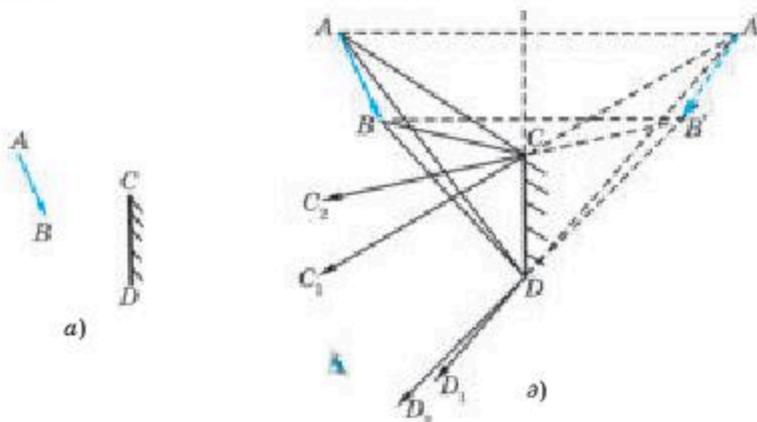
Егер жаныңда отырған адамның көзіне қарасаң, өзіңнің кішірейген бейнеңді көруге болады. Бұл бейне қалай пайда болды? Көздің қарашығы дөңес айнаның қызметін атқарады, яғни бейне осы көз қарашығының бетінде пайда болады.



1. Қандай құбылыс жарықтың шағылуы деп аталады? Ол қандай заңдарға бағынады?
2. Жарықтың шағылу заңын қорытып шығарыңдар.
3. Шағылудың қандай түрлерін білесіңдер?
4. Қандай айна жазық айна деп аталады?
5. Жазық айнаның формуласын қорытып шығарыңдар.
6. Жазық айна қандай кескін береді?
7. Жазық айна шын кескін бере ме?
8. Қарындаш жазық айнадан 25 см қашықтықта жатыр. Егер қарындашты айнадан 10 см қашықтыққа жылжитсақ, оның кескіні қарындаштан қандай қашықтықта болады?
9. Айнаны нәрсенің жорамал кескіні болған жерге қойсақ, жазық айнадағы зат пен оның кескінінің арақашықтығы қалай өзгереді?
10. Айналы телескоп құрылысының сұлбасын және сәуленің жүру жолдарын сызыңдар.
11. Егер екі жазық айна шамасы 60° болатын екіжақты бұрыш жасаса, біз қанша кескін аламыз? 30° болса ше?
12. Өзара параллель екі жазық айна қанша кескін береді?
13. Сфералық айнаның қайсысы жарықты шашады, ал қайсысы өзіне түскен параллель жарық шоқтарын бір нүктеге жинайды? Бұл нүкте қалай аталады?
14. Қандай сфералық айнаның фокусы шын, жорамал болады?
15. Қандай кескін шын кескін деп аталады?
16. Сфералық айнада кескін алуға көмектесетін негізгі сәулелерді атаңдар.
17. Айнаның ұлғайтуы дегенді қалай түсінесіңдер?
18. Жазық және сфералық айналардың, тегіс беттердің тұрмыста қолданылатын жерлерін атаңдар.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. AB заты мен CD айнасы суретте көрсетілгендей орналасқан (38.10, a -сурет). AB затының айнадағы кескінін тұрғызыңдар. Барлық заттың кескінін толық көру үшін оған адам қай жерден қарау керек?



38.10-сурет

Шешуі. А нүктесінен шыққан сәулелер айнадан шағылғаннан кейін CC_1 және DD_1 (38.10, б-сурет) түзулерімен шектелген жолақ ішінде, ал В нүктесінен шыққан сәулелер CC_2 және DD_2 түзулерінің арасында болады (сәулелердің шағылу заңына сәйкес). Заттың барлық нүктелерінен шыққан сәулелер тек CC_1 және DD_2 түзулерінің арасындағы жолақ алаңда орналасса ғана адамның көзі көре алады. Осы есептен дербес тапсырма алуға болады. Адам өзінің бойын толық көру үшін жазық айнаны қандай қашықтықта орналастыру керек?

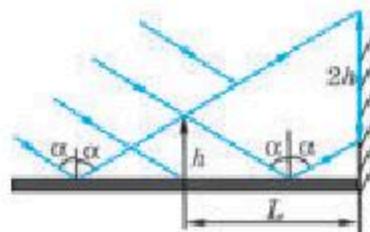
2-есеп. Күн сәулелері горизонталь жатқан айнадан шағылып, вертикаль тұрған экранға түседі. Горизонталь жатқан айнада жазық дене орналасқан. Вертикаль экрандағы көлеңкені сипаттаңдар.

Шешуі. Нәрсенің биіктігін h деп белгілейік, ал нәрседен экранға дейінгі қашықтық l болсын. Жарық экранға бұрышпен түссін. Екі жағдайды қарастырайық.

1. $L > 2htg\alpha$. Бұл жағдайда экранда табандарымен беттескен түзу және төңкерілген екі көлеңке (38.11-сурет) көрінеді. Көлеңкенің жалпы ұзындығы $2h$. Көлеңке күн сәулелерімен жарықтанған және экранның жарық тура түскен, шағылған сәулелермен жарықтанған бөліктерінен айқын ерекшеленеді.

2. $L < 2htg\alpha$. Бұл жағдайда көлеңкенің ұзындығы $2h$ -тан кіші. Сонымен қатар оның түскен және шағылған сәулелермен де жарықтанбаған жерлері болады.

Оны өздерің дәлелдендер.



38.11-сурет



17-жаттығу

1. Қандай шарт орындалғанда жазық айна шын кескін береді?
2. Жазық айнаны 20° -қа бұрғанда оның бетінен шағылатын сәуле қандай бұрышқа бұрылады?
Жауабы: 40° .
3. 60° -қа тең екіжақты бұрыш құрайтын екі жазық айналық жүйеден жарық нүктесінің неше кескінін көруге болады? Суретін салып дәлелдендер.
Жауабы: 5.
4. Күннің биіктігі 50° . а) Құдықтың түбін жарықтандыру үшін; ө) Күн сәулесін горизонталь бағыттау үшін жазық айнаны қалай орналастыру керек?
Жауабы: а) 70° ; ө) көкжиекке 115° немесе 65° бұрышпен.
5. Күңгірт немесе жылтыр қағаздың қайсысынан фотосурет жақсы көрінеді? Неге?
6. Диаметрі 5 см болатын дөңгелек, мөлдір емес дискіге нүктелік жарық көзінен жарық түседі. Дискіге қарама-қарсы экран орналасқан. Диск пен жарық көзінің арасы 1 м, ал экран мен дискінің арақашықтығы 2 м, экранда пайда болған көлеңкенің ауданын есептендер.
Жауабы: 177 см^2 .
7. Биіктігі 3 м бөлменің ортасында төбеден 50 см арақашықтықта шам ілініп тұр. Шамның сәулелері тек жоғары қарай бағытталған. Шамның үстінде төбеде диаметрі 60 см жазық айна орналасқан. Бөлме еденіндегі айнадан шағылған жарықтың диаметрін есептендер.
Жауабы: 4,2 м.
8. 2 айна 72° -қа тең екіжақты бұрыш түзеді. Айнаның біріне жарық сәулесі түседі. Алғаш түскен сәулемен айналардан шағылған сәуленің арасындағы бұрышты анықтаңдар.
Жауабы: 144° .
9. Параллель жарық шоғы горизонталь тарайды. Жазық айнаны көкжиекке қандай бұрыш жасап қойған кезде шағылған сәуле тік шашырайды?
Жауабы: 45° .
10. Айнаға түскен жарық көзінің көмегімен вертикаль құдықтың түбін жарықтандыру қажет. Көкжиекке жарық сәулелері 30° бұрыш жасайды. Сонда жазық айнаны көкжиекке қандай бұрыш жасап орналастыру керек?
Жауабы: 60° .

§ 39. Жарықтың сыну құбылысы



Тірек ұғымдар:

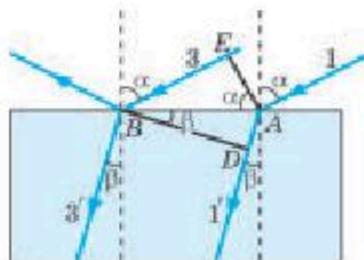
- ✓ жарықтың сынуы
- ✓ талшықтық оптика
- ✓ толық жағылу

Бүгінгі сабақта:

- Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың сыну заңын түсінесіңдер.



Жарықтың сынуы. Жарықтың сыну құбылысы деп бірінші ортадан екінші ортаға өткенде жарық сәулелерінің таралу бағытының өзгеруін айтады. Өртүрлі ортада жарықтың таралу жылдамдығы түрлі болғандықтан жарықтың сыну құбылысы байқалады. Эксперимент жолымен алынған сыну заңдары мынадай:



39.1-сурет

1) түскен сәуле 1, сынған сәуле 1' және екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады (39.1-сурет);

2) түсу бұрышы синусының сыну бұрышының синусына қатынасы берілген екі орта үшін тұрақты шама және ол *екінші ортаның бірінші ортаға қатысты салыстырмалы сыну көрсеткіші* деп аталады:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n. \quad (39.1)$$

Бұл заңның екінші бөлімін дәлелдейік. Ол үшін 40.1-суретті қарастырайық. Бұл суреттегі параллель 1 мен 3 сәулелері түскен, ал 1' және 3' сәулелері — сынған сәулелер. Бірінші ортада жарық v_1 жылдамдықпен, ал екінші ортада v_2 жылдамдықпен таралады. 1-сәуле A нүктесіне келген мезетте 3-сәуле E нүктесінде болсын. 1'-сәуле екінші ортада қозғалып D нүктесіне жеткенде, 3-сәуле бірінші ортада қозғалып B нүктесіне келеді. Осыларды ескеріп, AD және EB арақашықтықтарын есептейміз: $EB = v_1 \tau$, ал $AD = v_2 \tau$. α — жарық сәулесінің түсу бұрышы, ал β — сыну бұрышы. Сонда $\angle ABD = \beta$, ал $\angle BAE = \alpha$ ($\angle BAE$ мен α бұрыштарының өзара перпендикуляр қабырғалары бар), сондықтан ABE тікбұрышты үшбұрышынан

$$\frac{EB}{AB} = \sin \alpha. \quad (39.2)$$

Ал тікбұрышты үшбұрыш ABD-дан

$$\frac{AD}{AB} = \sin \beta. \quad (39.3)$$

(39.2) теңдігін (39.3) теңдігіне бөліп, $\frac{EB}{AD} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ аламыз. Ал $AD = v_2 \tau$, $EB = v_1 \tau$ болғандықтан,

$$\frac{v_1 \tau}{v_2 \tau} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \text{ немесе } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (39.4)$$

Жарықтың ортада таралу жылдамдығы тұрақты болғандықтан, олардың қатынастары да тұрақты болады, яғни

$$v_1 = \frac{c}{n_1}, v_2 = \frac{c}{n_2}, \frac{v_1}{v_2} = n_{2,1}. \quad (39.5)$$

Бірінші ортада таралатын жарық жылдамдығының екінші ортада таралатын жарық жылдамдығынан неше есе үлкен екенін көрсететін физикалық шаманы салыстырмалы сыну көрсеткіші деп атаймыз.

Осыны ескеріп, (39.4) формуласын мына түрде жазамыз:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1}. \quad (39.6)$$

Бұл — жарықтың сыну заңы. Осы формуланы талдай отырып, жарықтың түсу бұрышының өсуіне қарай сыну бұрышының да өсетінін байқаймыз.

Жарықтың вакуумда таралу жылдамдығының жарықтың берілген ортада таралу жылдамдығынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шаманы берілген ортаның абсолют сыну көрсеткіші деп атайды:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (39.7)$$

Мұнда $c > v$ болғандықтан, $n > 1$. Мысалы, су үшін $n = 1,33$, шыны үшін $1,5 < n < 1,8$, ауа үшін $n = 1,0003$, алмаз үшін $n = 2,45$. Абсолют сыну көрсеткіші үлкен орта оптикалық тығыз орта деп аталады.

Абсолют және салыстырмалы сыну көрсеткіштерінің арасындағы байланысты тағайындайық. (39.7) формуладан берілген ортадағы жарықтың таралу жылдамдығын табамыз. Сонда бірінші ортадағы

жарықтың жылдамдығы $\frac{c}{n_1} = v_1$, ал екінші ортада $\frac{c}{n_2} = v_2$.

(39.5) формулаға сәйкес

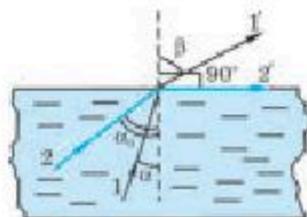
$$n_{2,1} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Жарықтың сыну заңын $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ немесе $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$ түрінде жазуға болады, яғни ортаның абсолют сыну көрсеткішінің жарық сәулесінің түсу бұрышының синусына көбейтіндісі тұрақты шама: $n \cdot \sin \alpha = \text{const}$,

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta. \quad (39.8)$$

Ол оптикалық инвариант деп аталады.

Жарық сәулесі бір ортадан екінші ортаға өткенде оның бастапқы бағыттан ауытқуы байқалады. Жарық сәулесінің түсу бұрышы неғұрлым үлкен болса, онда ауытқу соғұрлым үлкен.



39.2-сурет

Жарықтың толық ішкі шағылуы. Жарықтың оптикалық тығыздығы жоғары ортадан оптикалық тығыздығы аз ортаға өтуін қарастырайық. Бұл жағдайда сәуленің түсу бұрышы сәуленің сыну бұрышынан кіші болады. Сәуленің түсу бұрышы өскен сайын сыну бұрышының артатынын білеміз. Белгілі бір мезетте α_0 түсу бұрышына сәйкес сыну бұрышы 90° -қа тең болсын (39.2-сурет). Бұл жағдайда жарық сәулесі екі ортаның шегарасы бойымен кетеді. Мұндай құбылыс *толық ішкі шағылу* деп аталады. Сәуле α_0 -ден үлкен бұрышпен түссе, жарық сәулесі бірінші (әлдеқайда тығыз) ортадан шықпайды. Жарық сәулесінің сыну заңы толық ішкі шағылу жағдайы үшін төмендегідей жазылады:

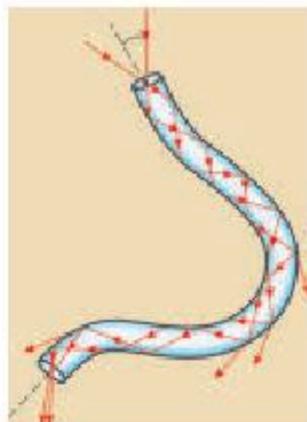
$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \text{ немесе } \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}.$$

Ауа және вакуум үшін $n_2 = 1$. Сондықтан соңғы формуладан жарықтың қандай да бір ортадан ауаға не вакуумға өтуі былай болады: $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_1}$. Осы формуладан ортаның абсолют сыну көрсеткішінің шамасын табамыз:

$$n_1 = \frac{1}{\sin \alpha_0}.$$

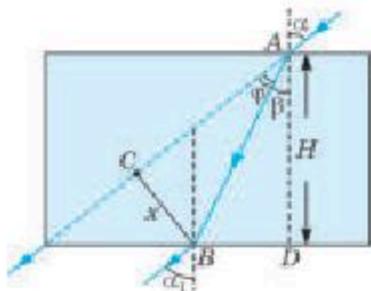
Толық ішкі шағылу құбылысы көптеген оптикалық құралдарда қолданылады. Оны медицинада, эндоскопиялық аппараттарда пайдаланылады.

Ең қызық және практикалық маңызды қолдау талшықтық жарықжетекшінің ашылуы болды. Ол — бірнеше микрометрден миллиметрге дейінгі жіңішке өртүрлі қисайған мөлдір материал (шыны, кварц). Талшыққа түскен сәуле одан үлкен қашықтықтарға толық ішкі шағылудың әсерінен тарай алады (39.3-сурет). Оны құрастыру және қолданумен айналысатын ғылыми-техникалық бағыт *талшықтық оптика* деп аталады. Ерекшеліктері:



39.3-сурет

- үлкен жылдамдық (10 Гбит/с-тан бастап);
- сенімділік (олар сыртқы ортаның әсерінен бұзылмайды, бөгеулердің болмауы, сонымен қатар әлсіз электромагниттік әсерлеседі);



39.4-сурет

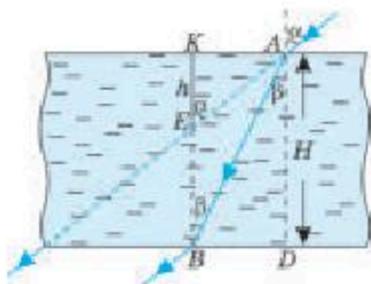
- азғана уақыттың ішінде ақпаратты үлкен тасымалдау ерекшелігі — оның әсерінен кино немесе музыканы т.б. тыңдауға, көруге болады;
- ақпараттың қауіпсіздігі (бір нүктеден тікелей екінші нүктеге тасымалдануы);
- салмағы мен көлемінің ықшамдылығы;
- химиялық әсерге және өртке төзімділігі.

Жазық параллель пластинка. Жарық сәулелерінің жазық параллель пластинкаларға түсуінің практикада маңызы зор.

Жазық параллель пластинкалар дегеніміз — екі жағы параллель беттермен шектелген мәлдір дене. Мұндай пластинкалардан өткеннен кейін жарық сәулелері түскен сәулеге параллель қалғанмен, біраз қашықтыққа ығысады. Осыны дәлелдейік. Пластинканың астыңғы және үстіңгі жағында абсолют сыну көрсеткіші n_1 болатын бірдей орта бар (39.4-сурет). Пластинка затының абсолют сыну көрсеткішін n_2 дейік. Сонда жарықтың сыну заңына сәйкес A нүктесі үшін (сәуленің пластинкаға өту нүктесі) $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$, ал B нүктесі үшін (сәуленің пластинкадан шығу нүктесі) $\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{n_2}{n_1}$ болады. Бұл екі формуланы салыстырсақ, $\alpha = \alpha_1$. Демек, жарық сәулесі жазық параллель пластинкадан өткенде таралу бағытын өзгертпейді, бірақ ығысады. CB сәулесінің $CB = x$ ығысу шамасын табайық. ABC тікбұрышты үшбұрышынан $x = AB \sin \varphi$, мұндағы $\varphi = \alpha - \beta$. ABD тікбұрышты үшбұрышынан $AB = \frac{H}{\cos \beta}$. Сонда сәуленің ығысу шамасы

$$x = H \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad (39.9)$$

формуласымен анықталады. Бұл формуладан пластинка неғұрлым қалың немесе түсу бұрышы үлкен болса, сәуленің үлкен шамаға ығысатынын көреміз.



39.5-сурет

Шын және көрінерлік тереңдік. Аквариумға не кел суына қарағанда олардың түбі жақын сияқты болып көрінетінін сендер байқаған шығарсыңдар.

Бұл жағдайды қандай физикалық құбылысқа сүйеніп түсіндіруге болады? Жауаптарыңды негіздеңдер.

Көлдің шын тереңдігін өлшейік. Көлдің бетіне аз бұрышпен түсетін жарық сәулесін қарастырайық. 39.5-суретте көлге түскен

жарық сәулесінің α бұрышы көрсетілген. Көлдің көрінерлік тереңдігін KE десек, тікбұрышты үшбұрыш AKE -ден $KA = h \cdot \operatorname{tg}\alpha$, ал ADB тікбұрышты үшбұрышынан $BD = H \cdot \operatorname{tg}\beta$. $BD = AK$ болғандықтан, $h \operatorname{tg}\alpha = H \operatorname{tg}\beta$. Осыдан көлдің шын тереңдігін аламыз:

$$H = h \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta}. \quad (39.10)$$

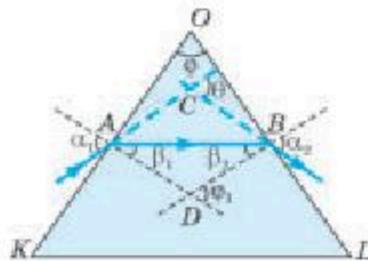
Призма. Жарықтың шағылу және сыну құбылыстарын зерттегенде көптеген оптикалық аспаптар қолданылады. Сондай аспаптың бірі — призма. *Призма дегеніміз — қиылысатын жазықтықтармен шектелген мөлдір дене. Қиылысатын жазықтықтардан пайда болған бұрышты призманың сындыру бұрышы* деп, ал жазықтықтардың өзін *сындыратын жақтар* деп атайды. Жазықтықтардың қиылысу сызықтарын *сындыру қабырғалары* деп, сындыру бұрышына қарсы тұрған жазықтықты *призманың табаны* деп атайды. Сәуленің призмада жүрген жолын қарастырайық. 39.6-суретте сәуленің жүру жолы сәуленің шағылу және сыну заңдарына сәйкес орындалған. Призманың сындыратын KO жағына α_1 бұрышпен жарық сәулесі түссін.

Сәуле призмада сынғаннан кейін өзінің таралу бағытын өзгертіп, β_1 бұрышпен призманың KL табанына параллель кетеді (AB түзуі). Призманың екінші сындыру жағына перпендикуляр тұрғызып, жарық шоғының оған β_2 бұрышпен түсетінін көреміз. Сәуле призмадан α_2 бұрышпен шығады. Сынған сәуле мен түскен сәуленің жалғасы C нүктесінде қиылысады. Ал D нүктесі — призманың сындыру қабырғаларына түсірілген нормальдардың қиылысу нүктесі. φ бұрышы — призманың сындыру бұрышы. θ бұрышын табайық. Бұл сәуленің бастапқы бағытынан ауытқу бұрышы. *Ауытқу бұрышы деп призмаға кірген сәуле мен призмадан шыққан сәуле бағыттарының арасындағы бұрышты айтады.*

ABC үшбұрышы үшін θ бұрышы сыртқы бұрыш. Ал сыртқы бұрыш өзімен сыбайлас емес екі ішкі бұрыштың қосындысына тең. Демек, $\theta = \angle CAB + \angle CBA = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2)$ немесе $\theta = (\alpha_1 + \alpha_2) - (\beta_1 + \beta_2)$. ABD үшбұрышында φ_1 бұрышы да сыртқы бұрыш, яғни $\varphi_1 = \beta_1 + \beta_2$, ал φ , φ_1 бұрыштары қабырғалары өзара перпендикуляр бұрыштар болғандықтан олар өзара тең: $\varphi_1 = \varphi$. Олай болса, $\theta = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi$.

Жарықтың сыну заңының көмегімен тригонометриялық түрлендірулер жүргізіп, онша күрделі емес есептеулер нәтижесінде $\alpha_1 = \alpha_2$ және $\beta_1 = \beta_2$ шарттары орындалған жағдайда призманың ауытқу бұрышының кіші екенін дәлелдеуге болады. Есептеу жұмыстарын жалғастырып, *жұқа призманың формуласын* аламыз:

$$\theta_{\min} = (n - 1)\varphi.$$



39.6-сурет

Жарықтың призмадан өткеннен кейінгі максимум ауытқу шарты мынадай: $\theta_{\max} = \alpha_1 + \frac{\pi}{2} - \varphi$.

Бұл кезде шыққан сәуле сындыратын жақтың бойымен сырғанап кетеді.



1. Қандай құбылыс жарықтың шағылуы деп аталады? Ол неге байқалады?
2. Жарықтың шағылу заңын тұжырымдаңдар және оны қорытыңдар.
3. Жарықтың абсолют және салыстырмалы сыну көрсеткіштерінің физикалық мағынасын түсіндіріңдер. Олар өзара қандай байланыста болады?
4. Жарықтың толық шағылуы деп қандай құбылысты айтамыз? Ол қалай байқалады?
5. Жарық жазық параллель пластиналар арқылы өткенде қандай құбылыстар байқалады?
6. Көлдің шын және көрінерлік тереңдіктері деген не? Олар неге өзара тең емес?
7. Призманың негізгі қасиеттеріне анықтама беріңдер.
8. Призмадағы сәуленің жүру жолын қалай анықтауға болады?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Сыну бұрышы түсу бұрышынан екі есе кіші болуы үшін жарық сәулесі шынының бетіне қандай бұрышпен түсуі керек? Шынының сыну көрсеткіші 1,5.

<p><i>Берілгені:</i></p> <p>$\beta = \frac{\alpha}{2}$</p> <p>$n = 1,5$</p> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <p>$\alpha - ?$</p>	<p><i>Шешуі.</i> $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ сыну заңын пайдаланамыз.</p> <p>$\beta = \frac{\alpha}{2}$ болғандықтан, $\alpha = 2\beta$. Сонда формула былай жазылады: $\frac{\sin 2\beta}{\sin \beta} = n$. Тригонометриядан $\sin 2\beta = 2\sin \beta \cdot \cos \beta$ екені белгілі. Осыны ескерсек,</p>
--	---

$\frac{2\sin \beta \cdot \cos \beta}{\sin \beta} = n$ немесе $\cos \beta = \frac{n}{2}$. Бізге $\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1$ формуласы

белгілі. Бұдан $\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{n^2}{4}} = \frac{\sqrt{4 - n^2}}{2}$. Сыну бұрышы

синусының бұл мәнін формулаға қойып, $\frac{2\sin \alpha}{\sqrt{4 - n^2}} = n$ аламыз. Осыдан

жарық сәулесінің түсу бұрышын табамыз: $\sin \alpha = \frac{n\sqrt{4 - n^2}}{2}$. Сан мәндерін

орнына қойсақ, $\sin \alpha = \frac{1,5\sqrt{4 - 2,25}}{2} = 0,992$ шығады, ал $\alpha = 83^\circ$.

2-есеп. Тереңдігі $H = 2$ м болатын көлдің бетінде радиусы $r = 3$ м дөңгелек ағаш жүзіп жүр. Ол шашыраңқы жарықпен жарықтанған. Көлдің түбіндегі ағаштың көлеңкесі мен алакөлеңкесінің радиустарын табыңдар.

Берілгені:

$$H = 2 \text{ м}$$

$$r = 3 \text{ м}$$

$$n = 1,3$$

$$R_1 - ?$$

$$R_2 - ?$$

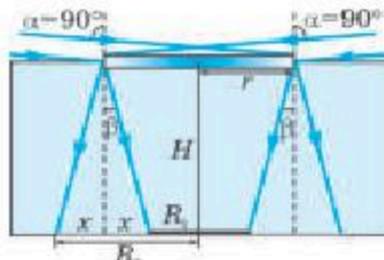
Шешуі. Дөңгелек бетіне шашыраған жарық түсетіндіктен, жарықтың түсу бұрышы 0° -тан 90° -қа дейінгі кез келген бұрыш. Егер жарық 90° бұрышпен түссе, көлдің түбінде толық көлеңкенің аумағы байқалады. Алакөлеңкенің максимум радиусы сөуле 90° бұрышпен түскенде алынады (39.7-сурет). Жарықтың шағылу заңы бойынша $\frac{\sin 90^\circ}{\sin \beta} = n$. Бұдан $\sin \beta = \frac{1}{n}$.

Суреттен $R_1 = r - x$, ал $R_2 = r + x$ және $x = H \cdot \operatorname{tg} \beta$. Сонда $R_1 = r - H \cdot \operatorname{tg} \beta$ және $R_2 = r + H \cdot \operatorname{tg} \beta$. $\operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}}$

және сыну заңының формуласын ескерсек, $\operatorname{tg} \beta = \frac{1 \cdot n}{n \sqrt{n^2 - 1}} = \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}}$. Сонда көлең-

ке мен алакөлеңкенің радиустары $R_1 =$

$= r - \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}}$ және $R_2 = r + \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}}$ болады. Сан мөндерін орындарына қойып есептесек, $R_1 = 0,6 \text{ м}$ және $R_2 = 5,4 \text{ м}$ шығады.



39.7-сурет



18-жаттығу

1. Алмаз бен шынының абсолют сыну көрсеткіштері сөйкесінше 2,42 және 1,5. Егер осы заттардағы сөуленің таралу уақыты бірдей болса, онда осы заттар қалыңдықтарының қатынастары қандай?

Жауабы: 0,62.

2. Күн сөулесінің ауадан шыныға өткен кездегі түсу бұрышы 60° , ал сыну бұрышы 30° . Жарықтың шыныдағы таралу жылдамдығын және ішкі толық шағылу бұрышын табыңдар.

Жауабы: $1,73 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; 35° .

3. Ортасында сынығы бар таяқты суға батырғанда жиекте тұрған және таяққа батырылмаған жағы бойымен қарап тұрған бақылаушыға ол көкжиекпен 30° жасайтын түзу секілді көрінеді. Таяқ қандай бұрышпен сынған? Судың сыну көрсеткіші $4/3$.

Жауабы: 20° .

4. Сұйығы бар кюветтің ішінде жарық көзі орналасқан. Кюветтің түбінде жазық айна бар. Кюветтегі сұйықтың тереңдігі 6 см. Сұйық бетінде ауданы 314 см^2 қара диск жүзіп жүр. Егер сұйықтың сыну көрсеткіші 1,14 болса, сыртқы бақылаушыға көріну үшін жарық көзін қандай тереңдікке қою керек?

Жауабы: 0,5 см.

5. Қалыңдығы 6 см жазық параллель пластинадан өткен кездегі жарықтың қапталдай (бүйірлік) ығысуын анықтау керек. Сәулелің түсу бұрышы 40° , пластина материалының сыну көрсеткіші 1,6.

Жауабы: 1,8 см.

6. Биіктігі 10 см етіп су толтырылған стақанның түбінде тиын жатыр. Бақылаушы тиынды су бетінен қандай тереңдікте көреді? Судың сыну көрсеткіші $4/3$.

Жауабы: 7,5 см.

7. Бақылаушы бұршаққа төменгі жағы бұршақтан 5 см қашықтықта орналасқан қалың шыны арқылы қарайды. Шынының қалыңдығы 3 см, сыну көрсеткіші 1,5. Бұршақтың көрінетін кескіні шынының төменгі шетінен қандай қашықтықта орналасқанын анықтау керек.

Жауабы: 4 см.

§ 40. Линзалар. Жұқа линзаның формуласы



Тірек ұғымдар:

- ✓ линза
- ✓ қалың линза
- ✓ жұқа линза
- ✓ оптикалық күш

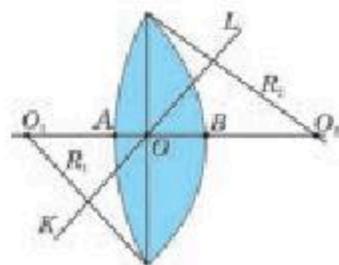
Бүгінгі сабақта:



- сфералық айнаның формулаларын есеп шығаруда қолдануды үйренесіңдер.

Көптеген оптикалық аспаптарда, айталық, телескопта, микроскопта, фотоаппараттарда, проекциялық аппараттарда, дүрбіде, көзлдіріктерде және т.б. линзалар қолданылады. *Линза дегеніміз — екі жағы сфералық беттермен шектелген мөлдір дене.* Олар шашыратқыш және жинағыш линзалар болып екіге бөлінеді. Біріншілері өзі арқылы өткен жарықты шашыратады, ал екіншілері оларды бір нүктеге жинайды. Жинағыш линзаның ортасы шетіне қарағанда қалың, ал шашыратқыш линзалардың керісінше шеті қалың, ортасы жұқа болып келеді.

Линзаның негізгі ұғымдары мен сипаттамалары. 40.1-суретте кескінделген линзаны қарастырайық. Мұндағы O_1 мен O_2 — линзаның



40.1-сурет

сфералық беттерінің қисықтық центрлері, R_1 мен R_2 — сфералық беттердің қисықтық радиустары. Линзаның сфералық беттерінің қисықтық центрлері арқылы өтетін түзуді *линзаның бас оптикалық осі* деп атайды. Линзаның бас оптикалық осінің бойында линзалар центрінде жатқан O нүктесін *линзаның оптикалық центрі* деп атайды. Оптикалық центр арқылы өткен сәулелер сынбайды, яғни

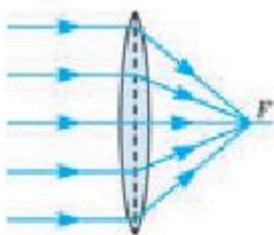
таралу бағытын өзгертпейді. Оптикалық центр арқылы өтетін, бірақ қисықтық центрлері арқылы өтпейтін түзулер *KL қосымша осьтер* деп аталады. Бас оптикалық осьтің линза беттерімен қиылысатын *A* және *B* нүктелері *линзаның төбелерін*, ал линза төбелерінің арақашықтығы *линзаның қалыңдығын* береді. Егер линзаның қалыңдығы сфералық беттердің қисықтық радиусымен шамалас болса, онда оны *қалың линза*, ал әлдеқайда кіші болса, *жұқа линза* дейді.

Линза беттерінің түріне қарай линзалар дөңес (жазық дөңес, екіжақты дөңес және ойыс дөңес) және ойыс (жазық ойыс, екіжақты ойыс және дөңес ойыс) болып бөлінеді.

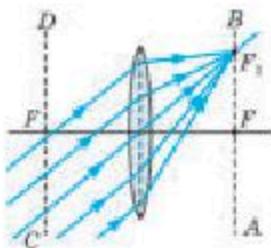
Егер жинағыш линзаның бас оптикалық осіне параллель жарық сәулелерін түсірсек, олар бір нүктеде, линзаның бас *F* фокусында жиналады (40.2-сурет). Бұл нүкте линзаның бас оптикалық осінде жатады. Линзаның екі жағында орналасқан екі бас фокусы бар. Егер линзаға оның қосымша осіне параллель болатын сәуле шоқтарын түсірсек, онда олар да бір нүктеде, линзаның қосымша F_1 фокусында жиналады. Бұл нүкте линзаның FF_1 фокустық жазықтығында жатады (40.3-сурет). Линзаның *фокустық жазықтығы* деп линзаның бас фокусы арқылы линзаның бас осіне перпендикуляр жүргізілген жазықтықты айтады. Линзада фокустық жазықтық екеу (*DC* және *AB*), ал қосымша фокустар саны шексіз.

Тұрмыста, негізінен, жұқа линзалар қолданылады. Ыңғайлы болу үшін жинағыш линзаны “ \updownarrow ” белгісімен, ал шашыратқыш жұқа линзаны “ \frown ” белгісімен белгілеу енгізілген.

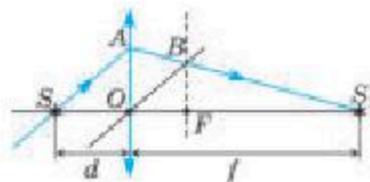
Жұқа линзаның формуласы. Жұқа линзаның формуласын қорытып шығарайық. 40.4-суретті қарастырайық. *S* — жарық шығарып тұрған нүкте, S_1 — нүктенің кескіні, *SA* — түскен сәуле, AS_1 — линза арқылы өткен сәуле, *F* — линзаның бас фокусы, *BF* — линзаның фокальдық жазықтығы, *O* — линзаның оптикалық центрі, *OB* — линзаның қосымша осі (ол түсетін сәуле *SA*-ға параллель), *B* нүктесі — линзаның қосымша фокусы. Нәрседен (жарық нүктесі) линзаның оптикалық центріне дейінгі *SO* қашықтықты *d* әрпімен, линзаның оптикалық центрінен нәрсенің кескініне дейінгі OS_1 қашықтықты *f* әрпімен, ал линзаның фокустық арақашықтығы *OF*-ті *F* әрпімен белгілеп, мынадай



40.2-сурет



40.3-сурет



40.4-сурет

есептеу жұмыстарын жүргізейік. SAS_1 мен OBS_1 үшбұрыштары — үшбұрыштар ұқсастығының үшінші белгісіне сәйкес ұқсас үшбұрыштар. Ұқсас үшбұрыштардың сәйкес қабырғалары және қабырғаларының кесінділері пропорционал болады. Демек, $\frac{SS_1}{OS_1} = \frac{SO}{OF}$ немесе жоғарыда аталған белгілеулерді пайдалансақ, $\frac{d+f}{f} = \frac{d}{F}$. Түрлендіруден кейін $\frac{d}{f} + 1 = \frac{d}{F}$ аламыз. Теңдіктің екі жағын d -ға бөлсек,

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \quad (40.1)$$

Бұл формула *жұқа линзаның формуласы* деп аталады.

Жұқа линзаның формуласын қорытып шығару үшін өз әдістеріңді ұсынып көріңдер.

Соңғы формуланың қолданылу ерекшеліктерін қарастырайық. Линзаның беретін кескіні (нақты немесе жорамал) және оның түріне (жинағыш, шашыратқыш) қарай формуланың мынадай жазылу түрлерін аламыз.

1. **Жинағыш линза нақты кескін берсе**, $d > 0$ (оң), $f > 0$ (оң) және $F > 0$ (оң). Жұқа линзаның формуласы бұл жағдайда мына түрге ие болады:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

2. **Жинағыш линза жорамал кескін берген жағдайда** $d > 0$ (оң), $f < 0$ (теріс) және $F > 0$ (оң). Жұқа линзаның формуласы

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

3. **Шашыратқыш линза әр уақытта жорамал кескін береді**, яғни $d > 0$ (оң), $f > 0$ (оң) және $F < 0$ (теріс). Жұқа линзаның формуласы

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}.$$

Линзаның оптикалық күші. Линзаның сәулені қалай сындыратынын анықтау үшін линзаның оптикалық күші деп аталатын физикалық шама енгізіледі. Оны D әрпімен белгілейді. *Линзаның оптикалық күші деп бас фокус арақашықтығына кері шаманы айтады. Линзаның оптикалық күшінің физикалық мағынасы жарық сәулелерінің линзадан өткендегі сыну дәрежесін сипаттаудан тұрады:*

$$D = \frac{1}{F} \quad (40.2)$$

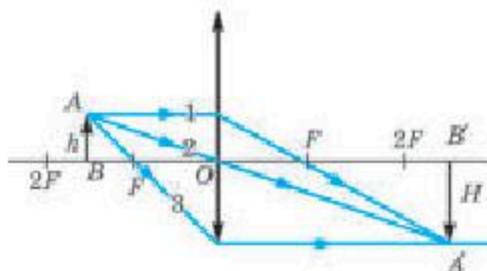
немесе

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

Линзаның оптикалық күші диоптриямен өлшенеді:

$$1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}.$$

Линзаларда кескіндерді тұрғызу. Линзалардағы кескіндерді тұрғызу үшін негізгі үш сәулені пайдаланады (40.5-сурет).



40.5-сурет

1. Бас оптикалық оське параллель сәулелер линзадан сынғаннан кейін оның фокусы арқылы өтеді.

2. Линзаның оптикалық центрі арқылы өтетін сәуле сынбайды.

3. Линзаның бас фокусы арқылы өтетін сәуле линзадан сынғаннан кейін бас оптикалық оське параллель кетеді.

Жинағыш линза нәрсенің нақты кескінін де, жорамал кескінін де беруі мүмкін. Сынған сәулелердің қиылысуы нақты кескінді, ал сәулелердің созындыларының қиылысуы жорамал кескінді береді.

Линзалардың ұлғайтуы. Линза нәрсенің үлкейген немесе кішірейген кескінін береді. *Линзаның сызықтық ұлғайтуы* деп кескінінің сызықтық шамасының нәрсенің сызықтық шамасына қатынасымен анықталатын физикалық шаманы айтады:

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{H}{h}. \quad (40.3)$$

40.5-суреттен:

$$\Gamma = \frac{f}{d} \quad (40.4)$$

екенін дәлелдеуге болады, мұндағы d — нәрседен линзаға дейінгі, ал f — линзадан кескінге дейінгі қашықтық.

Шашыратқыш линзадағы нәрсенің кескінін тұрғызсақ, ол әрқашан кішірейген және тура (төңкерілмеген) жорамал кескін болады. Ал жинағыш линза заттың қай жерде орналасқанына байланысты нақты, жорамал, үлкейген, кішірейген кескіндер бере алады.

Линзадан алынған кескіндердің кемшіліктері: тұрмыста қалың линзалар көп қолданылады, ал физикадағы есептеу жұмыстары жұқа линзаларға арналған; теорияда диаметрлері кіші линзалар қарастырылады, ал, шынында, олардың диаметрлері бірнеше метрге жетеді; теория жүзінде параксиаль сәулелер қарастырылады, ал, шын мәнінде, линзаға түсетін барлық сәулелер параксиаль болмайды. Сондықтан линзалар бұлдыр кескіндер береді.

Линзалардың негізгі кемшіліктерін былай бөледі:

1) **сфералық абберрация** (лат. *aberratio* — ауытқу) — жалпақ параллель сәулелер шоғын қолданғанда линзада бір фокустың орнына бірнеше фокустың пайда болуы. Сфералық абберрацияны жою үшін арнайы линзалар, диафрагма және линзалар жүйесі қолданылады;

2) **хроматтық аберрация** — линзалар жарық сәулелерін фокусқа жинағанда түске боялған дақтардың пайда болуы. Жарық толқындарының сынуы олардың ұзындықтарына тәуелді (толқынның ұзындығы артқан сайын оның сынуы азаяды) болғандықтан аталған кемшілік байқалады. Хроматтық аберрацияны арнайы линзалар жүйелерінің (ахроматтар мен анахроматтар) көмегімен түзетеді;

3) **астигматизм** — линзаның ұзын және көлденең өлшемдеріне, яғни линзаның қисықтығына тәуелді болатын ақау. Егер дөңгелек линзалар қолдансақ, онда астигматизм жойылады;

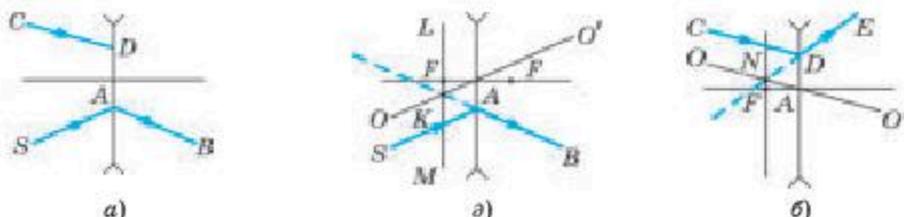
4) **дисторсия** (лат. *distorsio* — қисаю) — кескіннің қисаюы. Бұл қисаю көру аймағы шегінде линзаның көлденең ұлғаюының бірдей болмауынан туады. Осы жағдайда нәрсе мен оның кескінінің геометриялық ұқсастығы бұзылады. Мысалы, линза берген квадраттың кескіні көпшік немесе бөшке тәріздес болып шығуы мүмкін. Геодезия мен ұшақтан суретке түсірген кезде дисторсияны болдырмауға ерекше назар аударылады.



1. Линза дегенді қалай түсінесіңдер? Линзаның қандай түрлерін білесіңдер?
2. Шашыратқыш линзаны жинағыш линзадан қалай ажыратады? Оларды ажыратудың бірнеше әдістерін ұсыныңдар.
3. Линзаның оптикалық центрі, фокусы дегеніміз не? Линзаның қандай осі бас оптикалық ось, қосымша ось деп аталады?
4. Жинағыш линзаның фокусын тәжірибе жүзінде қалай анықтауға болады? Шашыратқыш линзаның ше?
5. Жинағыш линзаның фокусы қандай? Шашыратқыш линзаныкі ше?
6. Қандай жазықтық фокустық жазықтық деп аталады?
7. Қосымша фокустың көмегімен линзаның бас фокусын қалай табуға болады?
8. Қандай кескін нақты, жорамал деп аталады?
9. Жұқа линзаның формуласын қорытып шығарып, талдаңдар. Нәрселер мен линзалардың әртүрлі орналасуы, яғни а) $d > 2F$; ә) $d = 2F$; б) $d = F$; в) $d < F$ жағдайлары үшін жұқа линзаның формуласын қолданыңдар. Шашыратқыш және жинағыш линзаларды қарастырыңдар.
10. а) Нәрсе линзаның бас фокусінде; ә) линза мен бас фокустың арасында орналасқан кездегі кескінді салыңдар. Алынған кескіндерге сипаттама беріңдер.
11. Линзаны қоршаған орта линзадағы сәулелер жүрісіне қалай әсер етеді?
12. Бір линза шашыратқыш та, жинағыш та бола ала ма? Егер бола алса, оны негіздеңдер және мысал келтіріңдер. Егер бола алмаса, оны да түсіндіріңдер.
13. Линзаның оптикалық күші дегеніміз не?
14. Линзаның сызықтық ұлғайтуы деген не? "Линзаның ұлғайтуы 0,25-ке тең" деген сөзді қалай түсінесіңдер?
15. Егер линзаның жартысын күңгірт қалқамен жауып қойса, линзада заттың толық кескіні алына ма?
16. Параллель жарық шоғы екі жинағыш линзадан шыққанда параллель қалуы үшін оларды қалай орналастыру керек? Суретін салыңдар.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. 40.6, а-суретте шашыратқыш линзадан сынғаннан кейінгі сәуленің SA жолы көрсетілген. Салу арқылы линзалардың бас фокустарының орнын табыңдар. CD сәулесінің әрі қарай жүретін жолын көрсетіңдер.



40.6-сурет

Шешуі. SA сәулесіне параллель қосымша OO' осін жүргіземіз (40.6, б-сурет). Сынған AB сәулесінің жалғасы қосымша осьпен LM жазықтығында жатқан K нүктесінде қиылысады. Шашыратқыш линзаның бас фокусы фокус жазықтығында линзаның бас оптикалық осімен қиылысатын нүктесі болып табылады. CD сәулесінің әрі қарай жүрген жолын табу үшін OO' түзуін жүргіземіз (40.6, в-сурет). OO_1 түзуі линзаның оптикалық центрі арқылы CD сәулесіне параллель жүргізілген. Осы түзудің линзаның LM фокус жазықтығымен қиылысқан N нүктесі линзаның қосымша фокусы болады. N және D нүктелері арқылы түзу жүргізіп, CD сәулесінің линзадан сынғаннан кейінгі жүрісін табамыз. Бұл — DE түзуі.

2-есеп. Фокус аралығы F_1 болатын жұқа линза нәрсенің тура кескінін $\Gamma_1 = \frac{2}{3}$ -ге үлкейтеді. Егер осы линзаны нәрсе мен линзаның арақашықтығын өзгертпей, оптикалық күшнің модулі осындай болатын жинағыш линзамен ауыстырсақ, линзаның ұлғайтуы қандай болады (40.7-сурет)?

Берілгені:

$$\Gamma_1 = \frac{2}{3}$$

$$\Gamma_2 = ?$$

Шешуі. Алдымен біз шашыратқыш линзамен жұмыс істеген болдық, өйткені тек соның көмегімен ғана кішірейген тура (төңкерілмеген) кескін алуға болады. Шашыратқыш линза үшін жұқа линзаның формуласы мынадай:



40.7-сурет

$$-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_1}. \quad (40.7)$$

Линза шашыратқыш болғандықтан, оның F фокустық қашықтығының алдына “-” минус таңбасы қойылады. Кескін жорамал, сондықтан кескіннен линзаға дейінгі қашықтық та минус таңбасымен алынады. Линзаның ұлғайтуы 0,5-тен артық, ендеше, нәрсе линзаның фокусы мен оптикалық центрінің арасында орналасқан. Шашыратқыш линзаны жинағыш линзамен ауыстырғаннан кейін кескінді f_2 қашықтықта аламыз (40.7, *ә*-сурет), сондықтан линзаның ұлғайтуы өзгереді. Бұл жағдай үшін жұқа линзаның формуласы былай жазылады:

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_2}. \quad (40.8)$$

Қарастырып отырған жағдайда жинағыш линза жорамал ($d < F$), үлкейген, тура кескін беретін болғандықтан, f_2 -нің алдында минус “-” таңбасы тұр. Линзаның ұлғайтуын былай табамыз:

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{d} \text{ (бірінші жағдайда)}, \Gamma_2 = \frac{f_2}{d} \text{ (екінші жағдай үшін)}. \text{ Осыдан}$$

$$f_1 = \Gamma_1 d, \quad (40.9)$$

$$f_2 = \Gamma_2 d \quad (40.10)$$

формулаларын аламыз. Есептің шарты бойынша $d_2 = -d_1$, яғни $\frac{1}{F_2} = -\frac{1}{F_1}$. Демек, $-\frac{1}{d} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_2}$, осыдан

$$\frac{2}{d} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}. \quad (40.11)$$

Бұл формулаға f_1 мен f_2 -нің мәндерін қойып, төмендегі теңдікті аламыз:

$$\frac{2}{d} = \frac{1}{\Gamma_1 d} + \frac{1}{\Gamma_2 d} \text{ немесе } \Gamma_2 = \frac{\Gamma_1}{2\Gamma_1 - 1} = 2.$$

Есепте келтірілген жағдайды график түрінде үш негізгі (тамаша) сәулені пайдаланып көрсетуге болады (40.7, *а*, *ә*-суреттер).

Жауабы: $\Gamma_2 = 2$.



19-жаттығу

1. Дөңес линза желімделген екі сағат өйнегінен тұрады. Осы линза судағы жарық шоғына қалай әсер етеді? Жауабын суреттің көмегімен түсіндіріңдер.

Жауабы: шашыратады.

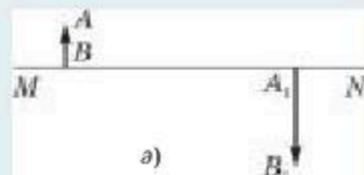
2. Жинағыш линзаның көмегімен дененің жалған кескінін қалай алады? Жауабын линзадағы сәулелердің жолын салу арқылы түсіндіріңдер.

Жауабы: қоршаған ортаға байланысты.

3. Қай кезде жинағыш линзаның көмегімен алынған кескінің биіктігі дененің биіктігіне тең болады? Жауабын линзадағы сәулелер жолын салу арқылы түсіндіріңдер.

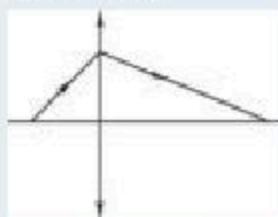
Жауабы: дене линзадан $2F$ қашықтықта болғанда.

4. Линзаның MN бас оптикалық осі, AB нәрсе және оның A_1B_1 кескіні берілген (40.8, а, ә-суреттер). Линзаның центрін және оның фокус аралығын анықтаңдар.

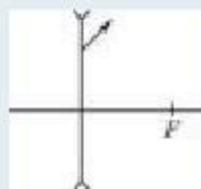


40.8-сурет

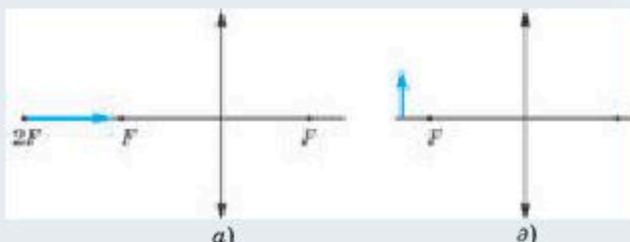
5. Линзаның негізгі оптикалық осі және сәулелердің біреуінің жолы берілген (40.9-сурет). Линзаның фокусын табыңдар.
6. 40.10-суретте фокус аралығы F болатын линзадан өткен сәуленің жолы берілген. Сәуленің линзаға дейінгі жолын салыңдар.
7. Берілген дененің линзадағы кескінін салыңдар (40.11, а, ә-суреттер). Бұл қандай кескіні?



40.9-сурет

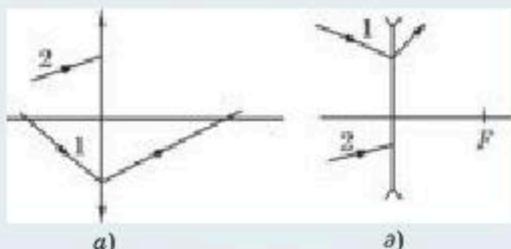


40.10-сурет



40.11-сурет

8. 40.12, а, б-суреттерде линзадағы 1-сәуленің жолы көрсетілген. Салу арқылы 2-сәуленің жолын табыңдар.



40.12-сурет

9. Экранда жұқа линзаның көмегімен дененің 2 есе ұлғайтылған кескіні алынған. Дене 1 см-ге жылжытылған. Анық кескін алу үшін экранды жылжыту қажет болды. Осы кезде ұлғаю 4 есе болып шықты. Экран қандай қашықтыққа жылжытылған?

Жауабы: 8 см.

10. Нәрсені жинағыш линзаның алдына одан 20 см жерге бас оптикалық осьтің бойына қойғанда оның шын кескіні $4F$ қашықтықта алынады (F — линзаның фокус аралығы). Линзаның оптикалық күшін есептеңдер.

Жауабы: 6,67 дптр.

11. Нәрсені жинағыш линзаның алдына одан $1,5 F$ қашықтықта бас оптикалық осьтің бойына қойғанда линзадан 21 см қашықтықта кескін алынады. Линзаның фокус аралығын табыңдар.

Жауабы: 7 см.

12. Нүктелік жарық көзі мен экранның арасы 3 м. Олардың арасына қойылған линза нәрсенің екі түрлі орналасу жағдайында бір-бірінен 1 м қашықтықта болатын кескін береді. Линзаның фокус аралығын анықтаңдар.

Жауабы: 0,67 м.

13. Жинағыш линзадан 125 см жерде оның бас оптикалық осіне перпендикуляр орналасқан нәрсе экранда биіктігі 25 мм кескін береді. Линзаның фокус аралығы 0,25 м болса, дененің биіктігі қандай?

Жауабы: 10 см.

14. Нәрседен кескінге дейінгі қашықтық нәрседен линзаға дейінгі қашықтықтан 5 есе артық. Бұл қандай линза? Оның ұлғайтуын табыңдар. Есепті шешудің барлық нұсқаларын қарастырыңдар.

Жауабы: жинағыш: а) егер кескін нақты болса, $\Gamma = 4$;
 ө) егер кескін жорамал болса, $\Gamma = 6$.

15. Нәрседен линзаға дейінгі және линзадан кескінге дейінгі қашықтық бірдей және 0,5 м. Егер нәрсені линзаға қарай 20 см қашықтыққа жылжытса, кескін неше есе үлкейеді? Линзаның фокус аралығын анықтаңдар.

Жауабы: $\Gamma = 5$; $F = 25$ см.

16. Алыстан көргіш адам өзінен 1 м-ден алыс орналасқан денелерді анық көре алады. Газетті көзінен 25 см қашықтықта ұстап тұрып оқу үшін оған қандай көзілдірік керек?

Жауабы: жинағыш; $D = 3$ дптр.

§41. Линзалар жүйесінде кескін салу. Оптикалық аспаптар



Тірек ұғымдар:

- ✓ фотоаппарат
- ✓ микроскоп
- ✓ көз
- ✓ көзілдірік
- ✓ коллиматор



Бүгінгі сабақта:

- линзалар жүйесінде сәулелердің жолын салуды;
- телескоп, микроскоп, лупадағы сәуленің жолын салуды және түсіндіруді үйренесіңдер.

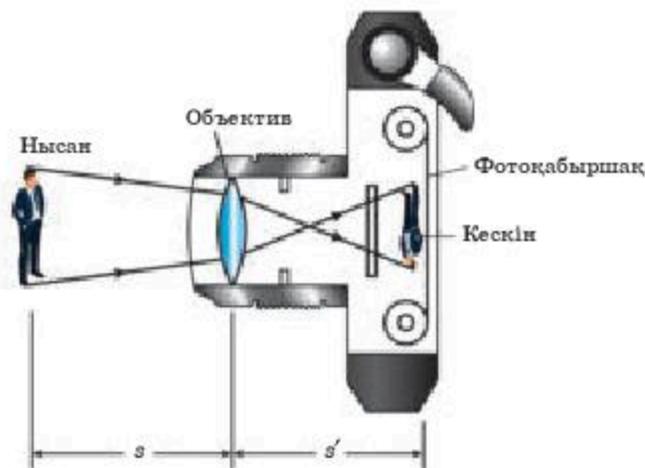
Негізгі бөлігі нәрсенің кескінін беретін қандай да бір оптикалық жүйе болып табылатын сан алуан оптикалық аспаптардың жұмыс істеу әрекеті геометриялық оптика заңдарына негізделген. Атқаратын қызметтеріне қарай оптикалық аспаптар проекциялық аппараттар, микроскоптар, телескоптар, фотоаппараттар және т.б. болып бөлінеді.

Проекциялық оптикалық аспаптар. Проекциялық аспаптарға экранда нәрсенің шын, үлкейтілген кескінін беретін оптикалық аспаптар жатады. Бұл аспаптардың үш түрі бар: *диаскоп* (*диа* — мөлдір деген мағына береді) экранға мөлдір денелерді проекциялайды; *эпископ* мөлдір емес нәрселерді проекциялайды; *эпидиаскоп* мөлдір де, мөлдір емес те нәрселерді проекциялайды.

Барлық жағдайларда да нәрсе объектив пен фокус және қос фокус аралығында орналастырылады. Дене фокусқа неғұрлым жақын орналасса, проекциялық аппарат соғұрлым үлкейтілген кескін береді. Диаскоптың қуатты жарық көзінен шығатын жарық ағыны конденсатордың (линзалар жүйесі) көмегімен диапозитивке (мөлдір объект) бағытталады. Жарық ағынын күшейту үшін кейде жарық көзінің артына ойыс айна қояды, ол жарықты шағылдырып, оны кейін линзалар жүйесіне бағыттайды. Конденсаторды кішкене жарық көзінің кескінін объективке беретіндей етіп орналастырады, ал ол, өз кезегінде, диапозитивті экранда проекциялайды.

Мөлдір емес нәрселерді, мысалы, кітаптағы суреттерді көрсету үшін оларды ойыс айнаның фокусында орналасқан шамнан келетін сәулелердің көмегімен жарықтандырады. Жарық ағыны суреттен шағылып, жазық айнаға түседі, одан өрі жарықтығы күшті объективтің көмегімен экранға түседі. Мұндай аспан эпископ деп аталады.

Фотоаппарат. *Фотоаппарат* дегеніміз — линзалар жүйесінің көмегімен жарықсезгіш қабыршақта сақталатын, нәрсенің кескіні алынатын оптикалық қондырғы болып табылады. *Фотоаппараттың негізгі бөліктері: объектив, мөлдір емес жарық өткізбейтін камера, фотоқабыршақ* (41.1-сурет). *Объектив* дегеніміз — кескінді фотоқабыршаққа проекциялайтын линзалардың күрделі жүйесі. Объективтің көмегімен сфералық және хроматтық aberрациялар, астиг-



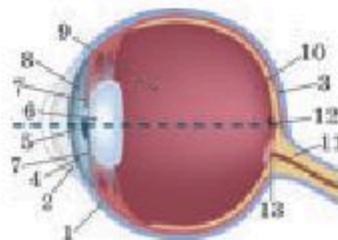
41.1-сурет

матизм және басқа да линзаларға тән оптикалық ақауларды түзетеді. Фотоқабыршақтың жазықтығында нәрсенің шын, кішірейтілген, төңкерілген кескіні алынады.

Жарық энергиясының әсерінен фотоқабыршақта бромдық күміс ыдырайды да, негатив пайда болады. Суретке түсіру кезінде нысанды қос фокус аралығынан өрі қояды, сонда оның кескіні фокус және қос фокус аралығында алынады. Өртүрлі нысандардың объективке дейінгі қашықтықтары түрліше болатындықтан, анық кескін алу үшін объектив пен фотоқабыршақ арасын өзгертіп отыру керек. Мұны объективтің өзін жылжыта отырып іске асырады. Фотоқабыршаққа түсетін жарық энергиясының шамасы суреттің сапасына әсер етеді. Сондықтан фотоаппаратта жарықты тек белгілі уақыт аралығында ғана жіберетін арнайы қалқанша экспозиция уақытын реттейді, ал ол қабыршақтың сапасына және оның жарықталынуына тәуелді болады. Фотоқабыршақтың жарықталынуы объективтің жарық күшіне тәуелді. Объективтің жарық күші — объектив диаметрінің оның фокус аралығына қатынасының квадратына тең шама. Объективтің жұмыс диаметрін диафрагманың көмегімен өзгертуге болады. Диафрагманың саңылауын кішірейте отырып, фотоаппараттан түрліше қашықтықта орналасқан нүктелер кескіндерінің анықтығының бірдейлігіне қол жеткізуге болады. Мұндай жағдайда айқындық (анықтық) тереңдігі артты дейді.

Фотографияның маңызын асыра бағалау мүмкін емес. Осы күнгі фотография жылдам, түсті және стереоскопиялыққа айналды. Ол өмірдің сан алуан саласында қолданылады: оның көмегімен ғарыш нысандары, микробөлшектер және т.б. жайлы мәліметтер алуға болады, көрінбейтін сәулелердің ізін де алады. Көркем фотографиялар көз тартады. Фототілшілер бізді айналамызда болып жатқан оқиғалар жайлы толық хабардар етеді.

Көз. Көз — “тірі” оптикалық аспап, ол адамға да, жан-жануарларға да қоршаған әлемді танып білуге мүмкіндік береді. Көз алмасының тор қабатында көз нәрсенің кішірейтілген, шын, төңкерілген кескінін береді. Көздің құрылымы 41.2-суретте келтірілген.



41.2-сурет

1. **Склера** — көз алмасының сыртқы қабықшасы.

2. **Қасаң қабық** — склераның алдыңғы мөлдір бөлігі (оның сыну көрсеткіші $n = 1,38$).

3. **Тамырлар қабығы** — көзді қоректендіретін қантамырларынан тұрады. Ол склераға ішкі жағынан жанасып жатыр.

4. **Түсті қабық** — тамырлар қабығының алдыңғы бөлігі. Адамдар көзінің түсті қабығының түсі әртүрлі болады.

5. **Көздің қарашығы** — түсті қабықтың ортасындағы жарық өтетін саңылау. Қарашықтың диаметрі рефлективті түрде жарықтануға тәуелді 2 мм-ден 8 мм-ге дейін өзгеріп отырады.

6. **Көз бұршағы** — қос дөңес линзаға ұқсас мөлдір, серпімді, бірнеше қабаттан тұратын дене. Көз бұршағының қисықтығы оны барлық жағынан қамтып тұрған бұлшық еттердің әсерінен өзгере алады, ал кескін торламаға проекцияланады. Нәтижесінде әртүрлі қашықтықта орналасқан нүктелер дәлме-дәл торламаның сезгіш қабатының бетіне кескінделеді. Бұл процесс *аккомодация* деп аталады. Нәрсенің барлық бөліктерін анық көріп, ажыратуға мүмкіндік беретін қашықтық ең жақсы көру қашықтығы деп аталады. Қалыпты көз үшін ол 25 см.

7. Көз бұршағын деформациялайтын **бұлшық еттер** оның қисықтық радиусын өзгертуге әкеледі. Сонымен қатар бұл бұлшық еттер көзді бұрып, оның осін қарап отырған нәрсеге бағыттайды. Нәрсе көзге жақындағанда оң және сол көздердің бұлшық еттерінің қатаюы арта түседі. Жақын орналасқан дененің оң және сол көздерінің торламаларындағы кескіндері бір-бірінен өзгеше. Бұл адамға нәрсеге және оның бөліктеріне дейінгі қашықтықты, сонымен қатар бақыланатын денелердің көлемін анықтауға мүмкіндік береді.

8. **Су тәрізді сұйық.**

9. Көз алмасының ішкі бөлігін толтырып тұратын қоймалжың сұйық шыны тәріздес денеге ұқсайды.

10. Көз алмасының түбін тұтас жауып тұратын **торлама**. Торлама көз жүйке тамырларының тармақтарынан тұрады.

11. Көру жүйкесі ұштары **құтышалар мен таяқшалар** деп аталатын жүйке талшықтарынан тұрады. Олар жарықсезгіш элементтер.

12. **Сары дақ** — торламадағы жарықты ең сезгіш орын.

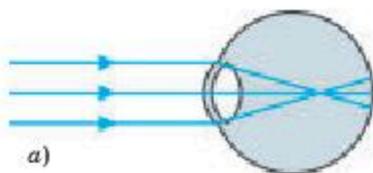
13. **Соқыр дақ** — көру жүйке тамырлары кіретін торламадағы орын.

Көзді фокус аралығы өзгермелі және экранға (торламаға) дейінгі қашықтығы өзгермейтін оптикалық жүйе деп қарастыруға болады. Жарық торламаға түседі, ал оның жүйке тамыр ұштары (құтышалар мен таяқшалар) қабылданған импульсті бас миының көру орталығына жібереді. Осы процесс көру бейнелерін қалыптастырады. Көздің құрылымы хроматтық және сфералық абберацияларды жоятын қабілетке ие. Олардың біріншісі көз бұршағының артқы және алдыңғы фокус аралықтарының бірдей болмауынан, ал екіншісі көз құрылымының біртекті еместігінен (сыну көрсеткіші центрде 1,41, ал шеттерінде 1,38) жойылады.

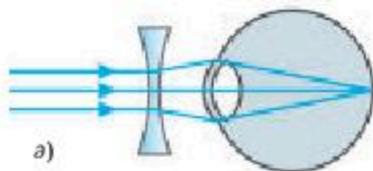
Өзінің құрылымы бойынша көз фотоаппаратқа ұқсас. Объектив рөлін шыны тәріздес денемен бірге көз бұршағы атқарады. Анық кескінді алу аккомодация арқылы іске асырылады. Қарашық өлшемі өзгеріп тұратын диафрагманың рөлін атқарады.

Көзілдірік. Көзі қалыпты көретін адамда (ең жақсы көру қашықтығы 25 см) нәрсенің кескіні көздің торламасына түседі. Кейбір адамдардың көздері күш түсірмей қараған кезде кескінді торламаға емес, оның алдына түсіреді (41.3, а-сурет). Бұл — *жақыннан көргіштік* деп аталатын ақау. Жақыннан көргіш адам белгілі бір қашықтықтан бастап жақын орналасқан денелерді жақсы, ал алыстағы нәрселерді бұлыңғыр көреді. Осы ақауды түзету үшін шашыратқыш линзалары бар (минустық деп аталатын) көзілдірік киеді (41.3, ә-сурет).

Егер көз торламаның сыртында жататын кескін берсе, онда ақау *алыстан көргіштік* деп аталады (41.4, а-сурет). Мұндай ақауы бар адамдар алыстағы денелерді көргенмен, оны толық ажырата алмайды. Ал жақын жатқан денелерді алыстан көргіш адамдар нашар, бұлыңғыр көреді. Олардың аккомодациясының төменгі шегі 25 см-ден артық. Алыстан көргіштікті жинағыш линзалары бар көзілдірікпен түзетеді (41.4, а, ә-суреттер).

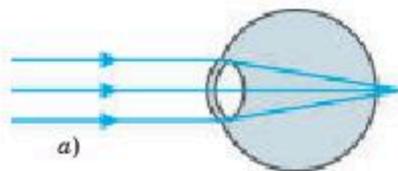


а)

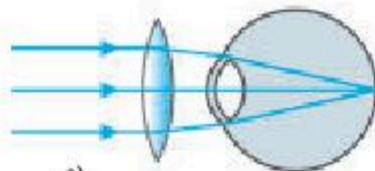


ә)

41.3-сурет



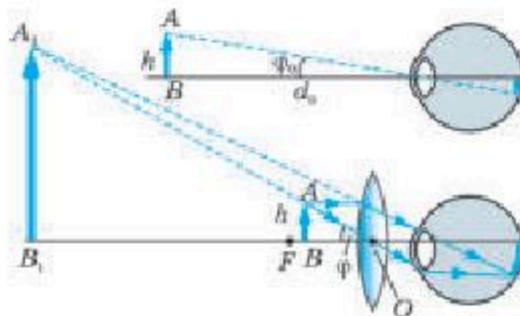
а)



ә)

41.4-сурет

Лупа. Нәрсенің ұсақ белгілерін ажырату үшін көру бұрышы үлкен болу керек. Көру бұрышын нәрсені көзге жақындату арқылы үлкейтуге болады, бұл оптикалық аспаптардың көмегімен іске асырылады. Үлкен көру бұрышына көз торламасындағы үлкен кескін сәйкес келеді. Бұрыштар аз болғанда кескіндер өлшемінің қатынасы шамамен көру бұрыштарының қатынасына тең. Нәрсені оптикалық аспап арқылы бақылаған кездегі көру бұрышының құралсыз көзбен қараған кездегі көру бұрышына қатынасы аспаптың *бұрыштық ұлғайтуы* деп аталады:



41.5-сурет

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0}.$$

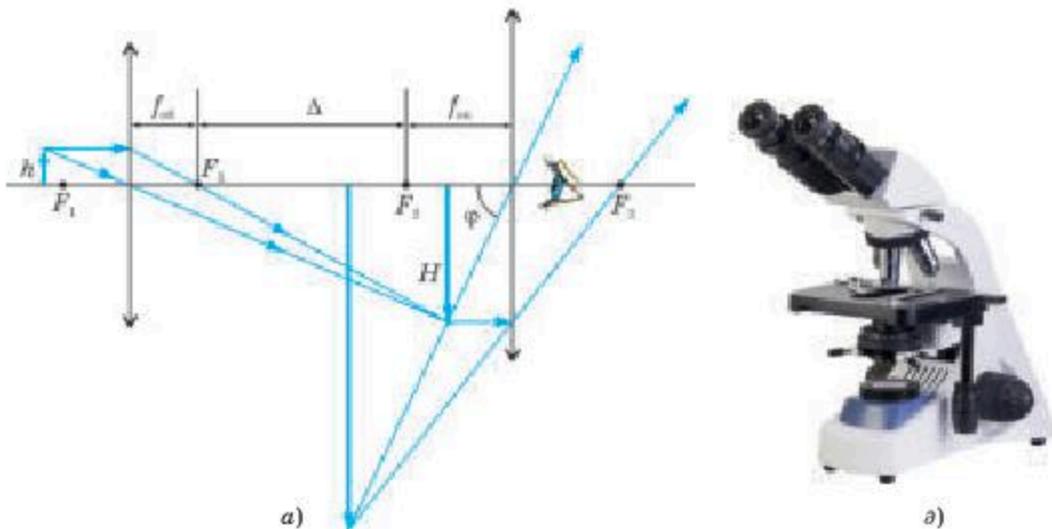
Құралсыз көзбен қарағанда дененің көру бұрышы $\varphi_0 = \frac{h}{d_0}$ болады, мұндағы $d_0 = 25$ см — ең жақсы көру қашықтығы, h — дененің сызықтық өлшемі.

Ұсақ денелерді көруге арналған ең қарапайым аспап қысқа фокусты линза болып табылады ($F \approx 10$ см). Бұл линзаны *лупа* деп атайды. Лупаны көзге жақын ұстайды, ал нәрсені оның фокус жазықтығында орналастырады (41.5-сурет). Сонда көзге күш түсірмей-ақ торламада кескін пайда болады. Лупа арқылы қарағанда дене $\varphi = \frac{h}{F}$ бұрышпен көрінеді. Лупаның бұрыштық ұлғайтуын табайық:

$$\Gamma = \frac{\frac{h}{F}}{\frac{h}{d_0}} = \frac{d_0}{F}. \quad (41.1)$$

Лупаның ұлғайтуы оның өлшемдерімен шектелген. Дөңестігі үлкен болып келген линзаның оптикалық күші де үлкен болып келетінін білеміз. Олай болса, линзаның өлшемі кішірейгенде көру бұрышы азаяды. Бұл лупаны пайдалануды қиындатады. Міне, сондықтан ұлғайтуы 40-тан асатын лупалар пайдаланылмайды. Лупаны сағат жөндеушілер, геологтер, ботаниктер, криминалистер, филателистер қолданады.

Микроскоп. Өте ұсақ денелерді көру үшін микроскопты пайдаланады. Қарапайым микроскоп екі линзаның комбинациясы болып табылады (41.6, а, ә-суреттерде микроскоптағы сәулелер жолы мен сыртқы түрі көрсетілген). Нәрсеге бағытталған ұзын фокустық жинағыш линза *объектив* деп аталады. Ол дененің шын, үлкейтілген кескінін береді. Бұл кескінді қысқа фокустық жинағыш линза (лупа) арқылы қарайды, оны *окуляр* деп атайды.



41.6-сурет

Қарастырылатын h нәрсе объективтің F_1 фокусының сыртына, фокусқа жақынырақ қойылады. Сондықтан объектив пен заттың арасындағы қашықтық және объективтің артқы фокусы мен окулярдың алдыңғы фокусы аралығының таңдап алынуына сәйкес объектив дененің үлкейтілген, шын H кескінін объективтің арт жағында, окулярдың фокусына жуық жерде береді.

Микроскоптың ұлғайтуы Γ деп микроскоп арқылы бақылаған кезде нәрсенің көрінетін φ көру бұрышының ең жақсы көрінетін қашықтықтан денені құралсыз көзбен қараған кездегі φ_0 көру бұрышына қатынасымен анықталатын шаманы айтады.

$\varphi_0 = \frac{h}{d_0}$, ал $\varphi = \frac{H}{F_2}$ болатындықтан, микроскоптың бұрыштық ұлғайтуы

$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{\frac{H}{F_2}}{\frac{h}{d_0}} = \frac{H d_0}{F_2 h} \quad (41.2)$$

формуласымен анықталады, мұндағы h — нәрсенің сызықтық өлшемі, H — объектив беретін кескінің сызықтық өлшемі, F_2 — окулярдың фокустық арақашықтығы, d_0 — ең жақсы көру қашықтығы.

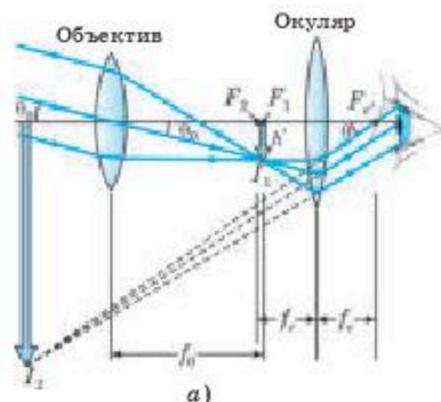
Бірінші кескінен объективтің фокусына дейінгі қашықтықтың шамамен объектив пен окулярдың фокустарының аралығына тең болатынынан бірінші кескінің сызықтық өлшемін табамыз, яғни $\Delta \approx \Delta + F_1$, себебі $F_1 \ll \Delta$. Олай болса, $\frac{H}{h} = \frac{\Delta}{F_1}$, мұндағы F_1 — объективтің фокус аралығы. Объективтің артқы фокусы мен окулярдың алдыңғы

фокусының аралығы Δ микроскоп түтікшесінің оптикалық ұзындығы деп аталады. Осыны (41.2) формулаға қоямыз:

$$\Gamma = \frac{d_0 \Delta}{F_1 \cdot F_2}. \quad (41.3)$$

Осы күнгі оптикалық микроскоптар 2-3 мың есе ұлғайтады. Өлшемі кіші нәрселерді көруге мүмкіндік беретін оптикалық аспаптармен қатар, алыстағы денелерді көруге мүмкіндік беретін де оптикалық аспаптардың түрі бар. Оларға телескоптар, көру түтіктері, дүрбілер және т.б. жатады. Әлемде тұңғыш рет көру түтігін Г.Галилей 1609 жылы жасады. Мысалы, көру түтігі объективінің көмегімен дененің кескіні көзге жақын аралықта алынады, содан кейін оған окуляр арқылы лупамен қарағандай қарайды.

Телескоп дегеніміз — аспан денелерін (планеталарды, жұлдыздарды, кометаларды) бақылауға арналған оптикалық аспап. Телескоптар линзалық (рефракторлық, лат. refractus — сындыру) және айналық (рефлекторлық, лат. reflectere — шағылу) болып бөлінеді. Бірінші айналық телескопты 1671—1672 жылдары И.Ньютон жасады. Телескоп-рефлектордың объективі үлкен диаметрлі параболалық айна болып табылады. Айналарда хроматтық aberрация болмайтындықтан, телескоп-рефлекторлардың телескоп-рефрактордан артықшылығы бар. Сонымен қатар диаметрі үлкен айнаны дайындау линзаны дайындаудан жеңіл. Сондықтан осы заманғы үлкен телескоптар рефлекторлар болып табылады. Әлемдегі ең үлкен телескоп-рефлектор айнасының диаметрі 6 м, ол КСРО-да дайындалып, Солтүстік Кавказда орналастырылған, ал әлемдегі ең үлкен объективінің диаметрі 1,02 м болатын телескоп-рефрактор АҚШ-та жасалып, сонда орнатылған. Телескоптың ұлғайтуы 500-ден артық болады, себебі объективтің фокус аралығы үлкен. Телескоптардың көмегімен Айдағы өлшемі 1 м-ден кіші, ал Марста 100 м-ге шамалас нәрселерді (рефрактор-телескоптағы сәулелер жолы 41.7, а-суретте, ал оның сыртқы түрі 41.7, ә-суретте көрсетілген) ажыратуға болады.



41.7-сурет



1. Лупаны қандай мақсатта қолданады?
2. Көзді оптикалық жүйе ретінде неге қарастырамыз?
3. Фотосурет жасаған кезде нәрсені екі фокустық линзаның арасына неге орналастырады?



Неліктен күндіз жұлдыздар көрінбейді?
Күндіз жұлдызды көрудің мысалдарын келтіріңдер.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Жақыннан көргіштік көз өте ұсақ бөлшектерді (мысалы, ұсақ әріптерді) кәдімгі көзге қарағанда ажырата алады. Неге? Себебі жақыннан көргіштік затты көрудің үлкен бұрышымен байқайды.

Шашыратқыш немесе жинағыш линзаның көмегімен жарықты арттыруға болады. Сондықтан алыстан көргіштік жағдайында көзілдірік қарашықтың жарықтығын арттырады.

7-тараудың ең маңыздысы

Жарықтың таралуын зерттейтін геометриялық оптикада 4 заң бар:

- **жарықтың түзусызықты таралу заңы:** жарық сәулесі біртекті ортада түзу сызық бойымен таралады;

- **жарықтың төуелсіз таралу заңы:** жарық сәулелері кездескенде бір-бірінің әрі қарай таралуына әсер етпейді;

- **жарықтың шағылу заңы:** 1) түскен сәуле, шағылған сәуле және екі ортаның шегарасындағы сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; 2) α түсу бұрышы γ шағылу бұрышына тең;

- **жарықтың сыну заңы:** 1) түскен сәуле, сынған сәуле және екі ортаның шегарасындағы сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; 2) түсу бұрышы $n_1 \sin \alpha$ және ол бірінші ортаның екінші ортаға қатысты салыстырмалы сыну көрсеткіші деп аталады:

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

Көптеген оптикалық аспаптардың жұмысы шағылу, сыну құбылысына және оның заңдарына негізделген, олардың ішінде жазық және сфералық айналар мен оптикалық линза бар.

Жұқа линзаның формуласы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

1-зертханалық жұмыс.

Трансформатор орамдарының санын анықтау

Құрал-жабдықтар: трансформатор, реттегіші бар айнымалы кернеу көзі, айнымалы кернеуді өлшейтін вольтметр, оқшауланған ұзын сым, қосқыш сымдар.

Жұмыстың теориясы. Зая (бос) жүріс кезінде трансформатор орамдарының саны ондағы кернеулерге пропорционал:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

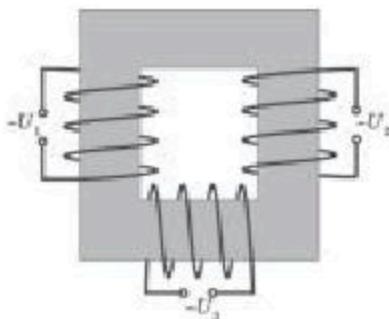
Кернеулерді вольтметрмен өлшеуге болады.

Ал орамдар санын анықтау үшін үшінші орама жасап алу керек. Осы мақсатта трансформатордың өзекшесіне оңашаланған ұзын сымды санап отырып орап, үшінші ораманы жасаймыз. Сонда

$$\frac{U_1}{U_3} = \frac{n_1}{n_3}; \quad \frac{U_2}{U_3} = \frac{n_2}{n_3}.$$

Жұмыс барысы:

1. Трансформатордың өзекшесіне ұзын сымды орап ($n_3 \approx 10—20$ орам), үшінші ораманы жасаңдар (1-сурет).
2. Бірінші ораманы айнымалы кернеу көзіне қосыңдар.



1-сурет

3. Вольтметрдің көмегімен барлық орамалардағы кернеуді өлшеңдер.
4. Орамалардағы орам санын төмендегі формулалардың көмегімен анықтаңдар:

$$n_1 = \frac{U_1 \cdot n_3}{U_3}; \quad n_2 = \frac{U_2 \cdot n_3}{U_3}.$$

5. Төмендегі кестені толтырыңдар.

n_3	U_1	U_2	U_3	n_1	n_2

2-зертханалық жұмыс.

Ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтау

Құрал-жабдықтар: таянышқа қойылған болат шыбық немесе камертон, резеңке балға, бір-біріне енетін құбырлар жиынтығы.

Жұмыстың мақсаты: тұрғын толқынның қасиетіне негізделген әдіс арқылы ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтау.

Тапсырма. Дыбыс толқындарының интерференция құбылысын пайдаланып, ауада таралатын дыбыстың жылдамдығы мен дыбыс толқынының ұзындығын өлшеңдер.

Жұмыстың теориясы. Серпімді тұтас ортаның бір жерінде механикалық тербелістерді қыздырсақ, орта бөлшектерінің өзара әсерлесулерінің нәтижесінде көрші бөлшектер тербеліске түсіп қоза бастайды, одан соң келесі бөлшектер бара-бара алыс бөлшектерде қозады. Бөлшектердің тербеліс T периодына тең уақыт аралығында тербелісті процесс таралатын қашықтықты толқын ұзындығы λ деп атайды.

Толқынның таралу жылдамдығын анықтау үшін толқын ұзындығын және тербеліс T периодын немесе ν тербеліс жиілігін білу керек:

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

немесе

$$\nu = \lambda \cdot \nu. \quad (2)$$

Бұл жұмыста дыбыс толқындарының көзі ретінде камертон (шығаратын дыбыс толқынының жиілігі $\nu = 517$ Гц) немесе екі резеңке таянышқа қойылған болат шыбық қолданылады. Егер дыбыс көзін құбырдың бір ұшына жақындатсақ, онда дыбыс тербелістері оның ішінде таралады. Құбырдың екінші ұшына жеткен дыбыс толқыны толығымен болмаса да шағылады және кері бағытта таралады. Тура және шағылған дыбыс толқындарының тербелістері қосылады. Екі толқынның қосылуынан тұрғын толқынды аламыз. Ендеше, толқындар когерентті болғандықтан олардың интерференциясы байқалады. Тербеліс амплитудасының максимум шарты

$$\Delta l = n\lambda, \quad (3)$$

мұндағы Δl — тура және шағылған дыбыс толқындарының жүріс айырмасы, $n = 1, 2, 3, \dots$ — бүтін сандар.

Егер де құбырдың екі жағы да ашық болса, онда тура және шағылған дыбыс толқындарының жүріс айырмасы құбырдың бір шетінде екі еселенген құбырдың ұзындығына тең болады:

$$\Delta l = 2l. \quad (4)$$

Егер тәжірибеде дыбыс толқындарының интерференциялық максимумы байқалатын құбырдың минимал ұзындығын l_{\min} анықтасақ, онда (3) және (4) теңдеулерден $n = 1$ болғанда

$$\lambda = \Delta l = 2l_{\min} \quad (5)$$

тең болады.

Олай болса, дыбыс толқындарының таралу жылдамдығы мынаған тең:

$$v = 2l_{\min} \nu. \quad (5)$$

Жұмыс барысы:

1. Резеңке балғамен камертонды немесе резеңке таяныштарда тұрған болат шыбықты соғып тербелісті қоздырыңдар.

2. Бірі екіншісінің ішіне салынған құбырларды дыбыс көзіне жақындатыңдар. Бір құбырды екінші құбырдың ішінде қозғай отырып, (2-сурет) дыбыстың қаттылығы максимал болатындай олардың өзара орналасуын белгілеп алыңдар.

3. Дыбыс толқындарының тербеліс амплитудасы максимум болатын шарт орындалатын құбырдың жалпы l ұзындығын шешіңдер.

4. (5) және (6) формулалар арқылы дыбыс толқынының ауадағы таралу жылдамдығы мен толқын ұзындығын есептеңдер.

Қосымша тапсырма.

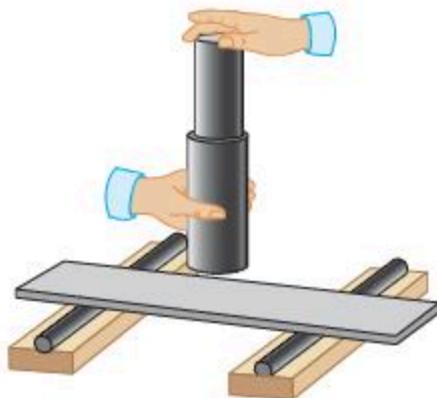
Құбырдың бір ұшы жабық болған жағдайда тәжірибені қайталаңдар.

Құбырдың жабық жағынан толқын шағылғанда жарты толқын ұзындығын жоғалтады, бұл жағдайда толқынның жүріс айырмасы Δl мынаған тең:

$$\Delta l = 2l + \frac{\lambda}{2},$$

$n = 1$ болғанда интерференциялық көріністің максимум шарты бойынша $2l + \frac{\lambda}{2} = \lambda$, бұдан $l = \frac{\lambda}{4}$, $\lambda = 4l$. Олай болса, $v = \lambda\nu$, ендеше, $v = 4l\nu$.

5. Қорытынды жасаңдар.



2-сурет

3-зертханалық жұмыс. Дифракциялық тордың көмегімен жарықтың толқын ұзындығын анықтау



3-сурет

Құрал-жабдықтар: жарықтың толқын ұзындығын анықтайтын аспап; дифракциялық тор; жарық көзі.

Жұмыстың теориясы. Жарықтың дифракциясы дифракциялық тордың көмегімен жақсы бақыланады. Дифракциялық тордың формуласы

$$d \sin \varphi = k \lambda \quad (1)$$

бойынша әртүрлі ұзындықтағы толқындар үшін максимумдар түрліше бұрыштармен бақыланады. φ бұрышы аз және тор мен экранның a қашықтығы саңылаудан толқынның максимумы бақыланатын b қашықтықтан көп үлкен болатындықтан,

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

деп алуға болады.

(1) мен (2) формулалардан

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{2L}.$$

Жұмыс барысы:

1. Дифракциялық торды (1) аспаптың рамкасына (2) қойып, оны көтерілгіш үстелдің қысқышына бекітіңдер (3-сурет).

2. Жылжымалы экранды (5) дифракциялық тордан 50 см қашықтыққа қойыңдар.

3. Дифракциялық тор (1) арқылы қарап, аспапты нысана саңылауынан көрінетін етіп қойыңдар. Осы кезде жылжымалы экранның қараңғы реңінде бірнеше реттік дифракциялық спектрлерді көруге болады. Спектрлер көлбеу тұрса, торды олар вертикаль болатындай етіп бұрып қойыңдар.

4. Экрандағы шкала бойынша бірінші реттік спектрдің қызыл және күлгін шегарасын анықтаңдар, сонымен қатар спектрдің жасыл сызығының орнын да байқаңдар.

5. Өлшеу нәтижелерін кестеге түсіріңдер, қорытынды жасаңдар.

Спектрдің реттілігі	Тордың периоды, d (м)	Тордан экранға (шкалаға) дейінгі қашықтық, x	Спектрдің түсі мен шегаралары, м			Толқын ұзындығы, м		
			қызыл	жасыл	күлгін	қызыл	жасыл	күлгін

4-зертханалық жұмыс.

Жарықтың интерференциясын және дифракциясын, поляризациясын бақылау

Құрал-жабдықтар: 2 шыны пластиналар; қыздыру қылы түзу шам (сыныпқа біреу); жарықтандырылған фотоленка; ұстараның жүзі.

Жұмыс теориясы. Бізге интерференция деп екі немесе бірнеше толқындардың қабаттасу құбылысы нәтижесінде кеңістіктің әртүрлі нүктелерінде уақыт өте келе өзгермей, тұрақты қалатын қорытқы тербелістер амплитудасының (олардың минимумдары мен максимумдары кезекпен орналасады) пайда болуын айтатыны белгілі.

Кеңістікте аталған көріністі алу үшін қабаттасқан толқындардың жиілігі бірдей және кеңістіктің әр нүктесінде тұрақты тербеліс фазасы болуы керек. Мұндай толқындарды когерентті деп атайды. Оларды бірдей жиілікпен және тұрақты фазамен ығысатын когерентті толқындық көздер шығарады.

Когерентті жарық толқындары қабаттасқан кезде кеңістіктің бір нүктесінде толқындар бір-бірін күшейтсе, басқа бір нүктелерінде бір-бірін әлсіретеді. Осы кезде кезекпен орналасқан ақ және қара жолақтар байқалады. Бұл — жарықтың интерференциясы.

Біз су бетінде қалқып жүрген бензин, май тамшыларының, сабын көпіршігі мен инелік қанаттарының түрлі түске боялатынын көріп жүрміз. Бұл құбылыстар — жарық интерференциясының нәтижесі. Бензиннің жұқа қабаты жазық параллель пластинка тәрізді. *S* жарық көзінен шығатын сәуле пленкада бірнеше когерентті сәулелерге бөлінеді. Ал біз жарықтың интерференциясын өтетін және шағылатын жарықта бақылай аламыз. Екі шыны пластинканы қолданып жарықтың интерференциясын бақылауға болады.

Жарықтың түзусызықты таралу бағытынан ауытқуын немесе бөгетті орағытып өтуін дифракция құбылысы деп атайды.

Жарықтың дифракциясын бір саңылаудан алу қиын. Себебі бұл құбылыс толқынның ұзындығы саңылаудың немесе бөгеттің өлшемімен шамалас болғанда ғана байқалады. Ал практикада саңылаудың өлшемі жарық толқынының ұзындығынан көп үлкен.

Егер жарық көзінің алдына жіңішке саңылау қойсақ, онда қараңғы жерге қойылған экранда осы саңылаудың кескінін алуымыз керек. Оны аламыз да, тек ол кескіндер түрлі түсті болып шығады. Саңылаудың дәл қарсы алдында ақ дақ бола бермейді, кейде ол қара болып келеді. Ал саңылауға өте жіңішке сым немесе шаш керіп тәжірибе жасасақ, экранда сол сымның немесе шаштың кескінін алуымыз керек. Шындығында, экранда бір емес, бірнеше кескін алынады.

Жұмыстың мақсаты: интерференция және дифракция құбылыстарын бақылау.

Жұмыс барысы:

Жарықтың интерференциясын бақылау.

1. Екі шыны пластинаны мұқият сүртіндер, екеуін қосып, оларды бір-біріне саусақпен қысыңдар.

2. Пластиналарды күңгірт реңде шағылған жарықта қараңдар. Осы кезде пластиналарды олардан жарқырап шағылған жарық болмайтындай етіп ұстандар.

3. Пластиналардың жанасатын жерлерінде пайда болатын айқын түрлі түсті тұйық сызықтарды бақылаңдар.

4. Алынған интерференциялық көріністің ақ қабатының қалыңдығына сай физикалық және орналасу өзгерістерін бақылаңдар.

5. Интерференцияны өтетін сәуледе бақылап көріңдер.

Жарықтың дифракциясын бақылау.

1. Фотоленкада ені 0,5 мм саңылау жасаңдар.

2. Саңылауды вертикаль күйінде көзге тақап ұстандар.

3. Саңылау арқылы вертикаль орналасқан шамның қылына қарап отырып, оның екі жағындағы түрлі түсті жолақтарды бақылаңдар (дифракциялық спектр).

4. Саңылаудың енін 0,5 мм-ден 0,8 мм-ге өзгерте отырып, дифракциялық спектрдің қалай өзгередінін байқаңдар.

5. Қорытынды жасаңдар.

Жарықтың поляризациясын бақылау.

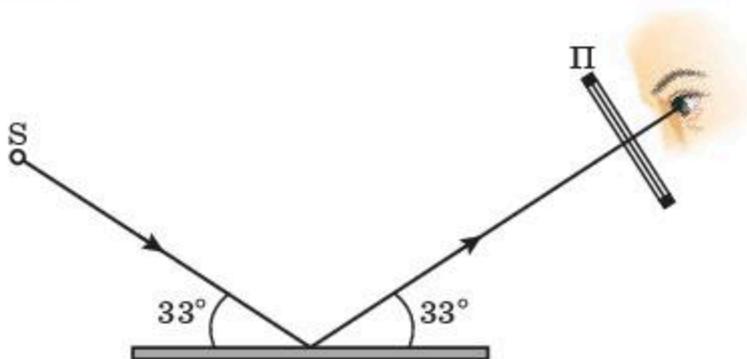
Құрал-жабдықтар: жақтаудағы поляроид, бір жағы қара түске боялған, өлшемі 60×90 мм шыны пластинка, қыздырғыш сымы түзу автомобиль шамы, адаптер.

Жұмыстың мақсаты: жарықтың поляризация құбылысын эксперимент арқылы зерттеу.

Жұмыс теориясы. Кейбір мөлдір кристалл арқылы өтетін, мысалы исланд шпатының кристалы, жарық жағының интенсивтілі екі кристалдың бір-біріне қатысты қалай орналасқанына тәуелді болатынын тәжірибе көрсетеді. Кристалдар бірдей бағдарланып орналасса, екінші кристалл арқылы жарық әлсіреп өтеді. Егер де екінші кристалл алғашқы бағытына қарағанда 90° бұрышқа бұрылса, онда жарық одан өтпейді. Егер жарықты көлденең толқын десек, онда бұл құбылысты түсіндіруге болады.

Бірінші кристалл арқылы өткен жарық поляризацияланады, яғни электр өрісінің кернеулік векторы \vec{E} бір жазықтықта тербелетін толқынды ғана кристалл өткізеді. Бұл жазықтықты *поляризация жазықтығы* дейді.

Екінші кристалл өткізетін тербелістердің жазықтығы поляризация жазықтығымен сәйкес келсе, поляризацияланған жарық екінші кристалдан әлсіремей өтеді. 90° бұрышқа бұрылған екінші кристалл поляризацияланған жарықты өткізбейді.



4-сурет

Жарықтың поляризация құбылысы жарықтың толқындық табиғатын және оның көлденең толқын екенін дәлелдейді.

Жұмыс барысы:

1. Көру сәулесінің осьімен сәйкес келетін осьпен жанған шамға поляриод (анализатор) арқылы қарап, осы ось бойымен жәй айналдырыңдар. Жанған шамның жарықтығының тұрақтылығы мынадай тұжырым жасауға негіз болады: “Шамның жарығы поляризацияланбаған”.

2. Үстелдің бетіне боялған жағын төмен қаратып шыны пластинканы қойыңдар және пластинкадағы шамның кескінін бақылап, одан шағылған жарықты зерттеңдер (4-сурет).

Шағылған жарық сәулесін ось деп алып, анализаторды жәй айналдырыңдар, шамның жарықтығының алма-кезек артуын және кемуін бақылаңдар.

Анализатор толық бір айналым жасағанда шамның жарықтылығы екі рет ең көп және ең аз болады. Өрбір 80° сайын жарықтың максимумы мен минимумы ауысып отырады. Олай болса, пластинкадан шағылған жарық поляризацияланған.

3. Жасалған тәжірибеде пластинкадан шағылған жарық шыныны поляризация жазықтығымен (поляриод жақтауындағы сызықтармен белгіленген) сәйкестендіреді.

5-зертханалық жұмыс.

Шынының сыну көрсеткішін жазық параллель пластинаның көмегімен анықтау

Құрал-жабдықтар: жазық параллель шыны пластина; 4 дана ағылшын түйреуіші; өлшеуіш сызғыш; ақ қағаз; шам; аккумулятор батареясы; кілт; жалғағыш сымдар; саңылауы бар экран; транспортир.

Жұмыстың теориясы. Жарық бір ортадан екінші ортаға өткенде жарықтың сыну құбылысы бақыланады. Мұның себебі әртүрлі орта-

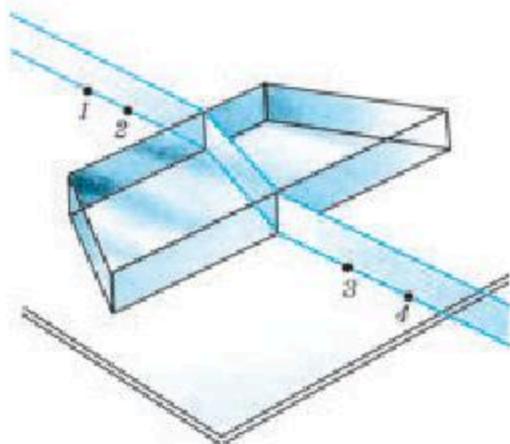
ларда жарықтың таралу жылдамдығы түрліше болады. Сыну заңы бойынша

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (1)$$

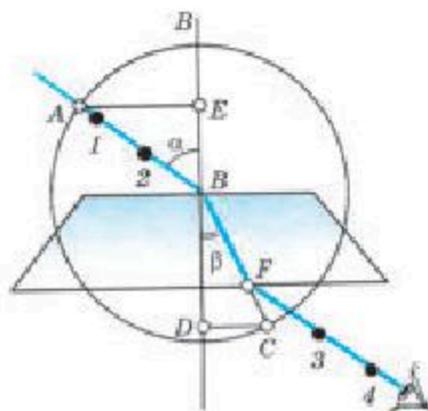
мұндағы n — екінші ортаның бірінші ортаға қатысты сыну көрсеткіші. Егер бірінші орта ауа болса, оның абсолют сыну көрсеткіші 1, онда екінші ортаның салыстырмалы сыну көрсеткіші абсолют сыну көрсеткішіне тең.

Жұмыс барысы:

1. Электр шамын кілт арқылы батареяға қосып, тізбек құрыңдар.
2. Шамның алдына саңылауы бар экранды орналастырып, ал оның сыртына ақ қағаз қойыңдар.
3. Кілт арқылы тізбекті қосыңдар да, қағаз бетінде жіңішке жарық жолағын алыңдар.
4. Жарық жолағына кез келген бұрышпен шыны пластинаны қойыңдар (5-сурет).
5. Пластинаның пішінін қағазға сызып, түсетін сәуленің A басы мен B соңын және жарықтың пластинадан F шығу нүктесін белгілеңдер (6-сурет).
6. Тізбекті ағытып, қағаздан шыны пластинаны алыңдар.
7. Центрі B нүктесінде, ал радиусы AB болатын шеңбер сызыңдар (6-сурет). B және F нүктелерін түзумен қосып, оны шеңбермен қиылысу нүктесі C -ға дейін созыңдар. Пластинаға жарықтың B түсу нүктесі арқылы перпендикуляр түзу жүргізіңдер. Оған A және C нүктелерінен AE мен CD перпендикулярларын түсіріп, олардың ұзындықтарын өлшеңдер.



5-сурет



6-сурет

$$8. n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\frac{AE}{AB}}{\frac{DC}{AB}} = \frac{AE}{DC} \text{ формуласы бойынша шынының сыну}$$

көрсеткішін есептеңдер.

9. Тәжірибені түсу бұрыштарын өзгерте отырып қайталаңдар және нәтижелерді салыстырыңдар (тәжірибені 3 рет жүргізіңдер).

10. Тәжірибелерді жарық көзінсіз, ағылшын түйреуіштерін пайдаланып жасаңдар, қорытындылаңдар.

Физика курсында қолданылатын терминдер

Қазақ тілінде	Орыс тілінде	Ағылшын тілінде
1	2	3
Абсолют қара дене	Абсолютно черное тело	Black body
Абсолют сыну көрсеткіші	Абсолютный показатель преломления	Absolute refractive index
Автотербелістер	Автоколебания	Self-oscillations
Тербеліс амплитудасы	Амплитуда колебаний	Amplitude of the oscillations
Амплитудалық модуляция	Амплитудная модуляция	Amplitude modulation
Аналогтік сигнал	Аналоговый сигнал	Analog signal
Байт	Байт	Byte
Қума толқын	Бегущая волна	Traveling wave
Бит	Бит	Bit
Бридер	Бридеры	Breeder reactor
Толқындық бет	Волновая поверхность	Wave surface
Толқындық шеп	Волновой фронт	Wave front
Толқындық қозғалыс	Волновым движением	Wave motion
Гармоникалық тербелістер	Гармонические колебания	Harmonic oscillations
Генератор	Генератор	Generator
Геометриялық оптика	Геометрическая оптика	Geometric optics
Демодуляция	Демодуляция	Demodulation
Жарық дисперсиясы	Дисперсия света	Light dispersion
Жарықтың дифракциясы	Дифракцией света	Diffraction of light
Дифракциялық кескін	Дифракционная картина	Diffraction pattern
Дифракциялық тор	Дифракционная решетка	Diffraction grating
Толқын ұзындығы λ	Длина волны λ	Wavelength
Кирхгоф заңы	Закон Кирхгофа	Kirchhoff's law
Изобаралар	Изобары	Isobar
Изотоптар	Изотопы	Isotopes
Интерференция	Интерференция	Interference
Когерентті толқын көздері	Когерентные источники волн	Coherent wave sources
Тербелістер	Колебания	Oscillation
Тербелмелі тізбек	Колебательный контур	Oscillating circuit
Линзалар	Линзы	Lenses

1	2	3
Лупа	Лупа	Magnifier
Математикалық маятник	Математический маятник	Mathematical pendulum
Механикалық тербелістер	Механические колебания	Mechanical oscillation
Модуляция	Модуляция	Modulation
Оптика	Оптика	Optics
Резерфорд тәжірибесі	Опыт Резерфорда.	Rutherford's experiment
Салыстырмалы сыну көрсеткіші	Относительный показатель преломления	Relative refractive index
Жарықтың шағылуы	Отражением света	Light reflection
Айнымалы ток	Переменный ток	Alternating current
Тербеліс периоды	Период колебаний	Oscillation period
Жазық айна	Плоское зеркало	Flat mirror
Толқындардың поляризациясы	Поляризация волн	Wave polarization
Жарықтың поляризациясы	Поляризация света	Polarization of light
Көденең толқындар	Поперечные волны	Transverse waves
Дұрыс немесе айналық шағылу	Правильное, или зеркальное, отражение	Correct, or specular reflection
Радиолокация	Радиолокация	Radar
Радиотелеграф байланысы	Радиотелеграфная связь	Radio telegraphy
Радиотелефон байланысы	Радиотелефонная связь	Radiotelephone communication
Диффузиялық немесе шашыраңқы шағылу	Рассеянное, или диффузное, отражение	Diffuse reflection
Резонанс	Резонанс	Resonance
Рентген сәулесі	Рентгеновское излучение	Light ray
Сигнал	Сигнал	Signal
Тұрғын толқындар	Стоячие волны	Standing waves
Телескоп	Телескоп	Telescope
Трансформатор	Трансформатор	Transformer
Фазалық жылдамдық	Фазовая скорость	Phase velocity
Фотоаппарат	Фотоаппарат	Camera

Глоссарий

Абсолют сыну көрсеткіші — ол вакуумдағы жарық жылдамдығының осы ортадағы жарық жылдамдығынан қанша рет үлкен екенін көрсететін физикалық шама.

Автотербелістер — бұл автотербелмелі жүйенің өзінде орналасқан энергия көзінен қажетті уақыт мезеттерінде тербелмелі жүйеге (маятникке немесе тербелмелі контурға) беріліп тұратын энергияның есебінен жүретін өшпейтін тербелістер.

Айнымалы ток — уақыт өткен сайын шамасы да, бағыты да периодты түрде өзгеріп отыратын электр тогы айнымалы ток деп аталады.

Айнымалы ток күшінің әсерлік мәні деп өткізгіште бірдей уақыт аралығында анықталып отырған айнымалы ток жүргенде бөлініп шығатын энергияға тең жылу мөлшерін бөліп шығаратын тұрақты ток күшіне тең шаманы айтады.

Амплитудалық модуляция — тасымалдаушы сигналдың өзгеретін параметрі оның амплитудасы болып табылатын модуляция түрі.

Аналогтік сигнал — үздіксіз мәнді және уақыт функцияларының параметрлері жиілікпен, фазамен және амплитудамен сипатталатын деректер сигналы.

Байт — ақпараттың 8 битке тең өлшем бірлігі.

Бит — ақпарат мөлшерін өлшеудің екілік кодтағы бірлігі, оның шамасы мүмкіндігі тең екі жағдайдың бірі туралы ақпаратқа тең.

Бойлық толқын — орта бөлшектерінің тербеліс бағыты толқындардың таралу бағытына сәйкес келетін толқындар.

Гармоникалық тербелістер — физикалық шаманың уақытқа тәуелді периодты түрде синус немесе косинус заңымен өзгерістері гармоникалық тербелістер деп аталады.

Генератор — механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын қондырғы генератор деп аталады.

Геометриялық оптика — жарықтың табиғатын қарастырмай, оның тек таралуын ғана зерттейтін оптиканың бөлімі.

Гюйгенс принципі — t уақыт аралығындағы толқын шебінің әрбір нүктесі жаңа (екінші реттік) толқын көзі болып есептеледі.

Демодуляция — төменгі жиілікті сигналды қалпына келтіру процесі.

Дифракциялық көрініс — қараңғы бос орындармен бөлінген түрлі түсті жолақтардың сериясы.

Дифракциялық тор — жарықтың дифракциясы байқалатын тосқауылдар мен саңылаулар жиынтығы.

Жазық айна деп тегіс өңделген және шағылдыратын қабатпен жабылған, қисықтық радиусы шексіздікке ұмтылатын жазық бетті айтады.

Жарық дисперсиясы — жарықтың сыну көрсеткішінің оның түсіне (жиілігіне) тәуелділігі.

Жарық сәулесі — бойымен жарық энергиясы таралатын немесе толқын шебіне перпендикуляр жүргізілген және толқын ұйытқуының таралу бағытын көрсететін сызық.

Жарықтың дифракциясы — жарықтың түзу сызық бойымен таралудан ауытқуын немесе тосқауылды орағытып өтуін айтады.

Жарықтың поляризациясы — көлденең жарық толқындарына тән құбылыс.

Жарықтың сыну құбылысы — бірінші ортадан екінші ортаға өткенде жарық сәулелерінің таралу бағытының өзгеруін айтады.

Жарықтың шағылуы — екі ортаның шегарасына бағытталған жарық сәулесі бағытының өзгеру құбылысын айтады. Бұл жағдайда жарық сәулесі шыққан ортасына қайта оралады.

Жиіліктік модуляция — тасымалдаушы сигналдың өзгеретін параметрі оның жиілігі болып табылатын модуляция түрі.

Жүгірме толқын — толқын фазалары белгілі бір жылдамдықпен орын ауыстыратын толқындық қозғалыс.

Интерференция — екі немесе бірнеше толқындардың қабаттасуы кезінде кеңістіктің өртүрлі нүктелеріндегі қорытқы тербелістер амплитудаларының таралуы (олардың минимум мен максимумдары кезекпен орналасқан) уақыт өтуімен өзгермей, тұрақты қалатын құбылыс.

Көденең толқын — ортаның бөлшектері толқындардың таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеліс жасайтын толқындар.

Линза деп екі жағы сфералық беттермен шектелген мөлдір денені айтады.

Лупа — үлкейткіш өйнек арқылы кішкентай нысандарды көруге арналған қысқа фокусты линза.

Математикалық маятник деп ауырлық өрісінде орналасқан, созылмайтын салмақсыз жіпке ілінген материялық нүктені айтады.

Механикалық тербелістер деп механикалық қозғалысты сипаттайтын физикалық шаманың (орын ауыстыру, жылдамдық, үдеу, механикалық энергия) периодты түрде өзгеруін атайды.

Микроскоп деп өте кішкентай нысандарды көру үшін көзді (окуляр) және линзаны қамтитын қондырғы қолданылады.

Модуляция — жоғары жиілікті тербелістер параметрлерінің бірін төменгі жиілікке сәйкес баяу өзгертетін процесс.

Оптика — жарықтың таралу заңдылықтарын, оның заттармен өзара әсерлесу процестерін және жарықтың табиғатын зерттейтін физиканың саласы.

Оптикалық жарқындату — интерференцияның көмегімен шағылған сәулелердің шамасын көбейтуге немесе азайтуға болатын құбылыс.

Радиолокация — радиотолқындар арқылы нысанды тауып, оған дейінгі қашықтықты және оның кеңістіктегі орнын, қозғалыс жылдамдығын анықтау.

Радиотелеграфтық байланыс — радиотолқын арқылы дискретті (әріптер, цифрлар немесе белгілер) хабарламаларды тарататын электрлік байланыс.

Радиотелефондық байланыс — электромагниттік толқын арқылы музыканы, сөзді, яғни дыбысты алыс қашықтыққа тарату.

Реактивті кедергі деп айнаымалы ток тізбегінде индуктивтілікке немесе сыйымдылыққа байланысты пайда болатын кедергіні айтады.

Резонанс деп тербелмелі жүйенің меншікті жиілігі сыртқы периодты мәжбүрлеуші әсердің жиілігімен дәл келгенде еріксіз тербелістердің амплитудасының күрт өсу құбылысы резонанс деп аталады.

Салыстырмалы сыну көрсеткіші — бірінші ортада таралатын жарық жылдамдығының екінші ортада таралатын жарық жылдамдығынан неше есе үлкен екенін көрсететін физикалық шама.

Сигнал — берілген хабарды тасымалдайтын физикалық процесс.

Телескоп — аспан денелерін бақылау үшін арналған оптикалық құрал болып табылады.

Тербеліс амплитудасы — бұл тербелістегі физикалық шаманың ең үлкен мәні.

Тербеліс жиілігі деп 1 с ішінде жасалатын тербеліс санына тең шаманы айтады, ол периодтың кері мәніне тең: $\nu = 1/T$. Өлшем бірлігі — герц [1 Гц].

Тербеліс периоды деп жүйе бастапқы күйіне қайтып оралатын ең аз уақытқа тең шаманы айтады, яғни бір период ішінде толық бір тербеліс жасалады.

Тербелістер деп дәл немесе шамалап алғанда бірдей уақыт аралықтары өткен сайын қайталанып отыратын процестерді айтады.

Тербелмелі контур деп конденсатор мен индуктивтік катушкадан тұратын тұйықталған жүйені айтады.

Трансформатор айнаымалы ток пен кернеудің мөндерін түрлендіретін қондырғы.

Тұрғын толқын деп бірдей жиілікпен және амплитудамен бір-біріне қарсы таралатын екі жүгірме толқынның қабаттасуынан пайда болатын толқынды айтады.

Ферма принципі: жарық кеңістіктің бір нүктесінен екінші нүктесіне ең аз уақыт кететін жолмен жүріп өтеді (таралады).

Фотоаппарат — линзалар жүйесінің көмегімен жарықсезгіш қабыршақта сақталатын нәрсенің кескіні алынатын оптикалық құрал.

Цифрлық сигнал — тек екі мәнді, яғни “0” мен “1”-ді қабылдайтын сигнал: кез келген уақыт мезетінде электр кернеуінің мәні екі деңгейдің біріне сөйкес келеді.

Бйғыу тогы деп индукциялық электр өрісінің уақыт бойынша өзгеру жылдамдығына пропорционал болатын физикалық шаманы айтады.

Электромагниттік тербелістер деп электр және магнит өрістері энергияларының бір-біріне айналып, түрленуімен қоса қабат жүретін электр зарядының, ток күшінің және кернеудің периодты түрде өзгеру процестерін айтады.

Электромагниттік толқын — айнымалы электромагниттік өріс тербелістерінің кеңістікте таралуы.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. *Касьянов В. А.* Физика. 11 класс. М.: Дрофа, 2018.
2. *Кокс Ф. Г., Парсондейдж М.* Энциклопедия окружающего мира. Атомы и молекулы. М.: Росмэн, 1997.
3. *Мухаметов М., Есжанов А.* и др. Физика: Учебник для 11 классов общеобразовательных школ. Алматы, 2008.
4. *Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б.* Физика: Учебник для 11 классов общеобразовательных учреждений. М.: Просвещение, 2002.
5. *Мякишев Г. Я., Сияков А. З.* Физика: Колебания и волны. Учебник для 11 классов для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
6. *Мякишев Г. Я., Сияков А. З.* Физика: Оптика и квантовая физика. Учебник для 11 классов для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2002.
7. *Павленко Ю. Г.* Начало физики. Учебник. М.: Экзамен, 2005.
8. *Тарасов Л. В.* Физика в природе: Книга для учащихся. М.: Просвещение, 1988.
9. *Турчина Н. В.* Физика в задачах для поступающих в вузы. 2500 задач. М.: Оникс, Мир и образование, 2009.
10. Универсальный справочник школьника / Сост. Г. П. Шалаева. М.: Филологическое общество “Слово”. Олма-Пресс образование, 2005.
11. Факты. Люди. Даты. События. Малый энциклопедический справочник. М.: Астрель, 2002.
12. Физика. Учебник для 11 классов с углубленным изучением физики. Профильный уровень. / Под. ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина. М.: Просвещение, 2007.
13. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики под редакцией Ю. И. Дика, О. Ф. Кабардина. М.: Просвещение, 2002.
14. *Шутов В. И., Сухов В. Г., Подлесный Д. В.* Эксперимент в физике. Физический практикум.
15. Энциклопедический словарь юного физика / Сост. В. А. Чуянов. М.: Педагогика, 1991.
16. Элементарный учебник физики. Том I, II, III. Под редакцией академика Г.С. Ландсберга. М.: АОЗТ “Шрайк”, 1995.
17. *Тұяқбаев С., Насохова Ш.*, т. б. Физика: Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сыныбына арналған оқулық. Алматы: Мектеп, 2015.
18. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	4
---------------	---

I бөлім. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

1-тарау. Механикалық тербелістер

§1. Механикалық гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері	5
§2. Математикалық және серіппелі маятниктер	14
1-тараудың ең маңыздысы.....	20

2-тарау. Электромагниттік тербелістер

§3. Еркін электромагниттік тербелістер.....	21
§4. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Автотербелістер	30
§5. Механикалық және электромагниттік тербелістер арасындағы ұқсастықтар .	35
§6. Идеал тербелмелі контурдағы заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктері.....	40
2-тараудың ең маңыздысы.....	45

3-тарау. Айнымалы ток

§7. Айнымалы ток генераторы	46
§8. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Айнымалы ток	53
§9. Айнымалы ток тізбегіндегі активті және реактивті кедергілер	58
§10. Айнымалы токтың толық тізбегі үшін Ом заңы	64
§11. Айнымалы ток тізбегіндегі қуат.....	69
§12. Электр тізбегіндегі кернеулер резонансы	73
§13. Электр энергиясын өндіру, жеткізу және қолдану. Трансформатор	77
§14. Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану	87
3-тараудың ең маңыздысы.....	92

II бөлім. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

4-тарау. Толқындық қозғалыс

§15. Серпімді механикалық толқындар	93
§16. Механикалық толқындардың таралуы. Механикалық толқындардың интерференциясы.....	99
§17. Тұрғын толқындар.....	103
§18. Гюйгенс принципі. Толқындардың дифракциясы.....	107
4-тараудың ең маңыздысы.....	112

5-тарау. Электромагниттік толқындар

§19. Электромагниттік өріс.....	113
§20. Электромагниттік толқындар	117
§21. Электромагниттік толқындарды шығару. Герц тәжірибелері	121
§22. Электромагниттік толқындардың энергиясы.....	125
§23. Электромагниттік толқындардың қасиеттері.....	131
§24. Радиобайланыс принципі.....	135
§25. Модуляция және детекторлеу.....	139
§26. Радиотолқындардың таралуы. Радиолокация.....	143
§27. Цифрлық технология	149
§28. Талшықты-оптикалық коммуникациялық желілер	153
§29. Қазақстандағы байланыс құралдары	155

§ 30. Жоғары жиілікті электромагниттік толқындардың биологиялық әсері және олардан қорғану	158
5-тараудың ең маңыздысы	160

III бөлім. ОПТИКА

6-тарау. Толқындық оптика

§ 31. Жарықтың электромагниттік табиғаты. Жарықтың жылдамдығы	161
§ 32. Жарықтың интерференциясы	163
§ 33. Жарықтың дифракциясы	171
§ 34. Дифракциялық тор	174
§ 35. Жарық дисперсиясы	179
§ 36. Жарықтың поляризациясы	182
6-тараудың ең маңыздысы	185

7-тарау. Геометриялық оптика

§ 37. Жарықтың түзу сызықты таралуы	186
§ 38. Жарықтың шағылу құбылысы. Жазық және сфералық айналар	192
§ 39. Жарықтың сыну құбылысы	201
§ 40. Линзалар. Жұқа линзаның формуласы	208
§ 41. Линзалар жүйесінде кескін салу. Оптикалық аспаптар	217
7-тараудың ең маңыздысы	224

Зертханалық жұмыстар

1-зертханалық жұмыс. Трансформатор орамдарының санын анықтау	225
2-зертханалық жұмыс. Ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтау	226
3-зертханалық жұмыс. Дифракциялық тордың көмегімен жарықтың толқын ұзындығын анықтау	228
4-зертханалық жұмыс. Жарықтың интерференциясын және дифракциясын, поляризациясын бақылау	229
5-зертханалық жұмыс. Шынының сыну көрсеткішін жазық параллель пластинаның көмегімен анықтау	231
Физика курсында қолданылатын терминдер	234
Глоссарий	236
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	238