

ФИЗИКА

Оқулық

11

Қоғамдық-гуманитарлық
бағыт

I бөлім. ТЕРБЕЛІСТЕР

- 1-тарау. Механикалық тербелістер
- 2-тарау. Электромагниттік тербелістер
- 3-тарау. Айнымалы ток

II бөлім. ТОЛҚЫНДАР

- 4-тарау. Электромагниттік толқындар

III бөлім. ОПТИКА

- 5-тарау. Толқындық оптика
- 6-тарау. Геометриялық оптика

IV бөлім. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

- 7-тарау. Атомдық және кванттық физика
- 8-тарау. Атом ядросының физикасы

V бөлім. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

- 9-тарау. Нанотехнология және наноматериалдар

VI бөлім. КОСМОЛОГИЯ

- 10-тарау. Космология

Шартты белгілер:

Практикалық тапсырма



Шығармашылық тапсырма



Сыни тұрғыдан ойлауға арналған тапсырма



Өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

■ Орта деңгейлі тапсырмалар

* Күрделлілігі жоғары тапсырмалар

Қосымша оқуға арналған

Алғы сөз

Құрметті оқушылар! Осы оқу жылы мектеп қабырғасында білім алатын соңғы жыл болғандықтан, сендер әр күннің пайдалы да жақсы білім өкелуі 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 жасалып, 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 болып табылатын 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.

11-сынып физика оқулығында төменгі сыныптарда оқып кеткен механикалық және

электромагниттік тербелістер мен толқындар, толқындық оптика, атомдық және ядролық физика бөлімдері тереңірек қарастырылады.

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

Оқуда табыс тілейміз!

Авторлар

I бөлім. ТЕРБЕЛІСТЕР

1-тарау. МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР

§ 1. Механикалық гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері



Тірек ұғымдар:

- ✓ тербелістер
- ✓ тербелістердің периоды, жиілігі, амплитудасы
- ✓ осциллятор
- ✓ 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 бірдей мөндерге ие болып отыратын айрықша бір процестер кең таралған. Мұндай процестер *периодты* деп аталады. Механикада материялық нүкте (дене) тепе-теңдік орнының маңында, оның екі жағына алма кезек ауыса отырып қозғалатын периодты қозғалысты *тербелмелі* деп атайды. Сонымен, егер периодты процестің өту барысында оны сипаттайтын барлық физикалық шамалар тұрақты тепе-теңдік күйімен (нөлдік жағдай) салыстырғанда біресе оң, біресе теріс мөндерді қабылдап отыратын болса, ол *тербелмелі процесс (тербеліс)* деп аталады. Біздің айналамызда үнемі түрлі тербелмелі процестер жүріп жатады: балалар өткеншекте ойнайды, жұмысшы уатқыш балғамен жұмыс істеп жатады, көпір үстімен көліктер жүріп жатады, электр желілері жұмыс істеп тұрады, адамдар өзара тілдесіп, түрлі шекті аспаптарда ойнайды (1.1, а, ә, б, в, г-суреттер).

Сендер тербелістердің кейбір сипаттамаларымен 9-сыныпта танысқан болатынсыңдар.

Мұны білесіңдер

Дәл немесе жуықтап алғанда бірдей уақыт аралықтары өткен сайын қайталанып отыратын процестер *тербелістер* деп аталады. Тербелістер — бұл периодты процестер болып табылады.



а)



ә)



б)

Периодты процестің табиғатына қарай тербелістер *механикалық және электромагниттік* болып екіге бөлінеді. Табиғаты өртүрлі тербелістердің сипаттамаларының өзгеріс заңдылықтары бірдей және оларды бірдей теңдеулермен сипаттауға болатыны анықталды. Сондықтан осы тарауда біз алдымен механикалық, содан кейін аналогия бойынша электромагниттік тербелістерді оқып-үйренеміз.



в)

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; $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

2π с ішінде жасалатын тербеліс санына тең шама *циклдік жиілік* (ω) деп аталады.

Тербеліс амплитудасы деп тербелістегі физикалық шаманың тепе-теңдік күйдегі мәнінен ең үлкен ауытқуын айтады.



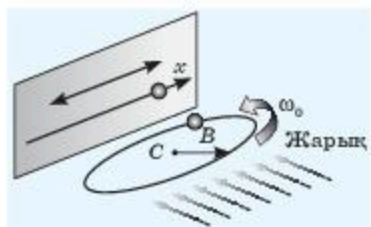
г)

1.1-сурет. Табиғаттағы өртүрлі тербелістердің мысалдары

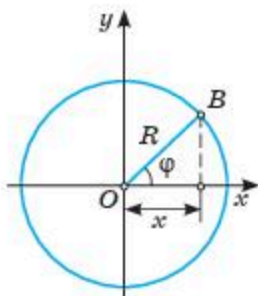
Еркін тербелістер жасай алатын физикалық жүйе *тербелмелі жүйе* деп аталады.

Тепе-теңдік күйінен шығарған соң еркіне қоя берген жүйе еркін, яғни *меншікті тербелістер* жасайды, мұндай тербелістердің жиілігі жүйенің физикалық параметрлерімен анықталады.

Механикалық гармоникалық тербелістер. *Механикалық қозғалысты сипаттайтын физикалық шаманың (орын ауыстыру, жылдамдық, үдеу) периодты түрде өзгеруін механикалық тербелістер деп атай-*



1.2-сурет



1.3-сурет. Шеңбер бойымен қозғалыс және тербеліс тежірибесінің сұлбасы

ды. Мысал ретінде тепе-теңдік қалпының маңында тербеліп тұрған материялық нүктені немесе денені қарастыруға болады.

Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыстағы материялық нүкте де периодты қозғалыста болады, себебі ол әрбір толық айналым жасаған сайын алғашқы орнына қайтып келіп отырады. Бұл кезде материялық нүктенің шеңбер жазықтығына перпендикуляр орналасқан экранға проекциясы тербелістер жасайды (1.2-сурет).

Шеңбердің C центрінің X осіне проекциясын O әрпімен белгілейік, онда шеңбер бойымен қозғалып жүрген 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 өзгередінін анықтайық. 1.3-суреттен көрініп тұрғандай, B нүктесі шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалып тұрса,

оның шеңбер жазықтығына перпендикуляр орналасқан жазықтыққа проекциясы x (ығысуы) тербеліс жасайды.

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

$$x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1.1)$$

және

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

теңдеулері гармоникалық тербелістердің теңдеуі болып табылады. Бұл екі теңдеудің қайсысын қолдану ыңғайлы болатынын қарастырып отырған жағдайдағы бастапқы шарттарға қарай таңдап алуға болады. Мұндағы x — дененің тепе-теңдік орнынан ығысуы, x_m — тербеліс амплитудасы, ω_0 — меншікті тербелістердің циклдiк, яғни дөңгелектің 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 жағдайлардағы графиктерін қарастырайық (1.4-сурет).

1.4, а-суретте тербеліс периоды мен бастапқы фаза $\varphi_0 = 0$ бірдей болғанда амплитуданың екі түрлі $x_{1m} > x_m$ мәндеріне сәйкес (1.1) теңдеуінің графиктері көрсетілген.

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

1.4, в-суретте бастапқы фазалары өртүрлі гармоникалық тербелістердің графиктері кескінделген.

Егер материялық нүкте гармоникалық тербелістер жасайтын болса, оның жылдамдығы мен үдеуі де периодты түрде өзгереді. Жылдамдық ығысудың бірінші туындысына тең:

$$v = v_x = x' = -x_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

немесе

$$v = v_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right), \quad (1.3)$$

мұнда $v_m = x_m \omega_0$ — жылдамдық тербелістерінің амплитудасы.

Үдеуді жылдамдықтың бірінші туындысы ретінде табамыз:

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

немесе

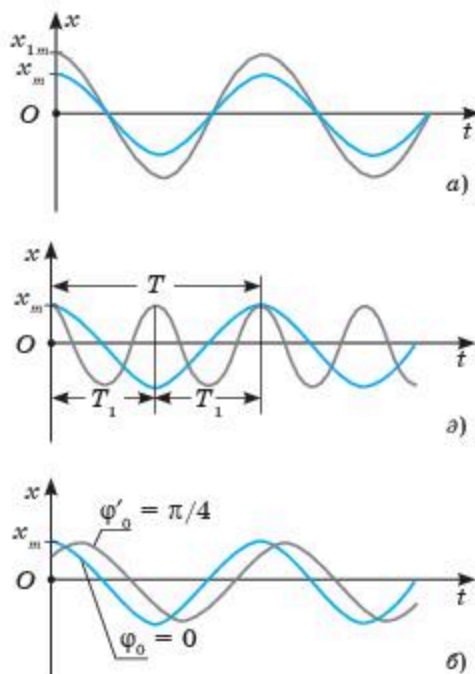
$$a = a_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi), \quad (1.4)$$

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

(1.1) және (1.3) өрнектерін салыстыра отырып, жылдамдық тербелістері ығысу тербелістерінен фаза бойынша $\left(\frac{\pi}{2}\right)$ -ге алда жүретінін көруге болады.

Ал (1.1) және (1.4) теңдеулерінде ығысу мен үдеудің тербелістері қарама-қарсы фазада жүреді.

Механикалық тербелістердің энергиясы. Механикалық тербелістердің барысында тербелмелі жүйенің кинетикалық энергияның потенциалдық энергияға және, керісінше, потенциалдық энергияның



1.4-сурет. Гармоникалық тербелістердің графиктері

кинетикалық энергияға айналу процесі үздіксіз жүріп жатады. Тер-
белмелі жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергиялары мына
өрнектермен анықталады:

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

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

Сонымен, жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергиялары
 $2\omega_0$ 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:

$$E = \frac{mx_m^2 \omega_0^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2}. \quad (1.5)$$

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

Есте сақта!

Біз энергия шығыны жоқ идеал тербелмелі жүйенің еркін гармоникалық
тербелістерінің заңдылықтарын қарастырып өттік. Шындығында, нақты
тербелмелі жүйелерде тербелістер әрқашан қандай да бір мөлшерде энергия
шығындарымен бірге жүреді.

Гармоникалық тербелістерге түсе алатын тербелмелі жүйенің кең
тараған үлгісі — *математикалық және серіппелі маятниктер* (1.5-су-
рет).

Мұны білесіңдер

Математикалық маятник деп созылмайтын салмақсыз жіпке ілінген материялық
шарды айтады.

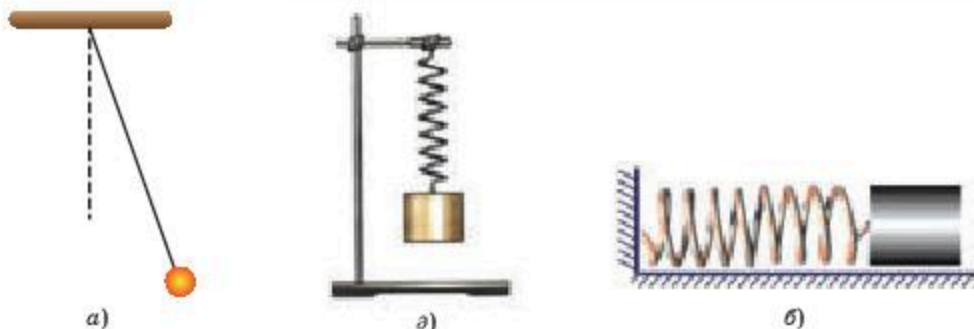
Серіппелі маятник — бұл абсолют серпімді салмақсыз серіппемен массасы m
материялық нүктеден (кішкене ауыр дене) тұратын тербелмелі жүйе.

Математикалық маятниктің тербеліс периоды:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (1.6)$$

Серіппелі маятниктің меншікті тербеліс периоды:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1.7)$$



1.5-сурет. а) Математикалық маятник; б) вертикаль;
в) горизонталь серіппелі маятниктер

Есте сақта!

Тек қана аз тербелістер үшін, демек тербеліс амплитудасының аз мәндерінде, математикалық және серіппелі маятниктердің тербелістері гармоникалық болып табылады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

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

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

Жан Фуко алғаш рет өзінің тәжірибесін Париж қаласындағы Пантеон күмбезінің астында 1851 жылы жүргізді. Фуко ұзындығы 67 м болатын сымға массасы 28 кг жүкті, ал оның астына үшкір таяқша бекітті. Ол маятникті Пантеон күмбезінің астына ілінді. Маятниктің астына центрі дәл таяқшаның астында орналасқан, диаметрі шамамен алты метрдей болатын дөңгелек қоршау жасап, оған құм төкті. Маятникті вертикальдан ауытқытып, қоя бергенде ол тербеле бастайды. Осы кезде қоршаудың үстінен өткен сайын үшкір таяқша құмды шашып, белгі салып отырады. Ең қызығы — таяқша құм үстінен өткен сайын құмды алдыңғы салған белгісінен шамамен үш миллиметр қашықтықта шашып отырған. Бұл — маятниктің тербеліс жазықтығы еденмен салыстырғанда сағат тілінің бағытымен бұрылатынын көрсетеді. Шамамен 32 сағаттан соң тербеліс жазықтығы толық бір айналым жасап, бұрынғы орнына қайтып келген.

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 айналатынын көрнекті түрде көрсетілді. Фуко маятниктері түрлі уақыттарда Санкт-Петербургтегі Исаакиев соборында, Нагасаки қаласындағы Фукусайдзи храмында, Сан-Петронио базиликасында (Болонья), Вильнюстағы Қасиетті Иоанндар костелінде және т.б. жерлерде орнатылған болатын.



1.6-сурет. Пантеон күмбезіндегі Фуко маятнигі



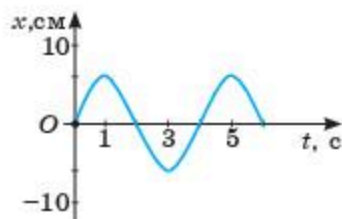
1. Тербелістерді қозғалыстың барлық басқа түрлерінен қалай ажыратуға болады?
2. Тербелмелі процестерге мысалдар келтіріңдер.
3. Гармоникалық тербелістерге анықтама беріңдер.
4. Механикалық гармоникалық тербелістің теңдеуін жазыңдар.
5. Тербеліс амплитудасының, периодының және жиілігінің анықтамасын беріңдер.
6. Математикалық маятниктің меншікті тербелістерінің периоды қандай физикалық шамаларға тәуелді?
7. Серіппелі маятниктің меншікті тербелістерінің периоды қандай физикалық шамаларға тәуелді?
8. Қолда бар нәрселерден математикалық маятникті қалай жасауға болады?
9. Серіппелі маятникті өздерің жасай аласыңдар ма? Қалай жасайтындарыңды түсіндіріңдер.



1.1-суретте көрсетілген суреттерге зер салып қараңдар. Әрбір мысалдағы тербелістер туралы айтып беріңдер, олардың табиғаты қандай екенін түсіндіріңдер. Қысқаша әңгіме жазыңдар.



1. 1.7-суретте көрсетілген графиктен тербелістің амплитудасын, периоды мен жиілігін, бастапқы фазасын анықтаңдар.
2. Тербелістің теңдеуін жазыңдар.



1.7-сурет



Математикалық маятниктің ұзындығы артқан кезде, 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. Материялық нүктенің тербеліс теңдеуі: $x = 10\cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ см. Тербелістің амплитудасын, периодын және бастапқы фазасын анықтаңдар. Материялық нүктенің $t = 2$ с уақыт мезетіндегі жылдамдығын табыңдар.

Берілгені:

$$x = 10\cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ см}$$

$$t = 2 \text{ с}$$

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

$$v - ?$$

Шешуі. Есептің шартында берілген теңдеуді гармоникалық тербелістердің $x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ теңдеуімен салыстыра

отырып анықтаймыз: $x_m = 10$ см, $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$,

$$\text{бұдан: } T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{6,28}{3,14\text{с}^{-1}} = 2 \text{ с.}$$

Материялық нүктенің тербеліс жылдамдығының теңдеуі:

$$v = x'(t) = -x_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -10\pi \sin\left(2\pi + \frac{\pi}{3}\right);$$

$$v = -31,4 \cdot 0,87 = -27,3 \text{ см/с.}$$

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

2-есеп. Математикалық маятник 20 секундта 10 толық тербеліс жасайды. Оның ұзындығы есептеңдер.

Берілгені:

$$t = 20 \text{ с}$$

$$N = 10$$

$$l - ?$$

Шешуі. Маятниктің тербеліс периоды, яғни бір тербеліске кететін уақыт: $T = \frac{t}{N}$.

Екінші жағынан алғанда математикалық маятниктің тербеліс периодының формуласы:

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

Осы екі өрнекті теңестіреміз: $\frac{t}{N} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Бұл теңдеуді квадраттаймыз: $\frac{t^2}{N^2} = 4\pi^2 \frac{l}{g}$, бұдан:

$$l = \frac{t^2 \cdot g}{4\pi^2 N^2} = \frac{400 \text{ с}^2 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{4 \cdot 9,86 \cdot 100} \approx 1 \text{ м.}$$



1-жаттығу

1. Материялық нүкте $\Delta t = 1,0$ мин уақыт аралығында $N = 120$ тербеліс жасады. Оның T тербеліс периодын, ν жиілігін және ω 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. Тербеліс периоды $T = 1$ с болатын математикалық маятниктің ұзындығы қандай?

Жауабы: $l \approx 25$ см.

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

Жауабы: $1,41$ есе азаяды.

- *5. Бірдей уақыт ішінде бір математикалық маятник $n_1 = 20$ тербеліс, ал екінші маятник $n_2 = 40$ тербеліс жасады. Олардың ұзындықтарының қатынасын анықтаңдар.

Жауабы: $\frac{l_1}{l_2} = 4$.

- 6. 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.

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

Жауабы: $\frac{1}{3}$ бөлігінде.

1-тараудың ең маңыздысы

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

Еркін тербелістерге түсе алатын физикалық жүйе *тербелмелі жүйе* деп аталады.

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

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

Тербелмелі жүйенің толық механикалық энергиясы:

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

Математикалық маятниктің тербеліс периоды:

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

Серішпелі маятниктің тербеліс периоды:

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

2-тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

§ 2. 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 тербелістердің сипаттамаларының өзгеріс заңдарын бірдей және оларды бірдей теңдеулермен өрнектеуге болады. Барлық тербелмелі қозғалыстар табиғаты әртүрлі болса да, бірдей параметрлермен сипатталады.

Электромагниттік тербелістерді қарастыруға көшейік. Электромагниттік тербелістердің практикалық маңызы аса зор.

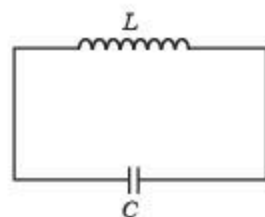
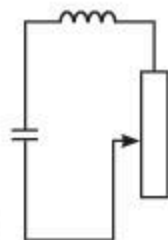
Электр энергиясын өндіру, электротехника мен радиоэлектрониканың барлық салалары, заманауи радиотехникалық құралдардың жұмысы және т.б. электромагниттік тербелістерді қолдануға негізделген. Электромагниттік тербелістерде электр заряды, ток күші, кернеу, электр өрісінің кернеулігі, магнит өрісінің индукциясы, 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 қатар жүретін электр зарядының, ток күшінің және кернеудің периодты түрде өзгеру процестерін айтады.*

Еркін электромагниттік тербелістерді зарядталған конденсатор, индуктивтік катушкамен тұйықталған жүйеде қоздыруға болады. Мұндай тербелмелі жүйеде өшетін тербелістер пайда болады, себебі жүйеге алғашында берілген энергия сымдарды қыздыруға, басқа да шығындарға жұмсалып, тербеліс энергиясы азая береді (2.1-сурет).



2.1-сурет. Тербелмелі контур

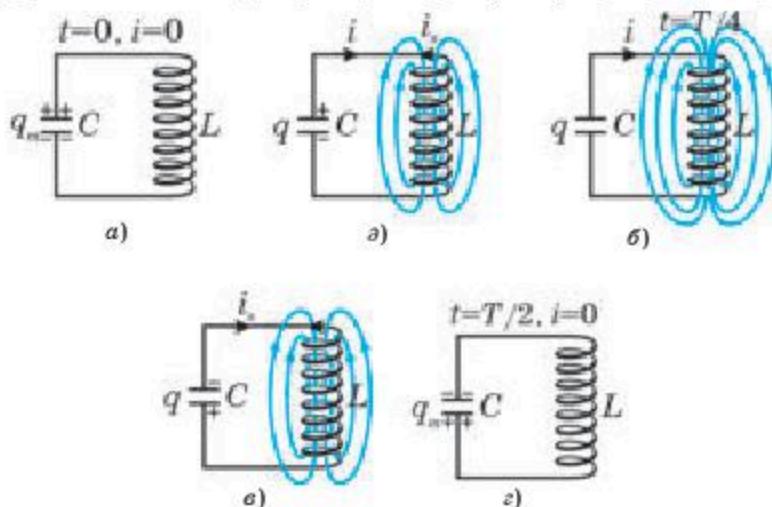


2.2-сурет. Тербелмелі контурдың сұлбаларда белгіленуі

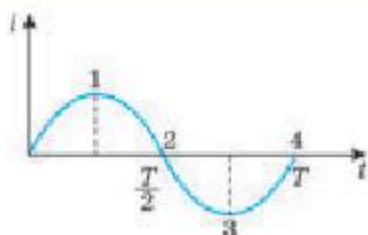
Тербелмелі контурда пайда болатын электромагниттік тербелістердің негізгі заңдылықтарын тағайындау үшін катушка мен жалғастырушы сымдарының электр кедергісі нөлге тең деп алайық. *Тек индуктивтігі L катушка мен сыйымдылығы C конденсатордан тұратын идеал тербелмелі контурды (2.2-сурет) қарастырайық.*

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

Енді зарядталған конденсаторды катушкамен тұйықтайық (2.3, а-сурет). Катушка арқылы ток жүріп, конденсатор разрядтала бастайды. Токтың өсуімен катушкадағы магнит өрісінің индукциясы да артады, сондықтан контурда өздік индукцияның электр қозғаушы күші пайда болады. Ленц ережесі бойынша өздік индукцияның тогы контурда өсіп келе жатқан конденсатордың разрядталу тогына қарама-қарсы бағытталады (2.3, ә-сурет). Бұл разрядталу тогының



2.3-сурет. Тербелмелі контурда еркін электромагниттік тербелістердің пайда болуы



2.4-сурет. Тербелмелі контурдағы ток күшінің уақытқа тәуелділік графигі

өсу жылдамдығын азайтады. 2.4-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 өрістің

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 индукция электр қозғаушы күші (ЭҚК) нөлге айналады, ал ток күші мен магнит өрісінің индукциясы ең үлкен мәніне ие болады. Бұл мезетке 2.3, б-сурет және 2.4-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 (2.3, в-сурет және 2.4-суреттегі 1-2-бөлік).

Конденсатор қайта зарядтала бастайды. Ток күшінің азаюы жылдамдай бастайды, оған сәйкес өздік индукцияның ЭҚК-і өседі де, ток күші нөлге тең болған мезетте электр қозғаушы күші максимал мәнге ие болады (2.3, г-сурет және 2.4-суреттегі 2-нүкте). Конденсатор қайта толық зарядталып болғанда, электр өрісінің энергиясы ең үлкен мәніне жетеді, ал магнит өрісінің энергиясы нөлге айналады.

Осымен біз электромагниттік тербелістердің жарты периодын сипаттап өттік.

Бұдан соң процесс кері бағытта қайталанып, тағы жарты период өткенде жүйе алғашқы күйге қайтып оралады (2.4-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:

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

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.

Еркін электромагниттік тербелістердің теңдеулерін механикалық гармоникалық тербелістердің теңдеулеріне ұқсас былай жазуға болады:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2.1)$$

$$q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (2.2)$$

Соңғы теңдеулерден мынадай қорытындыға келеміз: *тербелмелі контурдың конденсаторының 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 жиілігі (2.3) өрнегімен анықталады:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (2.3)$$

Бұдан циклдік жиілік тербелмелі контурдың параметрлері — *индуктивтілік пен сыйымдылыққа* тәуелді екенін көреміз.

Олай болса, тербеліс периоды: $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (2.4)$$

(2.4) 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 өндіріледі.*

Біз білетініміздей, (2.1) және (2.2) 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:

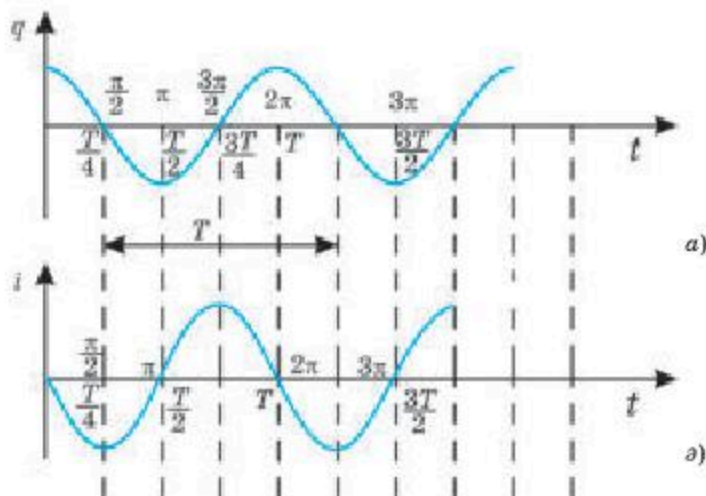
$$\varphi = \omega_0 t = 2\pi \frac{t}{T}. \quad (2.6)$$

Тербелмелі контур кез келген радиотаратқыш пен радиоқабылдағыштың 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.

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 графикін салайық. Ол үшін бастапқы фазаны ($\varphi_0 = 0$) нөлге тең деп алып, (2.7) теңдеуін қолданайық:

$$q = q_m \cos \omega_0 t. \quad (2.7)$$

Бұл теңдеудің графигі 2.5, а-суретте көрсетілген. Графикте ординаталар осінің бойына конденсатордың астарларындағы зарядтың мәндері, абциссалар осінің бойына, астыңғы жағына периодтың бөліктерімен көрсетілген уақыт, үстіңгі жағына тербеліс фазаларының сәйкес мәндері салынған.



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

Ток күшінің тербеліс теңдеуін табу үшін зарядтың уақыт бойынша туындысын алайық:

$i = q' = -q_m \omega_0 \sin \omega_0 t$ немесе $q_m \omega_0 = i_m$ деп белгілейік, онда $i = -i_m \sin \omega_0 t$, немесе

$$i = i_m \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.8)$$

(2.7) және (2.8) теңдеулерін салыстыра отырып, заряд тербелістері мен ток күшінің тербелістерінің арасында $\frac{\pi}{2}$ -ге тең фазалық ығысу бар екенін көреміз. Осыны ескере отырып, ток күшінің уақытқа тәуелділік графигін сызамыз (2.5, а-сурет).

Егер масштаб белгілі болса, 2.5-суретте көрсетілген графиктерден абциссалар осінен тербеліс периодын, одан жиілікті, ал ординаталар осінен тербелістегі шаманың амплитудасы мен лездік мәнін анықтауға болады.

Графиктерден фазалық ығысу да айқын көрініп тұр. Конденсатор астарларындағы зарядтың мәні максимал болған мезеттерде тізбектегі ток күші нөлге тең.



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 контурдың конденсаторының астарларындағы заряд уақытқа тәуелді қандай заңмен өзгереді?
- *6. Тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістер қалай пайда болатынын түсіндіріңдер.
- *7. Тербелмелі контурда электромагниттік тербелістердің пайда болуында өздік индукция құбылысы қандай рөл атқарады?
- *8. Конденсатор мен резистордан тұратын контурда не себепті электромагниттік тербелістердің пайда болуы мүмкін емес?
9. Идеал тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістердің периоды қандай физикалық шамаларға тәуелді?
- *10. Тербелмелі контурдағы конденсатордың зарядының бастапқы мәні өзгертілді. Осы кезде контурдағы электромагниттік тербелістерді сипаттайтын физикалық шамалардың қайсысы өзгеріске ұшырайды? Қайсылары өзгермей қалады?
- *11. Еркін электромагниттік тербелістердің периоды бастапқы уақыт мезетінде контурға берілген энергияға байланысты ма? Жауаптарыңды негіздеңдер.



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

1. Математикалық маятниктің тербеліс периодының оның массасына, тербеліс амплитудасына және ұзындығына тәуелділігін зерттеңдер. Маятникті өздерің жасаңдар. Тәжірибелік зерттеудің жоспарын жасаңдар. Тәжірибелердің нәтижелерін өздерің құрастырған кестелерге енгізіңдер. Қорытынды жасаңдар.
2. Серіппелі маятниктің тербеліс периодының маятниктің массасына, тербеліс амплитудасына және серіппенің қатаңдығына тәуелділігін зерттеңдер. Маятникті өздерің құрастырыңдар. Тәжірибелік зерттеудің жоспарын жасаңдар. Тәжірибелердің нәтижелерін өздерің құрастырған кестелерге енгізіңдер. Қорытынды жасаңдар.

Есеп шығару мысалы

Идеал тербелмелі контурда конденсатордың астарларындағы заряд $q = 0,05 \cos 10^4 \pi t$ (Кл) заңы бойынша өзгереді. Тербеліс амплитудасын, жиілігін, периоды мен бастапқы фазасын анықтаңдар. Егер конденсатордың сыйымдылығы $0,5$ мкФ болса, катушканың индуктивтілігі қандай?

Берілгені:

$$q = 0,05 \cos 10^4 \pi t \text{ (Кл)}$$

$$C = 0,5 \text{ мкФ}$$

$$q_m \text{ — ? } \nu \text{ — ? } T \text{ — ?}$$

$$\varphi_0 \text{ — ? } L \text{ — ?}$$

Шешуі. Конденсатордың астарларындағы зарядтың гармоникалық тербелістерінің теңдеуін жазайық:

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

Осы теңдеуді есептің шартында берілген $q = 0,05 \cos 10^4 \pi t$ (Кл) теңдеуімен салыстыра отырып табамыз:

1) заряд тербелістерінің амплитудасын $q_m = 0,05$ Кл;

2) циклдік жиілікті $\omega_0 = 10^4 \pi = 3,14 \cdot 10^4$ 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) тербелістің бастапқы фазасын $\varphi_0 = 0$;

6) катушканың индуктивтілігін $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ формуласынан табамыз:

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{9,86 \cdot 10^8 \text{ рад/с} \cdot 0,2 \text{ Ф}} = 0,002 \text{ Гн.}$$



2-жаттығу

1. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L = 1,6$ мГн катушка мен сыйымдылығы $C = 0,04$ мкФ конденсатордан тұрады. Контурдағы заряд тербелістерінің периодын табыңдар.

Жауабы: 50 мкс.

2. Тербелмелі контурда ток күші $i = 0,01 \cos 1000t$ заңдылығына сәйкес өзгереді. Егер контурдың конденсаторының сыйымдылығы 10 мкФ болса, катушканың индуктивтілігі мен конденсатор астарларындағы кернеудің максимал мәні қандай болады?

Жауабы: $L = 0,1 \text{ Гн}; U = 1 \text{ В}$.

3. Идеал тербелмелі контурда электромагниттік тербелістер туындайды. Егер алғашқы уақыт мезетінде конденсаторға берген максимал заряд мөлшерін екі есе арттырса: а) ток күшінің амплитудасы; ө) конденсатордың электр өрісінің энергиясы мен катушканың магнит өрісінің энергияларының қосындысы неше есе өзгереді? Жауапты негіздеңдер.

4. Тербелмелі контур индуктивтілігі $L = 1 \text{ Гн}$ катушка мен сыйымдылығы $C = 2,5 \text{ мкФ}$ конденсатордан тұрады. Конденсатордың астарларындағы заряд тербелістерінің амплитудасының мәні $0,5 \text{ мкКл}$. Заряд тербелістерінің теңдеуін жазыңдар.

Жауабы: $q = 0,5 \cdot 10^{-6} \cos 630t \text{ (Кл)}$

5. Индуктивтілігі $L = 0,1 \text{ Гн}$ катушка мен сыйымдылығы $C = 2 \text{ мкФ}$ конденсатордан тұратын тербелмелі контурдың меншікті тербелісінің периодын табыңдар.

Жауабы: $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

- *6. Идеал тербелмелі контурда электромагниттік тербелістер туындайды. Конденсатор астарларындағы зарядтың максимал мәні $q_m = 10^{-6} \text{ Кл}$, ал контурдағы ток күшінің максимал мәні $i_m = 10 \text{ А}$. Тербеліс жиілігін анықтаңдар.

Жауабы: $1,6 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.

- *7. Идеал тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістердің толық энергиясы $0,2 \text{ мДж}$, кернеудің максимал мәні 100 В , ал ток күшінің ең үлкен мәні 1 А . Контурдың индуктивтілігі мен сыйымдылығын анықтаңдар.

Жауабы: $0,4 \text{ мГн}; 0,04 \text{ мкФ}$.

- *8. Идеал тербелмелі контурда конденсатор астарларындағы кернеудің максимал мәні $U_m = 30 \text{ В}$, ал контурдағы ток күшінің максимал мәні $I_m = 1,4 \text{ А}$. Конденсатордың электр өрісінің энергиясы катушканың магнит өрісінің энергиясына тең болған сәтте контурдағы ток күші мен кернеудің мәндерін анықтаңдар.

Жауабы: $\approx 1 \text{ А}; 21,3 \text{ В}$.

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

Жауабы: $16,6 \text{ кГц}$.

§ 3. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Автотербелістер



Тірек ұғымдар:

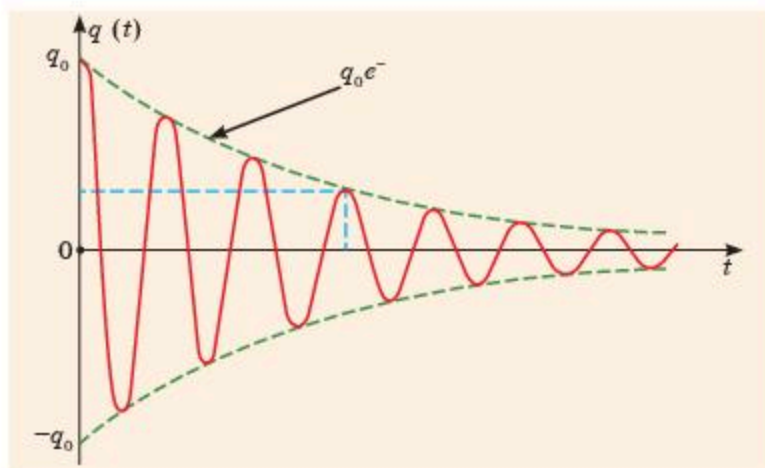
- ✓ өшетін тербелістер
- ✓ еріксіз тербелістер
- ✓ мәжбүр етуші күш
- ✓ резонанс
- ✓ автотербелістер
- ✓ жоғары жиілікті генератор

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, қаншалықты болса да 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 біткенде 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 (3.1-сурет).



3.1-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) болып табылады. Еріксіз тербелістер — бұлар өшпейтін тербелістер.

Электр тізбегіндегі сыртқы қорек көзінің айнымалы ЭҚК әсерінен болатын ток күші мен кернеудің периодты өзгерістері еріксіз электромагниттік тербелістер деп аталады. 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 өзгеріс жиілігі.

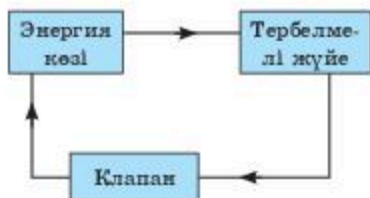
Тербеліс амплитудасы мен еріксіз тербелістердің әр периоды сайын жүйеге берілетін энергияның мөлшері мәжбүр етуші кернеудің ω жиілігіне және тербелмелі контурдың активті кедергісіне тәуелді. Мәжбүр етуші кернеудің ω жиілігі тербелмелі контурдың ω_0 меншікті жиілігіне жақындаған сайын және активті кедергі азайған сайын тербеліс амплитудасы мен жүйеге беріліп отыратын энергияның мөлшері арта түседі.

Мұны білесіңдер

Тербелмелі жүйенің меншікті тербеліс жиілігі мәжбүр етуші күштің жиілігімен теңескенде 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-



3.2-сурет. Автотербелмелі жүйенің негізгі элементтері

құрылысына байланысты. Кез келген *автотербелмелі жүйе мынадай бөліктерден тұрады: энергия көзі, тербелмелі жүйе және клапан* (кілт) (3.2-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 (3.3-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.



3.3-сурет. Транзисторлы генератор

Енді генератордың жұмысын қарастырайық. Тербелмелі контурдағы энергия шығынын толықтыру үшін оған тұрақты кернеу көзін қосады. Егер ол тербелмелі контурға үнемі қосулы тұрса, периодтың бірінші жартысында (кернеу көзінің оң полюсіне конденсатордың оң зарядталған астары қосулы тұрған кезде) конденсаторды үстемелеп зарядтайды. Ал периодтың екінші жартысында конденсатор астарларындағы зарядтың таңбасы өзгеріп, конденсатор кернеу көзі арқылы разрядталады. Басқаша айтқанда, тербеліс периодының бірінші жартысында энергия контурға берілсе, екінші жартысында кернеу көзіне қайта беріледі. Өрине, 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* (клапан) қажет (3.2-сурет).

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?



1. Сыртқы мәжбүр етуші күштің әсерінен тіпті тербелмелі жүйе болып табылмайтын денелердің өзі де еріксіз тербеліске түсуі мүмкін. 3.4, а, ә, б, в-суреттерге қарап, қандай еріксіз тербелістер болып жатқаны туралы айтып беріңдер. Әрбір жағдайдағы мәжбүр етуші күшті атаңдар. Еріксіз тербелістерге тағы бірнеше мысалдар келтіріңдер.
2. Мұғалімнің нұсқауымен бірнеше топқа бірігіңдер. Электромагниттік толқындардың тірі ағзаларға әсері туралы мағлұматтар жинаңдар. Презентация дайындап, оны талқылаңдар.



а)



ә)



б)



в)

3.4-сурет

§ 4. Механикалық және электромагниттік тербелістер арасындағы ұқсастықтар



Тірек ұғымдар:

- ✓ ұқсастық
- ✓ 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 ұқсастықтармен танысасыңдар.

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

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


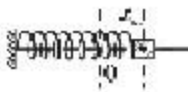
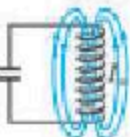
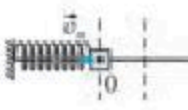
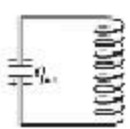
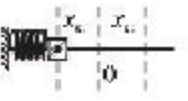
ең аз потенциалдық энергиямен сипатталатын деформацияланбаған күйі ($x = 0$) сөйкес келеді. Бұл жағдайда серіппелі маятниктің толық энергиясы оның кинетикалық энергиясына тең:

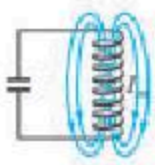

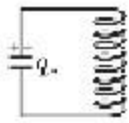

$$E = E_k = \frac{mv_m^2}{2}.$$

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 $W_s = \frac{q^2}{2C} = 0$ нөлге 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 аналогиясы 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 (4.1, а-сурет). Екі формуланың жазылу түрі бірдей: механикалық тербелістердегі серіппенің қатаңдығы k -ның орнында электромагниттік тербелістерде $\frac{1}{C}$ коэффициенті тұр, ал x_m координатасы 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	
1	2		3	
4.1, а		$t = 0$ $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_x = 0$		$t = 0$ $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$ $E_k = 0$
4.1, ә		$t = \frac{1}{4} T$ $W_s = 0$ $W_x = \frac{Li_m^2}{2}$		$t = \frac{1}{4} T$ $E_p = 0$ $E_k = \frac{mv_m^2}{2}$
4.1, б		$t = \frac{1}{2} T$ $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_x = 0$		$t = \frac{1}{2} T$ $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$ $E_k = 0$

1	2	3
4.1, а	 $t = \frac{3}{4} T$ $W_s = 0$ $W_m = \frac{Li_m^2}{2}$	 $t = \frac{3}{4} T$ $E_p = 0$ $E_k = \frac{kx_m^2}{2}$
4.1, б	 $t = T$ $W_s = \frac{q_m^2}{2C}$ $W_m = 0$	 $t = T$ $E_p = \frac{kx_m^2}{2}$ $E_k = 0$

4.1-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 әрі 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 $q = 0$ да, катушкадағы ток күші $i = i_m$ максимал мәніне жетеді (4.1, 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 $W_s = 0$, 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 (4.1, 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 (4.1, в-сурет). Ақырында, $i = T$ болғанда екі жүйе де бастапқы күйлеріне қайта оралады (4.1, 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 ұқсастықтарды айқындаудың тербелмелі процестерді тереңірек түсінуге көмегін тигізуімен қатар практикалық маңызы да бар. Механикалық және электрлік шамалар арасындағы ұқсастықтарды 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 (4.1-кесте).

4.1-кесте

Тербелістердің сипаттамалары

Механикалық тербелістер	Электромагниттік тербелістер
1	2
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
Серіппенің қатаңдығы k	Электр сыйымдылықтың кері шамасы $\frac{1}{C}$
Күш F	Кернеу U

1	2
Деформацияланған серіппенің потенциалдық энергиясы $E_p = \frac{kx^2}{2}$	Конденсатордың электр өрісінің энергиясы $W_c = \frac{q^2}{2C}$
Жүктің кинетикалық энергиясы $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Катушканың магнит өрісінің энергиясы $W_m = \frac{Li^2}{2}$



1. Серіппелі маятникте қатаңдық коэффициенті k -ның 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 ұқсастық белгілерін 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 ұқсастық белгілерін екі серіппелі маятниктен тұратын тербелмелі жүйені сызыңдар.



Осы параграфтың мәтініне сүйене отырып, математикалық маятниктің тербелістері мен тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістердің ұқсастықтарын қарастырыңдар. 4.1-кестенің үлгісі бойынша осы тербелістердің ұқсас сипаттамаларын кестеге толтырыңдар.

2-тараудың ең маңыздысы

Электромагниттік тербелістер деп электр және магнит өрістерінің энергияларының бір-біріне айналып, түрленуімен қатар жүретін электр зарядының, ток күшінің және кернеудің периодты түрде өзгеру процестерін айтады.

Тербелмелі контурдағы зарядтың гармоникалық тербелістерінің теңдеуі: $q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

Идеал тербелмелі контурдағы еркін электромагнитті тербелістердің периоды:

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

Механикалық және электромагниттік тербелістердің арасында ұқсастықтар 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 *автотербелістер* деп аталады.

3-тарау. АЙНЫМАЛЫ ТОК

§ 5. Айнымалы ток генераторы



Тірек ұғымдар:

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



Бүгінгі сабақта:

- айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципімен және құрылысымен таныса-сындар.

Ток генераторы деп механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын қондырғыны айтады.

Қазіргі кезде ең кең таралған генераторлар — айнымалы токтың электромагниттік индукциялық генераторлары (5.1-сурет).

Айнымалы ток генераторларының артықшылығы — олардың құрылысы қарапайым және жеткілікті түрде жоғары кернеу мен үлкен токтарды алуға мүмкіндігі бар. Электромеханикалық индукциялық генераторларда механикалық энергия электр энергиясына айналады.



5.1-сурет. ГЭС-те орнатылатын генераторлар

Мұны білесіңдер

Тұйық өткізгіш контурды тесіп өтетін магнит ағыны өзгергенде контурда электр тогының пайда болу құбылысы *электромагниттік индукция* деп аталады.

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

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

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

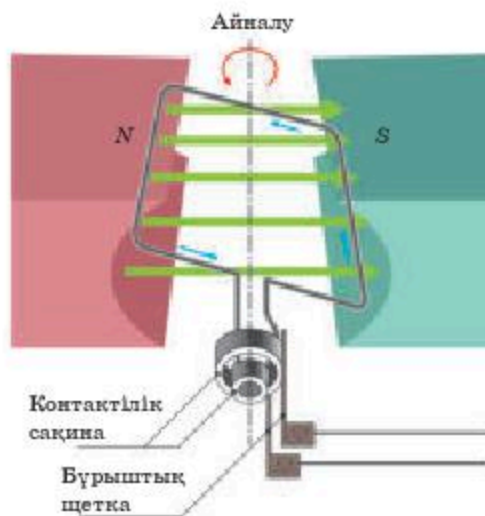
$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Магнит индукциясы \vec{B} біртекті магнит өрісінде ауданы S сымнан жасалған рама тұрақты ω бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрсын (5.2-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,

$$\mathcal{E}_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(- \frac{\Delta(BS\cos\omega t)}{\Delta t} \right) = - (BS\omega\sin\omega t) = BS\omega\sin\omega t.$$



5.2-сурет. Айнымалы ток генераторының принциптік сұлбасы

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

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin\omega t. \quad (5.1)$$

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, құрылғыны сыртқы тізбекпен жалғайды, нәтижесінде сыртқы тізбекке ток беріледі (5.2-сурет). Осы кезде сыртқы тізбекке (жүктемеге) түсетін айнымалы кернеудің өзгеріс заңы мынадай болады:

$$u = U_m \sin\omega t \text{ немесе } u = U_m \cos\omega t. \quad (5.2)$$

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 ертүрлі 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.

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 арнаулы магниттік жүйе қолданылады. Ол электротехникалық болаттан жасалған екі өзекшеден тұрады. Екі өзекшенің бірінің қуыстарында магнит өрісін тудыратын орамалар (электромагнит), ал екінші өзекшенің қуыстарында ЭҚК индукцияланатын орама (якорь) орналасады. Бір өзекше (өдетте, ішкісі) өзінің орамдарымен бірге горизонталь не вертикаль осьтен айналады, ол *ротор* деп аталады. Екінші қозғалмайтын өзекше *статор* деп аталады. Өндірістік генераторларда электромагнит айналады, яғни ол ротор болып табылады (5.3, а-сурет), ал якорь қозғалмайды (статор). Электромагнитті қоректендіретін ток күші якорьде пайда болатын индукциялық ток күшінен анағұрлым аз болғандықтан, осындай

құрылым ыңғайлы. Себебі қуаты жоғары тоқты қозғалмай тұрған орамадан шығарып алу жеңілiрек. Индукторға әлсiз ток сақиналар арқылы берiледi, ол ток тұрақты токтың жеке генераторында өндiрiледi. Генератор өндiретiн ток статордың орамасынан қозғалмайтын шиналар арқылы электр энергиясының желiсiне берiледi.

Бiз қарастырып өткен генератор *бiр фазалы* деп аталады. Бiрфазалы генераторлар пайдалануға үнемсiз, сондықтан, әдетте, *үш фазалы* генераторлар қолданылады.

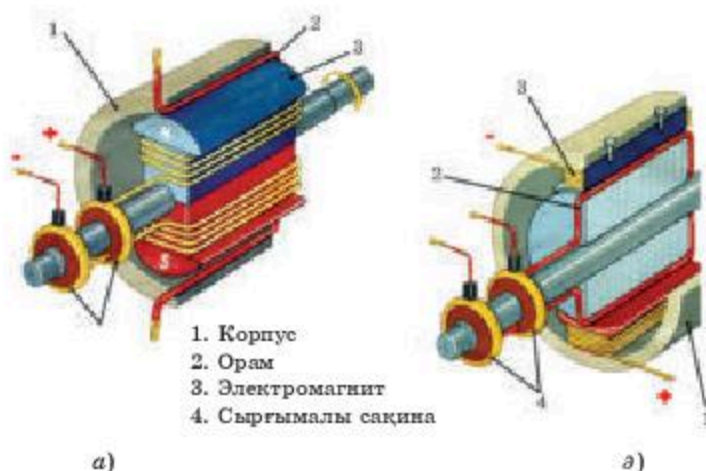
Заманауи су электр стансыларында биiктен құлаған су электр генераторының өзегiн секундына 1-2 айналым жиiлiкпен айналдырады. Егер генератордың якорында тек бiр орама болса, ол жиiлiгi (1-2) Гц айнымалы ток өндiрер едi. Ал бiзге қажеттi өндiрiстiк токтың жиiлiгi 50 Гц болуы тиiс, сондықтан ток жиiлiгiн қажеттi мәнге дейiн арттыру үшiн генератордың якорына (роторына) бiрнеше орама орнатылады. Мұндай генератор беретiн айнымалы токтың жиiлiгi,

$$\nu = n \cdot f, \quad (5.3)$$

мұнда n — полюстер жұбының саны, f — ротордың айналу жиiлiгi.

Бу турбиналарының роторы өте тез айналады, сондықтан олардың якорында тек бiр орама болады. Бұл жағдайда ротордың айналу жиiлiгi мен өндiрiлетiн токтың жиiлiгi бiрдей, яғни ротордың айналу жиiлiгi 50 айн/с болуы тиiс.

Индукциялық ЭҚК амплитудалық мәнiн арттыру үшiн якорьдың орамасын тесiп өтiп жатқан магнит өрiсiнiң индукциясын немесе оның орамасындағы орам санын арттыру керек. Магнит өрiсiнiң \vec{B} индук-



5.3-сурет. Айнымалы ток генераторының үлгiсi

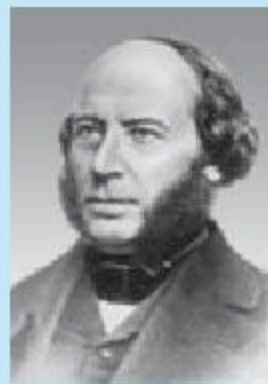
циясын арттыру үшін индуктордың орамасын болат өзекшеге орналастырады және якорь мен индуктордың өзекшелерінің арасындағы қуысты неғұрлым аз етіп жасайды.

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

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Электромагниттік индукция құбылысының негізінде айнымалы ток алу мүмкіндігін алғаш рет Майкл Фарадей түсіндіріп берді. Фарадей ұсынған принципке құрылған алғашқы айнымалы ток генераторын 1832 жылы француз өнертапқыш ғалымы Ипполит Пикси жасады. Бұл генераторда таға тәрізді магнит рычагты айналдыру арқылы айналмалы қозғалысқа түсетін. Магниттің полюстарының арасына темір өзекшесі бар екі қозғалмайтын индуктивтік катушка орналастырылды.

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



Ипполит Пикси
(1808—1835)

Қазіргі таңда айнымалы ток генераторының көптеген түрлері жасалып, қолданыста жүр. Олар электр энергиясын өндіру мақсатында қуатты электр стансыларында, сондай ақ тұрақты электр жүйелерінен алыс орналасқан жекеменшік үйлер мен саяжайларда, кейбір алыс ауылдарда (5.4, а-сурет) электр энергиясының автономды көзі болып табылады. Сонымен қатар генераторлар әртүрлі көліктердің: автомобильдердің (5.4, ә-сурет), электрлік берілуден жұмыс істейтін тепловоздардың, теңіз кемелерінің (5.4, б-сурет) электрлік жүйелерін қоректендіру үшін кеңінен пайдаланылады.



а)



ә)



б)

5.4-сурет. Айнымалы ток генераторлары

Автономды генераторлар өндіріс пен халық шаруашылығының кез келген саласында, құрылыс пен өндірістік мекемелерде, жөндеу жұмыстарын жүргізуде қолданылып жүр. Реанимациялық және хирургиялық бөлімдері бар емханаларда негізгі электрмен қамтамасыз ету жүйелеріне қоса апаттық жағдайларда автономды генераторлар қолданылады, мұның адам өмірі үшін қаншалықты маңызды екені өзінен өзі 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-нің 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. Көп полюсті айнымалы ток генераторының қандай артықшылықтары бар?
7. Индукциялық токты сыртқы тізбекке қалай шығаруға болатынын түсіндіріңдер.



Осы параграфтың мәтінінде қолданылған ақпараттың көмегімен, төменде келтірілген кестені дәптерге толтырыңдар. Кестедегі дұрыс тұжырымды "+" таңбасымен белгілеңдер.

Тұжырым	Дұрыс	Дұрыс емес	Ақпарат жоқ
1	2	3	4
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			

1	2	3	4
Кез келген генератордың якоры айналып тұрады			
Егер генератордың якорында бір ғана орама болса, ол бір фазалық деп аталады			
Өндірілетін айнымалы токтың жиілігін арттыру үшін генератордың якорына бірнеше орама орналастырылады			
Өрбіреуінде фазасы қалғандарынан 120° ығысқан ЭҚК индукцияланатын үш бірдей генератордан тұратын қондырғы үш фазалық 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 жазып, оның амплитудалық мәнін анықтаңдар. Айналу осі магнит өрісіне перпендикуляр бағытталған.

Берілгені:

$$B = 0,5 \text{ Тл}$$

$$T = 0,1 \text{ с}$$

$$N = 200$$

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$\mathcal{E}(t) \text{ — ? } \mathcal{E}_m \text{ — ?}$$

Шешуі. Раманың әрбір орамында индукцияланатын ЭҚК:

$$\mathcal{E} = -\Phi' = \mathcal{E}_{mo} \sin \omega t, \text{ мұнда } \mathcal{E}_{mo} = BS\omega.$$

Олай болса, N орамда индукцияланатын ЭҚК-і:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} N = N\mathcal{E}_m \sin \omega t.$$

ЭҚК-нің амплитудалық мәні:

$$\mathcal{E}_m = N\mathcal{E}_{mo} = NBS\omega = NBS \frac{2\pi}{T}.$$

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

ЭҚК-нің тербеліс теңдеуі: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \left(\frac{2\pi}{T} \right) \cdot t$

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

Жауабы: $\mathcal{E} = 62,8 \sin 62,8 t$; $\mathcal{E}_m = 62,8 \text{ В}.$



3-жаттығу

1. Ауданы $S = 300 \text{ см}^2$ сым рама индукциясы $B = 0,5 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде индукция сызықтарына перпендикуляр осьтен $\nu = 50 \text{ айн/с}$ 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 $\omega = 100 \text{ рад/с}$ бұрыштық жылдамдықпен бірқалыпты айналады. Айналу осі индукция сызықтарына перпендикуляр және раманың ортасынан өтеді. Тербеліс периоды мен ЭҚК-інің амплитудалық мәнін есептендер.

Жауабы: 0,06 с, 19,2 мВ.

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

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

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

Жауабы: 100.

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

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

- *6. Радиусы $r = 10 \text{ см}$ 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.

§ 6. Еріксіз электромагниттік тербелістер.

Айнымалы ток



Тірек ұғымдар:

- ✓ еріксіз электромагниттік тербелістер
- ✓ айнымалы ток
- ✓ айнымалы токтың жиілігі
- ✓ ток күші мен кернеудің максимал мәндері
- ✓ ток күшінің әсерлік мәні
- ✓ айнымалы ток тізбегіндегі кернеудің әсерлік мәні



Бүгінгі сабақта:

- айнымалы токтың негізгі сипаттамаларымен танысасыңдар.

Мұны білесіңдер

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

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 құрылыстар 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 периоды түрде өзгеріп отырады. *Уақыт өткен сайын шамасы да, бағыты да периоды 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:

$$i = \frac{u}{R}.$$

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 болсын:

$$u = U_m \cos \omega t, \quad (6.1)$$

мұндағы 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: $I_m = \frac{U_m}{R}$, бұл — ток күшінің максимал (амплитудалық) мәні.

Онда:

$$i = I_m \cos \omega t. \quad (6.2)$$

(6.1) пен (6.2) 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 ертүрлі.

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 кернеу мен ток күшінің максимал және лездік мөндерімен қоса периодпен және жиілікпен сипатталады.

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

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

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

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

Біздің үйлерімізді 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 жарықтығы 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 жарықты 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 мөндері үшін тұрақты токтың заңдары орындалатындықтан, айнымалы токтың лездік қуатын өзімізге белгілі $p = i^2 R$ формуласынан анықтайық. Ток күшінің орнына (6.2) өрнегін

қоямыз: $p = I_m^2 R \cos^2 \omega t$ және $\cos^2 \omega t = \frac{1 + \cos 2\omega t}{2}$ тригонометриялық қаты-

насты 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 $\cos 2\omega t$ -ның орташа мәні нөлге тең, яғни орташа қуат жоғарыдағы өрнектің бірінші қосылғышымен анықталады:

$$P = \frac{I_m^2 R}{2}. \quad (6.3)$$

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 (6.3) пен салыстыра отырып: $\frac{I_m^2 R}{2} = I_0^2 R$, олай болса:

$$I_0 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (6.4)$$

Айнымалы ток күшінің әсерлік мәні (I_0) — 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 ұқсас

$$U_0 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (6.5)$$

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 токтың негізгі сипаттамаларының анықтамаларын беріңдер.
3. Кернеу мен ток күшінің әсерлік мәндері қалай анықталады?
4. Өндірістік токтың жиілігі қандай?
5. Біз қолданып жүрген электр құралдары 220 В кернеумен жұмыс істейді. Бұл жерде кернеудің қандай мәні туралы айтылған?
- *6. Айнымалы ток пен тұрақты токты салыстырыңдар. Олардың ұқсастықтары мен айырмашылықтарын атап көрсетіңдер.

Есеп шығару мысалы

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



4-жаттығу

1. Айнымалы ток тізбегіндегі кернеудің амплитудалық мәні $U_m = 10$ В. Кернеудің $t = \frac{T}{6}$ уақыт мезетіндегі лездік мәнін анықтаңдар.

Жауабы: 5 В.

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

Жауабы: $i = 0,55\cos 100\pi t$; 0.

3. 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.

Жауабы: $i = 2 \cos 200\pi t$ (А).

- *4. Ток күшінің әсерлік мәні $I = 0,1$ А. Ток күшінің $t = \frac{3T}{2}$ уақыт мезетіндегі лездік мәнін есептеңдер.

Жауабы: $-0,141$ А.

- *5. Қуаты $p = 1$ кВт жылытқыш құрал $U = 220$ В кернеумен қоректенеді. Құралдан өтетін ток күшінің әсерлік және амплитудалық мәндері қандай?

Жауабы: 4,54 А; 6,4 А.

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

Жауабы: 6,03 А; 0,325 рад; 100 Гц.

- *7. 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.

Жауабы: 8,2 В.

§7. Электр тізбегіндегі кернеулер резонансы



Тірек ұғымдар:

- ✓ контурдың меншікті жиілігі
- ✓ сыртқы периодты 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 периодты мәжбүр етуші күштің жиілігімен дәл келгенде еріксіз тербелістердің амплитудасының күрт өсу құбылысы *резонанс* деп аталады.

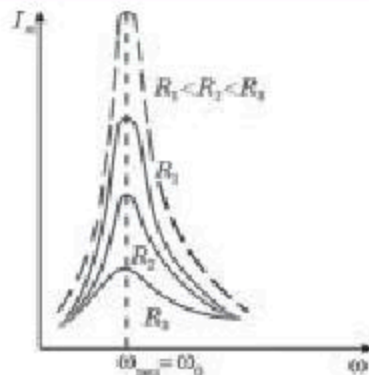
Резонанс механикалық тербелістерге де, электромагниттік тербелістерге де тән құбылыс. Айнымалы ток еріксіз электромагниттік тербелістерге жатады, сондықтан белгілі бір шарттар орындалған кезде активті және реактивті кедергілері бар айнымалы ток тізбегінде резонанс байқалады. *Өзара тізбектей жалғанған 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 индуктивтіктегі кернеулердің айнымалы ток тізбегінің қысқаштарына түсірілген $u = U_m \cos \omega t$ кернеуден анағұрлым артық болатыны. Демек, кернеулер резонансы реактивті жүктемелердегі 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.

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 контурдың меншікті жиілігіне тең болу керек.

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

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

Соңғы екі өрнекті салыстыра отырып, мынадай қорытындыға келеміз: *сыртқы периодты кернеудің жиілігі контурдың меншікті жиілігіне тең болған кезде $\omega_{рез} = \omega_0$ электр тізбегінде резонанс байқалады* (7.1-сурет). Активті кедергі неғұрлым аз болса, токтың амплитудасы соғұрлым жоғары болады. 7.1-суретте активті кедергілер $R_1 < R_2 < R_3$. Егер тізбектің активті кедергісі $R \rightarrow 0$ шексіз аз болса, ток амплитудасы шексіз артады $I_m \rightarrow \infty$.



7.1-сурет. Айнымалы ток үшін тізбектелген контурдағы резонанстық қисықтар

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:

$$U_{L_{рез}} = U_{C_{рез}}$$

Кернеудің өрнегіне $\omega = \omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ резонанстық жиілікті қояйық:

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

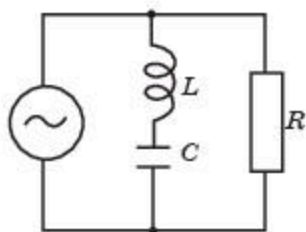
Сонымен, $U_{L_{рез}} = U_{C_{рез}} = I_m X_{C_{рез}} = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

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. 7.1-суреттен көрініп тұрғандай, R -дің 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,



7.2-сурет. Радиоқабылдағыш



7.3-сурет. Электрлік фильтр

мысалы радиоқабылдағыштарда (7.2-сурет), көптеген сигналдардың ішінен нақты бір жиіліктегі тербелістерді бөліп алып, керекті радиотолқынды ұстауға мүмкіндік береді. Кез келген радиоқабылдағыштың кіру тізбегі меншікті жиілігін өзгертуге болатын тербелмелі контурдан тұрады. Оның резонанстық жиілігін конденсатордың сыйымдылығын өзгерту арқылы қажетті радиостансының жиілігімен дәл келетіндей өзгертуге болады.

Кернеулер резонансы *электр фильтрлерінде* кеңінен қолданылады. Егер берілетін сигналдың құрамынан қандай да бір жиіліктегі құраушыны шығарып тастау керек болса, қабылдағышқа параллель өзара тізбектей жалғанған конденсатор мен индуктивтік катушканы қосады. Онда резонанстық ток осы *LC*-тізбекпен тұйықталып, қабылдағыш (жүктеме) арқылы өтпейді. Ал сигналдың жиілігі резонанстық жиілікке сәйкес келмейтін бөлігі қабылдағыш арқылы өтеді (7.3-сурет).

Жалпы электротехникада резонанс құбылысының зиянды әсерлері де көп. Резонанстың себебінен кейде құрылғыларға 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, индуктивтік және сыйымдылық кедергілеріндегі кернеулер неге тең?
4. Кернеулер резонансын қай жерлерде қолданады? Кернеулер резонансына тән белгілерді сипаттап беріңдер.



5-жаттығу

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

Жауабы: ≈ 50 Гц.

2. Индуктивтігі $L = 10^{-6}$ 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. Конденсатор 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 жиілігі қандай?

Жауабы: 15 мкФ.

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



Тірек ұғымдар:

- ✓ электр стансылары
- ✓ жылу электр стансылары
- ✓ су электр стансылары
- ✓ электр жеткізу желілері
- ✓ 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. Энергияның барлық басқа түрлерімен салыстырғанда электр энергиясының артықшылықтары көп екені 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 электромагниттік индукциялық генераторлар электромагниттік индукция құбылысының негізінде жұмыс істейді.

Электр энергиясы айнымалы токтың индукциялық генераторларының көмегімен өртүрлі электрстансыларында өндіріледі. Электр стансылары көмір мен мұнай қорларының жанында (жылу электр стансылары) немесе өзен-көл суларының бойында (су электр стансылары) тұрғызылады. Жылу электр стансыларында 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 электр стансыларында судың механикалық энергиясы электр энергиясына түрленеді. Өзенді бөгеп, тоғанмен суды биікке көтереді. Биіктен гидравликалық турбинаның қалақшаларына құлаған су ағыны оны генератордың роторымен қоса айналдырады.

Қазіргі кезде дүниежүзінде өндірілетін электр энергиясының біраз бөлігі атом электр стансыларында өндіріледі. Мұнда ауыр ядролардың тізбекті реакциясы кезінде бөлінген атомның ішкі энергиясы электр энергиясына түрленеді. Тізбекті реакция *ядролық реакторларда* жүреді.

Электр стансыларының отын немесе су қорларының жанында орналасуынан электр энергиясын тұтынушыға дейін жеткізу мәселесі туындайды. Тұтынушылар әдетте электр стансыларынан алыста орналасады. Джоуль—Ленц заңы бойынша сымдардың бойында бөлінетін жылу энергиясы $Q = I^2 R t$, мұнда $R = \rho \frac{l}{S}$ — жеткізу желісінің кедергісі жеткізу сымдарының l ұзындығымен анықталады. Тұтынушыға дейінгі арақашықтық артқан сайын шығын да арта түседі. Оны қалай азайтуға болады?

Негізінен мұның екі жолы бар:

1. Электр желісінің 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 токты трансформациялауға келіп тіреледі.

Генератордың өндіретін кернеуі U_0 , ал жүктеме тұтынытын кернеу U болсын. Онда $U_0 = U + Z$, мұнда Z — желінің толық кедергісі. Әдетте, желінің активті кедергісі реактивті кедергісінен өлдеқайда артық болады, сондықтан: $Z \approx R$. Олай болса: $U_0 - U = IR$.

Онда желідегі энергия шығынын былай есептеуге болады:

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

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

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

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

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

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

$$\Delta P = I^2 R = \frac{P^2 \cdot 2R}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{2 \rho l P^2}{U^2 S^2 \cos^2 \varphi}, \quad (8.1)$$

мұндағы S — сымның көлденең қимасының ауданы, l — сымның 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 электр стансыларында жоғарылатқыш трансформаторлар қойылады. Әдетте, кернеу бірнеше саты жоғарылатылып барып, электр желісіне беріледі. Желінің аяғында төмендеткіш трансформаторларды қолданып, кернеу бірнеше саты төмендетіледі де, бұдан соң тұтынушыға беріледі. Біздің елде 220 В кернеу кеңінен қолданылады.

Трансформаторлар. 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.

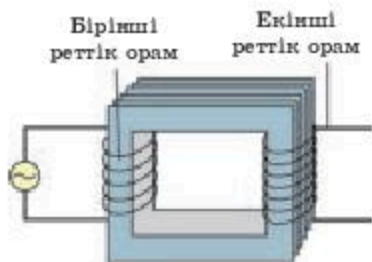
Қуаттың тұрақты дерлік мәнінде айнымалы токтың кернеуін ток күшімен қатар өзгертуді айнымалы токтың трансформациясы дейді.

Айнымалы токтың трансформациясын жүзеге асыратын құрал трансформатор деп аталады. Ол электромагниттік индукция құбылысының негізінде жұмыс істейді (8.1-сурет).

Бұл құралды орыс ғалымы П. Н. Яблочков 1876 жылдың 30 қарашасында ойлап тапқан, осы күні ол өзекшесі ашық трансформаторға патент алды. Бұл — металл



8.1-сурет



8.2-сурет

өзекшеге оралған сымнан тұратын қарапайым құрал еді. Содан 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 (8.2-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 \mathcal{E} — бір орамдағы индукциялық ЭҚК. Осы екі өрнектен:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (8.2)$$

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 (8.2) теңдеудегі олардың қатынасын осы ЭҚК-тердің \mathcal{E}_1 және \mathcal{E}_2 өсерлік мәндерімен алмастыруға болады:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (8.3)$$

Бірінші орамдағы орам санының екінші орамдағы орам санына қатынасына тең шама *трансформация коэффициенті* деп аталады

$$k = \frac{n_1}{n_2}. \quad (8.4)$$

Кернеу бірнеше есе жоғарылағанда 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 әлдеқайда аз болар еді. Себебі қайта магниттелуге энергия шығыны жоқ. Бірақ тұрақты токты трансформациялауға болмайды,

себебі трансформатор электромагниттік индукцияның негізінде жұмыс істейді ғой. 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 мәнге 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 қондырғылырын өндіруші болып табылады. Мұнда алғашқы ТМ-180/10 трансформаторы 1960 жылы шілденің 10 күні шығарылған болатын.



Кентау 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 трансформаторларды; әртүрлі комплектілік трансформатор подстансыларын, 10,20 кВ-қа есептелген КСО, КРУ, КРУН сериясының тарату қондырғыларын; түрлі мақсаттарда қолданылатын блокты-модульді ғимараттарды; төменгі вольтті қондырғыларды атап өтуге болады.

Алматы электромеханикалық зауытында жоғары вольтті және төменгі вольтті қондырғылар, комплектілік трансформатор подстансылары 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 6 кВт — 500 кВт-қа дейінгі трансформаторлардың барлық түрімен қамтамасыз етіп отыр. Осының нәтижесінде Қазақстан нарығының қажеттіліктері 90% қамтамасыз етіледі және жергілікті өнімдердің үлесі 65—70% деп күтілуде.

Дәстүрлі энергия көздері ретінде органикалық отын, яғни көмір, мұнай, газ пайдаланылатыны белгілі. Бірақ табиғатта олардың қоры шектеулі; ерте ме, кеш пе, ол таусылады. Сонымен қатар органикалық отынның жану процесінде қоршаған ортаның ластануы заманауи қоғамның глобалды 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 де, 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 сәулесінің интенсивтігі қондырғы тұрған жердің климатына, тәуліктік және маусымдық ритмге тәуелді. Дербес күн электр стансыларын салу үшін өте үлкен жер телімдері қажет. Күн батареяларының жұмыс істеу барысында олардың астындағы жер қызады, 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!



Елімізде балама энергия көздерін дамыту проблемасына арналған "ЭКСПО" халықаралық көрмесі 2017 жылы 10 маусымнан 10 қыркүйекке дейінгі аралықта өтті.

Көрменің тақырыбы "Болашақтың энергиясы". Ол 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 ұйымнан қатысушылар болды. Көрмеге қатысқан 4 млн-ға жуық адамның 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 сұлбасын сызыңдар.*
5. *Су электр стансыларының жылу немесе атом электр стансыларымен салыстырғанда қандай артықшылықтары мен кемшіліктері бар?*
6. *Трансформатор қандай мақсаттарда қолданылады?*
7. *Трансформатордың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.*
8. *Трансформация коэффициенті деп нені айтамыз?*
9. *Трансформатордың өзекшесін неге оқшауланған пластиналардан жасайды?*



Елімізде өткен “ЭКСПО-2017” халықаралық көрмесі туралы мәліметтер жинап, презентация дайындаңдар. Өздерің бұл көрмеге бардыңдар ма? Көрмеден алған әсерлерің туралы әңгімелеп беріңдер.

§9. Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану



Тірек ұғымдар:

- ✓ энергияны тұтыну
- ✓ энергия ресурстары
- ✓ электр стансыларының 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 электр стансыларының негізгі түрлерін қарастырайық:

1. **ГРЭС** — бұл атау тарихи тұрғыда “Государственная районная электростанция” деген сөздердің бас өріптерінен құралған. Қазіргі кезде бұл атау аудандық электр стансысы мағынасына сәйкес келмейді. Заманауи ГРЭС — бұл қуатты конденсациялық жылу электр стансысы (КЭС) және олар еліміздің біріккен энергия жүйесінің құрамына кіреді. ГРЭС-тер қатты сығылған және шамамен 540°C қыздырылған 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 электр стансыларында электр энергиясын өндірумен қатар, қалған бу мен ыстық судың жылулық энергиясы тұрғын үйлер мен ғимараттарды жылытуға, ыстық сумен қамтуға жұмсалады.

3. **ГЭС** — су электр стансылары, мұнда энергия көзі ретінде жоғары көтерілген су массиві қолданылады. Ол үшін ыңғайлы өзендердің бойында плотиналар мен су қоймалары салынады. Жоғарыдан құлаған

су гидротурбинаның қалақшаларына соғылып, оның роторын айналдырады да, генераторды іске қосады. Сонымен, ГЭС-терде судың потенциалдық энергиясы электр энергиясына айналады. Қазіргі кезде Қазақстанда электр энергиясы өртүрлі типтегі 128 электр стансыларында өндіреді. 2018 жылдың бірінші қаңтарына сәйкес мәлімет бойынша олардың жалпы қуаты 21 672,9 МВт, пайдаланатын мөлшері 18 791,4 МВт. Электр стансыларының 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%.

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

Ұлттық маңыздағы электр стансыларына көтерме нарықтағы электр энергиясын өндіретін және оны тұтынушыларға сатуды қамтамасыз ететін ірі жылу электр стансылары жатады. Олардың ішінен



9.1-сурет. Екібастұз ГРЭС-1



9.2-сурет. Шүлбі ГЭС-1



9.3-сурет. Өскемен ГЭС-1

Екібастұз ГРЭС-1 (9.1-сурет); Екібастұз ГРЭС-2; “Қазақмыс корпорациясының” ГРЭС-і; Тараз ГРЭС-і және т.б. атауға болады, сол сияқты жоғары қуатты Бұқтырма, Шүлбі (9.2-сурет), Өскемен ГЭС-тері (9.3-сурет) де осындай дәрежеде саналады.

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

Аймақтық электр стансылары 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 қосымша стансылардың (подстансалар), тарату-

шы 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 Батыс пен 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 электр стансыларынан 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 электр стансысы 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 көлемі 2,5 квадрат километрге тең бүтіндей бір ауданын электрмен қамтамасыз етіп тұрды.

Бүгінгі күннің тұрғысынан алғанда алғашқы электр стансылары 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 электр стансыларын қалалардың орталығына салуға мәжбүр ететін. Ал қаланың ортасына жаңа құрылыс салу қазірге дейін көптеген қиындықтар тудыратыны түсінікті. Қала ортасындағы жер телімдерінің аздығы және қымбатшылығы, отын жеткізу мен қалдықтарды шығару қиыншылықтары алғашқы электр стансыларын көп этажды етіп салуға (мысалы, АҚШ-та) немесе тіпті оларды баржаларға орналастыруға (мысалы, Санкт-Петербуртта) мәжбүр етті.

Соңғы жылдары, басқа елдердегідей, Қазақстанда да электр энергиясының жаңартылатын көздерін пайдалану қарқынды дамып келеді. Осы мақсатта жел және күн электр стансылары салынуда.

2015 жылдың тамыз айында Қазақстанда алғашқы өндірістік типтегі қуаты 0,05 МВт жел электр стансысы (ЖЭС) пайдалануға берілген болатын. Ол Ақмола облысында Ерейментау қаласының маңында орналасқан (9.4-сурет).



9.4-сурет. Ерейментау жел электр стансысы



9.5-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 МВ · А екі трансформаторы бар 110/10 кВ жоғары вольтты қосалқы стансы “ЖЭС Қордай” 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.

Күн энергиясы. 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.

Біздің еліміздегі алғашқы күн электр стансыларының (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 (9.5-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) қалаларында күн электр стансылары салынып жатыр. Сонымен, бұл

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 көмір қышқыл газын шығармай өндіреді. Өндірілген электр энергиясы толығымен Қазақстанның ұлттық электр желісіне беріледі. Ерейментау жел электрстансысының өндірген энергиясы Халықаралық “ЭКСПО-2017” көрмесін электр энергиясымен қамтамасыз еткенін айта кеткен жөн.

Жел энергетикасына қомақты үлес қосатын нысандардың бірі —

еңірде 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 (IEA), Energy Information Administration (ХЭА) 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 болашақта электр энергиясын тұтыну әлем бойынша 40—50% пайызға өседі.

Осындай халықаралық мекемелердің есептеулері бойынша, бүгінгі күні барлық өндірілетін электр энергиясының 37% өндірістік мекемелердің үлесіне келеді, 20% транспортқа жұмсалады. Тұрғын үйлер мен түрлі ғимараттарды жылытуға және жарықтандыруға 11%, коммерциялық қажеттіліктерге 5% электр энергиясы кетеді. Дүниежүзі бойынша тұтынатын электр энергиясының қалған 27% оны өндіру және тұтынушыға дейін жеткізу кезінде шығын болады. Қазіргі кезде электр стансыларында негізгі энергия көзі органикалық отын болып табылады, мұның өзі қоршаған орта ластануының глобалды мәселелерін тудырып отыр. Халықаралық экология академиясының (ХЭА) мағлұматтары бойынша 2013 жылы органикалық отынды жағу нәтижесінде ауаға шығарылған көмірқышқыл газының мөлшері әлем бойынша 32 гигатоннаға 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 энергияның 60% альтернативті энергия көздерінен алынатын болады.



1. Қазіргі кезде Қазақстан жерінде жұмыс істеп тұрған электр стансыларының қандай түрлерін білесіңдер? Олардың жұмыс істеу принциптерін түсіндіріңдер.
2. Қандай электр стансылары ұлттық деңгейдегі статуска ие? Мысалдар келтіріңдер.
3. Өндірістік электр стансыларын 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 отбасымдағы электр энергиясын тұтыну” деген тақырыпта эссе жазыңдар. Ол үшін үйлеріңдегі барлық жарық беретін және басқа да тұрмыстық электр құралдарының техникалақ құжаттарынан олардың әрқайсысы қандай қуатты тұтынатынын анықтаңдар. Бұл құралдардың әрқайсысы бір тәулікте шамалап алғанда қанша уақыт жұмыс істеп тұратынын анықтаңдар. Сенің отбасың бір айда қанша электр энергиясын тұтынатынын есептеп шығарыңдар. 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 ара қатынастары кедергінің 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 алда болады, ал егер тізбекте активті кедергісі ескермеуге болатындай аз индуктивтік кедергі ғана болса, ток күшінің тербелістері кернеу тербелістерінен $\frac{\pi}{2}$ -ге артта жүреді.

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

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. ТОЛҚЫНДАР

4-тарау. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

§ 10. Электромагниттік өріс



Тірек ұғымдар:

- ✓ Максвелл теориясы
- ✓ құйынды электр және магнит өрісі
- ✓ ығысу тогы
- ✓ электромагниттік өріс

Бүгінгі сабақта:

- электромагнитті толқынды тудыратын айнымалы электромагниттік өріс және оның біртұтас 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 таралды.

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.



Джеймс Максвелл
(1831—1879)

Ал Герц осы толқындарды эксперимент жүзінде алды.

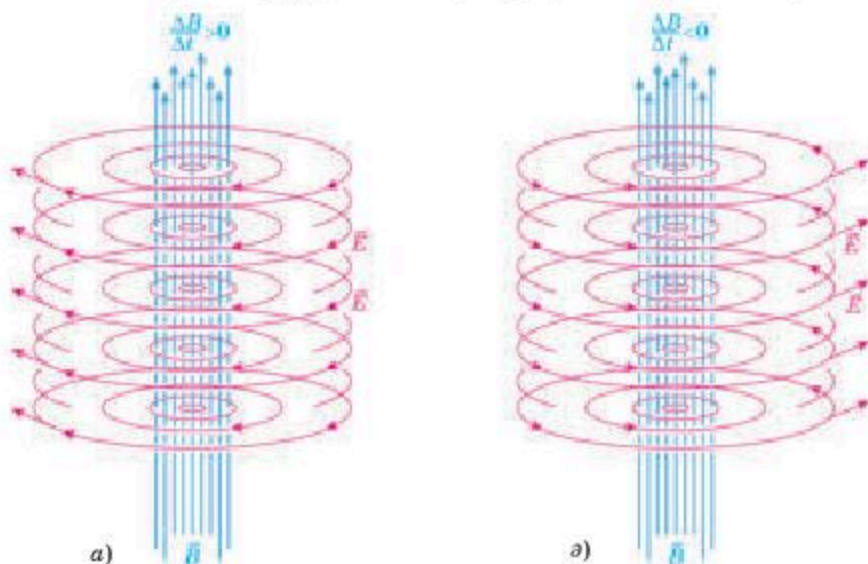
Магнит өрісі өзгергенде айнымалы электр өрісінің пайда болуы

1831 жылы Фарадей ашқан электромагниттік индукция құбылысын терең зерттей отырып, Максвелл мынадай қорытындыға келді: *магнит өрісінің өзгерісі қоршаған кеңістікте электр өрісін туғызады.*

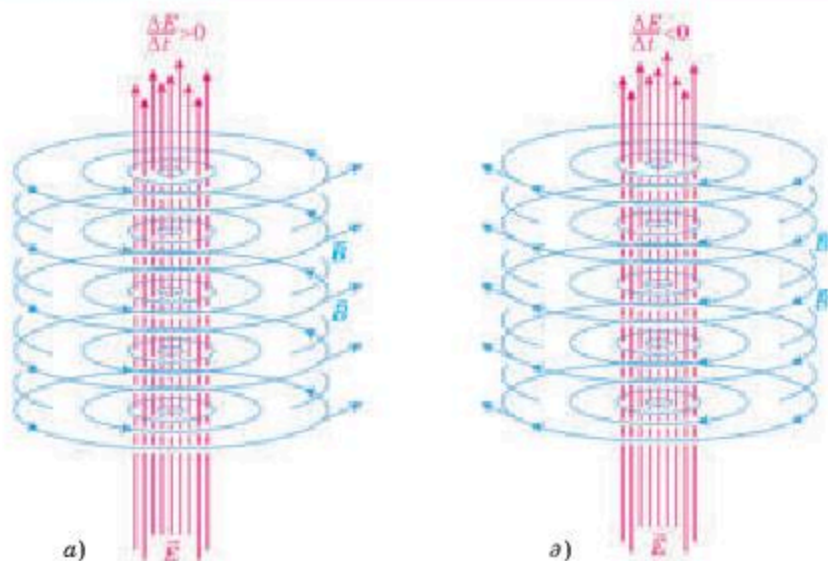
Фарадей тәжірибелеріндегі тұйықталған өткізгіште индукциялық ЭҚК-ін тудыратын осы құйынды электр өрісі екен. Бұл құбылыстың ерекшелігі сол, құйынды электр өрісі тек өткізгіште ғана емес (ол өрістің бар-жоғын көрсететін қосымша құрал), бос кеңістікте де пайда бола алады. Кеңістіктің кез келген нүктелеріндегі 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 (10.1, 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 (10.1, 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?



10.1-сурет



10.2-сурет

Электр өрісі өзгергенде айнымалы магнит өрісінің пайда болуын қарастырайық. Максвелл ғылыми көрегенділікпен мұндай процестің табиғатта бар екеніне көміл сенді. Бұл тұжырымға ол Ампер заңын жинақтап, қорытындылау мақсатында жүргізген зерттеу жұмыстарынан соң келді.

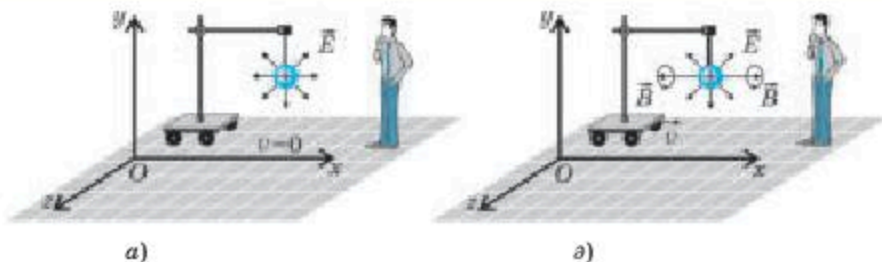
Сонымен, Максвелл болжамы: *уақыт бойынша өзгертін электр өрісі қоршаған кеңістікте айнымалы магнит өрісін тудырады.*

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 (10.2, а-сурет). Керісінше, электр өрісінің кернеулігі кемігенде $\frac{\Delta E}{\Delta t} < 0$ магнит индукциясының \vec{B} векторы \vec{E} векторымен сол бұранда жасайды (10.2, б-сурет).

Электр және магнит өрістерінің біртұтастығы мен салыстырмалылығын қарастырайық.

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



10.3-сурет

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 (10.3, а-сурет). Қозғалыстағы зарядталған шардың электр өрісі кеңістікте магнит өрісін туғызады (10.3, б-сурет).

Жалпы алғанда, айнымалы электромагниттік өрістің электр өрісінің кернеулігі мен магнит өрісі индукциясының бір-бірінен артықшылығы жоқ.

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. Максвелл теориясына кіретін негізгі физикалық шамаларды атаңдар.
5. Электромагниттік өрістің электрлік компонентінің көздерін атаңдар.
6. Электромагниттік өрістің магниттік компонентінің көздерін атаңдар.
7. “Электромагниттік өріс” ұғымын енгізуге қандай идеялар түрткі болды?
8. Бір санақ жүйесінде өзара перпендикуляр болатын электр және магнит өрісі неліктен кез келген басқа санақ жүйесінде де өзара перпендикуляр бола алады?
9. Электр өрісі бар санақ жүйесінен басқа бір санақ жүйесіне ауысқанда неге магнит өрісінің пайда болатынын және керісінше жағдайды қысқаша түсіндіріңдер.

§ 11. Электромагниттік толқындар



Тірек ұғымдар:

- ✓ электромагниттік толқын жылдамдығы
- ✓ толқын ұзындығы

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқынның таралу механизмімен танысасындар.



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:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}},$$

ал вакуумдағы таралу жылдамдығы:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (11.1)$$

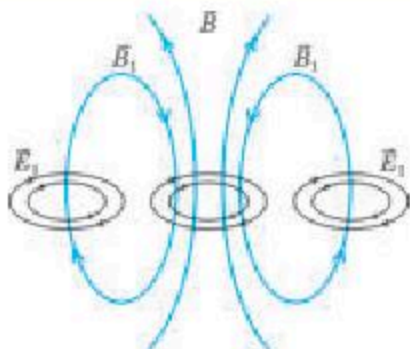
мұндағы $\varepsilon_0 \approx 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрлік және $\mu_0 \approx 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ — магниттік тұрақтылар. Бұл — электромагниттік өрістің іргелі қасиеті. Электромагниттік толқынның ортадағы таралу жылдамдығы Максвелл формуласы бойынша анықталады:

$$v = \frac{c}{n} \approx \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}, \quad (11.2)$$

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. 11.1-суретте құйынды электр және магнит өрістерінің ұйытқуының таралу процесі көрсетілген. Оны тепе-теңдік қалпында тербелетін немесе шеңбер бойымен тер-



11.1-сурет

беле қозғалатын электр заряды арқылы жүзеге асыруға болады. Кеңістіктің бір нүктесінде өте үлкен жиілікпен тербелетін электр зарядының айналасында модулі мен бағыты гармоникалық заң бойынша

$$E = E_0 \sin \omega t \quad (11.1)$$

өзгертін электр өрісінің кернеулік \vec{E} векторы пайда болады. Нақ осы мезетте модулі және бағыты да периодты түрде өзгертін магнит өрісінің

$$B = B_0 \sin \omega t$$

индукциясы \vec{B} векторы да туындайды.

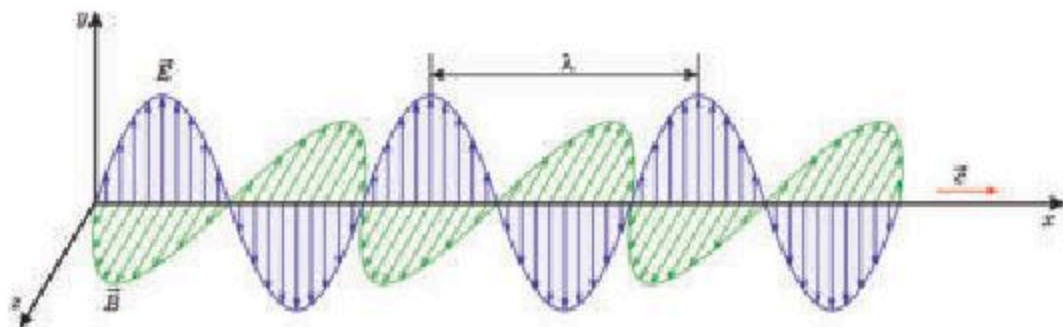
Бұл өрістің тербелістері жақын жатқан нүктелердегі электромагниттік тербелістер көзі болып табылады және оған бір-біріне перпендикуляр электр өрісінің E кернеулік векторы мен B магнит өрісі индукциясы векторының тербелістері кешігіп жетеді.

Осылай электромагниттік өріс кеңістіктің барлық бағытында $3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ жылдамдықпен электромагниттік толқын түрінде тарайды (11.2-сурет). 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:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}. \quad (11.2)$$

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.



11.2-сурет

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} векторлары 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 (11.2-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. Жазық электромагниттік толқынның электр және магнит векторлары өзара қалай байланысқан?
5. Электромагниттік толқынның таралу бағытын қалай анықтауға болады?
6. Не себепті электр зарядының үдемелі қозғалысы барысында ғана электромагниттік толқын туындайды?

§ 12. Электромагниттік толқындар шығару. Герц тәжірибелері



Тірек ұғымдар:

- ✓ Генрих Герц
- ✓ Герц вибраторы
- ✓ Герц тәжірибелері

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқындарды шығарып алу тәжірибесін білесіңдер.

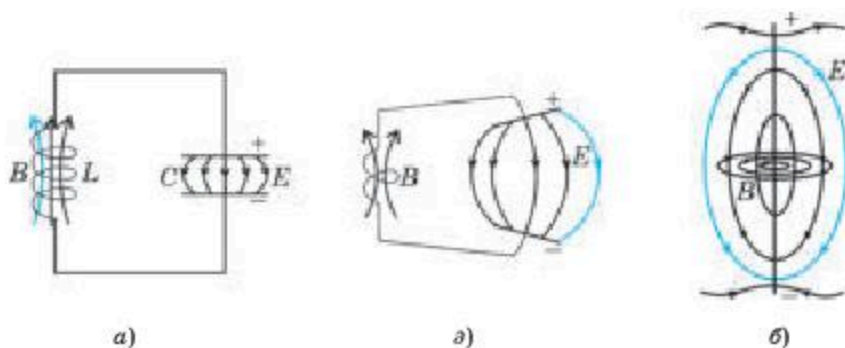


Генрих Герц
(1857—1894)

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 (12.1, 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 (12.1, б-сурет). Конден-



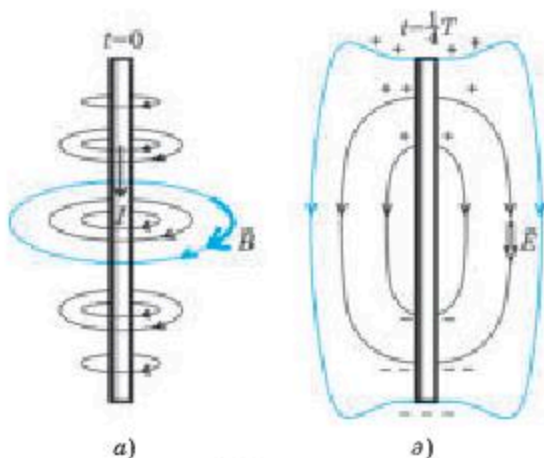
12.1-сурет

сатор пластиналарының аудандарын кішірейте отырып әрі катушканы жазып, созып жіберсек, түзу сымның кесіндісі шығады (12.1, б-сурет).

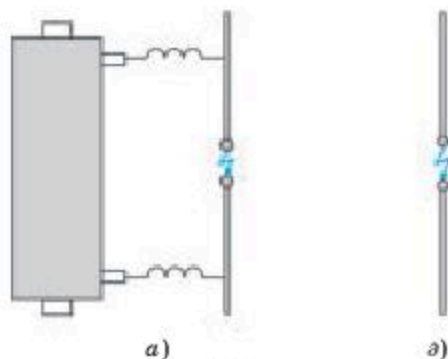
Бұл құрылғы *ашық тербелмелі контур* немесе *Герц вибраторы* деп аталады. Ашық вибратордың сыйымдылығы мен индуктивтігі өте аз. Сондықтан вибратордағы электромагниттік өріс тербелістерінің меншікті жиілігі аса жоғары болады. Тұйықталған тізбектегі айнымалы токтың күші өткізгіштің өне бойында бірдей болса, ашық вибратордағы жағдай басқаша. Бірдей уақыт мезетінде вибратордың түрлі бөлігіндегі ток күші әртүрлі, оның ортасында ток күші максимум мәніне жеткенде вибратордың ұштарында нөлге тең. Ашық вибратордағы ток күші максимал болған кезде оның айналасындағы кеңістікте туындайтын магнит өрісі де максимум мәніне жетеді. Ал электр өрісінің кернеулігі нөлге тең (12.2, а-сурет). Ширек $\left(t \approx \frac{1}{4}T\right)$ периодтан соң ток күші нөлге тең болып, енді вибратордың ұштарында электр зарядтары шоғырланады (12.2, ә-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 (12.3, а-сурет). Ауа аралығымен бөлінгендіктен, вибратордың екі тармағына жоғары кернеу көзінің көмегімен едәуір зарядтар беру мүмкін болды. Потенциалдар айырымы



12.2-сурет



12.3-сурет

белгілі бір мөнге жеткенде электрлік ұшқын байқалады. Иондалған ауа мен электр зарядтары вибратордың бір жартысынан екіншісіне белгілі бір мөнге жеткенде электрлік ұшқын байқалады. *Иондалған ауа мен электр зарядтары вибратордың бір жартысынан екіншісіне ағып, ток импульсін береді.*

Сөйтіп, ашық контурда электромагниттік тербелістер туады. Ток аса шапшаң өзгере отырып ток көзі арқылы тұйықталмай, тек контурда ғана өтуі тиіс. Оны вибратор мен ток көзінің арасына дроссель қосу арқылы реттейді. Ашық контурдағы электромагниттік тербелістің тез өшіп қалуының басты себебі — толқын шығарғанда энергия тасымалданады және контурда жылу энергиясы бөлінеді.

Электромагниттік толқынды қабылдап тіркеу үшін Герц қабылдағыш деп атаған екінші вибраторды (немесе резонаторды) қолданған (12.3, ә-сурет). Ашық контурдан тарайтын толқынның айнымалы электр өрісінің әсерінен 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?



6-жаттығу

1. Ашық тербелмелі контурдағы ток күші $i = 0,2 \cos 5 \cdot 10^5 \pi t$ заңы бойынша өзгереді. Ауада таратылатын электромагниттік толқынның λ ұзындығын 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 1А-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.

§ 13. Электромагниттік толқындардың энергиясы



Тірек ұғымдар:

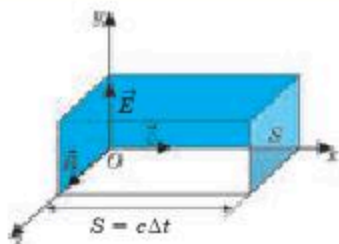
- ✓ **электромагниттік толқын ағынының тығыздығы**

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқындардың 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.



13.1-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 уақытының көбейтіндісіне қатынасын айтады:

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} \text{ немесе } I = \frac{P_{\text{орт}}}{S}. \quad (13.1)$$

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 ағын тығыздығының ХБ жүйесіндегі өлшем бірлігі: $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Жазық электромагниттік толқын тарайтын кеңістіктен беттік ауданы S аймақты бөліп алайық. Ол 13.1-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:

$$W = w \cdot \Delta V = w \cdot S \cdot c \Delta t, \quad (13.2)$$

мұндағы w — электромагниттік толқын энергиясының тығыздығы. Бұл формуланы (13.1) өрнекке қойып,

$$I = w \cdot c \quad (13.3)$$

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:

$$I = \frac{W}{S \cdot \Delta t} = \frac{W}{4\pi \cdot \Delta t} \cdot \frac{1}{R^2}, \quad (13.4)$$

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

$$w_s = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \quad (13.5)$$

мен магнит өрісі энергиясының тығыздығы

$$w_x = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \quad (13.6)$$

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

$$w_s = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} \sim \omega^4 \quad \text{және} \quad w_x = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} \sim \omega^4$$

пропорционал болады.

Электромагниттік толқын ағынының тығыздығы немесе толқынның интенсивтігі жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал: $I = wv \sim \omega^4$. 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:

$$E_m = 0,5 \text{ В/м}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

$I = ?$

Шешуі. Электромагниттік толқынның интенсивтігін 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:

$$[I] = \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{В}^2}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}^2}{\text{В} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

$$I = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 664 \cdot 10^{-6} = 664 \frac{\text{мкВт}}{\text{м}^2}.$$

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:

$$E_{\text{max}_1} \sim \frac{1}{r},$$

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 $I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$.

$$I_2 = 0,4 \left(\frac{300}{1,2 \cdot 10^5}\right)^2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} = 2,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

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.



7-жаттығу

1. Электромагниттік толқынның көлемдік энергия тығыздығы $2 \cdot 10^{-16}$ Дж/см³. Толқын шығару ағынының тығыздығын табыңдар.

$$\text{Жауабы: } 0,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

2. Электромагниттік толқын энергиясы тығыздығының шекті мәні $2,2 \cdot 10^{-10}$ Дж/м³. Толқынның ауадағы электр өрісі кернеулігінің максимал мәнін және интенсивтігін анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } 5 \text{ В/м; } 6,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

3. Радар импульсінің қуаты 100 кВт. Сәуле шығаратын конустың көлденең қимасының ауданы 2,3 км² болатын нүктедегі электр өрісінің ең жоғары кернеулігін табыңдар.

$$\text{Жауабы: } 4 \text{ В/м}.$$

4. Электромагниттік толқын энергиясының кеңістіктің берілген нүктесіндегі және берілген уақыттағы тығыздығы $w = 5,2$ мкДж/м³ екенін ескере отырып, оның электр және магнит векторлары модульдерінің мәндерін осы уақыт мезетінде және осы нүктеде бағалаңдар. $\epsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, $\mu_0 = 1,3 \cdot 10^{-6}$ Гн/м.

$$\text{Жауабы: } 2,6 \text{ мкТл; } 0,76 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

5. Егер электр өрісі векторының модулі $E = 0,3$ кВ/м болса, электромагниттік толқын энергиясының тығыздығы кеңістіктің берілген нүктесінде және берілген уақыт мезетінде қандай болады? $\epsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

$$\text{Жауабы: } w = 0,8 \text{ мкДж/м}^3.$$

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?

$$\text{Жауабы: } l = 600 \text{ м}.$$

§ 14. Электромагниттік толқындардың қасиеттері



Тірек ұғымдар:

- ✓ шағылу, сыну
- ✓ поляризация
- ✓ интерференция және дифракция

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік толқынның қасиеттерін сипаттауды үйренесіңдер.

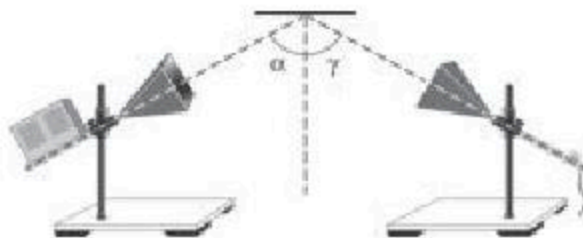


Электромагниттік толқындардың қасиеттерін ұзындығы 3 см электромагниттік толқын шығаратын арнайы генераторды қолданып зерттейді. Аса жоғары жиілікті генератор қоздыратын электромагниттік толқын рупор түріндегі таратқыш антеннада ось бағытымен шығарылады. Қабылдағыш антеннаның пішіні дәл таратқыш антенна сияқты. Қабылдағыш антеннада кристалдық диод орнатылған, ол антеннада қозатын жиілігі жоғары айнаымалы токты бір полярлы толықсыма токқа айналдырады. Ток күшейтілгеннен кейін дыбыс қабылдағышқа немесе гальванометрге беріліп тіркеледі. Тәжірибелік қондырғының сұлбасы 14.1-суретте көрсетілген.

Электромагниттік толқындардың шағылуы. Таратқыш және қабылдағыш рупорлардың арасына металл қаңылтыр қойылса, дыбыс естілмейді. Электромагниттік толқын металл қаңылтырдан шағылады. Егер генератордың рупорын 14.2-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



14.1-сурет



14.2-сурет

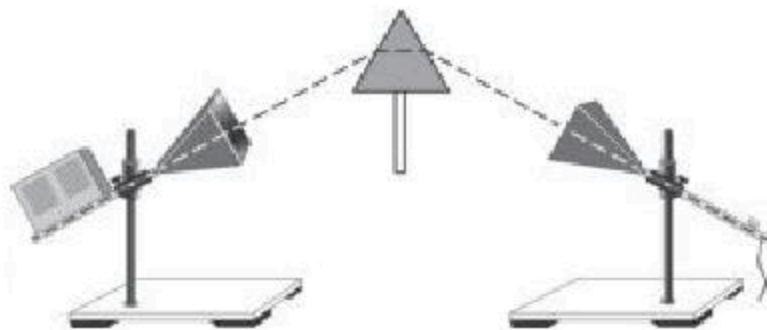
электр өрісінің әсерінен металл бетінде еркін электрондардың еріксіз тербелістері қозады. Осы еріксіз тербелістердің жиілігі электромагниттік толқынның жиілігіне тең. Бетке түскен электромагниттік толқынның энергиясы металдағы *еркін электрондардың еріксіз тербелістерін* қоздыруға жұмсалады. Толқын металдан 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.

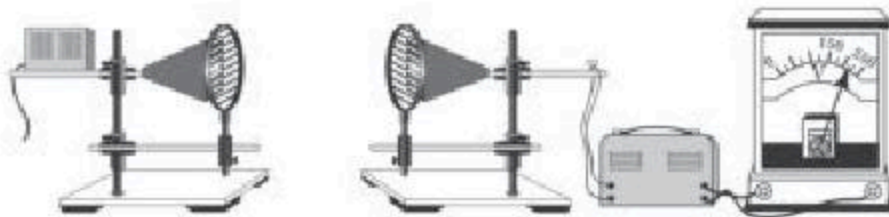
Электромагниттік толқынның сынуы. Электромагниттік толқынның сынуын парафинмен толтырылған үшбұрышты призматы пайдаланып бақылауға болады. Таратқыш антеннаның рупорын 14.3-суреттегідей бағыттауымыз. Қабылдаушы антенна толқынды тіркемейді. Енді диэлектрик болып табылатын парафиннен жасалған призматы суретте 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 өртүрлі.

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



14.3-сурет



14.4-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 (14.4-сурет). Тордың екеуін де вертикаль не горизонталь бағыттап 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 деп аталады.*

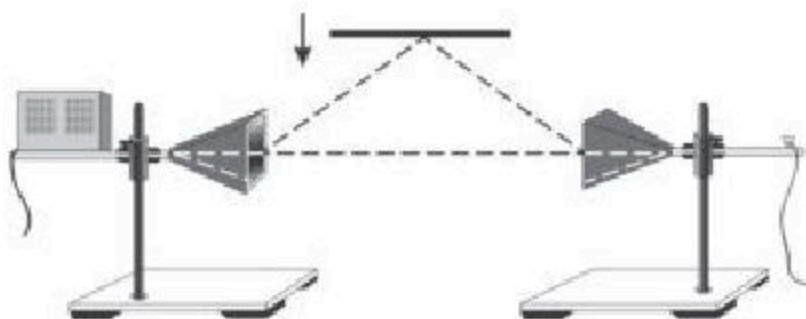
Бірдей фазамен тербелетін екі электромагниттік толқын кеңістіктің бір нүктесіне келіп жеткенде $\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ шарты орындалса, интерференция нәтижесінде қорытқы тербеліс амплитудасы максимал болады. Мұндағы $\Delta l = l_2 - l_1$ шамасы толқындардың жол айырымы, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$.

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 14.5-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 түзу сызықты 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 14.6-суретте көрсетілген қондырғының көмегімен бақылайды. Аса жоғары жиілікті генератор мен қабылдағыштың арасында жіңішке саңылауы бар металл экран тұр. Қабылдағыштың орнын ауыстырсақ,



14.5-сурет



14.6-сурет

тербеліс 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?

§ 15. Радиобайланыс принципі



Тірек ұғымдар:

- ✓ А. С. Попов
- ✓ Г. Маркони
- ✓ когерер
- ✓ радиотелеграф
- ✓ радио

Бүгінгі сабақта:

- радиобайланыс түрлері және Попов пен Маркони ашқан жанылықтарды білесіңдер.



Попов Александр
Степанович
(1859—1906)

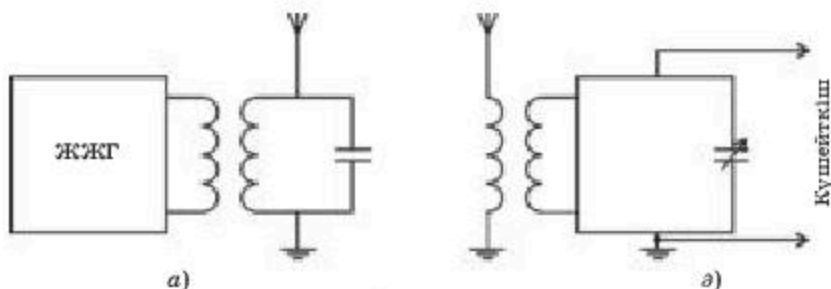
Радиобайланыстың қарапайым сұлбасы 15.1-суретте көрсетілген. Осы сұлбаға сүйене отырып, радиобайланыстың негізгі физикалық принципін жүзеге асырады. Кеңістікте таралатын электромагниттік толқын арқылы ақпаратты тарату және қабылдау үшін радиотолқындарды пайдаланады. Таратқыш радиостансысында жоғары жиілікті тербелістер генераторы антеннада жиілігі жоғары айнымалы ток тудырады. Ал, айнымалы ток кеңістікте шапшаң өзгеретін электромагниттік өріс туғызады да, электромагниттік толқын түрінде тарайды (15.1, а-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 (15.1, ә-сурет).

Радиобайланыстың мынадай түрлері бар: *радиотелеграф, радиотелефон және радиохабар тарату, телехабарлар тарату, радиолокация.*

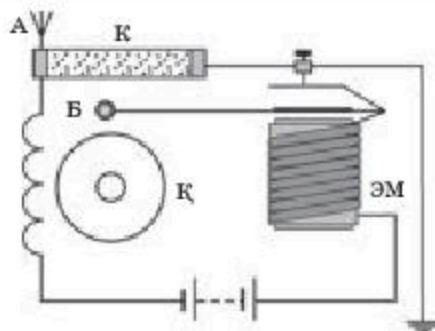
Радионы ойлап табу. Радиотелеграф байланысы. Герц тәжірибелері тұңғыш рет электромагниттік толқындарды таратуға болатынын көрсетті.

Оның тәжірибелерінде толқынның таралуы аз қашықтыққа, зерттеу жүргізілген үстел шегінде ғана жүзеге асырылған еді. Электромагниттік



15.1-сурет

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* қол-



15.2-сурет

данды. 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), балғадан (Б) электр қоңыраудан (Қ) және ток көзінен тұрады (15.2-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 толқын еркін электрондардың еріксіз тербелістерін қоздырып, айнымалы ток туғызады. Айнымалы кернеудің әсерінен 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 (Б) 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 радиогармма 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.

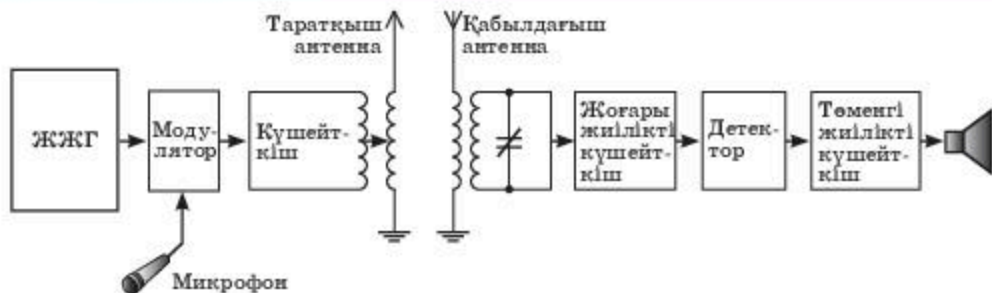
Радиотехниканың дамуына және оның жан-жақты практикалық мақсаттарда қолданылуына зор үлес қосқан итальян өнертапқышы Г.Маркони болды. Ол 1897 жылы электромагниттік толқындарды сымсыз байланыс жүйесінде қолдануға болатынына патент алады. Г.Маркони 1901 жылы тұңғыш рет Еуропа мен Америка арасында Атлант мұхиты арқылы радиобайланысты жүзеге асырады. Радионы байланыс құралдары ретінде дамытуда оның рөлі ерекше. А. С. Попов өзінің ашқан жаңалығына патент алмаған екен, сол себепті радионың негізін қалаушы ретінде дүниежүзі мойындамайды.

Радиотелефондық байланыс. Радиобайланыстың дамуының ең маңызды кезеңі 1906 жылы американдық инженер Д.Форестің үш электродты 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 интенсивтілігі 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 тербелістердің параметрлерінің бірін (*амплитудасын, жиілігін* немесе *фазасын*) төменгі (дыбыс) жиілікке сәйкес баяу өзгертетін процесс. Радиобайланыста амплитудалық, жиіліктік және



15.3-сурет

фазалық модуляция қолданылады. Жоғары жиілікті тербелістерді *тасымалдаушы жиіліктер* деп атайды, өйткені олар дыбыс жиілігіндегі тербелістердің тасымалдаушылардың рөлін атқарады.

Қазіргі заманғы радиотехникада, көбінесе ғарыштық байланыс жүйелерінде және телебейнеде әрқашан 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. 15.3-суретте радиобайланысты жүзеге асырудың негізгі принциптерінің модульдік сұлбасы берілген.



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?

§ 16. Модуляция және детекторлеу



Тірек ұғымдар:

- ✓ амплитудалық, жиіліктік модуляция
- ✓ детекторлеу
- ✓ детекторлы радиоқабылдағыш

Бүгінгі сабақта:

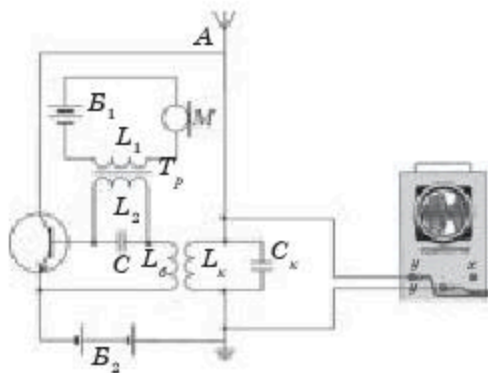
- амплитудалық және жиіліктік модуляцияны ажырата білесіңдер. Детекторлы радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін түсінесіңдер.



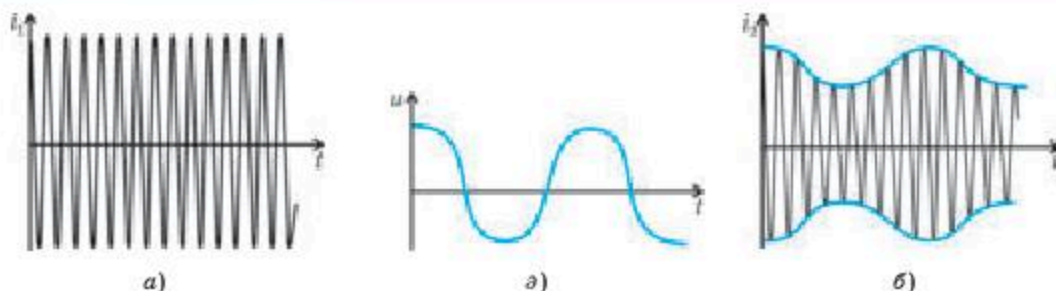
Жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын, жиілігін немесе фазасын өзгерту арқылы модуляциялауға болады. Іс жүзінде модуляциялаудың үш тәсілі де пайдаланылады. Дегенмен біз көбірек пайдаланылатын тәсіл — *амплитудалық және жиіліктік модуляцияға* тоқталайық.

Амплитудалық модуляция (amplitude modulation). Амплитудалық модуляция кезінде жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын дыбыстық жиілікпен өзгертеді.

Транзисторлы генераторда өндірілетін жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын модуляциялауды 16.1-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. Катодшканың кері байланыс орамасы L_6 арқылы өтетін жоғары жиілікті айнымалы токқа C конденсатордың кедергісі аз болады. Трансформатордың екінші орамасының L_2 индуктивтік кедергісі үлкен. Сондықтан генератор өндіретін жоғары жиілікті айнымалы ток C конденсатордан оңай өтіп, ал модулятордың микрофондық тізбегінен өте алмайды.



16.1-сурет



16.2-сурет

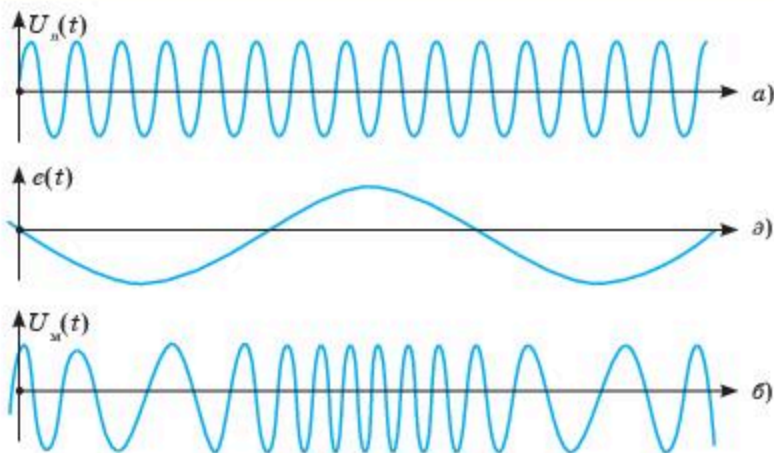
Дыбыс тербелістері жоқ кезде генератор жоғары жиілікті өшпейтін тұрақты амплитудалық гармоникалық тербелістер өндіреді:

$$i_1 = i_0 \sin \omega t,$$

мұндағы ω — тасымалдаушы жиілік, i_0 — тербелістің тұрақты амплитудасы. Осы тербелістердің графигі 16.2, а-суретте берілген. Микрофон қосылғанда дыбыс толқындары оның тізбегінде төменгі жиілікті электр тогын тудырады (16.2, 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 осциллографтың экранынан көруге болады (16.2, в-сурет).

Жиіліктік модуляция (FM-frequency modulation). Жоғарыда айтылған амплитудалық модуляцияның айтарлықтай кемшілігі бар. Хабарлағыш пен қабылдағыштың арақашықтығы әжептәуір үлкен болса, 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, шу) әсерінен мүмкін болмай қалады. Осы кедергілерді жою үшін жиіліктік модуляция қолданылады (16.3-сурет).

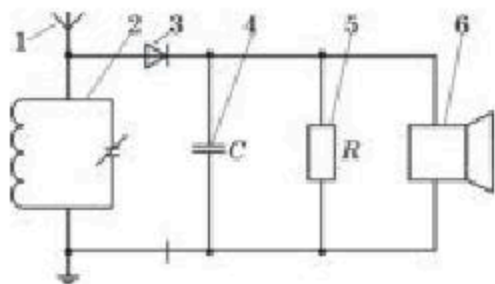
Жиіліктік модуляция кезінде жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасы емес, жиілігі өзгереді болады. Кедергілерден қорғанысты күшейту үшін берілетін радиотолқынның тасымалдаушы жиілігі дыбыс тербелісінің амплитудасына пропорционал өзгереді. Неғұрлым дыбыс толқыны күшті болса, тасымалдаушы жиілік соғұрлым үлкен болады және керісінше. УҚТ радиостансылар мен теледидарда дыбыс толқындарын беру үшін жиіліктік модуляция пайдаланылады.



16.3-сурет

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 жиілігіндей тербелістерді күрделі сигналдан бөліп алу керек. Демодуляцияны немесе детекторлеуді жүзеге асыратын құрылғы ретінде біржақты өткізгіштік қасиеті бар *детектор* қолданылады. Детектордың рөлін жартылай өткізгішті диод немесе транзистор да атқара алады.

Ең қарапайым радиоқабылдағыш немесе детекторлы радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін қарастырайық. Жоғары жиілікті модуляцияланған тербелістер



16.4-сурет

антеннадан 1 резонанстық контур 2 арқылы детекторге 3 келіп түседі (16.4-сурет). Детектор тізбегінде графигі 16.5-суретте көрсетілген амплитудалары өртүрлі қысқа мерзімді импульстер тізбегі түрінде электр тогы туады. Осындай импульстер тізбегін дыбыс жиілігіндей айнымалы токқа түрлендіру үшін



16.5-сурет

конденсатор 4 мен резисторды 5 пайдаланады. Өрбір жарты период сайын жоғары жиілікті ток импульсі конденсаторды зарядтайды. Ал импульстер арасында конденсатор резистор арқылы разрядталады. Конденсатордың сыйымдылығы және резистордың кедергісі дұрыс таңдалынып алынса, онда резистор арқылы дәл таратқыш стансыдағы дыбыс жиілігіндей айнымалы ток өтеді. Дыбыстағышта немесе телефон мембранасында берілген дыбыстар қайталаынады.



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. Детекторды қандай мақсатта қолданады?
7. Ең қарапайым детекторлі радиоқабылдағыштың сұлбасын сызыңдар.
8. 16.4-суреттегі C конденсатордың және R резистордың атқаратын рөлін түсіндіріңдер.

§ 17. Радиотолқындардың таралуы. Радиолокация



Тірек ұғымдар:

- ✓ радиотолқындардың атаулары
- ✓ радиолокация

Бүгінгі сабақта:

- радиотолқындардың түрлерімен және радиолокация әдісімен танысасыңдар.



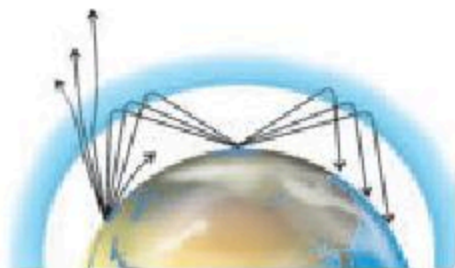
Радио- және телехабарларда, радиобайланыста, радиолокация мен радионавигацияда қолданылатын электромагниттік толқындарды радиотолқындар деп атайды. Радиотолқындарды 17.1-кестеде көрсетілгендей бірнеше диапазондарға бөледі.

17.1-кесте

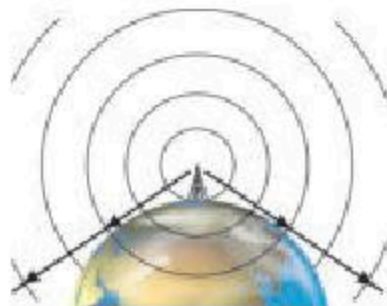
Толқындардың аталуы	Толқын ұзындықтарының диапазоны, λ /м
Аса ұзын толқын	$\lambda > 10000$
Ұзын толқын	10000—1000
Орташа толқын	1000—100
Қысқа толқын	100—10
Ультрақысқа толқындар:	
метрлік	10—1
дециметрлік	1—0,1
сантиметрлік	0,1—0,01
миллиметрлік	0,01—0,001

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 жоғары 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.



17.1-сурет

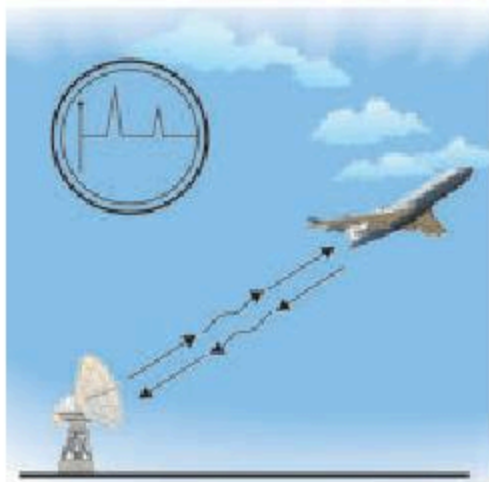


17.2-сурет

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 (17.1-сурет). Ультрақысқа толқындар ионосферадан шағылмай, ешбір кедергісіз өтіп кетеді. Олардың дифракциялық қасиеті нашар, жер бетін орағытып өтпейді. Сондықтан ультрақысқа толқындарды байланыс таратқыш антеннаның тікелей көріну аймағында ғана жүзеге асырылады (17.2-сурет). Ретрансляторлар мен серіктерді пайдаланып, шалғай қашықтыққа теле-радиохабарларды 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 толқындарды 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



17.3-сурет

қысқа мерзімді электромагниттік толқындардың периодты импульстерін шығарады (17.3-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 ауыстырып қосылған антеннасы импульстердің үзілісі уақытында 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. Аэропорттағы операторлар ұшақтардың ұшуы мен қонуын, 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 біліп қана қоймайды, сонымен бірге жер бетінің радиолокациялық картасын көріп отырады. Ол бұндай ақпаратты күндіз де алып отырады.

Радиолокация ғарыштық зерттеулер мен астрономияда қолданылады. Радиотелескоптар (17.4-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.



17.4-сурет



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?



Төменде берілген тақырыптардың біріне презентация дайындаңдар:

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:

$$\lambda = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

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

$$\tau = 2 \text{ мкс} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$l_m \text{ — ? } N_{\text{терб}} \text{ — ?}$$

$$\nu_{\text{терб}} \text{ — ?}$$

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 шығарды.

$$\text{Сондықтан } t_{\text{ж}} = \frac{t}{N_{\text{имп}}} = \frac{t}{\frac{t}{T}} = \frac{t}{\nu_{\text{имп}}}.$$

$$\text{Ендеше, } l_m = \frac{c}{2\nu_{\text{имп}}}.$$

Біз белгісіз шамалардың бірін анықтадық. Енді бір импульстегі тербеліс санын $N_{\text{терб}}$ табайық. Ол бір импульстің τ ұзақтығының электромагниттік тербелістің $T_{\text{терб}}$ периодының қатынасына тең:

$$N_{\text{терб}} = \frac{\tau}{T_{\text{терб}}}.$$

Тербеліс периодын анықтайық: $T_{\text{терб}} = \frac{c}{\lambda}$. Олай болса, $N_{\text{терб}} = \frac{\tau \cdot c}{\lambda}$.

Енді электромагниттік тербелістің жиілігін табуымызға болады:

$$\nu_{\text{терб}} = \frac{1}{T_{\text{терб}}} = \frac{c}{\lambda}.$$

$$l_m = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 4 \cdot 10^3} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ м}; \quad N_{\text{терб}} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,15} = 4 \cdot 10^3,$$

$$\nu_{\text{терб}} = \frac{3 \cdot 10^8}{0,15} = 2 \cdot 10^9 \text{ Гц}.$$



8-жаттығу

1. Электромагниттік толқын арқылы нәліктен 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 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 қашықтық неге тең?

Жауабы: 15 км.

5. Радиолокатордың жұмыстық толқын ұзындығы 5 см және шағылатын импульстерінің ұзақтығы 1,5 мкс. Әрбір импульсте неше тербеліс болады? Нысанды анықтаудың ең аз қашықтығын есептеңдер.

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; $8,3 \cdot 10^3$ Гц.

§ 18. Цифрлық технология



Тірек ұғымдар:

- ✓ аналогтік сигнал
- ✓ цифрлық сигнал
- ✓ бит; байт
- ✓ негізгі цифрлық арна
- ✓ ақпараттық арна



Бүгінгі сабақта:

- аналогтік сигналмен 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 отырды. 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 қосылыстардың өрекетінің өсері, өрине, оның негізгі табиғаты бөрібір энергетикалық болып табылады.

Біз үздіксіз энергетикалық өсерді сезінеміз, бұл ақпараттың барлығы аналогтік болып келеді. Адам сөйлегенде дыбыс жиілігі 80 Гц-тен 12000 Гц, 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 деңгеймен 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:

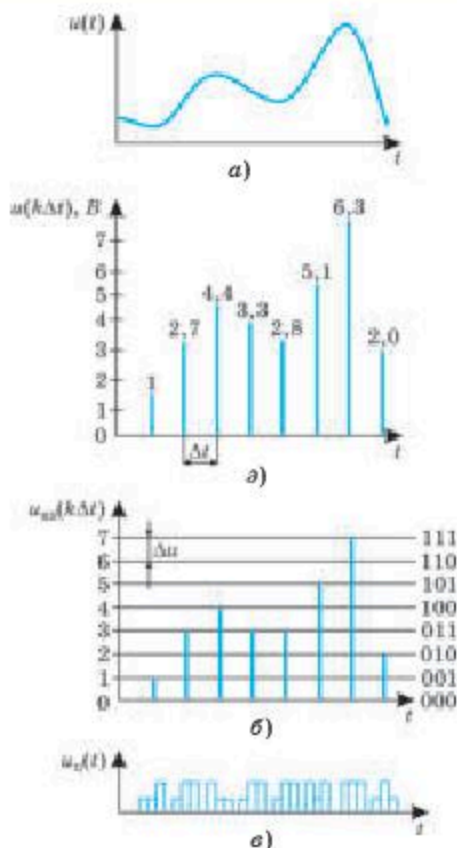
1. Цифрлық сигнал көбінесе 2-3 деңгейлі болып келеді.
2. Сигналдың қатесін табуға және оны түзетуге болады.
3. Байланыс жолында өлсіреген цифрлық сигналдарды алдымен қалпына келтіріп, содан кейін күшейтуге болады.

4. Байланыс арнасын тығыздау (сығымдау) мен топтау уақытпен орындалады.

5. Көрсететін қызмет түрі әртүрлі.

6. Жылдамдығы есептеледі.

7. Интегралды микросхемаларды пайдалану мүмкіндігі жоғары. Мысал келтірейік, 100 беттік кітаптағы ақпаратты цифрлық форматқа ауыстырсақ, ол 0,166 Мбайт қана 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



18.1-сурет. Цифрлық сигналды қалыптастыру:

а) аналогтік сигнал; ә) дискреттеу; б) квантталған сигнал; в) цифрлық сигнал

қағидасы мынада: аналогтік сигнал (18.1, а-сурет) алдымен уақыт бойынша *дискреттеледі* (18.1, ә-сурет), содан кейін амплитуда (жиілік, фаза) бойынша *квантталады* (18.1, б-сурет), нәтижесінде квантталған амплитуда мәндері екілік сигнал түрінде *кодталады* (18.1, в-сурет).

Телефон сигналының 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 ақпараттың түрленіп берілетін арналар бар. Ақпаратты түрлендіруде цифрлық технологияны қолданатын құрылғы — компьютер.

Сыртқы құрылғылардан түскен ақпарат клавиатурадан, дискіден, микрофоннан ішкі кодқа түрленеді, өңделеді және түрі өзгеріп, сыртқы құрылғыларға — мониторға, принтерге, динамикке беріледі. 18.2-суретте цифрлық

радио-телебайланыс жүйесінің негізгі модульдері көрсетілген сұлба берілген.



18.2-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 (цифрлық-аналогтік 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 таңдаушыларға жеткізу мәселесін цифрлық технология шешіп келеді. Қазіргі заманауи компьютерлердің қуаты мен икемділігі, дыбыс жазудың алгоритмдері мен сығымдау тәсілдері әбден жетілдірілген, дыбыс пен әуенді табиғи қалпына өте жақын күйде бере алады. Дыбысты, әуенді компьютерге көшіру цифрлық технологияның орасан жетістігі болып табылады және:

- цифрлық сигнал ешқашан сапасын жоймайды, өздігінен өзгермейді, ал аналогті 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, СД 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 (MP3 Layer III) миллиондаған әндер, музыкалық шығармалар таратылады;
- қашықтыққа тасымалдау мүмкіндігі өте жоғары, цифрлық әуен сол табиғи күйінде әлемнің кез келген жерінде ойналады, интернетпен жіберу өте қолайлы.

Цифрлық теле-радиобайланысты Қазақстанда дамытудың бағдарламасы жасалынып, іске асырылуда. 2012 жылы 3 шілдеде CYD Irdeto cloaked CA-ның қолданылуымен DVB T2 стандарты қабылданып, Нұр-Сұлтан, Алматы, Қарағанды, Жезқазған, Жаңаөзен қалаларында алғаш

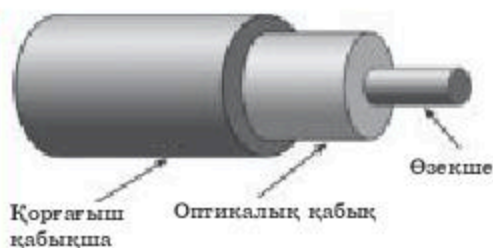
рет эфирлік цифрлық телехабарлар таратылды. Алматы қаласы мен облыс орталықтарында екі мультиплекстік цифрлық канал жұмыс істейді, ол SDTV 30 каналына тепе-тең, басқа елді мекендерде 15 каналдан тұратын бір мультиплекс канал жұмыс істейді. Цифрлық телехабарларды тарату желісінің құрылысы 2015 жылы аяқталды. Оған дейін ұлттық телехабарларды тарату операторы АҚ “Қазақтелерадио” аналогті хабар тарату желісін параллель қолданады.

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 қолданады?

§ 19. Талшықтық-оптикалық коммуникациялық желілер



19.1-сурет. Жарықжетектің құрылысы

Оптикалық талшық (жарықжетек) концентрлі екі қабаттан, яғни өзекшеден және оптикалық қабықтан тұрады (19.1-сурет).

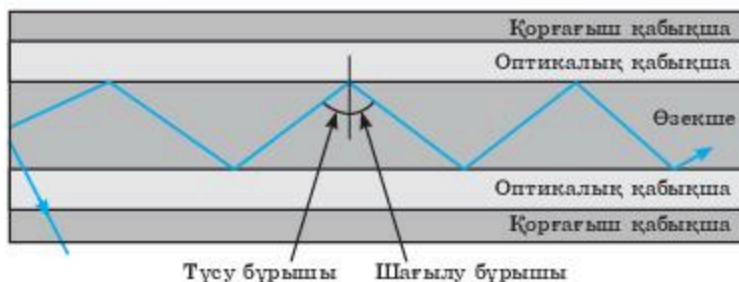
Өзекше жарықты тасымалдауға арналған. Оны қоршап тұрған оптикалық қабықтың сыну көрсеткіші өзекшеден басқаша болады және өзекшеде жарықтың толық ішкі

шағылуын қамтамасыз етеді. Жарықтың толық ішкі шағылуын біз келесі тарауда оқитын боламыз.

Оптикалық қабықтың сыну көрсеткіші өзекшеден 1%-дан кіші болып келеді. Әрине, оптикалық қабықтың сыртында қосымша қорғағыш қабықша болады. Ол көбінесе бір немесе бірнеше қабаттан тұратын полимерден жасалады және талшықты сыртқы зиянды әрекеттен қорғайды. 19.2-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. Талшықтық-оптикалық



19.2-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 құралдарды жасауда, кабельдік техникада перспективасы жоғары;

- шыны талшықтар металл емес, жеңіл, сондықтан аса берік пластикті қолданып, оны кез келген ортада — ауада, жер астында және т.б. қолдануға болады.

- талшықтық оптика негізінде жасалынған байланыс жүйелері электромагниттік жағымсыз әсерлерді, кедергілерді сезбейді, ал жарықжетекпен берілетін ақпаратты рұқсатсыз ешкім пайдалана алмайды. Талшықтық-оптикалық байланыс жүйесінде бөтен біреулер ақпаратты пайдалана алмайды.

Қазақстанда FTTH технологиясы кеңінен дамуда. FTTH (Fiber To The Home) — үйлерге, пәтерлерге орнатылатын оптикалық-талшықты 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 талшықтық-оптикалық желілер 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-радиохабарларды ақпаратты интернет арқылы жаһанға таратудың барлығында талшықтық-оптикалық байланыстың болашағы зор екенін көрсетеді.



1. Интернет жүйесін сендер үйде, оқуда, жалпы өмірде қалай пайдаланасыңдар?
2. Цифрлық революция туралы не ойлайсыңдар?

§ 20. Қазақстандағы байланыс құралдары



Тірек ұғымдар:

- ✓ Форт-Шевченко
- ✓ ұялы байланыс "Алтел", "Kcell", 4G
- ✓ байланыс серіктері

Бүгінгі сабақта:

- Қазақстандағы байланыс құралдарының дамуымен және ұялы байланыс жүйесімен танысасыңдар.



Қазақстан Республикасында тұңғыш радиостансы 1913 жылы қазіргі Форт-Шевченко қаласында салынған еді. Ұшқындық хабарлағыштың қуаты небәрі 1 кВт болатын және радиусы 300 км қашықтыққа дейін тұрақты байланыс орнатты. Ол радиотелеграф режимінде жұмыс істеген.

XX ғасырдың екінші жартысында Қазақстандағы байланыс жүйесі пәрменді 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 көріну 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 өуелі 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. Көктөбедегі 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 (36 000 км) орбитада ұшатын серіктер қолданылады. Сонымен қатар Қазақстанда талшықтық-оптикалық байланыс жүйесінің Трансасия—Еуропалық магистралі іске қосылды.

Ұлттық серіктік байланыс жүйесі жасалынууда. 2006 жылдың 18 маусымында Байқоңыр ғарыш айлағынан “Kazsat” бірінші қазақстандық байланыс серігі ұшырылды.

Қазіргі кезде осы сериалы 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, Қазақстан халқын 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). Өлемде алғаш рет 1973 жылы ұялы телефоннан қоңырау шалған Motorola 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 құралы ғана емес, ол кредит карточкасы, тұрмыс құралдарының басқару пульті, фото-видеокамера және органайзер ретінде кең қолданыс табуда.

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 Motorola фирмасының технологиясы мен жабдықтары пайдаланылады. Еліміздегі

байланыс құралдарының 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 байланыс желісінде, негізінен, GSM (900, 1800) МГц, UMTS / WCDMA (2100) МГц және CDMA(450, 800) МГц стандарттарында мына операторлар қызмет көрсетеді:

- “Kcell” АҚ — Kcell, Activ және Vegaline сауда маркалары;
- “Кар-Тел” ЖЖС — Beeline сауда маркасы;
- “Мобайл Телеком Сервис” ЖЖС — Tele2 сауда маркасы.
- “АЛТЕЛ” АҚ — Dalacom, Pathwovd және City сауда маркалары.

Қазақстанда 4G технологиясы енгізілуде. Ал қолданыстағы 3G технологиясы үшінші 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 Нұр-Сұлтан, Алматы қалаларында және Қазақстанның барлық облыс орталықтарында 3G үшінші буын желілерін пайдалануға 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 ұсынуда.

2003 жылы наурыз айында Қазақстанда кабельдік ТВ операторларының Ассоциациясы құрылды. Олардың арасындағы ірі операторлар: “Алма-ТВ” АҚ, “Alem Communications” Холдингі; “Icon TV”; “Қазақтелеком”; “1DTV”.

Серіктік байланыс жүйесін дамытуда “Байқоңыр” ғарыш аймағының (ғарыштық ракеталарды ұшыру орталығының) маңызы зор. Серіктік “Жарық” байланыс жүйесі арқылы телехабарларды Қазақстанның барлық аймақтарына, Ресей, Өзбекстан, Қытай, Моңғолия мемлекеттерінің шекаралас елді мекендеріне тарату мүмкіндігі жүзеге асырылады. 2014 жылы ұшырылған “Kazsat-3” серігі телекоммуникациялық байланыста енді шетелдік байланыс

операторларынан тәуелсіз болуды қамтамасыз етеді. 2014 ж. Жерді дистанциялық зондылайтын (ДЗ) тұңғыш қазақстандық “KazEOSat-1” серігі ұшырылды.



1. Өздерің тұратын қалаларда, мекен-жайларыңда қандай байланыс түрін білесіңдер?
2. 3G, 4G-стандарттары туралы жоба дайындаңдар.
3. 5G стандарты және жасанды интеллект туралы баяндама дайындаңдар.

4-тараудың ең маңыздысы

Максвелл электромагниттік өріс теориясын жасады. *Максвелл теориясының идеялары*: магнит өрісі кез келген қоршаған кеңістікте құйынды электр өрісін туғызады; айнаымалы электр өрісі әрқашан құйынды 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

5-тарау. ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА

§ 21. Жарықтың интерференциясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ Юнг әдісі
- ✓ Френель әдісі
- ✓ жұқа пленка
- ✓ 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 әсерлесуіндегі 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.

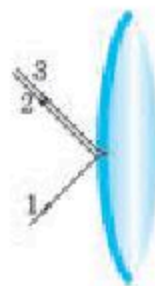
Интерференция құбылысын 1675 жылы Ньютон, кейінірек Юнг және Френель байқаған. Мұны қалай түсіндіруге болады? Шын мәнінде, мәселе толқынның цугінде екен. Дененің әртүрлі атомдары бір-біріне байланыссыз жарық шығарады. Сондықтан олардың жиіліктерінің бірдей болуына қарамастан, әр цугтің фазасы әртүрлі. 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.

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, әртүрлі 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 әуелі екі немесе бірнеше когерентті сәулелерге бөлінеді, содан кейін осы сәулелер бір нүктеге жиналады. Интерферометрлердің жасалуы әртүрлі, бірақ әрекеттері бірдей. Қазіргі ғылымда Майкельсонның екі сәулелі интерферометрлері, Линниктің, Луммер—Герхенің және Фабри—Пероның көп сәулелі интерферометрлері қолданылады.

2. Интерференция құбылысы оптикалық құралдардың жарықтылығын реттеу 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 Гребеншиков іске асырды. Жарық екі рет шағылады: алдымен ауа-қабыршақ шегінде, содан кейін қабыршақ-линза шегінде (21.1-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. Өтетін жарықтың максимум шарты былай беріледі: $\Delta = 2dnc\cos\beta = \frac{\lambda_0}{2}$. 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



21.1-сурет

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.



1. Қос шоқты интерференцияны алу әдістерін атап өтіңдер.
2. 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?
3. Инелік қанаттарының түсі әртүрлі болуын түсіндіріңдер.
4. Әртүрлі екі жарық көзінен шыққан сәулелер неге интерференция бере алмайды? Немесе бір жарық көзінің әртүрлі екі нүктесінен шықса да солай болады. Неге?
5. Қызыл жарықты пайдаланып, Френельдің қос айнасы арқылы интерференциялық жолақтар алынды. Егер күлгін жарықты пайдалансақ, интерференциялық жолақтар көрінісі қалай өзгереді?
6. Жарықты сөндіруге бола ма? Егер болса, қалай?
7. Сабын көпіршігінің көкшіл түсті болып келетін жерінің қалыңдығы шамамен қанша?
8. Интерферометрлермен таныстыңдар. Ол қалай жұмыс істейді?
9. Интерференцияның тұрмыста қолданылуына мысал келтіріңдер.

9-жаттығу

1. 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: сарыдан көгілдірге, көкке, күлгін түстерге айналып отырады.

2. Жұқа қабыршақты монохроматты параллель сәулелермен жарықтандырғанда оның бір жерлерінде ақ, екінші жерлерінде қара жолақтардың пайда болуын түсіндіріңдер.
3. Жұқа қабыршақты ақ жарықтың параллель сәулелерімен жарықтандырғанда қабыршақтың түрлі түске боялуын қалай түсіндіруге болады?
4. Бензин төгілген судың беті неге түрлі түске боялады?

§ 22. Жарықтың дифракциясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ дифракция
- ✓ Френель принципі
- ✓ дифракциялық тор
- ✓ тордың тұрақтысы
- ✓ шағылдырғыш торлар

Бүгінгі сабақта:

- Френель теориясын қолданып, дифракциялық көріністерді түсінесіңдер;
- “дифракциялық тор” ұғымымен танысасыңдар.



Жарықтың дифракциясы деп жарықтың түзу сызық бойымен таралудан ауытқуын немесе жарықтың тосқауылды орағытып өтуін айтады. Жарық дифракциясын XVII ғасырдың орта кезінде италия физигі 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 орындалу керек.

Жарық дифракциясы құбылысының пайда болуына бірнеше мысалдар қарастырайық. Егер жарық көзіннің 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 саңылау 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 таралуының 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 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 ретті 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 ретті толқындардан келетін толқындардың интерференция нәтижесі ретінде анықталады.

Дифракциялық тор. Айқын да анық дифракциялық суретті алу және бақылау үшін дифракциялық торды пайдаланады. *Дифракциялық тор дегеніміз — жарық дифракциясы байқалатын тосқауылдар мен саңылаулардың жиынтығы.*

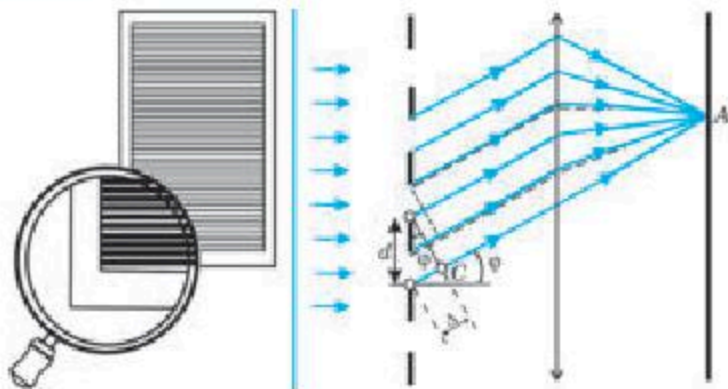
Дифракциялық торды *реттелген дифракциялық тор* және *реттелмеген дифракциялық тор* деп бөледі. Реттелген тор деп саңылаулары белгілі бір қатаң тәртіп бойынша орналасқан торларды, ал реттелмеген деп саңылаулары тәртіпсіз орналасқан торларды айтады. Геометриялық құрылысына қарай торларды *жазық және кеңістіктік* 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 22.1-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:

$$d \sin \varphi = k \lambda. \quad (22.1)$$

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.



22.1-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. (22.1) формуладан бір толқын ұзындығы үшін бірнеше максимумдардың байқалуы мүмкін екенін көреміз. $n = 0$ жағдайында бұрыш $\varphi = 0$ болады, яғни максимум аламыз. Бұл *нөлінші ретті максимум* деп аталады. $n = \pm 1$ болса, $\sin\varphi = \pm \frac{\lambda}{d}$, онда *бірінші ретті максимумдарды* аламыз. Бұлар нөлдік максимумның екі жағында симметриялы орналасқан. $n = \pm 2$ болғанда $\sin\varphi = \frac{2\lambda}{d}$, яғни *екінші ретті екі симметриялы максимум* аламыз және т.с.с. Бірінші ретті максимум белгілі бір φ_1 бұрышымен байқалады. Екінші ретті 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.



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?



10-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: 521 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 сөйкес 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.

§ 23. Жарық дисперсиясы. Жарықтың поляризациясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ дисперсия
- ✓ призма
- ✓ толықтауыш түстер
- ✓ алғашқы түстер
- ✓ поляризация
- ✓ оптикалық ось

Бүгінгі сабақта:

- призма арқылы өткен кездегі жарықтың жіктелуін түсіндіру;
- "табиғи" және "поляризацияланған жарық" ұғымдарының айырмашылығын білесіңдер.

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 теория-

ларды іс жүзінде жоққа шығаратын эксперимент жасалынды. Бұл экспериментті Ньютонның өзі қалай сипаттап жазғанын келтірейік.

“1666 жылы шыны өңдеп жүрген болатынмын. Мен түске қатысты белгілі құбылыстарды тексеру үшін үшбұрышты шыны призмы тауып алдым. Осы мақсатта мен өзімнің бөлмеңді қараңғыладым да, күн сәулесін өткізу үшін жақтауға өте кішкене саңылау жасадым. Осы саңылауға призмы 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 әртүрлі түстерден тұратын жолақтарды Ньютон *спектр* (“spektrum” — *көру*) деп атады (23.1-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 әртүрлі 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 атқа ие болды (лат. “dispersio” — *шашырау*). Жарық дисперсиясының екі мағынасы бар: 1) дисперсия — күрделі ақ түсті спектрге ажы-



23.1-сурет

рату 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 өртүрлі жарықты бірдей шашыратпайды, сонымен қатар оларды өртүрлі жұтады. Сондықтан мөлдір денелерді жарық жолына ұстаса, олар алуан түске боялған тәрізді болып көрінеді. Мұндай заттар *жарық сүзгісі* деп аталады.

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 түрлі 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 өлсірей 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 парал-

лель орналасады. Пластиналардың оптикалық осьтері бір-біріне перпендикуляр болса, экранның жарықтылығы минимал болады (жарық дағы жоғалады). Пластинаны айналдырудың бағыты жарықтылықтың өзгеруіне әсерін тигізбейді. Пластинаны қандай бағытта айналдырсақта, құбылыс сол күйде қайталанатын.

Демек, егер төмендегі болжамдарды ескерсек, поляризациялану құбылысын түсіндіруге болады.

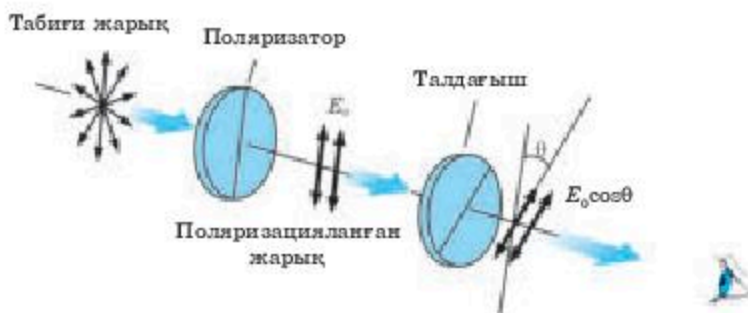
1. Турмалин пластинасы жарықтың тербеліс жазықтығы пластинаның оптикалық осіне қатысты белгілі бір орналасу жағдайында ғана жарықты өткізеді.

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 (23.2-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, 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,



23.2-сурет

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 орналастырсақ, онда саңылау арқылы өтетін жіптің тербелісі тек бір жазықтықта ғана болады. Егер осы тербелістің жолына жіңішке саңылауы бар параллель екі жазықтық орналастырсақ, онда екінші жазықтықтың орналасу жағдайына байланысты жіптің тербелісі не одан өтеді, не өшеді.

Поляроидтар. 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. Осындай қабыршақты целлулоидке жапсырып, шамасы бірнеше квадрат дециметр пластина болатын поляризациялағыш алынады. Бұл қабыршақтар *поляроидтар* деп аталады. Олар қолдануға өте қолайлы. Анализаторды айналдырған кезде одан өтетін жарық интенсивтілігін өзгертеді (23.3-сурет).



23.3-сурет

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?
8. Турмалин кристалында болатын жарықтың поляризация құбылысын сипаттап түсіндіріңдер.
9. Қандай жарық табиғи, ал қандай жарық поляризацияланған деп аталады?
10. Поляризациялағыштың талдағыштан айырмашылығы неде?
11. Поляризациялағышты айналдыра талдағышты бұрғанда байқалатын құбылысты түсіндіріңдер.
12. Қандай заттар поляроидтар деп аталады?

5-тараудың ең маңыздысы

Бұл тарауда сендер тек энергия тасымалдайтын толқындық қозғалыспен таныстыңдар. Толқын үшін айрықша шама — толқын ұзындығы енгізілген, ол бір периодқа тең уақыт ішінде толқынның қандай жол жүретінін көрсетеді. Толқын ұзындығы оның таралу жылдамдығымен және тербеліс жиілігімен ($v = \lambda\nu$) байланысқан. Толқындардың кез келген шебі бір-бірімен интерференцияланады. Осының нәтижесінде толқын энергиясы қайта таралады және кеңістіктің бір нүктелерінде толқын күшейеді (тербелістердің амплитудасының артуы), ал екіншілерінде толқын әлсірейді.

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.

Тек толқындарға ғана тән екінші құбылыс *дифракция* деп аталады. Ол толқындардың тосқауылдарды айналып өтуінен болады. Бұл құбылыс тек тосқауылдардың өлшемі толқын ұзындығымен шамалас келген кезде ғана бақыланады. Жарық толқындарының дифракциясын дифракциялық тордың көмегімен оңай бақылауға болады, ол бірінен кейін бірі қайталанып келіп отыратын саңылаулар мен тосқауылдардан тұрады. Дифракциялық тордың ($dsin\alpha = k\lambda$) 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.

6-тарау. ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

§ 24. Жарықтың түзусызықты таралуы



Тірек ұғымдар:

- ✓ жарық сәулесі
- ✓ жарық жылдамдығы
- ✓ Физо тәжірибесі

Бүгінгі сабақта:

- жарықтың таралуын зерттейтін геометриялық оптика бөлімімен танысасындар.



Геометриялық оптика дегеніміз — жарықтың табиғатын қарастырмай, оның тек таралуын ғана зерттейтін оптиканың бөлімі. Геометриялық оптика — тек геометрияның заңдарына ғана сүйенетін абстрактілі 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.

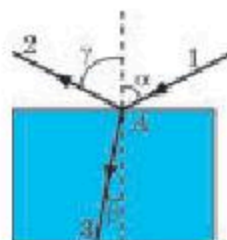
1. **Жарықтың түзусызықты таралу заңы:** *жарық сәулесі біртекті ортада түзу сызық бойымен таралады.*

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 шегарасындағы сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады*; 2) α *түсу бұрышы* γ *шағылу бұрышына тең* (24.1-сурет).

4. **Жарықтың сыну заңы:** 1) (1) *түскен сәуле*, (3) *сынған сәуле, екі ортаның шегарасындағы сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады*; 2) *түсу бұрышының синусының сыну бұрышының синусына қатынасы берілген екі орта үшін тұрақты шама және ол бірінші ортаның екінші ортаға қатысты сыну көрсеткіші*

деп аталады, яғни $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$.



24.1-сурет



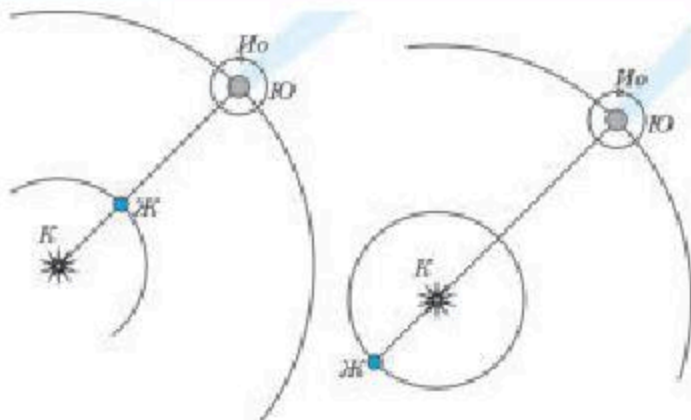
24.2-сурет

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, ағаштардың, 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 пайда болады да, экранда сол заттың түрі қайталанатын көлеңке көрінеді (24.2-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 *ала көлеңкелер* деп аталады.

Жарықтың жылдамдығы. Жарықтың түзусызықты таралуы оның жылдамдығын анықтауға мүмкіндік берді. 1607 жылы италия физигі Галилео Галилей бірінші болып жарықтың жылдамдығын анықтауға өсер етті. 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 (24.3-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 периодынан анықталған уақыттан 22 мин-қа ерте басталатынына көңіл аударды:

$$c = \frac{2R_{\odot\oplus}}{t} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}}{1320 \text{ с}} = 2,27 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$



24.3-сурет

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 Брадлей өзі ашқан жұлдыздар аберрациясы құбылысына сүйеніп жарықтың жылдамдығын тапты. Оның есебі бойынша жарық жылдамдығы 303000 км/с-қа тең. Жарықтың жылдамдығын табуға Рёмер мен Брадлей қолданған әдістер *астрономиялық әдістер* деген атау алды. Жарықтың жылдамдығын анықтайтын *зертханалық 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 (24.4-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



24.4-сурет

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: $t = \frac{2l}{c}$, 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 $t = \tau$,

$$c = \frac{2l}{\tau} = \frac{2l}{\frac{1}{2\nu n}} = 4\nu n l.$$

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 негiзделген), Фуко әдiстерi де бар (онда минутына 800 айналым жасайтын айналар пайдаланылды).

Майкельсон тәжірибесі. 1923 жылы Альберт Абрахам Майкельсон айналмалы айна әдісін жетілдіріп жасады.

Жарық жылдамдығы $c = \frac{l}{\tau} = (299796 \pm 4)$. Қазіргі мәліметтер бойынша жарықтың вакуумдағы жылдамдығы $(299\,792\,458 \pm 0,3)$ м/с-ке тең.



1. Жарықтың түзусызықты таралу жылдамдығының мағынасы қандай?
2. Көлеңке деп нені айтады?
3. Жарықтың түзусызықты таралу заңын пайдаланып, көлеңке мен ала көлеңкелерді қалай түсіндіруге болады?
4. Айдағы көлеңкелер айқын да қара, ал жердегі көлеңкелер күңгірт, солғын болатыны неліктен?
5. Рёмер жарық жылдамдығын қалай анықтады?
6. Жарық жылдамдығын Физо қалай анықтады? Оның жасаған экспериментінің күрделілігі неде? Физо тиісті дөңгелекті қандай мақсат үшін қолданды?
7. Жарық жылдамдығын Майкельсонның қалай анықтағанын айтыңдар. Оның экспериментінің артықшылығы неде?

§ 25. 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 заңымен танысасындар.

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.*

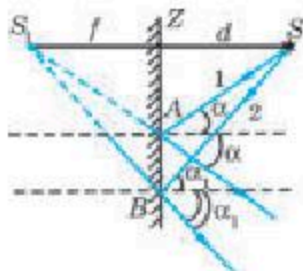
Шағылудың екі түрі бар: *айналық шағылу және шашырау* (диффузиялық).

Айналық шағылу дегеніміз — теп-тегіс беттен шағылу (бұл беттердің бұдырлығы жарық толқынының ұзындығымен салыстырғанда өте аз). Өртүрлі айналық беттерден шағылу қарқыны түрлі болады. Мысалы, күмістелген айна түскен сәуленің 96%-ына дейін шағылдырады. Ал тегіс жылтыраған қара түсті бет жарық энергиясының тек 1%-ын шағылдырады.

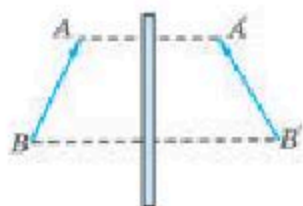
Шашырау немесе *диффузиялық шағылу* бұдыр беттен шағылу (бұл беттердің бұдырлығы өте жоғары) болып табылады. Диффузиялық шағылуда параллель жарық шоқтары өртүрлі бұрыштармен шағылып, барлық бағыт бойынша шашырайды. Жарықты барлық бағытта біркелкі шашырататын бет *тегіс бет* деп аталады. Мұндай беттер 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 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.

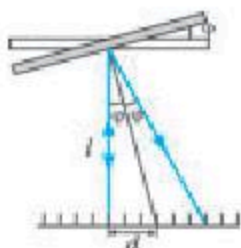
Жазық айна. Айна жазық және сфералық болып бөлінеді. *Жазық айна деп тегіс өңделген және шағылдыратын қабатпен жабылған, қисықтық радиусы шексіздікке ұмтылатын жазық бетті айтады. S жарық көзінің Z жазық айнадағы кескінін алу жолын қарастырайық (25.1-сурет). Айнаға 1- және 2-сәулелерді жібереміз. Олардың екеуі*



25.1-сурет



25.2-сурет



25.3-сурет

де айнадан шағылады. Ал бізге ол S_1 нүктесінен шыққан тәрізді болып көрінеді. Бұл S_1 нүктесі S жарық көзінің кескіні.

Жарық шығарып тұрған S нүктесінен Z айнаға дейінгі қашықтықтың Z айнадан S_1 нүктесіне — (жарықтың кескініне) дейінгі қашықтығына тең екенін, яғни $d = -f$ болатынын дәлелдендер.

$$d = -f$$

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 кескінің кемшілігі — оның айналық симметриялығы (25.2-сурет).

Жазық айнаны айналық есептеу жүргізу үшін де қолданады. Бізге өте аз шаманы өлшеу қажет болсын дейік. Жарық сәулесі айнаға 90° бұрышпен түссін (25.3-сурет). Сонда шағылған сәуле түскен сәуле түзуінің бойымен кері бағытталады. Егер айна φ бұрышына бұрылса, онда сәуле 2φ бұрышқа ауытқиды. Бұл жағдайда $\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{d}{l}$.

Егер айнаны бұру бұрышы өте аз болса, онда айнаны микроскоптың тубусының ішіне орналастырады.

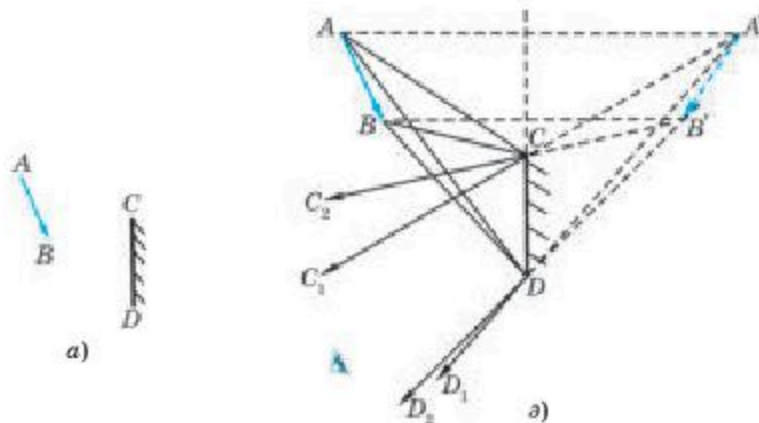


1. Қандай құбылыс жарықтың шағылуы деп аталады? Ол қандай заңдарға бағынады?
2. Жарықтың шағылу заңын қорытып шығарыңдар.
3. Шағылудың қандай түрлерін білесіңдер?
4. Қандай айна жазық айна деп аталады?
5. Жазық айнаның формуласын қорытып шығарыңдар.
6. Жазық айна қандай кескін береді?
7. Жазық айна шын 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?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. AB заты мен CD айнасы суретте көрсетілгендей орналасқан (25.4, a -сурет). AB нәрсенің айнадағы кескінін тұрғызыңдар. Барлық заттың кескінін толық көру үшін оған адам қай жерден қарау керек?

Шешуі. A нүктесінен шыққан сәулелер айнадан шағылғаннан кейін CC_1 және DD_1 (25.4, a -сурет) түзулерімен шектелген жолақ ішінде, ал B 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?



25.4-сурет

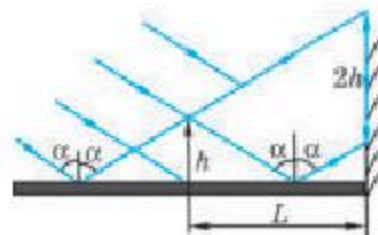
2-есеп. Күн сәулелері горизонталь жатқан айнадан шағылып, вертикаль тұрған экранға түседі. Горизонталь жатқан айнада жазық дене орналасқан. Вертикаль экрандағы көлеңкені сипаттаңдар.

Шешуі. Нәрсенің биіктігін h деп белгілейік, ал нәрседен экранға дейінгі қашықтық L болсын. Жарық экранға α бұрышпен түссін. Екі жағдайды қарастырайық.

1. $L > 2htg\alpha$. Бұл жағдайда экранда табандарымен беттескен түзу және төңкерілген екі көлеңке (25.5-сурет) көрінеді. Көлеңкенің жалпы ұзындығы $2h$. Көлеңке күн сәулелерімен жарықталған және экранның жарық тура түскен, шағылған сәулелермен жарықталған 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 дәлелдеңдер.



25.5-сурет



9-жаттығу

1. Қандай шарт орындалғанда жазық айна шын кескін береді?

Жауабы: жарықтың жинақталған сәулесі түскенде.

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 дәлелдеңдер.

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?

§ 26. Жарықтың сыну құбылысы



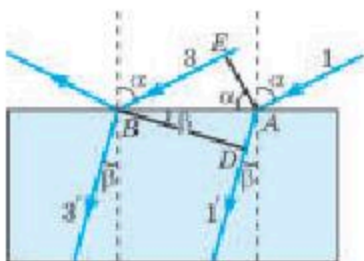
Тірек ұғымдар:

✓ жарықтың сынуы



Бүгінгі сабақта:

- Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың сыну заңын түсіндіресіңдер.



26.1-сурет

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:

1) түскен сәуле 1, сынған сәуле 1' және екі ортаның шеғарасында сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады (26.1-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:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n. \quad (26.1)$$

Бұл заңның екінші бөлімін дәлелдейік. Ол үшін 26.1-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

$$\frac{EB}{AB} = \sin \alpha. \quad (26.2)$$

Ал тікбұрышты үшбұрыш ABD -дан

$$\frac{AD}{AB} = \sin \beta. \quad (26.3)$$

(26.2) теңдігін (26.3) теңдігіне бөліп, $\frac{EB}{AD} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ аламыз. Ал $AD = v_2 \tau$, $EB = v_1 \tau$ болғандықтан,

$$\frac{v_1 \tau}{v_2 \tau} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \text{ немесе } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (26.4)$$

Жарықтың ортада таралу жылдамдығы тұрақты болғандықтан, олардың қатынастары да тұрақты болады, яғни

$$v_1 = \frac{c}{n_1}, v_2 = \frac{c}{n_2}, \frac{v_1}{v_2} = n_{2,1}. \quad (26.5)$$

Бірінші ортада таралатын жарық жылдамдығының екінші ортада таралатын жарық жылдамдығынан неше есе үлкен екенін көрсететін физикалық шаманы салыстырмалы сыну көрсеткіші деп атайды.

Осыны ескеріп, (26.4) формуласын мына түрде жазамыз:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1}. \quad (26.6)$$

Бұл — *жарықтың сыну заңы*. Осы формуланы талдай отырып, жарықтың түсу бұрышының өсуіне қарай сыну бұрышының да өсетінін байқаймыз.

Жарықтың вакуумде таралу жылдамдығының жарықтың берілген ортада таралу жылдамдығынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шаманы берілген ортаның абсолют сыну көрсеткіші деп атайды:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (26.7)$$

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. (26.7) формуладан берілген ортадағы жарықтың таралу жылдамдығын табамыз. Сонда бірінші ортадағы жарықтың жылдамдығы $\frac{c}{n_1} = v_1$, ал екінші ортада $\frac{c}{n_2} = v_2$.

(26.5) формулаға сәйкес

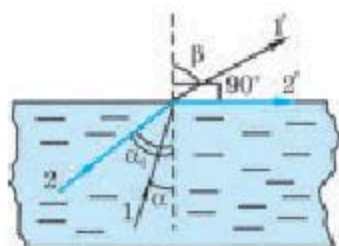
$$n_{2,1} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

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:

$$\begin{aligned} n \cdot \sin \alpha &= \text{const}, \\ n_1 \cdot \sin \alpha &= n_2 \cdot \sin \beta. \end{aligned} \quad (26.8)$$

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.



26.2-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 (26.2-сурет). Бұл жағдайда жарық сәулесі екі ортаның шегарасы бойымен

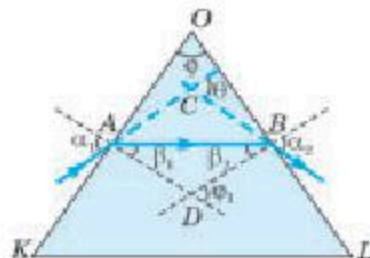
кетеді. Мұндай құбылыс *толық ішкі шағылу* деп аталады. Сәуле α_0 -ден үлкен бұрышпен түссе, жарық сәулесі бірінші (әлдеқайда тығыз) ортадан шықпайды. Жарық сәулесінің сыну заңы толық ішкі шағылу жағдайы үшін төмендегідей жазылады:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \text{ немесе } \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}.$$

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:

$$n_1 = \frac{1}{\sin \alpha_0}.$$

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.* Сөуленің призмада жүрген жолын қарастырайық. 26.3-суретте сөуленің жүру жолы сөуленің шағылу және сыну заңдарына сәйкес орындалған. Призманың сындыратын KO жағына α_1 бұрышпен жарық сәулесі түссін.



26.3-сурет

Сөуле 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. Сөуле призмадан α_2 бұрышпен шығады. Сынған сөуле мен түскен сөуленің жалғасы C нүктесінде қиылысады. Ал D нүктесі призманың сындыру қабырғаларына түсірілген нормальдардың қиылысу нүктесі. φ бұрышы — призманың сындыру бұрышы. θ бұрышын табайық. Бұл сөуленің 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:

$$\theta_{\min} = (n - 1)\varphi.$$

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> $\beta = \frac{\alpha}{2}$ $n = 1,5$ <hr/> $\alpha = ?$	<p><i>Шешуі.</i> $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ сыну заңын пайдаланамыз.</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, $\frac{2\sin \beta \cdot \cos \beta}{\sin \beta} = n$ 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 ала көлеңкесінің радиустарын табыңдар.

Берілгені:

$$H = 2 \text{ м}$$

$$r = 3 \text{ м}$$

$$n = 1,3$$

$$R_1 = ?$$

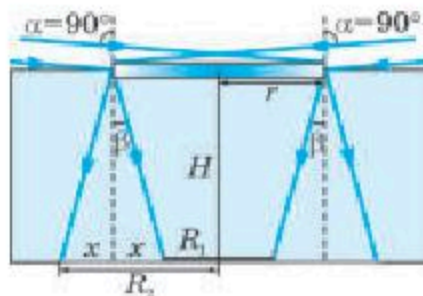
$$R_2 = ?$$

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. Ала көлеңкенің максимум радиусы сәуле 90° бұрышпен түскенде алынады (26.4-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 көлеңке мен ала көлеңкенің радиустары

$$R_1 = r - \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad \text{және} \quad R_2 = r + \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

болады. Сан мөндерін орындарына қойып есептесек, $R_1 = 0,6 \text{ м}$ және $R_2 = 5,4 \text{ м}$ аламыз.



26.4-сурет



10-жаттығу

1. Алмаз бен шынының абсолют сыну көрсеткіштері сөйкесінше 2,42 және 1,5. Егер осы заттардағы сәуленің таралу уақыты бірдей болса, онда осы заттар қалыңдықтарының қатынастары қандай?

Жауабы: 0,62.

2. Күн сәулесінің ауадан шыныға өткен кездегі түсу бұрышы 60° , ал сыну бұрышы 30° . Жарықтың шыныдағы таралу жылдамдығын және ішкі толық шағылу бұрышын табындар.

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: 160° .

4. 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.

§ 27. Линзалар. Жұқа линзаның формуласы



Тірек ұғымдар:

- ✓ линза
- ✓ қалың линза
- ✓ жұқа линза
- ✓ оптикалық күш

Бүгінгі сабақта:

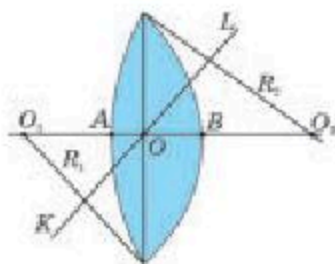
- сфералық айнаның формулаларын есеп шығаруда қолдануды үйренесіңдер.



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.

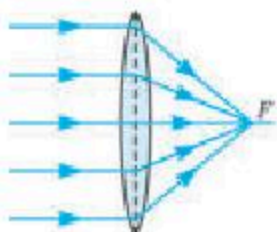
Линзаның негізгі ұғымдары мен сипаттамалары. 27.1-суретте кескінделген линзаны қарастырайық. Мұндағы O_1 мен O_2 — линзаның сфералық беттерінің қисықтық центрлері, R_1 мен R_2 — сфералық беттердің қисықтық радиустары. Линзаның сфералық беттерінің қисықтық центрлері арқылы өтетін түзуді *линзаның бас 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* берді. Егер линзаның қалыңдығы сфералық беттердің қисықтық радиусымен шамалас болса, онда оны *қалың линза*, ал әлдеқайда кіші болса, *жұқа линза* деп аталады.

Линза беттерінің түріне қарай линзалар *дөңес* (жазық дөңес, екіжақты дөңес және ойыс-дөңес) және *ойыс* (жазық ойыс, екіжақты ойыс және дөңес-ойыс) болып бөлінеді.

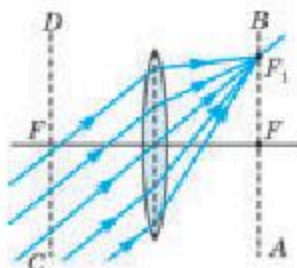


27.1-сурет

Егер жинағыш линзаның бас оптикалық осіне параллель жарық сәулелерін түсірсек, олар бір нүктеде, линзаның бас F фокусында жиналады (27.2-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



27.2-сурет



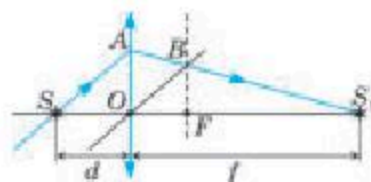
27.3-сурет

жиналады. Бұл нүкте линзаның FF_1 фокустық жазықтығында жатады (27.3-сурет). Линзаның фокустық жазықтығы деп линзаның бас фокусы арқылы линзаның бас осіне перпендикуляр жүргізілген жазықтығы айтады. Линзада фокустық жазықтық екеу (DC және AB), ал қосымша фокустар саны шексіз.

Тұрмыста, негізінен, жұқа линзалар қолданылады. Ыңғайлы болу үшін жинағыш линзаны “ \uparrow ” белгісімен, ал шашыратқыш жұқа линзаны “ \downarrow ” белгісімен белгілеу енгізілген.

Жұқа линзаның формуласы. Жұқа линзаның формуласын қорытып шығарайық.

27.4-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,



27.4-сурет

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 өрпімен, линзаның оптикалық центрінен нәрсенің кескініне дейінгі OS_1 қашықтықты f өрпімен, ал линзаның фокустық арақашықтығы OF -ты F өрпімен белгілеп, мынадай 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,

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}. \tag{27.1}$$

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:*

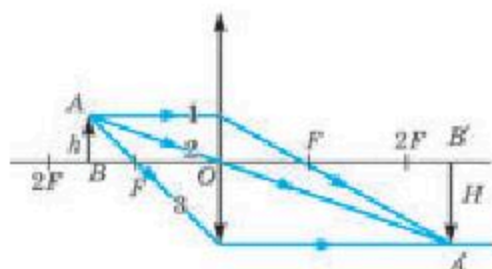
$$D = \frac{1}{F} \tag{27.2}$$

немесе

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

Линзаның оптикалық күші диоптриямен өлшенеді:

$$1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}.$$



27.5-сурет

Линзаларда кескіндерді тұрғызу. Линзалардағы кескіндерді тұрғызу үшін негізгі үш сәулені пайдаланады (27.5-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 кескінің сызықтық шамасының нәрсенің сызықтық шамасына қатынасымен анықталатын физикалық шаманы айтады:

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{H}{h}. \quad (27.3)$$

27.5-суреттен

$$\Gamma = \frac{f}{d} \quad (27.4)$$

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.

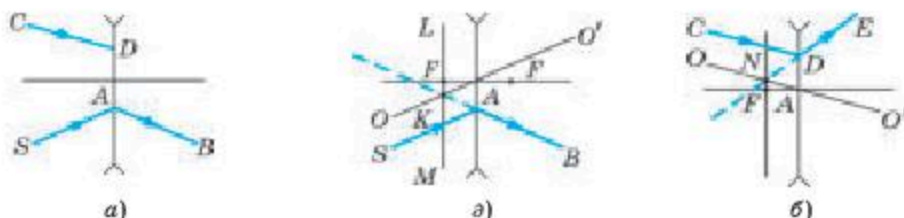


1. Линза дегенді қалай түсінесіңдер? Линзаның қандай түрлерін білесіңдер?
2. Шашыратқыш линзаны жинағыш линзадан қалай ажыратады? Оларды ажыратудың бірнеше әдістерін ұсыныңдар.
3. Линзаның оптикалық центрі, фокусы дегеніміз не? Линзаның қандай осі бас оптикалық ось, қосымша ось деп аталады?
4. Жинағыш 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 орналасу, 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. Нәрсе а) линзаның бас фокуссында; 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. Линзаның оптикалық күші дегеніміз не?
13. Линзаның сызықтық ұлғайтуы деген не? "Линзаның ұлғайтуы 0,25-ке тең" деген сөзді қалай түсінесіңдер?
14. Егер линзаның жартысын күңгірт қалқамен жауып қойса, линзада заттың толық кескіні алына ма?
15. Параллель жарық шоғы екі жинағыш линзадан шыққанда параллель қалуы үшін оларды қалай орналастыру керек? Суретін салыңдар.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. 27.6, *a*-суретте шашыратқыш линзадан сынғаннан кейінгі сәуленің *SA* жолы көрсетілген. Салу арқылы линзалардың бас фокустарының орнын табыңдар. *CD* сәулесінің әрі қарай жүретін жолын көрсетіңдер.

Шешуі. *SA* сәулесіне параллель қосымша *OO'* осін жүргіземіз (27.6, *a*-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 (27.6, *b*-сурет). *OO₁* 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.



27.6-сурет

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 күшінің модулі осындай болатын жинағыш линзамен ауыстырсақ, линзаның ұлғайтуы қандай болады (27.7-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:

$$-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_1}. \quad (27.5)$$

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



27.7-сурет

мен оптикалық центрінің арасында орналасқан. Шашыратқыш линзаны жинағыш линзамен ауыстырғаннан кейін кескінді f_2 қашықтықта аламыз (27.7, б-сурет), сондықтан линзаның ұлғайтуы өзгереді. Бұл жағдай үшін жұқа линзаның формуласы былай жазылады:

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_2}. \quad (27.6)$$

Қарастырып отырған жағдайда жинағыш линза жорамал ($d < F$), үлкейген, тура кескін беретін болғандықтан, f_2 -нің алдында “-” минус таңбасы тұр. Линзаның ұлғайтуын былай табамыз:

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{d} \text{ (бірінші жағдайда)}, \Gamma_2 = \frac{f_2}{d} \text{ (екінші жағдай үшін)}. \text{ Осыдан}$$

$$f_1 = \Gamma_1 d, \quad (27.7)$$

$$f_2 = \Gamma_2 d \quad (27.8)$$

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

$$\frac{2}{d} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}. \quad (27.9)$$

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 (27.7, а, б-суреттер).

Жауабы: $\Gamma_2 = 2$.



13-жаттығу

1. Дөңес линза желімделген екі сағат өйнегінен тұрады. Осы линза судағы жарық шоғына қалай әсер етеді? Жауабын суреттің көмегімен түсіндіріңдер.

Жауабы: шашыратады.

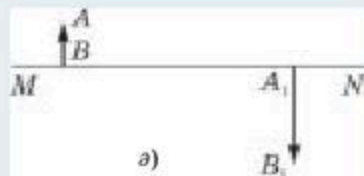
2. Жинағыш линзаның көмегімен дененің жалған кескінін қалай алады? Жауабын линзадағы сәулелердің жолын салу арқылы түсіндіріңдер.

Жауабы: қоршаған ортаға байланысты.

3. Қай кезде жинағыш линзаның көмегімен алынған кескінінің биіктігі дененің биіктігіне тең болады? Жауабын линзадағы сәулелер жолын салу арқылы түсіндіріңдер.

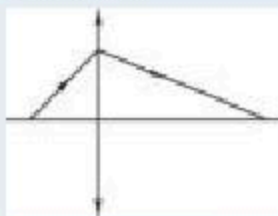
Жауабы: дене линзадан $2F$ қашықтықта болғанда.

4. Линзаның MN бас оптикалық осі, AB нәрсе және оның A_1B_1 кескіні берілген (27.8, а, ә-суреттер). Линзаның центрін және оның фокус аралығын анықтаңдар.

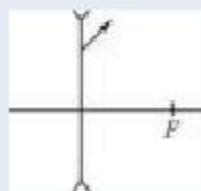


27.8-сурет

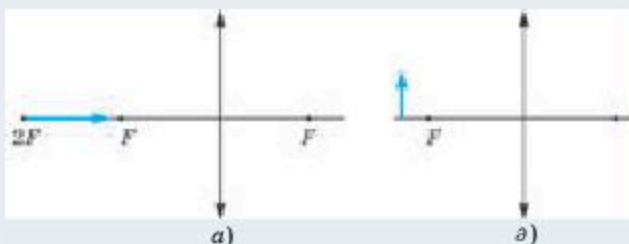
5. Линзаның негізгі оптикалық осі және сәулелердің біреуінің жолы берілген (27.9-сурет). Линзаның фокусын табыңдар.
6. 27.10-суретте фокус аралығы F болатын линзадан өткен сәуленің жолы берілген. Сәуленің линзаға дейінгі жолын салыңдар.
7. Берілген дененің линзадағы кескінін салыңдар (27.11, а, ә-суреттер). Бұл қандай кескіні?



27.9-сурет

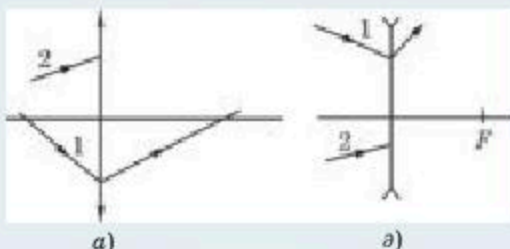


27.10-сурет



27.11-сурет

8. 27.12, а, б-суреттерде линзадағы 1-сәуленің жолы көрсетілген. Салу арқылы 2-сәуленің жолын табыңдар.



27.12-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 табыңдар.

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 табыңдар.

Жауабы: 0,67 см.

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, $\Gamma = 4$;
б) 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 табыңдар.

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.

§ 28. 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) экранда 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 нысан) 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 жарықтылығы күшті объективтің көмегімен экранға түседі. Мұндай аспап эпископ деп аталады.

Фотоаппарат. *Фотоаппарат дегеніміз — линзалар жүйесінің көмегімен жарық сезгіш қабыршақта сақталатын нәрсенің кескіні алынатын оптикалық қондырғы болып табылады. Фотоаппараттың негізгі бөліктері: объектив, мөлдір емес жарық өткізбейтін камера, фотоқабыршақ (28.1-сурет). Объектив дегеніміз — кескінді фотоқабыршаққа проекциялайтын линзалардың күрделі*

жүйесі. Объективтің көмегімен сфералық және хроматтық аберрациялар, астигматизм және басқа да линзаларға тән оптикалық ақауларды түзетеді. Фотоқабыршақтың жазықтығында нәрсенің шын, кішірейтілген, төңкерілген кескіні алынады.

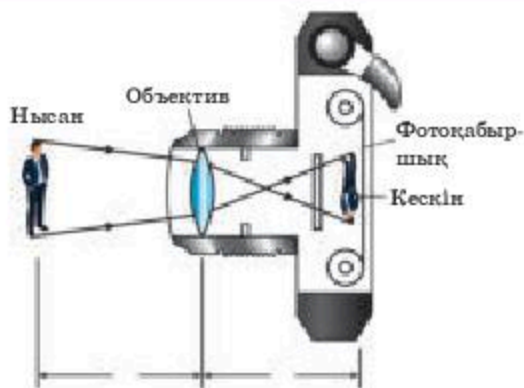
Жарық энергиясының әсерінен фотоқабыршақта бромдық күміс ыдырайды да, негатив пайда болады. Суретке түсіру кезінде нәрсені қос фокус аралығынан әрі қояды, сонда оның кескіні фокус және қос фокус аралығында алынады. Өртүрлі нәрселердің объективке дейінгі қашықтықтары түрліше болатындықтан, анық кескін 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 объективтің диаметрінің оның фокус аралығына қатынасының квадратына тең шама. Объективтің жұмыс диаметрін диафрагманың көмегімен өзгертуге болады. Диафрагманың саңылауын кішірейте отырып, фотоаппараттан түрліше қашықтықта орналасқан нүктелердің 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.

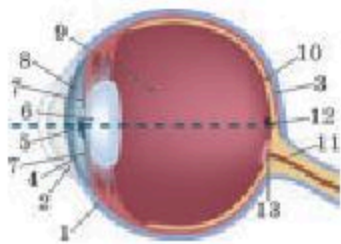
Көз. Көз — “тірі” оптикалық аспап, ол адамға да, жан-жануарларға да қоршаған әлемді танып білуге мүмкіндік береді. Көз алмасының тор қабатында көз нәрсенің кішірейтілген, шын, төңкерілген кескінін береді. Көздің құрылымы 28.2-суретте келтірілген.

1. *Склера* — көз алмасының сыртқы қабықшасы.

2. *Қасаң қабық* — склераның алдыңғы мөлдір бөлігі (оның сыну көрсеткіші $n = 1,38$).



28.1-сурет



28.2-сурет

3. *Тамырлар қабығы* — көзді қоректендіретін қан тамырларынан тұрады. Ол склераға ішкі жағынан жанасып жатыр.

4. *Түсті қабық* — тамырлар қабығының алдыңғы бөлігі. Адам көзінің түсті қабығының түсі өртүрлі 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 бұршағы қисықтығы оны барлық жағынан қамтып тұрған бұлшық еттердің әсерінен өзгере алады, ал кескін торламаға проекцияланады. Нәтижесінде өртүрлі 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 қисықтың 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 — жарық сезгіш 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 абберрацияларды жоятын қабілетке ие. Олардың біріншісі көз бұршағының артқы және алдыңғы фокус аралықтарының бірдей болмауынан, ал екіншісі көз

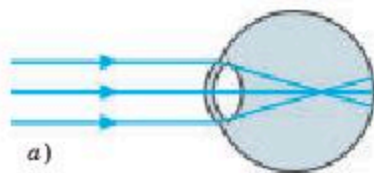
құрылымының біртекті еместігінен (сыну көрсеткіші центрде 1,41, ал шеттерінде 1,38) жойылады.

Өзінің құрылымы бойынша көз фотоаппаратқа ұқсас. Объектив рөлін шыны тәріздес денемен бірге көз бұрышағы атқарады. Анық кескінді алу аккомодация арқылы іске асырылады. Қарашық өлшемі өзгеріп тұратын диафрагманың рөлін атқарады.

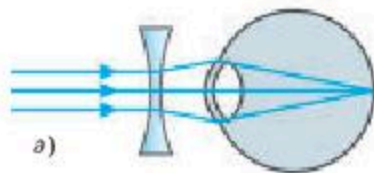
Көзілдірік. Көзі қалыпты көретін адамда (ең жақсы көру қашықтығы 25 см) нәрсенің кескіні көздің торламасына түседі. Кейбір адамдардың көздері күш түсірмей қараған кезде кескінді торламаға емес, оның алдына түсіреді (28.3, а-сурет). Бұл — *жақыннан көргіштік* деп аталатын ақау. Жақыннан көргіш адам белгілі бір қашықтықтан бастап жақын орналасқан денелерді жақсы, ал алыстағы нәрселерді бұлыңғыр көреді. Осы ақауды түзету үшін шашыратқыш линзалары бар (минустық деп аталатын) көзілдірік киеді (28.3, ә-сурет).

Егер көз торламаның сыртында жататын кескін берсе, онда ақау *алыстан көргіштік* деп аталады (28.4, а-сурет). Мұндай ақауы бар адамдар алыстағы денелерді көргенімен, 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 (28.4, а, ә-суреттер).

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: $\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0}$.

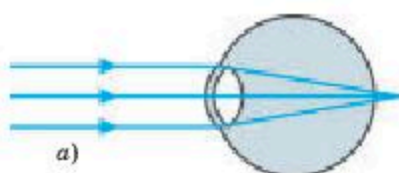


а)

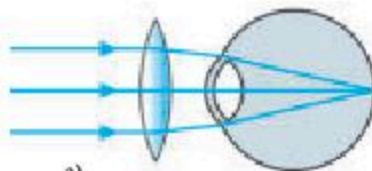


ә)

28.3-сурет

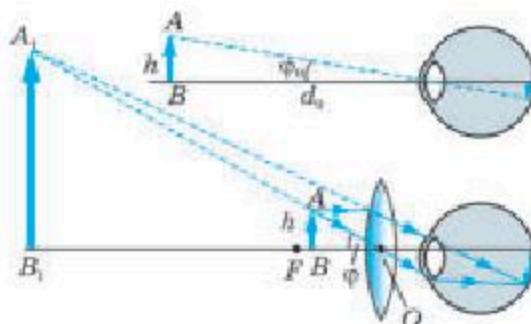


а)



ә)

28.4-сурет



28.5-сурет

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.

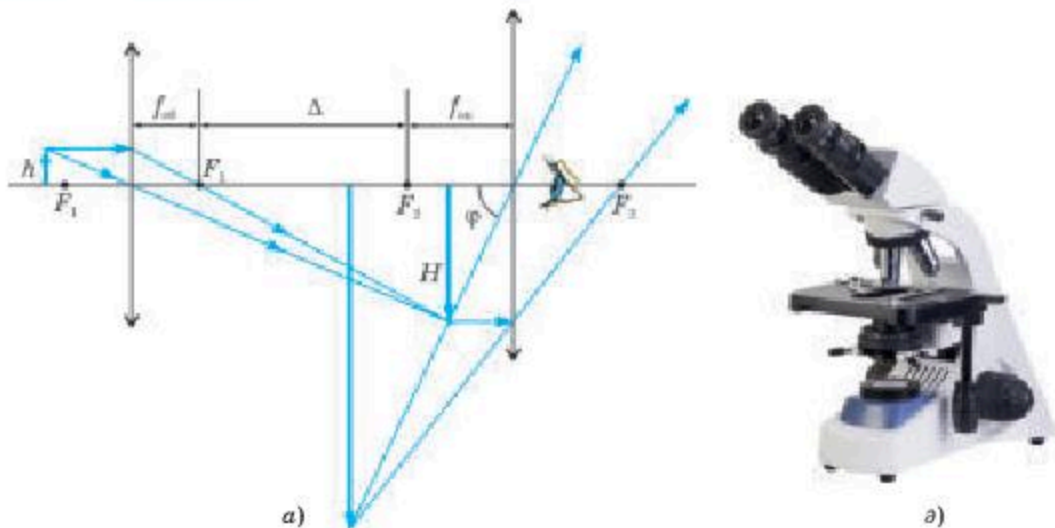
Ұсақ денелерді көруге арналған ең қарапайым аспап қысқа фокусты линза болып табылады ($F \approx 10$ см). Бұл линзаны *лупа* деп атайды. Лупаны көзге жақын ұстайды, ал нәрсені оның фокус жазықтығында орналастырады (28.5-сурет). Сонда көзге күш түсірмей-ақ торламада кескін пайда болады. Лупа арқылы қарағанда дене $\varphi = \frac{h}{F}$ бұрышпен көрінеді. Лупаның бұрыштық ұлғайтуын табайық:

$$\Gamma = \frac{h / F}{h / d_0} = \frac{d_0}{F}. \quad (28.1)$$

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 (28.6, а, ә-суреттерде микроскоптағы сәулелердің 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.

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.



28.6-сурет

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

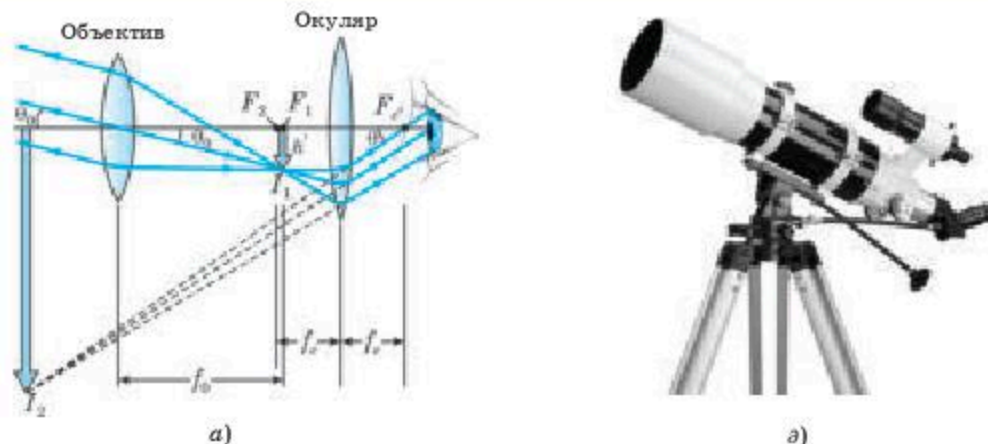
$$\Gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{\frac{H}{F_2}}{\frac{h}{d_0}} = \frac{H d_0}{F_2 h} \quad (28.2)$$

формуласымен анықталады, мұндағы h — нәрсенің сызықтық өлшемі, H — объектив беретін кескіннің сызықтық өлшемі, F_2 — окулярдың фокустық арақашықтығы, d_0 — ең жақсы көру қашықтығы.

Бірінші кескіннен объективтің фокусына дейінгі қашықтықтың шамамен объектив пен окулярдың фокустарының аралығына тең болатынынан бірінші кескіннің 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 (28.1) формулаға қоямыз:

$$\Gamma = \frac{d_0 \Delta}{F_1 \cdot F_2} \quad (28.3)$$

Осы күнгі оптикалық микроскоптар 2-3 мың есе ұлғайтады. Өлшемі кіші нәрселерді көруге мүмкіндік беретін оптикалық аспаптармен қатар



28.7-сурет

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 абберрация 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 шамалас нәрселерді (рефрактор-телескоптағы сәулелер жолы 28.7, а-суретте, ал оның сыртқы түрі 28.7, б-суретте көрсетілген) ажыратуға болады.



1. Лупаны қандай мақсатта қолданады?
2. Көзді неге оптикалық жүйе ретінде қарастырамыз?
3. Фотосурет жасаған кезде нәрсені неге екі фокустық линзаның арасына орналастырады?

6-тараудың ең маңыздысы

Жарықтың таралуын зерттейтін геометриялық оптикада 4 заң бар:

- **жарықтың түзу сызықты таралу заңы:** жарық сәулесі біртекті ортада түзу сызық бойымен таралады;
- **жарықтың тәуелсіз 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 бұрышының синусының сыну бұрышының синусына қатынасы берілген екі орта үшін тұрақты шама 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:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

IV бөлім. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

7-тарау. АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

§ 29. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы



Тірек ұғымдар:

- ✓ корпускула
- ✓ электромагниттік сәулелену қасиеттерінің екі жақтылығы
- ✓ флуктуациялар

Бүгінгі сабақта:

- электромагниттік сәулеленудің табиғатының екі жақтылық қасиеттерімен танысасындар.



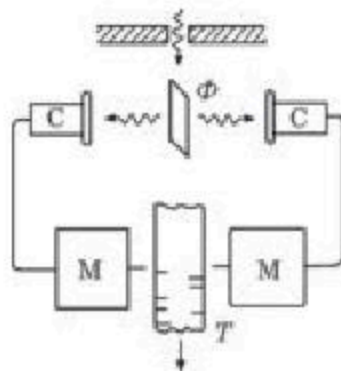
Жарықтың толқындық табиғаты. Жарық деген не? Бұл сұраққа ғалымдар көне заманнан жауап іздеп келді. XIX ғасырға дейін жарық тез қозғалатын бөлшектер — корпускулалар ағыны ретінде қарастырылды. Бұл көзқарасты И. Ньютон да ұстанды. Бірақ XIX ғасырда жарықтың толқындық қасиеттері айқын білінетін оның интерференциясы, дифракциясы және т.б. құбылыстар ашылды. Бұл құбылыстарды біз алдыңғы тарауларда қарастырып өттік. Юнг пен Френель жұмыстарының нәтижесі екі бөсекелес корпускулалық және толқындық теорияның біреуі, яғни толқындық теорияның жеңіп шығуына әкелді. Бұдан соң Максвелл еңбектерінің қорытындысы жарықтың электромагниттік толқын екенін түпкілікті дәлелдеп берді.

Жарықтың корпускулалық табиғаты. Бірақ XIX ғасырдың аяғы мен XX ғасырдың басында ашылған жылулық сәулелену, фотоэффект құбылыстарын, сызықтық спектрлердің заңдылықтарын зерттеу нәтижелері жарықтың фотондар ағыны ретінде таралатынын көрсетті. Сонымен қатар жарықтың фотондар ағыны ретінде таралатыны және сәулеленудің затпен әсерлесуі кванттық сипатта жүретіні тәжірибе жүзінде тікелей дәлелденді. Осы тәжірибелердің бір-екеуін қарастырайық.

Бөте тәжірибесі. Егер жарықтіркегіш құралмен әсерлесетін бөлшектер бір-бірінен тәуелсіз фотондар ағынынан тұратын болса, онда өте әлсіз жарық ағындарын тіркегенде интенсивтіктің *флуктуациялары* (лат. “fluctuatio” — *тербеліс*), яғни өте аз ауытқулары бақылануы тиіс. Мұндай ауытқулар әр секунд сайын құралға түсетін N фотондар санының орташа мәнінен кездейсоқ ауытқулардың нәтижесінде байқалады. Егер N саны өте үлкен болса, ауытқу елеусіз аз, ал N саны кіші болғанда мұндай ауытқуларды өлшеуге болады. Осындай

тәжірибелердің алғашқысын 1924 жылы неміс физигі В. Боте жасады (29.1-сурет).

Тәжірибе жүргізілген қондырғыда газразрядты екі C санағыштың арасына Φ жұқа металл фольга орналастырылды. Фольгаға қырынан қысқа толқынды рентген сәулелерінің өте әлсіз жіңішке шоғы түсіріледі. Түскен сәулелену ағынының әсерінен фольганың өзі интенсивтігі өте аз рентген сәулелерін шығара бастайды (рентгендік флуоресценция), яғни фольга шығаратын фотондардың саны болымсыз аз. Рентген сәулелері C санағыштарға түскенде арнаулы M механизмдер іске қосылады. Бұл механизмдер бірқалыпты жылжып отыратын T таспаның екі шетіне белгі соғып тұрады. Егер фольгадан шығатын рентген сәулесі толқын түрінде үздіксіз, жан-жаққа бірдей таралса, таспаның екі жағына түсетін белгілер симметриялы болып шығар еді. Ал тәжірибеде бұл белгілер ретсіз, қалай болса солай орналасқан болып шықты. Мұны тек фотондар фольгадан бір-біріне тәуелсіз, үздікті түрде барлық бағытта ұшып шығуының нәтижесі деп түсіндіруге болады.



29.1-сурет. Боте тәжірибесі

Вавилов тәжірибелері. Бұл тәжірибелерде өте әлсіз, интенсивтігі адам көзінің жарықты сезіну шегімен сәйкес келетін жарық көздерінің бір жанып, бір сөніп жыпылықтап тұруы бақыланды. Егер адам біраз уақыт қараңғыда отырса, ол тек интенсивтігі белгілі бір шектік мәннен жоғары жарықты көре алады, одан әлсізді көрмейді. Мысалы, толқын ұзындығы 500 нм жарықты көре алу үшін адам көзіне секунд сайын кем дегенде 200—400 фотон түсуі керек. Сонда жаңағы қараңғыда жыпылықтап тұрған әлсіз жарқылдың кейбіреулерін бақылаушы адам көріп, кейбіреулерін көре алмаған. Бұдан әр жарқыл кезінде интенсивтік орташа мәнінен ауытқып отырған деген қорытынды жасауға болады, яғни ұшып шыққан фотондар саны кейде көздің көру шегіне жетпей қалып отырған.

Жарықтың үздікті шығатынын дәлелдейтін басқа да тәжірибелер бар екенін айта кетейік.

Жарық табиғатының екіжақтылығы. Сонымен, XIX ғасырдың аяғы мен XX ғасырдың басында ашылған құбылыстар жарықтың фотондар ағыны ретінде таралатынын көрсетті. Сондықтан жарық деген не? Толқын ба әлде бөлшек пе деген сұрақ қайта туындады. Физик ғалымдар бірте-бірте сұрақты бұлай қоюдың өзі дұрыс емес екенін түсінді.

Жарықта әрі үздіксіз электромагниттік толқындардың, әрі дискретті фотондардың бөлшектік қасиеттері бар. Абсолют қара дененің сәулеленуін және жарық қысымының флуктуацияларын зерт-

тей отырып, жарық қасиеттерінің екіжақтылығын алғаш түсінген Эйнштейн болды. Ол осы айтылған ауытқуларды есептейтін формуланы қорытып шығарды. Бұл формула екі қосылғыштан тұрады, бірінші қосылғыш — “кванттық мүше” жарықты фотондардың ағыны ретінде сипаттаса, екінші қосылғыш — “толқындық мүше” таралатын электромагниттік толқындағы флукуацияларды сипаттайды. Жоғары жиілікте “кванттық мүшенің”, төменгі жиілікте “толқындық мүшенің” үлесі басым болады. Белгілі оптикалық құбылыстардың заңдылықтарын саралай отырып, толқын ұзындығы азайған сайын (немесе жиілік артқан сайын) жарықтың кванттық қасиеттері айқын біліне бастайтынына (және керісінше) көз жеткізуге болады.

Егер жарықтың таралу процесіне статистикалық тәсіл тұрғысынан қарасақ, оның толқындық-корпускулалық екіжақтылық қасиеттері түсінікті бола бастайды. Кванттық көзқарас бойынша, жарық — энергиясы, импульсы және массасы бар бөлшектердің — фотондардың ағыны. Жарық қандай да бір оптикалық жүйе арқылы (мысалы, дифракциялық тордан) өткенде фотондар онымен әсерлесіп, кеңістікте қайта орын алмастырып, таралады. Соның нәтижесінде, мысалы, дифракциялық көрініс бақыланады. Экранның берілген нүктесінің E жарықталынуы уақыт бірлігінде осы нүктеге түскен барлық фотондар энергияларының қосындысына, яғни n_0 фотондар санына пропорционал. Сонымен, E және n_0 шамалары экранның берілген нүктесіне фотондардың түсу ықтималдылығына пропорционал. Толқындық көзқарас бойынша E жарықталыну интенсивтікке, ал оның өзі амплитуданың квадратына пропорционал, яғни $E \sim A^2$. Осы екі көзқарасты салыстыра отырып, мынадай қорытындыға келеміз: *кеңістіктің қандай да бір нүктесіндегі жарық толқынының амплитудасының квадраты осы нүктеге фотонның келіп түсу ықтималдылығын анықтайды.*

Сонымен, жарықтың корпускулалық және толқындық қасиеттері бірін-бірі жоққа шығармайды, керісінше, олар бір-бірін толықтырады. Сәулеленудің корпускулалық қасиеттері: оның энергиясы, импульсі және массасы үзікті бөлшектерде — фотондарда жинақталуымен байланысты болса, толқындық қасиеттері осы фотондардың кеңістікте орналасуының статистикалық заңдылықтарымен байланысты. Тәжірибелер толқындық қасиет тек фотондардың ағынына ғана емес, жеке фотонға да тән екенін көрсетті. Фотон дифракциялық тордан өткен соң экранның қай нүктесіне келіп түсетінін дәл анықтап айту мүмкін емес, тек әр фотонның экранның қандай да бір нүктесіне түсу ықтималдығын ғана есептеуге болады. Осы тақырыпта айтылғандардан фотондар Ньютонның корпускулаларынан мүлде өзгеше бөлшектер екенін көреміз. Ньютон корпускулалары кәдімгі классикалық бөлшектердің қасиетіне ие болса, фотондар әрі бөлшектің, әрі толқынның қасиетіне ие.



1. Жарықтың табиғатына деген көзқарастың дамуы туралы айтып беріңдер.
- *2. Жарықтың толқындық қасиеті қандай құбылыстарда айқын байқалады? Ол құбылыстар туралы айтып беріңдер.
- *3. Жарықтың кванттық қасиеттері қандай құбылыстарда айқын байқалады? Олар туралы айтып беріңдер.
- *4. Боте тәжірибесін баяндап беріңдер.
- *5. Вавилов тәжірибесін баяндап беріңдер.
- *6. Жарықтың корпускулалық-толқындық қасиеттерінің біртұтастығын негіздеңдер.
- *7. Не себепті кванттық теория бойынша жарықтың интенсивтігі өте төмен болғанда флукуациялар байқалуы тиіс?

§30. Спектрлер. Спектрлік анализ, спектрлік ашараттар



Тірек ұғымдар:

- ✓ шығару спектрі
- ✓ жұтылу спектрі
- ✓ тұтас спектр
- ✓ сызықтық спектр
- ✓ жолақ спектр
- ✓ спектрлік анализ
- ✓ спектрлік аппараттар

Бүгінгі сабақта:

- шығару және жұтылу спектрлерімен танысыңдар, спектрлік аппараттардың жұмыс істеу принципін және оларды қолдану аясын саралап оқисыңдар.

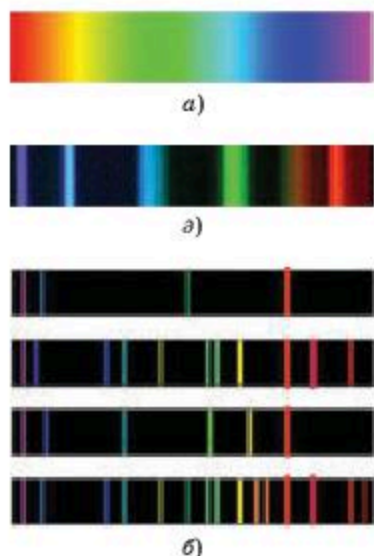
Шығару сызықтық спектрлерінің ашылуы және олардың негізгі заңдылықтарын зерттеу атомдық физиканың туындап, өрі қарай дамуына әсер еткен маңызды эксперименталдық фактілердің бірі десе болады. Спектрлердің түрлерін және олардың негізгі заңдылықтарын қарастырайық.

Шығару спектрлері. Зат шығарған сәуленің құрамында кездесетін барлық толқын ұзындықтарының жиынтығын *шығару спектрі* деп атайды. Шығару спектрлерінің үш түрі бар:

- 1) тұтас (үздіксіз) спектр;
- 2) жолақ (молекулалық) спектр;
- 3) сызықтық (атомдық) спектр.

Тұтас спектрді қызған қатты денелер мен сұйықтар және үлкен қысымдағы қызған газдар береді. Бұл спектрде жарық түстері бір-біріне біртіндеп, үздіксіз ауысады. Түстер арасында айқын шегара жоқ (30.1, а-сурет).

Жолақ спектрді молекулалары бір-бірімен әлсіз байланысқан, қатты қызған заттар береді. Бұл спектр бір шеті айқын, екінші шеті біртіндеп көмескіленіп барып бітетін жолақтардан тұрады (30.1, ә-сурет).



30.1-сурет. Шығару спектрлері

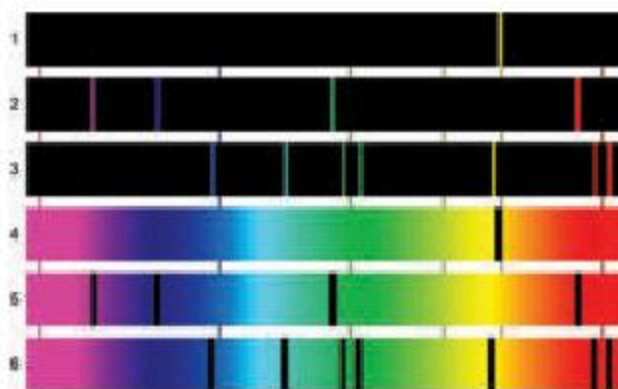
а) тұтас спектр; ә) жолақ спектр; б) сызықтық спектрлер

Сызықтық спектр — бұл қара фонда жеке жеке орналасқан, жарқыраған жіңішке айқын сызықтардан тұратын оптикалық спектр (30.1, б-сурет). Сызықтық спектрді қатты қыздырылған, сиретілген газдар немесе кез келген химиялық элементтің қызған булары шығарады.

Жұтылу спектрлері. Берілген зат жұтатын жарықтың құрамына кіретін барлық толқын ұзындықтарының жиынтығы *жұтылу спектрі* деп аталады. Егер тұтас спектр беретін сәулеленуді қандай да бір заттың буы арқылы өткізіп, содан кейін оны спектрге жіктесе, тұтас спектрдің үстінде қара сызықтар пайда болғанын көреміз және бұл қара сызықтар дәл сол заттың қызған буы шығаратын жарық сызықтардың орнында пайда болады. Бұл — *жұтылу спектрі*. 30.2-суретте: алғашқы үш спектр — натрий, сутек және гелий буларының сызықтық

спектрлері, ал кейінгі үшеуі — осы заттардың жұтылу спектрлері.

Зерттеулер әр газдың тек өзіне ғана тән сызықтық спектрі болатынын көрсетті. Спектрдің әрбір сызығына қандай да бір нақты жиілік (толқын ұзындығы) сәйкес келеді. Олай болса, сиретілген газдар тек жиіліктері (толқын ұзындықтары) белгілі бір нақты мәндерге тең электромагниттік толқындар ғана шығарады. Неге бұлай? Не себепті берілген газдың спектрі жиіліктердің қандай да бір $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots$ дискретті мәндерінің жиынтығынан тұрады? Бұл мәндер немен анықталады? Бұл маңызды сұрақтарға жауапты атомдардың ішкі құрылымынан іздеу керек. Себебі кез келген сиретілген газ молекулалары жеке атомдардан



30.2-сурет. Натрий, сутек және гелий буларының шығару және жұтылу спектрлері

тұрады, сондықтан сәулелену атомдардың ішінде жүретін процестерге байланысты болуы керек.

Барлық сызықтық спектрлердің ішіндегі ең қарапайымы — сутектің спектрі. Спектрдің көрінетін бөлігі небәрі төрт сызықтан тұрады. Сондықтан тәжірибе жүзінде ең толық зерттелгені — осы сутек спектрі. Тәжірибелердің нәтижелерін саралай отырып, швейцариялық ғалым Бальмер 1885 жылы сутек спектрінің көрінетін бөлігіндегі барлық сызықтардың жиілігін анықтайтын формуланы тапты:

$$\nu = R' \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ немесе } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (30.1)$$

мұндағы $R' = 3,29 \cdot 10^{15}$ Гц; $R = 1,0968 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ — Ридберг тұрақтылары. Бұл — *Бальмер формуласы*.

Бальмер формуласымен анықталатын спектрлік сызықтар бір-бірінен тек n санының мәнімен ерекшеленеді және осы барлық сызықтардың жиынтығы *Бальмер сериясы* деп аталады.

Бұдан бөлек, сутек спектрінің инфрақызыл және ультракүлгін бөліктерінде тағы бірнеше сериялар бар. Бұл сериялардағы сызықтардың жиіліктерін де Бальмер формуласына ұқсас өрнектермен анықтауға болады. Барлық сериялар үшін жазылған өрнектерді біріктіре отырып, Бальмер мынадай жалпы формула жазды:

$$\nu = R' \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ немесе } \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (30.2)$$

Бұл — Бальмердің жалпы формуласы, мұндағы $m = 1, 2, 3, \dots$, $n = (m + 1), (m + 2), (m + 3), \dots$.

Кейінірек, тек сутек қана емес, кез келген заттың атомдарының сәулелену спектрінің жиіліктерін (30.2) формуласы түрінде, яғни қандай да бір екі санның айырымы түрінде жазуға болатыны анықталды.

Егер $T_1(m) = \frac{R}{m^2}$; $T_2(n) = \frac{R}{n^2}$ деп белгілесек, Бальмер формуласын

$$\nu = T_1(m) - T_2(n) \quad (30.3)$$

түрінде жазуға болады, мұндағы $T_1(m)$ және $T_2(n)$ — m және n сандарының функциялары *термдер* деп аталады.

Сонымен, кез келген зат атомдарының жиіліктерін екі терминнің айырымы түрінде өрнектеуге болады. Бұдан шығатын қорытынды: барлық заттың атомдарының құрылымдарында ортақ заңдылықтар бар.

Бальмердің ашқан жаңалығы атом құрылымы туралы ілімнің дамуына зор үлес қосты. Зат атомдарының сәулелену спектрлерінің заңдылықтары толығымен тек кванттық теория тұрғысынан түсіндірілді.



Густав Роберт
Кирхгоф
(1824—1887)



Роберт Вильгельм
Бунзен
(1811—1899)

Спектрлік анализ. Әр элементтің басқаларға ұқсамайтын, тек өзіне ғана тән сызықтардан тұратын спектрі болатыны спектрлік анализ тәсілін ойлап тауып, оны әрі қарай дамытуға мүмкіндік тудырды.

Спектрлік анализ — бұл заттың шығару немесе жұтылу спектрін зерттей отырып, оның химиялық құрамын анықтайтын тәсіл. Осы тәсілдің негізін салған (1859 жыл) неміс ғалымдары Г. Р. Кирхгоф пен Р. В. Бунзен болатын. Жоғарыда айтылғандай, әрбір газдың шығару спектрі басқа ешқандай элементтің спектріне ұқсамайды. Оның құрамындағы жарқыраған айқын сызықтардың орны да, түсі де өзгермейді. Әр сызықтың түсі қандай да бір толқын ұзындығының нақты мәнiне сәйкес келеді. Ғалымдар әр газдың спектріндегі сызықтардың тізімі мен жарықтығы туралы мөлiмiттер көрсетiлген кестелер жасаған.

Осындай кестенің көмегімен зерттеліп отырған газдың (заттың буының) спектрін зерттей отырып, оның элементтік құрамын анықтауға болады. Спектрлік анализ тәсілімен ХІХ ғасырдың екінші жартысында Күннің құрамын зерттеуге мүмкіндік туды. Күн спектрінің құрамынан 1868 жылы бұрын белгісіз бір элементтің сызықтары анықталды. Осылайша гелий (грек. helios — *Күн*) ашылған болатын. Бұдан соң 27 жылдан кейін осы газдың аздаған мөлшері Жер атмосферасының құрамынан да табылды. Қазіргі кезде гелий бүкіл ғаламда таралған мөлшері жағынан алғанда екінші орында тұрған элемент екені белгілі.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

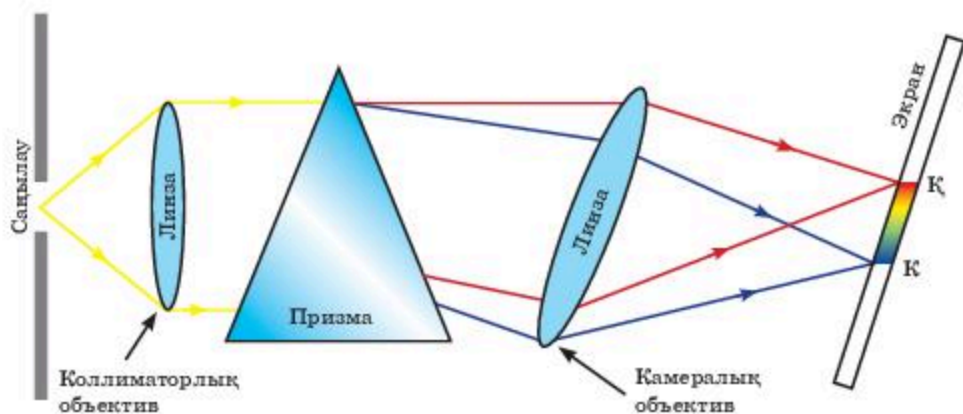
“Спектр” терминін алғаш рет 1671—1672 жылдары Ньютон енгізді. Ол 1666 жылы ақ жарық жолағы үшбұрышты шыны призмадан өткенде кемпіркөсақ сияқты түрлі түсті жолақтарға жіктелетінін бақылап көрді. Осы түрлі түсті жолақтарды ол “спектр” деп атады. Ньютон өзінің “Оптика” (1704 ж.) деп аталатын еңбегінде призманың көмегімен ақ жарық жеті түсті жарық шоқтарына жіктелетінін көрсететін тәжірибелерінің қорытындысын жариялады. Басқаша айтқанда, ол күн сәулесінің спектрін алып, оны түсіндірді. Ньютон жарықтың түсі — бұл оның өз қасиеті екенін, оны призма тудырмайтынын көрсетті. Анығында, Ньютон осы еңбегінде оптикалық спектроскопияның негізін қалады.

Спектрлік аппараттар. Спектрлік анализді жүргізу үшін айқын спектр алуға мүмкіндік беретін, яғни жиілігі өртүрлі толқындарды спектрдің түрлі бөліктері бірінің үстіне бірі түсіп кетпейтіндей жақсы ажырататын құралдар керек. Мұндай құралдар *спектрлік аппараттар* деп аталады. Олардың негізгі бөлігі зерттелетін сәулеленуді спектрге жіктейтін призма немесе дифракциялық тор болып табылады. 30.3-суретте *екітүтікті спектроскоп* кескінделген.



30.3-сурет. Екітүтікті спектроскоп

Спектрлік аппараттың жұмыс істеу принципі. Оның негізгі құрамдас бөліктері: саңылаулы қондырғысы бар коллиматор, призма және көру түтігі (30.4-сурет). Зерттелетін сәулелену коллиматорға түседі. Коллиматор — бұл бір жақ басында жіңішке саңылаулы перде, екінші басында жинағыш линза орнатылған түтік. Саңылау линзаның фокаль жазықтығында орналасқан. Сондықтан саңылаудан линзаға түскен шашыраңқы жарық шоғы одан параллель шоқ болып шығып, призмаға түседі. Призмадан жиіліктеріне (түстеріне) сәйкес өртүрлі бағытта параллель жарық шоқтары шығады. Олар екінші линзаға түседі. Бұл линзаның фокаль жазықтығына экран — бұлыңғыр шыны немесе фотопластинка қойылады. Линза өзінен шыққан параллель шоқтарды экранға проекциялайды, нәтижесінде экранда өртүрлі жиіліктерге сәйкес келетін саңылаудың түрлі түсті кескіндері пайда болады. Бұл кескіндер спектрді құрайды. Қарастырылған құрал *спектрограф* деп аталады. Егер екінші линза мен экранның орнына спектрді визуалды бақылауға мүмкіндік беретін көру түтігі пайдаланылса, құрал *спек-*



30.4-сурет. Призмалық спектрографтың құрылысы

троскоп (30.3-сурет) деп аталады. Спектроскопта линзаның көмегімен үлкейтілген спектрді көзбен көруге болады, ал спектрографта спектрдің фотосуреті алынады.

Спектрлік аппараттардың қолданылуы. *Астрономияда* спектрлік анализ жасау арқылы зерттеушіден миллиондаған километр алыс қашықтықта орналасқан аспан денелерінің элементтік құрамын анықтайды.

Геологияда спектрлік анализ тәсілі жер қыртыстарының, минералдардың құрамын анықтауға мүмкіндік береді.

Зергерлік саласында — бұл қымбат металдардың сынамасын тағайындау, қорытпалардың құрамын анықтау және асыл тастардың тазалық дәрежесіне баға беру.

Мұнай өңдеу және мұнай өндіру салаларында бұл — шикі мұнайдың ластануын және жанармай өнімдеріндегі қоспаларды анықтау.

Археология мен бейнелеу өнері салаларында спектрлік анализ тәсілімен өнер туындыларының және археологиялық жәдігерлердің сараптамалары жасалып, олардың шынайылығы мен қаншалықты көне зат екені анықталады.

Ауыл шаруашылығы мен тамақ өндіру салаларында жер қыртысының, су мен түрлі тағамдардың микроэлементтік сараптамалары жасалып, ауыр металдардың бар-жоғы анықталады.



1. Шығару спектрлерінің қандай түрлерін білесіңдер?
2. Тұтас спектр деген не? Жолақ спектр? Оларды сипаттаңдар. Тұтас және жолақ спектрлердің сәулелену көздерін атаңдар.
3. Сызықтық деп қандай спектрді айтады? Оны сипаттаңдар. Қандай заттар сызықтық спектр шығарады?
- 4. Бальмер формуласын жазып, оны түсіндіріңдер.
- 5. Спектрлік анализ тәсілінің мағынасы неде?
- *6. Призмалық спектрлік аппараттың құрылысын түсіндіріңдер
- *7. Спектрлік анализ тәсілінің қолданылулары туралы айтып беріңдер.

§ 31. Электромагниттік сәулелену шкаласы



Тірек ұғымдар:

- ✓ инфрақызыл сәулелену
- ✓ ультракүлгін сәулелену
- ✓ рентген сәулелері
- ✓ жиіліктер диапазоны
- ✓ электромагниттік сәулелену шкаласы



Бүгінгі сабақта:

- инфрақызыл, ультракүлгін және рентген сәулелерінің пайда болуымен және затпен әсерлесу табиғатымен, олардың электромагниттік сәулелену шкаласындағы орнымен танысындар.

Электромагниттік сәулеленудің жер бетіндегі ең қуатты табиғи көзі Күн болып табылады. Жер бетіне таяу маңдағы Күн сәулесінің құрамы күрделі және ол Күннің горизонттан биіктігіне тәуелді. Атап айтқанда, халықаралық классификацияға сәйкес, оптикалық диапазонға іргелес жатқан Күннің сәулелену спектрінен инфрақызыл және ультракүлгін сәулелерді бөліп қарастыруға болады. Күн сәулеленуінің барлық түрлерінің табиғаты бірдей, бірақ олардың қасиеттері толқын ұзындығына (жиілікке) тәуелді. Мысалы, толқын ұзындығы азайған сайын сәулеленудің биологиялық әсері күшейе түседі.

Инфрақызыл сәулелену. Күннің сәулелену спектрі жиілігі (толқын ұзындығы) өртүрлі электромагниттік толқындардың қоспасы болып табылады. *Инфрақызыл сәулелену* — толқын ұзындығы 760 нм-ден (2600—3000) нм-ге дейінгі диапазонда жатқан электромагниттік толқындар. Қызған денелерден таралатын жылу — толқын ұзындығы 1400 нм-ден 1 мм-ге дейінгі аралықта жатқан инфрақызыл сәулелену, сондықтан оны *жылулық сәулелену* деп те атайды. Күн спектрінің жартысынан артығы инфрақызыл сәулелерден тұрады. Шартты түрде инфрақызыл сәулелену диапазонын үш аймаққа бөлуге болады: жақын: $\lambda = 0,74—2,5$ мкм; орташа: $\lambda = 2,5—50$ мкм; алыс: $\lambda = 50—2000$ мкм.

Зат арқылы өткен кезде инфрақызыл сәулелену атомдар мен молекулалардың тербелмелі қозғалысын күшейтеді, бұл заттың температурасының артуына әкеліп соғады. Сондықтан инфрақызыл сәулеленудің *жылулық әсері* бар.

Инфрақызыл сәулеленудің тірі ағзаларға *фотохимиялық әсері* тіндер мен жасушалардың энергияны жұтуымен байланысты. Бұл ферменттік процестердің белсенділігі артып, соның салдарынан зат алмасудың тездеуін, регенерация, иммуногенез процестерінің күшеюін тудырады. Жылулық сәулелену ағзаның жеке бір бөліктеріне де, ағзаға тұтастай да әсер етеді. Тіннің жеке бөлігіне әсері биохимиялық реакциялардың,

иммунобиологиялық процестердің, жасушалардың өсуі мен тіндердің регенерациясының, қанайналымының күшеюіне әкеп соғады.

Ал ағзаға жалпы әсері қабынуға қарсы, ауырсынуды азайту, жалпы сергіту түрінде білінеді. Бұл әсерлер физиотерапияда ревматизм, остеохондроз сияқты аурулар кезінде қабынудың салдарынан болатын ауырсынуды жеңілдету мақсатында кеңінен қолданылады.

Инфрақызыл сәулелену жалпы және жергілікті *климатқа* да айтарлықтай әсер етеді. Жер қыртыстарының өртүрлі дәрежеде қызуы, сулардың булануы ауа және су массивтерінің қозғалысын, циклондар мен антициклондардың қалыптасуын, мұхиттардағы жылы және суық ағыстарды тудырады. Мұның өзі климаттық зоналардың, ауа райының өзгерістерін қалыптастырып, адамзат тіршілігіне үлкен әсерін тигізеді. Инфрақызыл сәулелену тірі ағзаларға түскенде күн өту сияқты ағзаның қызып, температурасы артуынан болатын жағымсыз *кері әсерлері* де бар.

Инфрақызыл диапазонда адам да, көптеген басқа жылықанды жануарлар да көре алмайды. Бірақ кейбір биологиялық түрлер көру мүшелерімен инфрақызыл сәулелерді қабылдай алады. Мысалы, кейбір жыландар инфрақызыл диапазонда көреді, олар түнде жылықанды жануарларды аулауға шығады. Сарыбас жыландар өрі инфрақызыл, өрі қалыпты оптикалық диапазонда көре алады. Балықтардың ішінде пираниялар мен алтын балықтар судың астында инфрақызыл диапазонда көреді. Сол сияқты, масалар да инфрақызыл сәулеленуді көру қасиетіне ие, олар қараңғыда дененің қан тамырларының көп жерлерін дәл табады.

Ультракүлгін сәулелену. *Ультракүлгін сәулелену* — толқын ұзындықтары 10 нм-ден 400 нм-ге дейінгі диапазонда жатқан электромагниттік сәулелену. Жер атмосферасының шегарасында ультракүлгін сәуле Күн сәулесі спектрінің 5% -ын құрайды, ал Жер бетінде бұл үлес 1% , себебі оның қысқа толқынды бөлігі (300 нм-ден аз) Жердің озон қабатында жұтылады. Ультракүлгін сәулелену спектрін мынадай топтарға бөлуге болады (ISO — стандарттау бойынша халықаралық ұйымның стандарты): *жақын* немесе *ультракүлгін А* — бұл ұзын толқынды диапазон (400—300) нм, орташа немесе *ультракүлгін В* бұған (300—200) нм толқын ұзындығы сәйкес, *алыс* немесе *ультракүлгін С* — қысқа толқынды диапазон (200—122) нм, *экстремалды* (121—10) нм.

Жер бетіндегі негізгі табиғи ультракүлгін сәулелену көзі — Күн. Жасанды көздерге мыналар жатады: эритемді шамдар, сынап-кварцты қондырғылар, люминесцентті шамдар, сынапты-ксенонды шамдар, газ-разрядты қондырғылар, солярий аппараттары және т.б. Ультракүлгін жасанды сәулеленудің тағы бір түрі — лазерлер.

Эритемді шамдар (31.1, а-сурет) — төмен қысымды сынапты шамдар, олардың колбалары арнайы шыныдан жасалады. Колбаның ішкі бетіне толқын ұзындықтары (280—380) нм диапазонында жатқан ультракүлгін сәулелер шығаратын люминофор жағылады. Бұл шамдар емдік және профилактикалық мақсаттарда физиотерапияда қолданылады.

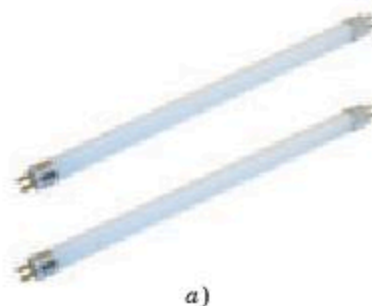
Сынапты-ксенонды шамдар (31.1, ә-сурет), мұнда ксенон мен сынап буы толтырылған колбада электр доғасы жанып тұрады. Ол ультракүлгіннің үлесі көп көгілдір-ақ жарық шығарады. Бұлар да физиотерапияда және стерильдеу мен озондау мақсаттарында пайдаланылады.

Солярій (31.1, б-сурет) — мөлшерлі түрде сәулелендіру мақсаттарында қолданылатын арнайы ашық алаң. Сәулелендіру көзі арнайы эритемді ультракүлгін шам болып табылады, оның колбасына ультракүлгін спектрдің қауіпті қысқа толқынды бөлігін жұтып алып қалатын арнайы қоспалар енгізіледі.

Ультракүлгін сәулеленудің *лазерлік көздері* негізінен медициналық құрал-жабдықтарда, биотехнологияларда, ғылыми зерттеулер кезінде тексеру және автоматтандыру құралдарында қолданылады.

Рентген сәулелері — толқын ұзындығы 10^{-7} м-ден 10^{-12} м-ге дейінгі диапазонында жатқан электромагниттік толқындар. Рентген сәулесінің негізгі көзі *рентген түтіктері* болып табылады. Түтіктің ішінде анод пен катодтың арасына жоғары кернеу беріледі. Қыздырылған катодтан ұшып шыққан электрондар электр өрісінде қатты үдеп, анодқа соғылған кезде кенет тежеледі. Осы кезде *тежелуші рентген сәулеленуі* шығады.

Анод пен катодтың арасындағы кернеуді одан өрі арттырса, электр өрісінде үдетілген электрондардың энергиясының артатыны соншалық, олар анодпен соқтығысқанда оның зат атомының ішкі электрондарының бірін жұлып шығаруы мүмкін. Сонда тежелуші рентген сәулесінің тұтас энергия спектрінің фондында *сипаттаушы рентген сәулесінің* үздікті айқын сызықтары пайда болады. Бұл сызықтарға сәйкес келетін



a)



ә)



б)

31.1-сурет. Ультракүлгін сәулелердің жасанды көздері а) эритемді шамдар; ә) сынапты ксенонды шамдар; б) солярійлерге арналған аппарат

жиіліктер анодтың қандай заттан жасалғанына байланысты, сондықтан осындай рентген сәулелері *сипаттаушы* деп аталады.

Электромагниттік сәулелену шкаласы

Мұны білесіңдер

Электромагниттік сәулеленудің толқын ұзындықтарының (жиіліктерінің) мәндері өте кең диапазонда жатыр. Толқын ұзындығы (жиілік) қандай болса да, электромагниттік толқындардың табиғаты мен қасиеттері бірдей, бірақ олар әртүрлі дәрежеде білінеді. Толқын ұзындығының (жиіліктің) мәндеріне қарай электромагниттік толқындардың көздері мен оларды қабылдағыш құралдар да әртүрлі болады. Сондықтан электромагниттік сәулеленуді толқын ұзындығы (жиілігі) бойынша электромагниттік сәулелену шкаласында классификациялайды. Бұл шкала табиғатта бар электромагниттік толқындардың толқын ұзындықтарының (жиіліктерінің) үздіксіз тізбегі болып табылады (31.2-сурет).



31.2-сурет. Электромагниттік толқындардың шкаласы

31.2-суреттен көрініп тұрғандай, электромагниттік толқындар шкаласынан мынадай негізгі аймақтарды бөліп қарастыруға болады: радиотолқындар, инфрақызыл сәулелер, көрінетін жарық, ультракүлгін сәулелер, рентген сәулелер, гамма-сәулелер.

Толқын ұзындықтары әртүрлі электромагниттік сәулеленуді бір-бірінен олардың қандай тәсілмен алынғандығы бойынша да ажыратуға болады (радиотолқындар, жылулық сәулелену, ультракүлгін сәулелену, рентген сәулеленуі және т.б). Толқын ұзындығы түрлі диапазондағы сәулеленулерді тіркеу тәсілдері де әртүрлі. Жұлдыздар, қара құрдымдар сияқты ғарыштық нысандар да электромагниттік сәулеленудің қуатты көздері болып табылады, оларды жасанды серіктерді, ғарыш кемелерін пайдалана отырып зерттейді. Мұндай ғылыми жұмыстар негізінен гамма және рентген сәулелерін зерттеуге бағытталады, себебі бұл сәулелердің басым бөлігі жер атмосферасында жұтылып кетеді де, жер бетінде олардың интенсивтігі төмен болады. Қысқа толқынды сәулелену (гамма және рентген сәулелері) зат ішінде нашар жұтылады, сондықтан олардың өту қабілеті жоғары.



1. Түрлі электромагниттік сәулелер бір-бірінен қандай сипаттамаларымен ерекшеленеді?
2. Инфрақызыл сәулеленудің негізгі қасиеттері туралы айтып беріңдер.
3. Ультракүлгін сәулелену деген не? Оны неге бұлай атайды?
- 4. Ультракүлгін сәулеленудің қандай жасанды көздерін білесіңдер?
- 5. Рентген сәулелері туралы не білесіңдер?
- 6. Электромагниттік сәулелену шкаласы деген не?



Электромагниттік толқындар шкаласын зерттеңдер. Онда көрсетілген негізгі диапазондарды бөліп қарастырып, олардың бір-бірінен (толқын ұзындығынан басқа) қандай айырмашылықтары барын анықтаңдар. Әртүрлі диапазондағы электромагниттік толқындардың қолданылуын қарастырыңдар. Презентация жасаңдар.

§ 32. Фотоэффект және оның қолданылуы



Тірек ұғымдар:

- ✓ фотоэффект
- ✓ фотоэлектрондар
- ✓ фотоэффектінің қызыл шегарасы
- ✓ фотоэлемент
- ✓ ішкі фотоэффект
- ✓ вентильді фотоэлемент
- ✓ люксометр

Бүгінгі сабақта:

- фотоэффектінің заңдары және табиғатымен танысасыңдар.

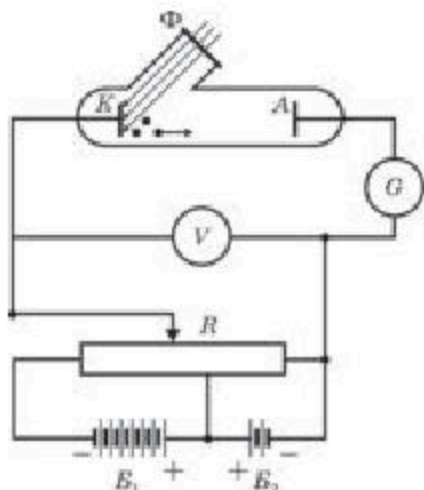


XIX ғасырдың аяғы, XX ғасырдың басында ашылып зерттелген құбылыстардың ішінде заманауи кванттық теорияның өмірге келіп, дамуына себепкер болған құбылыстардың бірі — *фотоэффект*.

Мұны білесіңдер

Металға түсірілген сәулеленудің әсерінен оның бетінен электрондардың ұшып шығу құбылысы *сыртқы фотоэлектрлік эффект* (фотоэффект) деп аталады.

Фотоэффект құбылысын 1887 жылы Г.Герц кездейсоқ ашқан еді. Ол Максвелл өз теориясында болжаған электромагниттік толқындарды қабылдағышты (Герц диполін) құрастырған болатын. Герц өз құрылғысының шарларына әртүрлі әсер етіп және шарлардың арақашықтықтарын өзгерте отырып, сигнал қабылдауды жеңілдеткісі келді. Осындай мақсатпен шарларға ультракүлгін сәулелер түсіргенде, егер сәулелер теріс зарядталған шарға түссе, олардың арасында ұшқын (шарлардың арасындағы ауа қабатының “тесілуі”) кернеудің азырақ



32.1-сурет. Фотоэффектіні зерттеуге арналған құрылғының сұлбасы

Катодқа кварц терезеше арқылы ультракүлгін жарық түсіргенде одан фотоэлектрондар ұшып шығып, электр өрісінің әсерінен катодтан анодқа қарай қозғала бастайды.

Столетов заңдары. Жүргізілген тәжірибелердің нәтижелерін саралай отырып, 1905 жылға қарай А.Г.Столетов *фотоэффектінің мынадай заңдарын* тағайындады:

1. *Фотоэлектрондардың максимал жылдамдығы түскен жарықтың жиілігіне тәуелді, ал интенсивтігіне тәуелді емес.*

Түскен жарықтың интенсивтігі артқан сайын фотоэлектрондардың жылдамдығы да арта түседі. Бұл эксперименттік тәуелділікті класси-

калық физиканың аясында түсіндіру мүмкін емес, себебі Максвеллдің электромагниттік теориясы бойынша жарықтың интенсивтігінің өсуі түскен электромагниттік сәулелену амплитудасының да артуымен парапар, онда фотоэлектрондардың жылдамдығы да артуы керек еді. Сонымен, бұл жерде классикалық теория мен тәжірибе нәтижесінде қарама-қайшылық байқалады.

2. *Фототок күшінің қанығу мәні (фотоэлектрондар саны) түскен жарықтың интенсивтігіне пропорционал өседі, бірақ жарықтың жиілігіне тәуелді емес.*

3. *Әр металл үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы болады — бұл сәулеленудің фотоэффект құбылысы байқалатын жиілігінің ең төменгі V_{\min}*



Александр Григорьевич Столетов (1839—1896)

(толқын ұзындығының ең үлкен λ_{\max}) мәні. Түскен сәулеленудің жиілігі бұдан төмен (толқын ұзындығы бұдан үлкен) болғанда фотоэффект байқалмайды.

Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуі. Жоғарыда айтылған тәжірибеден анықталған фотоэффектінің заңдарын 1905 жылы Эйнштейн теориялық тұрғыдан түсіндіріп берді. Ол Планктың идеясын өрі қарай дамытып, монохромат жарық шоғының энергиясы әрқайсысының мәні $h\nu$ болатын энергия үлестерінен тұрады деген болжам айтты. Металл бетіне жарық түскенде, бір кванттың энергиясын бір электрон тұтас жұтуы мүмкін, онда электрон қосымша $h\nu$ энергия алады. Бұл энергияның біраз бөлігі электронды металдан жұлып шығаруға, яғни $A_{\text{шығу}}$ шығу жұмысына жұмсалады, ал қалғаны металл бетіне ұшып шыққан бос электронға кинетикалық энергия ретінде беріледі:

$$h\nu = A_{\text{шығу}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (32.1)$$

Біз әйгілі *фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін* алдық.

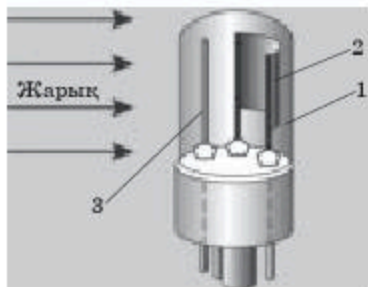
Түп мәнінде бұл — қарастырып отырған процесс үшін энергияның сақталу заңы. Түскен жарық энергиясы кванттарының бәрін түгел электрондар жұтып, фотоэффект құбылысын тудырмайтынын басып айта кеткен жөн. Мың квант жұтылса, солардың біреуі ғана фотоэлектронды жұлып шығарады екен, қалған энергия түгелдей металды қыздыруға кетеді.

Эйнштейн теңдеуі фотоэффектінің барлық тәжірибелік заңдарын түсіндіріп бере алады. Берілген металл үшін шығу жұмысы $A_{\text{шығу}}$ тұрақты шама болғандықтан, (32.1) теңдеуі бойынша фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы v жиілікке пропорционал өседі. Эйнштейн бойынша бір кванттың энергиясын бір электрон жұтады, сондықтан металдан ұшып шыққан фотоэлектрондардың саны (қанығу тогының күші) металл бетіне түскен кванттың санына, яғни жарықтың интенсивтігіне пропорционал болуы тиіс. Сонымен қатар бұл теңдеуден фотоэффект құбылысы байқалу үшін түскен кванттың энергиясы ең аз дегенде электронды металдан жұлып шығаруға жетуі тиіс, яғни оның ең аз мәні шығу жұмысына тең болуы керек екенін көреміз. Демек, $h\nu_{\min} = A_{\text{шығу}}$, бұдан:

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{шығу}}}{h} \text{ немесе } \lambda_{\max} = \frac{hc}{A_{\text{шығу}}}. \quad (32.2)$$

Бұл — *фотоэффектінің қызыл шеғарасы*.

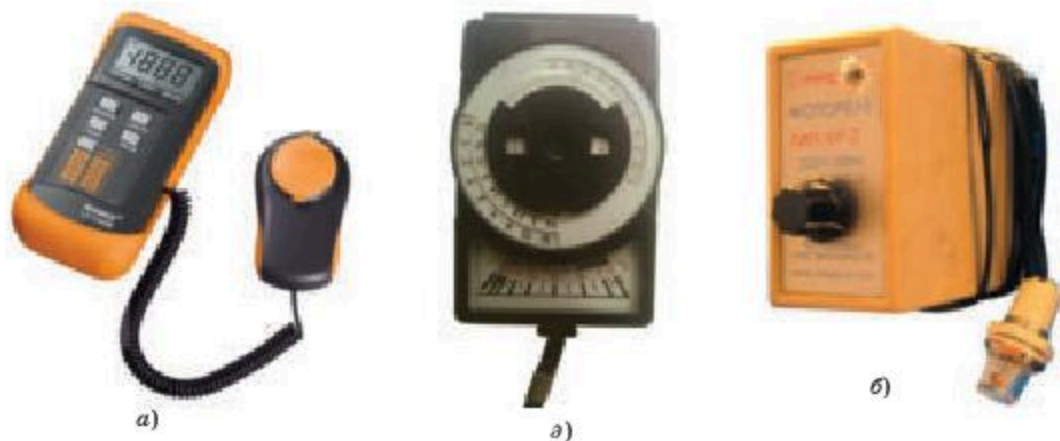
Фотоэффект құбылысы ғылым мен техниканың өртүрлі салаларында кеңінен қолданылады. Фотоэффект құбылысының негізінде жасалған құралдар *фотоэлементтер* деп аталады. Олардың ең қарапайымы —



32.2-сурет. Вакуумдық фотоэлемент

вакуумдық фотоэлемент, ол ішінен ауасы сорып алынған 1 шыны баллон түрінде жасалады (32.2-сурет). Баллонның ішкі бетінің біраз бөлігіне жұқа металл қабаты жалатылған, ол 2 фотокатод рөлін атқарады. Анод ретінде баллонның ортасына орналастырылған 3 металл сақина немесе сирек тор пайдаланылады. Фотоэлемент аккумуляторлық батареялар тізбегіне қосылады. Оның ЭҚК-і фототоктың мәні қанығу тогына тең болатындай етіп таңдап алынады

Вакуумдық фотоэлементтер инерциясыз, олардағы фототок сәулелену интенсивтігіне пропорционал. Осы қасиеттер вакуумдық фотоэлементтерді фотометриялық құралдар ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Олардың кейбіреуін қарастырайық: *Люксометр* — кеңістіктің қажетті аумағындағы, мысалы тұрғын үйдегі немесе жұмыс орнындағы жарықтануды өлшейтін құрал (32.3, а-сурет). Оның негізгі бөлігі жарық энергиясын электр энергиясына түрлендіретін жартылай өткізгіштік фотоэлемент болып табылады. Фототоктың күші жарықтануға пропорционал болады. *Фотозлектрлік экспонометр* — фото мен кино түсіруге қажетті экспозиция уақытын анықтауға арналған құрал (32.3, б-сурет). Мұнда нысанның жарықтануы немесе жарқырауы фотоэлементтің не фоторезистордың көмегімен анықталады да, сол арқылы қажетті экспозиция таңдап алынады. *Фотореле* — өзіне түскен жарық ағынының өзгерісіне қарай электр тізбектерін ажыратып немесе тұйықтап тұратын құрал (32.3, в-сурет). Ол жарықтануды реттеп тұру үшін, мысалы көше шамдарын автоматты түрде қорек көзінен ажыратып, қосып отыру үшін қолданылады. Бұдан бөлек фоторелелер өндірісте де, әскери салада да қолданылады.



32.3-сурет. Фотометрлік құралдар

Ішкі фотоэффект — сәулеленудің өсерінен жартылай өткізгіштегі еркін зарядтардың (электрондар мен кемтіктердің) концентрациясының арту құбылысы. Жартылай өткізгіште пайда болатын және рекомбинацияланатын еркін зарядтардың арасында динамикалық тепе-теңдік орнайтыны белгілі. Осындай күйдегі жартылай өткізгішке кванттарының энергиясы еркін зарядтарды генерациялау энергиясынан

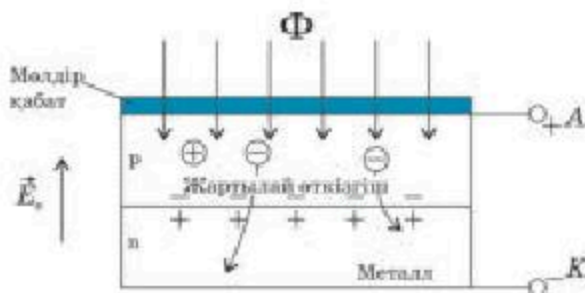


32.4-сурет. Фотокедергілер

артық болатын сәулелену түсіргенде тағы қосымша еркін зарядтар пайда болып, оның өткізгіштігі артады. Бұл құбылыстың қолданылатын жері — *фотокедергі* (32.4-сурет). Жарықтандырған кезде жартылай өткізгіштің кедергісі кемиді және сәулелену интенсивтігі неғұрлым жоғары болса, кедергі соғұрлым аз болады. Тағы бір қолданылуы — жабушы қабаты бар фотоэлемент (32.5-сурет), яғни *вентильді фотоэлемент*.

Ол металл мен металдың мөлдір қабаты жалатылған кемтіктік жартылай өткізгіштен (металдың тотығы) тұрады. Металл мен жартылай өткізгіштің шегарасында диффузияның нәтижесінде кернеулігі \bar{E}_k контактілік жабушы қабат пайда болады. Осы жерде пайда болған $p - n$ ауысу электрондарды металдан тотыққа, ал кемтіктерді тотықтан металға өткізіп тұрады. Жартылай өткізгішке Φ жарық ағыны түскенде электрондардың да, кемтіктердің де концентрациясы артады. Диффузияның нәтижесінде электрондар контакт арқылы еркін өтіп кетеді, ал кемтіктер өте алмайды. Сондықтан жарықтың өсерінен электрондар металда, ал кемтіктер жартылай өткізгіште жинақталады да, A және K контактілері арасында потенциалдар айырымы — фото ЭҚК-і пайда болады, ол жартылай өткізгіштің жарықтануына пропорционал.

Мұндай фотоэлементтер ток көздері (күн батареялары), фотоэкспонометрлер, әртүрлі процестерді автоматтандыру және басқаруда тексеру құралдары ретінде, әскери техникада көрінбейтін сәулеленумен сигнал



32.5-сурет. Жабушы қабаты бар фотоэлемент

беру немесе локация құралдары ретінде және т.б. жерлерде кеңінен қолданылады.



1. Сыртқы фотоэффект құбылысы туралы айтып беріңдер
2. Фотоэффект үшін Столетов заңдарын тұжырымдаңдар.
3. Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін жазып, соның негізінде фотоэффектінің тәжірибеде тағайындалған заңдарын түсіндіріп беріңдер.
4. Фотоэффектінің қызыл шегарасы деп нені айтады? Оны неге бұлай атайды? Жауабыңды негіздеңдер.
5. Вакуумдік фотоэлемент деген не?
6. Фотоэлементтерді қолдану мысалдарын келтіріңдер
7. Вентильді фотоэлемент деген не? Олар қайда қолданылады?



Осы тақырыпты оқу барысында алған ақпаратты пайдалана отырып, төмендегі кестені дәптерге толтырыңдар. Сәйкес бағанға "+" таңбасын қойыңдар.

№	Тұжырым	Дұрыс	Дұрыс емес
1	Фотоэффект затқа инфрақызыл сәулелер түсіргенде байқалады		
2	Фотоэффект затқа ультракүлгін сәулелер түсіргенде байқалады		
3	Эйнштейн теңдеуі фотоэффектінің барлық заңдарын түсіндіріп береді		
4	Фотоэффект кезінде металдан электрондар ұшып шығады		
5	Фотоэффект кезінде металдан протондар ұшып шығады		
6	Фотоэффект электрондар металға соғылғанда байқалады		
7	Фотоэффект күн батареялар жұмысының негізінде жатыр		
8	Фотоэлементтерде электр энергиясы жарық энергиясына түрленеді		
9	Фотореле — өзіне түскен жарық ағынының өзгерісіне қарай электр тізбектерін ажыратып немесе тұйықтап тұратын құрал		

§ 33. Жарықтың химиялық әсері



Тірек ұғымдар:

- ✓ фотохимиялық реакция
- ✓ фотохимиялық реакцияның қызыл шегарасы
- ✓ фотосинтез
- ✓ фототрофтар
- ✓ фотография

Бүгінгі сабақта:

- жарықтың химиялық әсерлерімен танысасындар.



Затқа жарық сәулесі түскенде оның қасиеттері түрлі өзгерістерге ұшырауы мүмкін, яғни *жарықтың химиялық әсері* бар. Түскен жарықтың әсерінен заттың қасиеттерінің өзгеруі зат ішінде жүретін химиялық реакциялардың салдары болып табылады, мұндай реакциялар *фотохимиялық реакциялар* деп аталады. Зат ішінде жүретін фотохимиялық реакциялардың екі түрін бөліп қарастыруға болады, бұлар: түскен жарықтың әсерінен заттың молекулаларынан одан гөрі күрделі молекулалар түзілетін *синтез реакциялары* және жарықтың әсерінен заттың күрделі молекулаларынан олардан гөрі қарапайым молекулалар түзілетін *ыдырау реакциялары*.

Әдетте алғашқы химиялық реакциялар екінші реттік химиялық түрленулерге жалғасады. Алғашқы химиялық реакцияларға қатысатын заттың массасы зат жұтқан сәулелік энергияға пропорционал екені тағайындалған. Кез келген химиялық реакция затқа түскен жарық толқындар жиілігінің қандай да бір ең аз ν_0 мәнінен бастап қана жүреді. Жиіліктің осы мәні *фотохимиялық реакцияның қызыл шегарасы* деп аталады. Жиілігі қызыл шегарадан төмен сәулелену фотохимиялық реакция тудыра алмайды.

Кванттық теория бойынша атомдарды молекулаларға біріктіріп ұстап тұратын химиялық байланыс. Біз жарық толқындары фотондардың ағыны екенін білеміз. Сәулеленумен әсерлесу барысында молекула фотон жұтуы мүмкін, осының нәтижесінде ол қосымша $h\nu$ энергия алады. Егер бұл энергия химиялық байланысты түзуге жететін болса ($\nu > \nu_0$), фотохимиялық реакция жүреді, ал егер жетпесе ($\nu < \nu_0$), реакция жүрмейді. Фотохимиялық реакциялар табиғатта да, заманауи адамзат қоғамының көптеген салаларында да маңызды рөл атқарады.

Фотосинтез. Табиғатта өсімдіктердің жасыл жапырақтары мен көптеген микроағзалардың тіршілігінің нәтижесінде аса маңызды фотохимиялық реакциялар жүріп жатады. Жапырақтар ауадан көмірқышқыл газын жұтып, оның молекулаларын құрамдас бөліктерге — көміртек мен оттекке ыдыратады. Бұл күн сәулеленуінің

спектрінiң қызыл бөлiгiнiң әсерiнен хлорофилл молекулаларында жүзеге асады. Өсiмдiктердiң тамырлары топырақтан жануарлар мен адамдарға қажеттi элементтердiң атомдарын сорып алады. Бұл атомдар көмiртектiң тiзбегiне орналасады. Олардан өсiмдiктер, жан-жануарлар мен адамзатқа тамақ болатын ағуыз, майлар және көмiрсуларды өндiредi. Мұның бәрi Күн сәулесiнiң энергиясы есебiнен жүзеге асады. Сонымен, өсiмдiктер мен кейбiр микроағзаларда жарықтың әсерiнен оттектiң бөлiнуiмен жүретiн көмiрсулардың пайда болу процесi *фотосинтез* деп аталады. Ол табиғатта оттектiң айналымын қамтамасыз етедi және жер бетiндегi тiршiлiктiң энергетикалық негiзiн құрайды. Жарық кванттарының әсерiнен су молекулаларының оттектi бөле отырып ыдырауы күн сәулесiн биосфера энергиясының негiзгi көзi етедi.

Энергияны Күн сәулесiнен алатын ағзалар *фототрофтар* деп аталады. Оларға барлық жасыл өсiмдiктер (33.1, а-сурет) және кейбiр бактериялар, мысалы цианобактериялар (33.1, ә-сурет) жатады.

Өсiмдiктер органикалық заттардың бiрiншi тiзбектегi өндiрушiлерi болғандықтан барлық басқа ағзаларға азық болады. Цианобактериялар — көк-жасыл балдырлар, олар жер бетiндегi ең көне тiрi ағзалар болып есептеледi. Цианобактериялар бiздiң ғаламшарда фотосинтездi туындатып, жер атмосферасын оттеппен қанықтырды және сонымен тiршiлiктiң барлық басқа түрлерiнiң пайда болуын қамтамасыз еттi. Атмосфераға бөлiнетiн бос оттектiң көзi — су. Жарықтың әсерiнен судың ыдырауы жүретiн реакциялардың жиынтығы *фотоллиз* деп аталады. Сонымен, Жер бетiндегi тiршiлiк көзi — су мен Күн сәулесi.



а)



ә)

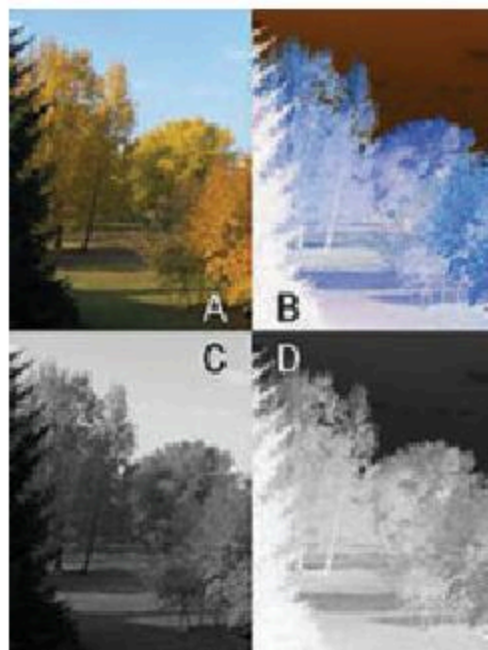
33.1-сурет. Фототрофтар:

а) өсiмдiктер; ә) цианобактериялар

Фотосурет. Жарықтың химиялық әсері фотосуреттің негізінде жатыр. Грек тілінен аударғанда *фотосурет* сөзі жарықпен жазу (“photos” — жарық, “graph” — жазамын) мағынасын білдіреді. Оптикалық құрал — фотоаппараттың көмегімен алынған кескін фотопенкаға немесе фотопластинкаға басып шығарылады. Фотосуреттерді шығаратын материалдар ретінде жарықсезгіш заттар қолданылады. Бұл заттар жарық түскен кезде химиялық өзгерістерге ұшырайды. Фотографияда реагенттер ретінде күмістің галлоидты тұздары: бромды, хлорлы және иодты күміс пайдаланылады. Ең көп қолданылатын заттар — бромды және хромды күміс. Фотоқағазда AgBr — бромды күмістің ұсақ кристалдарынан тұратын жарықсезгіш қабат болады. Жарық түскенде электрон бромның ионынан бөлініп шығып, оны күміс ионы қамтып алады. Соның нәтижесінде күміс ионы нейтрал атомға айналады, ал фотоқағаз жарықтың әсерінен қараяды. Молекуланың ыдырауы мынадай схемамен жүреді: $\text{AgBr} + h\nu \rightarrow \text{Ag}^* + \text{Br}^+ + e^-$, мұнда Ag^* — күмістің қозған атомы, Br^+ — бромның оң ионы, e^- — электрон.

Фотосуреттерді алудың классикалық тәсілі келесі кезеңдерден тұрады:

1. *Негатив процесі.* Фотосурет түсірілген соң арнайы зертханалық жағдайда (қараңғыда немесе қызыл жарықта) фотопластинканы немесе фотопенканы мынадай химиялық өңдеулерге ұшыратады: айқындау, сумен шаю, бекіту. Бекітілген пластинкалар мен пленкаларды жақсылап жуып, кептіреді. Осындай әрекеттердің нәтижесінде *негатив* алынады. Күміс түйіршіктерінен құралған негатив кескінді өткінші жарықта қарағанда, оның түрлі бөліктерінің жарықтылығы түсірілген нысанның сәйкес бөліктерінің жарықтылығына керісінше болып шығады. Басқаша айтқанда, негатив кескінде фотоға түсірілген нәрсенің қара жерлері ақ, ал ақ жерлері қара болып шығады. Түрлі түсті фотосуреттерде нәрсенің кескінін алу процестерінде түстері суретке түсірген нәрсенің түсіне қосымша болып келетін бояғыш заттар қолданылады. Сондықтан, мысалы көк түсті нәрсе негативте сары, жасыл түсті нәрсе қою қызыл т.б. болып шығады. 33.2-суретте ақ-қара және түрлі түсті фотосуреттердің негативтері мен позитивтері көрсетілген.



33.2-сурет. Негатив және позитив кескіндер

2. *Позитив процесі.* Фотосуретті алу үшін фотоқағазды негативке жабыстырып салып, оған жарық түсіреді. Біраз тұрған соң фотосуретті зертханалық жағдайда (қызыл-сары немесе қызыл жарықта) дәл фотопластинкалар сияқты химиялық өңдейді: айқындайды, сумен шаяды, бекітеді, жақсылап жуып, кептіреді. Фотоны басып шығаруды екі түрлі тәсілмен жүзеге асыруға болады: контактілі (фотоқағазды негативке жапсыру) және проекциялық түрде (проекциялық аппарат — фотоүлкейткіш арқылы). Екінші тәсілмен негативпен салыстырғанда үлкейтілген позитив кескін шығады.

Жарықтың химиялық әсерінің пайдалы да, зиянды да жақтары бар. Мысалы, күн көзінде матаның түсінің оңып кетуі жағымсыз әсер екені айтпаса да түсінікті. Ал күнге күйдің салдары туралы бірден айқын қорытынды шығаруға болмайды. Күн сәулелерінің әсер ету дәрежесіне қарай күнге күй адам ағзасына оң әсер де, теріс әсер де тигізуі мүмкін.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Қазіргі күндерге дейін сақталған, әлемдегі ең алғашқы фотосуретті 1826 жылы француз өнертапқышы Жозеф Ньепс түсірген болатын. Төменде көрсетілген осы фотосуретті ол "Терезеден көрініс" деп атады. Ал адамды фотоға алғаш рет 1838 жылы француздың тағы бір өнертапқышы Луи Дагер түсірді. Әлемдегі алғашқы фотоавтопортретті (селфи десек болады) 1839 жылы әйгілі американдық фотограф Роберт Корнелиус түсірді. Ол фотообъективтің қақпақшасын аша салып, жүгіріп келіп, кадрда линза жабылғанша бір минуттан артық отырған екен.



"Терезеден қарағандағы көрініс"
фотосуреті

Фотограф Ж. Ньепс

Сонымен, фотосуретке түсірудің практикалық тәсілін алғашқы болып Жозеф Ньепс жасады. Жарықсезгіш қабат ретінде ол лаванда майына иленген асфальтты қолданып, оны қалайы, мыс немесе күмістелген пластинка жақты. Бұл тәсіл *дагеротипия* деп аталады. Мәселе мынада: дагеротипті — жарықсезгіш металл пластинкада кескін алу процесін 1839 жылдың 9 тамызында француздың суретшісі, әрі өнертапқышы Луи Дагер француз ғылым академиясында баяндап берді. Соның нәтижесінде фотографиялық кескін алудың бұл тәсілі бүкілдүниежүзіне әйгілі болды.

Алғашқы түрлі түсті фотосуретті — бант болып байланған үш түсті лентаның фотосын 1861 жылы Максвелл Лондонда Корольдік институтта оқыған лекциясының барысында көрсеткен болатын. Sony компаниясы 1981 жылы цифрлық камераны ойлап тапты, соның нәтижесінде дәстүрлі фотоленкадан бас тартып, цифрлық фотографиялар жасауға мүмкіндік туды. Бірақ көптеген біліктілігі жоғары фотограф мамандар әлі де дәстүрлі фотоленканы қолдануды жөн санайтынын да айта кеткен дұрыс.



1. Қандай реакциялар фотохимиялық деп аталады?
2. Фотохимиялық реакцияның қызыл шегарасы деп нені айтады?
- 3. Фотосинтез процестері туралы айтып беріңдер.
- 4. Фотосуреттер туралы не білесіңдер? Мысалдар келтіріңдер.
- *5. Фотопластинкада не фотоленкада кескін қалай пайда болады?
- *6. Негатив кескінің позитив кескінен қандай айырмашылығы бар?



Ақпарат жинап, “Күнге күюдің пайдасы мен зияны” тақырыбына реферат жазыңдар.

§ 34. Рентген сәулелері



Тірек ұғымдар:

- ✓ Рентген сәулелері
- ✓ Рентген түтігі
- ✓ тежелуші рентген сәулелер
- ✓ сипаттамалық рентген сәулелер

Бүгінгі сабақта:

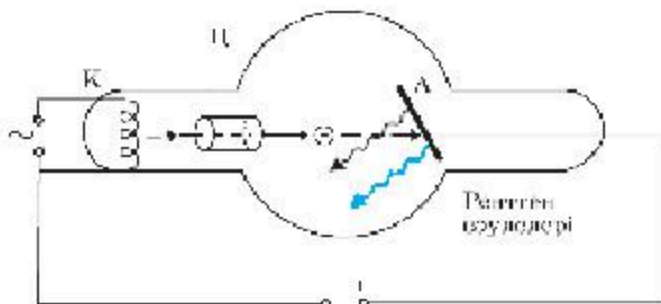
- рентген сәулелердің негізгі сипаттамаларымен және оның қолданылуымен танысасыңдар.



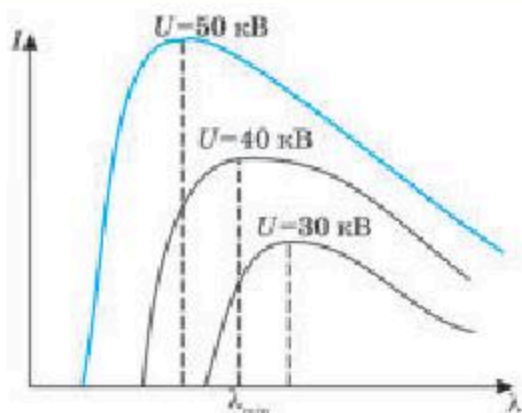
Мұны білесіңдер

Рентген сәулелерін 1895 жылы В. Рентген ашқан. Бұл — толқын ұзындығы өте аз, шамамен (10^{-12} — 10^{-9}) м диапазонда жататын электромагниттік сәулелену. Ол жылдам электрондар зат ішінде тежелгенде пайда болады.

Тежелуші рентген сәулеленуі. Рентген сәулелерін алу үшін *рентген түтіктері* қолданылады. Бұл — ішінен ауасы сорылып алынған және үш электрод орналасқан баллон (34.1-сурет). Қыздырылатын катод *K* термоэлектрондар көзі болады, ал цилиндрлік электрод *Ц* катод пен анод арасында туатын жоғары кернеумен үдетілетін электрондарды



34.1-сурет. Рентген түтігі



34.2-сурет. Тежелуші рентген сәулеленуінің спектрі

жылу энергиясына айналады, сондықтан антикатод қатты қызады. Оны қандай да бір тәсілмен суытып отыруға тура келеді.

Рентген сәулеленуінің пайда болуын классикалық электромагниттік теорияның аясында түсіндіруге болады. Бұл теория бойынша үдей қозғалатын зарядталған бөлшек міндетті түрде сәулеленуі тиіс. Қарастырылып отырған жағдайда электрон антикатодқа соғылып тежеледі де, теріс үдеу алады, сондықтан ол сәулеленеді.

Сәулелену қуаты электрон зарядының квадратына және оның үдеуінің квадратына пропорционал, яғни $p \sim e^2 a^2$. Электрон тежелгенде классикалық теория бойынша нөлден шексіздікке дейінгі барлық интервалдағы толқын ұзындықтары бар сәулелер шығу керек. Сәулелену қуатының максимумына сәйкес келетін толқын ұзындығы электрондардың жылдамдығы артқан сайын азаюы тиіс, яғни ол үдетуші U кернеуді арттырғанда қысқа толқындар жағына қарай жылжуы керек.

34.2-суретте тәжірибеден алынған сәулелену интенсивтігінің толқын ұзындығына тәуелділік графиктері кескінделген. Бұл суретке қарасақ, тәжірибеден алынған тәуелділіктер, негізінен, классикалық теорияның қорытындыларымен дәл келеді. Бірақ бір қайшылық бар: қысықтар нөлден емес, қандай да бір λ_{\min} толқын ұзындығынан басталады. Міне, осы λ_{\min} толқын ұзындығын *тежелуші рентген сәулеленуінің қысқа толқынды шегарасы* деп атайды.

Қысқа толқынды шегараның болуын кванттық теория тұрғысынан оңай түсіндіруге болады. Егер электрон тежелгенде сәулелену энергия кванттары түрінде шығатын болса, әр кванттың (фотонның) энергиясы, әрине, электронның өзінің энергиясынан артық бола алмайды. Олай

болса, $h\nu_{\max} = eU$, бұдан $\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}} = \frac{ch}{eU}$; $\lambda_{\min} = \frac{ch}{e} \cdot \frac{1}{U}$.

фокустайды. Анод (оны антикатод деп те атайды) W, Cu, Pt сияқты ауыр металдардың бірінен жасалады.

Үдей қозғалған электрондар жоғары жылдамдықпен келіп антикатодқа соғылады да, кенеттен тежеледі. Осы кезде шығатын электромагниттік толқындар *тежелуші рентген сәулелері* деп аталады. Электрондар тежелген кезде олардың энергиясының тек 1—3% -ы ғана сәулелену энергиясына жұмсалады, ал қалғаны

Бұл нәтиже тәжірибемен жақсы сәйкес келеді. Тәжірибеден λ_{\min} -ді анықтап, оның мәнін жоғарыдағы формулаға қою арқылы Планк тұрақтысын есептеп шығаруға болады. Бұл — дәлдігі ең жоғары тәсілдердің бірі.

Тежелуші электрондардың энергиясы жеткілікті дәрежеде жоғары болғанда тежелуші рентген сәулелерінің тұтас спектрінің үстінде жіңішке айқын сызықтар пайда болады. Бұл — *сипаттамалық рентген сәулеленуі*. Рентген сәулелерінің бұл түрі антикатодтың затын сипаттайды.

Рентген сәулелерінің қолданылуы. Рентген сәулелері заманауи қоғамда көптеген салаларда кеңінен қолданылып отыр. Солардың бірнешеуін атап өтейік. Рентген сәулелерінің толқын ұзындығы өте қысқа (10^{-12} см-ден 10^{-5} см-ге дейін) болғандықтан, олар үшін қатты денелердің кристалдары дифракциялық тордың қызметін атқара алады. Кристалл затқа рентген сәулелерін түсіріп, одан пайда болған дифракциялық суретті зерттеу арқылы заттың құрылымы туралы деректер алуға болады. Сол сияқты материалдардың рентгенографиясы, рентгендік топография салаларын атап өтуге болады.

Компьютерлік томография. Сендер медицинада рентген сәулеленуі диагностикада және өртүрлі ауруларды емдеуде кеңінен қолданылатынын білесіңдер. Бұл саладағы соңғы жетістіктердің бірі *компьютерлік томография* болып табылады.

Рентгендік компьютерлік томографтың (34.3-сурет) жұмысы адам денесінің зерттеліп отырған бөлігіне рентген сәулелерінің жіңішке



Вильгельм Рентген
(1845—1923)



34.3-сурет. Рентгендік компьютерлік томограф

шоғын түсіріп, содан денеден өткен шоқты тіркеуге негізделген. Рентген сәулелері денеден өткенде әртүрлі дене мүшелері сәулелерді түрлі дәрежеде жұтады. Бұл сәулелерді компьютер арқылы зерттей отырып, нәтижесінде аса сапалы үш өлшемді (көлемді) кескін алуға болады. Бұл кескін ауруға шалдыққан ағзадағы өзгерістерді өте дәл және нақты көрсетеді.

Рентгендік компьютерлік томограф рентген сәулелерінің әлсіреу коэффициентін 0,5% шамасындағы дәлдікке дейін бағалауға мүмкіндік береді, ал кәдімгі рентгенография тәсілдерінде бұл мән (10—20)%, яғни рентгендік компьютерлік томографияның сезгіштігі өте жоғары, сонымен қатар бұл тәсілмен ағзалар және бұлшық еттер қабат-қабатымен көрініп, бір-бірін көлегейлемейді.

Үйреншікті флюорографияда, негізінен, сүйектер мен өкпе көрінсе, компьютерлік томографияда жұмсақ еттер де (бауыр, ми, бүйрек және т.б.) анық көрінеді. Бұл аурудың алғашқы белгілерін анықтауға, сөйтіп ерте диагноз қоюға мүмкіндік туғызады. Қазіргі кезде компьютерлік томография стоматологияда да тістер мен жақ сүйектерін зерттеуде кеңінен қолданылуда.

Рентгендік компьютерлік томографияның жаңа саласы — бұл спиральдық компьютерлік томография (СКТ немесе ангиография). Мұнда адам шамалы уақытқа демін тоқтатқанда бүкіл ағзаны сканерлеуге болады, сондықтан пациентке түсетін сәулелік жүктеме азаяды. Ал СКТ-ның жаңа түрі — мультиспиральды компьютерлік томография (МСКТ). Бұл құрал зерттеуді өте жоғары жылдамдықпен жүргізуге және ұсақ әрі қозғалыстағы құрылымдарды дәл кескіндеуге, мысалы қан тамырларын зерттеуге мүмкіндік береді.

Магнит-резонансты томография (МРТ). Заманауи медицинаның соңғы жетістіктерінің бірі — *магнит-резонансты томографтар*. Бұл құралдар тексеріліп отырған ағзаның қабат-қабат кескіндерін алуға мүмкіндік береді.

Құралдың жұмыс істеу принципінің негізінде ядролық-магниттік резонанс құбылысы жатыр. Магнит-резонансты томографта магнит өрісі туындап, белгілі бір жиіліктегі радиотолқындар шығарылады. Адам ағзасындағы сутек атомдарының ядролары мұндай әсерлерге сезімтал болады. Дененің тексеріліп отырған ағза орналасқан бөлігін айнала датчиктер қойылады. Олар зерттеу барысында осы ағзада болып жатқан өзгерістерді тіркеп, өңдеу құралының процессорына беріп отырады.

Магнит-резонансты томограф тексеріліп жатқан пациенттің денесінде тұрақты магнит өрісі болуын қамтамасыз етеді. Бұл аппарат: ағзаны радиотолқындармен ынталандырады; ағзаның электромагниттік сәулеленуін тіркейді; алынған сигналдарды өңдеп, оны кескінге айналдырады.

Магнит-резонансты томографта қан тамырларының ішкі саңылауларының кескінін алуға (магнит-резонансты ангиография), пациенттің қан айналымының анатомиялық және функционалды ерекшеліктерін бағалауға, омыртқаны зерттеуге болады. Құралдың бұдан басқа да көптеген мүмкіндіктері бар.

Магнит-резонансты томографта алынған картинка тексеріліп отырған ағзаның фотографиялық суреті болып табылмайды. Маман пациенттің денесі шығарған радиосигналдардың жоғары сапалы бейнелік көрінісін алады. МРТ диагностика компьютерлік томография тәсілінен анағұрлым артық, себебі зерттеу барысында иондаушы сәулелену емес, адам ағзасына зиянсыз электромагниттік толқындар қолданылады.



1. Рентгендік сәулелену деген не?
2. Рентген түтіктерінің жұмыс істеу принциптерін түсіндіріңдер.
3. Тежелуші рентгендік сәулеленудің қысқа толқынды шеғарасы деп нені айтамыз?
4. Рентген компьютерлік томографтың жұмыс істеу принциптерін түсіндіріңдер.
5. МРТ зерттеу тәсілі туралы айтып беріңдер.

7-тараудың ең маңыздысы

Зат шығарған сәуленің құрамында кездесетін барлық толқын ұзындықтарының жиынтығын *шығару спектрі* деп атайды.

Берілген зат жұтатын жарықтың құрамына кіретін барлық толқын ұзындықтарының жиынтығы *жұтылу спектрі* деп аталады.

Спектрлік анализ — зат пен сәулеленудің өзара әсерлесу спектрлерін зерттеу арқылы заттың құрамын анықтайтын сапалық және сандық тәсілдердің жиынтығы.

Металға түсірілген сәулеленудің әсерінен оның бетінен электрондардың ұшып шығу құбылысы сыртқы *фотоэлектрлік эффект* (фотоэффект) деп аталады.

Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуі:

$$h\nu = A_{\text{ш}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}.$$

Рентген сәулелері — толқын ұзындығы өте аз, шамамен ($10^{-12} \cdot 10^{-9}$) м диапазонда жататын электромагниттік сәулелену. Ол жылдам электрондар зат ішінде тежелгенде пайда болады.

8-тарау. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

§ 35. Табиғи радиоактивтік



Тірек ұғымдар:

- ✓ радиоактивтік
- ✓ ығысу ережесі
- ✓ альфа-ыдырау
- ✓ бета-ыдырау
- ✓ гамма-ыдырау

Бүгінгі сабақта:



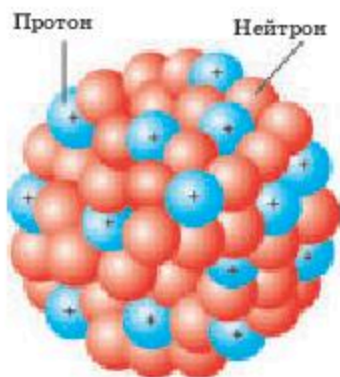
- радиоактивтік құбылысымен және радиоактивтік альфа-, бета-, гамма-ыдыраулармен танысасыздар.

Алдыңғы тарауда айтылғандай, атом ядросы туралы ұғымды 1911 жылы Э. Резерфорд енгізді. Ол өзінің қызметкерлері Э. Марсден, Х. Гейгермен бірге бөлшектердің жұқа металл қабатынан өтуін және шашырауын зерттеген. Жасалған тәжірибелердің нәтижесін түсіндіру үшін атомның ядролық моделін ұсынды. Атом оң зарядталған ядро мен теріс зарядталған электрондар жиынтығы — электрондық қабықшалардан тұрады (35.1-сурет). Атом массасы түгелдей дерлік ядрода шоғырланған. Атомға қарағанда ядро тым кішкентай және ол өте берік. Атом ядросының ашылуы теориялық және эксперименттік физикада атом ядросының құрылысы мен оның қасиеттері туралы тың мәселе қойды. Осылайша ядролық физика деп аталатын физиканың жаңа бір тармағы өмірге келді.

Ядролық физика атом ядросының құрылымын, қасиеттерін, оның түрленулерін зерттейді, микроәлемде болып жататын құбылыстарды қарастырады. Элементар бөлшектердің табиғатын, өзара әсерлесулері мен түрленулерін зерттейді.

Алдыңғы тақырыпта атап өткеніміздей, табиғатта тұрақты ядролармен қатар ыдырауға бейім ядролардың бар екені белгілі. Ядролық физиканың даму тарихына көз жүгіртсек, оның қайнар көзі 1886

жылы француз ғалымы А. Беккерель ашқан табиғи радиоактивтік құбылысынан басталады. А. Беккерель уран тұзының фотопластинаға әсерін зерттеген. Тәжірибелер барысында ол мына құбылысты байқаған: уран тұздары тығыз қара қағазбен оралған фотопластинаға әсер етіп, оның қараюын туғызатын, өтімділігі жоғары белгісіз сәулелерді шығарады екен. Мұқият зерттеулер нәтижесінде Беккерель өтімділігі жоғары белгісіз сәулелерді уран атомының өзі ешқандай сыртқы әсерсіз-ақ, өздігінен шығаратынын анықтады. Белгісіз



35.1-сурет

сәулелердің заттармен әсерлескенде фотопластинканы қарайтатыны, яғни химиялық әсерінің бары, газдарды иондауы, кейбір қатты денелер мен сұйықтардың люминесценциясын туғызатыны сияқты қасиеттері белгілі болды.

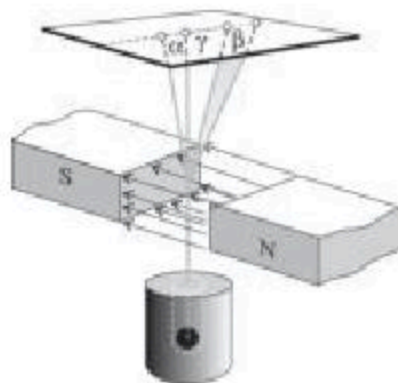
Бұл құбылысты зерттеу жұмыстары бірден басталды. Францияда 1898 жылы М. Склодовская-Кюри мен П. Кюри торий (Th) элементінің өздігінен сәуле шығаруын ашты. Өздігінен сәуле шығаратын химиялық элементті *радиоактивті* деп, ал сәуле шығару процесін *радиоактивтік* деп атауды М. Кюри ұсынған еді. Радиоактивтік латынның “radio” — *сәуле шығару*, “activus” — *әрекетті* деген сөздерінен алынған. Осы жылы ерлі-зайыпты



Мария
Склодовская-Кюри
(1867—1934)

ғалымдар тонналаған уран кенін өңдеу арқылы, радиоактивті екі жаңа химиялық элементті бөліп алады. Радиоактивтігі ураннан миллион есе қарқынды элементті (Ra) радий, екінші элементті М. Склодовскаяның отанының құрметіне полоний (Po) (лат. *Польша*) деп атаған. 1908 жылы Резерфорд спектрлік анализ әдісімен радиоактивті газ — радонды (Rn) ашты. Ауқымды жүргізілген зерттеулер Менделеев кестесіндегі қорғасыннан кейінгі ауыр элементтердің ядроларының бәрінде *табиғи радиоактивтік* бар екенін көрсетті. Кейбір жеңіл, элементтердің де табиғи радиоактивтік қасиеттері ашылды: мысалы, калийдің изотопы $^{40}_{19}\text{K}$, көміртектің изотопы $^{12}_6\text{C}$ және т.б.

Радиоактивті ыдырау. Э. Резерфорд пен П. Кюри радиоактивтік кезіндегі сәуле шығарудың табиғатын зерттеу барысында оның құрамының күрделі екенін анықтайды. Радиоактивті радий Ra қорғасыннан жасалған қалың қабатты ыдыстың ішінде орналасқан. Ыдыстың ортасында цилиндр пішінді арна бар. Ыдыстың түбіндегі радийден шыққан сәулелерге оған перпендикуляр бағытта күшті магнит өрісі әсер етеді. Арнаға қарсы фотопластина орнатылған. Барлық қондырғы вакуумда орналастырылған. 35.2-суретте көрсетілгендей радийден шығатын сәулелер ағыны магнит өрісінен өткеннен кейін үш шоққа бөлінген. Шоқтардың осылайша бөлінуін фотопластинадағы қарайған заттардың орындары бойынша анықтайды. Оларды сәйкесінше α (альфа)-сәуле, β (бета)-сәуле және γ (гамма)-сәуле деп атаған. α -сәуле дегеніміз — оң зарядталған бөлшектер (α -бөлшек) ағыны, β -сәуле дегеніміз — өте шапшаң қозғалатын және жылдамдықтары



35.2-сурет

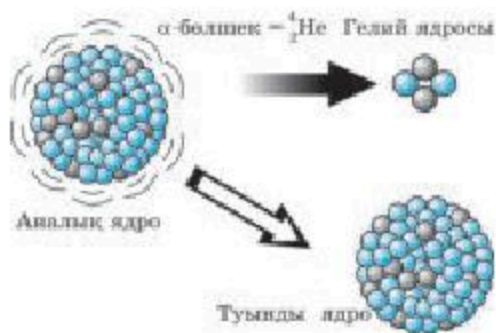
бірдей емес теріс зарядталған бөлшектер (β -бөлшек) ағыны болып шықты. Магнит өрісінде ауытқу бұрышының өртүрлі болуы α -бөлшек пен β -бөлшектің массаларының бірдей емес екенін, өрі қарама-қарсы зарядталғанын көрсетеді. γ -сәулесі магнит өрісінде ауытқымайтын, жиілігі өте жоғары электромагниттік сәулелену кванты екен. Атом ядросының құрылысы мен құрылымына, нуклондардың байланыс энергиялары туралы мәліметтерге сүйене отырып, радиоактивті сәуле шығарудың табиғатын түсіндіру оңай. *Құрамында нейтрондардан гөрі протондарының саны артық болатын ядро тұрақты емес, өйткені кулондық әсерлесудің энергиясы басымырақ.*

Нейтрондарының саны протондар санына қарағанда анағұрлым көбірек болатын ядроның тұрақты болмауының себебі нейтронның массасы протонның массасынан үлкен $m_n > m_p$. Ядроның массасының артуы оның энергиясының артуына өкеліп соғады. Артық энергиясы бар ядро осы энергияның артық бөлігін екі түрлі жолмен бөліп шығаруы мүмкін.

1. Механикалық, термиялық және басқа да сыртқы әсерсіз-ақ ядро өздігінен ыдырап, радиоактивті сәуле шығарады және бөліну нәтижесінде түрленіп, жаңа элементтің ядросы пайда болады. Өздігінен ыдырау процесінде α -бөлшектер ядродан ұшып шықса, оны *альфа-ыдырау* деп атайды.

2. Ядро өзінің электр зарядын бір заряд бірлігіне өзгертуі, яғни нейтронның протонға немесе протонның нейтронға айналуы арқылы тосын ыдырайды. Осы процесс ядродан электронның немесе позитронның (оң заряды бар электрон) ұшып шығуымен қабаттаса өтеді, оны *бета-ыдырау* дейді.

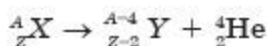
Радиоактивті ядролардың өздігінен ыдырауы кезіндегі түрленуі 1913 жылы ағылшын ғалымы Ф. Содди тұжырымдаған *ығысу ережесіне* бағынады. Радиоактивті ыдырау кезінде электр зарядының және массалық санның сақталу заңдары да, импульс пен энергияның сақталу заңдары да орындалады.



35.3-сурет

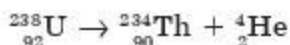
Альфа-ыдырау. α -бөлшегінің табиғатын 1908 жылы Резерфорд көптеген эксперименттік зерттеулер нәтижесінде анықтады. Альфа-ыдырауы кезінде ядродан өздігінен α -бөлшек — гелий атомының ядросы ${}^4_2\text{He}$ (екі протон және екі нейтрон) ұшып шығады және жаңа химиялық элементтің туынды ядросы пайда болады. 35.3-суретте альфа-ыдыраудың процесі көрсетілген.

Альфа-ыдырау кезінде атом ядросы Z зарядтық саны екіге және A массалық саны төртке кем туынды ядроға түрленеді. Жаңа элемент Менделеев кестесіндегі периодтық жүйенің бас жағына қарай екі орынға ығысады:

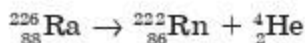


мұндағы X — аналық ядроның белгісі, Y — туынды ядроның таңбасы. Гелий атомының ядросы болып табылатын α -бөлшек үшін ${}^4_2 \text{He}$ белгісін пайдаландық.

Мысалдар келтірейік. Уран ${}^{238}_{92} \text{U}$ ядросының α -ыдырау реакциясында туынды ядро торий ${}^{234}_{90} \text{Th}$ пайда болады:



Тағы бір α -ыдырау реакциясын жазайық:



${}^{238}_{92} \text{U}$ нуклиді мен ${}^{226}_{88} \text{Ra}$ нуклиді аналық ядро, ал ${}^{234}_{90} \text{Th}$ және ${}^{222}_{86} \text{Rn}$ нуклидтері *туынды ядро* деп аталады. Элемент белгісінің үстіңгі жағындағы сандар, яғни массалық сандар (нуклондар саны), теңдіктің екі жағында да бірдей: $238 = 234 + 4$, яғни массалардың сақталу заңы орындалады. Сол сияқты $92 = 90 + 2$ электр зарядының сақталу заңы да орындалады.

Аналық ядро ыдырағанда α -бөлшек пен туынды ядро белгілі бір кинетикалық энергиямен жан-жаққа шашырай ұшады. Кейбір ыдырауда туынды ядро қозған күйде болуы мүмкін. Ыдырау энергиясын аналық ядромен байланысқан санақ жүйесінде энергияның сақталу заңын пайдаланып есептеуге болады. *Ыдырау энергиясы* Q_α қозу энергиясы мен кинетикалық энергиялардың қосындысына тең. Бастапқы энергия аналық ядроның тыныштық энергиясына тең екенін ескерсек, онда

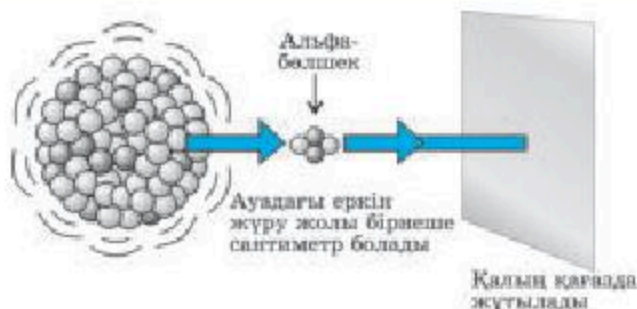
$$M_\alpha c^2 = (M_T + M_{\text{He}})c^2 + Q_\alpha,$$

мұндағы M_α — аналық, M_T — туынды ядролардың, M_{He} — гелий атомы ядросының массалары. Бұдан ыдырау энергиясын табамыз:

$$Q_\alpha = (M_\alpha - M_T - M_{\text{He}})c^2.$$

Мысалы, уранның α -ыдырауы кезінде 4 МэВ энергия бөлініп шығады.

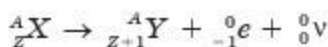
Атомдық нөмірі $Z \geq 82$ ауыр ядроларда альфа-ыдырау байқалады. 35.4-суретте бейнеленгендей, α -бөлшектің өтімділік қабілеті төмен, ауадағы еркін жүру жолы небәрі 3—7 см. Қалыңдау қағаз қабатында жұтылады. Иондаушы қабілеті өте жоғары, сол себепті энергиясын тез жоғалтады.



35.4-сурет

Бета-ыдырау. β -сәулесінің табиғатын 1899 жылы Резерфорд ашқан болатын. Ол шапшаң қозғалатын электрондар ағыны. β -бөлшекті ${}_{-1}^0e$ деп белгілейді. Массалық санның $A = 0$ болуы электронның массасы массаның атомдық бірлігімен салыстырғанда елеусіз аз екенін көрсетеді. Ығысу ережесін бета-ыдырауға қолданайық.

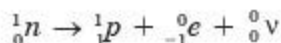
Бета-ыдырау кезінде атом ядросының зарядтық саны Z бір заряд бірлігіне артады, ал массалық сан өзгермейді. Жаңа элемент Менделеев кестесіндегі периодтық жүйенің соңына қарай бір орынға ығысады:



мұндағы $\tilde{\nu}$ — электрлік заряды нөлге тең, тыныштық массасы жоқ электрондық *антинейтрино* деп аталатын бөлшек. Мысалы,



Бұндай ыдырауды *электрондық β -ыдырау* деп атайды. Радиоактивті электронды β -ыдырау процесі ядрода нейтронның протонға айналуы және осы кезде электронның және антинейтриноның қабаттаса түзілуі арқылы өтеді:

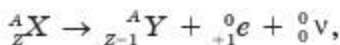


Ядроның ішінде электронның пайда болуы осы нейтронның ыдырауының нәтижесі екен. Бета-ыдырау кезінде туынды ядро мен электрон жүйесінің энергиясы ыдырауға дейінгі аналық ядро жүйесінің энергиясынан кем болып шығатынын өлшеулер көрсетті. β -ыдырау кезінде энергияның сақталу заңының орындалатынына күмән туды. 1930 жылы В.Паули β -ыдырау кезінде ядродан электроннан басқа тағы бір массалық саны ($A = 0$) мен зарядының саны ($Z = 0$) нөлге тең бөлшек бөлініп шығады деген жорамалды ұсынды. β -ыдыраудағы энергияның сақталу заңының бұзылуына себепші, жетіспей тұрған энергия осы бейтарап бөлшекке тиесілі екен.

Ұлы итальян ғалымы Э.Фермидің ұсынысы бойынша бұл бөлшекті *нейтрино ν* (итал. “neutrino” — *кішкентай нейтрон*) деп атаған. Нейтриноның электр заряды мен тыныштық массасы нөлге тең

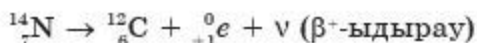
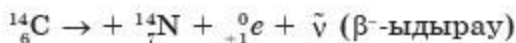
болғандықтан, оның затпен әсерлесуі әлсіз, сондықтан эксперимент арқылы тіркеу аса қиыншылық туғызды. Ұзаққа созылған ізденістер нәтижесінде тек 1956 жылы ғана нейтриноны тіркеу мүмкін болды. Ал антинейтрино осы нейтриноның антибөлшегі болып табылады. Электрондық β^- -ыдыраудан басқа позитрондық β^+ -ыдырау процесі де өтуі мүмкін. Позитрондық радиоактивтік кезінде ядродағы протонның біреуі нейтронға айналып, позитрон ${}_{+1}^0e$ мен электрондық нейтрино ν бөлініп шығады: ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}_{+1}^0e + {}^0_0\nu$.

Ядроның зарядтық саны Z бірлік зарядқа кемиді, нәтижесінде элемент Менделеев кестесіндегі периодтық жүйенің бас жағына қарай бір орынға ығысады:



мұндағы ${}_{+1}^0e$ — позитрон, электронның антибөлшегі, оның массасы электронның массасына тең.

β^- -ыдырауға:



реакцияларын мысалға келтіруге болады.

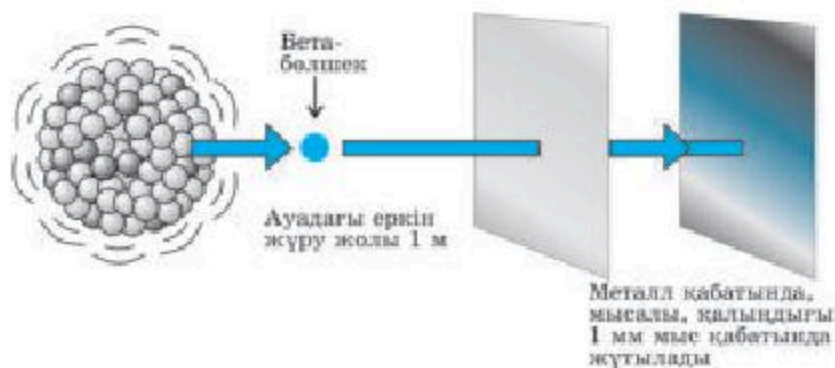
Аналық ядромен байланысқан санақ жүйесінде энергияның сақталу заңын пайдаланып, β^- -ыдыраудың Q_β энергиясын анықтауға болады:

$$M_m c^2 = M_p c^2 + Q_\beta,$$

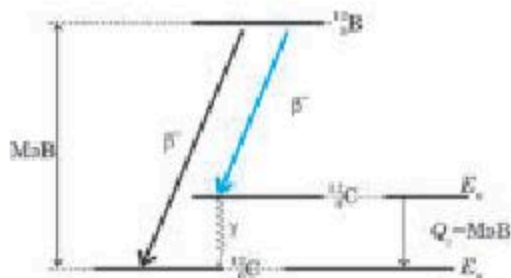
бұдан

$$Q_\beta = (M_m - M_p) c^2.$$

Бұл ыдырау энергиясы электрон (позитрон), антинейтрино (нейтрино) және туынды ядроға беріледі. Туынды ядро қозған күйде болуы мүмкін. β^- -электрондардың вакуумдағы жылдамдығы $v_\beta = 2 \cdot 10^8$ м/с шамасындай. 35.5-суретте көрсетілгендей β^- -бөлшекке қарағанда α^- -бөлшектің



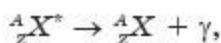
35.5-сурет



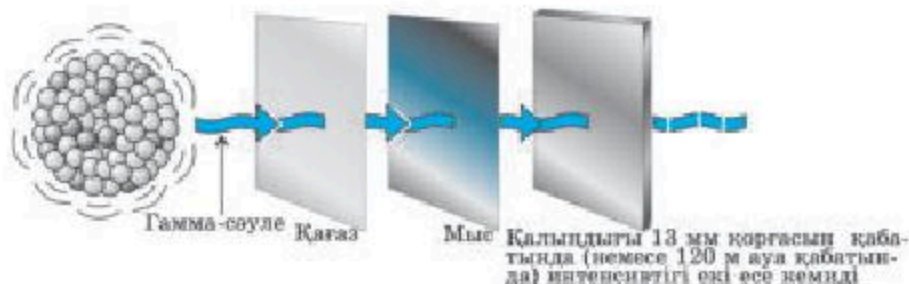
35.6-сурет

сінде ауытқымайды, демек, оның заряды жоқ. Гамма-сәуле шығару радиоактивтік ыдыраудың жеке бір түрі емес, ол альфа- және бета-ыдыраулармен қабаттаса өтетін процесс. Жоғарыда айтқанымыздай, туынды ядро қозған күйде болады. Қозған күйдегі ядро атом сияқты жоғары энергетикалық деңгейден төменгі энергетикалық деңгейге өткенде $h\nu = E_k - E_n$ энергиясы бар гамма-квантын шығарады, мұндағы E_k — қозған, E_n — қалыпты күйдегі энергиялар (35.6-сурет). Ядродан шығатын γ -сәулелері дегеніміз фотондар ағыны болып шықты.

Гамма-ыдыраудың формуласын жазайық:



мұндағы X^* — қозған аналық ядро, X — оның қалыпты күйдегі нуклиді. 35.6-суретте бор ядросының β -ыдырауының сызбасы көрсетілген. γ -сәулесінің толқын ұзындығы өте қысқа болып келеді: $\lambda = 10^{-8} - 10^{-11}$ см. Сондықтан радиоактивті сәулелердің ішінде γ -сәулесінің өтімділік қабілеті ең жоғары, ол 35.7-суретте көрсетілгендей, қалыңдығы 10 см қорғасын қабатынан өтіп кетеді. Гамма-кванттың өтімділік қабілеті өте жоғары, ауадағы еркін жүру жолының ұзындығы 120 м.



35.7-сурет



1. Беккерель тәжірибесінің маңыздылығы неде?
2. Радиоактивті сәуле шығарудың құрылымы қандай және оны қалай анықтаған?
3. Альфа-ыдырау дегеніміз не?
4. Содди ашқан заңдылықтың мәнін түсіндіріңдер.
5. Бета-ыдырау деп нені түсінесіңдер? Электрондық және позитрондық β-ыдыраулардың айырмашылықтары қандай?
6. Нейтриноны тіркеудің күрделілігі неде?
7. Гамма-ыдыраудың механизмін түсіндіріңдер.



Радиохирургияда қолданылатын “гамма-пышақ” туралы топтық жоба дайындаңдар.



14-жаттығу

1. Уранның $^{238}_{92}\text{U}$ изотопының α-ыдырауы кезінде қандай ядро пайда болады?
2. Актиний $^{225}_{89}\text{Ac}$ изотопы үш рет α-ыдырауға ұшырағаннан кейін қандай элемент пайда болады?

Жауабы: $^{213}_{83}\text{Bi}$.

3. $^{209}_{82}\text{Pb}$ қорғасын изотопының радиоактивті ыдырауы кезінде β-бөлшек ұшып шығады. Қорғасын изотопының ядросы қандай элементтің ядросына айналады?

Жауабы: $^{209}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{209}_{83}\text{Bi} + ^0_{-1}e + \tilde{\nu}$.

4. Ксенон $^{140}_{54}\text{Xe}$ ядросы 4 рет β⁻-түрленуге ұшырағаннан соң қандай тұрақты ядроға айналады?

Жауабы: $^{140}_{58}\text{Ce}$.

5. Торий $^{232}_{90}\text{Th}$ изотопының ядросы екі α-ыдырауға, екі электрондық β-ыдырауға және тағы бір α-ыдырауға ұшырайды. Осы түрленулерден соң қандай элементтің ядросы түзіледі?

Жауабы: $^{220}_{86}\text{Rn}$.

6. Алтынның $^{196}_{79}\text{Au}$ радиоактивті изотопы электрондық өрі позитрондық ыдырай алады. Ыдырау реакциясын жазыңдар.

Жауабы: $^{196}_{79}\text{Au} \rightarrow ^0_{-1}e + ^{196}_{80}\text{Hg} + \tilde{\nu}$; $^{196}_{79}\text{Au} \rightarrow ^0_{+1}e + ^{196}_{78}\text{Pt} + \tilde{\nu}$.

7. Висмуттың $^{212}_{83}\text{Bi}$ ядросы α-ыдыраудан соң таллийдің $^{208}_{81}\text{Tl}$ изотопына немесе β-ыдыраудан соң полонийдің $^{212}_{84}\text{Po}$ изотопына айналады. Сөйкесінше ыдырау реакциясын жазыңдар.

Жауабы: $^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{208}_{81}\text{Tl} + ^4_2\text{He}$; $^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{212}_{84}\text{Po} + ^0_{-1}e + \tilde{\nu}$.

8. $^{235}_{92}\text{U}$ уранның $^{207}_{82}\text{Pb}$ қорғасынға айналу тізбегінде қанша α- және β-ыдыраулар бар?

Жауабы: $n_{\alpha} = 7$; $n_{\beta} = 4$.

9. Жасанды түрде алынған радиоактивтік $^{241}_{93}\text{Np}$ непуний элементі қанша α- және β-ыдыраулардан кейін висмуттың орнықты $^{209}_{83}\text{Bi}$ изотопына айналады?

Жауабы: сегіз α-ыдырау және алты β-ыдырау.

§ 36. Радиоактивті ыдырау заңы



Тірек ұғымдар:

- ✓ ыдырау тұрақтысы
- ✓ радиоактивті ыдырау заңы
- ✓ жартылай ыдырау периоды
- ✓ активтілік

Бүгінгі сабақта:



- радиоактивті ыдырау заңы негізінде ядролық қалдықтар әсерінің ұзаққа созылу себебін түсінесіңдер; радиоактивті ыдыраудың формуласын есептер шығарғанда қолдануды үйренесіңдер.

Эксперименттік зерттеулер радиоактивті ыдырау толығымен статистикалық заңдылыққа бағынатынын дәлелдеді. Белгілі бір радиоактивті изотоптың ядролары бірдей болады. Атом ядросының қай уақытта ыдырайтынын алдын ала болжау мүмкін емес. Қай мезетте және ядролардың қайсысының ыдырайтыны кездейсоқ оқиға.

Әрбір радиоактивті зат үшін белгілі бір уақыт аралығы бар, сол уақыт ішінде оның активтілігі екі есе кемиді. Радиоактивті заттың негізгі сипаттамасы — жартылай ыдырау периоды. *Жартылай ыдырау периоды T деп радиоактивті ядроның жартысы ыдырайтын уақыт аралығын айтамыз.* Түрлі заттар үшін жартылай ыдырау периоды түрліше мәнге ие болуы мүмкін. Мысалы, радонның жартылай ыдырау периоды $T = 3,82$ тәулік, ал радий үшін $T = 1600$ жыл. Жартылай ыдырау периоды неғұрлым азырақ болса, соғұрлым радиоактивті сәуле шығару қарқынды болады. Мынаған назар аудару керек, радиоактивті ыдырау жылдамдығына сыртқы жағдайлар (қысым, температура т.б.) әсер етпейді. Ендеше біз ыдырау жылдамдығына әсер ете алмаймыз және де радиоактивті изотоптың қандай да бір химиялық қосылыстарының да ешбір әсері жоқ.

Радиоактивті ыдырау заңының математикалық формуласын табайық. Бастапқы уақыттағы ($t = 0$) радиоактивті атомдардың саны N_0 тең болсын делік. Сонда жартылай ыдырау периоды $t_1 = T$ өткен соң ыдырамаған атомдардың саны $\frac{N_0}{2}$ -ге тең болады. Атомдар бір-біріне тәуелсіз ыдырайды. Олай болса, жартылай ыдырау периоды атомдардың бастапқы санына тәуелді болмайды. Тағы бір жартылай ыдырау периоды $t_2 = 2T_{1/2}$ өткен соң ыдырамаған атомдар саны

$$\frac{1}{2} \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}.$$

Жартылай ыдыраудың n периоды өткен соң, $t = nT$ уақытында радиоактивті атомдардан $N = N_0 \frac{1}{2^n}$ қалады, ал $n = \frac{t}{T}$ болғандықтан,

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Осы теңдеуді *радиоактивті ыдырау заңы* дейді.

Радиоактивті ыдырамаған атомдар санының уақытқа тәуелділігі 36.1-суретте көрсетілген. Бұл тәуелділіктің графигі экспонента болып табылады. Ыдырамаған атомдардың N санын және оның бастапқы N_0 санын біле отырып t уақыттан соң ыдыраған атомдар санын анықтауға болады.

$$N_n = N_0 - N.$$

Радиоактивті ыдырау заңын 1902 жылы Э. Резерфорд пен Ф. Содди ашқан.

Радиоактивті ядроның ыдырау қасиетін сипаттайтын тағы бір шаманы айтуға болады. *Уақыт бірлігі ішінде ыдырайтын ядролар санымен анықталатын шаманы радиоактивті заттың (препараттың) активтілігі (A) деп атайды:*

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

Активтіліктің Халықаралық бірліктер жүйедегі өлшем бірлігі — *беккерель*.

1 беккерель (Бк) — 1 с уақыт бірлігі ішінде бір ыдырау болатын радиоактивті препараттың активтілігі:

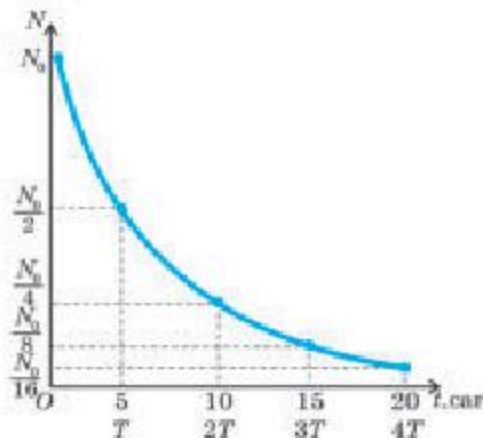
$$[A] = 1 \text{ Бк} = \frac{1 \text{ ыдырау}}{1 \text{ с}}.$$

Іс жүзінде қолданылатын активтіліктің басқа да өлшем бірлігі бар, ол — *кюри (Ки)*:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \quad 1 \text{ мКи} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк}.$$

Менделеев кестесіндегі химиялық элементтердің жартысынан көбінің табиғи радиоактивті изотопы бар. Олардың жартылай ыдырау периодтарының диапазоны өте үлкен. Мәселен, уран $^{238}_{92}\text{U}$ изотопының жартылай ыдырау периоды $T = 4,5$ млрд жылға, ал торий изотопының жартылай ыдырау периоды $T = 14$ млрд жылға тең. Жер планетасы пайда болғалы 4-5 млрд жыл уақыт өтті десек, уран мен торийдің толығымен ыдырап болмағаны өзінен-өзі түсінікті.

Табиғатта жартылай ыдырау периоды қысқа, тіпті жартылай ыдырау периоды секундтың миллионнан бір үлесіндегі ғана болатын элементтер бар. Радиоактивті ыдыраудың ғажабы сол, жартылай ыдырау периоды қысқа болатын изотоптарды ертең де, бүгін де, тіптен 100 жылдан соң да табиғатта кездестіруге болады.



36.1-сурет

Жас тағайындаудың радиокөміртектік әдісі. Тегі биологиялық болып табылатын археологиялық қазбалардың жасын тағайындаудың радиокөміртектік әдісі 1 000 жылдан 75 000, тіптен 100 000 жылға дейінгі аралықты да қамти алады. Міне, осындай әдіспен Мысыр мумияларының, ағзалардың, сүйектердің, ағаштардың және т.б. жасы анықталады.

Жер атмосферасына келіп түскен ғарыш сәулелері, негізінен, протондардан тұрады. Жер атмосферасының атомдарымен соқтығысқан протондар олардан екінші реттік протондарды және нейтрондарды жұлып шығарады да, ал олар өз кезегінде азот ядросымен жаңа ядролық реакцияларға түседі:



${}^{14}_6\text{C}$ көміртек атомы β -радиоактивті және ол $T_{\frac{1}{2}} = 5730$ жылдық жарытпай периодпен ыдырайды.

Атмосферада ыдыраған және қайта түзілген ${}^{14}_6\text{C}$ атомы ядроларының саны теңеседі. ${}^{14}_6\text{C}$ және ${}^{12}_6\text{C}$ атомының ядролар саны $1 : 1,5 \cdot 10^{-12}$ қатынасында болады. Радиоактивті ${}^{14}_6\text{C}$ көміртек ауадағы оттегімен байланысып, көміртектің екі оксидіне айналады. Барлық өсімдіктер көмірқышқыл газын өз бойына сіңіргенде ${}^{12}_6\text{C}$ атомы ядросымен қатар белгілі бір мөлшерде радиоактивті ${}^{14}_6\text{C}$ көміртекті жұтады. Өсімдіктерді пайдаланған адамдар мен жануарлар организмне осы ${}^{14}_6\text{C}$ радиоактивті көміртек енеді. Бірақ тірі организм өлген кезде ${}^{14}_6\text{C}$ атомының саны радиоактивті ыдырау заңына сәйкес кемиді. Ыдырау жылдамдығын анықтай отырып, кез келген археологиялық қазбаның жасы анықталады. Осы жаңалықты ашқаны үшін америкалық физик У. Либби 1960 жылы Нобель сыйлығына ие болған.



1. Атом ядроларының радиоактивті ыдырауы қандай заңдылыққа бағынады?
2. Ыдырау тұрақтысының мағынасын қалай түсінесіңдер?
3. Радиоактивті ыдырау заңының мәнісі неде?
4. Жартылай ыдырау периодының $T = \text{const}$ болуы қандай қағиданы тұжырымдайды?
5. Радиоактивті изотоптың активтігі дегеніміз не? Беккерель қандай шаманың өлшем бірлігі?
6. Жердің жасы бірнеше миллиард жыл, ал радийдің жартылай ыдырау периоды 1600 жыл екені белгілі. Олай болса, не себепті Жерде әлі күнге дейін радийдің қандай да бір мөлшері сақталған?

Есеп шығару мысалы

Радиоактивті кобальттың массасы 4 г. Егер кобальттың жартылай ыдырау периоды 72 тәул болса, онда 216 тәул ішінде оның неше граммы ыдырайды?

Берілгені:

$$m_0 = 4 \text{ г}$$

$$t = 216 \text{ тәул}$$

$$T_{1/2} = 72 \text{ тәул}$$

$$\Delta m = ?$$

Шешуі. Заттың массасы атомдар санына тура пропорционал болғандықтан, масса да уақытқа тәуелді экспоненциалдық заң бойынша өзгереді:

$$\Delta m = m \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Олай болса, $\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = N_0 \frac{\left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}\right)}{N_0}$ деп жаза аламыз.

$$\frac{\Delta m}{m_0} = 1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \text{ болады. Бұдан } \Delta m = m_0 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}\right), \Delta m = 4 \text{ г} \cdot (1 - 2^{-3}) = \frac{4 \text{ г} \cdot 7}{8} = 3,5 \text{ г.}$$

Жауабы: 3,5 г.



15-жаттығу

1. Бір тәулік ішінде массасы 1 г препараттағы полонийдің $^{210}_{84}\text{Po}$ неше атомы ыдырайды?

$$\text{Жауабы: } \Delta N = 1,44 \cdot 10^{19} \text{ атом.}$$

2. Бір секунд ішінде массасы 1 г висмуттан $N = 4,58 \cdot 10^{15}$ β^- -бөлшек ұшып шығатыны белгілі болса, $^{210}_{83}\text{Bi}$ висмуттың жартылай ыдырау периоды анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } T = 5 \text{ тәул.}$$

3. Бастапқы радиоактивті ядролардың $\frac{7}{8}$ үлесі 150 с ішінде ыдыраған. Элементтің жартылай ыдырау периоды неге тең?

$$\text{Жауабы: } T = 50 \text{ с.}$$

4. Йод $^{131}_{53}\text{I}$ изотопының жартылай ыдырау периоды 8 тәулікке тең. Препараттың бастапқы массасы 40 г болса, 80 тәуліктен соң радиоактивті изотоптың қанша ядросы қалады?

$$\text{Жауабы: } 1,8 \cdot 10^{20}.$$

5. $^{137}_{55}\text{Cs}$ радиоактивті цезий изотопының $t = 20$ күн уақыт аралығында қанша атомы ыдырайтынын табыңдар. Цезийдің жартылай ыдырау периоды $T_{1/2} = 30$ күн.

$$\text{Жауабы: } \Delta N = 1,6 \cdot 10^{15}.$$

*6. Ескі ағаш бұйымдардағы $^{14}_6\text{C}$ көміртек изотопының активтігі жаңа ғана кесілген ағаштың активтігінің $\frac{2}{3}$ бөлігіндей болады. Егер $^{14}_6\text{C}$ атомдары ядроларының жартылай ыдырау периоды 5570 жыл болса, көне заттардың жасын мың жылға дейінгі дәлдікпен анықтаңдар.

$$\text{Жауабы: } \approx 3000 \text{ жыл.}$$

§ 37. Атом ядросы



Тірек ұғымдар:

- ✓ ядроның заряды
- ✓ ядроның массасы
- ✓ массаның атомдық бірлігі
- ✓ салыстырмалы атомдық масса



Бүгінгі сабақта:

- атом ядросының сипаттамасымен танысасыздар;
- ядролық физикада қолданылатын өлшем бірліктерді білесіздер.

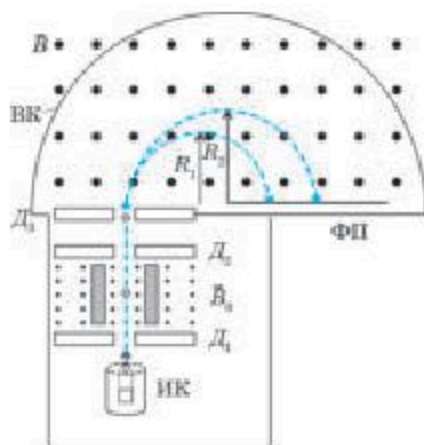
Атом ядросының заряды. Атом ядросының негізгі сипаттамаларының бірі оның электр заряды болып табылады. Атом ядросының зарядын алғаш рет 1913 жылы Г. Мозли өлшеген. Ал ядроның зарядын тікелей өлшеуді ағылшын физигі Дж. Чедвик 1920 жылы жүзеге асырды. Атом ядросының заряды элементар e электр зарядының Менделеев кестесіндегі химиялық элементтің Z реттік (атомдық) нөміріне көбейтіндісіне тең болады:

$$q = Z \cdot e. \quad (37.1)$$

Сонымен Менделеев кестесіндегі химиялық элементтің реттік нөмірі кез келген элемент атомының ядросындағы оң зарядтардың санымен анықталады. Сондықтан элементтің Z реттік нөмірін *зарядтық сан* деп атайды.

Атом ядросының массасы. Атом ядросының физикалық қасиеттері оның зарядымен қатар массасымен де анықталады. Ядроны сипаттайтын шамалардың ең маңыздыларының бірі — масса.

Ядролық физика иондар мен атом ядросының массасын көбінесе масс-спектрографтың көмегімен анықтайды. 37.1-суретте масс-



37.1-сурет

спектрографтың сұлбасы келтірілген. Зерттелетін заттың атомдары иондық көзде (ИК) оң иондалып, әлсіз электр өрісінің әсерінен D_1 диафрагма арқылы өртүрлі жылдамдықпен өтеді. D_1 және D_2 диафрагмалары арасында оң иондар электр өрісінде үдемелі қозғалады және осы мезетте оң иондарға индукциясы \vec{E}_0 болатын магнит өрісі де әсер етеді. Осылайша үдетілген оң иондар оған бір-біріне перпендикуляр бағытталып әсер ететін \vec{E}_0 электр және \vec{B}_0 магнит өрістері арқылы сұрыпталып өтеді. D_2 диафрагма арқылы бұрылмай өтуі үшін $F_y = F_x$ не-

месе $qE_0 = vqB_0$ шарты орындалуы керек. Бұл теңдеуден жылдамдықты анықтайық:

$$v = \frac{E_0}{B_0}. \quad (37.2)$$

Осы жылдамдыққа ие болған оң иондар біртекті \vec{B} магнит өрісінде орналасқан ВК вакуумдық камераға өтеді. Магнит өрісінің \vec{B} индукция векторы иондардың жылдамдық векторына перпендикуляр орналасқан. Магнит өрісінде қозғалған оң иондарға модуль $F = qvB$ болатын Лоренц күші әсер етеді. Иондар осы күштің әсерінен шеңбер бойымен қозғалады. Жартылай шеңбер сыза отырып, массалары бірдей иондар ФП фотопластинаның әр жерінде тіркеледі. $F_n = F_{\text{тр}}$ немесе $M \cdot \frac{v^2}{R} = qvB$ болғандықтан, ионның массасын

$$M = \frac{qBR}{v} \quad (37.3)$$

өрнегі бойынша жоғары дәлдікпен анықтайды. Атом ядросының массасын M өрпімен белгілеу қабылданған.

Ядролық физикадағы өлшем бірліктер. Ядролық физикада Халықаралық бірліктер жүйесінде қолданылатын ұзындықтың, массаның және т.б. өздеріне таныс өлшем бірліктерімен қатар арнайы бірліктер де қолданылады. Бұл қажеттілік ядролық процестердің субатомдық өлемде өтетінінен туындайды.

Мысалы, ядролық физикадағы ең үлкен қашықтық — атом радиусының өзі 10^{-10} м-ге тең. Ұзындық бірлігі ретінде *ферми* алынады: 1 фм = 10^{-15} м. Массаның бірлігі ретінде көміртек $^{12}_6\text{C}$ атомы массасының $\frac{1}{12}$ бөлігі алынады, ол массаның атомдық бірлігі болып табылады:

$$1 \text{ м.а.б.} = 1,660546 \cdot 10^{-27} \text{ кг}, \quad 1 \text{ кг} = 6,023091 \cdot 10^{26} \text{ м.а.б.}$$

Салыстырмалы атомдық масса $A_r = \frac{m_A}{1 \text{ м. а. б.}}$ атомның абсолюттік массасында неше атомдық бірлік бар екенін көрсетеді. Мысалы, сутек үшін $A_r = 1,00783$, көміртек үшін $A_r = 12,0$, оттек үшін $A_r = 15,99482$.

Ядролық физикада энергияны электронвольтпен өлшейді:

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Еселік мәндер де қолданылады: 1 кэВ = 10^3 эВ; 1 МэВ = 10^6 эВ; 1 ГэВ = 10^9 эВ.

Көбінесе элементар бөлшектердің массаларын массаның атомдық бірлігімен қатар энергияның өлшем бірлігі МэВ немесе ГэВ-пен де өлшейді. Сондықтан массаның атомдық бірлігіне сәйкес болатын энергияның эквивалентін анықтайық. Масса мен энергияның өзара байланыста болатыны Эйнштейннің $E_0 = m_0 c^2$ формуласынан белгілі.

Тыныштықтағы бөлшектің массасы $m_0 = 1$ м.а.б. Сонда $E_0 = 1,660546 \cdot 10^{-27} \cdot (2,99792458 \cdot 10^8)^2 = 1,49242 \cdot 10^{-10}$ Дж = = 931,49432 МэВ \approx 931,5 МэВ болады. Олай болса, 1 м.а.б.-не энергияның 931,5 МэВ шамасы сәйкес келеді. Мысалы, электрон массасының энергиялық эквиваленті $m_e \approx 0,511$ МэВ.

Атомдағы электрондар массасы ядроның массасымен салыстырғанда өте аз, оны ескермеуге болады. Сондықтан массаның атомдық бірлігімен алынған және атом массасына ең жақын бүтін санды *массалық сан* деп атайды. Оны A әрпімен белгілейді. Ол жоғары дәлдікті қажет етпейтін есептеулерде, әсіресе массалардың қатынасы кіретін өрнектерде, ядро массасының шамасы ретінде қолданылады. Мысалы, гелий атомының массасы $M_{\text{He}} = 4,0026$ м.а.б. болса, массалық саны $A = 4$ болады.



1. *Периодтық жүйедегі элементтің реттік нөмірі оның ядросының зарядымен қалай байланысқан?*
2. *Неліктен ядроның заряды атомның химиялық қасиеттерін анықтайды?*
3. *Ядролық физикада қосымша қандай өлшем бірліктер қолданылады?*
4. *Масс-спектрограф қандай мақсатта қолданылады? Құрылысы мен жұмыс істеу принципі қандай?*
5. *Массалық сан дегеніміз не?*

§ 38. Ядроның нуклондық моделі



Тірек ұғымдар:

- ✓ протон
- ✓ нейтрон
- ✓ массалық сан
- ✓ нуклондар
- ✓ нуклидтер
- ✓ изотоптар
- ✓ изобарлар

Бүгінгі сабақта:

- ядроның протон-нейтрондық моделін білесіңдер;
- изотоптармен танысасыңдар.



Протонның ашылуы. Атом ядросы ашылғаннан кейін оның құрылымы қандай деген мәселе қойылды. 1919 жылы Э. Резерфорд α -бөлшектермен жасаған тәжірибелерін жалғастыра отырып, ядроның құрамына кіретін бірінші бөлшекті ашты.

Жабық ыдыс ішінде α -бөлшекті шығарушы элемент Ra радий және мырыш сульфидімен қапталған мөлдір Э экран бар (38.1-сурет). Жабық ыдыстан ауа сорылып шығарылған. α -бөлшектер экранға соқтығысып, жарқылдар туғызған. Ол жарқылдарды М микроскоп арқылы бақылаған. Келесі экспериментте ыдысты азот газымен толтырады. Енді α -бөлшектер өзінің энергиясын азоттың атомдарын иондауға және оларды қоздыруға жұмсап, экранға жете алмайды. Дегенмен сирек болса да, экранда жарқылдар байқалған. Иондану кезінде пайда болатын электрондар ондай жарқылдарды туғыза алмайды. Ендеше α -бөлшек азот атомымен соқтығысқанда оның ядросынан белгісіз бір зарядталған бөлшекті ұшырып шығарған. Магнит және электр өрістерінің осы белгісіз бөлшектерге әсерлерін зерттеу нәтижелері оның оң электр заряды бар бөлшек екенін көрсетті және осы бөлшектің массасы сутек атомы ядросының массасына тең болып шыққан. Осы тәжірибе басқа заттармен (фтор, натрий, бор, алюминий және т.с.с.) қайталанды. Оларды α -бөлшектермен атқылағанда әр кезде сутек атомының ядросы



38.1-сурет

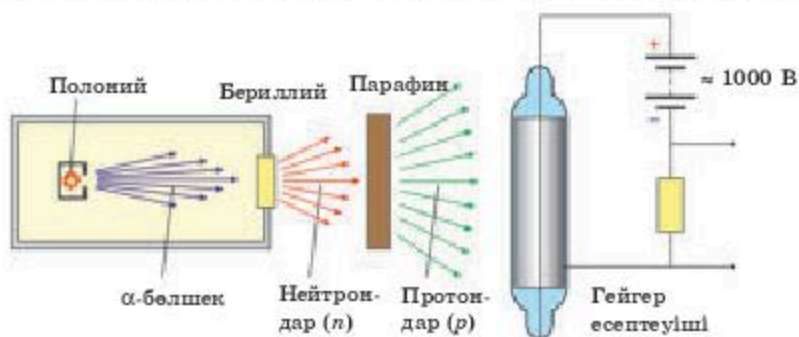
ұшып шығады. Бұл ядро құрамына сутек атомы ядросының кіретінін дәлелдейді. Осы сутек атомының ядросы *протон* (грек. “protos” — *бірінші*) деп аталды.

Протон оң зарядталған және оның заряды электронның элементар зарядына ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) тең. Протонның массасы: $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00728 м.а.б. Энергиялық эквиваленті $m_p c^2 = 938,27$ МэВ.

Протонның ашылуы алғашқыда атом ядросының протон-электрондық моделін ұсынуға мүмкіндік берді. Бірақ тәжірибелер мен есептеулер атом ядросының протонмен электроннан ғана құрылуы мүмкін емес екенін дәлелдеді.

Нейтронның ашылуы. Ядроның құрамына кіретін тағы бір бөлшекті ашуға талпынғандар неміс ғалымдары В. Боте мен Г. Беккер. Олар 1930 жылы жасаған тәжірибелерінде литий мен бериллийді α -бөлшектермен атқылағанда протонның орнына өте нашар жұтылатын бөлшектер ұшып шығатынын байқайды. Бұл бөлшектер қалыңдығы 20 см болатын қорғасын қабатынан өтіп кеткен. Осы мәселемен француз ғалымдары Ирен және Фредерик Жолио-Кюрилер де айналысқан. Олар бериллийді α -бөлшектермен атқылағанда пайда болатын сәуле жолына парафин пластинасын қойғанда, 38.2-суретте көрсетілгендей сутекке қаныққан парафиннен протондар ұшып шығады деп болжам жасайды. Ағылшын ғалымы Дж. Чедвик осы жылы бериллийді α -бөлшектермен атқылағанда одан бөлінетін табиғаты белгісіз сәуленің қасиеттерін зерттеу жұмыстарын жүргізеді.

Энергияның және импульстің сақталу заңдарына сүйене отырып жүргізілген есептеулер нәтижесінде белгісіз бөлшектің массасын анықтайды. Чедвик бұл сәуленің электрлік бейтарап бөлшектер ағыны екенін дәлелдеген. Белгісіз бөлшектің массасы жуықтап алғанда протонның массасына тең болып шыққан. Атом ядросының құрамында протон сияқты ауыр, бірақ бейтарап бөлшектің бар болуы мүмкін деген батыл болжамды 1920 жылы Э. Резерфорд айтқан және оны нейтрон деп атауды ұсынған еді. Сонымен жаңа бөлшек *нейтрон* деп



38.2-сурет

аталды. Нейтронның электр заряды нөлге тең, сол себепті оның зат арқылы өтетін өтімділік қабілеті өте жоғары. Қазіргі дәл өлшеулер бойынша нейтронның массасы $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00866 м.а.б. = 939,56 МэВ-қа тең.

Нейтрон 1_0n символы арқылы белгіленеді, электр заряды жоқ, ал салыстырмалы атомдық массасы бірге жуық. Мына жағдайды айта кету керек, нейтронның массасы протонның массасынан 2,5 электрон массасына артық. Ұзақ уақыт бойы ауада да, жерде де нейтрон еркін күйінде кездеспеген. Тек 1950 жылы ғана осы құбылыстың сыры ашылды. Нейтрон тұрақты бөлшек емес. Ядродан бөлініп шыққан нейтрон 14 мин-тай уақыт аралығында протонға, электрон және тыныштық массасы жоқ бөлшек *антинейтриноға* өздігінен ыдырайды. Бұл туралы келесі тақырыптарда кеңірек тоқталамыз.

Атом ядросының құрамы. 1932 жылы нейтрон ашылғаннан соң орыс ғалымы Д. Д. Иваненко мен неміс ғалымы В. Гейзенберг ядроның *протон-нейтрондық моделі* туралы болжам ұсынды. Қазіргі кезде атом ядросының протон-нейтрондық құрамы зерттеулер негізінде дәлелденген және ғылыми қабылданған даусыз ақиқат болып табылады. Қалыпты жағдайда атом электрлік бейтарап болатындықтан, протонның заряды модулі бойынша электронның зарядына тең, яғни ядродағы протондардың саны атом қабықшасындағы электрондардың санына тең. Олай болса, протондар саны зарядтық санға (Z) тең болуы керек. Ядроның құрамына кіретін оң зарядты протон мен электрлік бейтарап нейтрондардың жалпы санын *нуклондар* деп атау келісілген (лат. “nukluis” — *ядро*). Ядродағы нуклондардың жалпы саны A *массалық сан* деп аталады:

$$A = Z + N. \quad (38.1)$$

Осы өрнектен ядроның құрамына кіретін N нейтрондар санын анықтауға болады: $N = A - Z$.

Ядроның құрамын сипаттау үшін оның Менделеев кестесіндегі атомдық нөмірі Z пен массалық сан A қолданылады. Атомдағы электрондардың массасы ядро массасына қарағанда ескермеуге болатындай анағұрлым аз. Сондықтан атом ядросының массалық саны A бүтін санға дейін жуық дәлдікпен алынған химиялық элементтің салыстырмалы атомдық массасына тең. Атомдық реттік нөмірі Z , ал массалық саны A болатын химиялық элементтің ядросын A_ZX деп белгілейді. Мысалы, ${}^{12}_6C$ деген белгілеу — атомдық нөмірі $Z = 6$, массалық саны $A = 12$ болатын көміртек атом ядросының белгісі.

Протонды 1_1p , ал нейтронды 1_0n түрінде белгілейді. Протон сутек атомының ядросы болғандықтан, оны кейде 1_1H деп те белгілеуге болады. *Атом ядросы* деген терминнің орнына оның баламасы ретінде *нуклидтер* деген термин де кеңінен қолданылады.

Изотоптар. Атом ядроларының массаларын дәл өлшеу химиялық элементтердің басым көпшілігінде зарядтық сандары бірдей, бірақ массалары әртүрлі атомдардың бар екенін көрсетті. *Ядролық зарядтары (реттік нөмірлері Z) бірдей, ал массалық сандары A әртүрлі элементтердің атомдарын изотоптар* (грек. “isos” — бірдей және “topos” — орын) деп атайды. Мысалы, табиғатта реттік нөмірі $Z = 18$ -ге тең аргонның ядросы құрамында $N = 18; 20; 22$ нейтрондары бар үш ${}_{18}^{36}\text{Ar}$, ${}_{18}^{38}\text{Ar}$, ${}_{18}^{40}\text{Ar}$ изотопы кездеседі. Атом қабықшасындағы электрондардың сандары бірдей болғандықтан, изотоптардың химиялық қасиеттері де бірдей. Ал ядроның массалары әртүрлі, сондықтан изотоптардың физикалық қасиеттерінде айырмашылық бар.

Табиғаттағы ең ауыр элементтің бірі — уран ${}_{92}^{238}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{92}^{234}\text{U}$ түрінде кездеседі. Ең жеңіл элемент сутекте үш изотоп — ${}_{1}^1\text{H}$, ${}_{1}^2\text{H}$ және ${}_{1}^3\text{H}$ бар. Сутектің жеңіл изотопы ${}_{1}^1\text{H}$ — протий, ал ${}_{1}^2\text{H}$ изотопының дейтерий деп аталатынын білесіңдер. Дейтерийдің табиғи сутектің құрамындағы үлесі 0,015%. Ол оттектен қосылғанда ауыр су түзіледі. Сутектің үшінші ${}_{1}^3\text{H}$ изотопын тритий деп атайды және ол табиғатта кездеспейді.

Массалық сандары A бірдей, зарядтық сандары Z әртүрлі нуклидтерді изобаралар (бірдей ауыр деген сөз) деп атайды.

Қазіргі кезде химиялық элементтердің бәрiнің де изотоптары бар екені белгілі.



1. Протон қалай ашылды?
2. Чедвик тәжірибелерінің мақсаты қандай?
3. Массалық сан дегеніміз не?
4. Табиғатта еркін нейтрондар неліктен аз кездеседі?
5. Нуклондар және нуклидтер дегеніміз не?
6. Химиялық элемент изотоптарындағы негізгі айырмашылық неде?
7. Изобаралар деп нені айтады?



16-жаттығу

1. Бериллий, кремний және бром атомдарындағы ядролардың құрамын анықтаңдар.
2. Атом ядросында 7 протон және 7 нейтрон, 51 протон және 71 нейтрон, 101 протон және 155 нейтрон болатын химиялық элементті анықтаңдар.
3. ${}_{2}^3\text{He}$, ${}_{4}^7\text{Be}$, ${}_{8}^{15}\text{O}$ изотоптарындағы протондарды нейтрондармен, ал нейтрондарды протондармен алмастырсақ, онда қандай элементтердің ядролары пайда болар еді?

Жауабы: ${}_{1}^3\text{H}$, ${}_{3}^7\text{Li}$, ${}_{10}^{15}\text{Ne}$.

4. Мына бейтарап атомдарда қанша электрон, протон, нейтрон және нуклон бар: а) ${}_{12}^{24}\text{Mg}$, ${}_{12}^{26}\text{Mg}$; ө) ${}_{18}^{40}\text{Ar}$, ${}_{20}^{40}\text{Ca}$; б) ${}_{6}^{13}\text{C}$, ${}_{7}^{14}\text{N}$? Өрбір топты не біріктіріп тұр?

Жауабы: а) изотоптар; ө) изобаралар.

§ 39. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы



Тірек ұғымдар:

- ✓ ядролық күштер
- ✓ байланыс энергиясы
- ✓ массалар ақауы
- ✓ киелі сандар

Бүгінгі сабақта:



- атомдық ядроның байланыс энергиясын есептеуді және меншікті байланыс энергиясының ядроның массалық санына графикалық тәуелділігін білесіңдер.

Ядролық күштер. Әлемдегі іргелі әсерлесу күштерінің екі түрімен — гравитациялық және электромагниттік күштермен танысып. Сендер 9-сыныпта атом ядросын құрайтын нуклондардың арасындағы өзара әсерлесу күші жөнінде алғашқы мағлұматты алғансыңдар. Шындығында, ${}_{92}^{238}\text{U}$ атом ядросындағы аттас оң зарядталған протондардың арасында $F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$ қуатты электростатикалық тебіліс күші бар екені белгілі. Ауыр элементтердің ядроларында, мысалы, уранда 92 протон бар, олардың өзара тебілу күші бірнеше мыңдаған ньютонға жетеді. Сонда бір-бірінен тебілетін протондарды, электр заряды нөлге тең нейтрондарды ядроға ұстап тұрған қандай күш?

Массаларына байланысты протондар мен нейтрондарды ұстап тұрған гравитациялық күш $F_g = G_1 \frac{m_p \cdot m_n}{r^2}$ шығар деген пайымдау жасауға болар еді. Алайда жүргізілген есептеулер, ядродағы екі протонның арасындағы гравитациялық тартылыс күші олардың арасындағы электростатикалық кулондық тебіліс күшінен кіші екенін көрсетті:

$$\frac{F_g}{F_{эл}} = \frac{1}{10^{36}}.$$

Атом ядроларының тұрақтылығы ядролардың ішінде осы күнге дейін белгілі күштерден табиғаты мүлдем ерекше аса зор тартылыс күшінің бар екенін дәлелдейді.

Ядродағы нуклондарды ыдырап кетуден сақтап, оның берік байланысын қамтамасыз ететін күштер ядролық күштер деп аталады. Қазіргі кезде тәжірибелер негізінде ядролық күштердің қасиеттері жақсы зерттелген. Олардың ішіндегі ең маңыздыларына назар аударайық.

1. Мысалы, протонның центрінен $r = 10^{-15}$ м қашықтықта ядролық күштер кулондық күштен 35 есе, ал гравитациялық күштен 10^{38} есе қуатты болады. Сол себепті ядролық күштер *күшті әсерлесу* деп аталатын әлемдегі өзгеше іргелі өзара әсерлесу күштері болып табылады.

2. Ядролық күштер — *қысқа қашықтықта ғана әсер ететін күштер*. Арақашықтықтың артуына байланысты ядролық күштер өте шапшаң кемиді. Әсер ету аймағының шегі $r > 3 \cdot 10^{-15}$ м-ден үлкен

жағдайда ядролық күштің әсерін ескермесе де болады. Нуклондардың арасындағы тартылыс күшінің ең үлкен мәні $r = 1,41 \cdot 10^{-15}$ м қашықтықта байқалады. Ал қашықтық $r < 0,5 \cdot 10^{-15}$ м болғанда нуклондардың арасында ғаламат тебіліс күші пайда болады. Сонымен, ядролық күштер тартылыс күштері болып табылады.

3. Тәжірибелерден протон-нейтрон, нейтрон-нейтрон және протон-протон жұптарының арасындағы ядролық тартылыс күштері барлық жағдайда да бірдей болатыны анықталды. Олай болса, *ядролық күштер нуклондардың электр зарядының бар-жоғына тәуелсіз әрекет етеді.*

4. *Ядролық күштердің қаныққыштық қасиеті бар*, ол нуклонның ядродағы барлық нуклондармен емес, тек өзіне жақын көршілерімен ғана әрекеттесетінін көрсетеді.

5. Ядролық күштер кулондық сияқты центрлік күштер қатарына жатпайды. Ядролық күштер немесе күшті әсерлесу — *атом ядросындағы ең үлкен қарқынмен өтетін құбылыстарды басқаратын күштер.* Олар элементар деп аталатын бөлшектер арасында күшті байланысты туғызады. Тек күшті әсерлесу ғана атом ядросындағы протондар мен нейтрондарды біріктіріп, берік ұстап тұр. Жердегі барлық заттардың ядроларының тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Ядролық әсерлесу күштерінің осы және басқа қасиеттерін түсіндіру үшін оның теориясы қажет. Ядролық әсерлесудің күрделілігінен осы кезге дейін ядролық күштердің тиянақты теориясы жасалмаған.

Нуклондардың ядродағы байланыс энергиясы. Ядроның заряды оның құрамына кіретін протондар зарядтарының қосындысына тең екені өлшеулер арқылы анықталған. “Нуклондар массаларының қосындысы атом ядросының массасына тең бе?” деген сұрақ туады. Масс-спектрограф көмегімен жүргізілген өте дәл өлшеулер кез келген химиялық элементтің тыныштықтағы атом ядросының массасы оны құрайтын дербес протондар мен нейтрондар массаларының қосындысынан аз екенін көрсетті:

$$M_n < Z \cdot m_p + N \cdot m_n. \quad (39.1)$$

Сонда массалардың айырымы қайда кетті? Оның жауабын масса мен энергияның өзара байланысын тағайындаған Эйнштейннің $E = mc^2$ формуласы негізінде беруге болады. Атом ядросынан бір нуклонды бөліп алу үшін оны ұстап тұрған ядролық күшке қарсы жұмыс атқарылуы, яғни ядроға белгілі мөлшерде энергия берілуі қажет. *Атом ядросын түгелімен жеке нуклондарға ыдырату үшін қажетті минимал энергияны ядроның байланыс энергиясы деп атайды.*

Энергияның сақталу заңы бойынша дәл осындай энергия дербес протондар мен нейтрондар ядроға біріккенде бөлініп шығады. *Ядролық тарту күшінің жұмысы есебінен нуклондардан атом ядросы*

түзілгенде пайда болатын массалар айырымын *массалар ақауы* деп атайды. Массалар ақауын есептеу формуласын жазайық:

$$\Delta M = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_x.$$

Енді ядроның байланыс энергиясын есептеп шығаруға болады:

$$E_6 = \Delta M \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_x) \cdot c^2. \quad (39.2)$$

Ядролық физикада массаның атомдық бірлігі (1 м.а.б.), ал энергия үшін мегаэлектронвольт (МэВ) қолданылатынын ескеріп, (39.2) формуланы осы бірліктер үшін бейімдеп жазайық:

$$E_6 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_x) \cdot 931,5 \text{ МэВ}.$$

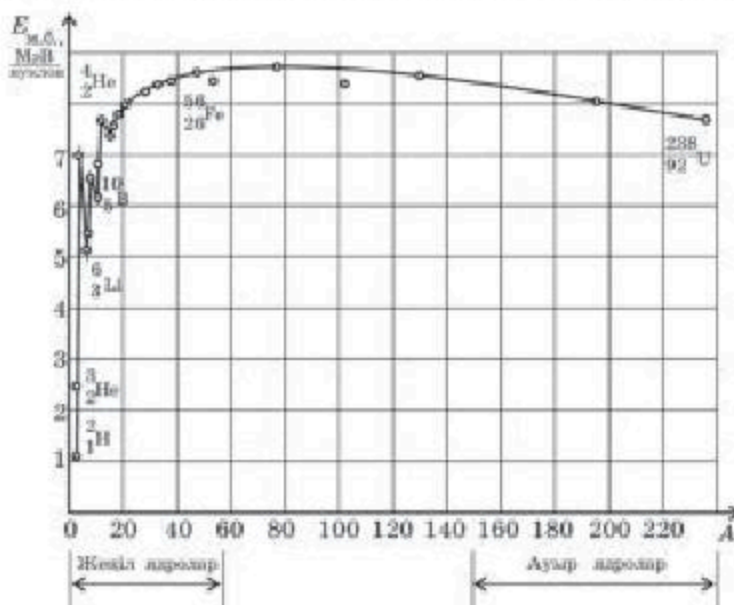
Сонымен, дербес нуклондардан ядро түзілгенде ядроның E_6 байланыс энергиясына тең энергия бөлініп шығады. Энергияның бөлініп шығуы ядро массасының *массалар ақауы* деп аталатын шамаға кемуіне өкеледі.

Ядроның байланыс энергиясы ядроның тұрақтылығын сипаттайтын аса маңызды шама болып есептеледі. Сонымен қатар ядролық физикада *меншікті байланыс энергиясы* деген ұғым қолданылады.

Меншікті байланыс энергиясы деп ядроның байланыс энергиясының A массалық санға қатынасын, яғни бір нуклонға сәйкес келетін байланыс энергиясын айтады:

$$\Delta M = \frac{E_6}{c^2}. \quad (39.3)$$

Нуклондардың меншікті байланыс энергиясы түрлі атом ядроларында бірдей емес. Ядродағы *нуклондардың меншікті байланыс энергиясының массалық A санға тәуелділігі* 39.1-суретте көрсетілген.



39.1-сурет

Массалық A санының артуына байланысты меншікті байланыс энергиясы ${}^2_1\text{H}$ дейтерийдің ядросында $1,1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ мәнінен темірдің ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ изотопы үшін $8,8 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ мәніне дейін арта бастайды. *Меншікті байланыс энергиясы максимал болатын элементтердің ядролары ең тұрақты ядролар болып келеді.* Енді массалық сан A артқанымен меншікті байланыс энергиясы кемуі береді, мысалы уранның ${}^{238}_{92}\text{U}$ изотопында

$$E_{\text{м.б}} = 7,6 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

Протондар санының артуына байланысты ауыр элементтердің ядроларындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы кемиді. Соның өсерінен олардың арасында кулондық тебілу күштерінің шама-сы өседі.

Ядродағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы атомдағы электрондардың байланыс энергиясынан жүз мыңдаған есе артық.

Жеңіл элементтердің меншікті байланыс энергиясының кемуі беттік құбылыстармен байланысты. Ядроның бетіне жақын орналасқан нуклондардың ядроның ішіндегі нуклондарға қарағанда өзара өсерлесетін көршілерінің саны азырақ болады. Өйткені ядролық күштер қысқа қашықтықта ғана өсер етеді. Сондықтан ядроның ішіндегі нуклондармен салыстырғанда ядроның бетіндегі нуклондардың байланыс энергиясы аз. Ядро кіші болған сайын нуклондардың көпшілігі ядро бетіне жақын орналасады. Сол себепті жеңіл ядролардың меншікті байланыс энергиясы аз.

Протондар санының өсуі кулондық тебілу күшінің артуына өкеледі, нәтижесінде ауыр элементтер ($Z > 82$) ядроларының меншікті байланыс энергиясы кемиді. Олай болса, ауыр элементтер ядросы тұрақсыздау болып келеді. Кулондық күштер ядроны ыдыратуға тырысады. Табиғатта жиі кездесетін және ядродағы протондардың немесе нейтрондардың саны *киелі сандар* деп аталатын 2, 8, 20, 24, 50, 82, 126 сандарына тең ядролар тұрақты болып келеді. Ал егер протондардың да, нейтрондардың да сандары киелі сандарға тең болса, онда *қосарланған киелі санды ядро* аса тұрақты болады. Табиғатта ондай бес ядро бар: ${}^4_2\text{He}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{48}_{24}\text{Ca}$, ${}^{208}_{82}\text{Pb}$.

Киелі ядролардың тұрақты болуын ядроның қабықтық моделі негізінде түсіндіруге болады.



1. Атом ядросында нуклондарды қандай күш ұстап тұр?
2. Ядролық күштердің басты ерекшеліктері қандай?
3. Массалар ақауы дегеніміз не?
4. Ядроның байланыс энергиясы нені сипаттайды?
5. Меншікті байланыс энергиясының мәнін қалай түсінесіңдер?
6. Не себепті мырыштың ядросы уранның ядросына қарағанда тұрақты болып келеді?



17-жаттығу

1. Бор ${}_{5}^{11}\text{B}$ ядросының массалар ақауын килограммен және массаның атомдық бірлігімен есептеңдер.

Жауабы: 0,08181 м.а.б., $1,358 \cdot 10^{-28}$ кг.

2. ${}_{2}^4\text{He}$ гелий ядросының байланыс энергиясын табыңдар.

Жауабы: 28,3 МэВ.

3. ${}_{3}^7\text{Li}$ литий ядросының байланыс энергиясын анықтаңдар.

Жауабы: 39,3 МэВ.

4. ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ кальций ядросын протондарға және нейтрондарға ыдырату үшін қандай минимал жұмыс істеу қажет?

Жауабы: 342 МэВ.

5. ${}_{3}^6\text{Li}$ литий ядросындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясын есептеңдер.

Жауабы: 5,33 МэВ/нуклон.

6. Темір ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ ядросындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясын есептеңдер.

Жауабы: 10,3 МэВ/нуклон.

7. Уран ${}_{92}^{238}\text{U}$ нуклидіндегі нуклондардың меншікті байланыс энергиясын есептеңдер.

Жауабы: 7,57 МэВ/нуклон.

§ 40. Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтік



Тірек ұғымдар:

- ✓ ядролық реакция
- ✓ құрама ядро
- ✓ жасанды радиоактивтілік
- ✓ экзотермиялық реакция
- ✓ эндотермиялық реакция

Бүгінгі сабақта:

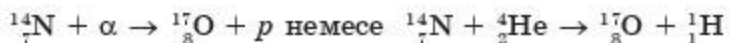
- ядролық реакцияны жазу кезінде массалық және заряд санының сақталу заңын қолдануды меңгересіңдер.



“Ядролық реакция” ұғымының мағынасы кең. Көбінесе оған ядролық өсерлесудің қатысуымен өтетін кез келген екі немесе одан көп элементар бөлшектердің соқтығысуынан туатын құбылыстарды жатқызады. Әрине, ядролардың қатысуымен өтетін соқтығысулар да ядролық реакция қатарына жатады. Кейде осы ядролардың қатысуымен өтетін түрленулерді ғана ядролық реакция деп ұғынады. Ядролық физикада ядролар да, элементар бөлшектер де зерттеледі, сондықтан “ядролық реакция” ұғымын кең мағынада қолданады. *Атом ядросының басқа ядромен, элементар бөлшектер және γ -кванттармен өзара әсерлесуі кезінде болатын түрленулер ядролық реакциялар деп аталады.*

Ядролық реакция $a + A \rightarrow B + b$ немесе қысқаша $A(a, b)B$ деп жазылады. Мұндағы A — бастапқы немесе нысана ядро, a — атқылаушы бөлшек, B — туынды ядро, b — ядродан бөлінетін бөлшек.

Алдыңғы тақырыпта айтып кеткеніміздей, тұңғыш ядролық реакцияны, α -бөлшектермен азот ядросын атқылағанда оның оттек ядросына түрленуін 1919 жылы Э. Резерфорд жүзеге асырған еді:



Табиғи радиоактивті ыдырау кезінде де атом ядросының туынды ядроға түрленетіні белгілі. Ядролық реакцияда да осындай өзгерістер болады. Ұқсас сияқты болғанымен, басты айырмашылығы мынада: радиоактивті ыдырау сыртқы өсерсіз, өздігінен өтеді, ал ядролық реакция атқылаушы бөлшектің өсерінен жүзеге асырылады.

Ядролық реакциялардағы сақталу заңдары. Ядролық реакцияларда энергияның, импульстің, импульс моментінің, электр зарядының және нуклондар санының сақталу заңдары орындалады. Сақталу заңдары негізінде ядролық реакциялардың қалай өтуі мүмкін екенін алдын ала пайымдауға болады.

Резерфорд жүзеге асырған тұңғыш ядролық реакцияда электр заряды мен нуклондардың сақталу заңдары орындала ма? Тексеріп көріңдер.

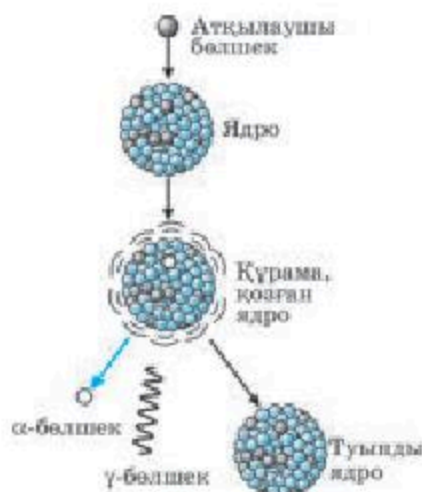
Ядролық реакцияның өту механизмі. Ядролық реакция өту үшін бөлшектер немесе ядролардың ядролық күштердің әсер ету аумағына енуі, яғни 10^{-15} м дейінгі қашықтыққа жақындауы қажет. Оң зарядталған бөлшекке немесе ядроға кулондық тебілу күштерін жеңе алатындай мөлшерде кинетикалық энергия берілгенде ғана нысана ядроға жақындайды. Ал нейтрон сияқты зарядталмаған бөлшектің ядроға енуі жоғары кинетикалық энергияны қажет етпейді. Нейтронның ашылуы ядролық реакцияларды зерттеудегі маңызды бетбұрыс болды.

Реакция өту үшін зарядталған бөлшектер мен атом ядроларына электр немесе магнит өрістерінде ондаған мегаэлектронвольттан жүздеген гигаэлектронвольтқа дейінгі энергия арнайы үдеткіштерде (циклотрон, синхрофазотрон және т.б.) үдетілу нәтижесінде беріледі.

Атқылаушы бөлшектердің энергиясы аса жоғары болмағанда, 1936 жылы Н. Бор ұсынған ядролық реакцияның механизміне сәйкес, реакция екі кезең арқылы өтеді. Әуелі атқылаушы бөлшек нысана ядроға соқтыққанда ядро оны қармайды (40.1-сурет). Осының нәтижесінде қозған күйдегі *құрама ядро* пайда болады.

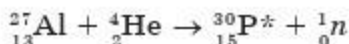
Күшті әсерлесу салдарынан ядроның қозу энергиясы барлық нуклондарға тез бөлініп, таралып кетеді. Өрбір нуклонның энергиясы оның ядродан ыршып шығуына жеткіліксіз. Әсерлесу нәтижесінде нуклондар бір-бірімен энергия алмаса бастайды. Кездейсоқ бір мезетте бір нуклонда немесе нуклондар тобында жинақталған энергия ядроның байланыс энергиясынан артық болады. Соның әсерінен реакцияның екінші кезеңі басталып, құрама ядро ыдырауға ұшырайды. Ядроның ыдырау жолдары протондық, нейтрондық, γ -бөлшектік және т.б. болуы мүмкін. Осылайша ядролық реакцияны жүзеге асыру нысана ядроны протондармен, дейтрондармен (ауыр сутектің ${}^2_1\text{H}$ ядросы), α -бөлшектермен және ауыр элементтердің көп зарядты иондарымен де атқылау нәтижесінде өтеді.

Жасанды радиоактивтік. Ядролық реакция кезінде Жер бетінде табиғи күйінде кездеспейтін радиоактивті ядролар түзіледі. Ядролық реакция нәтижесінде алынған изотоптардың радиоактивті болуын 1934 жылы француз физиктері Ирен және Фредерик Жолио-Кюрилер ашқан. Олар бұл құбылысты *жасанды радиоактивтік* деп атады. Алюминийдің, бордың және басқа да жеңіл элементтердің ядроларын α -бөлшектермен атқылап және реакция өнімдерін магнит өрісінде орналасқан Вильсон камерасының көмегімен зерттей отырып, позитронның



40.1-сурет

ұшып шығатынын анықтайды. α -бөлшектермен атқылауды тоқтатқан соң да позитрон ұшып шыға берген. Бірақ уақыт өте келе олардың саны радиоактивті ыдырау заңына сәйкес $N = N_0 e^{-\lambda t}$ кемі бастаған. Осылайша жасанды радиоактивтік құбылысы ашылды. Жасанды радиоактивтіктің ашылуы мына ядролық реакцияның көмегімен жүзеге асырылған:

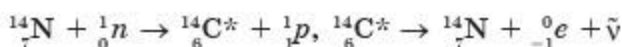


мұндағы “*” белгісі радиоактивті изотоп екенін көрсетеді.

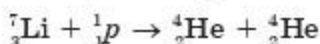
Фосфордың радиоактивті изотопы β^+ -сәулесінің көзі болып шықты. Оның ядросынан позитрон мен электрондық нейтрино ұшып шығады:



Жасанды электрондық радиоактивтікті азот ядросын нейтронмен атқылағанда алуға болатын реакцияны жазайық:



Шапшаң нейтрондармен литий ядросын атқылағанда тұңғыш рет оның ядросын ыдырату реакциясы жүзеге асырылды:



Кейінгі кезде радиоактивтіктің бір түрі — *протондық радиоактивтік* ашылды. Бұл процесте ядродан өздігінен протон ұшып шығады.

Жасанды радиоактивті изотоптардың қолданылу аумағы кең: медицина, өнеркәсіп салаларында, әскери мақсаттар үшін, ұзақ уақыт жұмыс істей алатын ток көздері ретінде және т.б.

Ядролық реакциялардағы энергияның түрленуі. Ядролық реакцияларда ядролық түрленумен қабаттаса оның ішкі энергиясы, яғни байланыс энергиясы, өзгереді. Масса мен энергияның өзара байланыс заңын ескере отырып, реакциялардағы энергияның өзгерісін есептеуге болады. Ядролық реакциялар үшін энергияның сақталу заңын жазайық: $E_{01} + E_{k1} = E_{02} + E_{k2}$. Мұндағы E_{01} мен E_{02} — реакцияға түскенге дейінгі және реакциядан кейінгі жүйелердің тыныштық энергиялары, E_{k1} және E_{k2} — сәйкесінше олардың кинетикалық энергиялары.

$A + a \rightarrow B + b$ схемасы бойынша өтетін реакцияның энергиясын сипаттау үшін төмендегі формулаларды пайдаланайық:

$$E_{01} = M_A c^2 + m_a c^2; \quad E_{02} = M_B c^2 + m_b c^2;$$

$$E_{k1} = E_{kA} + E_{ka}; \quad E_{k2} = E_{kB} + E_{kb}.$$

Түрлендіру арқылы $\Delta E = E_{01} - E_{02} = E_{k2} - E_{k1}$ теңдеуін аламыз.

Бөлшектер мен ядролардың реакцияға түскенге дейінгі және реакциядан кейінгі тыныштық энергияларының айырымын ядролық реакцияның энергетикалық шығуы деп атайды.

Егер $\Delta E > 0$ болса, онда реакцияда энергия бөлінеді, тыныштық энергияның есебінен реакция өнімдерінің кинетикалық энергиясы артады.

Демек, ядролық реакция кезіндегі кинетикалық энергиялардың өзгеруі реакцияға қатысқан бөлшектер мен ядролардың тыныштық энергияларының өзгерісіне тең. Мұндай реакция экзотермалық деп аталады.

Егер $\Delta E < 0$ болса, онда реакция кезінде энергия жұтылады, кинетикалық энергияның кемуі есебінен жұйенің тыныштық энергиясы (массасы) артады. Осындай реакция эндотермалық деп аталады.

Ядролық реакция кезінде мол энергия бөлініп шығатын реакцияның бір түрі жеңіл элементтер (${}^1_1\text{H}$; ${}^2_1\text{H}$; ${}^3_1\text{H}$ және т.б.) ядроларының синтезі (бірігуі) болып табылады. Жеңіл элементтер ядроларының синтезі миллиондаған градус (10^7 – 10^9 K) температурада ғана жүзеге асады.

Өте жоғары температурада жеңіл ядролардың бірігіп ауырлау ядроны түзу реакциясын **термоядролық реакция** деп атайды. Екі жеңіл элемент ядроларының тыныштық массаларының қосындысы олардың бірігуінен пайда болған ядроның тыныштық массасынан артық. Масс а қауының нәтижесінде көп мөлшерде энергия босап шығуы тиіс. Есептеулер бұл пайымдаудың дұрыстығын дәлелдеді. Мысалы, сутектің изотоптары дейтерий ${}^2_1\text{D}$ мен тритий ${}^3_1\text{T}$ ядроларының бірігу реакциясында гелий ${}^4_2\text{He}$ атомының ядросы түзіледі және 17,6 МэВ энергия бөлінеді: ${}^2_1\text{D} + {}^3_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17,6 \text{ МэВ}$.

Ядролық реакция кезінде бөлініп шығатын энергияның мөлшері орасан зор. Ядролық энергияны адамзат игілігіне пайдалана білудің қауіпсіздігін және тиімділігін арттыру — қазіргі заманғы ғылымның алдындағы күрделі мәселелердің бірі.



1. Ядролық реакция дегеніміз не?
2. Ядролық реакция теңдеуін жазыңдар. Реакция кезінде қандай сақталу заңдары орындалады?
3. Табиғи радиоактивті ыдырау мен ядролық реакциялардың айырмашылықтары бар ма?
4. Ядролық реакцияның өту механизмін түсіндіріңдер.
5. Қандай бөлшектермен ядролық реакцияны жүзеге асыру тиімдірек?
6. Ядролық реакцияның энергиясы дегеніміз не?
7. Не себепті химиялық реакцияға қарағанда ядролық реакция кезінде орасан зор энергия бөлінеді?
8. Жасанды радиоактивтік қалай алынады?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Бор ${}^{11}_5\text{B}$ ядроларын протондармен атқылағанда бериллийдің ${}^8_4\text{Be}$ ядросы пайда болады. Реакция теңдеуін жазыңдар. Осы реакцияда энергия бөліне ме, өлде жұтыла ма?

Берілгені:

$$M_{11\text{B}} = 11,0931 \text{ м.а.б}$$

$$M_{1\text{H}} = 1,00783 \text{ м.а.б}$$

$$M_{8\text{Be}} = 8,00538 \text{ м.а.б}$$

$$M_{4\text{He}} = 4,00260 \text{ м.а.б}$$

ΔE — ?

Шешуі. ${}_{5}^{11}\text{B} + {}_{1}^{1}\text{H} = {}_{4}^{8}\text{Be} + {}_{2}^{4}\text{X}$. Зарядтың сақталу заңы бойынша $5 + 1 = 4 + Z$; $Z = 2$ массалық санның сақталу заңы бойынша $11 + 1 = 8 + A$; $A = 4$. Олай болса, ${}_{5}^{11}\text{B} + {}_{1}^{1}\text{H} \rightarrow {}_{4}^{8}\text{Be} + {}_{2}^{4}\text{He}$.

Реакция теңдеуінің формуласын жазайық:

$$\Delta E = E_{01} - E_{02}$$

немесе

$$\Delta E = [(M_{\text{B}} + M_{\text{H}}) - (M_{\text{Be}} + M_{\text{He}})] \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

Осыдан реакция кезіндегі энергияны анықтайық:

$$\Delta E = [(11,0931 + 1,00783) - (8,00538 + 4,00260)] \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 0,00923 \cdot 931,5 \text{ МэВ} \approx 8,6 \text{ МэВ.}$$

Реакция нәтижесінде $\Delta E = 8,6$ МэВ энергия бөлініп шығады.

2-есеп. ${}_{1}^{2}\text{H} + \gamma \rightarrow {}_{1}^{1}\text{H} + {}_{0}^{1}n$ түріндегі реакция жүру үшін қажетті γ -кванттың ең аз энергиясын табыңдар.

Берілгені:

$$M_{2\text{H}} = 2,01410 \text{ м.а.б}$$

$$M_n = 2,00866 \text{ м.а.б}$$

$$M_p = 1,00783 \text{ м.а.б}$$

ΔE_{γ} — ?

Шешуі. Реакция кезінде бөлінетін (жұтылатын) энергияның формуласын жазайық:

$$\Delta E_{\gamma} = [M_{2\text{H}} - (M_n + M_p)] \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

Енді реакция кезіндегі энергияны анықтайық:

$$\Delta E_{\gamma} = [2,01410 - 3,01649] \cdot 931,5 \text{ МэВ} =$$

$= -2,2 \text{ МэВ}$ энергия жұтылады.



18-жаттығу

1. ${}_{7}^{14}\text{N}$ азот ядросының нейтронды қармауы нәтижесінде белгісіз элемент пен α -бөлшек пайда болған. Ядролық реакцияны жазып, белгісіз элементті анықтаңдар.

Жауабы: ${}_{5}^{11}\text{B}$.

2. Ядролық реакцияның энергетикалық шығуын есептеңдер:



Жауабы: 2,3 МэВ.

3. Мынадай ядролық реакцияда энергия жұтыла ма өлде бөліне ме?



Жауабы: 15 МэВ.

4. Эндотермалық реакцияның ${}_{8}^{17}\text{O} + {}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{1}p + {}_{7}^{17}\text{N}$ энергиясы $\Delta E = -7,89$ МэВ. Бейтарап атомдардың кестедегі массалары бойынша азот изотопының массасын анықтаңдар.

Жауабы: 17,00844 м.а.б.

§41. Ауыр ядролардың бөлінуі



Тірек ұғымдар:

- ✓ ядроның бөлінуі
- ✓ ядроның тамшы моделі
- ✓ спонтанды бөліну

Бүгінгі сабақта:

- ядроның бөлінуін тамшы моделі негізінде оқып білесіңдер.

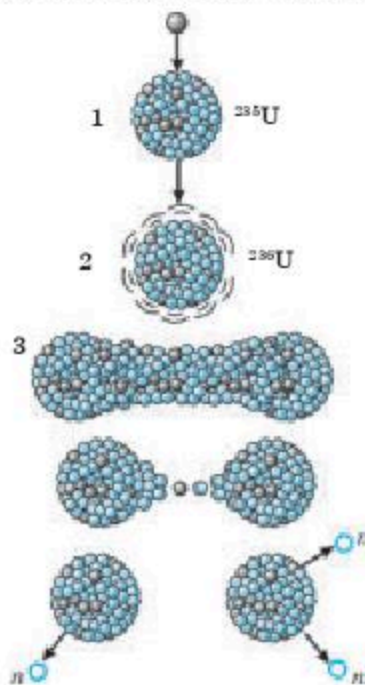


Ядролық реакциялардың ішінде ауыр ядролардың, әсіресе уран ядроларының, сыртқы қоздырғыштың әсерінен бөлінуінің маңызы зор. Өйткені атом ядросында ғаламат энергия қоры жинақталған. Ядроның ішкі энергиясын екі жолмен, яғни ауыр ядролардың бөліну реакциясы мен жеңіл ядроларды синтездеу реакцияларын жүзеге асыру арқылы бөліп алуға болады.

Уран ядросының бөліну реакциясы. Нейтрондармен уран ядроларын атқылағанда пайда болатын ядролық реакцияда жасанды радиоактивтікті зерттеу жұмыстарын 1934 жылы итальяндық физик Э. Ферми бастаған.

И. Жолио-Кюри мен П. Савичтің 1938 жылғы уран ядроларын нейтрондармен атқылағандағы зерттеулерінде ядролық реакция өнімдерінің біреуі La лантан атомының ядросы екені анықталады. Осы жылы неміс физиктері О. Ган мен Ф. Штрассман уран ядроларын нейтрондармен атқылағанда, Менделеев кестесінің орта бөлігіндегі барий Ba және криптон Kr сияқты ураннан екі есе жеңіл жаңа элементтердің пайда болатынын ашты. Осы нәтижелерді 1939 жылы ағылшын ғалымы О. Фриш пен австралиялық ғалым Л. Мейтнер нейтронды қармап алған уран ядросының екі жарықшаққа бөлінгендігі деп түсіндірді. Бұл құбылысты *ядроның бөлінуі* деп атады.

Ядроның бөліну механизмі. 1939 жылы Я. Френкель, Н. Бор мен Дж. Уиллер ядроның бөліну заңдылықтарын “ядроның тамшы моделіне” сүйеніп бөлінудің механизмін ұсынды. Нуклидтерді сығылмайтын зарядталған сұйық тамшыға ұқсатуға болады (41.1-сурет). Уран-235 ядросының пішіні шарға ұқсайды. Нейтронды жұтып алған 1 ядро 2 құрама ядроға айналады. Нейтрон кинетикалық және байланыс энергиялары



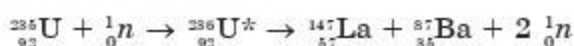
41.1-сурет

есебінен артық энергия алғандықтан, құрама ядро қозып деформациялана бастайды да, 3 сопақтау түрге келеді. Осы кезде оның көлемі өзгермейді, ал бетінің ауданы артады. Сұйықтың беттік энергиясы сұйық бетінің ауданына тура пропорционал екені белгілі. Олай болса, беттік энергия артады. Бұл кездегі бөліну энергетикалық тиімсіз. Сондықтан беттік керілу күші ядроны шар тәрізді алғашқы күйіне келтіруге тырысады. Керісінше, протондар арасындағы кулондық тебілу күштері ядроны одан әрі созуға тырысады.

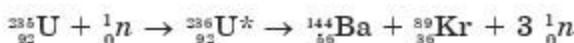
Нуклондардың арасындағы қашықтық артса, кулондық тебілу күштері кеміп, бөліну тиімді болар еді. Ядро шапшаң тербеле бастайды да, қозу энергиясы көбірек болған жағдайда кулондық тебілу күштері нуклондардың тартылыс күштерінен асып түседі. Сөйтіп, ядро екі жарықшаққа бөлінеді. Бұл жарықшақтар кулондық тебілу күштерінің әсерінен аса үлкен жылдамдықпен жан-жаққа ұшады.

Уран ядросының бөлінуі ядроның тыныштық массасы бөліну кезінде пайда болатын жарықшақтардың тыныштық массаларының қосындысынан артық болғандықтан ғана жүзеге асады. Тыныштық массасының кемуіне балама болатын энергия бөлініп шығады. Толық масса сақталады, өйткені үлкен жылдамдықпен ($v = 10^7$ м/с) қозғалатын жарықшақтардың массасы олардың тыныштық массаларынан артық болады. Ауыр ядроларда нейтрондар саны артық болғандықтан, ядроның бөлінуі кезінде жарықшақтармен қабаттаса нейтрондардың да бөлініп шығуының ашылуы іргелі жаңалық болды.

Әр ядро ыдырағанда 2 немесе 3 нейтрон бөлініп шығады. Уран-235-тің бөліну реакциясын жазайық:



немесе



мұндағы ${}_{92}^{236}\text{U}^*$ — қозған құрама ядро, яғни бұл — тұрақсыз изотоп.

Уранның меншікті байланыс энергиясы $7,6 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ екенін ескерсек, бөліну жарықшақтарының орташа меншікті байланыс энергиясы $8,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ болады. Сонда меншікті байланыс энергиясының айырымы $0,9 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$. Демек, уран ядросы бөлінгенде 200 МэВ энергия босап шығуы тиіс. Жасалған тікелей өлшеулер бұл есептеулердің дұрыс екенін көрсетті. Осы босаған энергияның негізгі бөлігі (≈ 165 МэВ) жарықшақтардың кинетикалық энергиясына айналады, қалған бөлігі нейтрондар мен реакция кезінде бөлінетін γ -сәулелердің энергиясына түрленеді.

Еркін нейтрондардың энергиясы өте аз $5 \cdot 10^{-3}$ эВ-тан бастап бірнеше миллион электронвольтқа дейінгі аралықта болады. Ядроның бөлінуі

кезіндегі жарықшақтардың массалары көбіне 2:3 қатынасындай болып келеді. Жарықшақтардағы нейтрондардың саны артық, сондықтан олардың радиоактивтілігі жоғары. Бірнеше электрондық β -ыдыраудың нәтижесінде орнықты ядросы бар изотоп түзіледі.

Орыс физиктері Г.Флеров пен К.Петржак 1940 жылы уран ядросының *спонтанды (тосын) бөлінуін* ашты. Сыртқы әсерсіз-ақ, яғни уран ядросын нейтронмен атқылаамасақ та уран ядросы өздігінен бөліне алады екен.

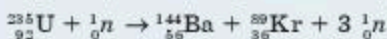


1. Ядроның бөлінуі деп қандай реакцияны айтады?
2. Уран ядросының бөлінуін "ядроның тамшы моделіне" сүйеніп қалай түсіндіруге болады?
3. Неліктен уран ядросы бөлінгенде шамамен 200 МэВ орасан зор энергия босап шығады?
4. Неліктен ядро бөлінгенде бірнеше нейтрондар ұшып шығады?
5. Неліктен жарықшақтар β -ыдырауға ұшырайды? Қанша β -ыдыраудан соң түрленуі жүзеге асады?



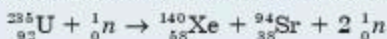
19-жаттығу

1. Мынадай ядролық реакцияның энергетикалық шығуын есептеңдер:



Жауабы: ≈ 188 МэВ.

2. Мынадай ядролық реакцияның энергетикалық шығуын есептеңдер:



Жауабы: ≈ 208 МэВ.

3. Уранның 235-изотопының бір атомын екі жарықшаққа бөлгенде 208 МэВ энергия босап шығады. 1 г уран толық бөлінгенде босап шығатын энергияға тең энергия алу үшін қанша керосин қажет? Керосиннің меншікті жану жылуы $4,3 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Жауабы: 2 т.

§ 42. Тізбекті ядролық реакциялар



Тірек ұғымдар:

- ✓ тізбекті бөліну реакциясы
- ✓ баяулатқыштар
- ✓ жылулық нейтрондар
- ✓ көбею коэффициенті
- ✓ сындық масса
- ✓ атом бомбасы

Бүгінгі сабақта:

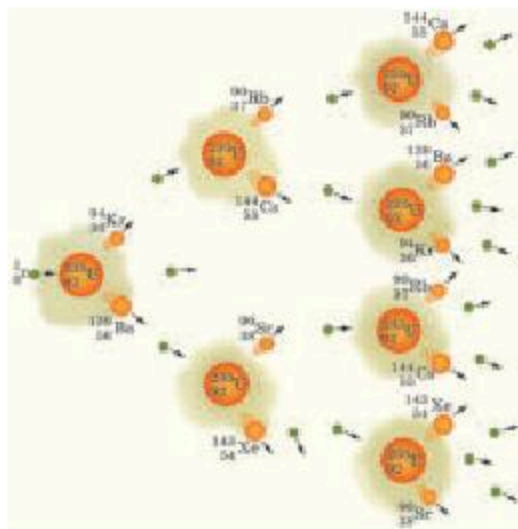
- ядролық синтездің және табиғи радиоактивті ыдыраудың табиғатын түсінесіңдер.



Ауыр ядролардың нейтрондар әсерінен бөліну реакциясы кезінде жаңадан бірнеше нейтрондардың босап шығуы өте маңызды. Алдыңғы тақырыпта айтқанымыздай, ^{235}U -уранның әр ядросы бөлінгенде орташа есеппен 2-3 екінші реттік немесе туынды деп аталатын нейтрондар пайда болады. Осы бөлінуден шыққан нейтрондардың екеуі көршілес екі ядроны бөлсін делік. Енді бөлінуге ұшыраған екі ядродан ұшып шыққан туынды нейтрондар көршілес төрт ядроны бөлінуге ұшыратады. Осылайша жалғаса отырып, нейтрондардың саны және олар бөлетін ядролардың саны да күрт тасқындап өседі. Осы бөлінетін ядролар санының тасқындап өсу құбылысы *тізбекті бөліну реакциясы* деп аталады.

Тізбекті ядролық реакция деп белгілі ядролық реакция келесі дәл сондай реакцияны туғызатын процесті айтады.

42.1-суретте уран ядросы бөлінуінің басқарылмайтын тізбекті реакциясының дамуы көрсетілген.



42.1-сурет

Тізбекті реакцияны жүзеге асыру үшін нейтрондардың әсерінен ыдырайтын кез келген ауыр ядроларды пайдалануға болмайды. Оның себебі мынада: уран ядросы бөлінгенде босап шығатын нейтрондардың басым көпшілігінің энергиясы 1—4 МэВ шамасындай. Бұл мезеттегі олардың жылдамдықтары $v = 10^7$ м/с-ке жететіндіктен, оларды *шапшаң нейтрондар* деп атайды. Табиғи уранның екі изотоптың (^{238}U және ^{235}U) қоспасынан тұратыны белгілі. Оның 99,3% -ын уран-238 изотопы құраса, қалған 0,7% -ы уран-235 изотопының үлесінде.

Шапшаң нейтрондарды уран-238 изотопының ядросы бөліну туғызбай-ақ жұтады, тек шамамен бес нейтронның біреуі ғана бөлінуді туғызады. Сондықтан уран-238 изотопы тізбекті реакцияны жүзеге асыру үшін жарамсыз. Аз мөлшерде кездесетін уран-235 ядросымен реакцияға түсу ықтималдығын арттыру үшін шапшаң нейтрондардың жылдамдығын кеміту керек. Ол *баяулатқыштар* деп аталатын заттардың көмегімен жүзеге асырылады. Жақсы баяулатқыштар қатарына кәдімгі су, ауыр су (H_2O) және графит жатады. Олардың ядроларымен соқтығысқанда нейтрондардың энергиясы кемиді.

Жылдамдығы бөлме температурасындағы жылулық қозғалыстың жылдамдығына $v \approx 2000$ м/с тең болатын нейтрондарды *жылулық (баяу) нейтрондар* дейді. Уран-235 ядроларының жылулық нейтрондардың әсерінен бөліну ықтималдығы шапшаң нейтрондармен бөлінуіне қарағанда жүздеген есе артық. Тізбекті ядролық реакция үздіксіз жүруі үшін уақыт өтуіне байланысты туынды нейтрондардың орташа саны өзгермеуге тиіс. Дегенмен бөлінуде пайда болған нейтрондардың бәрі бірдей ядролық бөліну реакциясын тудырмайды, ал жаңа ядролардың кейбіреулерін реакцияға қатыспайтын бөгде ядролар жұтып алады, бірақ реакция жүрмейді, кейбіреулері сыртқы ортаға шашырап кетеді.

Нейтрондардың көбею қарқынын сипаттайтын физикалық шаманы *нейтрондардың көбею коэффициенті (k)* дейді. *Нейтрондардың көбею коэффициенті деп нейтрондардың кез келген бір “буынындағы” санының алдыңғы “буынындағы” санына қатынасын айтады.* $k = \frac{N_i}{N_{i-1}}$,

мұндағы N_i , N_{i-1} шамалары i және $i - 1$ буындардағы нейтрондар саны.

Егер $k = 1$ болса, онда нейтрондар саны уақыт өтуімен өзгермей, тізбекті реакция тұрақты, бірқалыпты өтеді. Ал $k > 1$ болса, тізбекті реакцияның қарқыны өте тез өсіп, ядролық қопарылыс болады. Енді $k < 1$ болғанда нейтрондардың саны уақытқа байланысты азаяды да, тізбекті реакция тоқтап қалады.

Сындық масса. Тізбекті ядролық реакция тұрақты түрде өтуі үшін тағы бір маңызды шартты ескеру қажет. Уран массасының белгілі бір мөлшерінде тізбекті реакция бірқалыпты өтеді. Егер уран массасы сол белгілі бір мөлшерден кем болса, нейтрондар өздерінің қозғалыс жолында жеткілікті мөлшердегі ядроларды кездестірмейді де, қоршаған ортаға шашырап кетеді. Сөйтіп, тізбекті реакция тоқтап қалады.

Тізбекті бөліну реакциясын тұрақты қамтамасыз ететін бөлінетін заттың (уранның) ең аз массасын сындық масса деп атайды. Таза уран-235 үшін сындық масса 50 кг-ға жуық. Тығыздығы 18950 кг/м³ ураннан жасалған массасы осындай шардың радиусы 8,5 см-дей болады. Ал плутоний-239 үшін өлшемді теннис добындай шардағы сындық массасы 5,6 кг.

Атом бомбасы (А-бомба). Басқарылмайтын тізбекті ядролық реакция нәтижесінде ғаламат энергия босап шығатын ядролық жарылыс болады. Оны атомдық бомбаның жарылысы жүзеге асырады. Атомдық бомбада таза уран-235 немесе плутоний-239 пайдаланылады. Бомбадағы металдық уран оқшауланған екі бөліктен тұрады және әр бөліктің массасы сындық массадан кіші. Сондықтан оларда тізбекті реакция жүре алмайды. Әдеттегі қопарғыш заттың көмегімен уранның екі бөлігін кенет сығу арқылы біріктіргенде, қарқынды тізбекті реакция басталып, бомба жарылады.

Қас қағым сәтте температура миллиондаған градусқа жетіп, көз қарықтырарлық қуатты сәуле пайда болады. Уран және оның төңірегіндегі заттар газға айналады. Аса қызған газды шар шапшаң ұлғая отырып жолындағының бәрін күйретіп, күл-талқанын шығарады. Атомдық бомбаның жарылысы кезінде пайда болатын реакция өнімдері өте радиоактивті және олар табиғатқа, тірі организмдерге аса қауіпті. Алғашқы атомдық бомбалар АҚШ-та 1945 жылы жасалып, сол жылы Жапонияның (6 тамызда) Хиросима мен (9 тамызда) Нагасаки қалаларына тасталған. Хиросимада жарылған бомбадағы тізбекті реакцияға қатысқан уран ядроларының массасы 1 кг-ға жуық. Жарылыс кезінде небәрі 1 г уран заты ғана тікелей энергияға айналды, осының өзі 200 000 адамның өмірін қиып кетті. Реакция кезінде бөлінген энергия 20 000 т тринитротолуол жарылғандағы энергияға тең.

Жаһандық ядролық қақтығыстарды болдырмау және жер бетіндегі өркениетті құрып кетуден сақтаудың бірегей жолы — Өлемдегі ядролық қаруларды және оның қорларын түбегейлі жою. Қазақстан Республикасы өзіндегі ядролық қарулардан арылды және оны таратпау жөніндегі үш әлемдік көшбасшының бірі болып табылады.



1. Тізбекті бөліну реакциясы қалай жүзеге асады?
2. Энергияларындағы айырмашылықтарына қарап нейтрондарды қандай топқа бөледі?
3. Неге табиғи уранда (U-238) тізбекті реакция жүзеге аспайды?
4. Нейтрондардың көбею коэффициенті дегеніміз не? Оның тізбекті реакцияның өтуіне әсері қандай?
5. Қандай массаны сындық масса дейміз?
6. Атомдық бомбаның адамзатқа қаупі қандай?



“Семей полигоны және оның зардаптары” туралы эссе дайындаңдар.

§43. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану



Тірек ұғымдар:

- ✓ радиация
- ✓ Грэй
- ✓ Зиверт
- ✓ радиациялық фон

Бүгінгі сабақта:

- альфа-, бетта- және гамма-сәулелерінің табиғатын, қасиеттерін және биологиялық әсерін түсінесіңдер.

Радиоактивті сәулелер, нейтрондар ағыны қоршаған ортаға, әсіресе тірі организмге зиянды әсерін тигізеді. Радиоактивті сәулелерді *иондаушы сәулелер* немесе қысқаша *радиация* деп те атайды. Белгілі бір энергиялары бар бұл сәулелер мен бөлшектер денелердің молекулалары мен атомдарын иондайды. Олардың химиялық белсенділігі өзгереді, жасушалар мутацияға ұшырайды, хромосомдағы гендерді зақымдап, түрлі физиологиялық күрделі ауытқулар туады. Табиғат уланады. Сәуле шығарудың интенсивтілігі күшті болса, қатерлі ісік және сәуле аурулары дертіне шалдығады, тірі организмдердің өлуі мүмкін. Сәулелену тұқым қуалауға күшті өрі жағымсыз әсерін тигізеді.

Радиацияның қауіптілігі мынада: сәулелену тіпті қатерлі дозаның өзінде бірден аурудың белгісін туғызбайды. Иондаушы сәулелер ең алдымен жұлынды зақымдайды, соның әсерінен қан айналу процесі бұзылады. Содан соң ас қорыту жолдары мен басқа да органдардың жасушалары зақымдалады. Радиоактивті сәулелердің, мысалы γ -сәулелерінің, шекті мөлшердегі дозасын қатерлі ісіктің клеткаларын жою үшін медицинада қолданады.

Ионданушы сәулелердің биологиялық әсері ерекше шамалармен сипатталады. Тірі организмдердің жасушаларының радиациядан алған энергиялары көп болған сайын химиялық реакцияның белсенділігі шапшаң өзгеріп, зақымдануы арта түседі. Сол себепті радиацияның тірі организмге беретін энергия мөлшерін дұрыс бағалай білу маңызды.

Шығарылған сәуленің жұтылған дозасы деп жұтылған энергияның сәулеленген заттың массасына қатынасын айтады:

$$D = \frac{E}{m}.$$

ХБ жүйесінде шығарылған сәуленің жұтылған дозасының өлшем бірлігі — 1 Гр (*грэй*).

Шығарылған сәуленің массасы 1 кг затқа 1 Дж энергия берілгенде жұтылған дозасы бір грэйге (1 Гр) тең:

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Іс жүзінде сәулеленудің *экспозициялық дозасы* деген шама қолданылады. Ол рентгендік және гамма-сәулелердің құрғақ ауаны иондау эффектісі бойынша өлшенеді. Оның ХБ жүйесінен тыс өлшем бірлігі 1 Р (*рентген*):

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Радиацияны өлшейтін дозиметрлерде $1 \text{ Р} \approx 0,01 \text{ Гр}$ деп есептеледі.

Тірі организмдердің сәулеленуден зақымдануы сәуле шығарудың түрлеріне байланысты. Иондаушы сәулелердің биологиялық әсерін рентгендік және гамма-сәулелердің биологиялық әсерлерімен салыстыру қабылданған. Сондықтан сәуле шығарудың тірі организмдерге әсерін арнайы шама — *эквивалентті дозамен* сипаттайды.

Шығарылған сәуленің жұтылуының эквивалентті дозасы деп жұтылған доза мен биологиялық эффективтік (тиімділік) коэффициенттің көбейтіндісіне тең шаманы айтады:

$$D_{\text{жж}} = k \cdot D,$$

мұндағы k — биологиялық эффективтік коэффициент, ол тәжірибелік жолмен анықталады. Рентгендік, β -сәуле, γ -сәуле үшін $k = 1$, жылулық нейтрон үшін $k = 2,3$, шапшаң нейтрон үшін $k = 10,0$, α -сәуле үшін $k = 20,0$ болады.

Эквивалентті дозаның өлшем бірлігіне *зиверт* — 1 Зв қабылданған.

Радиоактивті сәулелердің әсеріне біз үнемі ұшыраймыз. Бұндай радиацияның көзі — ғарыш сәулелері, Жердегі радиоактивті заттар — ғимараттар, рентгендік қондырғы, телевизор, адамның денесі (біздің денемізде 0,01 г радиоактивті $^{40}_{13}\text{К}$ калий бар). Бұларды *табиғи радиациялық фон* дейді. Табиғи радиациялық фонның есебінен адам бір жылда $2 \cdot 10^{-3}$ Гр доза алады. Радиациядан қорғаудың Халықаралық комиссиясы сәуле шығарумен жұмыс істейтін адамдар үшін бір жылдағы дозаның шектік мәнін 0,05 Гр деп тағайындаған.

Радиациядан қорғану. Атом электр стансыларында, радиоактивті изотоптармен, радиоактивті қалдықтармен жұмыс істейтін адамдардың радиациядан қорғану шараларын орындаулары қажет. Радиоактивті сәулелердің интенсивтігі қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемитінін ескерсек, қауіпті аумақтан қызметкерлерді жеткілікті қашықтықта орналастырған жөн. Радиоактивті препараттарды қолмен ұстамай, арнаулы ұзын қысқыштарды, механикалық роботтарды пайдалану керек. Рентген және гамма-сәулелерден қорғану үшін жақсы жұтатын қорғасынды қолданады. Радиоактивті заттар тыныс алу жолдары және тері арқылы адам организміне өтпеу үшін арнайы қорғаныс материалдарын пайдаланады. Тамақ өнімдері қатаң тексеруден өтуі қажет.

Чернобыль АЭС-сінде болған апат адамзатқа радиоактивті сәулелердің, изотоптардың аса қауіпті екенін көрсетті. Радиациядан қорғану шараларын білу керек және әрқашан да оны есте ұстаған дұрыс.



1. Радиоактивті сәулелер тірі организмдерге қандай қауіп туғызады?
2. Жұтылған доза деп нені айтады? Оның өлшем бірлігі не?
3. Эквивалентті доза дегеніміз не?
4. Табиғи радиациялық фон сәуле ауруын туғыза ма?
5. Радиациядан қалай қорғануға болады?

§ 44. Ядролық реактор. Ядролық энергетика



Тірек ұғымдар:

- ✓ ядролық реактор
- ✓ жылу шығарғыш элементтер
- ✓ реттегіш біліктер
- ✓ Бридерлер
- ✓ ядролық энергетика

Бүгінгі сабақта:



- ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципімен танысасындар;
- ядролық энергетиканың даму кезеңдері жөнінде мағлұмат аласындар.

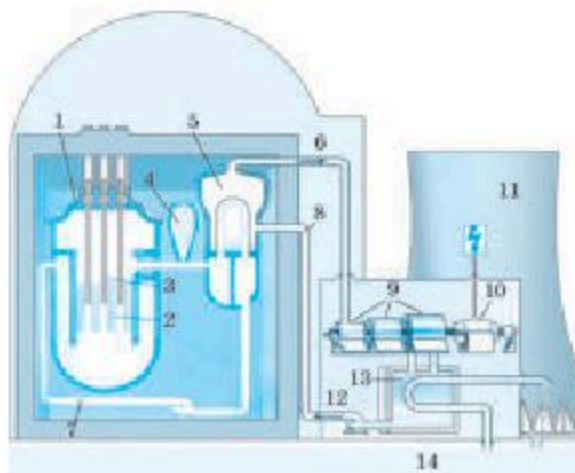
Басқарылатын тізбекті бөліну реакциясын жүзеге асыратын қондырғыны **ядролық реактор** деп атайды. Тұңғыш ядролық реактор АҚШ-та Э. Фермидің басшылығымен 1942 жылы іске қосылды. Екінші реакторды Ресейде И. В. Курчатов бастаған ғалымдар тобы 1946 жылы іске қосты.

Қазіргі кезде Әлемнің көптеген дамыған елдерінде ядролық реакторлары бар қондырғылар пайдаланылады. Реакторлар өздерінің қуаты бойынша және қолданылу мақсаттарына қарай бірнеше түрлерге бөлінеді:

- ғылыми-зерттеу реакторлары;
- өндірістік, яғни радиоактивті изотоптарды өндіретін реакторлар;
- ядроның энергиясын электр энергиясына түрлендіретін энергетикалық реакторлар.

Жылулық нейтронды-ядролық реактор. Энергетикалық қондырғысы бар ядролық реактордың негізгі бөліктері мен құрылысы 44.1-суретте көрсетілген. Кез келген ядролық реактор мынадай негізгі бөліктерден тұрады:

- тізбекті реакция өтетін активті аумақ;
- нейтрондарды баяулатқыш;
- активті аумақта бөлінетін энергияны өклететін жылу тасығыш;
- нейтрондарды шағылдырғыш;



44.1-сурет

1 — реактордың қазандығы; 2 — жылу шығарғыш элемент (ЖЭ); 3 — реттегіш біліктер; 4 — қысымды реттегіш; 5 — бу генераторы; 6 — бу; 7 — бірінші контур; 8 — екінші контур; 9 — турбиналар; 10 — генератор; 11 — градирня; 12 — су; 13 — конденсатор; 14 — салқындатқыш

- тізбекті реакцияның жылдамдығын реттегіш біліктер;
- болаттан жасалған қорғаныш қабық;
- темір-бетонды биологиялық қорған;
- автоматты басқару жүйесі.

Жылулық нейтронды реактордың активті аумағында ядролық отын ретінде уран-235 пайдаланылады. Табиғи урандағы 235-изотопының мөлшері 0,7%, сондықтан оның мөлшерін 5% -ға дейін көбейтіп, байытады. Байытылған ураннан жасалған *жылу шығарғыш элементтер* деп аталатын ядролық отын герметикалық жабық болат құбырдың ішіне орнатылады. Жылу шығарғыш элементтері бар құбырды нейтрондарды *баяулатқыш су* немесе ауыр су қоршап тұрады. Баяулатқыш ретінде реактордың түріне байланысты графит те қолданылады.

Реакция кезінде бөлінетін энергияны жылу тасығыштың көмегімен шығарады. Көбінесе жылу тасығыш үшін өте жоғары қысымдағы кедімгі суды пайдаланады. Өте жоғары қысым суды қайнап кетуден сақтайды. Жақсы жылу тасығыштар қатарына *ауыр су, су буы, гелий газы, сұйық натрийлер* жатады.

Активті аумақты нейтрондардың сыртқы ортаға сейілуін азайтып, шағылдыратын *бериллий* қабатымен қоршайды. Оның сыртынан өтімділігі жоғары үсәулелері мен нейтрондардан қорғау үшін болат сауытпен, оны тағы да қалыңдығы бірнеше метрлік темір-бетонмен қаптайды. Нейтрондарды жақсы жұтатын *бордан* немесе *кадмийден* жасалған реттегіш біліктер арқылы реакцияның жылдамдығын басқарады. Реттегіш біліктер активті аумаққа толығымен еніп тұрғанда реактор жұмыс істемейді.

Нейтрондардың басым бөлігі жұтылатындықтан, тізбекті бөліну реакциясы өрбімейді. Активті аумақта тізбекті реакция басталып, тұрақтанғанша реттегіш біліктер біртіндеп шығарыла береді. Реактордың қуаты белгіленген межеден аса бастағанда авариялық реттегіш біліктер автоматты түрде активті аумаққа енгізіледі.

Жылулық нейтрондардағы тізбекті реакция 44.2-суретте көрсетілген. Жылу шығарғыш элементтердегі тізбекті ядролық реакцияда босаған энергияның басым бөлігі жарықшақтардың және нейтрондардың кинетикалық энергиясына, қалғаны γ -сәулелердің электромагниттік энергиясына айналады. Жарықшақтар мен нейтрондар су арқылы өткенде, оны жоғары температураға (330°C -қа) дейін қыздырады. Аса қызған суды сорғының көмегімен реактор мен құбырлардан, бу генераторынан тұратын бірінші контур бойымен қозғалысқа түсіреді. Бу генераторында екінші контурдағы су буға айналады. Жоғары қысымдағы бу қуатты генератордың роторына қосылған турбиналарды айналдырады.

Ядролық энергетика. Тізбекті реакцияда бөлінетін ядроның энергиясын практикалық мақсатта пайдаланудың ең тиімді жолы — электр энергиясына түрлендіру. Ол реактордың көмегімен атомдық электр стансыларында (АЭС) жүзеге асырылады. КСРО-да 1954 жылы Обнинск қаласында қуаты 5000 кВт болатын тұңғыш атом электр стансысы іске қосылды. 1971 жылдан Қазақстанда Ақтау қаласында шапшаң нейтронды реакторы бар атом электр стансысы және теңіз суын тұшыту қондырғысы жұмыс істей бастады. Өнеркәсібі жоғары дамыған елдерде су электр стансыларын салудың және органикалық отын қорының мүмкіндігі қиындай бастағандықтан ядролық энергетика саласы қарқынды дамуда. Органикалық отынмен жұмыс істейтін жылу электр стансыларына қарағанда атомдық электр стансыларының артықшылығы бар. Атом электр стансылары ортаны түтінмен және күлмен ластамайды, ауадағы оттекті қажет етпейді. Дегенмен ядролық энергетиканың қоршаған ортаға зиянды және қауіпті әсерлері бар. АЭС-да қызмет атқаратын адамдарды γ -сәулелері мен нейтрондар ағынының жағымсыз әсерлерінен қорғау мәселеріне қатты көңіл бөлінеді. Себебі



44.2-сурет

радиоактивті ластану өте қауіпті. Уран ядросының бөлінуі кезінде пайда болатын радиоактивті қалдықтарды, қолдану мерзімі біткен жылу шығарғыш элементтерді және т.б. заттарды көму кезінде күрделі проблемалар туындайды. АЭС-ның қызмет істеу мерзімі 20 жыл шамасында, осы мерзім өткен соң ұзақ жылдар бойы оның барлық бөліктері мен материалдарына радиация әсер еткендіктен, оны қайта қалпына келтіру мүмкін емес. 1986 жылы Чернобыль АЭС-да болған апат жүз мыңдаған адамдарды баспаналарын тастап, қоныс аударуға мәжбүр етті, оның зардабы өлі де ондаған, тіпті жүздеген жылдар бойы сезіледі.

Әрине, ядролық энергетиканың адамзат үшін маңызы зор. Қазіргі кезде ядролық реактордың қауіпсіздігін арттыру мақсатында жан-жақты зерттеулер жүргізіліп, оған үлкен мән берілуде.



1. Ядролық реактордың негізгі бөліктерін атаңдар және әрқайсысының қызметтерін сипаттаңдар.
2. Жылулық нейтронды реакторда не үшін нейтрондарды баяулатқыш қолданылады?
3. Тізбекті реакция қалай басқарылады?
4. Жылулық және шапшаң нейтронды реакторларда ядролық отын ретінде не пайдаланылады?
5. Реактордағы уранның сындық массасын азайтуға бола ма?
6. Ядролық энергия электр энергиясына қалай түрленеді?
7. Ядролық энергетиканың басқа энергетика түрлеріне қарағанда қарқынды дамуының себебі неде?

Есеп шығару мысалы

ПӨК-1 25% болатын атом электр стансысының қуаты 1 млн кВт. Бір жылға жұмсалатын уран-235 изотопының массасын анықтаңдар. Уранның бір ядросы ыдырағанда 200 МэВ энергия бөлінеді.

Берілгені:

$$P = 1 \text{ млн кВт} = 10^9 \text{ Вт}$$

$$t = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Дж}}{\text{ядро}}$$

$$\eta = 25\% = 0,25$$

$$M = 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

m — ?

Шешуі. Ядролардың санын молекулалар санын анықтайтын формула арқылы табамыз:

$$N = \frac{m}{M} N_A,$$

мұндағы m — уран-235 изотопының бір жылда жұмсалатын массасы, M — изотоптың мольдік массасы, N_A — Авогадро саны. Ыдырау кезінде бөлінетін энергия:

$$E = E_0 \cdot N = E_0 \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A.$$

Тұтынушыға берілетін энергия $W = P \cdot t$.

$$\eta E = W \text{ немесе } \eta E_0 \frac{m}{M} N_A = P \cdot t,$$

$$\text{осыдан } m = \frac{PtM}{\eta E_0 N_A} = \frac{10^9 \text{ Вт} \cdot 3,16 \cdot 10^7 \text{ с} \cdot 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{0,25 \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Дж}}{\text{ядро}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 1650 \text{ кг.}$$



20-жаттығу

1. ПӘК-і 20% болатын атом электр стансысының қуаты 1000 МВт. Төулігіне жұмсалатын уран-235 изотопының массасын анықтаңдар.

Жауабы: 5,3 кг.

2. АҚШ-тың “Наутилиус” атомдық сүңгуір қайығының жылудық қондырғысының қуаты 14,7 МВт, ПӘК-і 25%. Отын ретінде байытылған уран қолданылады, оның 1 кг массасындағы ядролар бөлінгенде $6,9 \cdot 10^{13}$ Дж энергия шығады. Қайық бір жыл бойы жүзуі үшін қанша отын қоры қажет?

Жауабы: 26,9 кг.

3. Егер атом мұзжарғышы қозғалтқышының қуаты $3,2 \cdot 10^4$ кВт және атом реакторы төулігіне 200 г уран-235-ті пайдаланса, атом мұзжарғышы қозғалтқышының ПӘК-ін есептеңдер. Уран атомының бір ядросының бөлінуі кезінде 200 МэВ энергия босап шығады.

Жауабы: $\eta = 17\%$.

8-тараудың ең маңыздысы

Ядролық физика атом ядросының құрылымын, қасиеттерін, оның түрленулерін зерттейді, микродүниеде болып жататын құбылыстарды қарастырады.

Резерфорд тәжірибелер негізінде атомның ядролық моделін ұсынды. Ядроның өлшемі 10^{-15} м болып шықты.

Резерфорд алғаш рет атом ядроларын α -бөлшектерімен атқылап, олардың жасанды түрленулерін іске асырған. Ол 1919 жылы *протонды* ашты, ал Чедвик 1932 жылы ядроның құрамына кіретін екінші бөлшек — *нейтронды* ашты.

В. Гейзенберг пен Д. Иваненко атом ядросының протон-нейтрондық моделін ұсынды. Бұл модель бойынша ядро протондар мен нейтрондардан, яғни нуклондардан тұрады: $A = Z + N$.

Ядроның ішінде нуклондарды қысқа қашықтықта ғана әсер ететін ядролық күштер ұстап тұрады.

Ядролық физикада нуклондардың байланыс энергиясы аса маңызды сипаттама болып табылады. *Байланыс энергиясы* ядроны жеке нуклондарға ыдырату үшін жұмсалатын энергияға тең.

1896 жылы А. Беккерель табиғи радиоактивтік құбылысын ашты. *Радиоактивті* деп аталатын элементтер өздігінен α -сәуле, β -сәуле және γ -сәуле шығарады. Бұл сәулелердің табиғаты анықталды: α -сәулелер — гелий атомдарының ядролары, β -сәулелер — электрондар ағыны, ал γ -сәулелер ұзындығы аса қысқа электромагниттік толқындар.

Атом ядроларының өртүрлі бөлшектер мен сәулелер шығара отырып өздігінен түрлену заңын, яғни *радиоактивті ыдырау заңын* Резерфорд ашқан еді:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Атом ядроларының бір-бірімен және элементар бөлшектермен өзара әсерлесуі кезіндегі өзгерісін *ядролық реакциялар* деп атайды. Ядролық реакциялар кезінде энергияның бөлінуі немесе жұтылуы болады.

Радиоактивті сәулелер белгілі бір шекті шамадан асып кетсе, тірі организмге үлкен зиян келтіреді.

V бөлім. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

9-тарау. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

§ 45. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері, өзекті мәселелер және даму кезеңдері. Наноматериалдар



Тірек ұғымдар:

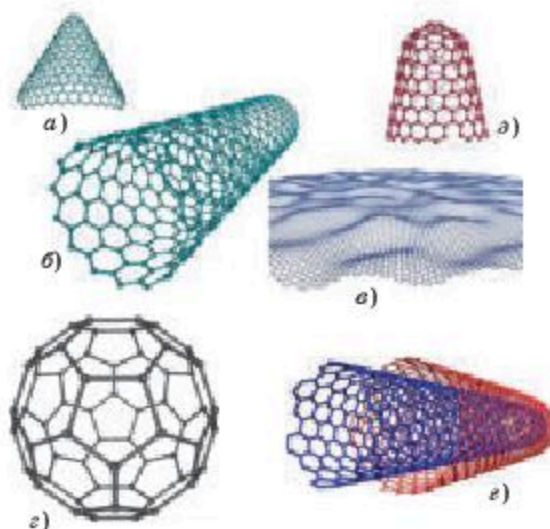
- ✓ нанотехнология
- ✓ наноматериалдар
- ✓ 3D принтер
- ✓ нанороботтар

Бүгінгі сабақта:

- наноматериалдардың физикалық қасиеттерін және оларды алудың жолдарын танысасыңдар;
- нанотехнологияның қолданылуын талқылайсыңдар.



Нанотехнология деп ерекше және жаңа қасиеттер алу мақсатында материямен (затпен) атомдық, молекулалық және супрамолекулалық (бірнеше молекула) деңгейлерде амалдар жасау әдістерін айтады. Өдетте, ол амалдар ең болмағанда заттың бір өлшемі 1—100 нанометр шамасындағы құрылымдармен әрекет жасау болып табылады. Мысалы, әйгілі графен — жазық наноматериал: яғни екі өлшемі өте үлкен, ал үшінші өлшемі біратомдық, көміртек нанотүтікшесі сызықты наноматериал, ал фуллерен нүктелік наноматериал болып табылады (45.1-сурет).



45.1-сурет

а) нанокон, б) нанохори, в) нанотүтікше, г) графен
д) фуллерен, е) қос қабатты нанотүтікше

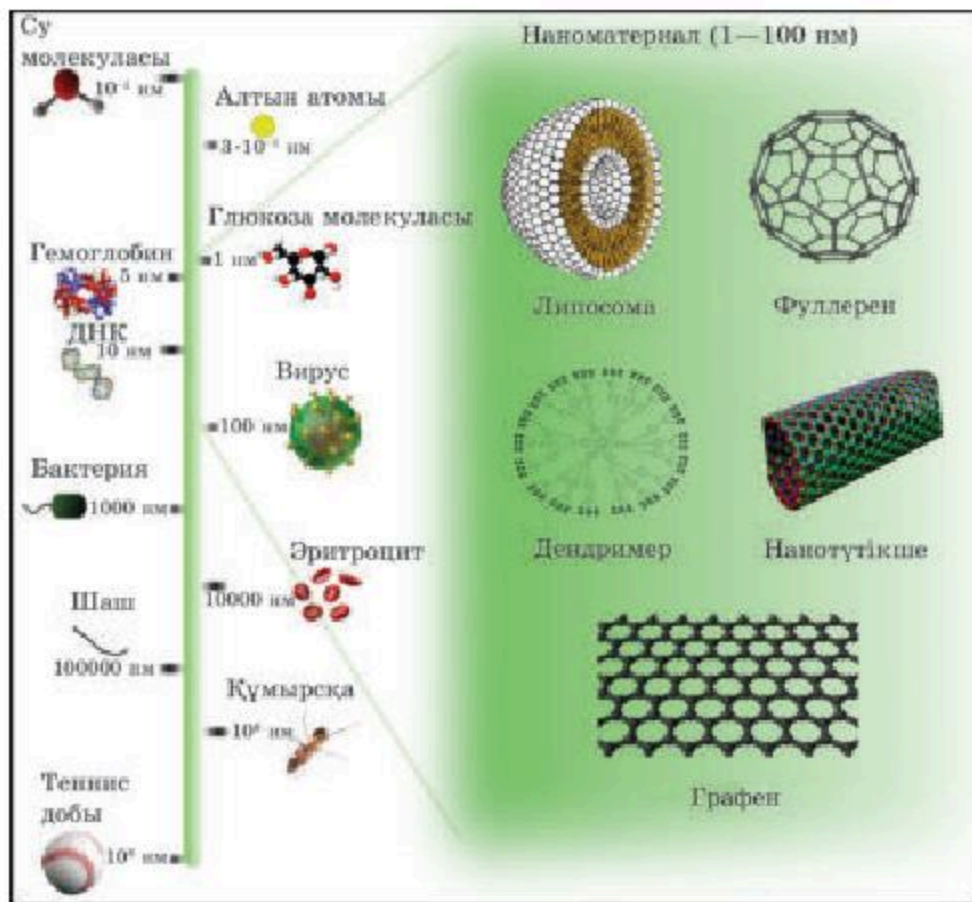


Ричард Фейнман
(1918—1988)

Наноматериал дегеніміз — нанобөлшектерден тұратын немесе нанотехнология негізінде жасалған макроскопиялық зат. Бірдей химиялық құрамды заттың нанобөлшегі оның ірі сұлбасынан физикалық, химиялық, оптикалық, биологиялық қасиеттері бойынша өте ерекшеленеді.

“Нано” (грек. “ергежейлі”) қосымшасы миллиардтан бір бөлігі мағынасын береді ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Айта кететін жәйт — кейбір жағдайларда нано қосымшасы салыстырмалы түрде әлдеқайда кіші, ергежейлі мағынасында қолданылады: мысалы, наносерік — массасы бірнеше килограмм болатын серік, ал нанотираннус — бойы бір-екі метр болатын ергежейлі тиранозавр.

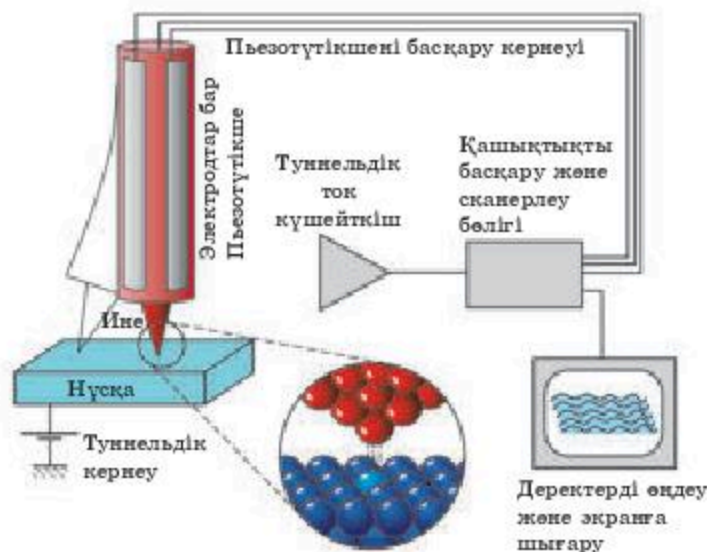
Нанодеңгейдегі заттардың басқа өлшемдердегі заттардан айырмашылығын 45.2-суреттен қарап білсек болады.



45.2-сурет. Нанодеңгейдің басқа өлшемдерге қатынасы

Нанотехнологиялар жайлы алғаш рет ғылыми түрде американдық ғалым Ричард Фейнман өзінің Калифорниялық технологиялық институттағы Америка физикалық қоғамы жиналысында 1959 ж. 29 желтоқсанында берген “There’s Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics” (Төменде көп орын бар: Жаңа физика саласына кіруге шақыру) деген дәрісінде баяндаған. Бірақ ол кезде *нанотехнология* термині болмаған еді. *Нанотехнология* терминін алғаш рет 1974 жылы жапон ғалымы Норио Танигучи ұсынды. Ал ғылым саласы түрінде “нанотехнология” ұғымы 1980 ж. бастап қалыптаса бастады. 1981 жылы неміс ғалымы Герд Карл Бинниг пен швейцария ғалымы Генрих Рорер атомдарды кескіндеумен қатар, олармен амалдар жасауға мүмкіндік беретін сканирлеуші туннельдік микроскоп ойлап тауып, наноғылымдар үшін нақты құрал жасады (45.3-сурет). Нанотехнологиялар дәуірі осыдан басталды десек болады.

Ал адамзат нанотехнологиялардың қолданылуын 2000 жылдан бастап сезіне бастады. Осы уақыттан бастап дамыған елдер нанотехнологияны дамытудың мемлекеттік бағдарламаларын құрып, арнайы түрде көптеген қаржы бөле бастады. Нанотехнология физика, химия, биология, медицина, электроника салаларында және ауыл шаруашылығында кең қолданысқа ие болып, наноматериалдар мен нанобөлшектер күнделікті тұтынатын заттардың құрамына кіре бастады. Қазіргі уақытта нанотехнология бойынша алдыңғы қатарда ең көп патенттері бар Samsung корпорациясы тұр. Ол компания 2021 ж. процессор жасаудың бүгінгі күндегі (2019 ж.) ең озық 3 нм технологиясын коммерциялық қолданысқа жіберетінін жариялады. Сондай-ақ осы салада ғылыми зерттеулер бойынша Samsung (Корея), IBM (АҚШ)



45.3-сурет. Сканирлеуші туннельдік микроскоп

және Toshiba (Жапония) компаниялары, АҚШ, Еуропа Одағы, Қытай, Жапония, Ресей ғылыми зерттеу ұйымдары көш бастап тұр.

Нанотехнологияны қолдану пайдасынан өзге қауіптерді де туғызуда. Нанобөлшектердің тірі ағзаға әсері алуан түрлі. Нанобөлшек өлшеміне, пішініне, концентрациясына және әсер ету нысанасына байланысты әртүрлі әсер береді: бірде емдік қасиет берсе, бірде улы болып табылады. Мысалы, фуллерен белгілі бір майлармен араластырғанда денсаулыққа пайдалы болса, суға салынған өте аз концентрациядағы коллоиды тері мен бүйрек жасушалары үшін улы болады екен. Ал көміртегі нанотүтікшелерінің көбі тірі ағзаларды мутацияға ұшыратып, жасушаның апоптозына себеп болады. Сондықтан наноматериалдарды өндіргенде қоршаған ортаны ластамау ережелері жасалынып, халықаралық ұйымдар мен мемлекеттер тарабынан нанотехнологияларға қатысты қауіпсіздік шараларын жасауға ерекше назар аударылуда.

Қазақстанда нанотехнологиялық зерттеулер барлық дерлік техникалық және зерттеу университеттерінде қарқынды жүргізілуде. Мысалы Назарбаев университеті, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті жанындағы нанозертханалар жан-жақты ғылыми зерттеулер жүргізілуде.



1. *Нанотехнология заттың қандай қасиеттерін пайдалануға негізделген?*
2. *Нанотехнология әдістері немен ерекшеленеді?*
3. *Наноматериалдар үлкен бола ала ма?*
4. *Нанобөлшектер ағзаға қалай әсер етеді?*

9-тараудың ең маңыздысы

Нанотехнология — ерекше және жаңа қасиеттер алу мақсатында материямен (затпен) атомдық, молекулалық және супрамолекулалық (бірнеше молекула) деңгейлерде амалдар жасау әдістерін айтады.

Наноматериал — нанобөлшектерден тұратын немесе нанотехнология негізінде жасалған макроскопиялық зат.

Сканерлеуші туннельдік микроскоп — атомдарды кескіндеумен қатар, олармен амалдар жасауға мүмкіндік беретін наноғылымдар үшін аса маңызды құрал.

VI бөлім. КОСМОЛОГИЯ

10-тарау. КОСМОЛОГИЯ

§ 46. Астрономия, астрофизика және космология



Тірек ұғымдар:

- ✓ астрономия
- ✓ астрофизика
- ✓ астрометрия
- ✓ космология

Бүгінгі сабақта:



- ғарышты зерттейтін ғылым — астрономияның зерттеу аймағы мен оның бөлімдерінің өзара байланысымен танысасыздар.

Табиғат заңдарын зерттеудегі заманауи жетістіктер адамның Әлемге деген көзқарасын едәуір тереңдетіп, көп ғылымдар арасындағы шекараны жуық түрде тағайындайтындай жағдайға жеткізді. Астрономияның соңғы жетістіктері негізінде оның зерттеу нысандар қатары ғарыштағы материяның көрінбейтін түрінен бастап тірі ағзаларға дейінгі аралықты қамтиды деуге болады. Егер физиканы табиғаттың, оны құрайтын материяның ең негізгі (фундаменталды), мейлінше жалпылама әрі іргелі заңдылықтарын зерттейтін ғылым десек, астрономияны физиканың әдістерін пайдалана отырып Әлемді жан-жақты зерттейтін ғылым деп айтсақ болады.

Астрономия сөзі гректің “астрон” — *жұлдыз* және “номос” — *атау, заң* деген сөздердің тіркесінен шыққан. Осы тараудың қарастырылу шеңберіне сәйкес *астрономия* — *аспан денелерінің, олардың жүйелерінің және тұтас Әлемнің физикалық құрылысын, пайда болуын, қозғалысын және дамуын зерттейтін ғылым*. Астрономияның әдеттегі негізгі зерттейтін нысандары — Күн, планеталар және олардың серіктері, метеорлық денелер, тұмандықтар, жұлдыздар, жұлдыз шоғырлары, галактикалар және т.б. ғарыштық нысандар. Жерді Күн жүйесінің бір планетасы ретінде аспан денесі деп қарастырсақ, ол да астрономияның зерттеу нысаны болып табылады.

Мұны білесіңдер

Зодиакалды шоқжұлдыздар эклиптика бойында орналасқан. Күн, Ай және планеталар аспан сферасында эклиптика маңында қозғалады.

Астрономияның ерекше зерттеу мәселелерінің бірі — жерден тыс өркениеттерді іздестіру және олармен байланыс орнату. Бұл сұрақ адамзаттың алдындағы ең көкейкесті мәселелердің бірі. Астрономияның негізгі зерттеу әдісі — бақылау. Бақылаулар негізінен түрлі телескоптар

көмегімен жүргізіледі. Оптикалық диапазоннан тыс электромагниттік сәулелерді тіркеу, спектралдық талдау, фотосуретке және бейнетаспаға түсіру, электронды есептегіш машиналарды пайдалану бақылау жүргізудің және оны сараптаудың мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті. Ғарышкерліктің дамуына байланысты астрономияда тәжірибе жасау мүмкіндігі пайда болды. Ғарыш кемелері мен жасанды Жер серіктері көмегімен астрономдар Әлемді зерттеудің жаңа деңгейіне көтерілді. Күн жүйесін зерттеуде планетааралық ғарыш кемелерін қолдану астрономияда көптеген жаңалықтар ашуға мүмкіндік берді. Аспан денелерін зерттеудің тағы бір жолы — жерге түсіп жатқан ғарыш сәулелері мен метеориттерді зерттеу.

Астрофизикада ерекше орны бар, соңғы кезде жеке бағыт ретінде қарастырылып жүрген Космология өте қарқынды дамуда. Заманауи космология Эйнштейннің Жалпы салыстырмалылық теориясы жасалған соң негізі қаланды. *Космология Әлемді тұтастай алғандағы оның пайда болуы мен дамуын, геометриялық құрылымын, ондағы заттың қалай пайда болғанын, қараңғы энергия мен қараңғы материяның табиғаты мен олардың Әлем дамуындағы орнын зерттейді.*

Біздің елімізде астрономия саласындағы ғылыми зерттеулер 1940 жылы қыркүйек айында Күннің толық тұтылуын бақылаудан басталды. Алматы қаласына Күннің толық тұтылуын бақылап, зерт-



46.1-сурет. АФИ-дің Асы-Түрген обсерваториясы



46.2-сурет. АФИ-дің Тянь-Шань обсерваториясы

теу үшін Кеңес Одағының түкпір-түкпірінен астрономдар келді. Қазақ Ғылым академиясының бірінші президенті академик Қаныш Имантайұлы Сәтпаевтың қолдауымен Академия жанынан Астрономия және астрофизика ғылыми институты құрылды (кейін Фесенков атындағы астрофизика институты болып аталды). Ол институт осы күнге дейін жұмыс істейді.

Фесенков атындағы Астрофизикалық институт Қазақстандағы астрономия мен астрофизика саласындағы іргелі зерттеулерді жүргізетін негізгі ғылыми мекеме болып табылады. АФИ-дің ғылыми жұмысына астрономиялық бақылаулар, теориялық зерттеулер мен компьютерлік модельдеу жатады (46.1- және 46.2-суреттер).

Теориялық зерттеулердің басты салаларына жұлдыздар динамикасы мен астрофизикалық есептеулер, аспан механикасы, сандық модельдеу негізінде галактикалардың белсенді ядроларын зерттеу, Өлемнің жас кезіндегі космологиялық моделін дамыту, Өлемдегі құрылымдардың пайда болуы мен эволюциясын зерттеу, қара материялар мен қара энергиялардың табиғатын зерттеу жатады.

Өлемдегі астрономиялық обсерваториялардың ішінде Алматының маңындағы биік таулар ішінде орналасқан екі бақылау обсерваториясы елге танымал. Бұл обсерваториялардағы зерттеу жұмыстары бірнеше ондаған мың жарықсезгіш элементтерден тұратын матрицасы бар ПЗС-камера деп аталатын, кескіндердің панорамалық қабылдағышы болып табылатын жаңа құралдармен жабдықталған телескоптармен жүргізіледі. Басты жұмыс Күн мен алып планеталардың атмосфераларында болып жатқан процестерді, кометалар мен жұлдызаралық орта және тұмандықтарды, белсенді галактикалардың спектروفотометриясын зерттеуге бағытталған.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Астрономияда зодиактық шоқжұлдыздар саны 13. Бірақ көпшілік олардың санын 12 деп біледі. Себебі: ежелде бұл шоқжұлдыздар саны 12 болған. Көпшілік хабардар астрология осы ескі жүйені пайдаланады. Астрономдар 1928 жылы шоқжұлдыздар шегарасын қайта қарастырған соң, олардың саны 13 болды.



1. Астрономия бойынша зерттеулердің ерекшеліктері неде?
2. Космология нені зерттейді?
3. Қазақстандағы Астрофизика институты қандай зерттеулер жүргізеді?
4. Қазақстандық ғарышкерлер жайлы презентация дайындаңдар.

§ 47. Жұлдыздар әлемі. Жұлдызға дейінгі қашықтық



Тірек ұғымдар:

- ✓ шоқжұлдыздар
- ✓ зодиак
- ✓ жарқырау
- ✓ параллакс
- ✓ жарық жылы
- ✓ парсек
- ✓ ақ ергежейлі
- ✓ нейтрондық жұлдыз
- ✓ қара құрдым

Бүгінгі сабақта:

- жұлдыздарға дейінгі арақашықтықты қалай анықтайтынын біліп, жұлдыздардың қалыптасуы мен дамуы қалай жүріп, немен аяқталатынымен танысасындар.



Жалпы бізге көрінетін жұлдыздар біздің “Құс жолы” галактикасында орналасқан. Көзге көрінер басқа аспан денелері — Үлкен және Кіші Магеллан бұлттары және Андромеда тұмандығы жақын орналасқан басқа галактикалар болып табылады.

Жұлдыз деп негізінен сутек пен гелийден тұратын, өзегіндегі термоядролық реакциялар жүруі арқасында айналасына тұрақты энергия (жарық пен бөлшектер түрінде) шығаратын плазма күйіндегі массасы үлкен, шар пішінді аспан денесін айтады. Жұлдыздарға олардың эволюциясының соңғы бөлігі болып табылатын ақ ергежейлі және нейтронды жұлдыздарды да жатқызады.

Жұлдыздардың негізгі сипаттамалары: жарқырауы, беттік температурасы, радиусы, химиялық құрамы және массасы. Олардың көбі Күн сипаттамалары бірлігінде беріледі:

47.1-кесте

Күннің негізгі сипаттамалары

Аталуы	Белгілеуі	Мөні
Күн массасы	M_{\odot}	$1,989 \cdot 10^{30}$ кг
Күн радиусы	R_{\odot}	$6,957 \cdot 10^8$ м
Күн жарқырауы	L_{\odot}	$3,827 \cdot 10^{26}$ Вт

Бұған қоса аса алып жұлдыздар өлшемін астрономиялық бірлікпен (1 а.б. = 149597870700 м) өлшейді. Жұлдыздарға дейінгі қашықтық жарық жылымен (жарық бір Юлиан жылында (356,25 тәул.) ұшып өтетін қашықтық — 1 ж.ж. = $9,46 \cdot 10^{15}$ м = 63241,1 а.б. = 0,306 пк)

1 ж.ж. = $365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ с $\cdot 2,99$ м/с = 9460730472580800 м, не парсекпен (көлденеңінен қарағанда 1 а.б. 1 секунд бұрыш болып

көрінетін қашықтық – 1 пк = $3,09 \cdot 10^{16}$ м = 206264,8 а.б. = 3,262 ж.ж.) өлшенеді:

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ радиан}}{1''} \text{ а. б.} = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{2\pi} \text{ а. б.} = 3,0856776 \cdot 10^{16} \text{ м.}$$

Жұлдыздар, негізінен, галактика ішінде орналасып, оның орталығын айнала қозғалады. Галактика ішіндегі жұлдызаралық ортадан (газ-тозаңды тұмандықтан (бұлттардан)) пайда болуынан бастап жұлдыз өмір сүруі барысында түрлі эволюциялық сатылардан өтеді.

Жұлдыздарға дейінгі қашықтық. Күн — бізге ең жақын орналасқан жұлдыз. Күнге ең жақын жұлдыз — Центавр шоқжұлдызының Проксима жұлдызы. Оған дейінгі қашықтық 4,244 жарық жылы.

Бізге жақын жұлдыздарға дейінгі қашықтықтарды параллакс әдісімен анықтайды (47.1-сурет). Қазіргі оптикалық телескоптар параллаксты ~0,001% салыстырмалы қателікпен өлшей алады. Орбитадағы жер серігі телескобынан 1000 пк дейінгі қашықтықты өлшеуге болады. Жер бетінен атмосфералық ұйытқуларға байланысты 100 пк дейінгі қашықтықты өлшеуге болады. Радиотелескоптар көмегімен 10 Мпк қашықтыққа дейін өлшеулер жүргізіледі.

Мұны білесіңдер

Күннен Жерге жарық 8 мин шамасындағы уақытта келіп жетеді.

Жұлдыздарды зерттеу үшін фотокамера, спектрограф, магнитограф және тағы басқа көптеген құралдармен жабдықталған арнайы телескоптар қолданылады. Жұлдыздар жайлы мәліметтерді ғалымдар,



47.1-сурет. Жұлдыздың бір жылдық параллаксы

негізінен, олардан келген жарықты спектрге жіктеу арқылы алады. Спектр арқылы жұлдыз бетінің (жұлдыз фотосферасы) температурасы мен химиялық құрамы анықталады.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Күн ядросында пайда болған фотон Күн бетіне жүз мың жылдан аса уақытта жетеді.

Жұлдызға дейінгі қашықтықты тапқаннан кейін оның басқа да сипаттамалары анықталады.

“Көрінерлік жұлдыздық шама” деген түсінікті грек астрономы Гиппарх б.з.д. II ғасырда енгізген. Көрінерлік жұлдыздық шама жұлдыздың жарықтығы (жұлдыздың бірлік уақытта шығаратын жарық энергиясы) шамасын көрсетеді. Екі жұлдыздың көрінерлік жұлдыздық шамалары m және олардың жарықтығы L болса, олардың қатынасын Погсон формуласы арқылы өрнектеуге болады:

$$m_2 - m_1 = -2,5Lg \frac{L_2}{L_1}.$$

Бұдан 1^m жұлдызының жарықтығы 6^m жұлдызының жарықтығынан 100 есе артық екенін көреміз. Жарқырауы мен жарықтығы белгілі жұлдыздарға дейінгі қашықтықты кері квадрат заңдылығы бойынша табуға болады. Жарқырауы белгілі жарық көздерін астрономияда *қарапайым май шамдар* деп атайды.

Жұлдыздар бізден өртүрлі қашықтықтарда орналасқан, сондықтан олардың көрінерлік жұлдыздық шамалары жұлдыздың сәуле шығару қуатын (оның шын мәніндегі жарқырауын) тікелей анықтай алмайды. Жұлдыздың шын жарқырауын (астрономияда “абсолюттік” деп айту келісілген) анықтау үшін оған дейінгі қашықтықты табу керек.

Егер жұлдыздың көрінерлік шамасы және оған дейінгі қашықтық парсекпен берілсе, төмендегі формула көмегімен ол жұлдыздың абсолют жұлдыздық шамасын есептеп табуға болады:

$$M = m + 5 - 5Lgr.$$

Жұлдыздардың пайда болуы. XX ғасырдың екінші жартысында астрономдар бақылаулардың нәтижесіне сүйеніп жұлдыздардың жұлдызаралық ортадағы негізінен сутек пен гелийден тұратын молекулалық бұлттардан пайда болатынын ашты.

Кездейсоқ күштер әрекетінен (мысалы, гравитациялық өрістің ауытқуынан, сыртқы соққы толқынынан және т.б.) бұл бұлт өздік тартылу арқасында центрге сығыла бастайды. Тығыздығы едәуір үлкейгенде сығылушы аймақ *глобулага* (қараңғы газ-тозаңды тұмандыққа) айна-

лады (47.2-сурет). Глобула ішінде сфера тәрізді аймақ түзіліп, зат сол жерге құлай бастағанда (аккреция) *протожұлдыз* пайда болады.

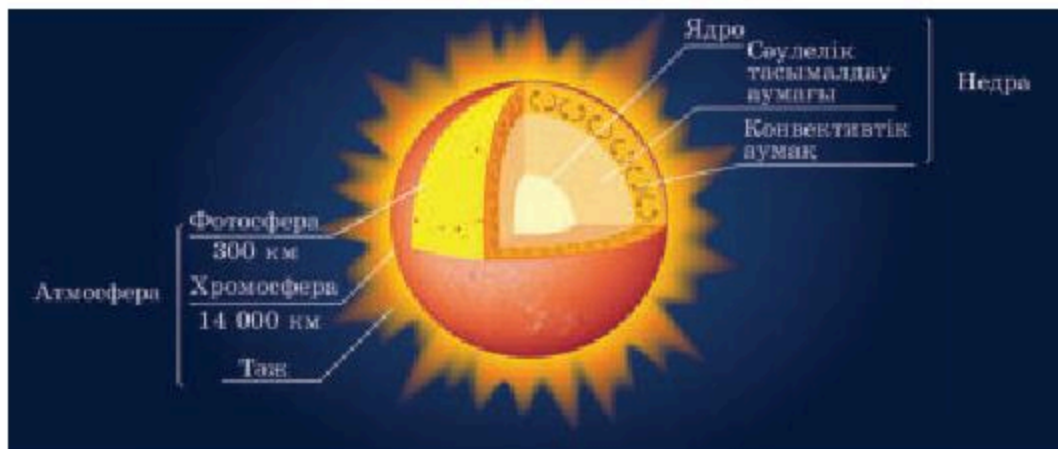


47.2-сурет. λ Центавр тұмандығындағы Тәжери глобулалары

Сығылушы протожұлдыздың гравитациялық энергиясы оның ішкі қабаттарын қыздырады. Температураның жоғарылауымен тозақ газға айналады, ал газ иондалып, молекулалар диссоциацияланады. Протожұлдыз ортасының температурасы сутектің гелийге синтезделуінің термоядролық реакциясы жүретіндей 15—20 млн К-ге жеткенде қысым күрт өсіп, сығылу тоқтайды, протожұлдыз жұлдызға айналады.

Бұл процесс Күн тәріздес жұлдыз үшін шамамен 50 млн жыл уақыт алады. Сығылу аймағы үлкен болған сайын, нәтижесінде пайда болған жұлдыз массасы үлкен болады. Жұлдыздың кейінгі тағдырын оның массасы мен құрамы анықтайды, себебі жұлдыздық ортада сутек пен гелийден өзге басқа да элементтер болуы мүмкін, ал олар термоядролық реакция жүрісін жылдамдатып, жұлдыз эволюциясына ықпал етеді.

Жұлдыздың ядросында бөлінген энергияның салдарынан пайда болған қысым беттік қабат жетіп, жұлдыз ұлғаяды, ұлғаюдан температура төмендеп, қысым азаяды да, гравитациялық күштің әсерінен жұлдыз қайта сығылады: жаңадан пайда болған жұлдыздардың айнымалы болу периодының ұзақтығы миллиондаған жылдарға созылуы мүмкін. Ақырында, тербеліс өшіп, жұлдыз бұл екі күш теңгерілген орнықты күйге өтеді де, қалыпты жарық шығаратын жұлдызға айналады.



47.3-сурет. Күннің құрылысы

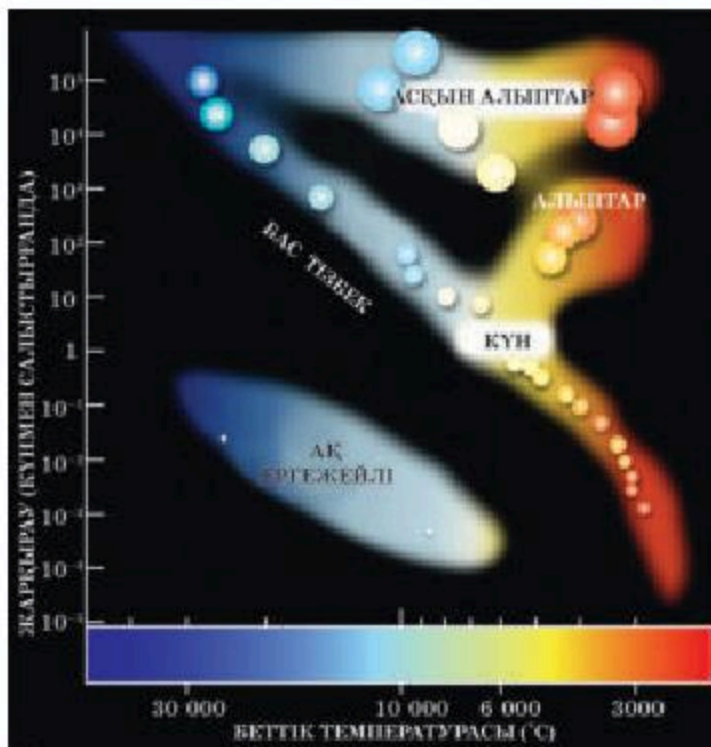
Жұлдыздар өмірінің қалыпты сатысындағы (сутектің жанып таусылу периоды) құрылымы үш аумақтан тұрады: термоядролық реакция аумағы (ядро); сәуле арқылы энергияны тасымалдау аумағы (радиациялық аумақ) және конвективті аумақ. Массалары Күн массасына жуық жұлдыздардың бұл аумақтары шамалас болады (47.3-сурет).

Жұлдыздың массасы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым оның жарқырауы үлкен болады. Оның беткі қабатының температурасы неғұрлым жоғары болса, оның конвективті аумағы кіші болады.

Жұлдыздардың спектрлік кластары. Жұлдыз спектрлерін ала бастаған соң олардың спектрлік классификациясы жасалды. XX ғ. басында Герцшпрунг және Рассел жұлдыздарды “абсолютті жұлдыздық шама” — “спектралдық класс” шкалалары бойынша үйлестіріп, диаграмма жасады (47.4-сурет). Астрономияда спектрлік класты әріптермен белгілеу қабылданған: *O* — көгілдір, *B* — ақ, *A*, *F*, *G* — жасыл-сары, *K*, *M* — қызғылт-сары. Жұлдыздардың жарқырауы абсолюттік жұлдыздық шамаларымен беріледі.

Бұл диаграммада жұлдыздар белгілі бір сызықтар бойында орналасады екен. Олардың көбі (70%) бас тізбек деп аталатын сызық бойында жатыр. Бұл жұлдыздарда сутек жану орын алады. Уақыт өте бұл жұлдыздар қызыл алыптарға айналып, басқа сызықтарға көшеді. Жалпы Герцшпрунг-Рассел диаграммасы жұлдыздар эволюциясын сипаттайды.

Диаграммаға назар салып қараса, жұлдыздар эволюциясына қатысы бар тағы да бір заңдылықты байқауға болады. Үш аймақ жұлдыздар өмірінің үш сатысын көрсетеді: *бас тізбек* — жұлдыздар өмірінің қалыпты сатысы, *алыптар және асқын алыптар аймағы* — жұлдыздардың “қартайған шағы” және *ақ ергежейлілер аймағы* “жұлдыздар моласы” (сөнген жұлдыздар). Бұл диаграмма тағы да бір



47.4-сурет. Герцшпрунг-Рассел диаграммасы

заңдылықты көрсетеді: жұлдыз неғұрлым ірі, үлкен болса, соғұрлым ол бас тізбектің жоғарғы жағында орналасады.

Жұлдыздардың қалыпты периоды олардың массаларына да тәуелді. Жұлдыздардың өмірі миллиондаған жылдардан миллиардтаған жылдарға дейін созылуы мүмкін. Жұлдыздың массасы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым оның өмірі қысқа болады. Күннен массасы он есе артық жұлдыздар Күнге қарағанда миллион есе артық жарық шығарады. Нәтижесінде олардағы сутектің қоры бірнеше ондаған миллион жылдарға ғана жетеді. Ал массалары Күн массасына шамалас жұлдыздар өздерінің сутек отынын әлдеқайда баяу жұмсап, миллиардтаған жылдар бойы тұрақты жарық шығарып тұрады.

Жұлдыздардың сөнуі. Жұлдыздар пайда болу кезіндегі сияқты сөну кезінде де тұрақсызданады екен.

Жұлдыз ядросында сутек жанып гелийге айналады. Гелий сутектен ауыр болғандықтан жұлдыз өзегіне жиналып, жану аймағы ядро сыртына ығысады. Жану аймағы жұлдыз бетіне жақындағанда қысым гравитациядан басым түсіп, затты сыртқа ығыстырады, жұлдыз өлшемдері ұлғаяды, ал беттік температурасы азаяды. Ол түсін өзгертіп қызыл алыпқа айналады. Қызыл алып — ядросы энергия бөліп шығаратын жұқа қабаттармен қоршалған, ал қалған бөлігі конвективті аумақ

болып табылатын, өлшемдері 100—800 Күн радиусы аралығындағы алып өлшемді жұлдыз.

Ядроның ішкі температурасы өсіп, жұлдыздың массасы оның ядросының температурасы 100 миллион градусқа дейін көтерілуіне жеткілікті болған жағдайда гелий жана бастайды (гелий жарқылы — массасы $\sim 2,25 M_{\odot}$ дейінгі жұлдыздарда орын алады).

Ақ ергежейлі дегеніміз айныған электрондық газ қысымымен тепе-теңдікте тұратын заттан түзілген (қасиеттері металдарға сәйкес келеді), өлшемдері Жер шамалас, массасы 0,1—1,44 M_{\odot} аралығындағы аспан денесі. Ақ ергежейлілер энергия көзі болмағандықтан бастапқы $\sim 10^4$ К температурадан ондаған миллиард жылдар бойында суып, ыстық ақ ергежейлі күйден қоңыр күй сатысына ауысады, содан кейін уақыт өте көзге көрінбейтін қара ергежейлі күйге өтеді. Ақ ергежейлінің тығыздығы шамамен 10^5 — 10^9 г/см³ аралығында, яғни бір сантиметр кубқа 100 кг бастап (гелиден түзілген болса) миллион тоннаға дейінгі аралықта 10^5 Тл дейін магнит өрісіне ие бола алады.

Мұны білесіңдер

Галактика ортасында аса ірі қара құрдым бар.

Нейтронды жұлдыз — негізінен нейтрондардан тұратын, өлшемдері 10 км шамасында, бақыланған массасы (теорияда 0,1—2,8) 1,3—1,5 M_{\odot} аралығында, тығыздығы атом ядросының тығыздығындай ($2,8 \cdot 10^{17}$ кг/м³) болатын аспан денесі. Оның бір сантиметр куб көлеміндегі зат массасы шамамен 10 млрд т магнит өрісі 10^{11} Тл дейін.

Массасы 30 M_{\odot} астам алып жұлдыздар ядросы оның өмірінің соңында Қара құрдымға айналады. Қара құрдым радиусы мына өрнекпен анықталады:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2},$$

мұндағы r_g — гравитациялық радиус, ал радиусы r_g болатын сфера Шварцшильд сферасы деп аталады, M — жұлдыз массасы, G — гравитациялық тұрақты, ал c — жарық жылдамдығы. Нейтронды жұлдыздардың радиустары олардың гравитациялық радиустарынан бірнеше есеге ғана үлкен. Шварцшильд сферасына енген кез келген зат (тіпті жарық сәулесі де) қайта орала алмайды, сондықтан ол “Қара құрдым” деген атаққа ие болған.

БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Қара құрдымның радиусы оның массасына тура пропорционал. Демек, оның массасы екі есе өссе, радиусы да екі есе өседі. Ал ақ ергежейлілердің радиусы массасына кері пропорционал, оның массасы өскенде олардың өлшемі азаяды.



1. Жұлдыздар жарық шығару үшін қажет энергияны қайдан алады?
2. Асқын жаңа жұлдыз жарылған соң оның орнында не қалады?
3. Герцшпрунг—Ресселл диаграммасының бас тізбегіндегі жұлдыздардың орны неге тәуелді?
4. Жұлдыздарда қандай реакцияның есебінен сутек элементінен басқа жеңіл химиялық элементтер пайда болады?
5. Жұлдыздың түсі арқылы беткі қабатының температурасын қалай анықтауға болады?
6. Күн мен Жерді "Қара құрдым" шамасына дейін сығуға бола ма?

Есеп шығару мысалы

Жұлдыздың жылдық параллаксы $1''$ болса, оған дейінгі қашықтықты астрономиялық бірлікпен есептеңдер.

Шешуі. $r = 206265'' a/p$ формуласын пайдаланамыз, мұндағы $p = 1''$, $a = 150\,000\,000$ км = 1 а.б. Бұл берілгендерді формулаға қойып, $r = 206265'' \cdot 1$ а.б. / $1'' = 206\,265$ а.б. аламыз.



21-жаттығу

1. Веганың жылдық параллаксы $0,12''$ -ге тең. Оған дейінгі қашықтық парсекпен, жарық жылымен, астрономиялық бірлікпен, километрмен өлшегенде қандай болады?

Жауабы: 8,3 пк; 27,17 ж.ж; 1718 875 а.б.; $2,58 \cdot 10^{14}$ км.

2. Жұлдыз 30 км/с жылдамдықпен қозғалады. 300 000 жыл ішінде оның парсекпен есептегенде қандай қашықтықты жүріп өтетінін анықтаңдар.

Жауабы: 9,2 пс.

3. Жұлдыздық шамасы 15^m , ал жылтырауының тербеліс периоды 5 күн болатын цефейге дейінгі қашықтықты анықтаңдар.

Жауабы: 41 687 пс.

4. 1987 ж. Үлкен Магелланда тұтанған аса жаңа жұлдыздың абсолют жұлдыздық шамасын бағалаңдар және оны өдеттегі аса жаңа жұлдыздың абсолют шамасымен салыстырыңдар. Максимум жылтырауы кезіндегі көрінерлік жұлдыздық шамасы 3^m -ке тең.

Жауабы: -18^m .

5. Күннен 10 пк қашықтықта атмосферасы 10000 км/с жылдамдықпен шашырай қозғалған аса жаңа жұлдыз тұтанды. 50 жылдан кейін не байқалады?

Жауабы: аспанда өлшемі 20° жарық тұмандық болады.

6. Күнге дейінгі қашықтық 150 млн км болса, абсолют жұлдыздық шамасы қандай?

Жауабы: $+4,8^m$.

7. Күнде болған тұтану нәтижесінде плазма сыртқа лақтырылды. Лақтырылған Күн плазмасы 3 тәул өткен соң Жерге жетіп, магнитосферада күшті ауытқу туғызды. Плазманың қандай жылдамдықпен қозғалғанын анықтаңдар (1 а.б. = 150 млн км).

Жауабы: 578 км/с.

§ 48. Біздің Галактика. Басқа Галактикалардың ашылуы. Квазарлар



Тірек ұғымдар:

- ✓ галактика
- ✓ жұлдыздар шоғыры
- ✓ квазарлар

Бүгінгі сабақта:

- біздің галактиканың құрылысы, құрамы, галактика түрлері, пішіндері мен өлшемдері, квазарлар жайлы мәліметтер аласыңдар.

Күн жүйесі шар тәріздес ядросының (балдж) ортасында алып қара құрдым бар, қалған бөлігі диск тәріздес, диаметрі 100 мың жарық жылы, шамамен 200 млрд жұлдыздан, газ-тозаңды тұмандықтан және қараңғы материядан тұратын жүйенің — “Күс жолы” галактикасының құрама бөлшегі (48.1-сурет). Күн галактика центрін айнала қозғала отырып, шамамен 200 млн жылда бір айналым жасайды. Жер пайда болғалы Күн жүйесі галактика центрін 23 рет айналып шыққан.



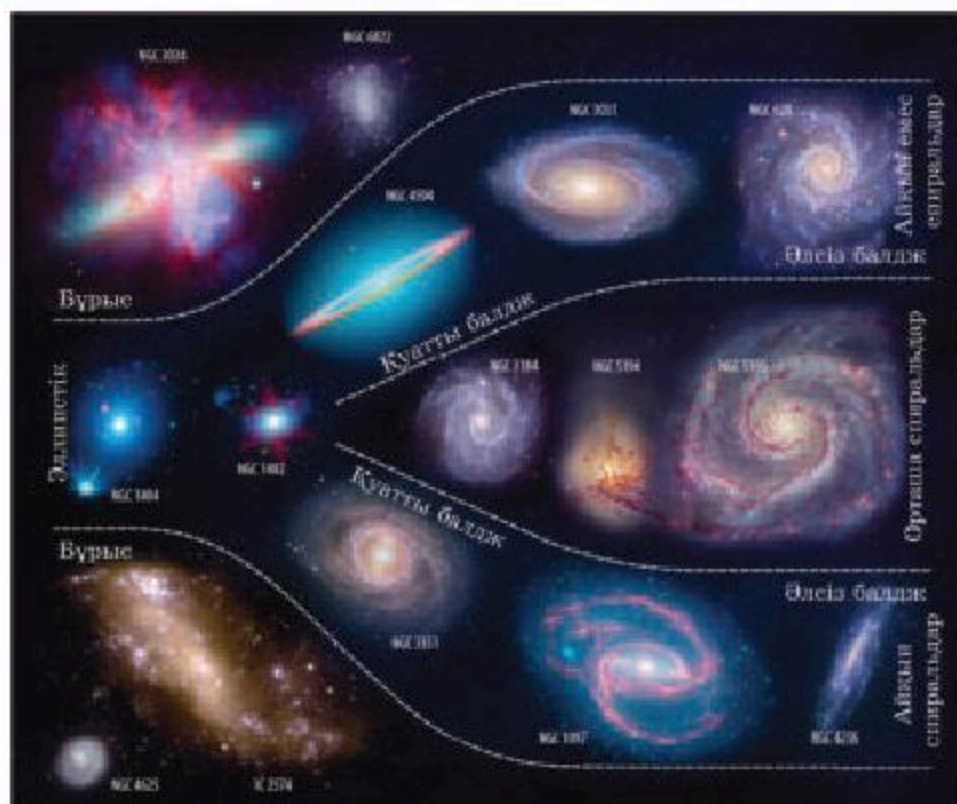
48.1-сурет. Күн жүйесінің галактикадағы орны

Галактикалардың пішіндері мен өлшемдері әр алуан. Бақыланған ең кіші галактиканың диаметрі 5 кпк, ал ең үлкені 600 кпк шамасында.

Галактикалардың негізгі төрт түрі бар (48.2-сурет):

1. *Эллипстік галактикалар (E)* — диск құраушысы жоқ галактикалар.
2. *Спиральді галактикалар (S)* — спиральді жеңдері бар диск тәріздес галактикалар.
3. *Линза тәріздес галактикалар (S0)* — спиральді жеңдері жоқ диск тәріздес галактикалар.
4. *Бұрыс галактикалар (Irr)* — буылтық тармақ пішіндес бұрыс құрылымдары бар, массасының 50% жұлдызаралық газдан тұратын галактикалар.

Көзге көрінетін төрт галактика ғана бар. Олар Андромеда М31, Үшбұрыш М33, Үлкен және Кіші Магеллан бұлттары галактикалары.



48.2-сурет. Галактикалардың түрлері

Галактиканың дискісіндегі газ, негізінен, оның жазықтығына жақын жинақталған және біркелкі орналаспаған. Олардың ішінде құрылымы біртекті емес, ұзындығы бірнеше мың жарық жылы болатын алып бұлттардан басқа шамалары бір парсектен аспайтын шағын бұлттар бар. Біздің галактиканың химиялық құрамы, негізінен, сутек пен гелийден тұрады. Осы екі элементпен салыстырғанда қалған элементтер өте аз мөлшерде кездеседі.

Біздің галактикада Күн тәрізді дара жұлдыздар 30% көп емес. Негізінен, жұлдыздар қос немесе бірнеше жұлдыздар жүйесінің бөлігі болып келеді. Галактикада жұлдыздар шашыранды (ондаған жұлдыздардан тұратын) және шар тәрізді (жүз мыңдаған жұлдыздардан тұратын) жұлдыздар шоғырлары құрамына кіреді.

Шар тәрізді жұлдыздар шоғыры галактиканың центріне жақын орналасқан. Орталыққа жақын аймақта әрбір куб парсек көлемдегі жұлдыздар саны бірнеше мыңға жетеді. Егер біз галактика ядросына жақын орналасқан жұлдыз маңындағы планетада өмір сүрсек, онда аспанда жарықтығы Айдың жарықтығындай ондаған жұлдыздар мен қазіргі аспанымыздағы ең жарық жұлдыздан да жарық жұлдыздар саны бірнеше мың болар еді.

Шашыранды жұлдыздар шоғырларының саны шар төрізді жұлдыздар шоғырынан әлдеқайда көп, олар, негізінен, галактика (спиральды галактика жайлы сөз болып отыр) спиралінің тармағында орналасқан.

Галактика ядросы Мерген шоқжұлдызы бағытында орналасқан. Галактиканың айналу жылдамдығы центрде нөлден басталып, одан 2 мың жарық жылындай қашықтықта 200—240 км/с-қа дейін артып, өрі қарай тұрақты болып қалады.

Галактиканың жасы 12 млрд жылдан асады.

Басқа галактикалардың ашылуы. Шамамен жүз жыл бұрын барлық көрінетін тұмандықтар біздің Галактикаға жатады деп саналған. Бұл оларға дейінгі қашықтықтарды анықтаудың қиындықтарына байланысты еді. Жаңа өлшеу әдістері арқасында көрінетін Өлем галактикаларға толы екені анықталды. Қазіргі уақытта бақыланатын Өлемде 2 трлн шамасында галактика бар. Олар топтасып орналасқан және ең сезімтал құралдардың көмегімен анықтайтын қашықтықта жан-жаққа таралып, бір-бірінен алшақтап барады. Галактикалардың жергілікті шоғырында жоғарыда аталған галактикалармен қоса 50-ден астам мүше бар. Оңтүстік жартышардың түнгі аспанынан бізге ең жақын галактикалар — “Магеллан бұлттарын” бақылай аламыз. “Магеллан бұлттары” Құс жолынан көп кіші. Олар — біздің Галактиканың серіктері.

2,52 млн жарық жылы қашықтықта Андромеда галактикасы орналасқан. Ол — топтағы ең ірі галактика, өлшемі біздің галактикадан екі еседей үлкен (1 трлн шамасында жұлдыздары бар). Үшбұрыш галактикасы өлшемі біздің галактикадан 2 есе кіші және бізден 2,8 млн жарық жылы қашықтықта орналасқан.

Өлемдегі ең ірі галактикаларға эллипстік галактикалар жатады. Олардың кейбіреуі шар төрізді, ал кейбіреуі созылыңқы болып келеді. 800 мың галактикадан тұратын каталогқа сәйкес галактикалардың ішінде шамамен 80% спиральді, 17% эллипсті және 3% бұрыс галактикалар. Галактикаларға дейінгі қашықтықтарды өртүрлі әдістермен анықтайды: цефейлер, жаңа және асқын жаңа жұлдыздар т.с.с.

Квazarлар. Квazarлар (ағылшынша “quasar, quasistellar radio-source” — *радиосәуленің квазижұлдыздық көзі*) — Өлемдегі ең қуатты сәуле көзі. Бұл аспан денелері минутына Күннің 10 млн жылда шығаратын энергиясынан артық энергия шығарады. Олардың жарқырауы тұтас галактиканың жарқырауынан жүз есе артық бола алады. Көптеген квazarлар — рентген сәулесінің қуатты көздері. Квazarлар ғарыштағы ең алыс денелер болып саналады (оларға дейінгі қашықтық миллиардтаған жарық жылын құрайды), олардың спектрі қызыл ығысуы $z = 7,5$ шамасына дейін барады. Квazarлар өте алыс галактикалардың жас, белсенді ядролары деп есептеледі.



1. Біздің әлемнің қай жерінде жұлдыздардың шар тәрізді шоғырлары орналасқан?
2. Әдеттегі галактикадан квазарлар қалай ерекшеленеді?
3. Алматы қаласында бұлтсыз ашық түнде Магеллан бұлтындағы галактиканы бақылай аласыңдар ма?
4. Квазардың жылтырау периодының өзгерісі арқылы оған дейінгі қашықтықты анықтауға бола ма?



22-жаттығу

1. Галактика центрінен жұлдыз 5,5 кпк қашықтықта орналасқан және 200 км/с жылдамдықпен қозғалады. Жұлдыздың галактика центрін айнала қозғалысы кезіндегі толық бір айналым жасау уақытын табындар.

Жауабы: 10^7 ж.

2. 1987 ж. ақпанның 23-інен 24-іне қараған түні астрономдар 55 кпк қашықтықтағы Үлкен Магеллан бұлтында аса жаңа жұлдыздың тұтануын тіркеді. Бұл құбылыстың шын болған жылын анықтаңдар.

Жауабы: 179 300 жыл бұрын.

§ 49. Үлкен жарылыс теориясы. Қызыл ығысу және Галактикаларға дейінгі қашықтықты анықтау. Әлемнің ұлғаюы



Тірек ұғымдар:

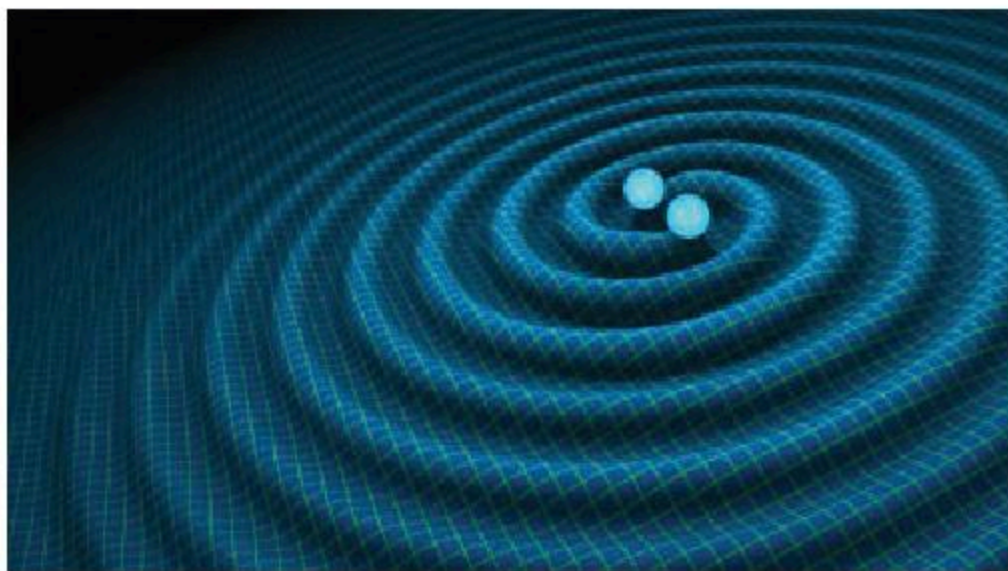
- ✓ жалпы салыстырмалылық теориясы
- ✓ гравитациялық толқындар
- ✓ үлкен жарылыс
- ✓ қараңғы энергия
- ✓ қараңғы материя

Бүгінгі сабақта:

- үлкен жарылыс теориясы, "қараңғы энергия" мен "қараңғы материя" ұғымдарымен танысасындар, Хаббл заңы, Әлемнің моделі жайлы мәліметтер аласындар.



Осы заманғы гравитация теориясы — Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясы (ЖСТ). Жалпы салыстырмалылық теориясы үлкен масштабтарда ғана маңызды. Ол кеңістік-уақыт пен зат бір-біріне әсер ететінін тұжырымдайды. Зат кеңістік өлшемдеріне, қисықтығына және уақыт жүрісіне әсер етеді, ал кеңістік-уақыт зат қозғалысы заңдылықтарын тұжырымдайды. Зат маңында кеңістік созылып, уақыт баяулайды. Мысалы, нейтрондық жұлдыз маңында көзге көрінетін көлемнен шын көлем үлкен болады. Ал уақыт жүрісі жұлдыз бетіне жақындаған сайын баяулай береді. Сондай-ақ бұл теория гравитациялық толқындарды болжайды (49.1-сурет). 2017 жылы үш американдық ғалымдарға Нобель сыйлығы гравитациялық толқындарды ашқаны үшін берілді.



49.1-сурет. Қосарланған жұлдыздардың гравитациялық толқынды шығаруы



49.2-сурет. Әлем эволюциясы

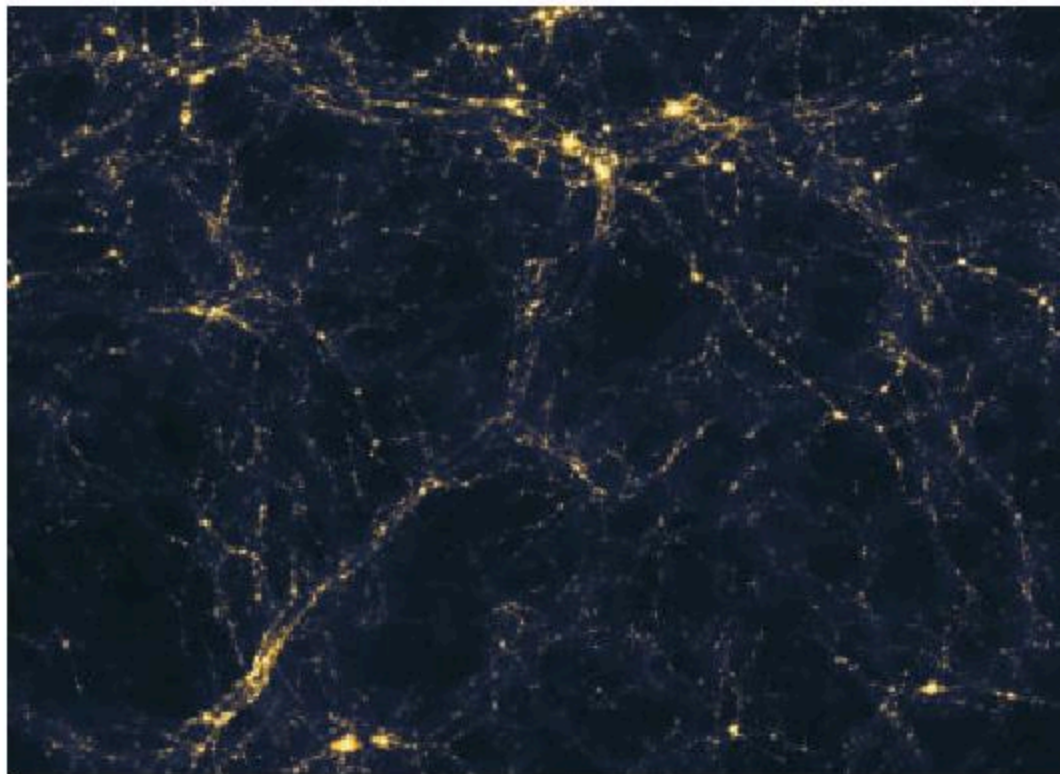
Гравитациялық толқын кеңістік уақыт қисаюының таралуы болып табылады. Оларды тіркеу мүмкіндігі Әлем жайлы көптеген жаңа мәліметтер алуға көмектеседі.

Осы теория (ЖСТ) шеңберінде Әлемді тұтастай зерттейтін космология жұмыс істейді. Қазіргі түсініктер бойынша, Әлем Үлкен жарылыстан басталып, инфляция деп аталатын өте жылдам ұлғаю кезеңінен өткен (49.2-сурет). Кейін, 13,7 миллиард жыл өткен соң, қазіргі уақытта бақыланып отырған баяу үдемелі ұлғаю кезеңіне ұштасқан. Әлем жазық болғандықтан, оның шегі жоқ, бірақ біз бақылай алатын қашықтық Әлем жасымен байланысты, себебі шектік жарық жылдамдығының болуы біздің бақылау аймағымызға шектеу қояды.

Бұл жерде қараңғы энергия және қараңғы материя жайлы да айта кеткен дұрыс. *Қараңғы энергия* деп Әлемнің үдемелі ұлғаюына себепші, табиғаты өзінше белгісіз, барлық жерде бірдей таралған өрісті айтамыз. Ал қараңғы материя галактикалар маңында шоғырланған белгісіз, электромагниттік және күшті әсерлесуге түспейтін материя. Бүгінде бүкіл Әлемдегі заттың 68,3% қараңғы энергиядан, 26,8% қараңғы материядан, тек 4,9% белгілі заттан тұратыны анықталды. Қазір осы бағыттағы зерттеулерге көп көңіл бөлінуде. Шындығында, белгілі зат мардымсыз бес пайыздан аз болғаны дұрыс!

Үлкен жарылыстан кейін Әлем кеңейіп, салқындай бастады. Әлем жасы 400 мың жыл болғанда, қараңғы энергия мен қараңғы материядан басқа зат электрондардан, протондардан, нейтрондардан және электромагниттік сәуледен тұрды. Әрі қарай Әлемнің кеңею процесінде температурасы 4000 К шамасына дейін суып, материя жарық үшін мөлдір күйге өтті де, қазір *реликті микротолқынды фондық сәулелену* деп аталатын электромагниттік сәуле пайда болады. Әлемнің кеңеюінің басталғанына шамамен миллион жыл өткеннен соң тұрақты атомдардың қалыптасу уақыты келді. Атомдар әрі қарай бірігіп молекулаларға айналды. Жүздеген миллион жыл бойы гравитация материяны орасан зор қоймалжың затқа жинап, сутектің зор бұлттары қазір бақылап отырған галактикаға жинақталды.

Біздің Галактика мен басқа галактикалар бірігіп, өлшемі жүздеген миллион жарық жылын құрайтын галактикалардың шоғыры мен галактикалардың аса үлкен шоғырларына жинақталды. Олар барлық Метагалактика кеңістігі арқылы тізбектеліп байланысқан. Оның көлемі кеуекті құрылымды, ал одан үлкен масштабтарда филаменталарға (ұзындығы 50—80 Мпк талшықтар) жинақталады (49.3-сурет). Біртекті және изотропты болып табылатын өте үлкен масштабта пайда болған Метагалактиканың құрылымы осындай.



49.3-сурет. Әлемнің аса ірі масштабтағы құрылымы — филаменталар

Галактикалардың ішіндегі гравитациялық өрістер бұл материяны ыстық жұлдыздарға айналдырды. Мұнда жұлдыздар пайда болып, сеніп жатты. Алып жұлдыздар өздерінің өмір сүруінің соңғы сатысында асқын жаңа жұлдыздар жарылысына ұшырап, өмірдің негізі болып табылатын элементтерді, атап айтқанда, біз дем алатын оттекті, ағзаға қажетті көміртекті, қанның құрамындағы темірді ғарыш кеңістігіне жіберді. Жарылыстан кейін газ бен тозаңнан тұратын бұлт пайда болғанда бұл элементтер гравитациялық күштің әсерінен жиналды да, жаңа жұлдыз — Күн пайда болды. Олардың жанында планеталар түзіле бастады. Бұл — шамамен 4,6 млрд жыл бұрынғы оқиға. Сондай планеталардың бірінде тіршілік иелері эволюцияны бастарынан өткізді, енді олардың ішіндегі санасы ең жоғары тұрғындары өмірдің қалай пайда болғанын түсінуге ұмтылуда. Үлкен жарылыстан бері шамамен 13,7 млрд жыл өтті. Әлемнің бүгінгі түрі пайда болды.

Әлемнің пайда болуының жарылыстық сипатын дәлелдейтін деректерді ғалымдар осы уақытта да тауып жатыр. Олар:

— ғарышта Әлемнің пайда болу кезінен реликтік микротолқынды фондық сәулеленудің бар болуы;

— Әлемнің кеңеюінен пайда болған галактика спектрлеріндегі қызыл ығысу;

— Әлемдегі гелий мөлшерінің Үлкен жарылыс теориясы болжап айтқандай, сутектің 12 атомына гелийдің бір атомы сәйкес келуі.

Сонда Әлем жасы 13,7 миллиард жыл, 10^{18} с, бақыланатын кеңістік өлшемдері 93 миллиард жарық жылы, 10^{27} м екен. Болжауларға сәйкес бұл ауқымнан тыс басқа параллель әлемдер болуы мүмкін (мультиәлемдер гипотезасы). Ол жерлерде іргелі тұрақтылар өзгеше болып, Әлем көрінісі тіпті өзгеше болуы тиіс. Шындығында, осы тұрақтылар сәл өзгеше болғанда біз білетін Әлем болмас еді, онда адам өмір сүруі екіталай болар еді. Бұл жағдай Антроптық қағидамен түсіндіріледі. Әлемдер саны шексіз, бірақ бақылап тұрған Әлемнің ерекше қасиеттері оның іргелі тұрақтылары бақылаушы пайда болуына себепкер болды. Болашақ зерттеулер бұл жағдайды нақтылай алады деп сенеміз (49.4-сурет).

Хаббл заңы. 1929 жылы америка астрономы Эдвин Хаббл галактика неғұрлым алыс қашықтықта



49.4-сурет. Бақыланатын Әлем ауқымы (логарифмдік масштабта)

болса, соғұрлым жылдамырақ алшақтайды және соғұрлым оның спектрі қызыл жаққа ығысатынын ашты:

$$v = Hr,$$

мұндағы v — галактиканың алыстау жылдамдығы, r — оған дейінгі қашықтық, H — Хаббл тұрақтысы ($67,80 \pm 0,77$ (км/с · Мпк)). Хаббл заңы тек алыс галактикалар үшін ғана қолданылады. Хаббл заңы Өлемнің ұлғаюын, яғни Үлкен жарылыс нәтижесінде Өлемнің пайда болғанын растайды.

Қызыл ығысу шамасы:

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda},$$

мұндағы λ_0 — өлшенген толқын ұзындығы, λ — спектрдегі бастапқы ұзындық. Қазіргі ең үлкен қызыл ығысу шамасы 11,09, ол 13,39 млрд жарық жылы қашықтығындағы GN-z11 галактиканың сипаттамасы.

Өлемнің моделі. Біздің Өлемнің заманауи моделі Λ CDM (Lambda-Cold Dark Matter) деп аталады. Λ CDM моделі 1998 жылы Өлемнің үдемелі кеңеюі ашылған соң стандартты модельге айналды, өйткені бұрынғы модельдердің қарама-қайшылықтары бұнда қарапайым және табиғи түрде шешілді. Бұл модель Өлем барионды материядан бөлек лямбда мүше — қараңғы энергия және суық қараңғы материядан тұрады деп ұйғарады. Кейбір Λ CDM-ды кеңітетін балама модельдер бойынша, Өлемнің ұлғаюы оның қайтадан сығылуымен алмасады да, Өлем жойылып кетеді. Ал басқа модель болжамы бойынша, Метагалактиканың сығылуы кейін қайта ұлғаюға алып келеді. Үшінші бір гипотеза бойынша, Өлемнің ұлғаюы мәңгі жалғаса береді. Барлық жұлдыздардың жарығы уақыт өткен сайын сейіліп, галактикалар қараңғыға сіңіп жоғалады.



1. *Метагалактиканың өлшемдері қандай?*
2. *Үлкен жарылыс теориясына қазіргі кезде қандай дәлелдемелер бар?*
3. *Күннің жасы қаншада?*
4. *Біздің Галактиканың жасы нешеде?*
5. *Метагалактиканың құрылымы қандай?*
6. *Галактикалардың спектріндегі қызыл ығысу нені көрсетеді?*
7. *Температурасы 3К болатын сәуле шығару аясы неге реликтивтік деп аталған?*
8. *Егер галактиканың қашықтау жылдамдығы 1 000 км/с болса, осы галактикадан Өлемге дейінгі қашықтық қандай?*
9. *Хаббл заңы нені растайды?*

10-тараудың ең маңыздысы

Астрономия — аспан денелерінің, олардың жүйелерінің және тұтас Өлемнің физикалық құрылысын, пайда болуын, қозғалысын және дамуын зерттейтін ғылым.

Космология — Өлемді тұтастай алғандағы оның пайда болуы мен дамуын, геометриялық құрылымын, ондағы заттың қалай пайда болғанын, қараңғы энергия мен қараңғы материяның табиғаты мен олардың Өлем дамуындағы орнын зерттейтін астрономия саласы.

Қараңғы энергия — Өлемнің үдемелі ұлғаюына себепші, табиғаты өзірше белгісіз, барлық жерде бірдей таралған өріс.

Қараңғы материя — галактикалар маңында шоғырланған белгісіз, электромагниттік және күшті өсерлесуге түспейтін материя.

Хаббл заңы — галактика неғұрлым алыс қашықтықта болса, соғұрлым жылдамырақ алшақтайды және соғұрлым оның спектрі қызыл жаққа ығысады:

$$v = Hr,$$

мұндағы v — галактиканың алыстау жылдамдығы, r — оған дейінгі қашықтық, H — Хаббл тұрақтысы ($67,80 \pm 0,77$ (км/с · Мпк)).

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:

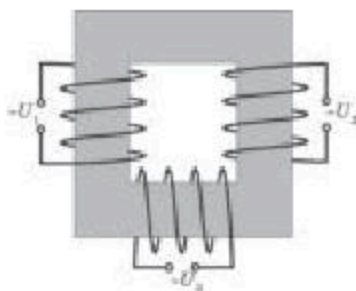
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Кернеулерді вольтметрмен өлшеуге болады. Ал орамдар санын анықтау үшін үшінші орама жасап алу керек. Осы мақсатта трансформатордың өзекшесіне оқшауланған ұзын сымды санап отырып орап, үшінші ораманы жасаңдар. Сонда

$$\frac{U_1}{U_3} = \frac{n_1}{n_3}; \quad \frac{U_2}{U_3} = \frac{n_2}{n_3}.$$

Жұмыстың 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. 1-кестені толтырыңдар:

1-кесте

n_3	U_1	U_2	U_3	n_1	n_2

2-зертханалық жұмыс.

Дифракциялық тордың көмегімен жарықтың толқын ұзындығын анықтау

Құрал-жабдықтар: жарықтың толқын ұзындығын анықтайтын аспап; дифракциялық тор; жарық көзі.

Жұмыстың теориясы. Жарықтың дифракциясы дифракциялық тордың көмегімен жақсы бақыланады. Дифракциялық тордың формуласы:

$$d \sin \varphi = k \lambda. \quad (1)$$

Осы формула бойынша түрліше ұзындықтағы толқындар үшін максимумдар өртүрлі бұрыштармен бақыланады. φ бұрышы аз және тор мен экранның a қашықтығы саңылаудан толқынның максимумы бақыланатын b қашықтықтан көп үлкен болатындықтан,

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \frac{b}{a} \quad (2)$$

деп алуға болады.

(1) мен (2) формулалардан

$$\lambda = \frac{db}{ka}.$$

Жұмыстың барысы:

1. Дифракциялық торды (1) аспаптың рамкасына (2) қойып, оны көтерілгіш үстелдің қысқышына бекітіңдер (2-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 ретті дифракциялық спектрлерді көруге болады. Спектрлер көлбеу тұрса, торды олар вертикаль болатындай етіп бұрып қойыңдар.

4. Экрандағы шкала бойынша бірінші реттік спектрдің қызыл және күлгін шекарасын анықтаңдар, сонымен қатар спектрдің жасыл сызығының орнын да байқаңдар.

5. Өлшеу нәтижелерін 2-кестеге түсіріңдер.



2-сурет

2-кесте

Спектрдің реттілігі	Тордың периоды, d (м)	Тордан экранға (шкалаға) дейінгі қашықтық, a	Спектрдің түсі мен шегаралары, м			Толқын ұзындығы, м		
			қызыл	жасыл	күлгін	қызыл	жасыл	күлгін

3-зертханалық жұмыс. 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.

Жұмыстың теориясы. Кейбір мөлдір кристалл арқылы өтетін, мысалы исланд шпатының кристалы, жарық жағының интенсивтілігі 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.

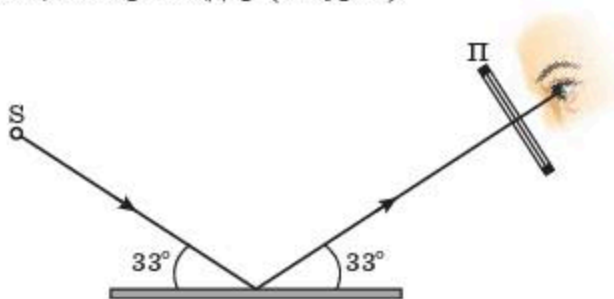
Екінші кристалл өткізетін тербелістердің жазықтығы поляризация жазықтығымен сәйкес келсе, поляризацияланған жарық екінші кристалдан әлсіремей өтеді. 90° бұрышқа бұрылған екінші кристалл поляризацияланған жарықты өткізбейді.

Жарықтың поляризация құбылысы жарықтың толқындық табиғатын және оның көлденең толқын екенін дәлелдейді.

Жұмыстың барысы:

1. Көру сәулесінің осімен сәйкес келетін осьпен жанған шамға поляроид (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 (3-сурет).



3-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. Әрбір 80° сайын жарықтың максимумы мен минимумы ауысып отырады. Олай болса, пластинкадан шағылған жарық поляризацияланған.

3. Жасалған тәжірибеде пластинкадан шағылған жарық шыныны поляризация жазықтығымен (поляроид жақтауындағы сызықтармен белгіленген) сәйкестендіреді.

4-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.

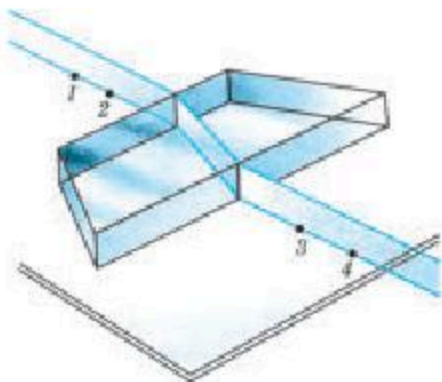
Жұмыстың теориясы. Жарық бір ортадан екінші ортаға өткенде жарықтың сыну құбылысы бақыланады. Мұның себебі әртүрлі орталарда жарықтың таралу жылдамдығы түрліше болады. Сыну заңы бойынша

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (1)$$

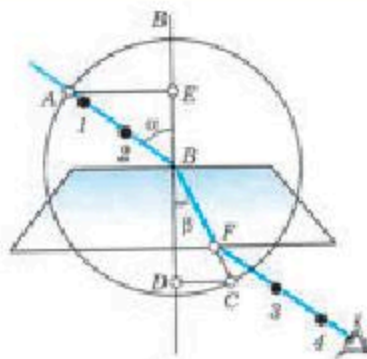
мұндағы n — екінші ортаның бірінші ортаға қатысты сыну көрсеткіші. Егер бірінші орта ауа болса, оның абсолют сыну көрсеткіші 1, онда екінші ортаның салыстырмалы сыну көрсеткіші абсолют сыну көрсеткішіне тең.

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 (4-сурет).
5. Пластинаның пішінін қағазға сызып, түсетін сәуленің A басы мен B соңын және жарықтың пластинадан F шығу нүктесін белгілеңдер (5-сурет).
6. Тізбекті ағытып, қағаздан шыны пластинаны алыңдар.
7. Центрі B нүктесінде, ал радиусы AB болатын шеңбер сызыңдар (5-сурет). B және F нүктелерін түзумен қосып, оны шеңбермен қиылысу



4-сурет



5-сурет

нүктесі C -ға дейін созындар. Пластинаға жарықтың B түсу нүктесі арқылы перпендикуляр түзу жүргізіңдер. Оған A және C нүктелерінен AE мен CD перпендикулярларын түсіріп, олардың ұзындықтарын өлшендер.

$$8. n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{AE}{DC} = \frac{AE}{AB} \quad \text{формуласы бойынша шынының сыну}$$

көрсеткішін есептендер.

9. Тәжірибені түсу бұрыштарын өзгерте отырып қайталаңдар және нәтижелерді салыстырыңдар (тәжірибені 3 рет жүргізіңдер).

10. Тәжірибелерді жарық көзінсіз, ағылшын түйреуіштерін пайдаланып жасаңдар, қорытындылаңдар.

5-зертханалық жұмыс.

Жартылай ыдырау периоды анықтау

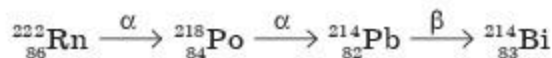
Жұмыстың мақсаты: графикалық тәсіл арқылы жартылай ыдырау периоды анықтау.

Құрал-жабдықтар: “сосна” (Анри-01-02) дозиметрі, сүзгі, фен.

Жұмыстың теориясы. Қысқамерзімді өмір суретін радиоактивті изотоптың жартылай ыдырау периоды ыдырау қисығының көмегімен анықтайды. Оны салу үшін радиоактивті препаратты кюветаға салып, оның үстіне дозиметрді қояды. Құралдың таймері арқылы белгілі бір уақыт аралықтарында дозиметрдің көрсетулерін жазады. Санақ жылдамдығы екі еседен артық кемігенде өлшеуді тоқтатады және ыдырау қисығын тұрғызады. Тәжірибеге қажетті жартылай ыдырау периоды қысқа радиоактивті изотоптар аз мөлшерде болса да атмосфералық ауаның құрамында болады.

Табиғи радиоактивті элемент — радий кез келген топырақта, жер қыртысының құрамында кездеседі (1 г топырақта 10^{-12} г болады). Сондықтан орташа алғанда 1 мин тең уақытта топырақтың әр бір граммында радийдің екі ядросы α -бөлшекті шығарып, ыдырауға ұшырайды: ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\alpha$, радон ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ (инертті газ) пайда болады. Ол біртіндеп топырақта жиналып, одан соң атмосфераға шығады.

α -ыдыраудың нәтижесінде радон атомдарының ядролары ядролық реакция процесінде ${}^{218}_{84}\text{Po}$ полонийдің атомдарының ядроларына түрленеді:



Уақыттың өтуіне байланысты радиоактивті ядролар саны ыдыраудың нәтижесінде мына заң бойынша кемиді: $N_t = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, мұндағы N_0 — өлшеудің бастапқы кезеңіндегі ($t = 0$) радиоактивті ядролар саны; N_t — t уақыт мезетіндегі ыдырамаған радиоактивті ядролар саны, T — жартылай ыдырау периоды.

Бұл радиоактивті изотоптардың жартылай ыдырау периоды қысқа болады. Жартылай ыдырау периодын анықтау үшін сүзгі дайындайды (үлдірекпен оралған жұқа мақта қабаты), оның өлшемі дозиметрдің кюветіне сәйкес болғаны жөн.

Жұмыс барысы:

1. Дозиметрдегі айырып қосқышты “Т” жағдайына келтіріңдер, “қосу” тетігін басыңдар. 10 мин кейін “тоқта” тетігін басыңдар. Дисплейден N_Φ (фон импульстерінің саны) көрсетуін жазып алыңдар және қондырғының фонын $A_\Phi = \frac{N_\Phi}{t}$ анықтаңдар.

2. Қыздырғышы өшірілген феннің ауа кіретін қуысына қолдан жасалынған сүзгі орнатып, оны дөңгелек резеңкемен бекітіңдер. Фенді қосыңдар және 5 мин бойы ауаны үрлеңдер.

3. Феннен сүзгіні алып, кюветаға орналастырыңдар. Артқы қақпағы ашылған дозиметрді кюветаға қойыңдар және құралдың көрсетулерін әрбір 3 минут сайын жазыңдар. Өлшеу мен есептеу нәтижелерін 3-кестеге толтырыңдар.

3-кесте

Уақыт t , мин	0	3	6	9	12	15
Импульстер саны, N_i						
Санақ жылдамдығы, $A_i = \frac{N_i}{t}$						

4. Өлшеулердің нәтижесі бойынша ыдырау қисығын тұрғызыңдар. Горизонталь ось бойынша уақытты, ал вертикаль оське санақ жылдамдығын (фонның мәнін алып тастау керек) салыңдар. Изотоптың активтілігі екі есе кемітін T уақытты ыдырау қисығы бойынша анықтаңдар.

5. Жазбаша түрде қорытынды жасаңдар.

Физика курсында қолданылатын терминдер

Қазақ тілінде	Орыс тілінде	На английском языке
1	2	3
Абсолютті сыну көрсеткіші	Абсолютный показатель преломления	Absolute refractive index
Автотербелістер	Автоколебания	Self-oscillations
Радиоактивті заттың активтігі	Активность радиоактивного вещества	Activity of a radioactive substance
Тербеліс амплитудасы	Амплитуда колебаний	Amplitude of the oscillations
Амплитудалық модуляция	Амплитудная модуляция	Amplitude modulation
Аналогтік сигнал	Аналоговый сигнал	Analog signal
Астрономия	Астрономия	Astronomy
Атом ядросы	Атомное ядро	Atomic nucleus
Байт	Байт	Byte
Қума толқын	Бегущая волна	Traveling wave
Бит	Бит	Bit
Толқындық қозғалыс	Волновым движением	Wave motion
Гармоникалық тербелістер	Гармонические колебания	Harmonic oscillations
Генератор	Генератор	Generator
Геометриялық оптика	Геометрическая оптика	Geometric optics
Голография	Голография	Holography
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
Виннің ығысу заңы	Закон смещения Вина	Wien's displacement law
Стефан-Больцман заңы	Закон Стефана—Больцмана	Stefan-Boltzmann law
Интерференция	Интерференция	Interference

1	2	3
Тербелістер	Колебания	Oscillation
Тербелмелі тізбек	Колебательный контур	Oscillating circuit
Космология	Космология	Cosmology
Лазерлер	Лазеры	Laser
Линзалар	Линзы	Lenses
Лупа	Лупа	Magnifier
Математикалық маятник	Математический маятник	Mathematical pendulum
Механикалық тербелістер	Механические колебания	Mechanical oscillation
Модуляция	Модуляция	Modulation
Наноматериал	Наноматериал	Nanomaterial
Нанороботтар	Нанороботы	Nanorobots
Нанотехнология	Нанотехнология	Nanotechnology
Оптика	Оптика	Optics
Резерфорд тәжірибесі	Опыт Резерфорда.	Rutherford's experiment
Жарық шағылуы	Отражением света	Light reflection
Айнымалы ток	Переменный ток	Alternating current
Тербеліс периоды	Период колебаний	Oscillation period
Жартылай ыдырау периоды	Период полураспада	Half-life
Жазық айна	Плоское зеркало	Flat mirror
Жарықтың поляризациясы	Поляризация света	Polarization of light
Кәлденең толқындар	Поперечные волны	Transverse waves
Планк тұрақтысы	Постоянная Планка	Planck constant
Спектралды құрылғылар	Спектральные приборы	Spectral instruments
Бойлық толқындар	Продольные волны	Longitudinal waves
Радиоактивтілік	Радиоактивность	Radioactivity
Радиоактивті ыдырау	Радиоактивный распад	Radioactive decay
Радиолокация	Радиолокация	Radar
Радиотелеграф байланысы	Радиотелеграфная связь	Radio telegraphy
Радиотелефон байланысы	Радиотелефонная связь	Radiotelephone communication

1	2	3
Резонанс	Резонанс	Resonance
Рентген сәулесі	Рентгеновское излучение	Light ray
Сигнал	Сигнал	Signal
3D принтерлер	3D принтеры	3D printers
Тұрғын толқындар	Стоячие волны	Standing waves
Телескоп	Телескоп	Telescope
Қараңғы энергия	Темная энергия	Dark energy
Жылулық сәуле шығару	Тепловое излучение	Thermal radiation
Трансформатор	Трансформатор	Transformer
Меншікті байланыс энергиясы	Удельная энергия связи	Binding energy per nucleon
Фазалық жылдамдық	Фазовая скорость	Phase velocity
Фотон	Фотон	Photon
Фотоэлектрондар	Фотоэлектроны	Photoelectrons
Фотоэффект	Фотоэффект	Photoelectric effect
Ішкі фотоэффект	Внутренний фотоэффект	Internal photoelectric effect
Тізбекті ядролық реакция	Цепная ядерная реакция	Nuclear chain reaction
Сандық сигнал	Цифровой сигнал	Digital signal
Тербеліс жиілігі	Частота колебаний	Oscillation frequency
Электромагниттік толқындардың шкаласы	Шкала электромагнитных волн	Scale of electromagnetic waves
Электромагниттік толқындар	Электромагнитные волны	Electromagnetic waves
Электромагниттік тербелістер	Электромагнитные колебания	Electromagnetic vibrations
Ядролық реакциялар	Ядерные реакции	Nuclear reactions
Ядролық күштер	Ядерные силы	Nuclear forces
Ядролық реактор	Ядерный реактор	Nuclear reactor

ГЛОССАРИЙ

Абсолют қара дене — барлық жиілікте түскен сәуленің энергиясын түгел жұтып алатын дене.

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.

Астрономия — аспан денелерінің, олардың жүйелерінің және тұтас Әлемнің физикалық құрылысын, пайда болуын, қозғалысын және дамуын зерттейтін ғылым.

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 — ортаның бөлшектерінің тербеліс бағыты толқындардың таралу бағытына сәйкес келетін толқындар.

Виннің ығысу заңы. Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының максимумына сәйкес келетін толқын жиілігі дененің абсолют температурасына тура пропорционал

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.

Голография (грек. *holos* — толық және *graphie* — жазамын) — бұл нәрселердің көлемдік кескіндерін фотопластинада (голограммада) когерент лазер сәулелерінің көмегімен алу тәсілі.

Гюйгенс принципі — t уақыт аралығындағы толқын шебінің әрбір нүктесі жаңа (екінші реттік) толқын көзі болып есептеледі.

Демодуляция — төменгі жиілікті сигналды қалпына келтіру процесі.

Дененің сәулелену қабілеті деп оның беттік аудан бірлігінен жиілік интервалының бірлік енінде шығатын сәулелік қуатын айтады.

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.

Жартылай ыдырау периоды — радиоактивті ядролар санының жартысы ыдырайтын уақыт аралығы.

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.

Жылулық сәулелену — бұл қызған денелердің электромагниттік сәулеленуі.

Изобаралар — массалық сандары A бірдей, зарядтық сандары Z әртүрлі нуклидтер.

Изотоптар — ядролық зарядтары бірдей, ал массалық сандары әр түрлі элемент атомдары.

Интерференция — екі немесе бірнеше толқындардың қабаттасуы кезінде кеңістіктің әртүрлі нүктелеріндегі қорытқы тербелістер амплитудаларының таралуы (олардың минимум мен максимумдары кезекпен орналасқан) уақыт өтуімен өзгермей, тұрақты қалатын құбылыс.

Кирхгоф заңы. Барлық денелер үшін сәулелену қабілетінің сәулені жұту қабілетіне қатынасы дененің материалына байланысты емес, жиілік пен температураның универсал функциясы болып табылады.

Космология — Әлемді тұтастай алғандағы оның пайда болуы мен дамуын, геометриялық құрылымын, ондағы заттың қалай пайда болғанын, қараңғы энергия мен қараңғы материяның табиғаты мен олардың Әлем дамуындағы орнын зерттейтін астрономия саласы.

Көлденең толқын — ортаның бөлшектері толқындардың таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеліс жасайтын толқындар.

Қараңғы материя — галактикалар маңында шоғырланған белгісіз, электромагниттік және күшті әсерлесуге түспейтін материя.

Қараңғы энергия — Әлемнің үдемелі ұлғаюына себепші, табиғаты әзірше белгісіз, барлық жерде бірдей таралған өріс.

Лазер (ағылш. Light amplification by stimulated emission of radiation сөзтізбегінің алғашқы өріптерінен құралған) — жарықтың кванттық генераторы, жұмыс істеу принципі еріксіз (ынталандырылған) сәулелену құбылысына негізделген.

Линза деп екі жағы сфералық беттермен шектелген мөлдір денені айтады.

Лупа — үлкейткіш өйнек арқылы кішкентай нысандарды көруге арналған қысқа фокусты линза.

Масса ақауы — ядролық тарту күшінің жұмысы есебінен нуклондардан атом ядросы түзілгенде пайда болатын массалар айырымы.

Математикалық маятник деп ауырлық өрісінде орналасқан, созылмайтын салмақсыз жіпке ілінген материялық нүктені айтады.

Меншікті байланыс энергиясы — ядроның байланыс энергиясының A массалық санға қатынасын, яғни бір нуклонға сәйкес келетін байланыс энергиясы.

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 бау өзгертетін процесс.

Наноматериал — нанобөлшектерден тұратын немесе нанотехнология негізінде жасалған макроскопиялық зат.

Нанороботтар — өлшемдері 100 нм аспайтын, қозғалу, амалдар жасау, бағдарламалану, ақпарат алмасу мен өңдеу қабілеттері бар машиналар.

Нанотехнология — ерекше және жаңа қасиеттер алу мақсатында материямен (затпен) атомдық, молекулалық және супрамолекулалық (бірнеше молекула) деңгейлерде амалдар жасау әдістерін айтады.

Нейтрондардың көбею коэффициенті — нейтрондардың кез келген “буынындағы” нейтрондардың санына қатынасын айтады.

Нуклидтер — атом ядросының балама термині.

Нуклондар — ядроның құрамына кіретін оң зарядты протон мен электрлік бейтарап нейтрондардың жалпы саны.

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.

Планк тұрақтысы. $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж/с — бұл 1900 жылы М. Планк жылулық сәулелену заңдарын түсіндіру барысында енгізген іргелі физикалық тұрақтылардың бірі.

Радиоактивті заттың активтілігі — уақыт бірлігі ішінде ыдырайтын ядролар санымен анықталатын шама.

Радиоактивтік — тұрақсыз атом ядросының өздігінен ыдырап сәулелер шығару қабілеті.

Радиоактивті ыдырау деп тұрақсыз атом ядросының өздігінен ыдырап басқа атом ядросына түрленуі және сәулелер шығару қабілеті.

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 айнымалы ток тізбегінде индуктивтілікке немесе сыйымдылыққа байланысты пайда болатын кедергіні айтады.

Резерфорд тәжірибесі. Резерфордтың альфа-бөлшектердің жұқа алтын фольгадан шашырауын зерттеген тәжірибесі (1911 ж.) атомның ядролық үлгісін жасауға мүмкіндік берді.

Резонанс деп тербелмелі жүйенің меншікті жиілігі сыртқы периодты мәжбүрлеуші әсердің жиілігімен дәл келгенде еріксіз тербелістер амплитудасының күрт өсу құбылысы резонанс деп аталады.

Рентген сәулеленуі — бұл жиілігі өте жоғары (толқын ұзындығы өте қысқы $\lambda = 10^{-4} - 10^3$ м) электромагниттік сәулелену. Оны неміс физигі В. Рентген ашқан.

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.

Сканирлеуші туннельдік микроскоп — атомдарды кескіндеумен қатар, олармен амалдар жасауға мүмкіндік беретін наноғылымдар үшін аса маңызды құрал.

Стефан — Больцман заңы. Абсолют қара дененің интегралдық энергетикалық жарқырауы абсолют температураның төртінші дәрежесіне тура пропорционал.

Сындық масса — тізбекті бөліну реакциясын тұрақты қамтамасыз ететін бөлінетін заттың (уранның) ең аз массасы.

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.

Термоядролық реакциялар — өте жоғары температурада жеңіл ядролардың бірігіп ауырлау ядроны түзу реакциясы.

Тізбекті ядролық реакция — белгілі ядролық реакция келесі дәл сондай реакцияны туғызатын процесті айтады.

Трансформатор айнымалы ток пен кернеудің мәндерін 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).

Фотоапарат — линзалар жүйесінің көмегімен жарықсезгіш қабыршақта сақталатын нәрсенің кескіні алынатын оптикалық құрал.

Фотон — бұл электромагниттік сәулеленудің корпускулалық қасиеттерін түсіндіру үшін енгізілген квазибөлшек. Фотондар электромагниттік өрістің кванттары.

Фотоэлектрондар — бұл сыртқы фотоэффект кезінде металл бетіне түскен жарықтың әсерінен ұшып шығатын электрондар.

Фотоэффект дегеніміз электромагниттік сәулеленудің затпен әсерлесуі барысында байқалатын құбылыстар. Сыртқы фотоэффект кезінде сәулелену әсерінен электрондар металдан жұлып шығарылады, ішкі фотоэффект кезінде сәулелену нәтижесінде жартылай өткізгіштің электр кедергісі артады.

Хаббл заңы — галактика неғұрлым алыс қашықтықта болса, соғұрлым жылдамырақ алшақтайды және соғұрлым оның спектрі қызыл жаққа ығысады.

Цифрлық сигнал — тек екі мәнді, яғни “0” мен “1”-ді қабылдайтын сигнал: кез келген уақыт мезетінде электр кернеуінің мәні екі деңгейдің біріне сәйкес келеді.

Ығысу тогы деп индукциялық электр өрісінің уақыт бойынша өзгеру жылдамдығына пропорционал болатын физикалық шаманы айтады.

Ыдырау тұрақтысы — уақыт бірлігі ішінде ядроның ыдырау ықтималдығы.

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.

Ядролық күштер — ядроғағы нуклондарды ыдырап кетуден сақтап, оның берік байланысын қамтамасыз ететін күштер.

Ядролық реакциялар — атом ядросының басқа ядромен, элементар бөлшектер және кванттармен өзара әсерлесуі кезінде болатын түрленулер.

Ядроның байланыс энергиясы — атом ядросын түгелімен жеке нуклондарға ыдырату үшін қажетті минимал энергиясы.

α -ыдырау — радиоактивті ядроның өздігінен ыдырау процесінде α -бөлшектердің ядродан ұшып шығуы.

β -ыдырау — радиоактивті ядроның өздігінен ыдырау процесінде ядродан электрон мен позитронның, нейтрино мен антинейтриноның ұшып шығуы.

γ -ыдырау — радиоактивті ядроның өздігінен ыдырау процесінде кванттардың ядродан ұшып шығуы.

3D принтерлер — көлемді затты (наноматериалды) кішкене өлшемді қабаттарды жанастыру арқылы жасап шығаратын аддитивті технология негізінде жұмыс жасайтын құрылғы. Бұл құрылғылар наноматериалдарды жасауда қуатты құрал болып табылады.

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., Синяков А. З. Физика: Колебания и волны. Учебник для 11 классов для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
6. Мякишев Г. Я., Синяков 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. Москва: 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. Кабарейна. 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. ТЕРБЕЛІСТЕР

1-тарау. Механикалық тербелістер

§1. Механикалық гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері	6
1-тараудың ең маңыздысы	15

2-тарау. Электромагниттік тербелістер

§2. Еркін электромагниттік тербелістер	16
§3. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Автотербелістер	24
§4. Механикалық және электромагниттік тербелістер арасындағы ұқсастықтар.....	29
2-тараудың ең маңыздысы	34

3-тарау. Айнымалы ток

§5. Айнымалы ток генераторы.....	35
§6. Еріксіз электромагниттік тербелістер. Айнымалы ток.....	43
§7. Электр тізбегіндегі кернеулер резонансы	48
§8. Электр энергиясын өндіру, жеткізу және қолдану. Трансформатор	51
§9. Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану	57
3-тараудың ең маңыздысы	62

II бөлім. ТОЛҚЫНДАР

4-тарау. Электромагниттік толқындар

§10. Электромагниттік өріс	63
§11. Электромагниттік толқындар.....	67
§12. Электромагниттік толқындар шығару. Герц төжірибелері.....	70
§13. Электромагниттік толқындардың энергиясы	74
§14. Электромагниттік толқындардың қасиеттері	79
§15. Радиобайланыс принципі	84
§16. Модуляция және детекторлеу	88
§17. Радиотолқындардың таралуы. Радиолокация	92
§18. Цифрлық технология.....	98
§19. Талшықтық-оптикалық коммуникациялық желілер	102
§20. Қазақстандағы байланыс құралдары	104
4-тараудың ең маңыздысы	107

III бөлім. ОПТИКА

5-тарау. Толқындық оптика

§21. Жарықтың интерференциясы	108
§22. Жарықтың дифракциясы	111
§23. Жарық дисперсиясы. Жарықтың поляризациясы.....	114
5-тараудың ең маңыздысы	120

6-тарау. Геометриялық оптика

§24. Жарықтың түзусызықты таралуы.....	121
§25. Жарықтың шағылу құбылысы. Жазық және сфералық айналар	125
§26. Жарықтың сыну құбылысы.....	128
§27. Линзалар. Жұқа линзаның формуласы.....	134
§28. Оптикалық аспаптар.....	142
6-тараудың ең маңыздысы	149

IV бөлім. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

7-тарау. Атомдық және кванттық физика

§29. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы.....	150
§30. Спектрлер. Спектрлік анализ, спектрлік аппараттар.....	153
§31. Электромагниттік сәулелену шкаласы.....	159
§32. Фотозфekt және оның қолданылуы.....	163
§33. Жарықтың химиялық әсері.....	169
§34. Рентген сәулелері.....	173
7-тараудың ең маңыздысы.....	177

8-тарау. Атом ядросының физикасы

§35. Табиғи радиоактивтік.....	178
§36. Радиоактивті ыдырау заңы.....	186
§37. Атом ядросы.....	190
§38. Ядроның нуклондық моделі.....	193
§39. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы.....	197
§40. Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтік.....	202
§41. Ауыр ядролардың бөлінуі.....	207
§42. Тізбекті ядролық реакциялар.....	210
§43. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану.....	213
§44. Ядролық реактор. Ядролық энергетика.....	215
8-тараудың ең маңыздысы.....	219

V бөлім. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

9-тарау. Нанотехнология және наноматериалдар

§45. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері, өзекті мәселелер және даму кезеңдері. Наноматериалдар.....	221
9-тараудың ең маңыздысы.....	224

VI бөлім. КОСМОЛОГИЯ

10-тарау. Космология

§46. Астрономия, астрофизика және космология.....	225
§47. Жұлдыздар өлемі. Жұлдызға дейінгі қашықтық.....	228
§48. Біздің Галактика. Басқа Галактикалардың ашылуы. Квазарлар.....	236
§49. Үлкен жарылыс теориясы. Қызыл ығысу және Галактикаларға дейінгі қашықтықты анықтау. Өлемнің ұлғаюы.....	240
10-тараудың ең маңыздысы.....	245

Зертханалық жұмыстар

1-зертханалық жұмыс. Трансформатор орамдарының санын анықтау.....	246
2-зертханалық жұмыс. Дифракциялық тордың көмегімен жарықтың толқын ұзындығын анықтау.....	247
3-зертханалық жұмыс. Жарықтың поляризациясын бақылау.....	248
4-зертханалық жұмыс. Шынының сыну көрсеткішін жазық параллель пластинаның көмегімен анықтау.....	249
5-зертханалық жұмыс. Жартылай ыдырау периодын анықтау.....	250
Физика курсында қолданылатын терминдер.....	253
Глоссарий.....	256
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі.....	261