

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің қоғамдық-гуманитарлық бағытындағы 11-сыныпқа арналған оқулық

11

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі ұсынған



Алматы «Атамұра» 2020

ӘОЖ 373.167.1

КБЖ 22.3я72

Ф 49

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

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

Р. Башарұлының жалпы редакциялауымен

Шартты белгілер:



— сұрақтар



— өз бетінше шығаруға арналған есептер



— деңгейлік тапсырмалар



— тапсырмалар (теориялық және практикалық)



— қосымша деректер



— тереңдетілген деңгейдегі қосымша материалдар

Ф 49 **Физика:** Жалпы білім беретін мектептің қоғамдық-гуманитарлық бағытындағы 11-сыныбына арналған оқулық/Р. Башарұлы, Қ. Шүнкеев, Л. Мясникова, Н. Жантурина, А. Бармина, З. Аймағанбетова. – Алматы: Атамұра, 2020. – 208 бет.

ISBN 978-601-331-748-9

ISBN 978-601-331-748-9

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

АЛҒЫ СӨЗ

Қымбатты оқушылар!

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

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

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

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

Алдағы алар белестерің қайырлы да, сәтті болсын!




Авторлар

1-тарау



МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  гармоникалық тербелістерді $[x(t), v(t), a(t)]$ эксперименттік, аналитикалық және графикалық тәсілдермен зерттеу;
-  еркін және еріксіз тербелістердің пайда болу шарттарын сипаттау;
-  механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістердің арасындағы ұқсастықтарды салыстыру.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

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

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

§ 1.1

Гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері

1. *Тербелістер* деп уақыт өтуіне қарай дәлме-дәл немесе оған жуық дәрежеде қайталанып отыратын *қозғалыстарды* немесе *процестерді* айтады.

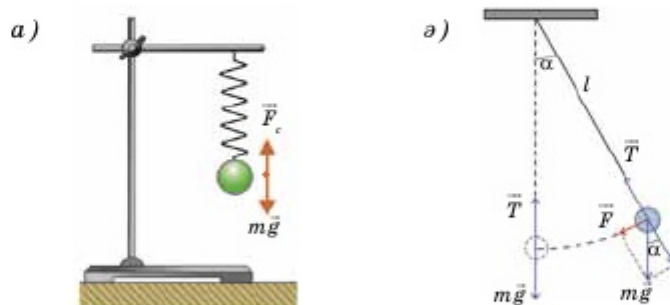
Тербелмелі қозғалыстар табиғатта және техникада жиі кездеседі. Мысалы, ағаш бұтақтары, сағат маятниктері, гитара ішегі, серіппедегі жүктер, жәндіктердің қанаттары, жер сілкінісі кезіндегі жер қыртысы, айнымалы электр тогы — міне, осылардың барлығы тербелмелі қозғалыс жасайды.

Табиғаты әртүрлі физикалық тербелмелі қозғалыстар мен процестер бәріне ортақ жалпы заңдылықтарға бағынады да, бірдей теңдеулермен сипатталып өрнектеледі. Тербеліс заңдылықтарының ортақтығы табиғаттағы әртүрлі тербелмелі құбылыстарды бірыңғай көзқараспен қарастыруға мүмкіндік береді.

2. Физикада тербелістердің *механикалық*, *электрмагниттік* және олардың *электрмеханикалық* түрі қарастырылады, өйткені олар адамның тіршілік әрекеті үшін өте маңызды.

Механикалық тербелістер кез келген тербелістер сияқты *еркін* және *еріксіз* тербелістерге бөлінеді. *Еркін тербелістер* сыртқы күш жүйені тепе-теңдік күйінен шығарғаннан кейін оның ішкі күштерінің әрекетімен ғана жасалады. Мысалы, тепе-теңдік күйлерінен шығарылған маятниктің тербелісі немесе серіппедегі жүктің ауытқуы еркін тербеліс болып табылады (1.1.1-сурет). Периодты өзгеретін сыртқы күштердің тұрақты әрекетінің салдарынан орындалатын тербелістер *еріксіз тербелістер* деп аталады.

Тербелмелі қозғалыстағы денелердің энергиясы бір түрден екінші түрге түрленіп отырады. Мысалы, механикалық тербелістерде кинетикалық энергия потенциалдық энергияға, ал электрмагниттік тербелістер жүйесінде магниттік энергия электрлік энергияға және керісінше түрленеді.



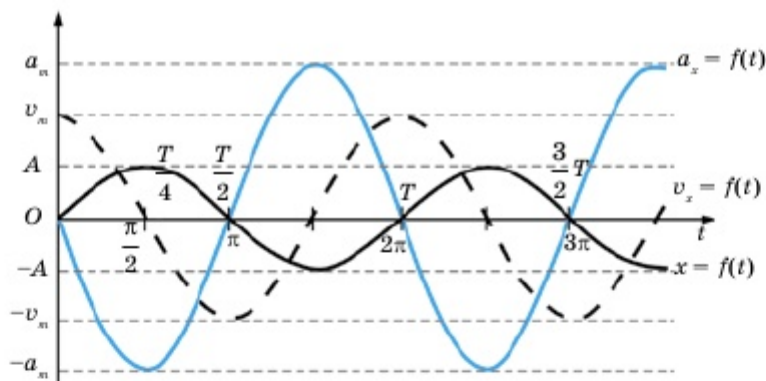
1.1.1-сурет. Серіппелі және математикалық маятниктер

Тербелістегі дененің қозғалыс теңдеуі уақытқа тәуелді периодты өзгертін $x = f(t)$ функциясының көмегімен анықталады.

3. Тербелмелі процестердің қарапайым түрі *гармоникалық тербелістер* болып табылады. *Гармоникалық тербелістер* деп тербелісті сипаттайтын физикалық шамалардың уақытқа тәуелді синус немесе косинус заңына сәйкес периодты өзгерісін айтады:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ немесе } x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.1)$$

мұндағы x – тербелмелі процесті сипаттайтын кез келген физикалық шама; мысалы: айнымалы токта бұл шама *кернеу* немесе *ток күші* т.б. болуы мүмкін; ал механикалық тербелістерде мұндай шама дененің тепе-теңдік күйінен *ауытқуы*, немесе қозғалыс *жылдамдығы*, немесе *үдеуі* бола алады (1.1.2-сурет). A – физикалық шаманың тербеліс амплитудасы, ω_0 – тербелістің циклдік жиілігі, φ_0 – уақыттың бастапқы мезетіндегі ($t = 0$) тербеліс фазасы, $(\omega_0 t + \varphi_0)$ – t уақыттағы тербеліс фазасы. Тербеліс фазасы тербелмелі жүйенің берілген амплитудада кез келген уақыт мезетіндегі күйін (координатасын, жылдамдығын және үдеуін) анықтайды. Синус (косинус) функциясы плюс бірден (+1) минус бірге (-1) дейін өзгере алатындықтан, x ауытқу плюс A -дан (+ A) минус A -ға (- A) дейінгі мөндерді қабылдай алады.



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

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

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (1.2)$$

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

Периодты біле отырып, *тербеліс жиілігін*, яғни бірлік уақыттағы (1 секундтағы) толық тербелістердің санын анықтай аламыз:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.3)$$

ХБЖ-да жиілік бірлігі – Герц (Гц).

(1.2) және (1.3) формулаларды салыстырып, рад/с бірлігімен өлшенетін *циклдік жиілікті* табамыз:

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

4. Тербеліс жасайтын дененің жылдамдығы мен үдеуінің уақытқа тәуелділік өрнектерін табайық.

Жылдамдықтың Ox осіндегі v_x проекциясы $x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ауытқудың t уақыт бойынша туындысы арқылы анықталады:

$$v_x(t) = x'(t) = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = A\omega_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right). \quad (1.4)$$

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

$$a_x(t) = v'(t) = x''(t) = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi). \quad (1.5)$$

Тербелмелі қозғалыстарды сипаттайтын $x = f(t)$ ауытқудың, $v = f'(t)$ жылдамдықтың және $a = f''(t)$ үдеудің жоғарыдағы теңдеулері мен графиктерін (1.1.2-сурет) бір-бірімен салыстырып, төмендегі қорытындыға келеміз.

Біріншіден, x ауытқудың, v_x жылдамдықтың және a_x үдеудің амплитудалары сәйкесінше мына шамаларға тең: A ; $A\omega_0$ және $A\omega_0^2$.

Екіншіден, ауытқу мен жылдамдық шамаларының арасындағы фазалар айырымы $\frac{\pi}{2}$ -ге тең, яғни жылдамдықтың фазасы ауытқудың фазасынан $\frac{\pi}{2}$ шамасына озып отырады; ал ауытқу мен үдеу шамаларының арасындағы фазалар айырымы π -ге тең, яғни үдеу мен ауытқу қарама-қарсы фазада тербеледі.

Үшіншіден, графиктерден көрініп тұрғандай, тербеліс жылдамдығының v_m максимум мәні, яғни жылдамдық амплитудасы дене тепе-теңдік күйінен өту сәтінде ($x = 0$) орын алады. Ең үлкен ауытқу кезінде ($x = \pm A$) дене бір сәтке тоқтайды да, жылдамдық нөлге теңеледі. Дененің тепе-теңдік қалпынан өту кезінде үдеу нөлге тең болады және ең үлкен ауытқу мезетінде үдеудің амплитудасы a_m ең үлкен мәнге жетеді.

5. Қарапайым тербелмелі жүйелердің мысалы ретінде *маятниктерді* атауға болады.

Маятник деп түсірілген күштің әрекетінен қозғалмайтын нүктенің немесе осьтің төңірегінде тербелетін қатты денені айтады. Әдетте маятник деп ауырлық күші әрекетінен тербелетін қатты денені айтады; мұндайда маятниктің осі дененің ауырлық центрі арқылы өтпеуге тиіс.

Тербелістер жасайтын жүйелердің мысалдары ретінде физикалық, серіппелі және математикалық маятниктерді, тербелмелі контурды айтуға болады.

Физикалық маятник деп қозғалмайтын горизонталь осьтің төңірегінде ауырлық күші әрекетінен тербелетін қатты денені айтады.

Серіппелі маятник деп екінші ұшы қозғалмайтын қатаңдығы k серіппеге бекітілген массасы m жүкті айтады (1.1.1, а-сурет).

Серіппелі маятниктің экспериментте анықталған циклдік жиілігі

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.6)$$

өрнегі бойынша, ал периоды *Гюйгенс формуласымен* анықталады:

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

мұндағы k – серіппенің қатаңдығы; m – жүктің массасы.

Математикалық маятник деп массалары еленбейтін ұзындығы l созылмайтын жіпке ілінген нүктелік денені айтады.

Математикалық маятниктің циклдік жиілігі

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1.8)$$

өрнегімен, ал тербеліс периоды (1.2) бойынша *Галилей формуласымен* анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (1.9)$$

Математикалық маятникке екі күш әрекет етеді: $m\vec{g}$ – ауырлық күші және жіптің \vec{T} – керілу күші (1.1.1, а-сурет). Осы екі күштің қорытқы \vec{F} күші әрекетінен маятник гармоникалық тербеліс жасайды. Ол үшін α -ауытқу бұрышы 5° -тан аспау керек.



Қосымша деректер

Фуко маятнігі математикалық маятник болып табылады, оның тербеліс жазықтығы Жер бетімен салыстырғанда Жердің айналу бағытына қарама-қарсы бағытта жайлап айналып отырады. Бұл құбылыс Жердің өз осі төңірегінде айналатынын білдіреді. Кері жағдайда маятник бір жазықтықтың бойында ғана тербелер еді. Оның алғашқы көрсетілімі 1851 жылдың наурыз айында Парижде өтті. Жан Бернар Леон пантеонының күмбезіне Фуко массасы 28 кг металл шарын ұзындығы 67 м болат сымға іліп, шардың төменгі бетіне үшкір істікті бекітті (1.1.3-сурет). Маятниктің ілгегі оның барлық бағытта еркін тербеліс жасауына мүмкіндік берді. Шардың астыңғы жағындағы еденде диаметрі 6 м дөңгелек шарбақ жасалып, оның жиектеріне құм жолақтары төселеді. Маятник еркін тербелістер жасаған кезде шарға бекітілген үшкір істік құм жолақтарын кесіп өтеді де, онда көрнекі із қалдырады. Маятникті еркін тербеліске келтірер алдында бүйірден соққы алмауы үшін оны ауытқытып, жіпке байлап қояды да, соңынан жіпті жағып жібереді. Ілгек сымның көрсетілген ұзындығында маятниктің тербеліс периоды 16,4 секундты құрады; әрбір тербеліс



1.1.3-сурет.
Фуко маятнігі

сайын маятниктің құм жолақты кесіп өткендегі ауытқуы 3 мм шамасындай болды, бір сағат ішінде маятниктің тербеліс жазықтығы сағат тілі бойынша 11 градусқа бұрылды; сөйтіп 32 сағат шамасында толық бір айналым жасап, өзінің алғашқы қалпына оралды.



Сұрақтар

1. Қандай процестерді тербелістер деп атайды? Еркін тербелістер, еріксіз тербелістер, механикалық тербелістер және гармоникалық тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
2. Гармоникалық тербелістер қандай теңдеулермен өрнектеледі және қандай физикалық параметрлермен (шамалармен) сипатталады? Графиктерінің ерекшеліктері қандай?
3. Серіппелі маятник, математикалық маятник деп нені айтады? Олардың периодтары қандай формулалармен анықталады?
4. Серіппелі және математикалық маятниктердің тербелістерін тудыратын күштердің физикалық табиғаты қандай?
5. Математикалық маятникті қолданып, Жер бетінің әртүрлі нүктелерінде еркін түсу үдеуінің әртүрлі болатынын қалай түсіндіруге болады?



Тапсырма (теориялық талдау)

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

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Материялық нүктенің тербеліс теңдеуі $x = 0,06 \cos 100\pi t$ (м). Осы нүктенің амплитудасы A , периоды T және тербеліс жиілігі ν қандай болады? Жылдамдықтың және үдеудің уақытқа тәуелділігін табыңдар. Максимал жылдамдықты және үдеуді табыңдар. Барлық шамалар ХБЖ-да берілген.

Берілгені:

$$x = 0,06 \cos 100\pi t \text{ (м).}$$

$$A - ? \quad T - ? \quad \nu - ?$$

$$v - v(t) - ?$$

$$a - a(t) - ?$$

$$v_{\text{м}} - ? \quad a_{\text{м}} - ?$$

Шешуі:

Гармоникалық тербеліс теңдеуін жалпы түрде жазайық:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1)$$

(1) теңдеуді есеп шартындағы берілген теңдеумен салыстырайық:

$$x = 0,06 \cos 100\pi t. \quad (2)$$

Салыстырулардан ХБЖ-да мына шамаларды табамыз: тербеліс амплитудасы $A = 0,06$ м. Бастапқы фазасы $\varphi_0 = 0$. \cos пен уақыт t -ның арасындағы циклдік жиілік $\omega_0 = 100 \pi$ рад/с өрнегі болып табылады.

Тербелістердің ω_0 циклдік жиілігі мен T тербелістер периоды арасындағы байланыс:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}, \text{ бұдан } T = \frac{2\pi}{\omega_0}.$$

$$T \text{ периодты есептейік: } T = \frac{2\pi}{100\pi} = 0,02 \text{ с.}$$

Период T -ға тербеліс жиілігі ν кері пропорционал болғандықтан:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц.}$$

Тербелістің ν жылдамдығы нүктенің x ығысуының t уақыт бойынша туындысы болып табылады:

$$v = x' = (0,06 \cos 100 \pi t)' = -100\pi \cdot 0,06 \sin 100 \pi t = -6\pi \sin 100 \pi t.$$

Кез келген бұрыштың синусы, соның ішінде $\sin 100 \pi t = 1$ -ден 1 -ге дейін өзгере алады. $\sin 100 \pi t$ функциясы -1 -ге тең болғанда, жылдамдық максимал мәніне жетеді:

$$v_m = 6\pi = 6 \cdot 3,14 = 18,8 \text{ м/с.}$$

Нүкте үдеуінің уақытқа тәуелділігін табу үшін жылдамдық өрнегінен уақыт бойынша туынды аламыз:

$$a = v' = (-6 \pi \sin 100 \pi t)' = -100 \pi \cdot 6 \pi \cos 100 \pi t = -600 \pi^2 \cos 100 \pi t.$$

Кез келген бұрыштың косинусы -1 -ден 1 -ге дейін өзгереді болғандықтан, $\cos 100 \pi t = -1$ болғанда, үдеу максимал мәнге $600 \pi^2$ ие болады:

$$a_m = 600 \pi^2 = 600 \cdot 3,14^2 = 5,9 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2.$$

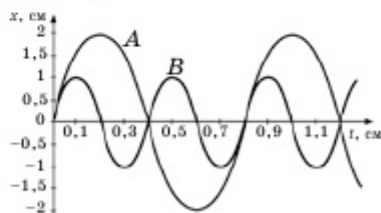
Жауабы: $A = 0,06 \text{ м}; T = 0,02 \text{ с}; \nu = 50 \text{ Гц}; v = -6 \pi \sin 100 \pi t;$
 $v_m = 18,8 \text{ м/с}; a = -600 \pi^2 \cos 100 \pi t; a_m = 5,9 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2.$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

A

- 1.1.1. График бойынша (1.1.4-сурет) A және B денелері үшін мыналарды анықтаңдар: 1) тербелістердің амплитудасын; 2) тербелістердің периодын; 3) тербелістердің жиілігін; 4) координаталардың (ауытқулардың) теңдеуін. (*Жауабы:* 2 см; 1 см; 2) 0,8 с; 0,4 с; 3) 1,25 Гц; 2,5 Гц; 4) $x_1 = 0,02 \sin 2,5 \pi t; x_2 = 0,01 \sin 5 \pi t$).



1.1.4-сурет. Нүкте ығысуының уақытқа тәуелділік графигі

- 1.1.2. Материялық нүкте тербелісі синус заңы бойынша өзгереді: $x = A \sin \omega t$. Мұнда тербеліс амплитудасы 5 см, циклдік жиілік 2 с^{-1} , тербелістердің бастапқы фазасы $\varphi_0 = 0$. Нүктенің максимал жылдамдығын анықтаңдар. (Жауабы: 0,628 м/с)
- 1.1.3. Массасы 2 кг жүк қатаңдығы 50 Н/м серіппеге ілінген. Жүктің еркін тербеліс периодын анықтаңдар. (Жауабы: 1,256 с)

B

- 1.1.4. Нүкте синус заңы бойынша гармоникалық тербелістер жасайды. Уақыттың бір мезетінде нүктенің ығысуы 5 см болады. Тербелістер фазасы екі есе артқанда ығысу 8 см шамасына жетті. Мұндағы $\arccos 0,8 = 0,64$; $\sin 0,64 = 0,6$. Тербеліс амплитудасын анықтаңдар. (Жауабы: $\approx 8,3$ см)
- 1.1.5. Серіппелі маятник амплитудасы 10 см тербелістер жасайды. Дене массасы 1 кг, серіппенің қатаңдық коэффициенті 400 Н/м. Дененің максимал жылдамдығын табыңдар. (Жауабы: 2 м/с)
- 1.1.6. Математикалық маятник жібінің ұзындығын 30 см ұзартса, онда тербеліс периоды 2 есе артады. Жіптің бастапқы ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 10 см)

§ 1.2

Еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер

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

Практикада электрмагниттік тербелістер тербелмелі контурда (1.2.1-сурет) алынатындықтан, контурдағы *зарядтың, ток күшінің және кернеудің* периодты өзгеруі де *электрмагниттік тербелістер* болып табылады.

Электрмагниттік тербелістер кезінде тербелмелі контурдағы q зарядының шамасы периодты түрде төмендегі өрнекке сәйкес өзгереді:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1.10)$$

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

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1.11)$$

Олай болса, еркін тербелістердің периоды мына өрнекпен анықталады:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (1.12)$$

Бұл өрнек **Томсон формуласы** деп аталады. Мұндағы L – контурдағы шарғының (катушканың) индуктивтілігі; C – конденсатордың сыйымдылығы.

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

$$i = q' = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \quad (1.13)$$

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

Конденсатор астарлары арасындағы **кернеу де ток сияқты периодты өзгертін функциямен сипатталады**:

$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1.14)$$

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

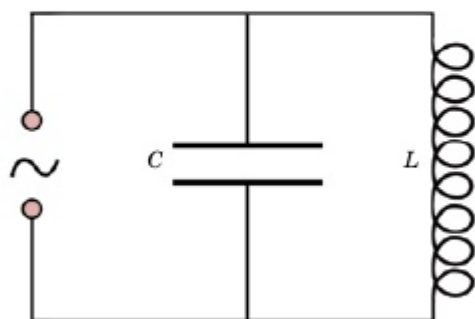
(1.10) және (1.13) өрнектерді салыстырып, i ток күші тербелісінің фазасы q зарядтың тербеліс фазасынан $\frac{\pi}{2}$ шамасына озып отыратынын көреміз. Егер шарғыдағы ток күші максимум мәнге жетсе, онда конденсатор заряды мен кернеу нөлге тең болады және керісінше, шарғыдағы ток күші нөл болғанда конденсатордағы заряд пен кернеу ең үлкен мәнге жетеді.

Жазық конденсатордың сыйымдылығын есептеу формуласын еске түсірейік:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad (1.15)$$

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

2. Электрмагниттік тербелістердің жиілігі механикалық тербелістердің жиілігімен салыстырғанда әлдеқайда үлкен болады. Сондықтан оларды бақылаудың және зерттеудің ең қолайлы құралы **электрондық осциллограф** болып табылады (1.2.2-сурет).



1.2.1-сурет. Тербелмелі контур



1.2.2-сурет. Электрондық осциллограф

Электрмагниттік тербелістер де, механикалық тербелістер сияқты *еркін және еріксіз* тербелістер деп ажыратылады.

Еркін тербелістер деп жүйенің жинақтаған энергиясы есебінен пайда болатын тербелістерді айтады.

Еріксіз электрмагниттік тербелістер деп сыртқы көзден алатын энергия есебінен жүйенің жасайтын тербелісін айтады.

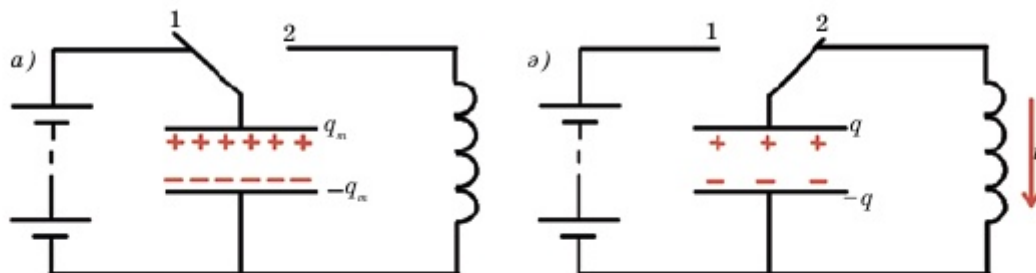
3. Электрмагниттік тербелістер пайда болатын қарапайым жүйе *тербелмелі контур* деп аталады (1.2.1-сурет). Ол сыйымдылығы C конденсатордан және оған жалғанған индуктивтілігі L шарғыдан тұрады.

Идеал тербелмелі контурда (1.2.3-сурет) тербелістердің қалай пайда болатынын қарастырайық. Конденсаторды кілт арқылы батареяға жалғап (1.2.3, *a*-сурет), оны зарядтаймыз. Осы кезде конденсатор мынадай электр энергиясын алады:

$$W_{\text{аз}} = \frac{q_m^2}{2C}, \quad (1.16)$$

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

Конденсаторды кілт арқылы шарғымен қоссақ (1.2.3, *ә*-сурет), оның заряды азайып, тізбекте шарғы арқылы өтетін ток пайда болады. Ток күші бірден максимал мәніне жетпейді, бірте-бірте артады. Бұл өздік индукция құбылысымен түсіндіріледі. Ток пайда болған кезде айнымалы магнит өрісі пайда болады. Айнымалы магнит өрісі өткізгіш ішінде құйынды электр өрісін туғызады. Құйынды электр өрісі өз кезегінде магнит өрісі арта бастаған кезде токтың артуына қарсы әрекет етеді де, оның лезде өсуіне бөгет жасайды.



1.2.3-сурет. Тербелмелі контур сұлбасы

Конденсатор разрядталған сайын оның электр өрісінің энергиясы кему береді, ал шарғының магнит өрісінің энергиясы арта бастайды, ол мына формуламен анықталады:

$$W_{\text{ин}} = \frac{Li^2}{2}, \quad (1.17)$$

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

Контурдың конденсаторы толық разрядталмаған кездегі электрмагниттік өрісінің *толық энергиясы* магнит және электр өрістері энергияларының қосындысына тең болады:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}. \quad (1.18)$$

Конденсатор толық разрядталған мезетте ($q = 0$) оның астарлары арасындағы электр өрісінің энергиясы нөлге тең. Ал шарғыдағы токтың магнит өрісінің энергиясы энергияның сақталу заңы бойынша ең үлкен шамаға $\frac{LI_m^2}{2}$ жетеді. Демек, бұл мезетте ток күші де I_m максимал мәніне жетеді.

Осы кезде шарғы ұштарындағы потенциалдар айырымы нөлге тең болатынына қарамастан, электр тогы бірден тоқтай алмайды. Оған өздік индукция құбылысы бөгет жасайды. Ток күші және оның туғызатын магнит өрісі кеми бастағанда, құйынды электр өрісі пайда болып, оны демеп отырады. Нәтижесінде ток біртіндеп кеми отырып, нөлге тең болғанға дейін конденсатор қайтадан зарядталады. Осы мезетте (яғни $i = 0$ болғанда) магнит өрісінің энергиясы да нөлге тең болады, ал конденсатордың электр өрісінің энергиясы тағы да ең үлкен мәніне жетеді.

Осыдан кейін конденсатор заряды тағы кеми бастайды да, жоғарыда сипатталған процесс қайталанады. Егер идеал контурдағыдай энергия шығыны болмаса (яғни $R = 0$, 1.2.3-сурет), онда осы процесс ұзаққа созылып, тербеліс өшпейтін болар еді. Тербеліс периодына тең уақытта жүйенің күйі де дәлме-дәл қайталанып отыра еді. Осылайша, толық энергия сақталар еді де, оның мәні кез келген уақыт мезетінде электр өрісінің немесе магнит өрісінің максимум энергиясына тең болар еді:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{I_m^2}{2}.$$

Бірақ контурда энергия шығынының болатыны анық. Өйткені контурдағы шарғының және жалғастырушы сымдардың белгілі бір R кедергісі болатындықтан ($R \neq 0$), онда пайда болған электрмагниттік өрістің энергиясы біртіндеп Джоуль–Ленц заңына ($Q = I^2Rt$) сәйкес өткізгіштің ішкі жылу энергиясына түрленеді. Нәтижесінде реал контурдың электрмагниттік тербелістері сыртқы көзден энергия алмаса, біртіндеп өшетін болады.



Сұрақтар

1. Тербелмелі контур қандай бөліктерден тұрады? Сұлбасын сызып көрсетіңдер.
2. Тербелмелі контурдағы шарғы мен конденсатордың рөлі қандай?
3. Қандай процестер арқасында еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер пайда болады?
4. Электрмагниттік тербелістер кезіндегі энергияның түрленуі қалай орындалады?
5. Неліктен нақты (реал) тербелмелі контурда электрмагниттік тербелістер өшеді?



Тапсырма (теориялық талдау)

1. Электрлік сигналдың параметрлерін зерттеуге арналған аспап осциллограф жайында реферат дайындаңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Тербелмелі контурдың конденсаторындағы кернеу амплитудасы $U_m = 220$ В, ал шарғыдағы ток күшінің амплитудасы $I_m = 2$ мА. Конденсатордың электр өрісінің энергиясы $W_{эл}$ шарғының магнит өрісінің энергиясына W_m тең болған жағдайдағы ток күшін i және кернеуді u табыңдар.

Берілгені:
 $U_m = 220$ В
 $I_m = 2$ мА
 $W_{эл} = W_m$

 $i = ?$
 $u = ?$

ХБЖ
 $2 \cdot 10^{-3}$ А

Шешуі:
 Энергияның сақталу заңы бойынша электр өрісінің максимал энергиясы
 $W_{эл. макс} = W_m + W_{эл} = 2W_{эл}$.
 Есеп шарты бойынша $W_{эл} = W_m$ болғандықтан,
 мұндағы $W_{эл. макс} = \frac{CU_m^2}{2}$ және $W_m = \frac{Li^2}{2}$,

сондықтан $\frac{CU_m^2}{2} = 2 \frac{Li^2}{2}$ немесе $U_m^2 = 2i^2$, осыдан $i = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

Сонымен қатар энергияның сақталу заңы бойынша магнит өрісінің ең үлкен энергиясы:

$$W_{m. макс} = W_{эл} + W_m = 2W_m, \text{ өйткені } W_{эл} = W_m,$$

мұндағы $W_{m. макс} = \frac{LI_m^2}{2}$ және $W_m = \frac{Li^2}{2}$, сондықтан $\frac{LI_m^2}{2} = 2 \frac{Li^2}{2}$ немесе $I_m^2 = 2i^2$.

Осыдан $i = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

Есептеулер жүргіземіз:

$$u = \frac{220}{\sqrt{2}} = 156 \text{ В}; \quad i = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Жауабы: $u = 156$ В; $i = 1,4 \cdot 10^{-3}$ А.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 1.2.1. Контурдағы тербеліс жиілігі 10 МГц. Тербелістер косинус заңы бойынша өтеді деп, конденсатор астарларындағы q зарядтың оның q_m амплитудасының жартысына тең болатын уақытты анықтаңдар. (*Жауабы:* $1,7 \cdot 10^{-8}$ с)

- 1.2.2. Контурдағы электр тогы $I = 0,01\cos 20t$ заңдылығымен өзгереді. Зарядтың тербеліс периодын анықтаңдар. (Жауабы: $\pi/10$ с)
- 1.2.3. Тербелмелі контурда периоды 1,57 мс тербелістер пайда болу үшін сыйымдылығы 2,5 мкФ конденсаторға қосылған шарғының индуктивтігін табыңдар. (Жауабы: 25 мГн)

B

- 1.2.4. Радиоқабылдағыштың контуры 500 м толқын ұзындығына сәйкестендірілген. Толқын ұзындығы 250 м болу үшін тербелмелі контур шарғысының индуктивтілігін қалай өзгерту қажет? (Жауабы: 4 есе азайту)
- 1.2.5. Идеал тербелмелі контурда заряд тербелісі $q = q_m \cos \omega t$ заңдылығына бағынады. Конденсатордың электр өрісінің энергиясы шарғының магнит өрісінің энергиясынан 3 есе артық болатын уақытты анықтаңдар. (Жауабы: $T/12$)
- 1.2.6. Егер тербеліс процесінде конденсатордың максимал заряды $2 \cdot 10^{-8}$ Кл, ал шарғыдағы максимал ток 1 А болса, онда тербелмелі контурдың периоды қандай болады? (Жауабы: 125,6 нс).

§ 1.3

Механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсастығы

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

Механикалық тербелістерде дененің ауытқу координатасы x және оның қозғалыс жылдамдығының проекциясы v_x периодты түрде өзгеріп отырады; сол сияқты электрмагниттік тербелістерде конденсатордың заряды q және тізбектегі ток күші i өзгереді. Осыған орай төмендегі 1.3.1-кестедегі механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың өзара ұқсастығын көрсетуге болады.

1) Уақыт $t = 0$ болатын бастапқы мезетте тербелетін дене (математикалық маятник) тепе-теңдік күйінен h_m биіктікте болады; мұндай күйде оның жылдамдығы мен кинетикалық энергиясы нөлге тең ($W_k = 0$), ал потенциалдық энергиясы ең үлкен мәнді қабылдайды ($W_n = mgh_m$). Сол сияқты бастапқы мезетте q_m зарядпен зарядталған конденсаторда электр өрісі пайда болады да, оның энергиясы ең үлкен мәнге жетеді $\left(W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2 \right)$, ал тогы жоқ шарғыда магнит өрісі туындамағандықтан, энергиясы да нөлге тең ($W_m = 0$) болады.

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

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

Бұл жағдайда дененің W_{κ} кинетикалық энергиясын магнит өрісінің W_m энергиясына, ал дененің m массасын шарғының L индуктивтілігіне ұқсастыруға болады.

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

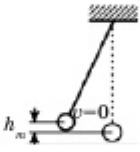
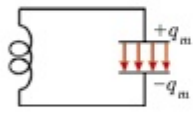

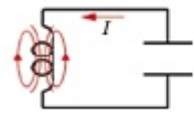
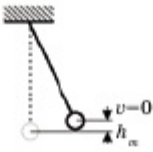
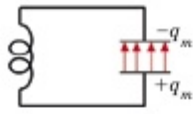

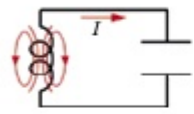
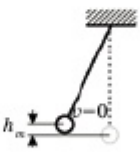
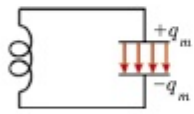
Уақыттың $t = \frac{1}{4} T$ және $t = \frac{3}{4} T$ аралығында контурдағы ток күші бірте-бірте кеміп, есесіне конденсатор қайта зарядтала бастайды. Сөйтіп, шарғының магнит өрісінің энергиясы нөлге дейін ($W_m = 0$) өлсірейді, ал конденсатордағы электр өрісінің энергиясы ең үлкен шамаға $\left(W_{\text{эл}}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

Бұл жағдайда да механикалық электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың арасындағы ұқсастық жоғарыда бірінші тармақта көрсетілгендей болады.

4) Уақыттың $t = \frac{3}{4} T$ мезетінде дене қарсы бағытта қозғалып, тепе-теңдік күйінен өте бастайды да, 2-тармақта қарастырылған процесс кері бағытта қайталанатын болады. Бұл жағдайда да механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың арасындағы ұқсастық екінші тармақта көрсетілгендей болады $\left(W_n = 0, W_{\kappa} = \frac{1}{2} m v_m^2; W_{\text{эл}} = 0, W_m = \frac{1}{2} L I_m^2 \right)$.

5) Уақыттың $t = T$ мезетіне тербелмелі екі жүйе де өздерінің 1-тармақта қарастырылған бастапқы күйіне оралады да, тербелістер жоғарыда сипатталған реттілікпен жалғаса береді.

Механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсастықтары

Уақыт	Механикалық тербелістер	Электрмагниттік тербелістер
$t = 0$	 <p>$W_n = mgh_m$ $W_k = 0$</p>	 <p>$W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2$ $W_m = 0$</p>
$t = \frac{1}{4} T$	 <p>$W_n = 0$ $W_k = \frac{1}{2} m v_{max}^2$</p>	 <p>$W_{эл} = 0$ $W_m = \frac{1}{2} L I_m^2$</p>
$t = \frac{1}{2} T$	 <p>$W_n = mgh_m$ $W_k = 0$</p>	 <p>$W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2$ $W_m = 0$</p>
$t = \frac{3}{4} T$	 <p>$W_n = 0$ $W_k = \frac{1}{2} m v_{max}^2$</p>	 <p>$W_{эл} = 0$ $W_m = \frac{1}{2} L I_m^2$</p>
$t = T$	 <p>$W_n = mgh_m$ $W_k = 0$</p>	 <p>$W_{эл} = \frac{1}{2C} q_m^2$ $W_m = 0$</p>

1.3.2-кестеде механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын ұқсас шамалар келтірілген.

Механикалық және электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың ұқсастығы

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

Сұрақтар

1. Контурдағы электрмагниттік тербелістер мен математикалық маятник тербелістері арасында ұқсастық қалай көрініс табады?
2. Қандай құбылысқа орай конденсатордағы кернеу нөлге тең болғанда, тербелмелі контурда электр тогы бірден жоғалып кетпейді?
3. Тербелмелі контурдағы қандай физикалық шаманы механикалық тербелістердегі үйкеліс күшіне сәйкестендіруге болады? Олардың арасындағы ұқсастық қандай құбылыстарды түсіндіре алады?

Топтық жұмыс

Осы тараудағы формулалардың бөліктері жазылған парақтар конверттерге салынып, әр топқа таратылады. Формулалардың қалған бөліктерін дұрыс толтырып, ең көп ұпай жинаған топ жеңімпаз атанады.

I ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

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

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

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

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

- **Математикалық маятник** деп массалары еленбейтін ұзындығы l созылмайтын жіпке ілінген нүктелік денені айтады. Математикалық маятниктің тербеліс периоды Галилей формуласымен анықталады:

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

- **Электрмагниттік тербелістер** деп біртұтас электрмагниттік өрістің электрлік кернеулік векторы (\vec{E}) мен магниттік индукция векторының (\vec{B}) өзара байланысқан тербелістерін айтады.
- Тербелмелі контурларда электрмагниттік тербелістерді тудыратын q заряд болғандықтан, оның тербелісі синусоидалық немесе косинусоидалық заңға бағынады:

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

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









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

- **Тербелмелі контур** деп сыйымдылығы C конденсатордан және оған жалғанған индуктивтілігі L шарғыдан тұратын электр тізбегін айтады.
- **Еркін тербелістер** деп жүйенің жинақтаған энергиясы есебінен орындалатын тербелістерді айтады.
- **Еріксіз тербелістер** деп сыртқы көзден алатын энергия есебінен жүйенің жасайтын тербелісін айтады.

2-тарау

АЙНЫМАЛЫ ТОК

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  генератор моделін қолданып, айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципін зерттеу;
-  период, жиілік, кернеу мен ток күші және электр қозғаушы күшінің максимал және әсерлік мәндері сияқты физикалық шамаларды қолданып, айнымалы токты сипаттау;
-  резонанс шартын түсіндіру және оның қолданылуына мысал келтіру;
-  резонанстық жиілікті есептеу;
-  қуат формуласының негізінде трансформатордың жұмыс істеу принципін талдау;
-  электр энергиясын тасымалдау үшін жоғары кернеудегі айнымалы токтың экономикалық артықшылықтарын түсіндіру;
-  трансформатор орамасындағы орам санын эксперимент арқылы анықтау;
-  Қазақстандағы электр энергиясы көздерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалау.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
генератор	генератор	generator
айнымалы электр тогы	переменный электрический ток	alternating electric current
электрлік резонанс	электрический резонанс	electric resonance
сапалылық	добротность	quality factor
трансформатор	трансформатор	transformer
электр энергетикасы	электроэнергетика	electrical power engineering
жылу электр станциясы	тепловая электростанция	thermal power plant
су электр станциясы	гидроэлектростанции	hydroelectric power plant
атом электр станциясы	атомная электростанция	nuclear power plant

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

§ 2.1

Айнымалы ток генераторы

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

Электр тогы көздерінің даму тарихында олардың төменде көрсетілген бірнеше түрлерін ажыратады (2.1.1 және 2.1.2-суреттер).

Гальваникалық элемент – электролиттегі екі металдың немесе олардың тоықтарының өзара әрекеттесуіне негізделген электрлік токтың химиялық көзі.

Электрстатикалық машина – электрстатикалық индукция құбылысын пайдалана отырып, механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіреді, осылайша машинаның полюстерінде (Лейден банкаларында) электр зарядтары жинақталады, разрядтағыштардағы потенциалдардың айырымы бірнеше жүз мың вольтқа жетеді.

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

Термобатарея жылу энергиясын электр энергиясына түрлендіреді. Термо-батареяларда тізбектей немесе параллель қосылған бірнеше термопаралар пайдаланылады.

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



а) гальваникалық элемент



ә) электрстатикалық машина



б) күн батареясы



в) термобатарея

2.1.1-сурет. Қарапайым ток көздерінің түрлері

2. Қазіргі энергетикада электрмагниттік индукция құбылысына негізделген айнымалы ток генераторлары қолданылады (2.1.2 және 2.1.3-суреттер).

Мұндай генераторлар қажетті жоғары кернеудегі үлкен токтарды алуға мүмкіндік береді. Осындай генераторлардың қарапайым моделі – магнит өрісінде айналып тұратын рама; раманы механикалық күшпен айналдырғанда онда индукциялық ток пайда болады (2.1.2-сурет).

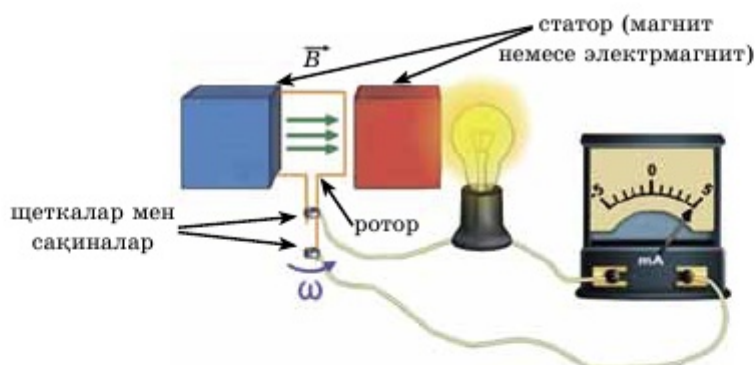
Қазіргі уақытта индукциялық генераторлардың көптеген түрлері бар. Алайда олардың барлығы да мынадай негізгі бөліктерден тұрады:

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

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

3) **щеткалар мен сақиналар** – айналып тұрған бөліктерден индукциялық токты өндіретін немесе электрмагниттерге ток беретін қондырғылар.

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



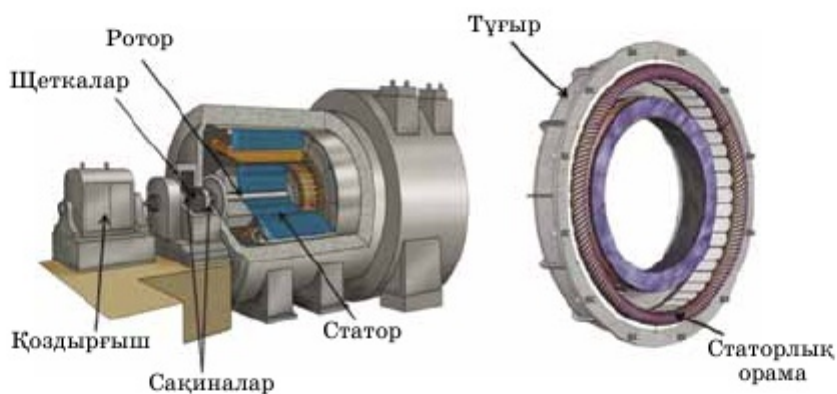
2.1.2-сурет. Индукциялық ток генераторының моделі

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

Генератор **статоры** – цилиндр пішінді болат тұғыр (станина) болып табылады (**станина** – әртүрлі жұмыс тораптары, механизмдер және т.б. тетіктер құрастырылатын машинаның негізгі көтергіш бөлігі). Оның ішкі бөлігінде жуан мыс сымдары орналасатын ойықтар (пазалар) қашалып жасалады. Міне, осы

ойықтардағы мыс сымдарында магнит ағыны өзгергенде айнымалы электр тогы индукцияланады. Магнит өрісін *ротор* туғызады. Ол болат өзекшеге тұрақты электр тогы өтетін орамалар кигізілген электромагнит болып табылады. Магнит өрісін туғызатын электромагнит орамаларындағы ток күші генератордың сыртқы тізбекке беретін ток күшінен едәуір аз болады. Сондықтан туындайтын айнымалы токты сыртқы тұтынушылар қозғалмайтын орамалардан алады. Ол электромагнит айналатындай етіп жасалады да, оның орамаларына жылжымалы контактілер арқылы әлсіз тұрақты ток беріледі. Бұндай орамаларға ток *қоздырығыш* деп аталатын тұрақты токтың сыртқы көзінен *щеткалар мен сақиналар* арқылы жеткізіледі.

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



2.1.3-сурет. Айнымалы токтың өндірістік генераторы



Сұрақтар

1. Адамның өмірлік қарекетіндегі генераторлардың рөлі қандай?
2. Генераторлардың тарихи түрлерінің жұмыс принциптерінің өзгешеліктері қалай сипатталады?
3. Индукциялық генераторлардың негізгі бөліктері қандай? Өр бөліктер қандай рөл атқарады?
4. Статор мен ротордың жұмыс істеу принциптерінің айырмашылықтары және олардың генератор жұмысындағы рөлдері қандай?



Тапсырма (практикалық эксперименттік талдау)

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

§ 2.2

Айнымалы ток

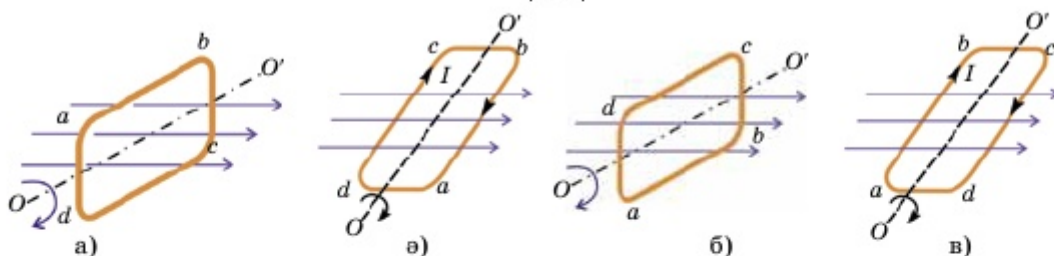
1. Айнымалы электр тогы деп уақыт агымына қарай шамасы да, бағыты да периодты түрде өзгереді токты айтады.

Айнымалы электр тогын алу процесі еріксіз электромагниттік тербелістерді тудыратын процестерге негізделген. Оған төменде сипатталған тәжірибе арқылы көз жеткізе аламыз (2.2.1-сурет). Тұрақты әрі біртекті магнит өрісіне $abcd$ сым орамынан жасалған раманы орналастырамыз.

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

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

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



2.2.1-сурет. Айнымалы токтың индукциялануы

Раманың жазықтығы магнит өрісінің күш сызықтарына параллель болған жағдайда (2.2.1, в-сурет) ab және cd орам өткізгіштері өрістің күш сызықтарына перпендикуляр орналасады да, осы сәтте рама жазықтығын қиып өтетін магнит ағыны нөлге теңеледі ($\Phi = 0$). Бұл жағдайда орамда пайда болған ЭҚК ең үлкен мәнге жетеді:

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

өйткені осы мезеттегі магнит ағынының өзгеріс жылдамдығы да максимал шаманы қабылдайды ($\left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = max$). Бұл кезде орамның ab бөлігінде пайда болатын ЭҚК

сызбадан бақылаушыға бағытталады, ал cd бөлігіндегісі керісінше бақылаушыдан сызбаға қарай бағытталады.

Бұдан әрі раманың айналуы кезінде (2.2.1, б-сурет) ЭҚК өз бағытын өзгертпей, нөлге тең $\varepsilon_i = 0$ болғанға дейін кемиді. Яғни раманың ауданын тесіп өтетін магнит ағынының шамасы ең үлкен ($\Phi = \Phi_{max}$), ал оның өзгеру жылдамдығы ең аз болған жағдай $\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0\right)$ кері бағытта қайта туындайды:

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

Орамның одан әрі айналысы кезінде (2.2.1, в-сурет) ағынның өзгеру жылдамдығы артады $\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = max$, сондықтан ЭҚК-ің шамасы да максимум өседі:

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

Бірақ енді орам жазықтығы басқа жағымен магнит күш сызықтарына қарама-қарсы қозғалады да, ЭҚК-тің бағыты қарама-қарсы өзгереді: ab бөлігінде ЭҚК бақылаушыдан сызбаның ар жағына қарай, ал bc бөлігінде сызбадан бақылаушыға қарай бағытталады.

Келесі айналымдарда барлық жоғарыда сипатталған құбылыстар қайталанатын болады.

Осылайша, айналып тұрған өткізгіш орамдағы индукциялық ЭҚК-тің максимум шамасы оның бір айналуы кезінде «минус» шамасынан ($-\varepsilon_{max}$) «плюс» шамасына (ε_{max}) дейін өзгереді.

2. Кернеудің (немесе ЭҚК) әрекетінен тізбектерде орын алатын еріксіз электр тербелістері синус немесе косинус заңы бойынша циклдік жиілікпен өзгереді:

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

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

Егер тізбекте кернеу циклдік жиілікпен өзгерсе, онда тізбектегі ток күші де сол жиілікпен өзгереді. Алайда тізбектегі ток күші тербелістерінің фазалары кернеу тербелістерінің фазаларына сәйкес келуі міндетті емес. Сондықтан жалпы жағдайда, ток күшінің лездік мәні мына синус немесе косинус заңы бойынша анықталады:

$$\begin{array}{l} \text{Ток күші: } i = I_m \sin (\omega t + \varphi); \\ i = I_m \cos (\omega t + \varphi), \end{array} \quad (2.6)$$

мұндағы I_m – ток күші амплитудасы, ω – циклдік жиілік, φ – фазалар ығысуы.

Айнымалы ток күшінің әсерлік мәні деп оның амплитудалық мәнінен $\sqrt{2}$ есе аз шаманы атайды:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.7)$$

Ток күшінің әсерлік мәні айнымалы ток тізбегінде өткізгіште бөлінетін орташа қуат қандай болса, сол өткізгіште дәл сондай қуат бөлінетін тұрақты токтың шамасына тең болады.

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

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.8)$$

Айнымалы токтың орташа қуаты ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалары сәйкес келген кезде ток күші мен кернеудің әсерлік мәндерінің көбейтіндісіне тең:

$$P = IU. \quad (2.9)$$

3. Айнымалы токтың тағы екі негізгі сипаттамасын: *периоды мен жиілігін* қарастырайық.

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

Айнымалы токтың жиілігі деп айнымалы токтың бір секунд ішіндегі тербеліс санын айтады.

Айнымалы токтың R активті кедергісі деп электр тізбегі бөлігінде бөлінген P орташа қуаттың осы бөліктегі I ток күшінің квадратына қатынасымен анықталатын физикалық шаманы айтады:

$$R = \frac{P}{I^2}. \quad (2.10)$$

Қазақстан Республикасында өнеркәсіпте және жарық беру желісінде қолданылатын *айнымалы токтың стандартты жиілігі* 50 Гц-ке тең. Мұндай жиілікте ток 1 секундта 50 рет бір бағытта, 50 рет екінші бағытта ағып отырады.



Сұрақтар

1. Айнымалы ток деп қандай токты айтады? Айнымалы электр тогын алудың негізінде қандай құбылыс жатады?
2. Айнымалы электр тогын алу процесі қалай сипатталады?
3. Айнымалы ток кернеуі, ЭҚК-і және ток күші қандай формулалармен өрнектеледі?
4. Айнымалы токтың кернеуі мен ток күшінің әсерлік мәндерін қалай анықтайды? Оның орташа қуаты неге тең?
5. Қозғалмайтын рамада айнымалы токты қалай алуға болады?



ЕСЕПТІ ШЕШУ МЫСАЛЫ

Есеп. Рама индукциясы $B = 25$ мТл біртекті магнит өрісінде оның күш сызықтарына перпендикуляр орналасқан осьтің төңірегінде бірқалыпты айналады. Айналу жиілігі $\nu = 360$ айн/мин. Раманың көлденең қимасының ауданы $S = 100$ см², орам саны 600. Рамадағы индукциялық ЭҚК-тің ең үлкен мәнін және раманың бір айналым жасауына кеткен уақытын анықтаңдар.

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

(1) формулаға (2) теңдігін қойып,

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

өрнегін аламыз. $\sin 2\pi\nu t = 1$ болғанда ЭҚК ең үлкен шамаға жетеді: $\varepsilon_i = \varepsilon_{i \text{ max}}$. Олай болса, рамадағы индукциялық ЭҚК-ің ең үлкен мәні

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

Шешуі:

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

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

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

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



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.2.1. Индукциясы 0,25 Тл магнит өрісінде 10 с^{-1} жиілікпен айналатын радиусы 20 см дөңгелек өткізгіш контурдың орам санын анықтаңдар. Пайда болатын ең үлкен ЭҚК-тің амплитудалық мәні 19,7 В. (Жауабы: 10 орам)
- 2.2.2. Конденсатор 50 Гц өндірістік жиіліктегі айнымалы ток тізбегіне қосылған. Тізбектегі кернеу 220 В. Ток күшінің максимал мәні 4 А. Конденсатордың сыйымдылығын анықтаңдар. (Жауабы: 58 мкФ)
- 2.2.3. Ашық тербелмелі контурдағы ток күші $i = 0,2 \cos 5 \cdot 10^5 \pi t$ заңдылығымен өзгереді. Ауада шығарылатын электрмагниттік толқынның ұзындығын анықтаңдар. (Жауабы: 1200 м)

В

- 2.2.4. Резистор арқылы өтетін ток күші $i = 36 \sin 128 t$ заңдылығы бойынша өзгереді. Ток күшінің әсерлік мәнін анықтаңдар. (Жауабы: 25,5 А)
- 2.2.5. Кернеуі 220 В желіге қосылған электр шамындағы ток қуатын анықтаңдар. Шамның қыздыру қылының кедергісі 484 Ом. (Жауабы: 100 Вт)
- 2.3.6. Шарғыны жиілігі 50 Гц айнымалы ток көзінен жиілігі 10 кГц ток көзіне ауыстырып қосқанда шарғының индуктивті кедергісі қанша есе артады? (Жауабы: 200 есе)

§ 2.3

Айнымалы ток тізбегіндегі резонанс

1. Айнымалы ток элементтерін электр тізбегіне тізбектей жалғау кезіндегі резонанс. Тізбектей жалғанған электр тізбегінің айнымалы токқа жасайтын толық кедергісі тек тізбектің параметрлеріне ғана емес, айнымалы токтың жиілігіне де тәуелді болады. Егер электр тізбегіне айнымалы ток амперметрін қосып, оны бақыласа, кернеу тербелісінің тұрақты амплитудасы кезінде ток күші тербелісі амплитудасының жиілікке тәуелділігі 2.3.1-суретте көрсетілген қисықтармен өрнектеледі. Суреттегі графикте айнымалы ток жиілігінің белгілі бір $\nu_{\text{рез}}$ мәнінде ток күшінің құрт артатыны көрініп тұр.

Электрлік резонанс деп айнымалы ток жиілігінің белгілі бір $\nu_{\text{рез}}$ мәнінде ток күшінің тербеліс амплитудасының құрт осы құбылысын айтады.

Резонанстық жиілік деп ток күшінің тербеліс амплитудасының максимал мәніне сәйкес келетін жиілікті айтады.

Тізбектегі электрлік ток күшінің жиілікке мұндай тәуелділігі былайша түсіндіріледі. Төменгі жиіліктерде $\nu \ll \nu_{\text{рез}}$ конденсатордың сыйымдылық кедергісі

$\left(X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C} \right)$ өте үлкен. Жиілік өскен сайын

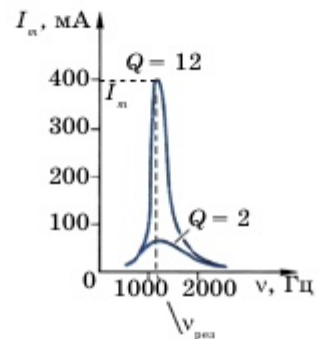
бұл кедергі азаяды, сондықтан тізбектегі ток күші өседі. Төменгі жиілікте шарғының индуктивті кедергісі ($X_L = \omega L$) аз, ал жоғары жиілікте өседі. Резонанстық жиілікте шарғының индуктивті кедергісі конденсатордың сыйымдылық кедергісіне тең болады:

$$X_L = X_C \text{ немесе } \frac{1}{\omega C} = \omega L. \quad (2.11)$$

Сөйтіп, ток күшінің амплитудалық шамасы I_m максимал мәніне жетеді. Жоғары жиіліктерде индуктивті кедергі сыйымдылық кедергісінен асып түседі ($X_L > X_C$). Резонанстық жиіліктерден үлкен жиіліктерде $\nu \gg \nu_{\text{рез}}$ индуктивті кедергі тізбектегі ток күшінің азаюына әкеледі.

Тізбектей қосылған конденсатордағы және индуктивті шарғыдағы кернеудің тербелістері қарама-қарсы фазада өтіп, әрі электр тогы тізбектің барлық элементтерінде бірдей болғандықтан, шарғы мен конденсатордағы кернеу кез келген уақытта, олардың кедергілері тең болған кезде ($X_L = X_C$), модульдері бойынша бірдей болады да, бірақ қарама-қарсы таңбалаынады:

$$u_L = -u_C. \quad (2.12)$$



2.3.1-сурет. Тізбектеп жалғанған электр желісіндегі ток күшінің жиілікке тәуелділік графигі

Айнымалы тоқтың электр тізбегіне тізбектеп жалғанған индуктивті және сыйымдылық кедергілер өзара тең болған кезде пайда болған резонанс *кернеу резонансы* деп аталады.

Резонанс кезінде резистордағы лездік кернеу жоғарыдағы шартқа сәйкес берілген кернеуге тең болады:

$$u = u_R + u_L + u_C = u_R. \quad (2.13)$$

Бұдан резонанс кезіндегі тізбектегі ток күшінің лездік және өсерлік мәндерін табуға болады:

$$i_{\text{рез}} = \frac{u}{R}, \quad (2.14)$$

$$I_{\text{рез}} = \frac{U_{\omega}}{R}. \quad (2.15)$$

Осындай нәтижені (2.11) резонанс шартынан алуға болады. Бұл шарт шарғының индуктивтілігі мен конденсатордың электр сыйымдылығының белгілі мәндері бойынша $\omega_{\text{рез}}$ резонанстық жиілікті анықтауға мүмкіндік береді. (2.11) теңдігінен мынаны аламыз:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0. \quad (2.16)$$

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

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

$$X_L = X_C = L\omega_{\text{рез}} = \frac{L}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.17)$$

Резонанс кезіндегі индуктивті шарғы мен конденсатордағы кернеу тербелістерінің амплитудасын анықтайық:

$$U_{L_m} = U_{C_m} = I_m X_L = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.18)$$

(2.18) өрнегі шарғы мен конденсатордағы кернеу тербелістерінің амплитудалары резонанс кезінде берілген кернеудің тербелісі амплитудасынан едәуір асып кету мүмкіндігін көрсетеді.

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

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.19)$$

(2.17) және (2.19) өрнектерінен резонанс кезінде шарғыдағы (немесе конденсатордағы) кернеу тербелістері амплитудасының берілген кернеудің тербеліс амплитудасына қатынасы контурдың толқындық кедергісінің оның активті

кедергісіне қатынасына тең болатыны шығады:

$$\frac{U_{Lm}}{U_m} = \frac{U_{Cm}}{U_m} = \frac{I_m \rho}{I_m R} = \frac{\rho}{R}. \quad (2.20)$$

Бұл қатынас тербелмелі контурдың *сапалылығы* деп аталады және Q өрпімен белгіленеді:

$$Q = \frac{\rho}{R}. \quad (2.21)$$

Сапалылық 100 шамасына немесе одан да жоғары мәндерге тең болуы мүмкін. Контурдың сапалылығын біле отырып, белгілі кернеу амплитудасы бар айнымалы кернеу көзін қосқан кездегі шарғыдағы немесе конденсатордағы кернеудің мәжбүр тербелісінің резонанстағы амплитудасын анықтауға болады. Мысалы, сапалылығы $Q = 100$ болатын тербеліс контурына амплитудасы 1 В айнымалы кернеу көзі қосылса, онда резонанс орын алғанда шарғыда және конденсаторда кернеудің еріксіз тербеліс амплитудасы 100 В жетеді.

Тербелмелі контурды резонансқа келтіру кезіндегі кернеу амплитудасының арту құбылысы радиотехникада (радиоқабылдағыштар, күшейткіштер, жоғары жиілікті тербеліс генераторлары схемаларында) кеңінен қолданылады. Контурдың сапалығы өскенде резонанстық шыңның ені азаяды. Екі түрлі контур сапалығының мәндерінде алынған резонанстық қисықтардың түрі 2.3.1-суретте көрсетілген.

3. Айнымалы токтың электр тізбегінің элементтерін параллель жалғау кезіндегі резонанс. Резисторды, конденсаторды және шарғыны параллель жалғанда тізбектің барлық элементтеріндегі кернеу $u = U_m \cos \omega t$ заңы бойынша өзгереді, ал жалпы тізбектегі толық ток кез келген уақытта параллель тармақтардағы ток күшінің өсерлік мәндерінің жиынтығына тең. Жалпы тізбектегі ток күшінің тербеліс амплитудасы

$$I_m = \sqrt{I_{Rm}^2 + (I_{Cm} - I_{Lm})^2} = U_m \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad (2.22)$$

формуласы бойынша анықталады:

Реактивті (R), сыйымдылық $\left(\frac{1}{\omega C}\right)$ және индуктивті (ωL) кедергілерге кері пропорционал шамалар тиісінше резистордың $\left(\frac{1}{R}\right)$, конденсатордың (ωC) және шарғының $\left(\frac{1}{\omega L}\right)$ *өткізгіштігі* деп аталады.

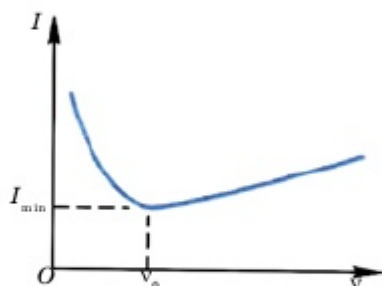
4. Жиіліктің кейбір ω мәнінде шарғының индуктивтік кедергісі конденсатордың сыйымдылық кедергісіне тең:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}. \quad (2.23)$$

Мұндай жиілікте шарғы және конденсатор арқылы кез келген уақытта өтетін токтары модульдері тең, ал бағыттары (немесе тербеліс фазалары бойынша) қарама-қарсы болып келеді. Олардың қосындысы нөлге тең, ал жалпы тізбектегі

ток күші белсенді (актив) кедергі арқылы өтетін ток күшіне тең:

$$i = i_R, I_{min} = I_R = \frac{U_m}{R}. \quad (2.24)$$



2.3.2-сурет. Параллель жалғанған тізбектегі ток күшінің жиілікке тәуелділік графигі

(2.24) шарты орындалса, электр тізбегінің толық кедергісі $Z = R$ ең жоғарғы мәнін қабылдайды. Параллель электр тізбегінің толық кедергісінің максимум мәніне электр тогы күшінің ең аз мәні сәйкес келеді. Демек, тербелмелі контурдағы **токтардың резонанстарының шарты** деп аталатын (2.24) шарттарды орындау кезінде жалпы тізбектегі ток күші ең аз I_{min} мәнін қабылдайды.

2.3.2-суретте параллель қосылған шарғыда, конденсаторда және активті кедергісі бар элементте кернеу тербелістерінің тұрақты амплитудасында тізбектің жалпы бөлігіндегі электр тогы күшінің тербеліс амплитудасының жиілікке тәуелділігі көрсетілген.

Қосымша деректер



Қызықты құбылыс болып табылатын кернеулер мен токтардың резонансы тек индуктивті – сыйымдылықты тізбектерде орын алады. Үлкен активті кедергісі бар тізбекте резонанс туындай алмайды. Кернеулердің резонансын пайдалы қолданудың мысалы ретінде мына жайтты айтуға болады:

Айнымалы сыйымдылығы бар конденсатордың көмегімен радиоқабылдағыштың ішкі контуры кернеулер резонансы пайда болатындай етіп бапталады. Осының арқасында қабылдағыштың қалыпты жұмысына қажетті шарғыдағы кернеудің шамасы антеннаның тізбекте туғызатын кернеуінің шамасынан әлдеқайда асып түседі.

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



Сұрақтар

1. Электр резонансы деп қандай процесті атайды? Қандай жиілік резонанстық жиілік деп аталады?
2. Қалай жалғанған электр тізбектерінде кернеулердің резонансы пайда болады? Резонанстардың пайда болу шарттары қандай?
3. Қандай шамалар толқындық кедергі деп, тербелмелі контурдың сапалылығы деп аталады?
4. Қандай шамалар өткізгіштік деп аталады?
5. Қалай жалғанған электр тізбегінде токтардың резонанстары пайда болады? Токтар резонанстарының пайда болу шарттары қандай?



**Тапсырма (эксперименттік зерттеу)**

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

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Индуктивтілігі 100 мГн және кедергісі 150 Ом шарғы сыйымдылығы 0,068 мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. Тербелмелі контурдың резонанстық жиілігін, толқындық кедергісін және сапалығын анықтаңдар.

<i>Берілгені:</i>	<i>ХБЖ</i>	<i>Шешуі:</i>
$C = 0,068 \text{ мкФ}$	$6,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}$	Контурдың резонанстық жиілігін табамыз:
$L = 100 \text{ мГн}$	$0,1 \text{ Гн}$	$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,1 \cdot 6,8 \cdot 10^{-8}}} = 1,21 \cdot 10^4 \text{ рад/с.}$
$R = 150 \text{ Ом}$		Толқындық кедергі:
$\omega_{\text{рез}} - ?$		$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,1}{6,8 \cdot 10^{-8}}} = 0,121 \cdot 10^4 = 1210 \text{ Ом.}$
$\rho - ?$		
$Q - ?$		

$$\text{Контур сапалығы: } Q = \frac{\rho}{R} = \frac{1210}{150} = 8.$$

$$\text{Жауабы: } \omega_{\text{рез}} = 1,21 \cdot 10^4 \text{ рад/с;} \\ \rho = 1210 \text{ Ом; } Q = 8.$$

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

- 2.3.1. Индуктивтілігі 4 Гн шарғыдан және сыйымдылығы 9 Ф конденсатордан тұратын тізбектегі резонанстық жиілікті анықтаңдар. (Жауабы: 1/6 рад/с)
- 2.3.2. Жиілігі 400 Гц болатын айнымалы ток тізбегіне индуктивтілігі 0,1 Гн шарғы қосылған. Резонанс орын алу үшін осы тізбекке сыйымдылығы қандай конденсатор жалғау керек? (Жауабы: 1,6 мкФ)

В

- 2.3.3. Сыйымдылығы $2,4 \cdot 10^3$ пФ, конденсатор кедергісі 2 Ом, индуктивтілігі 32 мкГн шарғымен қосылған. Контурдың резонанстық жиілігін анықтаңдар. (Жауабы: 0,57 МГц)
- 2.3.4. Тізбекке сыйымдылығы 2 мкФ конденсатор, индуктивтілігі 0,005 Гн шарғы қосылған. Бұл тізбекте токтың қандай жиілігінде резонанс болады? (Жауабы: 0,04 Гц)

§ 2.4

Электр энергиясын өндіру, жеткізу және қолдану.
Трансформатор

1. Электр энергиясын электр станцияларында роторларын өртүрлі турбиналар айналдыратын генераторлар өндіреді. Мысалы: жылу электр станцияларында генераторлардың роторларын бу турбиналары, ал су электр станцияларында роторды аққан су айналдырады. Өндірген энергияны тұтынушыға жеткізу үшін станция мен тұтынушы арасына электр желілері тартылады.

Электр энергиясын алысқа жеткізу кезінде электр тогы сымдарды қыздырады. Осыған байланысты энергия шығыны орын алады. *Электр станциясынан ток тұтынушысы алыста болған сайын, электр сымдарының қыздырылуына көп энергия шығындалады.*

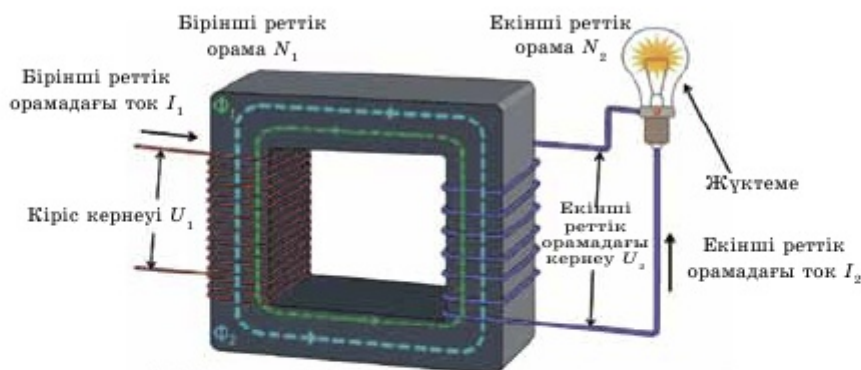
Джоуль–Ленц заңынан $Q = I^2 R \Delta t$ көрініп тұрғандай, шығынды азайту үшін сымдардың $R = \frac{\rho l}{S}$ кедергісін кеміту немесе I ток күшін азайту қажет. *Сымдардың кедергісі олардың көлденең қимасының ауданы неғұрлым үлкен, ал меншікті кедергісі аз болған сайын кемиді. Электр желілері мыс немесе алюминий сымдарынан жасалады, себебі олар салыстырмалы алғанда аса қымбат емес, әрі меншікті кедергілері де едәуір аз.* Бірақ сымдардың жуандығын арттыру экономикалық жағынан тиімді емес, өйткені бұл қымбат түсті металдың артық шығынына әкеледі, сондай-ақ сымдарды бағаналарға бекіту кезінде де қиындықтар тудырады. Сондықтан шығындарды азайтудың мұндай тәсілі іс жүзінде тиімсіз.

2. Шығынның айтарлықтай төмендеуіне ток күшін кеміту есебінен ғана қол жеткізуге болады. Алайда бұл берілген қуатта ($P = IU$) ток күшінің кемуі тек кернеуді арттырғанда ғана мүмкін. Мұндай түрлендіру болмаса, электр энергиясын алыс қашықтыққа жеткізу елеулі шығындардың салдарынан тиімсіз болады.

Бұл маңызды техникалық міндетті шешу *тұрақты жиіліктегі айнымалы ток күші мен кернеуді түрлендіретін құрылғы трансформаторды* жасағаннан кейін ғана мүмкін болды.

Трансформатордың жұмысы электрмагниттік индукция құбылысына негізделген. Ең қарапайым трансформатор ортақ тұйық өзекшеге оралған бір-бірінен оқшауланған екі шарғыдан тұрады (оларды орамалар деп те атайды). Ораманың біріншісінен түрлендірілетін айнымалы ток өткізіледі, ал екінші орама тұтынушымен қосылады (2.4.1-сурет).

Бірінші орамадағы айнымалы ток өзекшеде айнымалы магнит ағынын туғызады, ол әр ораманың (яғни шарғының) орамдарында индукция ЭҚК қоздырады. Өзекше пластиналары трансформаторлық болаттан жасалған. Өзекше магнит өрісін өз ішінде ғана шоғырландырады және магнит ағыны оның барлық қималарында бірдей болады.



2.4.1-сурет. Трансформатордың жұмыс принципі

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

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.25)$$

мұндағы Φ – магнит индукциясының ағыны.

3. Бірінші реттік орамадағы орам саны N_1 , ал екінші реттік орамада N_2 болса, онда әр орамада тиісінше ε_1 және ε_2 электр қозғаушы күш индукцияланады (магнит ағынының шашырауына кеткен шығындарды есепке алмағанда), ал олардың қатынасы мынаған тең болады:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad (2.26)$$

яғни шарғыларда пайда болатын индукция (немесе өздік индукция) ЭҚК олардың орам санына пропорционал болады.

Әдетте, трансформатордың орамаларының активті кедергісі аз ($R \approx 0$) болып келеді де, оларды елемуге болады. Бұл жағдайда бастапқы ораманың қысқыштарындағы кернеудің модулі индукцияның жиынтық ЭҚК модуліне теңеседі:

$$|U_1| \approx |\varepsilon_1|. \quad (2.27)$$

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

$$|U_2| \approx |\varepsilon_2|. \quad (2.28)$$

ЭҚК-тердің лездік мәндерінің өзгеруі бір уақытта максимумға жетеді және бір уақытта нөл арқылы өтеді, яғни синфазалы өзгереді. Сондықтан олардың қатынастарын ЭҚК-дің әсерлік мәндерінің қатынасымен немесе кернеулердің әсерлік мәндерінің қатынасымен алмастыруға болады:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k. \quad (2.29)$$

Бірінші реттік шарғыдағы орамдар санының екінші реттік шарғыдағы орамдар санына қатынасы k трансформация коэффициенті деп аталады.

Трансформация коэффициентінің қандай мәндерді қабылдауына қарай, трансформаторлар жоғарылатқыш ($k < 1$) және төмендеткіш ($k > 1$) трансформатор болып ажыратылады.

4. Екінші реттік тізбекке қандай да бір жүктемені қосқан кезде (трансформатордың жұмыстық жүрісі) одан айнымалы *жүктеме тогы* өтеді. Бұл ток Ленц ережесіне сәйкес өзекшеде бірінші ораманың ағынына қарсы бағытталған магниттік ағын туғызады. Нәтижесінде бірінші реттік шарғыдағы магнит индукциясының жиынтық ағыны да, ЭҚК те кемиді; демек, ток күші артады. Бірінші реттік тізбектегі ток күшінің мұндай артуы магнит ағынының, индукциялық ЭҚК-тің және екінші реттік тізбектегі ток күшінің артуына әкеліп соғады. Бірақ екінші реттік тізбекте токтың өсуі қарсы бағыттағы өздік индукция тогының артуымен қосарласа жүретіні белгілі, бұл өсе бастаған магнит ағынының азаюына әкеледі.

Ақыр соңында тұрақты жүктеме кезінде екінші реттік тізбекте белгілі бір магнит ағыны, индукциялық ЭҚК, ал бірінші реттік тізбекте нақты бір ток қалыптасады.

Осылайша трансформатордың өзі екінші реттік тізбектегі жүктемеге орай энергия тұтынуын автоматты түрде реттейді.

Трансформатордың жұмыс барысында бірінші реттік тізбектен екінші реттік тізбекке үздіксіз энергия беріледі.

Бірінші реттік тізбекте қолданылатын қуат мына формуламен:

$$P_1 = I_1 U_1 \cos \varphi_1, \quad (2.30)$$

ал жүктемеде бөлінетін қуат мына формуламен:

$$P_2 = I_2 U_2 \cos \varphi_2 \quad (2.31)$$

анықталады. Мұндағы φ сәйкес ток күштері мен кернеулер арасындағы фазалар ығысуы. Егер ток пен кернеу арасында фазалар ығысуы болмаса ($\varphi = 0$), онда $\cos \varphi = 1$.

Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) жүктемеде бөлінетін қуаттың бірінші реттік тізбекте тұтынылатын қуатқа қатынасымен анықталады:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cos \varphi_1}. \quad (2.32)$$

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

Осы шығындарды азайту үшін мынадай шаралар қолданылады:

1) төменгі кернеу орамасының қимасы үлкен етіп жасалады, өйткені ол арқылы үлкен ток күші өтеді;

2) өзек тұйықталған болып жасалады, бұл магнит ағынның кеңістікке таралуын азайтады;

3) Фуко токтарын азайту үшін өзекше бір-бірінен оқшауланған пластиналардан жасалады.

Осы шаралардың арқасында қазіргі заманғы трансформаторлардың пайда-

лы әсер коэффициенті 95–99% жетеді, ал ток күшінің тербелістері мен кернеу арасындағы фазалардың ығысуы нөлге жақындайды.

Кейде трансформатордағы шығындарды ескермеуге болады, яғни оның пайдалы әсер коэффициенті 100% деп есептейміз, онда бастапқы тізбекте тұтынылатын қуат жүктемеде бөлінетін қуатқа тең. Сонда бірінші реттік орамадағы ток күшінің екінші реттік орамадағы ток күшіне қатынасы сәйкес кернеулерге пропорционал болады. Сөйтіп, трансформатордың көмегімен кернеуді арттыру арқылы ток күшін азайтуға немесе кернеуді кеміту арқылы ток күшін көбейтуге болады:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}. \quad (2.33)$$

Қазіргі уақытта трансформаторлар техникада да, тұрмыста да кеңінен қолданылады.



Қосымша деректер

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



Сұрақтар

1. Электр энергиясын жеткізудегі трансформатордың рөлі қандай?
2. Трансформатордың жұмыс істеу принципін қандай құбылысқа негіздеп түсіндіруге болады?
3. Трансформатордың бірінші реттік және екінші реттік орамаларының физикалық айырмашылығы қалай түсіндіріледі?
4. Трансформация коэффициенті қалай анықталады?
5. Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті қалай есептеледі?
6. Экономикалық тұрғыдан не себепті электр энергиясын беру кезіндегі жоғары кернеулі айнымалы ток тиімдірек?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

Реферат немесе презентация түрінде төмендегі тақырыптардың біріне баяндама даярлаңдар:

- «Трансформатор түрлері»;
- «Бүгінгі әлемдегі ең қуатты трансформатор»;
- «Трансформаторларды қолдану».

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Трансформация коэффициенті $k = 10$ төмендеткіш трансформатордың бірінші орамасы кернеуі $U_1 = 120$ В айнымалы ток желісіне қосылған. Екінші орамадағы кедергі $R_2 = 1,2$ Ом, ток күші $I_2 = 5$ А. Трансформатор жүктеме-сіндегі $U_{\text{ж}}$ кернеуді және $R_{\text{ж}}$ жүктеме кедергісін табу қажет. Егер бірінші ора-

мада $N_1 = 10\ 000$ орам болса, екінші орамадағы орам санын табыңдар. Бұл трансформатордың ПӘК-і неге тең?

Берілгені:

$$k = 10$$

$$U_1 = 120\text{ В}$$

$$R_2 = 1,2\ \text{Ом}$$

$$I_2 = 5\ \text{А}$$

$$N_1 = 10\ 000$$

$$U_{\text{ж}} = ?$$

$$N_2 = ?$$

$$R_{\text{ж}} = ?$$

$$\eta = ?$$

Шешуі:

k трансформация коэффициентін біле отырып, біз екінші реттік орамадағы орам санын N_2 оңай табамыз:

$$k = \frac{N_1}{N_2} \text{ болғандықтан, } N_2 = \frac{N_1}{k}.$$

$R_{\text{ж}}$ жүктемесіндегі кернеуді табамыз (жүктеме радиоқабылдағыштың қандай да бір шамы немесе төмен кернеуді талап ететін басқа құрылғы болуы мүмкін).

Мұндай кернеу $U_2 = \frac{U_1}{k}$ трансформатордың екінші орама-сындағы R_2 кедергіні ескермеуге болатындай өте аз болса,

орын алар еді де, оны жүктемедегі іздеп отырған $U_{\text{ж}}$ кернеу-

ге теңестіретін едік ($U_2 = U_{\text{ж}}$). Алайда екінші орамада R_2 кедергісінің болуына байланысты $U_{\text{ж}}$ кернеуі U_2 кернеуінен кіші болады ($U_{\text{ж}} < U_2$), себебі R_2 кедергіде кернеудің ΔU жоғалуы Джоульдық жылуға байланысты пайда болады.

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

$$U_{\text{ж}} = U_2 - \Delta U. \quad (1)$$

R_2 кедергісінде ΔU кернеулер айырымын R_2 кедергісінің тізбек бөлігі үшін Ом заңын пайдаланып табамыз; R_2 кедергіден де, $R_{\text{ж}}$ жүктемеден де I_2 токтың өтетінін білген жөн. Сонымен:

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

(2)-ні (1)-ге қойсақ, мынаны аламыз: $U_{\text{ж}} = U_2 - I_2 R_2$, мұндағы $U_2 = \frac{U_1}{k}$, сондықтан

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

Жүктеменің $R_{\text{ж}}$ кедергісін де Ом заңын пайдаланып анықтаймыз: $I_2 = \frac{U_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}}$, бұдан $R_{\text{ж}} = \frac{U_{\text{ж}}}{I_2}$.

ПӘК – бұл $A_{\text{н}}$ пайдалы жұмыстың толық $A_{\text{ж}}$ жұмысқа қатынасы. Біздің жағдайда жүктемедегі ток жұмысы пайдалы жұмыс, ал бірінші реттік орамадағы ток жұмысы толық болып табылады. Олай болса:

$$\eta = \frac{A_{\text{н}}}{A_{\text{ж}}} 100\%. \quad (3)$$

Екінші реттік орама қысқыштардағы $A_{\text{н}}$ ток жұмысын ток жұмысының белгілі формуласы бойынша анықтаймыз:

$$A_{\text{н}} = U_{\text{ж}} I_2 t. \quad (4)$$

Бірінші реттік орамадағы ток жұмысы $A_1 = U_1 I_1 t$. Ал $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$ және $\frac{U_1}{U_2} = k$, сондықтан $k = \frac{I_2}{I_1}$. Осыдан $I_1 = \frac{I_2}{k}$. Сонда

$$A_1 = U_1 \frac{I_2}{k} t. \quad (5)$$

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

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

Есептеу жүргіземіз:

$$N_2 = \frac{10000}{10} = 1000.$$

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

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

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

$$\text{Жауабы: } N_2 = 1000; U_* = 6 \text{ В}; \\ R_* = 1,2 \text{ Ом}; \eta = 50\%.$$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 2.4.1. Егер трансформатордың екінші орамадағы орам саны 80 болса, онда кернеуді 10-нан 50 В-ға дейін арттыру үшін оның бірінші орамасындағы орам саны қанша болу керек? (Жауабы: 16)
- 2.4.2. Жоғарылатқыш трансформатордың бірінші орамасында 100 орам бар, ал екіншісінде – 1000. Бірінші тізбектегі кернеу 120 В. Энергияның шығыны болмаса, екінші тізбектегі кернеу қандай? (Жауабы: 1200 В)

В

- 2.4.3. Бірінші орамасында 300 орам бар трансформатор кернеуі 220 В желіге қосылған. 165 орамы бар трансформатордың екінші тізбегіне кедергісі 50 Ом резистор қосылған. Екінші тізбектегі кернеу 50 В деп есептеп, ондағы ток күшін табыңдар. (Жауабы: 1,42 А)
- 2.4.4. Төмендеткіш трансформатор 120 В кернеуде 20 А ток береді. Бірінші орамадағы кернеу 22 000 В. Трансформатордың ПӘК 90% деп есептеп, бірінші орамадағы токты, оның кірісіндегі және шығысындағы қуатын табыңдар. (Жауабы: 0,12 А; 2670 Вт; 2400 Вт)

№1 зертханалық жұмыс

Трансформатор орамдарының санын анықтау

Жұмыстың мақсаты: трансформатор орамдарының санын анықтау.

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

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

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

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

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

Жұмыстың орындалу тәртібі:

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

№ тәжірибе	U_1	U_2	N_1	N_2
1				
2				
3				

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

**Бақылау сұрақтары**

1. Трансформатор деп нені атайды?
2. Трансформатордың жұмыс істеу принципі қандай құбылысқа негізделген?
3. Трансформация коэффициенті дегеніміз не?
4. Трансформатордың пайдалы өсер коэффициенті дегеніміз не?
5. Трансформаторды тұрақты ток тізбегіне қосуға бола ма?
6. Екінші реттік тізбек тұйықталмағанда (бос жүріс) трансформатор неге энергия тұтынбайды?
7. Электр станцияларының маңына жоғарылатқыш трансформаторды не үшін орнатады?
8. Электр энергиясын тұтынушыларға қандай трансформатор орнатады?

§ 2.5**Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану**

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

Қоғамның әлеуметтік-экономикалық даму деңгейі де, әр адамның өмірі де энергияны тұтынумен тікелей байланысты.

Электр энергетикасы экономиканың барлық секторларымен тығыз байланысқан: оларды өндірілген электр энергиясымен және жылумен қамтамасыз етеді, ал кейбіреулерінен өзінің жұмыс істеуі үшін ресурстар алады.

Қазіргі заманғы деңгейде энергетиканы дамытудың ерекшеліктеріне мыналар жатады: экологиялық талаптардың күрт қатаюы (атап айтқанда, парниктік газдардың шығарылуы жөніндегі Киото хаттамасы), тиімділігі жоғары және ресурс үнемдейтін энергетикалық технологияларға көшу, сонымен бірге энергияның баламалы көздерін іздеу әрекеттері. Дегенмен бүгінде электр энергиясының әлемдік өндірісіне басты үлесті *көмір* қосады (40 %), ал *газға* (19 %), *атом* және *гидроэнергетикаға* 16 % үлес тиеді.

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

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

- *жылу электр станциялары (ЖЭС), мұнда органикалық отынды (көмір, газ, мазут, шымтезек, сланец және т. б.) жағу кезінде бөлінетін жылу энергиясы электр генераторын қозғалысқа келтіретін турбиналарды айналдыру үшін пайдаланылады;*

- *су электр станциялары (ГЭС), мұнда электр генераторларын айналдыратын гидравликалық турбиналар көмегімен су ағынының механикалық энергиясы электр энергиясына түрленеді;*

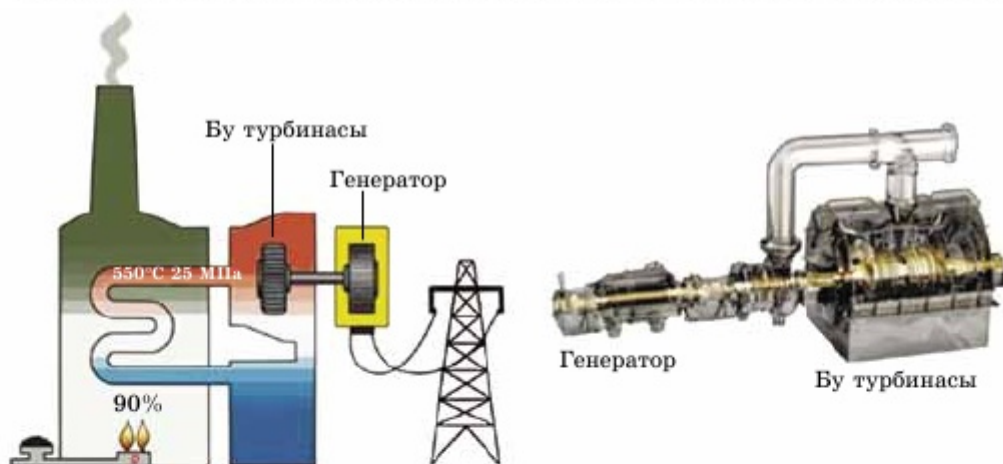
• **атом электр станциялары (АЭС), мұнда реакторда радиоактивті элементтердің тізбекті ядролық реакциясы кезінде алынған жылу энергиясы электр энергиясына түрленеді.**

Электр станцияларының осы үш түрі пайдаланылатын энергия ресурстарының түрлерін анықтайды. Оларды алғашқы және екінші реттік, **жаңартылмайтын** және **жаңартылатын** энергия көздері деп бөлу қабылданған.

Алғашқы энергия тасымалдаушылар – бұл қандай да бір технологиялық өңдеулерден өтпеген табиғи шикізат материалдары, мысалы, таскөмір, мұнай, табиғи газ және уран кендері. Сонымен қатар мұндай тасымалдаушыларға Күн сәулесі, жел, су ресурстары да жатады. **Екінші реттік энергия тасымалдаушылар** – бұлар алғашқы энергияның өңделген өнімдері, мысалы, бензин, мазут, ядролық отын.

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

3. ЖЭС-те электр энергиясын өндіру процесін қарастырайық (2.5.1-сурет).



2.5.1-сурет. Жылу электр станциясының сұлбасы

Жылу электр станцияларындағы электр генераторлардың роторы бу және газ турбиналарымен немесе іштен жану қозғалтқыштарының көмегімен айналады. Әрине, ең үнемді ЖЭС — бу турбины ірі жылу электр станциялары. Бу қазандығында жағылған отын энергиясының 90%-дан астамы буга беріледі. Турбинада бу ағысының кинетикалық энергиясы роторға беріледі, оның айналым саны минутына бірнеше мыңға жетеді. Алайда **ЖЭС-тің пайдалы эсер коэффициенті** жоғары емес – шамамен 40%. Энергияның көп бөлігі роторды айналдырып жұмыс жасаған бумен бірге сыртқы ортаға таралып, шығын болады.

Қазақстанда электр энергиясын 138 электр станциялары өндіреді. Олардың жалпы қуаты 21 673 МВт. 2018 жылдың 25 желтоқсанында республика бойынша

энергияны пайдаланудың жылдық жүктемесі ең үлкен 14 823 МВт шамасына жетті, ал өндірілген қуат 18 895 МВт болатын. Еліміздегі электр станциялары маңыздылығына қарай **ұлттық, өнеркәсіптік және аймақтық** станцияларға бөлінеді.

Ұлттық маңыздағы электр станцияларына ірі жылулық және гидростанциялар кіреді.

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

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

2018 жылдың аяғына қарай электр станциялардың қолда бар қуаты 2013 жылмен салыстырғанда 2470 МВт немесе 15% шамасына артты, мұндай өсім негізінен жылу электр станциялары мен қайталамалы энергия көздері есебінен алынады.

Жылу электр орталықтары (ЖЭО) электр станциялары пайдаланған бу энергиясының едәуір бөлігін өнеркәсіптік орындарда және күнделікті тұрмыста (мысалы, жылыту және ыстық сумен жабдықтау үшін) пайдалануға мүмкіндік береді. Сондықтан жылу орталықтарында бу энергиясы үнемделіп, олардың пайдалы әсер коэффициенті 60–70%-ға жетеді. Қазіргі уақытта ЖЭО барлық электр энергиясының 40% -ын беріп, жүздеген қаланы жылумен және электр энергиясымен қамтамасыз етеді.

4. Электр энергиясы көздерінің құрылымында **гидроресурстардың** үлесі жоғары мәнділігін сақтауда, алайда соңғы онжылдықта біршама қысқарды. Бұл көздің артықшылығы оның жаңарғыштығы мен салыстырмалы арзандығында.

Су электр станцияларын салу қоршаған ортаға қайтымсыз әсер етеді, өйткені әдетте суқоймаларын салу кезінде едәуір аумақтарға су басу қаупі төнеді. Қазақстан Республикасы жағдайында су ресурстарының біркелкі бөлінбеуі және климаттық жағдайларға тәуелділігі олардың гидроэнергетикалық потенциалын шектейді.

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

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

Соңғы жылдары **жаңартылатын** энергия көздеріне көбірек назар аударылуда (2.5.2-сурет). Атап айтқанда, потенциалы зор Күн мен жел энергиясын пайдалану технологиялары белсенді түрде өзірленуде. 2018 жылы Жамбыл облысында қуаты 100 МВт «Бурный» Күн электр станциясы (КЭС) пайдалануға берілді. Бірлескен Қазақстан–Британ жобасы бойынша салынған бұл КЭС – ТМД-дағы ең ірі Күн электр станциясы болып табылады.



2.5.2-сурет. Күн электр станциясы (Алматы обл. Қапшағай қаласы)

Жел энергиясына тоқталсақ, оны Қазақстан электр энергетикасында қолдану айтарлықтай артты. Мысалы, 2011 жылдың желтоқсан айында Жамбыл облысында қуаты 1500 кВт болатын бірінші жел электр станциясы – Қордай ЖЭС (бірінші кезекте) пайдалануға берілді. 2014 жылдың желтоқсанында қуаттылығы 9 МВт 9 жел генераторларының бірінші кезеңінің қондырғылары салынды.

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

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

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

Осылайша, **қазіргі заманғы өркениеттің дамуын электр энергиясыз елестету мүмкін емес деген қорытындыға келеміз.** Ал ірі қалаларды электр энергиясымен жабдықтауда апатты жағдайдың орын алуы олардың қалыпты ырғағын бұзып, жансыздандыруға әкелетіні белгілі.

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

Электр энергиясын неғұрлым тиімді пайдаланудың әлі ашылмаған мүмкіндіктері көп, олар өздерінің болашақ зерттеушілерін күтуде.



Сұрақтар

1. «Электр энергетикасы» сөзінің әлеуметтік-экономикалық және ғылыми-техникалық тұрғыдан мағынасы қандай?
2. Өндірілетін энергияның негізгі көздері қандай және олар бір-бірінен қалай ерекшеленеді?

3. ЖЭС-те электр энергиясын өндіру процесі қалай орындалады? ЖЭС-тің ПӨК-ін көтеру үшін қандай шаралар қолданылады?
4. Экономикалық таза энергия өндіру үшін Қазақстанда қандай жұмыстар атқарылып жатыр?



Топпен жұмыс

«Айнымалы ток» таралуындағы ұғымдарды пайдаланып, әр топ кроссворд құрасырады. Топтар сұрақтары бар кроссвордтармен алмасады. Кроссвордтың барлық сұрақтарына бірінші болып дұрыс жауап берген топ жеңіске жетеді.

II ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Айнымалы ток генераторы** – энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына түрлендіретін құрылғы.
- **Айнымалы электр тогы** – белгілі бір уақыт ішінде шамасы да, бағыты да периодты түрде өзгертін ток.

• **Айнымалы ток күшінің әсерлік мәні** – ток күшінің амплитудалық мәнінен $\sqrt{2}$ есе аз шама: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

• **Айнымалы кернеудің әсерлік мәні** – кернеудің амплитудалық мәнінен $\sqrt{2}$ есе аз шама: $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

• **Айнымалы токтың орташа қуаты** – ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалары сәйкес келген кезде ток күші мен кернеудің әсерлік мәндерінің көбейтіндісіне тең шама: $P = IU$.

• **Электрлік резонанс** деп айнымалы ток жиілігінің белгілі бір мәнінде ток күшінің тербеліс амплитудасының күрт өсу құбылысын айтады.

• **Резонанс шарты** – конденсатордың сыйымдылық кедергісі $\left(X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C} \right)$ шарғының индуктивті кедергісіне ($X_L = \omega L$) тең болғанда орын алады, яғни: $\frac{1}{\omega C} = \omega L$.

• **Резонанстық жиілік:** $\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

• **Толқындық кедергі:** $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

• Тербелмелі электр контурының **Q сапалылығы** деп оның ρ толқындық кедергісінің R активті кедергісіне қатынасымен анықталатын физикалық шаманы айтады: $Q = \frac{\rho}{R}$.

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






• **Трансформация коэффициенті:** $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$.

• **Трансформатордың пайдалы әсер коэффициенті:** $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cos \varphi_1}$.

3-тарау

ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  электрмагниттік толқындардың пайда болу шарттарын түсіндіру және олардың қасиеттерін сипаттау;
-  жоғары жиілікті электрмагниттік тербелістердің модуляциясы мен детекторлауды сипаттау;
-  радиобайланыстың жұмыс істеу принципін түсіндіру;
-  аналогтікпен салыстырғанда цифрлық форматтағы сигнал таратудың артықшылықтарын түсіндіру;
-  байланыс құралдарын жүйелеу және оларды жетілдірудің жолдарын ұсыну.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

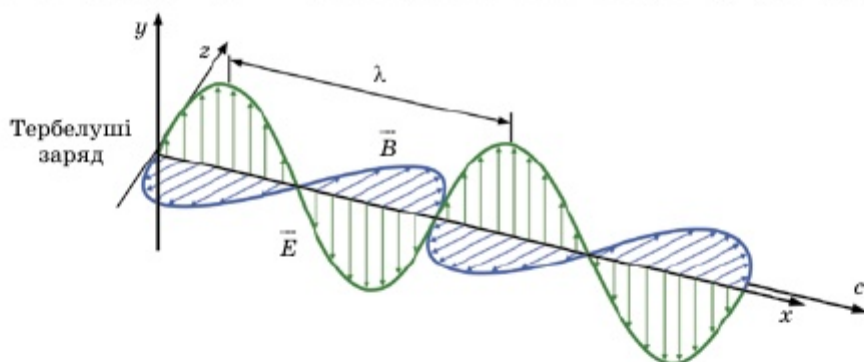
Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
электрмагниттік өріс	электромагнитное поле	electromagnetic field
магнит өрісі	магнитное поле	magnetic field
толқын	волна	wave
электрмагниттік толқын	электромагнитная волна	electromagnetic waves
магнит өрісінің кернеулігі	напряженность магнитного поля	magnetic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

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «электрмагниттік толқын», «электрмагниттік өріс», «радиобайланыс», «радиолокация», «Герц вибраторы».

§ 3.1

Электрмагниттік толқындарды шығару және оларды қабылдау

1. Электрмагниттік толқын. Координаталар жүйесінің бас нүктесінде орналасқан тербелуші зарядты қарастырайық (3.1.1-сурет). Зарядталған бөлшек (қысқаша заряд) серіппеге ілулі жүк сияқты, бірақ айтарлықтай үлкен жиілікпен тербеледі де, оның төңірегіндегі электр өрісінің \vec{E} кернеулік векторы периодты өзгере бастайды. Бұндай өзгерістің периоды да, әрине, зарядтың тербеліс периодына тең болады. Айнымалы электр өрісі өз кезегінде, Максвеллдің теорияда көрсеткеніндей, индукция векторы \vec{B} периодты өзгертін магнит өрісін туғызады. Ал айнымалы магнит өрісі өзіне ілестіре айнымалы электр өрісін туғызады. Міне, осылайша бірін-бірі қолдайтын екі өрістің үндесе өзгеруі кеңістікте жалғасын тауып, тербелуші зарядтан алыстай береді. Сөйтіп, зарядты қоршаған кеңістікте бір-біріне перпендикуляр, әрі периодты өзгертін электр және магнит өрістері үлкен аймақтарды қамтып, *электрмагниттік толқын* түрінде тарайды.



3.1.1-сурет. Электрмагниттік өріс векторларының кеңістікте таралу графигі

Электрмагниттік толқын деп кеңістікте шекті жылдамдықпен тарайтын электрмагниттік тербелістерді айтады. Электрмагниттік толқынның таралу жылдамдығы ортаның қасиетіне тәуелді болады. Механикалық толқындардан ерекше, электрмагниттік толқындар вакуумда да (яғни затсыз ортада да) тарай береді. Электрмагниттік толқындардың вакуумдағы жылдамдығы $c = 300\,000$ км/с ең үлкен шекті жылдамдық болып табылады. Бұл жылдамдық гравитациялық тұрақты (G) және Планк тұрақтысымен (h) бірге өлемдік константалар (тұрақтылар) қатарына кіреді.

Жоғарыдағы суретте кеңістіктің әр нүктесінде периодты өзгертін электр өрісінің \vec{E} кернеулік және магнит өрісінің \vec{B} индукция векторлары көрсетілген. Нүкте неғұрлым зарядтан алысырақ болса, өрістердің тербелістері оған соғұрлым кешірек жетеді. Олай болса, зарядтан әртүрлі қашықтықтағы тербелістер әртүрлі фазада өтеді.

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

Электр өрісі кернеулігінің тербеліс векторы мен магнит өрісінің индукция векторының бағыттары – толқынның таралу бағытына перпендикуляр. Ендеше, электромагниттік толқындағы \vec{E} және \vec{B} векторлары бір-біріне де, толқынның таралу бағытына да, яғни \vec{c} жылдамдық векторына да перпендикуляр, демек, электромагниттік толқын көлденең толқын болып табылады.

2. Электромагниттік толқындардың шығарылуы. Электромагниттік толқындарды тербелістегі зарядтар шығарады. *Электромагниттік толқындардың туындауының басты шарты – зарядтың үдемелі тербелісі болып табылады.* Электромагниттік өріс зарядтың тербелістері кезінде ғана емес, оның жылдамдығының тез өзгеруі салдарынан да туындайды, яғни неғұрлым заряд қозғалысының үдеуі үлкен болса, соғұрлым толқынның қарқындылығы да (интенсивтігі де) үлкен.

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

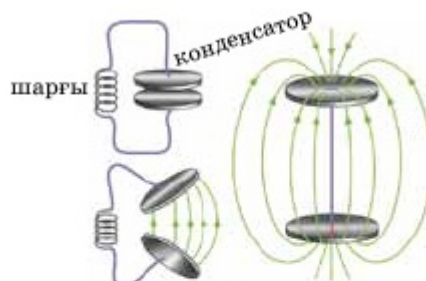
Электромагниттік өрістің толқынмен тасымалданатын W энергиясы да \vec{E} және \vec{B} векторларының өзгеруіне сәйкес кеңістікте периодты түрде өзгере отырып, c жылдамдықпен тарайды.

Максвелл электромагниттік толқындардың бар екендігінің ақиқаттығына аса қатты сенген еді. Бірақ олардың эксперимент жүзінде байқалғанын ол көре алмай кетті. Ол қайтыс болған соң, 8 жыл өткенде ғана, электромагниттік толқындарды Герц эксперимент жүзінде анықтады.

3. Электромагниттік толқындарды экспериментте бақылау. Электромагниттік толқындарды қарқынды түрде шығару үшін сыйымдылығы C конденсатордан және индуктивтілігі L шарғыдан тұратын **тербелмелі контурда жиілігі мейлінше жоғары электромагниттік тербелістер жасау керек.**

Алайда жиілігі жоғары электромагниттік тербелістер қарқынды электромагниттік толқындар шығарып алудың бірден-бір кепілі бола алмайды. Қарапайым *контурда* (3.1.2-сурет) магнит өрісі түгел дерлік шарғының ішінде, ал электр өрісі конденсатордың ішінде жинақталады, мұндай контур электромагниттік өрісті өте нашар шығарып тарататындықтан, **жабық тербелмелі контур** деп аталады. Электромагниттік толқынды **ашық тербелмелі контур** деп аталатын контур ғана кеңістікте қарқынды тарата алады.

Г. Герц электромагниттік толқындарды шығарып алу үшін **Герц вибраторы** деп аталатын қарапайым құрылғыны пайдаланды. Бұл құрылғы **ашық тербелмелі контур** болып табылады.

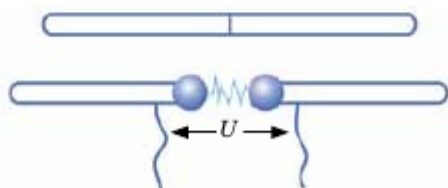


3.1.2-сурет. Жабық контурдан ашық контурға көшу

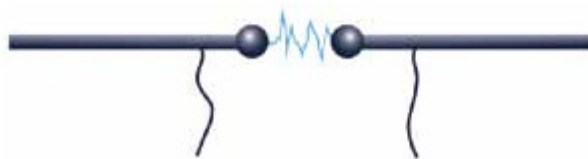
Жабық контурдан ашық контурға көшу үшін конденсатор астарларының арасын біртіндеп алшақтатып (3.1.2-сурет), олардың аудандарын кішірейте отырып, бір мезгілде шарғының орам сандарын азайту қажет. Нәтижесінде созылған өткізгіш сым түріндегі қарапайым ашық тербелмелі контур алынады (3.1.3 және 3.1.4-суреттер).

Герц вибраторының C сыйымдылығы мен L индуктивтігі аз болғандықтан, тербелістер жиілігі $\left(\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$ өте үлкен шамаға жетті.

Герцтің заманында контурда тербелісті қоздыру үшін сымды ортасынан кесіп (3.1.3-сурет), кішкене саңылау қалдырды (оны ұшқындық аралық дейді). Өткізгіштің екі бөлігін де жоғары потенциалдар айырымына дейін зарядтайды. Потенциалдар айырымы бір шекті мәннен артқан кезде ұшқын шығып тізбек тұйықталады да, ашық контурда тербелістер туындайды (3.1.4-сурет).



3.1.3-сурет.
Ұшқындық аралық

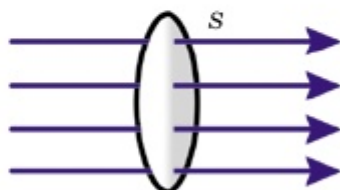


3.1.4-сурет. Ұшқындық аралықтағы
электрмагниттік тербеліс

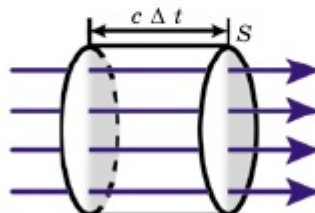
Контурдағы тербелістер екі жағдайда өшеді: біріншіден, контурдың R активті кедергісі салдарынан оның энергиясы Джоуль—Ленц жылуына ($Q = I^2Rt$) шығындалады. Екіншіден, вибратор шығаратын электрмагниттік толқындардың өздерімен бірге ала кететін сәулелік энергияға ($E = h\nu$) шығындалады, сөйтіп тербеліс бірте-бірте өшеді. Тербелістер тоқтағаннан кейін ток көзі екі өткізгішті қайтадан зарядтайды да, ұшқындық разряд тағы да қайталанады.

Қазіргі уақытта ашық тербелмелі контурда өшпейтін *еріксіз тербелістерді* шығарып алу үшін, оны транзисторлы генератордың немесе басқа типті генераторлардың тербелмелі контурымен индуктивті байланыстырады.

4. Электрмагниттік сәулелер ағынының тығыздығы. Электрмагниттік толқындар, яғни сәулелер ағыны (3.1.5 және 3.1.6-суреттер) өздерімен бірге энергия тасиды. Олардың энергетикалық сипаттамалары *сәулелер ағынының тығыздығы* деп аталатын физикалық шамамен өрнектеледі.



3.1.5-сурет.
Сәулелер ағыны



3.1.6-сурет.
Толқындық цилиндр

Электрмагниттік сәулелер ағынының I тығыздығы деп сәулелерге перпендикуляр, ауданы S беттен Δt уақыт ішінде өтетін ΔW электрмагниттік энергияның S аудан мен Δt уақыттың көбейтіндісіне қатынасын айтады:

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t}. \quad (3.1)$$

Шындығында, бұл шама беттің бірлік ауданынан өтетін электрмагниттік толқын сәулелерінің қуаты (бірлік уақыттағы энергия) болып табылады. Толқын ағынының тығыздығы ХБЖ-да *ватт бөлінген квадрат метр* ($\text{Вт}/\text{м}^2$) бірлігімен өрнектеледі. Бұл шаманы кейде толқынның **қарқындылығы** деп атайды.

I шамасын электрмагниттік энергияның w тығыздығы мен оның таралу жылдамдығы c арқылы да өрнектеуге болады. Сәулелерге перпендикуляр орналасқан ауданы S бетті таңдап алып, жасаушысы (биіктігі) $c \Delta t$ цилиндрді салайық (3.1.6-сурет). Цилиндрдің көлемі $\Delta V = S c \Delta t$. Цилиндр ішіндегі электрмагниттік өрістің энергиясы энергия тығыздығы мен көлемнің көбейтіндісіне тең: $\Delta W = w c \Delta t S$. Осы энергия Δt уақыт ішінде цилиндрдің оң жақ табанынан өтіп үлгереді. Сондықтан (3.1) формуласын мына түрде жазамыз:

$$I = \frac{w c \Delta t S}{S \Delta t} = w c. \quad (3.2)$$

Бұдан мынадай қорытынды аламыз: электрмагниттік сәулелену *ағынының тығыздығы электрмагниттік энергияның тығыздығы мен оның таралу жылдамдығының көбейтіндісіне тең*.

5. Жұлдыздар жарық шығарады, яғни электрмагниттік толқын таратады. Жұлдыздарға дейінгі қашықтықтар олардың өлшемдерінен өте үлкен болатындықтан, мұндай шырақтар нүктелік көздің жақсы үлгісі болып табылады.

Нүктелік көзден шығатын электрмагниттік толқындар тарайтын беттің ауданы уақыт өткен сайын артып отырады. Сондықтан бірлік уақыт ішінде бірлік ауданнан өтетін энергия, яғни толқын ағынының тығыздығы жарық көзінен қашықтаған сайын кемі түседі.

Толқын ағынының тығыздығының жарық көзіне дейінгі қашықтыққа төуелділігін анықтауға болады. Ол үшін нүктелік көзді радиусы R , ауданы $S = 4\pi R^2$ сфераның центріне орналастырайық.

Егер Δt уақыт ішінде барлық бағытта толқын көзі ΔW энергия шығарады десек, онда (3.2) формуланы мына түрде жазуға болады:

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t} = \frac{\Delta W}{4\pi \Delta t R^2}. \quad (3.3)$$

Бұдан мынадай қорытынды шығады: нүктелік көздің шығаратын толқын ағынының тығыздығы жарық көзіне дейінгі қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді.



Сұрақтар

1. Қандай өріс электрмагниттік өріс деп аталады? Электрмагниттік өріс қандай физикалық шамалармен сипатталады? Қандай жылдамдықпен тарайды?
2. Электрмагниттік толқындар қалай шығарылып алынады? Тербелмелі контурда пайда болатын электрмагниттік толқындардың жиіліктері қалай анықталады?



3. Электрмагниттік толқындар ұғымын алғаш рет кім енгізді және жарықтың электрмагниттік табиғаты туралы алғашқы болжамды кім жасады? Электрмагниттік толқындарды эксперимент жүзінде кім ашты?
4. Электрмагниттік сәулелер ағынының тығыздығы деп қандай шаманы айтады?
5. Нүктелік көзден тарайтын толқын ағынының тығыздығы қашықтық өскен сайын қалай өзгереді?

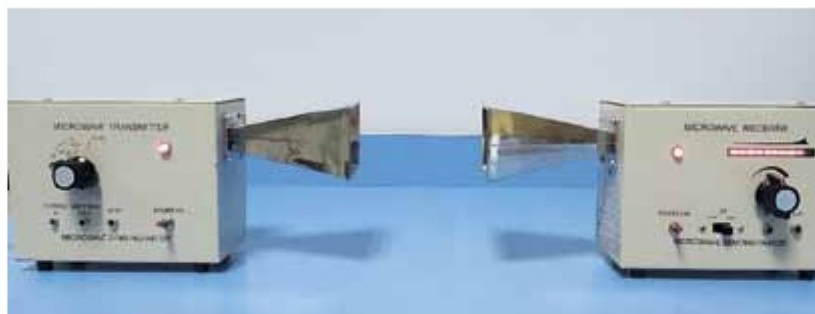
§ 3.2

Электрмагниттік толқындардың қасиеттері

1. Электрмагниттік толқындар механикалық толқындар тәрізді *жұтылады, шағылады және сынады*. Мұндай құбылыстарды бақылау қиынға соқпайды.

Радиотехникалық құрылғылар электрмагниттік толқындардың қасиеттерін бақылайтын өте көрнекі тәжірибелер жүргізуге мүмкіндік береді. Бұған сантиметрлік диапазондағы толқындарды пайдаланған ыңғайлы. Бұндай толқындарды аса жоғары жиілікті (АЖЖ) арнаулы генератор шығарады. Генератордың электрлік тербелістеріне дыбыс жиілігімен модуляция жасайды. Қабылданған сигнал детекторланған соң, дыбыс күшейткішке беріледі.

Рупор антеннасы арқылы рупор осі бағытымен электрмагниттік толқындар шығарылады. Нақ осындай рупор түріндегі қабылдағыш антенна оның осі бойымен таралатын толқындарды ұстайды. Мұндай қондырғының жалпы түрі 3.2.1-суретте көрсетілген.



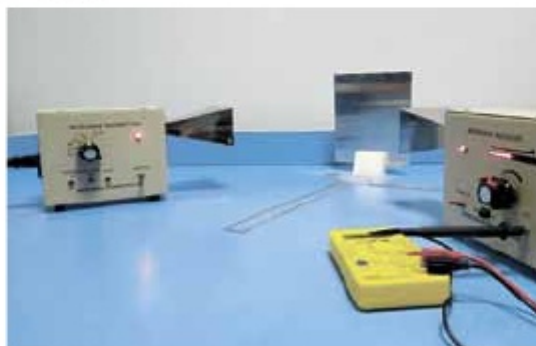
3.2.1-сурет. Электрмагниттік толқындардың қасиеттерін зерттеу аспаптары

Электрмагниттік толқындардың жұтылуы. Рупорларды бір-біріне қарама-қарсы орналастырып, дыбыс күшейткішті дыбыс жақсы естілетіндей қалыңқа келтіреді де, рупорлардың арасына өртүрлі диэлектрик денелер қойылады. Осы кезде дыбыстың бөсеңдегені байқалады.

Электрмагниттік толқындардың шағылуы. Егер диэлектрикті металл пластинамен алмастырса, онда дыбыс естілмей қалады. Шағылу салдарынан толқындар қабылдағышқа жетпейді. Шағылу, механикалық толқындар жағдайындағыдай, түсу бұрышына тең бұрышпен байқалады (3.2.2-сурет). Осыған көз жеткізу үшін

рупорларды үлкен қаңылтыр табақшаға бірдей бұрышпен орналастырады. Егер металл қаңылтырды алып қойса немесе оны бұрса, дыбыс жоғалады.

Электрмагниттік толқындардың сынуы. Электрмагниттік толқындар диэлектрик шегарасында өз бағытын өзгертеді (сынады). Бұған парафиннен жасалған үлкен үшбұрышты призмань пайдаланып, көз жеткізуге болады. Шағылуды бақылау үшін жоғарыдағы тәжірибеде көрсеткен сияқты рупорларды бір-бірімен бұрыш жасайтындай етіп орналастырады. Қаңылтырды призмамен алмастырады. Призмань дыбыс жолынан алып қойса немесе бұрса, дыбыстың жоғалып кеткенін байқайды.



3.2.2-сурет. Электрмагниттік толқындардың шағылуы

Электрмагниттік толқындардың көлденеңдігі. Электрмагниттік толқындар көлденең толқындар болып табылады. Бұл толқынның электрмагниттік өрісінің \vec{E} және \vec{B} векторының оның таралу бағытына перпендикуляр екенін көрсетеді. Рупордан шығатын электр өрісі кернеулігінің тербелістері белгілі бір жазықтықта өтеді, ал магнит индукциясы векторының тербелістері – оған перпендикуляр жазықтықта жасалады.

Тербелістері белгілі бір бағытта өтетін толқындар *поляризацияланған* деп аталады. Детекторы бар қабылдағыш рупор тек белгілі бағытта поляризацияланған толқынды ғана қабылдайды. Таратқыш немесе қабылдағыш рупорды 90° бұру арқылы дыбыстың жоғалғанын аңғаруға болады.

Электрмагниттік толқындардың поляризациялық, интерференциялық және диффракциялық қасиеттерін олардың бір түрі болып табылатын жарық толқындарын қарастырғанда (4-тарау) кеңірек талқылайтын боламыз.



Генрих Герц (1857—1894) — көрнекті неміс физигі, ол электрмагниттік толқындардың бар екендігін 1887 ж. алғаш рет экспериментпен дәлелдеді. Электрмагниттік толқындарды зерттей келе, Герц электрмагниттік толқындар мен жарық толқындарының негізгі қасиеттерінің бірдей екенін тағайындады. Герцтің жұмыстары электрмагниттік өріс теориясының дұрыстығының, оның ішінде жарықтың электрмагниттік теориясының эксперименттік дәлелі болды. Максвелл теңдеуінің қазіргі түрін Герц жазған. 1886 ж. Герц бірінші рет фотоэффектіні бақылады.

Электрмагниттік толқынның интерференциясы мен дифракциясы. Кеңістікте екі немесе бірнеше таратқыш антеннадан таралған электрмагниттік толқындардың бір-бірімен қабаттасуы мүмкін. **Жиіліктері бірдей екі толқын қосылғанда пайда болған қорытқы толқын амплитудасының арту немесе кему құбылысын толқындардың интерференциясы дейді.**

Бірдей фазамен тербелетін екі электрмагниттік толқын кеңістіктің бір нүктесіне жеткенде пайда болатын қорытқы толқынның максимум амплитудасы мына шарт бойынша табылады:

$$\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad (3.4)$$

мұндағы $\Delta l = l_2 - l_1$ – толқындардың жол айырымы; $k = 0; 1; 2; 3; \dots$; λ – толқын ұзындығы.

Амплитуданың минимумы мына шарттан анықталады:

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (3.5)$$

Толқындардың тұзусызықты таралу бағытынан ауытқуын, яғни бөгеттерді орағытып өтуін толқынның дифракциясы деп атайды.

Бөгеттердің өлшемі электрмагниттік толқынның λ толқын ұзындығымен шамалас немесе одан кіші болғанда ғана дифракция құбылысы жақсы байқалады:
 $d \leq \lambda$.



Сұрақтар

1. Электрмагниттік толқындар қандай қасиеттерге ие?
2. Электрмагниттік толқындардың шағылуын, жұтылуын және сынуын тәжірибеде қалай бақылауға болады?
3. Электрмагниттік толқындардың поляризациясы, интерференциясы және дифракциясы деп қандай құбылыстарды айтады?
4. Қандай шарттар орындалған кезде электрмагниттік толқындардың интерференциясы мен дифракциясы байқалады?
5. Жабық тербелмелі контур ашық тербелмелі контурға айналды. Осы кезде контурдағы еркін электрмагниттік тербеліс неге тез өшеді?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

Ауада тарайтын дыбыс және электрмагниттік толқындардың ұзындықтары бірдей – 10 см. Екі толқынға сипаттама беріңдер (естіледі, естілмейді, жарық, радиотолқын және т.б.). Бірдей ұзындықтағы екі толқын неге өртүрлі қасиетке ие?

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Радиоқабылдағыштың қабылдау контурындағы шарғының индуктивтілігі 1 мкГн. Егер конденсатор 1000 м толқын ұзындықта жұмыс істейтін қабылдағыштағы сигналдың жиілігіне бапталса, оның сыйымдылығы қандай?

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$L = 1 \text{ мкГн}$	10^{-6} Гн	Қабылдағыштағы сигнал жиілігі
$\lambda = 1000 \text{ м}$		$v = \frac{c}{\lambda}$
$C = ?$		(1)

Бұл жиілік қабылдағыштың тербелмелі контурының ν_0 меншікті жиілігіне тең болуы керек:

$$\nu = \nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (2)$$

Бұл формулалардан конденсатор сыйымдылығын анықтаймыз:

$$C = \left(\frac{\lambda}{2\pi c}\right)^2 \frac{1}{L}. \quad (3)$$

$$C = \left(\frac{1000 \text{ м}}{6,28 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}\right)^2 \frac{1}{10^{-6} \text{ Гн}} \approx 0,28 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Жауабы: $C \approx 0,28 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 3.2.1. Электрмагниттік толқын энергиясының тығыздығы $4 \cdot 10^{-11} \text{ Дж/м}^3$. Сәулелену ағынының тығыздығын табыңдар. (*Жауабы:* $I = 12 \text{ мВт/м}^2$)
- 3.2.2. Алматы теледидар мұнарасынан 300 м қашықтықта электрмагниттік сәуле ағыны тығыздығының (қарқындылығының) максимал мәні 40 мВт/м^2 . Сенімді қабылдау 120 км-ден астам қашықтықта сәуле шығару ағынының тығыздығын анықтаңдар. (*Жауабы:* $0,25 \text{ мкВт/м}^2$)

В

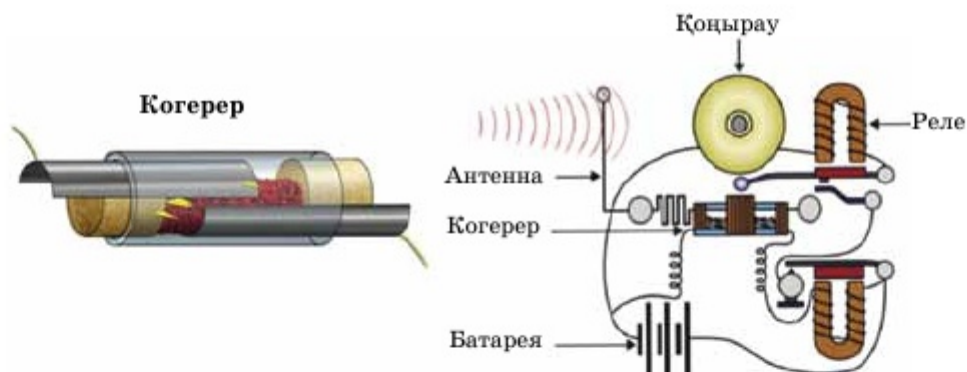
- 3.2.3. Егер шарғының индуктивтілігі мен конденсатордың сыйымдылығы 2 есе артса, тербелмелі контурдағы еркін электрмагниттік тербелістерінің периоды қалай өзгереді? (*Жауабы:* 2 есе артады)
- 3.2.4. Электрмагниттік толқын қандай да біртекті ортада $2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ жылдамдықпен тарайды. Егер электрмагниттік тербелістердің жиілігі 1 МГц болса, оның осы ортадағы толқын ұзындығы қандай болады? (*Жауабы:* 200 м)

§ 3.3

Радиобайланыс. Детекторлық радиоқабылдағыш

1. Герц тәжірибелері 1888 ж. жарияланғаннан кейін ғалымдар электрмагниттік толқындарды шығаратын және қабылдайтын құрылғыны жетілдіру жолдарын іздей бастады. Ресейде ең алғашқылардың бірі болып электрмагниттік толқындарды зерттеумен шұғылданған Кронштадтағы офицерлер курсының мұғалімі Александр Степанович Попов еді. Ол Герц тәжірибелерін жаңғыртып жасап көріп, содан кейін электрмагниттік толқындарды тіркеудің анағұрлым сенімді әрі сезгіш тәсілін тапты.

Электрмагниттік толқындарды тікелей «сезетін» тетік ретінде А.С. Попов **когерер** деп аталатын аспапты қолданды. Бұл аспап екі электроды бар шыны түтік болатын. Түтік ішінде ұсақ металл үгінділері салынған. Аспаптың қызметі электр разрядтарының металл ұнтаққа тигізетін әсеріне негізделген. Қалыпты жағдайда когерердің кедергісі үлкен, өйткені үгінділердің бір-біріне жанасу аралығы алшақ еді. Когерерге түскен электрмагниттік толқын оның ішінде жиілігі жоғары айнымалы ток туғызады. Үгінділер арасында ұсақ ұшқындар шығады да, үгінділерді пісіріп тастайды. Нәтижесінде когерердің кедергісі күрт азаяды (А.С. Поповтың тәжірибесінде 100 000 Омнан 1000–500 Омға, яғни 100–200 есе төмендейді). Аспапты сілкіп қалса, ол бұрынғы үлкен кедергісіне қайта ие болады. Сымсыз байланысты іске асыру үшін, автоматты қабылдау мақсатында А.С. Попов сигналды қабылданғаннан кейін когерерді сілкіп тұратын қоңыраулы құрылғыны пайдаланды. Электрмагниттік толқын түскен кезде оның тізбегі когерер арқылы тұйықталады. Толқынды қабылдау аяқталысымен, қоңырау жұмысы бірден тоқтатылады, өйткені қоңыраудың балғасы оның табақшасын да, когерерді де соғады. Когерерді соңғы сілкігенде аппарат жаңа толқынды қабылдауға дайын тұрады. А.С. Поповтың қабылдағышының сұлбасы 3.3.1-суретте келтірілген.



3.3.1-сурет. А.С. Попов қабылдағышының сұлбасы

Аппараттың сезгіштігін арттыру үшін А.С. Попов когерердің бір ұшын жермен жалғады, ал екіншісін жоғары шаншылған сымға қосып, тұңғыш рет **қабылдаушы антенна** жасады. Қабылдағышты жерге қосу жердің өткізгіш бетін ашық тербелмелі контурдың бір бөлігіне айналдырады да, осыдан қабылдау қашықтығы артады.

1895 жылы 7 мамырда А.С. Попов Петербургте, орыстың физика-химия қоғамының мәжілісінде әлемде тұңғыш радиоқабылдағыш болып табылатын өз аспабының қызметін көрсетті. Бұдан кейін де А.С. Попов қабылдаушы және хабар таратушы аппаратураны табандылықпен жетілдіре берді. Ол хабарларды алыс шалғайға жеткізетін аспап жасауды өзінің негізгі мақсаты деп санады.

Шетелдерде осындай аспаптарды жеткізумен итальяндық Г. Маркони ұйымдастырған фирма шұғылданды. Кеңінен жүргізілген тәжірибелер тұңғыш рет Атлант мұхиты арқылы радиотелеграфпен хабар беруді жүзеге асыруға мүмкіндік берді.

2. Радиобайланыс принципі. Радиобайланыс принципі мынадай: хабар таратушы антеннада туындаған жиілігі жоғары айнымалы электр тогы өзін қоршаған кеңістікте тез өзгертін электрмагниттік өріс туғызады да, ол электрмагниттік толқын түрінде тарайды. Қабылдаушы антеннаға жеткеннен кейін, электрмагниттік толқын оның бойында жиілігі хабарлағыш таратқан жиіліктей айнымалы ток туғызады.

Радиобайланыстың дамуындағы ең бір маңызды кезең 1913 жылы өшпейтін электрмагниттік тербелістердің генераторын жасау болды.

Электрмагниттік толқындардың көмегімен қысқа және ұзақтау импульстерден тұратын телеграф сигналдарымен қатар, сөз бен музыканы да жеткізу мүмкіндігі туды. Осылайша сенімді және жоғары сапалы *радиотелефон байланысы* іске асырылды.

Радиотелефон байланысында дыбыс толқынындағы ауа қысымының тербелісі микрофонның көмегімен дәл сондай формадағы электр тербелістеріне айналады. Бір қарағанда, егер осы тербелістерді күшейтіп антеннаға жеткізсе, электрмагниттік толқындар арқылы сөз бен музыканы алысқа жеткізуге болатын сияқты. Бірақ шынында ондай тәсілмен жеткізу іске аспайды. Мәселе мынада: дыбыс жиілігіндегі тербелістер тым баяу тербелістерге жатады, ал жиілігі төмен (дыбыстық) электрмагниттік толқындар мүлде дерлік шығарылмайды. Сондықтан *модуляция* деп аталатын тәсіл қолданылады.

Модуляция деп қандай да бір тұрақты тербелмелі процесің параметрлерін берілген заңдылыққа сәйкес уақыт бойынша өзгертуді айтады.

Модуляциялаудың мысалы ретінде тербелмелі процеске қажетті ақпаратты енгізу мақсатында белгілі бір заңдылық бойынша гармоникалық тербелістердің амплитудасын, жиілігін немесе фазасын өзгертуді айтуға болады.

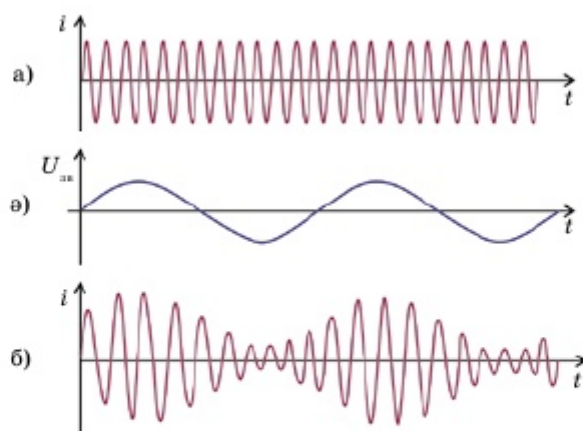
Модуляцияның қарапайым түріне жоғары жиілікті сигналды *амплитудалық модуляциялауды* жатқызуға болады.

Амплитудалық модуляция деп жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын жіберілетін дыбыс сигналының заңдылығына сәйкес өзгертуді айтады.

3.2.2-суретте үш график көрсетілген: а) жиілігі жоғары тербелістердің графигі, оны *тасушы жиілік* деп атайды; ө) дыбыс жиілігіндегі тербелістердің, яғни модуляциялайтын тербелістердің графигі; б) амплитудасы бойынша модуляцияланған тербелістердің графигі. Модуляциясыз телеграфпен де, телефонмен де, теледидармен де ешбір сигнал (хабар) таратылмайды.



Александр Степанович Попов (1859–1906) – орыс физигі, радионы ойлап тапқан. Электрмагниттік толқындардың көмегімен сымсыз байланыс жасау мүмкін деген сеніммен Попов дүниежүзінде бірінші рет өз сұлбасында сезгіш элемент когерерді қолданып, радиоқабылдағыш жасады. Радиобайланыс бойынша жасалған тәжірибелерде Поповтың аспаптарының көмегімен алғаш рет радиотолқындардың кемеден шағылуын байқаған.



3.3.2.-сурет. Тербелістердің графиктері:

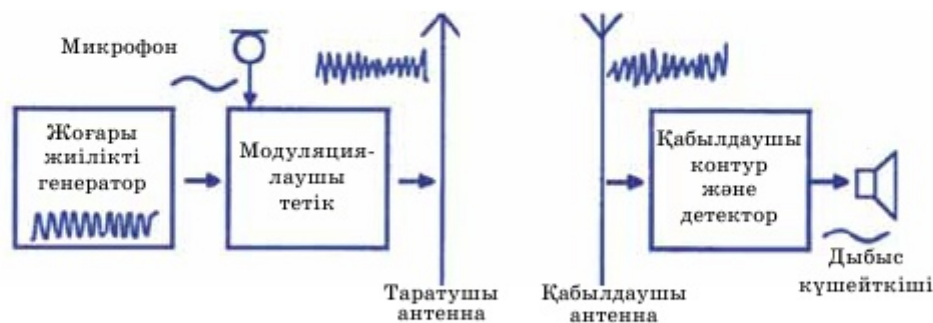
- а) жоғары жиілікті тербеліс графигі; ө) дыбыс жиілігіндегі тербелістер графигі;
б) амплитуда бойынша модуляцияланған тербелістер графигі

Жиілігі жоғары модуляцияланған сигнал қабылдағышқа түскен соң, тіпті күшейтілгеннен кейін де ол сигналдың телефон мембранасында не дыбыс күшейткіш рупорында тікелей дыбыс жиілігіндегі тербеліс туғызарлық қабілеті болмайды. Ол тек біздің құлағымыз сезбейтін жиілігі жоғары тербелістерді ғана қоздыра алады. Сондықтан қабылдағышта өуелі жиілігі жоғары модуляцияланған тербелістерден дыбыс жиілігіндегі сигналды бөліп алу керек. Ол үшін модуляцияланған тербелістерге *детекторлау* (демодуляциялау) амалы қолданылады.

Детекторлау біржақты өткізгіштігі бар элементтен – детектордан тұратын құрылғы арқылы іске асырылады. Ондай элемент қызметін электрондық шам (вакуумдық диод) немесе жартылай өткізгіштік диод атқара алады. Қабылдағышта жиілігі жоғары модуляцияланған тербелістерден жиілігі төмен тербелістерді бөліп алады.

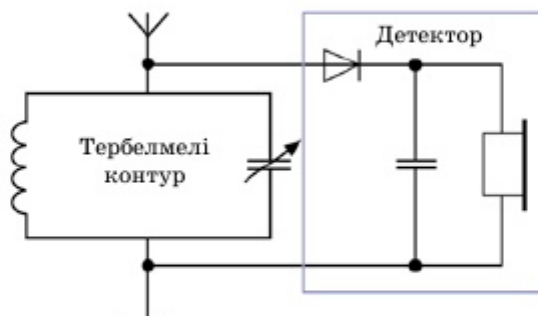
Детекторлау (демодуляциялау) деп жоғары жиіліктегі тербелістерден төменгі жиіліктегі тербелістерді бөліп алуды айтады.

Радиобайланысты жүзеге асыру жоғарыда сипатталған модуляциялау мен детекторлау принциптеріне негізделген. Радиобайланыстың негізгі принциптері 3.3.3-суреттегі блок-сұлбада көрсетілген.



3.3.3-сурет. Радиобайланыстың блок сұлбасы

Ең қарапайым радиоқабылдағыш антеннамен байланысқан тербелмелі контурдан тұрады да, ол детектордан, конденсатордан және телефоннан тұратын тізбек контурына жалғанады (3.3.4-сурет).



3.3.4-сурет. Ең қарапайым радиоқабылдағыштың сұлбасы

Тербелмелі контурда модуляцияланған тербелістерді радиотолқын қоздырады. Телефондардың шарғылары жүктеме ролін атқарады. Олар арқылы дыбыс жиілігіндей жиіліктегі ток өтеді. Жоғары жиіліктің аздаған толықсулары мембрананың тербелістеріне елеулі әсер етпейді де, құлаққа сезілмейді.

Тербелістердің *амплитудасын* немесе *жиілігін* модуляциялауға болады. Амплитудалық модуляциялауды жүзеге асыру жеңілірек.

Детекторлау кезінде айнымалы ток түзеліп, жоғары жиілікті толықсулар сүзгіде тегістеледі.

3. Радиотолқындардың таралуы. Радиобайланыс үшін радиотолқындарды пайдаланғанда радиотолқындардың көзі де, қабылдағыш та көбінесе Жер бетіне жақын орналасады. Жер бетінің пішіні және физикалық қасиеттері, сондай-ақ атмосфераның күйі радиотолқындардың таралуына күшті әсер етеді.

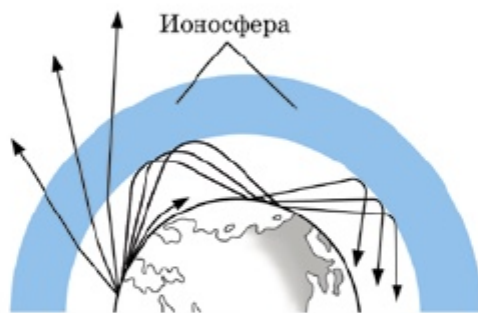
Жер бетінен 100–300 км биіктіктегі атмосфераның жоғарғы бөліктеріндегі иондалған газ қабаты радиотолқындардың таралуына елеулі ықпалын тигізеді. Мұндай қабаттарды *ионосфера* деп атайды. Атмосфераның жоғарғы қабаттарындағы ауаның иондалуын Күннен тарайтын электромагниттік толқындар мен зарядталған бөлшектер туғызады.

Ионосфера металл пластина тәрізді толқын ұзындығы $\lambda > 10$ м болатын радиотолқындарды шағылдырады. Алайда ионосфераның радиотолқындарды шағылдыру және жұту қабілеті жыл мезгілдеріне және тәулік мезгілдеріне қарай өзгеріп отырады.

Толқындардың ионосферадан шағылуы және радиотолқындардың Жердің дөңес бетін орағыта алатын қабілеті арқасында Жер бетіндегі тура көрінбейтін орындарда тиянақты радиобайланыс орнату мүмкін болды. Неғұрлым толқын ұзындығы үлкен болса, оның Жер бетінен орағытуы да соғұрлым күштірек білінеді. Тек 100 метрден едәуір артық толқын ұзындықтарында (орташа және ұзын толқындарда) ғана шалғай аралықтармен радиобайланыс жасауға болады.

Қысқа толқындар (толқын ұзындығының диапазоны 10-нан 100 м-ге дейін) ионосферадан және Жер бетінен бірнеше қайтара шағылу есебінен Жерді ай-

нала үлкен қашықтықтарға тарай алады (3.3.5-сурет). Қысқа толқындардың көмегімен Жер бетінде қалаған шалғай аралықтардағы радиостанциялар арасында радиобайланыс орнатады.



3.3.5-сурет. Қысқа толқындардың шағылуы

Ұзын радиотолқындар Жердің беткі қабаттарында және ионосферада айтарлықтай жұтылатындықтан, бұл мақсат үшін жарамсыз. Алайда шектеулі қашықтықтарда таратушы радиостанцияның қуаты күшті болғанда бөрінен де сенімді радиобайланыс ұзын толқындармен қамтамасыз етіледі.

Ультрақысқа толқындар ($\lambda < 10$ м) ионосферадан өрі өтіп кетеді де, Жер бетін орағытып тарай алмайды. Сондықтан олар тікелей көріну шегінде жатқан орындар арасында радиобайланыс жасау үшін, сондай-ақ ғарыш кемелерімен байланыс жасау үшін қолайлы.

Сонымен, радиотолқындардың таралуы олардың толқын ұзындығына байланысты өзгеріп отырады. Қысқа толқындар ($\lambda \sim 10$ м – 100 м) ионосферадан және Жер бетінен бірнеше қайтара шағылады. Ұзын толқындар ($\lambda > 100$ м) Жер бетін бойлай «сырғанады». Ультрақысқа толқындар ($\lambda < 10$ м) ионосфераны тесіп өтеді.

4. Радиолокация. Заманауи техникада түрлі бөгеттерден радиотолқындардың шағылу құбылысы кең қолданылады. Толқын сезгіш қабылдағыштар шағылған сигналды ұстайды және күшейтеді. Осылайша, оның қай жерде екені туралы ақпарат алынады.

Радиотолқындар арқылы объектіні тауып, оның тұрған орнын дәл анықтау радиолокация деп аталады.

Радиолокациялық қондырғы – радиолокатор (немесе радар) – таратушы және қабылдаушы бөліктерден тұрады. Радиолокацияда аса жоғары жиілікті (10^8 – 10^{11} Гц) электр тербелістері пайдаланылады. Қуатты, аса жоғары жиілікті генератор сүйірлене бағытталған өткір толқын шығаратын антеннамен байланысқан. 10 см-ге шамалас және одан кіші толқын ұзындығымен жұмыс істейтін радиолокаторларда мұндай толқынды параболалық айна түріндегі антенналар шығарады. Метрлік диапазондағы толқындарға арналған антенналар күрделі вибраторлар жүйесі түрінде жасалады. Мұндай жағдайда өткір сәулеленулер толқындардың қосылуы арқылы алынады. Осыған орай арнайы жасалған антенна вибраторлардан өзіне түскен толқындарды тек берілген бағыт үшін ғана қосып күшейтеді. Өзге бағыттарда толқындар қосылғанда өзара бірін-бірі түгелдей немесе жартылай өшіреді.

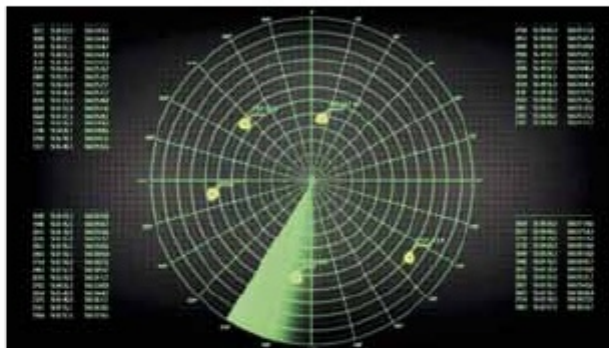
Объектіден шағылған толқынды толқын шығарушы антеннаның өзі, не басқа қабылдағыш (бұл да сүйірлене бағытталған) антенна ұстайды. Радиолокатор шығаратын өткір толқынның бағыты айқын болғандықтан, оны радиолокатор «сәулесі» деп айтуымызға болады. Объектіні көздеген бағыт одан шағылған сәуленің бағыты ретінде анықталады.

Объектіге дейінгі қашықтықты анықтауда сәуле шығарудың импульстік тәртібі қолданылады. Хабарлағыш толқындарды қысқамерзімді импульстермен шығарады. Өрбір импульстің ұзақтығы секундтың миллиондық үлесіндей, ал импульстің аралықтары бұл уақыттан шамамен 1000 еседей үлкен. Осындай аралықтағы тыныштықта объектіден шағылған толқындар қабылданады.

Объектіге дейінгі R арақашықтықты радиотолқынның оған дейін және кері жүріп өтуіне кеткен жалпы t уақытты өлшеу арқылы $R = \frac{ct}{2}$ өрнегі бойынша анықтайды. Мұндағы радиотолқындардың атмосферада таралу жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Радиотолқындардың шашырауы салдарынан таратқыш энергиясының болымсыз аз бөлігі ғана қабылдағышқа келіп жетеді. Түскен сигналдарды радиолокаторлардың қабылдағыштары миллион-миллион есе (10^{12}) күшейтеді. Мұндай өте сезгіш қабылдағыш, әлбетте, хабарлағыш импульстерді жіберіп тұрған уақытта ажыратылуы қажет.

Жіберілген және шағылған сигналдарды тіркеу үшін *электронды-сәулелік түтік* қолданылады. Импульсті жіберген сәтте экранында бірқалыпты қозғалған нүктелік жарық ауытқиды да, экранда қашықтық шкаласының нөлінші бөлігінің маңында шарпу пайда болады (3.3.6-сурет). Бұдан кейін экран бетіндегі жарқырауық дақ шкала бойымен бірқалыпты жүріп отырады да, шағылған бәсең сигнал түскен мезетте тағы да шарпу пайда болып, ауытқып кетеді. Экрандағы шарпулар арасындағы қашықтық сигналдың t жүріп өту уақытына, демек, объектіге дейінгі R арақашықтыққа пропорционал болады. Мұндай пропорционалдық шкаланы тікелей километрмен градуирлеуге мүмкіндік береді.



3.3.6-сурет. Радиолокациялық қондырғының экраны

Радиолокациялық қондырғылар бірнеше жүз километрге дейінгі қашықтықтағы кемелер мен ұшақтарды бақылай алады. Олардың жұмысына ауа райы мен тәулік мезгілдерінің жағдайы онша әсер ете қоймайды. Үлкен өуежайларда

көтерілетін және қонуға бет алған ұшақтарды локаторлар бақылап отырады. Жер бетіндегі радиолокациялық қондырғылар (3.3.7-сурет) жәрдеммен ұшқыштарға радио арқылы тиісті нұсқаулар жеткізіледі де, соның арқасында ұшу қауіпсіздігі қамтамасыз етіледі.



3.3.7-сурет. Жер бетіндегі радиолокациялық қызмет

Кемелер мен ұшақтар да навигациялық мақсаттар үшін қызмет ететін радиолокаторлармен жабдықталады. Ондай локаторлар радиотолқындарды шашырататын объектілердің қалай орналасқанын экранда көрсетеді. Жер бетінің радиолокациялық картасы оператордың көз алдында тұрады.

Қазіргі кезде радиолокация күннен-күнге әрқилы мақсаттар үшін қолданылып келеді. Локаторлардың көмегімен атмосфераның жоғарғы қабаттарындағы метеорларды бақылайды. Бұлттарды да бақылау үшін ауа райы қызметінде локаторлар пайдаланылады. Ақыр соңында локаторлар ғарыштық зерттеулерде де қолданылады. Әрбір ғарыш кемесінің бортында міндетті түрде бірнеше радиолокатор орналастырылады. АҚШ-та және Венгрияда 1946 жылы Ай бетінен шағылған сигналды қабылдау эксперименті іске асырылды. 1961 жылы бұрынғы кеңестік ғалымдар радиолокация арқылы Шолпан планетасының өз осінен айналу периодына нақтылай түсуге мүмкіндік алды. Қазіргі кезде Күн жүйесінің планеталарына да радиолокациялық жұмыстар жүргізіліп жатыр.

Радиолокаторлар ұшақтар мен кемелердің орнын анықтауға, ауа райы қызметінде, планеталарды зерттеуге және т.с.с. пайдаланылады.

Қазақстан мен Франция Алматы облысында 2017 жылдың 28 сәуірінде үш координаталы радиолокациялық станцияларды шығаратын «Groud Master 400» (қазақстандық индексі – «НҰР») бірлескен зауыт ашты. Қазақстанда шығарылатын радиолокациялық техника өзінің тактикалық сипаттамасы бойынша әлемдегі ең үздіктердің бірі болып табылады, ол радиолокациялық барлауға және әуе кеңістігін бақылауға арналған.



Сұрақтар

1. Бірінші рет радиобайланыс қашан жүзеге асты? Радионы ең алғаш кім ойлап тапты?
2. Радиобайланыс қандай принциптердің негізінде жүзеге асады?
3. Амплитудалық модуляцияның физикалық мағынасы нені білдіреді?
4. Электрмагниттік тербелістерді детекторлау не үшін қажет? Физикалық көзқарас тұрғысынан детекторлау қалай жүзеге асады?

5. Қарапайым радиоқабылдағыштың сұлбасы қандай? Осы сұлбаның негізінде радиоқабылдағыштың жұмысын қалай түсіндіруге болады?
6. Толқын ұзындықтары өртүрлі радиотолқындардың Жер бетінде және оның төңірегінде таралу ерекшеліктері қандай?
7. Радиолокацияның жұмыс істеу принципі радиотолқындардың қандай қасиеттеріне негізделген? Радиолокация қайда және қандай мақсаттар үшін қолданылады?



Тапсырма (шығармашылық талдау)

Инфографика арқылы «Радио тарихы» тақырыбына баяндама даярлаңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Жиілігі 2000 Гц дыбыс тербелісінің бір периодына тең уақытта толқын ұзындығы 300 м болатын электрмагниттік толқын қанша тербеліс жасайды?

Берілгені:

$$\lambda_{\text{д}} = 300 \text{ м}$$

$$\nu_{\text{д}} = 2000 \text{ Гц}$$

$$N = ?$$

Шешуі:

Электрмагниттік толқынның периоды

$$T_{\text{д}} = \frac{\lambda_{\text{эл}}}{c},$$

мұндағы $\lambda_{\text{эл}}$ – электрмагниттік толқын ұзындығы.

Дыбыс толқынының периоды:

$$T_{\text{д}} = \frac{1}{\nu_{\text{д}}},$$

мұндағы $\nu_{\text{д}}$ – дыбыс тербелісінің жиілігі.

Осы формулалардан дыбыс тербелісі периодындағы электрмагниттік тербелістер санын табамыз:

$$N = \frac{T_{\text{д}}}{T_{\text{эл}}} = \frac{c}{\lambda_{\text{эл}} \nu_{\text{д}}}.$$

$$N = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{300 \text{ м} \cdot 2000 \text{ Гц}} = 500.$$

Жауабы: $N = 500$.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 3.3.1. Жер бетіндегі радиолокатор жіберген сигнал ұшақтан шағылған соң $2,0 \cdot 10^{-4}$ с қайта оралса, ұшаққа дейінгі қашықтық қандай? (*Жауабы:* 30 км)
- 3.3.2. Радиолокатор сигналы объектіден шығып, $3 \cdot 10^{-4}$ с уақытта қайта оралды. Объектіге дейінгі қашықтық қандай? (*Жауабы:* 45 км)

В

- 3.3.3. Ұзындығы 30 м толқында жұмыс істейтін радиохабар таратқыштың периоды мен жиілігі қандай болады? (*Жауабы:* 10^{-7} с; 10 МГц)

3.3.4. Радиохабар таратқыштың электр тербелісінің периоды 10^{-6} с тең болса, онда толқынының жиілігі мен ұзындығы қандай болады?

(Жауабы: 1 МГц; 300 м)

§ 3.4

Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер. Байланыс арналары

1. *Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ)* деп кіретін аналогты сигналды цифрлық сигналға, яғни «дискретті код» түріне түрлендіретін құрылғыны айтады. Әдетте, АЦТ кернеуді екілік цифрлық кодқа түрлендіретін электрондық құрылғы болып табылады. Сигналды кері түрлендіру *цифрлық-аналогтық түрлендіргіш (ЦАТ)* көмегімен жүзеге асырылады.

Радиотолқындар тек дыбысты ғана емес, сонымен бірге кескіндерді де қашықтыққа жеткізу үшін (теледидар) пайдаланылады.

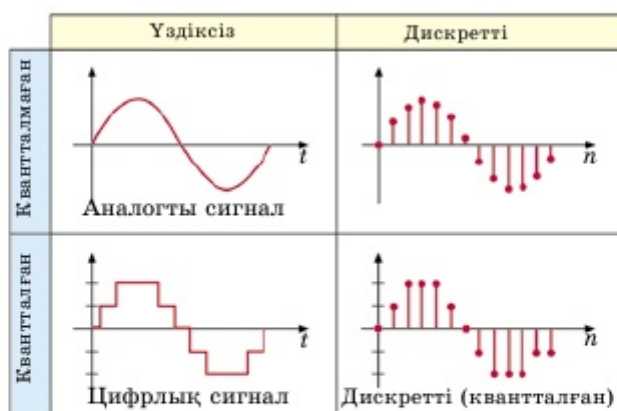
Кескіндерді қашықтыққа жеткізу принципін қарастырайық. Таратушы станцияда кескін тізбекті электр сигналдарына түрленеді. Содан кейін ол сигналдар жиілігі жоғары генератор өндіріп шығаратын тербелістерді модуляциялайды. Модуляцияланған электрмагниттік толқын хабарды алысқа жеткізеді. Жеткізілген жиілігі жоғары модуляцияланған тербелістер детекторланады да, көрінетін кескінге түрлендіріледі. Қозғалысты жеткізу үшін киноға түсіру принципін пайдаланады: бір-бірінен сәл ғана өзгеше қозғалыстағы кескінді (кадрды) бір секундта ондаған рет береді (теледидарда 50 рет).

Телевизиялық радиосигналдар тек ультрақысқа (метрлік) толқын диапазонында ғана жіберіледі. Осындай толқындар әдетте антеннаның тікелей көру шегінде ғана тарайды. Сондықтан телевизиялық хабармен үлкен аумақты қамту үшін телехабар таратқыштарды жиірек орналастыру және олардың антенналарын жоғарырақ көтеру керек. Қазақстандағы ең биік Алматы (Көктөбе) телемұнарасының биіктігі 372 м. Қазіргі кезде елімізде бірнеше мың хабар таратушы станциялар жұмыс істейді, олардың хабарларын 10 миллиондай телевизиялық қабылдағыштар (теледидарлар) қабылдайды. Телевизиялық қабылдаудың сенімді аймағы, әсіресе ретрансляциялық Жер серіктерін пайдалану нәтижесінде үздіксіз арта түсуде.

2. Бейнелерді жеткізуде және қабылдауда *аналогты-цифрлық түрлендіргіштерде арнайы сигналдар* қолданылады (3.4.1-сурет).

Аналогты сигнал деп берілген әрбір параметрі уақыттың функциясы ретінде мүмкін мәндердің үзіліссіз жиыны түрінде сипатталатын сигналды айтады.

Аналогты сигналдар үздіксіз өзгертін физикалық шамаларды көрсету үшін жиі қолданылады. Мысалы, термопарадан алынатын аналогты электр сигналы температураның өзгеруі туралы ақпаратты жеткізеді, ал микрофоннан алынған сигнал дыбыстық толқындағы қысымның тез өзгеруін көрсетеді.



3.4.1-сурет. Сигнал түрлері

Аналогты теледидар – телехабар таратудың бір түрі. Кейбір елдерде аналогты эфирлік теледидар цифрлық теледидармен ауыстырылды.

Дискретті сигнал (лат. *discretus* – «үзiк», «бөлінген») деп мүмкін мәндер тізімінен кез келген мәнді алатын және уақытқа байланысты үзіліссіз (аналогтыдан айырмашылығы) өзгеріп отыратын сигналды айтады. Ықтимал мәндер тізімі үздіксіз немесе кванттық болуы мүмкін.

Дискретті және цифрлық сигналдар түсініктерінің арасында шатасу бар. Цифрлық сигнал дискретті деп жиі аталады, себебі ол дискретті (жеке) бөліктерден (*samples*) тұрады, цифрлық сигнал үзiк сигнал болып табылмайды. Дискреттілік пакеттік деректер беру үшін есептеу техникасында қолданылады.

Цифрлық сигнал – дискретті (цифрлық) мәндер тізбегі түрінде көрсетуге болатын сигнал. Қазіргі уақытта екілік цифрлық сигналдар (биттік ағын) кодтауының қарапайымдылығына және екілік электроникада қолдануға байланысты кең таралған. Цифрлық сигналды аналогты арналар (мысалы, электр немесе радио-арналар) арқылы беру үшін манипуляцияның өртүрі пайдаланылады.

Цифрлық сигналдың қазіргі заманғы байланыс жүйелерінде үстемдігі басым, өйткені оның мұндай маңызды қасиеті ретрансляторда толығымен регенерация жасай алатын қабілетіне орай туындайды. Шынында да, қайталағышқа аздаған шуыл араласқан сигнал келіп түскенде оны бөгде шуылдардан толық тазартып, қайтадан цифрлық сигналға түрлендіріледі. Ал аналогты сигнал оған түскен шумен бірге ғана күшейтіледі.

Екінші жағынан, егер цифрлық сигнал түсініксіз үлкен бөгеуілдермен келсе, оны қалпына келтіру мүмкін емес, ал бұрмалаған аналогты сигналдан қиын болса да, ақпараттың бір бөлігін алуға болады. Егер аналогты форматтың (AMPS, NMT) ұялы байланысын цифрлық (GSM, CDMA) байланыспен салыстырсақ, соңғыларында бөгеуілдер болған кезде, кейде бүкіл сөз сөйленбей шығады, ал аналогты желіде бөгеуілдер болса да сөйлесуді жүргізуге болады.

Бұндай жағдайдан шығу үшін цифрлық сигналды қайыра регенерациялайды, ол үшін байланыс желісінің үзілісіне қалпына келтіру генераторларын (регенераторды) орнатуды немесе байланыс жолының ұзындығын азайту арқылы жүзеге асырылады (мысалы, ұялы телефоннан базалық станциялардың жерге жиі орна-

ласуы арқылы қол жеткізілетін базалық станцияға дейінгі қашықтықты азайту арқылы).

Цифрлық жүйелерде цифрлық ақпаратты қалпына келтіру және тексеру алгоритмдерін пайдалану ақпарат берудің сенімділігін едәуір арттырады.

Аналогты және цифрлық сигнал арасындағы негізгі айырмашылық берілетін сигналдың құрылымында болады. Аналогты сигналдар амплитудасы мен жиілігі өзгереді, үздіксіз тербеліс ағыны болып табылады. Цифрлық сигнал мәндері таратушы ортаға тәуелді дискретті тербелістер болып табылады.



Сұрақтар

1. Кескіндерді (бейнесигналдарды) жеткізу және қабылдау қалай жүзеге асырылады? Ол үшін қандай түрлендіргіштер қолданылады?
2. Дыбыс пен кескінді жеткізу және қабылдау үшін қандай арнайы сигналдар қолданылады? Олардың ерекшеліктері қандай?
3. Сигналдарды алысқа жеткізіп, қабылдау сапасын арттыру үшін қандай қадамдар жасау қажет?

§ 3.5

Байланыс құралдарының дамуы

1. Қазіргі уақытта үнемі дамып және жетілдіріліп жатқан өртүрлі **байланыс құралдары бар**. *Байланыс – елдің экономикалық жүйесіндегі маңызды буын, адамдардың қарым-қатынас жасау тәсілі; олардың өндірістік, рухани, мәдени және әлеуметтік қажеттіліктерін қанағаттандыру құралы болып табылады.*

Байланыс құралдарын дамытудың негізгі бағыттарына мыналар жатады: 1) радиобайланыс; 2) телефон байланысы; 3) телевизиялық байланыс; 4) ұялы байланыс; 5) интернет; 6) ғарыштық байланыс; 7) фототелеграф (факс); 8) бейнетелефон байланысы; 9) телеграфтық байланыс.

Радиобайланыс – өткізгіш сымдардың көмегісіз кеңістікте тарайтын радиотолқындар арқылы ақпараттарды жеткізу және қабылдау.

Радиобайланыс түрлері: 1) радиотелеграф; 2) радиобайланыс; 3) радиохабар; 4) теледидар.

2014 жылы 28 сәуір күні «Байқоңыр» ғарышайлағынан «KazSat-3» ұлттық байланыс және хабар тарататын Жер серігі ұшырылды.

«KazSat-3» серігін пайдалануға беру Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық дамуының маңызды кезеңі болды. Меншікті ұлттық байланыс және хабар тарату серіктері бар елдер өздерінің байланыс арналарына деген қажеттілігін қанағаттандырады, елдің ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, мемлекет аумағында «цифрлық теңсіздікті» жояды.

2016 жылы Қазақстан Республикасының телеоператорларының шетелдік хабар тарататын серіктерден ұлттық хабар тарататын жерсеріктік байланысқа ауысуы толық аяқталды.

Бүгінгі күні «KazSat-3» серігінің базасында Қазақстан Республикасының барлық аумағында HD, DTH, IPTV форматтарында цифрлық теле және радиохабарларын тарату қамтамасыз етілген.

Қазақстан Республикасының аумағында теле және радиохабарларын таратушы ұлттық операторы – «Қазтелерадио» АҚ «ОТАУ TV» теле және радиохабарлар бағдарламаларының пакетін отандық Жер серіктері арқылы таратады.

Қазақстандағы тіркелген телефон байланысы мен деректерді берудің ұлттық желісінің ірі операторы – «Қазақтелеком» ұлттық компаниясы болып табылады. Компания интернетке кең аумақта қол жеткізуде, интерактивті теледидар, ұялы байланыс, телеграф, жергілікті және қашықтан телефон байланыс қызметтерін ұсынады.

Caspio HD операторы өзінің бағдарламалар пакетін HD форматында «KazSat-3» технологиялық платформасын пайдалану арқылы республиканың кез келген нүктесіне таратады.

HEVC форматында хабар таратушы «Алма ТВ» операторы «KazSat-3» ресурстарын пайдаланады. Бұл формат арналар санын көбейтуге, тарататын хабардың суреттерінің сапасы мен ашық-қанықтығын жақсартуға, солармен қатар HD және Ultra HD (4K) арналарын таратуға мүмкіндік береді.

«KazSat-3» серігін құрастыру барысында аппараттың берілген сипаттамаларын және қажетті сенімділік деңгейін сақтауға мүмкіндік беретін заманауи техникалық шешімдер пайдаланылды (3.5.1-сурет).



3.5.1-сурет. Қазақстанның Жер серігі

2. Жоғары жылдамдықты интернет заманауи байланыс құралдарында кеңінен қолданыс табуда. Кеңжолақты немесе жоғары жылдамдықтағы интернетке қол жеткізу өртүрлі типтегі сымды, талшықты-оптикалық және сымсыз байланыс желілерін қолдану арқылы жүзеге асады.

Интернет желісіне қосылудың әр түрі бар. Солардың бірі – телефон желісі арқылы модемдік қосылу. Қосуды баптау үшін үй телефоны және желіге қол жеткізуді қамтамасыз ете алатын қуатты жабдықтары бар байланыс операторы болуы керек.

Коммутацияланатын байланыстың ыңғайсыздығы сол, ол тек қоңырау шалған желі арқылы ғана жүзеге асады. Сондықтан интернет пен телефонды бір уақытта пайдалану мүмкін емес. Сонымен қатар мұндай қосылу желіге 56 Кбит/с дейінгі төмен жылдамдықпен шығуға мүмкіндік береді. Төмен жылдамдықтағы қосылыста файлдарды көшіру бірнеше аптаға созылады.



3.5.2-сурет. Асимметриялық цифрлық абоненттік желі арқылы қосылу

Модем қосылысының тағы бір түрі **ADSL** деп аталады. Ол үшін де телефон желісі талап етіледі, бірақ цифрлық модем бір мезгілде телефон шалуға да, желіге шығуға да мүмкіндік береді. Интернет желісіне қосылудың мұндай типінде, жоғарыда сипатталған қосылысқа қарағанда, желінің өткізу қабілеті жоғары болады. Мысалы, ол абонентке орташа алғанда 24 Мбит/с-ке дейінгі жылдамдықпен желіге қол жеткізуді қамтамасыз етеді. Желідегі жүктеме асимметриялы түрде бөлінеді – кірістік қосылу шығысқа қарағанда жылдамырақ өтеді (жылдамдығы 1,4 Мбит/с) (3.5.2-сурет). Осыған байланысты файлдарды серверге жүктеу ұзағырақ болады.



3.5.3-сурет. Кабельді теледидар арқылы қосылу

DOCSIS стандартымен ақпаратты жеткізу түрі – теледидар кабелі арқылы қамтамасыз етіледі. Мұндай байланыс үйде интернет-провайдер болмаған жағдайда қолданылады. Оның көмегімен 27-ден 50 Мбит/с жылдамдық алынады. Оған қол жеткізу үшін үйде кабельді теледидар және арнайы модем болуы қажет (3.5.3-сурет).



3.5.4-сурет. Ethernet кабелі арқылы кіру

Ethernet – компьютерді желіге тікелей немесе Wi-Fi маршрутизаторы арқылы қосу үшін қолданылады (3.5.4-сурет). Мұндай арнаның өткізу қабілеті ADSL-мен немесе теледидар кабелімен салыстырғанда жоғары. 50 Мбит/с жылдамдықпен екі бағытта – компьютерден серверге және керісінше жеткізеді. Оған абоненттің үйіндегі кеңжамақты интернет арқылы ғана қосылады.



3.5.5-сурет. GPON арқылы қосылу

GPON – жеке талшықты-оптикалық желі арқылы қосылуды орнатуға арналған технология (3.5.5-сурет). Бұл провайдердің жабдықтарынан тікелей абоненттің пәтеріне дейін жүргізіледі. Желілік қосылуды орнатудың бұл түрі деректердің 1 Гб/с дейінгі максималды жылдамдығын қамтамасыз етеді. Қосылу үшін кабельді абоненттің пәтеріне дейін созып, оптикалық модем орнату керек.

Талшықты және есілген жұпты қосылыстар GPON-ға қарағанда жиі кездеседі. Сонымен қатар оптикалық кабель көпқабатты үйге тартылады, ал интернет абоненттері үшін есілген жұп кабельдер қолданылады. Мұндай арнаның өткізу қабілеті төмен.



3.5.6-сурет. Антенна арқылы интернетке қол жеткізуді орнату

Бұл топқа *радио, ұялы, жерсеріктік* интернет жатады. Аталған арналар арқылы байланысты реттеу үшін антенналар қажет (3.5.6-сурет).

Радиоинтернет провайдер қамтамасыз ететін кіру нүктесі арқылы жұмыс істейді. Одан сигнал белгілі бір радиусқа таратылады және абонент жабдықтарына пәтерде орнатылған антенна арқылы түседі. Одан әрі модемнің көмегімен сигнал компьютерге түседі. Егер кіру нүктесі алыс болса, сигнал тым әлсіз болуы мүмкін. Мұндай жағдайда антеннадан басқа сигнал күшейткіштерін қолданады.

Ұялы байланыс ұялы телефондарда немесе USB модемдерде орнатылған антенналар арқылы жұмыс істейді, қосымша жабдық қажет емес. Интернетке қосылудың бұл түрі қолжетімді, бірақ бөлінген желі бойынша сымды қосылысқа қарағанда өткізу қабілеті төмен.

Жерсеріктік байланыс Жер серігіне бағытталған көше антенналары арқылы орнатылады. Үлкен қашықтықтарға байланысты сигнал кідіріспен түседі. Байланыстың басқа кемшіліктеріне қосылу жылдамдығының жоғары еместігі, ауа райына тәуелділігі, жабдықтың және абоненттік төлемнің құнының жоғары болуы жатады. Алайда кейбір жерлерде мұндай байланыс жалғыз қолжетімді байланыс арнасы болып табылады (3.5.7-сурет).



3.5.7-сурет. Жерсеріктік интернет антеннасы

Ұялы телефон — ұялы байланыс желілерінде жұмыс істеуге арналған телефон; ұялы желінің қамту аймағында телефон байланысын жүзеге асыру үшін радио-қабылдағыш таратқышты және дәстүрлі телефон коммутациясын пайдаланады.

Ұялы телефондар – сымсыз құрылғылар (3.5.8-сурет). Бұл олардың ешқандай бекітілген электр желісіне қосылмағандығын білдіреді. Мұның қалай жұмыс істейтінін түсіну үшін радиобайланыстың жұмысын білу қажет, өйткені ұялы телефондар радиобағдарларының жиілігінде жұмыс істейді.



3.5.8-сурет. Ұялы телефондар



Сұрақтар

1. Байланыс құралдарын дамытудың негізгі бағыттары қандай?
2. Радиобайланыс дегеніміз не? Радиобайланыстардың қандай түрлерін білесіңдер?
3. «KazSat-3» ұлттық хабар тарататын жерсеріктік байланыс қашан ашылды?
4. «KazSat-3» базасында цифрлық хабар тарату қандай форматта жүзеге асады?
5. Интернет байланысының түрлері қандай?

6. Ұялы байланыс түрлері қандай? Ұялы телефонның жұмыс істеу ерекшеліктері қандай?



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Жұмыс істеп тұрған қалта радиоқабылдағышын шелекке салып, қақпағын жабыңдар. Дыбыс өшеді. Неге?

III ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Электрмагниттік толқын** деп кеңістікте шекті жылдамдықпен тарайтын электрмагниттік тербелістерді айтады.

- **Электрмагниттік толқындардың интерференциясы** деп жиіліктері бірдей екі толқын қосылғанда пайда болған қорытқы толқын амплитудасының артуы мен кему құбылысын айтады.

- **Интерференцияның максимум шарты:** $\Delta l = k\lambda$; ($k = 0, 1, 2, \dots$).

- **Интерференцияның минимум шарты:** $\Delta l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$; ($k = 0, 1, 2, \dots$).

- **Электрмагниттік толқындардың дифракциясы** деп толқындардың түзусызықты таралу бағытынан ауытқуын, яғни бөгеттерді орағытып өтуін айтады.

- **Дифракцияның пайда болу шарты:** $d \leq \lambda$.

- **Электрмагниттік сәулелену ағынының тығыздығы** деп сәулелерге перпендикуляр ауданы S беттен Δt уақыт ішінде өтетін ΔW электрмагниттік энергияның осы S аудан мен Δt уақыттың көбейтіндісіне қатынасын айтады:

$$I = \frac{\Delta W}{S\Delta t}.$$

- **Сәулелену ағынының тығыздығы** электрмагниттік энергияның w тығыздығы мен оның c таралу жылдамдығының көбейтіндісіне тең:

$$I = \frac{wc\Delta tS}{S\Delta t} = wc.$$

- **Модуляция** деп қандай да бір тұрақты тербелмелі процестің параметрлерін берілген заңдылыққа сәйкес уақыт бойынша өзгертуді айтады.

- **Амплитудалық модуляция** деп жоғары жиілікті тербелістердің амплитудасын жіберілетін дыбыс сигналының заңдылығына сәйкес өзгертуді айтады.

- **Детекторлау** деп жоғары жиілікті тербелістерден төменгі жиіліктегі тербелістерді бөліп алуды айтады.

- Радиотолқындар арқылы объектіні тауып, оның тұрған орнын дәл анықтау **радиолокация** деп аталады.




- **Радиобайланыс** – кеңістікте өткізгіш сымдардың көмегісіз таралатын радиотолқындар арқылы ақпаратты жеткізу және қабылдау.

- **Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер** деп кіретін аналогтық сигналды цифрлық сигналға, яғни «дискретті кодқа» түрлендіретін құрылғыны айтады.

4-тарау

ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  жарық толқындарының интерференциясы мен дифракциясын бақылау үшін қажетті шарттарды сипаттау;
-  толқын ұзындығын анықтау үшін дифракциялық торды қолдану;
-  жарық поляризациясын эксперименттік түрде зерттеу.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
жарық интерференциясы	интерференция света	interference of light
жарықтың когеренттілігі	когерентность света	coherence of light
интерференциялық көрініс	интерференционная картина	interference pattern
жарық дифракциясы	дифракция света	diffraction of light
дифракциялық тор	дифракционная решетка	diffraction grating
тор тұрақтысы (периоды)	постоянная решетки (период)	lattice constant (period)
табиғи жарық	естественный свет	natural light
поляризацияланған жарық	поляризованный свет	polarized light

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген оқу бағдарламалық мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «жарық интерференциясы», «жарық когеренттілігі», «интерференциялық көрініс», «жарық дифракциясы», «дифракциялық тор», «тор тұрақтысы (периоды)», «табиғи жарық», «поляризацияланған жарық».

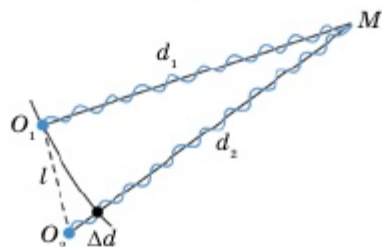
§ 4.1

Жарық интерференциясы. Жарық дифракциясы

1. Жарық — электромагниттік толқын. Жарықтың электромагниттік толқындық табиғаты *интерференция, дифракция және поляризация* сияқты құбылыстарда көрініс тапты.

Жарықтың интерференция және дифракция құбылыстарымен танысу үшін алдымен толқындардың интерференциясы туралы деректерді еске түсірейік (3-тарау).

Толқындар интерференциясының пайда болу шарттарын қарастырайық. Ол үшін механикалық және электромагниттік тербелістердің ұқсастығына сүйеніп, су бетінде пайда болатын толқындардың қосылуын (суперпозициясын) толығырақ зерделейік. Су бетіндегі кез келген M нүктеде O_1 және O_2 көздерінен тараған екі

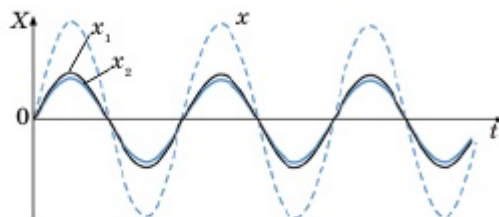


4.1.1-сурет.

Екі толқынның қосылуы

толқын қосылсын делік (4.1.1-сурет).

M нүктесінде толқындардың қосылу нәтижесі олардың фазаларының айырымына тәуелді өзгереді. Өртүрлі d_1 және d_2 қашықтықты жүріп өткенде толқындардың $\Delta d = d_2 - d_1$ жол айырымы пайда болады. Егер Δd жол айырымы λ толқын ұзындығына тең болса, онда біріншісіне қарағанда екінші толқын тура бір периодқа кешігеді (бір период ішінде толқын өзінің толқын ұзындығына тең жол жүреді). Сондықтан бұл жағдайда екі толқынның да жалдары (ойыстары) дәл келеді.

4.1.2-сурет. Бірдей фазадағы екі толқынның интерференциясы $A_x = A_{x_1} + A_{x_2} = A_{max}$

Максимумдар шарты. 4.1.2-суретте $\Delta d = \lambda$ болғандағы екі толқын туғызған x_1 және x_2 ауытқулардың уақытқа тәуелділігі кескінделген. Тербелістер фазаларының айырымы нөлге тең (немесе 2π , өйткені синустың периоды 2π -ге тең). Осы тербелістерді қосу нәтижесінде амплитудасы екі еселенген қорытқы тербеліс пайда болады. Орын ауыстырудың x қорытқы тербелістері суретте үзік штрихталған

сызықтармен көрсетілген. Егер Δd кесіндіге бір емес, толқын ұзындықтарының кез келген бүтін саны сәйкес келгенде де дәл сондай өсу орын алады, яғни бұл екі толқынның қосылуы кезіндегі қорытқы тербеліс амплитудасының максимум шартын анықтайды. Ендеше, қосылған толқындар интерференциясының максимум шарты туралы төменде келтірілген қорытындыны жасай аламыз.

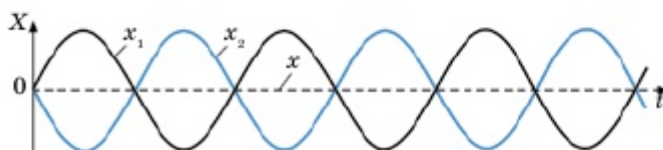
Егер ортаның берілген нүктесінде қосылған екі толқынның жүріп өткен жол айырымы бүтін санды толқын ұзындығына тең болса, онда осы нүктедегі қорытқы тербелістің амплитудасы максимал болады:

$$\Delta d = \pm k\lambda, \quad (4.1)$$

мұндағы $k = 0, 1, 2, \dots$.

Минимумдар шарты. Енді Δd кесіндісіне жарты толқын ұзындығы сәйкес келгенде не болатынын көрейік. Бұл жағдайда екінші толқын біріншіге қарағанда жарты периодқа кешігетіні түсінікті. Олай болса фазалар айырымы π -ге тең, яғни тербелістер қарама-қарсы фазада өтеді (4.1.3-сурет). Осы тербелістердің қосылуы нәтижесінде қорытқы x тербелістің амплитудасы нөлге тең де, қарастырып отырған нүктеде тербеліс байқалмайды (4.1.3-сурет, үзік сызықтар). Дәл осындай құбылыс Δd кесіндіге кез келген тақ санды жарты толқындар сыйғанда да орын алады, ендеше бұл екі толқынның қосылуы кезіндегі қорытқы тербеліс амплитудасының минимум шартын анықтайды.

Егер ортаның берілген нүктесінде қосылған екі толқынның жүріп өткен жолдарының айырымы тақ санды жарты толқынға тең болса, онда сол нүктедегі қорытқы тербеліс амплитудасы минимал болады:



4.1.3-сурет. Қарсы фазадағы екі толқынның интерференциясы: $A_x = A_{x_1} - A_{x_2} = A_{\text{нәтижесі}} = 0$

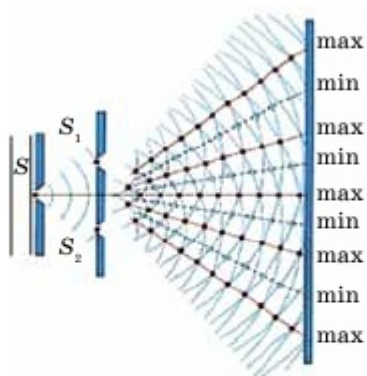
$$\Delta d = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (4.2)$$

Егер $\Delta d = (d_2 - d_1)$ жол айырымы λ мен $\frac{\lambda}{2}$ арасындағы бір аралық мәнді қабылдаса, қорытқы тербеліс амплитудасы да екі еселенген амплитуда мен нөл арасындағы аралық мәнді қабылдайды. Бірақ ең маңыздысы: кез келген нүктеде тербеліс амплитудасы уақыт өтуімен өзгермейді, нәтижесінде **интерференциялық көрініс** байқалады.

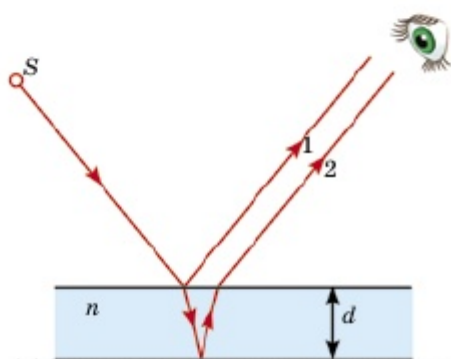
Жарық интерференциясы – оның электромагниттік толқындық табиғатын дәлелдейтін жеке жағдай болып табылады. **Жарықтың интерференциясы деп екі немесе бірнеше когерентті жарық толқындарының қосылуы кезінде жарық ағынының кеңістікте қайта таралып, нәтижесінде туындаған қорытқы толқынның бір жерлерінде қарқындылық максимумдарының, келесі жерлерінде – минимумдарының пайда болуын айтады.**

Жарық интерференциясын қандай жағдайларда бақылауға болады? Жарық интерференциясын бақылау үшін қажетті шарт **жарық толқындарының когеренттілігі** болып табылады, яғни толқындардың жиілігі (толқын ұзындығы) бірдей және уақыт бойынша фазалар айырымы тұрақты болуға тиіс.

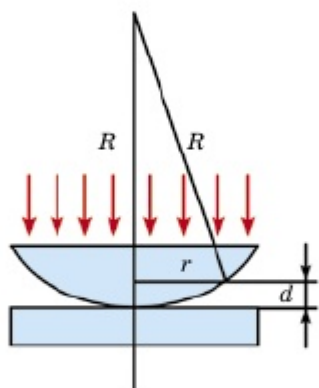
1802 жылы ағылшын ғалымы Томас Юнг жарық интерференциясын бақылау үшін тәжірибе жасады. S тар саңылауынан шыққан жарық



4.1.4-сурет.
Екі жарық толқындарының
интерференциясы



4.1.5-сурет. Жұқа қабыршақтағы жарық
толқындарының интерференциясы



4.1.6-сурет Жарық
толқындары интерференция-
сының жеке жағдайы

S_1 және S_2 жақын орналасқан екі саңылауға түседі (4.1.4-сурет). Әрбір саңылаудан өткен жарық шоғы кеңістікке жайылып, бір-бірімен тоғысады да экранға жетеді. Жарық шоқтарының қабаттасу аймағында максимумдар мен минимумдар (механикалық толқындар сияқты) кезектесетін ақ және қара жолақтар түріндегі интерференциялық көрініс пайда болады.

Жарықтың жұқа қабыршақтағы интерференция құбылысы табиғи жағдайларда кеңінен байқалады, оған сабын көпіршіктерінің, мұнай беті жұқа қабатының, су бетіндегі май дақтарының, жәндіктердің қанаттарының түрлі түске боялуы, сондай-ақ раковиналардың, сауда фирмаларының зат таңбаларындағы голографиялық қабыршақтардың түрлі түсті жарқылдары мысал бола алады. Бұл құбылыс қабыршақтың үстіңгі және астыңғы шегараларынан шағылған жарық интерференциясы нәтижесінде пайда болады (4.1.5-сурет).

Егер сынған толқын (2) шағылған толқыннан (1) жұп толқын ұзындығына кешігіп отырса, жарық күшейеді де, екі толқынның қосылу нәтижесінде жарықтың интерференциялық көрінісі байқалады. Қабыршақтың қалыңдығы үздіксіз өзгередіндіктен, интерференциялық көріністің түрі де өзгереді.

Жұқа қабыршақтардың түрлі түстері қабыршақтың қалыңдығына, онымен жанасатын затқа, түсу бұрышына, жарық толқынының ұзындығына байланысты өзгеріп отырады. Қабыршақтың жұқа жерінде қысқа толқынды сәулелер (көк, күлгін), қалың жерінде – ұзын толқынды сәулелер (қызылт, қызыл) күшейеді.

Интерференциялық көрініс жазық шыны пластина мен қисықтық радиусы үлкен жазық-дөңес линза арасындағы ауа қабатында да пайда болады (4.1.6-сурет). Бұндай интерференциялық көрініс **Ньютон сақиналары** деп аталатын концентрлік сақиналар түрінде көрінеді. Жарықтың параллель шоқтары линзаның жазық бетіне тік түсіп, линза және пластина арасындағы ауа саңылауының жоғары және төменгі беттерінен жартылай шағылады.

2. Егер жарықтың өзі толқындық процесс болса, онда интерференциядан басқа *жарықтың дифракциясы* да байқалуға тиіс. Бірақ жарық толқынының ұзындығы өте кіші болғандықтан, оның дифракциясын бақылау оңай емес.

Механикалық толқындар үшін *дифракция деп толқындардың жолында кездескен бөгеттерді орағытып өту құбылысын айтқанбыз.*

Мысалы, дыбыс үй бұрышынан жақсы естіледі, яғни дыбыс толқыны оны айналып өтеді; сол сияқты су бетіндегі толқын да өзінің толқын ұзындығымен шамалас бөгеттерді орағытып өте береді.

Жарықтың толқын ұзындығының өте кіші болуына байланысты жарық сәулелерінің дифракциясын бақылау үшін ерекше жағдайлар қажет.

Жарық толқындарының дифракциясы деп жарық сәулелерінің геометриялық оптика заңдарынан ауытқып, мөлдір емес дененің геометриялық көлеңкесінің аймағына ену құбылысын айтады.

Жарықтың дифракциясын бақылау шарты: $d \leq \lambda$, мұндағы d – жарық жолындағы бөгеттің өлшемі; λ – жарықтың толқын ұзындығы.

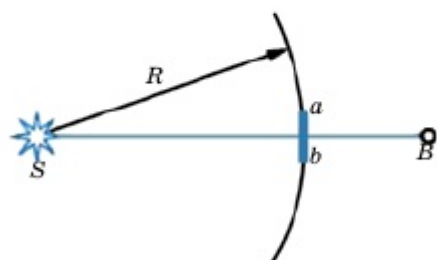
3. Интерференция мен дифракция арасында айтарлықтай физикалық айырмашылық жоқ. Екі құбылыс та толқындардың суперпозициясы (қабаттасуы) нәтижесінде жарық ағынының қайта таралып орналасуына жатады. Тек интерференция кезінде дискретті, когерентті көздерден шыққан сәулелер қосылатын болса, дифракция кезінде бір ғана көзден шыққан сәулелер кездеседі.

Дифракцияны зерттеу О. Френель еңбектерімен тиянақтала түсті. Френель тәжірибе кезінде дифракцияның түрлі жағдайларын мұқият зерттеп қана қойған жоқ, дифракцияның сандық теориясын да жасады. Бұл теория жарық қандай да бір бөгетті орағытып өткен кезде пайда болатын дифракциялық көріністі есептеуге мүмкіндік берді. Ол сонымен қатар алғаш рет толқындық теория тұрғысынан жарықтың түзусызықты таралуын да түсіндірді.

Френель бұндай табыстарға Гюйгенс принципін екінші реттік толқындардың интерференция идеясымен біріктіру арқылы жеткен. Френель идеясы бойынша *толқындық шептің әр нүктесі екінші реттік толқындардың көзі болып табылады, сонымен қатар барлық екінші реттік толқындар когерентті толқындар тізбесін құрайды. Бұл қағида Гюйгенс – Френель принципі* деп аталып кетті.

Кеңістіктің кез келген нүктесіндегі жарық толқынының амплитудасын есептеп шығару үшін жарық көзін ойша тұйық бетпен қоршау керек. Осы бетке орналасқан екінші реттік жарық көздері толқындарының интерференциясы кеңістіктің қарастырылып отырған нүктесіндегі амплитуданы анықтайды. Осындай есептеулер сфералық толқындар шығаратын S нүктелік жарық көзінен шыққан жарықтың кеңістіктің кез келген B нүктесіне қалай жететінін түсінуге мүмкіндік берді (4.1.7-сурет).

Радиусы R сфералық толқын бетіндегі барлық екінші реттік жарық көздерін

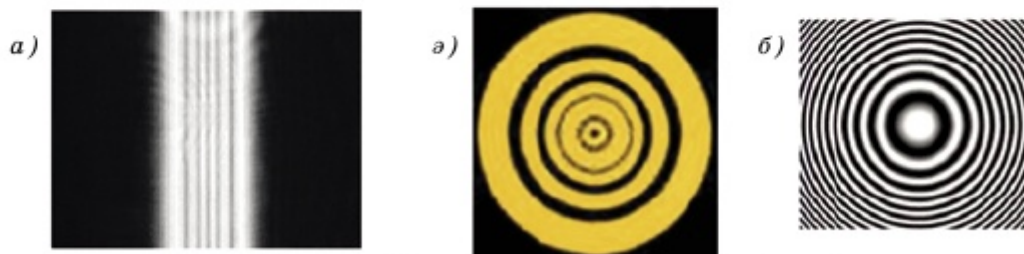


4.1.7-сурет. Жарық шоғының түзусызықты таралуы

қарастырсақ, B нүктесіндегі осы көздерден шыққан екінші реттік толқындар интерференциясының нәтижесі тек шағын ғана ab сфералық сегментінен шыққан екінші реттік толқындарымен анықталады. Өйткені сфералық беттің қалған бөліктерінде орналасқан жарық көздерінен шыққан екінші реттік толқындардың интерференциясы бірін-бірі өшіреді. Сондықтан барлық жарық тек қана SB түзуінің бойымен, яғни түзусызықты таралғандай болады.

Міне, осылайша Френель жарықтың түзу бойымен тарайтынын түсіндіре отырып, оның түрлі бөгеттерден өтуінің сандық теориясын да жасады.

4. Төмендегі 4.1.8-суретте әртүрлі кедергілердегі **жарықтың дифракциялық көріністері** көрсетілген: (а) жіңішке қылдағы (сымдағы) дифракция; (ә) дискідегі дифракция; (б) саңылаудағы дифракция.



4.1.8-сурет. Жарық дифракциясының көріністері

Суреттен дифракциялық көріністер ашық және күңгірт жолақтар немесе концентрлік сақиналар түрінде бейнеленетіні көрініп тұр.

Жарықтың толқындық табиғаты зат бөлшектерінің немесе өте ұсақ заттардың айқындалып анық көріну мүмкіндігіне шек қояды, себебі жарық қатаң түрде түзу сызық бойымен тарамайды, өте ұсақ заттарды орағытып өтеді. Сондықтан бейнелер анық болмайды. Бұл заттардың сызықтық өлшемдері жарық толқынының ұзындығынан аз болған жағдайда пайда болады. Жарық дифракциясы геометриялық оптиканың қолданылу шегін анықтайды. Жарықтың кедергілерді орағытып өтуі маңызды оптикалық аспаптардың – телескоптың және микроскоптың ажырату қабілетіне де шек қояды.



Қосымша деректер

Кемпірқосақ дегеніміз көптеген су тамшыларын күшті жарық көзімен (табиғатта Күн немесе Ай сәулесі) жарықтандырған кезде пайда болатын оптикалық құбылыс. Кемпірқосақ көрінетін сәулелену спектрінің түстерінен құралған түрлі түсті шеңбер немесе доға түрінде көрінеді. Кемпірқосақ пайда болу үшін Күн сәулесі жаңбыр тамшысына шамамен 42 градус бұрышпен түсуі керек. Кемпірқосақты қараңғы түскеннен кейін де байқауға болады. Бұл құбылыс «Ай кемпірқосағы» деп аталады. Бұл жағдайда тікелей Күннен емес, Айдан шағылған жарық сәулелері сынады.

Тамшы пішінді призмада сынған жарық сақина-ғало ретінде шашырайды. Оны жаңбырлы бұлт кезінде ұшақпен ұшақанда тексеріп көруге болады. Белгілі жаңбыр тамшыларынан шағылған жарық басқа тамшылардан әрқайсысымыз үшін мүлдем басқа бұрышпен шағылады. Сондықтан да, кемпірқосақтың әртүрлі бейнелері пайда болады.

Сұрақтар

1. Қандай толқындар когерентті деп аталады?
2. Толқындардың интерференция құбылысын қалай түсіндіруге болады?
3. Неге қабыршақтарда интерференциялық бейне алу үшін олар жұқа болуы керек?
4. Қабыршақты монохроматты жарықпен жарықтандырғанда бір жерлерде жарық дақтар, ал басқаларында қара дақтар көрінеді. Мұны қалай түсіндіруге болады?
5. Ньютон сақинасы дегеніміз не? Қалай алынады?
6. Гюйгенс–Френель принципінің мағынасы неде?
7. Дифракция құбылысы қалай түсіндіріледі?
8. Механикалық толқындардың дифракциясын неге жарық дифракциясына қарағанда оңай көруге болады?

Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

1. Сым сақинасында сабын қабыршағын (пленкасын) алып, оны тігінен қойыңдар. Сендер не байқадыңдар? Бақыланатын құбылысты түсіндіріңдер. Қабыршақтың жоғарғы және төменгі жолақтарының енін салыстырыңдар. Айырмашылықты түсіндіріңдер.
2. Лазерлік дискіні қарастырыңдар. Сендер не байқадыңдар? Бақыланатын құбылысты түсіндіріңдер.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Вакуумда ұзындығы 1,2 мм жолға $5 \cdot 10^{14}$ Гц тербеліс жиілігі бар монохроматты жарық толқындарының қанша ұзындығы сыяды?

Берілгені:

$$\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$l = 1,2 \text{ мм}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$N = ?$$

ХБЖ

$$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Шешуі:

Ұзындығы l жолға сыятын λ толқын ұзындығының саны:

$$N = \frac{l}{\lambda},$$

мұндағы $\lambda = \frac{c}{\nu}$. Ендеше, $N = \frac{l \cdot \nu}{c}$.

$$N = \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{14}}{3 \cdot 10^8} = 2 \cdot 10^3.$$

Жауабы: $N = 2 \cdot 10^3$.

Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 4.1.1. Ұзындығы 1,5 м кесіндіге $4 \cdot 10^{14}$ Гц жиіліктегі жарық сәулесінің қанша толқыны салынады? (*Жауабы:* $2 \cdot 10^6$)
- 4.1.2. Екі когерентті сәуленің жол айырымы 2,5 мкм. Интерференциялық максимумдар беретін көрінетін жарық толқындарының ұзындығын анықтаңдар (700 – 400 нм). (*Жауабы:* 417 нм; 500 нм; 625 нм)

- 4.1.3. Жарық толқындарының $\lambda_1 = 400$ нм және $\lambda_2 = 600$ нм аралығындағы интерференциясы нәтижесінде олардың ең үлкен әлсіреуі кезіндегі жол айырымы $\Delta d = 1,5$ мкм болатын барлық толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 429 нм; 600 нм)

B

- 4.1.4. Юнг тәжірибесінде саңылаулар толқын ұзындығы 600 нм монохроматты жарықпен жарықтандырылды. Саңылаулар арасындағы қашықтық 1 мм, олардан экранға дейінгі қашықтық 3 м. Орталық максимумнан бірінші ашық жолаққа дейінгі қашықтықты табыңдар. (Жауабы: 1,8 мм)

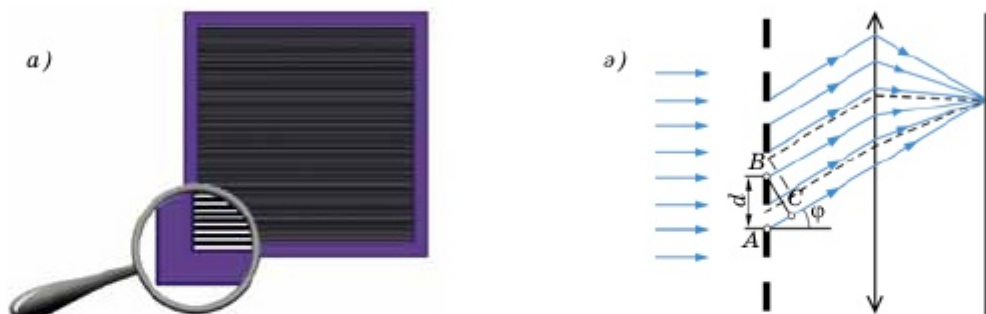
§ 4.2

Дифракциялық торлар

1. XIX ғасырдың ортасынан бастап **дифракциялық тор** спектроскоптың басты құралына айналды. Бұл құрылғымен ғалымдар сәуле шығаратын объектілерді, әртүрлі заттардың жұтылу спектрін және осы спектрлер арқылы заттардың химиялық құрамын анықтады.

Фраунгофердің маңызды жаңалықтарының бірі – Күн спектрінде қара сызықтардың табылуы болды. Біз оның Күн төжі затының салыстырмалы салқындау бөлігінде белгілі бір ұзындықтағы жарық толқындарын жұтуы нәтижесінде пайда болатынын білеміз, әрі соның арқасында шырағымыздың да химиялық құрамы туралы айта аламыз.

Дифракциялық тор деп мөлдір емес аралықтармен бөлінген ендері өте жіңішке саңылаулардың жиынтығын айтады.



4.2.1-сурет. а) Дифракциялық тор; ә) жарық дифракциясы

Торды дайындау үшін шыны пластинка бетіне өткір алмас тісі бар бөлгіш машинасының көмегімен параллель штрихтар салынады (4.2.1, а-сурет). Штрихтар мөлдір емес аралықтарды құрайды, ал олардың аралары мөлдір саңылаулар болып табылады. Тордың ұзындығының әрбір миллиметріне 100-ден 1200-ге

дейін штрих салынады, ал барлық торда 100 000-нан астам штрих, демек, сонша саңылау болуы мүмкін. Дифракциялық тор мынадай түрлерге бөлінеді: *шағылдырғыш тор*, мұндай торда штрихтар айна (металл) бетке салынады да, бақылау шағылған жарықта жүргізіледі; *мөлдір тор*, мұндай торда штрихтар мөлдір бетке салынады немесе мөлдір емес экранда саңылау түрінде жасалады да, бақылау өтетін жарықта жүргізіледі.

Егер мөлдір саңылаулардың не шағылдырушы жолақтардың ені a , ал мөлдір емес аралықтың не жарықты шашыратқыш жолақтардың ені b болса, онда олардың қосындысы *тордың периоды* деп аталады (4.2.1, ә-сурет):

$$d = a + b. \quad (4.3)$$

2. Дифракциялық тордың элементар теориясын қарастырайық. Торға ұзындығы λ жазық монохроматты толқын келіп түссін (4.2.1, ә-сурет).

Саңылаулардағы екінші реттік жарық көздері барлық бағытқа тарайтын жарық толқындарын шығарады. Саңылаулардан келетін толқындар бірін-бірі күшейтетін шартты табайық. Ол үшін ϕ бұрышымен анықталатын бағытпен тарайтын толқындарды қарастырайық. Көршілес саңылаулардың шеттерінен есептелген толқын жолдарының айырымы (4.1) формуласына сәйкес AC кесіндісінің ұзындығына тең болады. Егер осы кесіндіге толқын ұзындығының бүтін саны салынса, онда бүкіл саңылаулардың толқындары қосылып, бірін-бірі күшейтеді. ABC үшбұрышынан AC катетінің ұзындығын табуға болады: $AC = AB \sin \phi = d \sin \phi$.

Ендеше, тордан өткен толқындардың интерференциялық-дифракциялық *максимумдары* төмендегі шартқа сәйкес ϕ бұрышымен анықталады:

$$d \sin \phi = k\lambda, \quad (4.4)$$

мұндағы $k = 0, 1, 2, \dots$

Бұл шарт орындалғанда саңылаулардың төменгі шеттерінен келетін толқындар ғана бірін-бірі күшейтіп қоймай, саңылаулардың барлық нүктелерінен келетін толқындар да бірін-бірі күшейтетіні есте болу керек. Міне, сондықтан осындай тордан алынған жарықтың интерференциялық-дифракциялық көрінісінің бояуы қанық, айқын да анық болады.

Тордың сыртына жинағыш линза, ал фокустық жазықтығына экран қойылады. Линза параллель түскен толқындарды бір нүктеде жинақтайды. Бұл нүктеде толқындар қосылады да, өзара күшейеді. Жоғарыдағы (4.4) шартты қанағаттандыратын ϕ бұрыштары экрандағы максимумдардың орнын анықтайды.

Максимумның орны ($k = 0$ сәйкес келетін орталықтағыдан (центрдегіден) басқасы) толқын ұзындығына байланысты болғандықтан, тор ақ жарықты спектрге жіктейді. λ неғұрлым үлкен болса, оған сәйкес келетін әйтеуір бір максимум орталық максимумнан соғұрлым әрірек орналасады. k -ның әрбір мәніне спектрдің өз реті сәйкес келеді.

Жарықталу максимумдарының аралығында минимумдар орналасады. Саңылаулар саны неғұрлым көп болса, максимумдар соғұрлым айқынырақ сызылып көмкеріледі де, аралары олардан ендірек минимумдармен бөлінеді. Торға түскен жарық энергиясы былайша бөлінеді: оның көбі максимумдардың үлесіне тиеді де, аз бөлігі ғана минимумдарға түседі.

Дифракциялық тордың көмегімен монохроматты сәулелердің толқын ұзындықтарын өте дәл өлшеуге болады. Егер тордың d периоды белгілі болса, онда әрбір монохроматты сәуленің толқын ұзындығын анықтау үшін оның максимум бағытына сәйкес келетін φ бұрышын өлшеп, (4.4) формуласы бойынша λ шамасын табады.

Қосымша деректер



Әлемде көптеген жұмбақ құбылыстар кездеседі. Олардың бірін «глония» деп атайды. Глония – бұлттардағы оптикалық құбылыс. Бұл құбылыс жарық көзіне қарама-қарсы орналасқан бұлттарда байқалады. Оны байқау үшін адам биік тауда немесе ауада қалықтап тұрады да, жарық көзі (Күн немесе Ай) арт жағында болуы керек. Сонда адамның көлеңкесінің төңірегінде бұлт бетінде жарықтың түрлі түсті сақиналары көрінеді.

Ішкі жағында көгілдір, сыртында қызғылт сақиналар пайда болады, әріректе көмескі сақиналар қайталаынады. Бұл құбылыс жарықтың дифракциясына негізделіп түсіндіріледі.



Сұрақтар

1. Дифракциялық тор дегеніміз не?
2. Дифракциялық тордың периодын қалай анықтауға болады?
3. Дифракциялық торды ақ жарықпен жарықтандыру кезінде экранда алынған спектрдің центрінде неге ақ жолақ орналасады?
4. Экранды тордан алыстатқанда дифракциялық спектрдің көрінісі қалай өзгереді?
5. Дифракциялық тормен жасалатын жарық максимумдарының орналасуы саңлаулар санына байланысты бола ма?



Тапсырма (шығармашылық зерттеу)

Компьютерде дифракциялық торды қолдану туралы презентация дайындаңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Толқын ұзындығы $\lambda = 0,6$ мкм монохроматты жарықтың бесінші реттік максимумы $\varphi = 18^\circ$ ауытқу бұрышында байқалса, онда дифракциялық тордың әр миллиметрінде қанша штрих бар?

Берілгені:

$$l = 1 \text{ мм}$$

$$\lambda = 0,6 \text{ мкм}$$

$$\varphi = 18^\circ$$

$$k = 5$$

$$N = ?$$

ХБЖ

$$10^{-3} \text{ м}$$

$$0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Шешуі:

Дифракциялық максимумның

$$d \sin \varphi = k \lambda$$

теңдеуінен периодты табуға болады:

$$d = \frac{k \lambda}{\sin \varphi}. \quad (1)$$

Дифракциялық тордың штрихтар саны мен ұзындығы арқылы оның периодын анықтаймыз:

$$d = \frac{l}{N}. \quad (2)$$

(1) мен (2)-ні теңестірсек: $\frac{l}{N} = \frac{k\lambda}{\sin \varphi}$ осыдан $N = \frac{l \cdot \sin \varphi}{k\lambda}$.

$$N = \frac{10^{-3} \cdot 0,3}{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}} = 100.$$

Жауабы: $N = 100$.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 4.2.1. Толқын ұзындығы 600 нм монохроматты жарық дифракциялық торға нормаль бойымен түседі. Егер үшінші реттік максимум 30° бұрышпен байқалса, тордың периоды қандай болады? (Жауабы: 3,6 мкм)
- 4.2.2. Егер толқын ұзындығы 500 нм монохроматты жарықтың екінші реттік максимумы 30° бұрышқа сәйкес болса, дифракциялық тордың 1мм-де қанша штрих орналасады? (Жауабы: 500 штрих)

В

- 4.2.3. Дифракциялық торға монохроматты жарық нормаль бойымен түседі. Егер екінші реттік максимум 30° бұрышпен байқалса, тор периоды толқын ұзындығынан неше есе артық болады? (Жауабы: 4 есе)
- 4.2.4. Тор тұрақтысы 1,8 мкм болатын мөлдір дифракциялық торға толқын ұзындығы 530 нм жарық перпендикуляр бағытта түседі. Ең үлкен реттегі максимум байқалатын дифракция бұрышын анықтаңдар. (Жауабы: 62°)
- 4.2.5. Көру аймағындағы дифракциялық тордың екінші және үшінші реттік спектрлердің көріну аймағы бір-бірімен жартылай беттеседі. Үшінші реттік спектрдің қандай толқын ұзындығы екінші реттік спектрдің 700 нм толқын ұзындығына сәйкес келеді? (Жауабы: 467 нм)

№2 зертханалық жұмыс

Дифракциялық тордың көмегімен жарық толқынының ұзындығын анықтау

Жұмыстың мақсаты: дифракциялық тордың көмегімен спектрдің түрлі аймақтарындағы жарық толқындарының ұзындығын анықтау.

Құрал-жабдықтар: дифракциялық тор, жарық көзі, жарық толқынының ұзындығын анықтауға арналған қондырғы (4.2.2-сурет).

Жұмыстың қысқаша теориясы. Жарық дифракциясы дифракциялық тормен анық бақыланады. Толқын ұзындығы λ мына формула бойынша анықталады:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k},$$

мұндағы d – тордың периоды, k – спектрдің реті, φ – сәйкес түстің жарық максимумы байқалатын бұрыш.

Формуладағы φ бұрышы өте кішкентай (өйткені тор мен экран арақашықтығы (a) саңылаудан бастап белгілі бір толқын ұзындығының максимумы байқалатын



4.2.2-сурет

(*b*) жерге дейінгі қашықтықтан өте үлкен), сондықтан $\sin\varphi$ мәні жуықтап алғанда мынаған тең:

$$\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi \approx \frac{b}{a}.$$

Бұдан толқын ұзындығын анықтаймыз:

$$\lambda = \frac{db}{ka}.$$

Жұмыстың барысы

1. Дифракциялық торды аспаптың рамкасына салып, оны көтерілетін үстел тұғырына бекітіңдер.
2. Экранды дифракциялық тордан 50 см қашықтықта орналастырыңдар.
3. Жарық көзіне дифракциялық тор мен экрандағы саңылау арқылы қарап, әрі ұстағыштағы торды жылжыта отырып, оны дифракциялық спектрлер экран шкаласына параллель болатындай етіп орналастырыңдар.
4. Экрандағы саңылаудың оң және сол жағында бірінші реттік спектрдегі қызыл жарық толқынының ұзындығын есептеп, өлшеу нәтижелерінің орташа мәнін анықтаңдар.
5. Күлгін жарық үшін де осылай жасаңдар.
6. Өлшеудің абсолюттік және салыстырмалылық қателерін табыңдар. Абсолюттік қатені анықтау үшін абсолюттік қателік түсінігін қолданамыз: $\Delta x_k = x_{\text{орт}} - x_k$. Мұндағы $x_{\text{орт}}$ – алынған мәндердің орташа шамасы. Салыстырмалылық қатені $\varepsilon = \frac{\Delta E}{E_{\text{орт}}} \cdot 100\%$ формуласымен есептейміз. Салыстырмалылық және абсолюттік қателердің орташа шамасы барлық шамалардың арифметикалық орта шамасы болады.
7. Нені өлшегендерің туралы және қандай нәтиже алғандарың жайында қорытындылап жазыңдар.
8. Жасаған жұмыстарыңды зерделеу үшін төмендегі сұрақтарға жауап беріңдер.



Бақылау сұрақтары

1. Дифракция қандай құбылыс және дифракция қай кезде анық байқалады?
2. Дифракциялық тор дегеніміз не және мұндай торлар не үшін қолданылады?
3. Мөлдір дифракциялық тор қандай болады?
4. Ақ жарықпен жарықтандыру кезінде неліктен дифракциялық бейненің орталық бөлігінде ақ жолақ пайда болады?

§ 4.3

Жарық поляризациясы

1. Жарықтың қарастырылған интерференция және дифракция құбылыстары оның толқындық табиғатының тікелей дәлелі болып табылады. Алайда жарықтың толқындық теориясымен түсіндірілетін тағы бір құбылысқа *жарық поляризациясы* жатады.

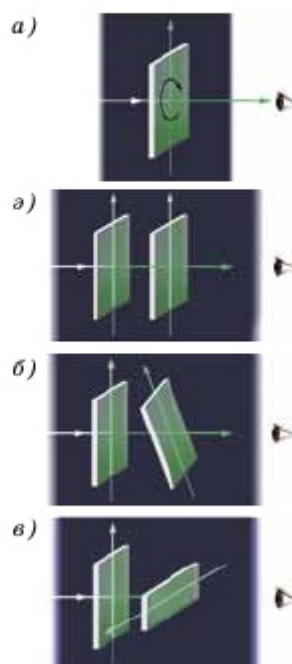
Жарықтың поляризациясы деп жарық толқындарының көлденеңдік анизотропиясын суреттейтін физикалық сипаттамасын айтады. Мұндай сипаттама жарық толқындары тербелістерінің (4.1.1-сурет) жарық сәулелеріне перпендикуляр жазықтықтағы өртүрлі бағыттарының бір-біріне эквивалентті болмайтындығын білдіреді.

Жарық толқындарының көлденеңдігін де, осьтік симметриясының болмайтындығын да дәлелдейтін турмалин кристалымен жасалатын қарапайым да көрнекі тәжірибені толығырақ қарастырайық.

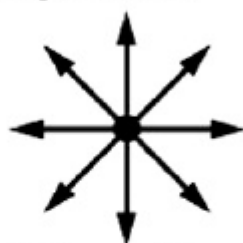
Мөлдір жасылдау түсті турмалин кристалы бір осьтік кристалл деп аталатындар санатына жатады. Турмалиннен бір жағы кристалл осімен параллель болатындай етіп тікбұрышты пластинаны қиып алайық.

Егер осындай пластинаны электр шамының не Күннің жарық шоғын түсіріп, пластинаны өзінен өтетін шоқтың бойымен айналдыра бұрсақ, жарықтың қарқындылығы өзгермейді (4.3.1, а-сурет). Жарық аздап қана жұтылады да, жасылдау түске боялады деп ойлауға болады. Бірақ бұл олай емес, жарық толқындары жаңа қасиеттерге ие болатынын білдіреді.

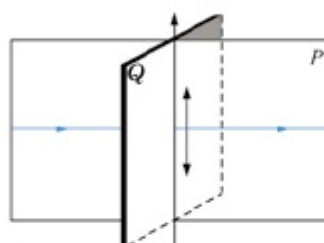
Егер жарық шоғын екінші турмалин кристалдары арқылы өткізсек, онда осы жаңа қасиеттер ап-айқын байқалады. Кристалдардың осьтері бірдей бағытталғанда да қызығарлық ештеңе байқалмайды: тек екінші кристалда жұтылғандықтан, жарық шоғы тағы бәсеңдей түседі (4.3.1, ә-сурет). Ал егер біріншіні қозғамай, екінші кристалды айналдырсақ, таңғаларлық құбылыс – жарықтың бірте-бірте сөнетіні байқалады (4.3.1, б-сурет). Осьтер арасындағы бұрыш үлкейген сайын жарықтың қарқындылығы азайып, осьтер бір-біріне перпендикуляр болғанда (4.3.1, в-сурет), жарық мүлде өтпейді. Оны екінші кристалл тұтасымен жұтып алады.



4.3.1-сурет. Жарықтың турмалин пластинасынан өту құбылысы



4.3.2-сурет. Табиғи жарықтың таралуы



4.3.3-сурет. Турмалин жарықты белгілі бағытта ғана өткізеді

2. Екі түрлі болжам жасап, жоғарыда тәжірибе нәтижесін толық түсіндіруге болады.

Бірінші болжам жарықтың өзіне қатысты. **Жарық – көлденең толқын.** Ал көдімгі жарық көзінен келіп түсетін толқындар шоғында түрлі бағыттағы толқындардың бағытына перпендикуляр тербелістер болады (4.3.2-сурет).

Осы болжам бойынша жарық толқынының осьтік симметриясы бар, сонымен қатар ол көлденең толқын. Мысалы, су бетіндегі толқындарда ондай симметрия болмайды, өйткені су бөлшектері вертикаль жазықтықта ғана тербеледі.

Барлық бағыттағы тербелістері толқындардың таралу бағытына перпендикуляр болатын жарық ағыны **табиғи жарық** деп аталады. Бұлайша аталу дұрыс та, өйткені әдеттегі жағдайда жарық көздері дәл осындай толқындар туғызады. Осы болжам бірінші тәжірибенің нәтижесін түсіндірді. Турмалин кристалын айналдыру кезінде өткен жарық қарқындылығын өзгертпейді, өйткені түскен толқынның (көлденеңдігіне қарамастан) осьтік симметриясы сақталады.

Ал екінші болжам кристалға қатысты. Турмалин кристалы тек белгілі бір жазықтықта (4.3.3-суретте *P* жазықтығында) тербелетін жарық толқындарын ғана өткізетін қасиетке ие. Мұндай жарық табиғи жарықтан өзгеше, *поляризацияланған* немесе, дәлірек айтқанда, **жазық поляризацияланған** деп аталады.

Бұл болжам екінші тәжірибенің нәтижелерін толық түсіндіреді. Бірінші кристалдан жазық поляризацияланған толқын шығады. Айқастырылған кристалдарда (осьтер арасындағы бұрыш 90° болғанда) толқын екінші кристалл арқылы өтпейді. Егер осьтер өзара 90° -тан өзгеше бұрыш жасаса, онда амплитудасы бірінші кристалдан өткен толқын амплитудасының екінші кристалл осінің бағытына түсірілген проекциясына тең болатын тербелістер өтеді.

Сөйтіп, турмалин кристалы жарықты поляризациялайды, яғни табиғи жарықты жазық поляризацияланған жарыққа түрлендіреді.

Жарықты поляризациялайтын тек турмалин кристалы ғана емес. Мысалы, **поляроидтар** деп аталатын кристалдарда да сондай қасиет бар. Поляроид *герапатит кристалдарының* целлулоид не шыны пластинаға жағылған жұқа қабықшасы болып табылады. Турмалин кристалымен жүргізілген тәжірибелерді поляроидпен де жасауға болады. Поляроидтардың артықшылығы – жарықты поляризациялайтын ауданы үлкен беттерді жасай алатындығында.



Сұрақтар

1. Жарықтың поляризациясы деп нені айтады? Бойлық толқындар үшін поляризация мүмкін бе? Неге?
2. Қандай тәжірибенің негізінде жарық поляризациясының көлденеңдік анизотропиясын байқауға болады? Тәжірибе нәтижелерін қалай түсіндіруге болады?
3. Табиғи жарық деп нені айтамыз? Табиғи жарық пен поляризацияланған жарықтың айырмашылығы неде?
4. Поляроид дегеніміз не?

№3 зертханалық жұмыс

Жарықтың поляризациясын бақылау

Жұмыстың мақсаты: поляризацияланған жарықтың қасиеттерін зерделеу.

Құрал-жабдықтар: 1) екі линза (+50 және +100) мм; 2) екі поляроид; 3) ұстағышқа орнатылған дөңгелек диафрагма; 4) галогендік шам; 5) экран; 6) штатив; 7) 12В ток көзі; 8) өткізгіш сымдар.

Жұмыстың барысы:

1. Қондырғыны мына ретпен жинаңдар:
шам – линза (50 мм) – поляроид (поляризатор) –

- линза (+100 мм) – поляриод (анализатор) –
 - экран (4.3.4-сурет)
2. Сәуле жолы төңірегінде поляриодты (поляризаторды) айналдырып, жарық сәулесі қарқындылығының өзгермейтініне көз жеткізіңдер.
 3. Поляриодтан (анализатор) өткен жарық сәулесі қарқындылығы поляриодтың сәулеге қатысты бұрылуына байланысты өзгеруін бақылаңдар.
 4. Поляриодтардың осьтерін бір-біріне перпендикуляр орналастырып, жарықтың толық өшетінін көріңдер.
 5. Байқағандарыңа талдаулар жасап, жұмыс барысын көрсететін сызбаларды салыңдар.



4.3.4-сурет. Жарық поляризациясын бақылауға арналған қондырғы

? Бақылау сұрақтары

1. Жарықтың поляризация құбылысы қандай жағдайда байқалады?
2. Поляриодтардың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.

IV ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Толқындардың интерференциясы** деп екі (немесе бірнеше) толқын қосылғанда пайда болған қорытқы толқын амплитудасының кеңістіктің әртүрлі нүктелерінде күшеюін немесе әлсіреуін айтады.

- Толқындардың интерференциясы кезіндегі қорытқы толқынның **максимум шарты**:

$$\Delta d = \pm k\lambda.$$

- Толқындардың интерференциясы кезіндегі қорытқы толқынның **минимум шарты**:

$$\Delta d = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

- **Жарықтың интерференциясы** деп екі немесе бірнеше когерентті жарық толқындарының қосылуы кезінде жарық ағынының кеңістікте қайта таралып, туындаған қорытқы толқынның бір жерлерде қарқындылық максимумдары, келесі жерлерде минимумдарының пайда болуын айтады.

- **Жарық толқындарының дифракциясы** деп жарық сәулелерінің геометриялық оптика заңдарынан ауытқып, мөлдір емес дененің геометриялық көлеңкесінің аймағына ену құбылысын айтады.

- **Жарықтың дифракциясын бақылау шарты**: $d \leq \lambda$.

- **Дифракциялық тор** деп мөлдір емес аралықтармен бөлінген ендері өте жіңішке саңылаулардың жиынтығын айтады. Дифракциялық тордың жәрдемімен кез келген монохроматты сәуле максимумының φ көріну бұрышын үлкен дәлдікпен өлшей отырып, оның толқын ұзындығын мына формуламен есептейді:

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

мұндағы $d = a + b$; a – саңылаудың ені, b – мөлдір емес аралықтың ені.

- **Жарықтың поляризациясы** деп жарық толқындарының көлденеңдік анизотропиясын суреттейтін физикалық сипаттамасын айтады.




Жарық толқыны көлденеңдігінің анизотропиясы оның таралу бағытына қатысты осьтік симметриясының жоқ екендігін білдіреді.

5-тарау



ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  шынының сыну көрсеткішін эксперименттік жолмен анықтау;
-  жарық сигналдарын тасымалдауда талшықтық оптика технологиясының артықшылығын түсіндіру;
-  телескоп, микроскоп және лупадағы сәуленің жолын салу және түсіндіру.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
жарықтың түзушылығы таралу заңы	закон прямолинейного распространения света	law of direct light propagation
жарықтың шағылу заңы	закон отражения света	law of reflection
жарықтың сыну заңы	закон преломления света	law of refraction
толық ішкі шағылу	полное внутреннее отражение	total internal reflection
оптикалық талшық	оптическое волокно	optical fiber
оптикалық аспап	оптический прибор	optical instrument
бұрыштық үлкейту	угловое увеличение	angular magnification
лупа	лупа	magnifying glass
телескоп	телескоп	telescope
микроскоп	микроскоп	microscope

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «жарықтың түзушылығы таралуы», «жарықтың шағылу заңы», «жарықтың сыну заңы», «толық ішкі шағылу», «оптикалық талшық», «оптикалық аспап», «бұрыштық үлкейту», «лупа», «телескоп», «микроскоп».

§ 5.1

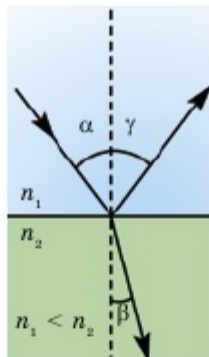
Геометриялық оптика заңдары

1. Геометриялық оптиканың негізгі заңдары жарықтың физикалық табиғаты анықталғанға дейін белгілі болды. Осы заңдарды қарастырайық.

Жарықтың түзусызықты таралу заңы: *оптикалық біртекті ортада жарық түзусызықты таралады.*

Бұл заңның тәжірибелік дәлелі мөлдір емес денелерді шағын өлшемді жарық көзімен жарықтандыру кезінде пайда болатын айқын көлеңке болып табылады. Егер жарық өзінің толқын ұзындығымен шамалас тар саңылау арқылы өтетін болса немесе жолындағы өлшемі сондай кедергіні айналып өтіп кетсе, онда алдыңғы тарауда айтқанымыздай, жарықтың түзусызықты таралу заңы бұзылып, «жарық сәулесі» түсінігінің мәнділігі жойылады.

Екі мөлдір ортаның шегарасында (5.1.1-сурет) жарық γ бұрышымен жартылай шағылуы мүмкін, сол кезде жарық энергиясының бір бөлігі бірінші ортада жаңа бағыт бойынша таралады, ал бір бөлігі β бұрышпен екінші ортаға өтіп өрі қарай таралуын жалғастырады.



5.1.1-сурет. Жарықтың екі ортаның шегарасында шағылуы және сынуы

Жарықтың шағылу заңы: а) *түскен сәуле, шағылған сәуле және екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады;* ә) *γ шағылу бұрышы α түсу бұрышына тең.*

Жарықтың сыну заңы: а) *түскен сәуле, сынған сәуле және сол екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады;* ә) *α түсу бұрышының синусының β сыну бұрышының синусына қатынасы берілген екі орта үшін тұрақты шама:*

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (5.1)$$

мұндағы α – жарық шоғының түсу бұрышы; β – жарық шоғының сыну бұрышы.

Жарықтың сыну заңына енетін n_{21} тұрақты шама екі ортадағы *сынудың салыстырмалы көрсеткіші* деп аталады. Егер бірінші орта вакуум болса, онда вакуумға қатысты ортаның сыну көрсеткіші оның *абсолюттік сыну көрсеткіші* деп аталады да, жарықтың вакуумдағы c жылдамдығы мен берілген орталардағы v жылдамдықтарының қатынастарымен анықталады, мысалы: $n_1 = \frac{c}{v_1}$; $n_2 = \frac{c}{v_2}$.

Екі ортаның салыстырмалы сыну көрсеткішін бірінші және екінші ортаның n_1 және n_2 абсолюттік сыну көрсеткіштері арқылы өрнектеуге болады: $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$. (5.2)

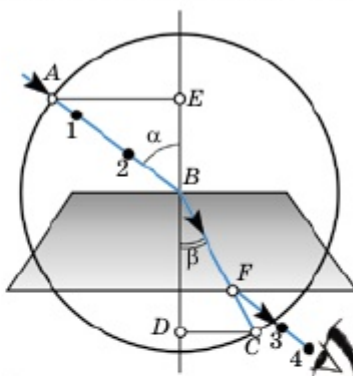
Екі ортадағы сынудың салыстырмалы көрсеткішінің физикалық мәні – бірінші ортада толқындардың v_1 таралу жылдамдығының екінші ортадағы v_2 таралу жылдамдығына қатынасымен анықталады:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c}{v_2} : \frac{c}{v_1} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (5.3)$$

2. Трапеция тәрізді шыны пластинаның сыну көрсеткішін қалай анықтауға болатынын көрсетейік. Пластинаның параллель жақтарының біріне көлбеулей жіңішке жарық шоғын бағыттайық. Бұл жарық шоғы пластинадан өтіп, екі рет сынады. Жарық көзі ретінде электр шамын пайдаланады, ол кілт арқылы қандай да бір ток көзіне қосылады. Жарық шоғын саңылауы бар металл экран көмегімен алады. Мұнда шоқтың ені экран мен шамның арақашықтығының өзгеруіне байланысты өзгере алады.

Шынының ауаға қатысты сыну көрсеткіші (5.1) формуласымен анықталады.

Формуланың оң жағында тұрған қатынасты анықтау үшін былай істейді: Жарық сәулесін пластинаға бағыттаудан бұрын, пластинаны үстел бетіне жайылған миллиметрлік қағаздың (немесе торкөз қағаздың) үстіне параллель жақтарының бірі алдын ала қағаз бетіне белгіленген сызықпен беттесетіндей етіп орналастырады. Бұл сызық ауа шыны ортасының бөліну шеғарасын көрсетеді. Жіңішке ұшталған қарындашпен екінші жағына бойлай параллель сызық жүргізеді. Бұл сызық шыны ауа ортасының бөліну шеғарасын кескіндейді. Осыдан кейін пластинаны қозғамай, оның бірінші параллель жағына белгілі бір α бұрышпен жіңішке жарық шоғын бағыттайды. Пластинаға түскен және одан шыққан жарық шоғының бойына қарындашпен 1, 2, 3, 4-нүктелерін белгілейді (5.1.2-сурет). Осыдан кейін шамды өшіріп, пластинаны алады да, түскен, шыққан және сынған сәулелерді сызғыш қойып, қарындашпен сызып шығады.



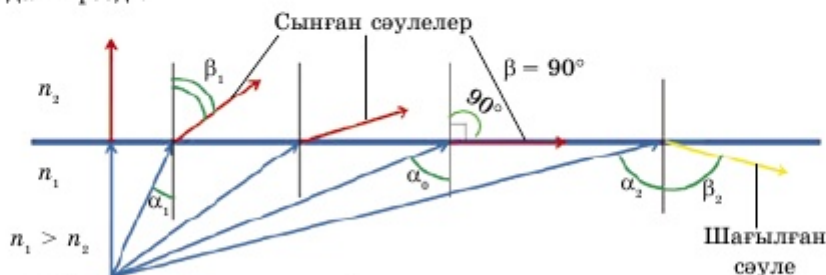
5.1.2-сурет. Түскен және сынған сәулелердің жолдары

Ауа – шыны ортасының бөліну шеғарасының B нүктесі арқылы перпендикуляр тұрғызып, түсу бұрышын α , сыну бұрышын β деп белгілейді. Сонан соң циркульдің көмегімен центрін B нүктесі етіп алып шеңбер сызып, ABE және CBD тікбұрышты үшбұрыштарын салады. Үшбұрыштардан көрініп тұрғандай:

$\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin \beta = \frac{CD}{BC}$ және $AB = BC$, ендеше шынының сыну көрсеткішінің

формуласы мына түрге келеді: $n = \frac{AE}{DC}$, мұндағы AE және DC кесінділерінің ұзындығын миллиметрлік қағаз бойынша сызғышпен өлшеп алады.

3. Жарық оптикалық тығыздығы азырақ ортадан тығыздығы көбірек ортаға өткенде, мысалы, ауадан шыныға немесе суға өткенде $v_1 > v_2$ және сыну заңы (5.1) бойынша сыну көрсеткіші $n > 1$ болады. Сондықтан $\alpha > \beta$ (5.1.1-сурет): сынған сәуле орталарды бөліп тұрған шегараға тұрғызылған перпендикулярға жақындай түседі.



5.1.3-сурет. Жарықтың екі ортаның шегарасында сынуы, $n_1 > n_2$

Ал егер жарық сәулесін оптикалық тығыздығы көбірек ортадан оптикалық тығыздығы азырақ ортаға қарай бұрынғы сынған сәуленің бойымен кері бағыттаса, онда сыну заңы былай жазылады:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5.4)$$

Сынған сәуле оптикалық тығыздығы көбірек ортадан шыққанда бұрынғы түскен сәуленің ізімен кетеді, сондықтан $\alpha_1 < \beta_1$, яғни сынған сәуле перпендикулярдан ауытқиды. Түсу бұрышын аздап үлкейткенде, сыну бұрышы түсу бұрышынан ылғи да үлкен бола отырып өседі. Ақырында, түсу бұрышының әйтеуір бір мәнінде сыну бұрышының мәні 90° -қа жуықтайды да, сынған сәуле орталардың бөлу шегарасы бойымен жылжиды (5.1.3-сурет). Ең үлкен $\beta = 90^\circ$ сыну бұрышына белгілі бір α_0 түсу бұрышы сәйкес келеді.

90° сыну бұрышына сәйкес келетін α_0 түсу бұрышы *толық шағылудың шекті бұрышы* деп аталады. $\sin \beta = \sin 90^\circ = 1$ болғанда (5.4) формуласы мына түрге келеді:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5.5)$$

(5.5) формула екі ортаның n_1 (оптикалық тығыздығы үлкен орта үшін) және n_2 (тығыздығы аз орта үшін) сыну көрсеткіштерін біле отырып, толық шағылудың шекті бұрышын анықтауға мүмкіндік береді. Әдетте тығыздығы аз орта ретінде сыну көрсеткіші $n_2 \approx 1$ болатын вакуум (немесе ауа) қарастырылады. Бұндай жағдайда (5.5) формуласы мына түрге келеді:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}, \quad (5.6)$$

мұндағы n – тығыздығы үлкен ортаның сыну көрсеткіші.

4. Жарықтың толық ішкі шағылуы. Толық ішкі шағылу орын алу үшін, жоғарыда айтылғандай, мына екі шартты орындау қажет. *Біріншіден*, электр-магниттік сәуле (мысалы, жарық) екі ортаның шегарасына сыну көрсеткіші үлкен орта жағынан түсуі керек; *екіншіден*, α түсу бұрышы белгілі бір α_0 шекті бұрыштан артық болуға тиіс ($\alpha > \alpha_0$). Осы шарттарды ескере отырып, толық ішкі шағылуға төмендегідей анықтама беруге болады.

Толық ішкі шағылу деп электр-магниттік сәуле тығыздығы үлкен ортадан тығыздығы аз ортаға бағытталып, екі мөлдір ортаның шегарасына белгілі бір шекті бұрыштан үлкен бұрышпен түскенде тек шағылған сәулелердің ғана пайда болу құбылысын айтады.

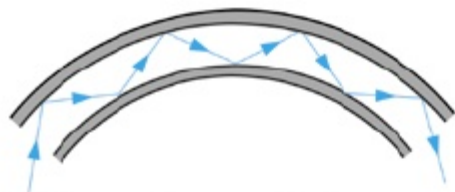
Бірінші рет толық ішкі шағылуды неміс ғалымы И. Кеплер сипаттап жазды.

Толық шағылу *талшықтық оптикада* жарықты және кескінді мөлдір иілмелі талшықтар арқауларында – жарықжетектегіштерде (оптикалық талшықтарда) пайдаланады.

Талшықтық оптика қазіргі уақытта ақпаратты беру үшін ең жетілдірілген физикалық орта болып табылады, сондай-ақ үлкен ақпарат ағындарын едәуір қашықтыққа таратуда оның болашағы зор саналады. Оптикалық байланыс желісі бойынша ақпаратты аса үлкен 1 Терабит/с жылдамдықпен жіберуге болады.

Қазіргі уақытта талшықты-оптикалық кабельдер Тынық және Атлант мұхиттарының түбімен өткізген, сөйтіп бүкіл әлем талшықты байланыс жүйелерінің желісімен «шырмалған».

Жарықжетектегіш – сыну көрсеткіші талшықтыкінен кіші мөлдір материалмен қапталған цилиндр тәрізді шыны талшықтар жиыны. Жарық бірнеше рет толық шағылу арқылы кез келген (түзу не ирек жолмен жүруі мүмкін (5.1.4-сурет)). Талшық ширатылған еспе түрде жиналады. Еспедегі талшықтың әрқайсысымен кескінің бір элементі беріледі.



5.1.4-сурет. Жарықтың ішкі шағылуы

Осылайша, жарықжетектегіш көмегімен жарық шоғының жолын өзгертіп қисайтуға болады. Жарықжетектегіштің талшықтарының диаметрі бірнеше микрометрден бірнеше миллиметрге жетеді. Бейнелерді тасымалдау үшін әдетте көп тармақты жарықжетектегіштер қолданылады. Оптикалық талшықтардан талшықты-оптикалық байланыс үшін кабельдер дайындайды (5.1.5-сурет). Мысалы, Атырау қаласындағы талшықты-оптикалық кабельді шығаратын зауыт, Қазақстанның талшықтық оптика өнімдері бойынша қажеттілігінің 30 %-ын қамтамасыз етеді. Талшықты-оптикалық кабельдер әртүрлі радиодиапазондағы электр-магниттік өрістерден туындайтын бөгеуілдерге сезімтал емес, өздері де бөгеуілдерді жасамайды. Сондықтан электр-магниттік үйлесімділік тұрғысынан олар ақпарат таратудың тамаша құралдары болып табылады. Мұндай кабельдер электр қауіпсіздігі бойынша да мінсіз, өйткені оларда тасымалданатын қуаттар өте аз.



5.1.5-сурет. Жарықжетектегіштер

Талшықтық оптиканың *маңызды қасиеті – беріктілігі*. Талшықтардың қызмет ету уақыты, яғни олардың өз қасиеттерін белгілі бір шектерде сақтау 25 жылдан асады. Бұл талшықты-оптикалық кабельді бір рет орналастырып, қажетті кезде кабельдің өзін ауыстырмай, тек қабылдағыштар мен таратқыштарды жетілдірілген түрлеріне ауыстырып, каналдың өтімділік қасиетін арттыруға мүмкіндік береді.

Талшықтық оптиканың қолдану саласы кеңейіп келеді: мысалы, адамның және жануардың ішкі ағзаларын визуалды бақылауға арналған медициналық және техникалық эндоскоптар жасалды, сондай-ақ тікелей бақылауға болмайтын қиын жерлерде орналасқан конструкциялардың кейбір бөлшектерін қарау үшін (мысалы, ұшақтардың және автомобильдердің қозғалтқыштары) пайдаланады.

Талшықты-оптикалық байланыс телефон байланысы және жоғары жылдамдықты интернет үшін қолданылады (мысалы, бір талшық арқылы бір мезетте 10 миллион телефон әңгімелері мен миллион видеосигналды тасымалдауға болады. Деректерді беру жылдамдығы ақпаратты бірден екі бағытта беру есебінен ұлғайтылуы мүмкін, өйткені жарық толқындары талшықтарда бір-біріне тәуелсіз тарайды).



Қосымша деректер

«Ақылды» айна – бұл арнайы әлеуметтік ортаға арналған жарнамаларды іріктеп алып, көрсету үшін қолданылатын айрықша медиақұрал. Адам жақындай бастаса-ақ болды, айна жұмысқа кірісіп, оның көңіл күйіне қош келетін қызықты көріністерді көрсете бастайды. Ғажайып айнаға арнайы жүйе енгізілген. Бұл жүйе әртүрлі көріністерді айқындап танып, өңдей де алады. Ол адамның жас шамасын, жынысын, көңіл күйін анықтап, экранда оған лайық бейнероликтерді көрсетеді.



Сұрақтар

1. Жарықтың түзусызықты таралу заңдары қалай тұжырымдалады?
2. Жарықтың шағылу заңы қалай тұжырымдалады?
3. Жарықтың сыну заңы қалай тұжырымдалады?
4. Салыстырмалы және абсолюттік сыну көрсеткіштерінің физикалық мәні қандай?
5. Шынының сыну көрсеткішін қалай анықтайды?
6. Толық ішкі шағылу қандай жағдайда байқалады? Қалай сипатталады?
7. Жарықжетектегіштің (оптикалық талшықтардың) жұмыс істеу принципі қандай?
8. Талшықты-оптикалық байланыстың қолданылу салалары қандай?



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

1. Екі айнаны бір-біріне перпендикуляр қойып, қос айнадағы өз бейнелеріңді қараңдар. Байқағандарыңды сипаттап жазыңдар.
2. Қабырғасы мөлдір ыдысқа органикалық шыныдан жасалған пластинаны салып, оған күнбағыс майын құйыңдар. Байқағандарыңды сипаттап жазыңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Жарық сәулесі скипидардан ауаға өтеді. Бұл сәуле үшін шағылу бұрышының шекті көрсеткіші $42^{\circ}23'$. Скипидардағы жарықтың таралу жылдамдығын табыңдар.

Берілгені:

$$\alpha_0 = 42^{\circ}23'$$

$v_{\text{ск}} = ?$

Шешуі:

Толық ішкі шағылуда сыну бұрышы $\beta = 90^{\circ}$ -қа тең. Жарықтың сыну заңы бойынша: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ немесе $\frac{\sin \alpha_0}{\sin \beta} = \frac{v_{\text{ск}}}{c}$, мұндағы $\sin \beta = \sin 90^{\circ} = 1$; $v_{\text{ск}}$ – жарықтың скипидардағы, ал c – вакуумдағы (ауадағы) жылдамдықтары.

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_{\text{ск}}}{c}, \quad v_{\text{ск}} = c \sin \alpha_0.$$

$$v_{\text{ск}} = 3 \cdot 10^8 \sin 42^{\circ}23' = 2,02 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Жауабы: $v_{\text{ск}} = 2,02 \cdot 10^8 \text{ м/с}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 5.1.1. Екі органың шегарасына жарық сәулесінің түсу бұрышы 60° -қа тең. Сынған сәуле нормальмен 35° бұрышын құрайды. Шағылған және сынған сәулелердің арасындағы бұрышты градуспен анықтаңдар. (*Жауабы:* 85°)
- 5.1.2. Берілген заттың сыну көрсеткіші 1,63. 45° түсу бұрышқа сәйкес келетін сыну бұрышын анықтаңдар. (*Жауабы:* 25°)
- 5.1.3. Жарық сәулесі шыныдан ауаға өтеді. Сәуленің түсу бұрышы 30° , сыну бұрышы 45° . Осы шынының сыну көрсеткіші қандай? (*Жауабы:* 1,4)

В

- 5.1.4. Жарық сәулесі ауадан 40° бұрышпен сұйық бетіне түседі. Сыну бұрышы 24° . Түсу бұрышын 2 есеге үлкейтсе, сыну бұрышы қандай болады? (*Жауабы:* 38°)
- 5.1.5. Шағылған және сынған сәулелер арасындағы бұрыш тік болса, жарық сәулесі шынының жазық бетіне қандай бұрышпен түседі? Шыныдағы жарық жылдамдығы $2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. (*Жауабы:* 56°)

§ 5.2

Оптикалық аспаптар

1. Оптикалық аспаптар адамзатқа екі өлемді: алыс қашықтықтағы *ғарышты* және микроағзалардан тұратын *микроөлемді* ашты.

Оптикалық аспаптар деп жарық сәулелері шоқтарын геометриялық оптика заңдарына сәйкес түрлендіре отырып, қарусыз көзге көрінбейтін микробъектілерді немесе микробъектілердің құрылымдық бөліктерін еселеп үлкейтетін, сондай-ақ жақын нәрселердің де, алыстағы аспан шырақтарының да көрінерлік бұрыштық өлшемдерін ұлғайтатын құрылғыларды айтады.

Оптикалық аспаптарда жинағыш және шашыратқыш линзалармен әртүрлі айнарлардың жиынтығы қолданылады.

Үлкейтiп көрсететiн оптикалық аспаптарды қолдану орнына қарай екі үлкен топқа бөлуге болады:

- өте ұсақ заттарды қарауға арналған аспаптар (лупа, микроскоп). Бұл аспаптар қарастырылатын заттарды үлкейтедi;
- алыстағы объектілердi қарауға арналған аспаптар (көру түтігі, бинокль, телескоп және т.б.). Бұл аспаптар қарастырылып отырған заттарды жақындатады.

Нәрсенi оптикалық аспап арқылы бақылаған кездегі φ көру бұрышының құралсыз көзбен қараған кездегі ψ көру бұрышына қатынасы аспаптың **бұрыштық үлкейтүі** деп аталады:

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi}. \quad (5.7)$$



5.2.1-сурет. Лупа

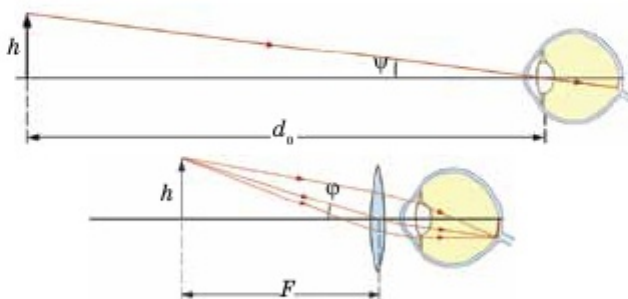
Визуалды бақылау үшін **бұрыштық үлкейтүі оптикалық аспаптардың маңызды сипаттамасы** болып табылады. Визуалды бақылау үшін қолданылатын ең қарапайым оптикалық аспап – **лупа** (5.2.1-сурет). Лупаны XVII ғасырда нидерландтық табиғат зерттеушісі А. Левенгук ойлап тапты, бұл лупа 300 рет үлкейтүге мүмкіндік берді.

Лупа деп фокустық арақашықтықты аз ($F \approx 10$ см) жинағыш линзаны айтады.

Лупаны көзге жақындатып, ал қаралатын нәрсені оның фокалдык жазықтығына орналастырады. Лупаның әрекет ету принципі жинағыш линзаның жорамал, тура және үлкейтiлген кескіндi алуына негiзделген. Дененi лупа

арқылы қарағанда ол $\varphi = \frac{h}{F}$ бұрышымен көрінеді, мұндағы h – дененің сызықтық өлшемі (5.2.2-сурет). Әдетте денені құралсыз көзбен қараған кезде оны қалыпты көздің $d_0 = 25$ см болатын ең жақсы көру қашықтығында орналастыру керек. Мұндай жағдайда дене $\psi = \frac{h}{d_0}$ бұрышпен көрінеді. Демек, **лупаның бұрыштық үлкейтүі** мынаған тең:

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{d_0}{F}. \quad (5.8)$$



5.2.2-сурет. Нәрсенi жай көзбен және лупа арқылы көру бұрыштары

Микроскоп өте ұсақ көзге көрінбейтін жақын және орналасқан нәрселерді көру үшін қолданылатын оптикалық аспап (5.2.3-сурет). Микроскоптағы нәрсенің үлкейтілген бейнесі оптикалық жүйе арқылы алынады, ол екі қысқа фокусты линзадан – O_1 объективтен және O_2 окулярдан тұрады (5.2.4-сурет). Объектив дененің шын, төңкерілген, үлкейтілген кескінін береді. Бұл аралық кескінді қысқа фокусты жинағыш линза (лупаның) әрекетіне ұқсас окуляр арқылы қарайды. Окуляр аралық кескін оның фокалдық жазықтығында болатындай етіп орналасады; бұл жағдайда дененің кез келген нүктесінен сәулелер окулярдан кейін параллель шоқтармен таралады.

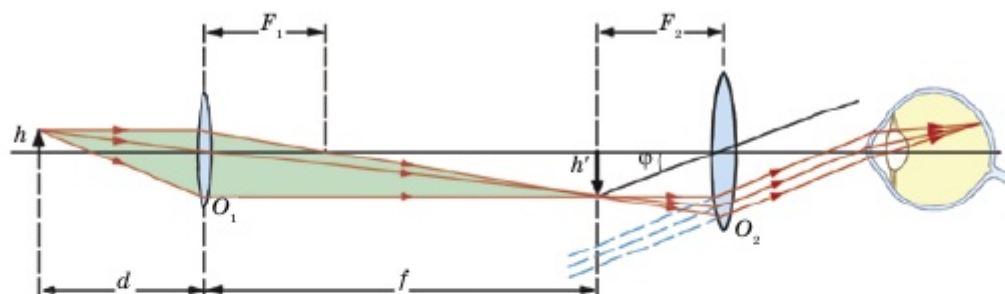


5.2.3-сурет.
Микроскоп

Окуляр әрқашан дененің жорамал, төңкерілген кескінін береді. Егер бұл қолайсыз болса (мысалы, кішкентай шрифты оқығанда), дененің өзін объективтің алдында бұруға болады.

Сондықтан *микроскоптың бұрыштық үлкейтуі оң шама* деп саналады. 5.2.4-суретте көрсетілгендей, шағын бұрыштар жағдайында окуляр арқылы қаралатын заттың φ көру бұрышы: $\sin \varphi = \frac{h'}{F_2}$ немесе $\varphi \approx \frac{h'}{F_2} = \frac{f \cdot h}{d \cdot F_2}$ болады. Шамамен: $d \approx F_1$ және $f \approx l$, мұндағы l – объектив пен микроскоптың окулярының арасындағы қашықтық («тубус ұзындығы»). Сол денені құралсыз көзбен қараған кезде $\psi = \frac{h}{d_0}$ (5.2.2-сурет). Нәтижесінде, *микроскоптың бұрыштық үлкейтуі* мына түрге келеді:

$$\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{l \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2}. \quad (5.9)$$



5.2.4-сурет. Микроскоптағы сәулелер жолы

Жақсы микроскоп мың есеге дейін ап-айқын үлкейте алады. Одан үлкен үлкейтулер барысында дифракциялық құбылыстар пайда болады да, объектінің бейнесі айқындығын жояды.

2. 1609 жылы Галилео Галилей оған дейін Нидерландыда ойлап тапқан көру түтігі туралы жеткен мәліметтердің негізінде өзінің алғашқы телескопын құрастырды. Ғалым көп ұзамай 32 есе үлкейтетін телескоп жасап, оның көмегімен Айдағы таулар мен кратерлерді және Күндегі дақтарды ашты; Юпитердің төрт серігін, Шолпан планетасының фазасын анықтады.

Телескоп (көру түтігі) — қашықтағы объектілерді бақылауға арналған оптикалық аспап. Ол екі линзадан: нәрсеге қараған фокустық арақашықтығы үлкен жинағыш линзадан (объектив) және бақылаушыға қараған фокустық арақашықтығы шағын линзадан (окуляр) тұрады. Заманауи телескоптар жұлдыздар мен ғарыш объектілерін бақылау үшін қолданылады. Осындай телескоптар, мысалы, Алматы облысындағы Тянь-Шань және Асы-Түрген обсерваторияларында орнатылған (5.2.5-сурет).

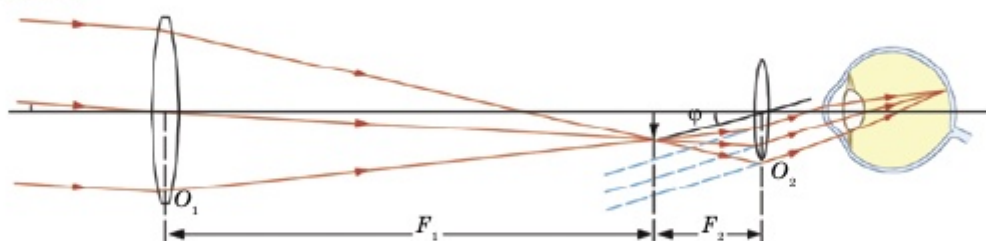


5.2.5-сурет. Заманауи телескоптар

Көру түтіктері екі түрге бөлінеді:

- астрономиялық бақылауға арналған Кеплердің көру түтігі; бұл түтік қашықтағы нәрсенің үлкейтілген, бірақ төңкерілген кескіндерін береді және соған байланысты Жерден бақылауға ыңғайсыз болып келеді;
- Жерден бақылауға арналған Галилейдің көру түтігі үлкейтілген тура кескіндерді береді; Галилейдің түтікшесіндегі окуляр шашыратқыш линза қызметін атқарады.

Астрономиялық телескоптағы сәулелер жолы 5.2.6-суретте бейнеленген. Бақылаушының көзі шексіздікке бейімделген деп есептеледі, сондықтан қашықтағы нәрсенің әрбір нүктесінен сәулелер окулярдан параллель шоқтармен шығады. Бұл сәулелер жолы **телескоптық** деп аталады. Астрономиялық түтікте объектив пен окуляр арасындағы қашықтық олардың фокустық арақашықтықтарының қосындысына тең болған жағдайда $l = F_1 + F_2$ сәулелердің телескоптық жүрісіне қол жеткізіледі. Көру түтігі (телескоп), әдетте, **γ бұрыштық үлкейтумен** сипатталады.



5.2.6-сурет. Астрономиялық телескоптағы сәулелер жолы

Телескопта бақыланатын нәрселер микроскоптағыдай емес, ылғи да бақылаушыдан алыста болады. Егер қашықтағы нәрсе ψ бұрышпен көзге көрінсе, ал теле-

скоп арқылы φ бұрышымен байқалса, онда бұрыштық үлкейту $\gamma = \frac{\varphi}{\psi}$ қатынасымен анықталады. *Астрономиялық оптикалық аспаптардың бұрыштық үлкейтуі фокустық арақашықтықтар арқылы да өрнектеледі:*

$$\gamma = \frac{F_1}{F_2}. \quad (5.10)$$

Γ сызықтық үлкейтудегі сияқты γ бұрыштық үлкейтуде де кескіннің тура немесе кері (төңкерілген) түрлеріне қарай плюс және минус таңбаларын қосып жазуға болады. Кешлер астрономиялық түтігінің бұрыштық үлкейтуі теріс, ал Галилей жер түтігінде оң деп алынады.



Қосымша деректер

«Төрт көзді балықтарда шындығында екі көз бар, алайда олардың әрқайсысы горизонталь жарғақтармен бөлінген. Осыған орай төрткөзділер су бетінде жүзе отырып, оның үстіндегіні де, астындағы да көре алатын бірден-бір омыртқалылар қатарына жатады. Бұған жарықтың ауадағы және судағы сыну көрсеткіштерінің әртүрлілігі де кедергі бола алмайды: өйткені әр көздің жоғары және төменгі бөліктеріндегі линзалардың қисықтық радиустары сәйкесінше өзгеріп отырады.



Сұрақтар

1. Оптикалық аспап дегеніміз қандай құрал?
2. Бұрыштық үлкейту деп нені айтады?
3. Оптикалық аспаптарды мақсаттарына қарай қандай топтарға бөлуге болады?
4. Лупаның әрекет ету принципі қандай?
5. Микроскоп қандай оптикалық элементтерден тұрады? Микроскоптағы сәулелердің жүрісін түсіндіріңдер.
6. Микроскоптың бұрыштық үлкейтуі қалай анықталады? Ол қандай аралықтарда өзгеруі мүмкін?
7. Телескоп (көру түтігі) қандай оптикалық элементтерден тұрады? Олардың бұрыштық үлкейтулері қалай анықталады? Телескоптағы сәулелердің жүрісін сала отырып, оның жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



Топтық жұмыс

Оптикалық аспаптардың паспорттарын мына жоспар бойынша жасаңдар:

- 1) арналуы;
- 2) жұмыс істеу принципі;
- 3) тарихы;
- 4) қолданылуы.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Объективінің фокустық арақашықтығы $F_1 = 50$ см болатын көру түтігінің бірінші жағдайында бақылаушы өте алыстағы денені қарайды, содан кейін окулярды екінші жағдайға ауыстырып, түтіктен $d_2 = 25$ м қашықтықта орналасқан нәрсеге бағыттайды. Окуляр түтігі қаншаға орын ауыстырды?

Берілгені:	ХБЖ
$F_1 = 50$ см	0,5 м
$d_2 = 25$ м	
$x = ?$	

Шешуі:

Егер окулярдан параллель сәулелер шықса, бақылау шарттары екі жағдайда да өте жақсы көрсеткішке ие болады. Бұл үшін линзадан алынатын кескін окулярдың фокалдық жазықтығында жатуы керек.

1-жағдайда кескін объективтің фокалдық жазықтығында алынады $f_1 = F_1$, мұндағы F_1 – объективтің фокустық арақашықтығы.

Екінші жағдайда кескін F_1 -ден x шамасына үлкен f_2 қашықтықта орналасуы тиіс.

Бақылаушының көзіне 2-жағдайда да параллель сәулелердің шоғы түсуі үшін окулярды x қашықтыққа ығыстыру қажет. Өлбетте, $x = f_2 - F_1$ болады. Екінші жағдай үшін жұқа линзаның формуласын пайдалана отырып, мынаны табамыз:

$$f_2 = \frac{F_1 d_2}{d_2 - F_1},$$

демек,

$$x = \frac{F_1 d_2}{d_2 - F_1} - F_1 = \frac{F_1^2}{d_2 - F_1};$$

$$x = \frac{0,5^2}{25 - 0,5} = 0,01 \text{ м.}$$

Жауабы: $x = 0,01$ м.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 5.2.1. Фокустық арақашықтығы 2 см лупамен берілетін үлкейтулерді мына жағдайлар үшін табыңдар: а) ең жақсы көру қашықтығы 25 см-ге тең қалыпты көз үшін; ө) ең жақсы көру қашықтығы 15 см-ге тең жақыннан көргіштер үшін. (*Жауабы:* 12,5; 7,5)
- 5.2.2. Микроскоп объективінің оптикалық күші 100 дптр, окулярдікі 50 дптр. Объектив пен окуляр арасындағы қашықтық 19 см, ең жақсы көру арақашықтығы 25 см. Микроскоптың бұрыштық үлкейтуі неге тең? (*Жауабы:* ≈ 238)

В

- 5.2.3. Егер микроскоптың барлық үлкейтуі 120, ал окулярдың фокустық арақашықтығы 2,5 см болса, микроскоп объективінің үлкейтуі қанша болады? Ең жақсы көру арақашықтығы 25 см. (*Жауабы:* 12)
- 5.2.4. Егер $F_{об} = 5$ мм, $F_{ок} = 25$ мм болса, ал нәрсе объективтен 5,2 мм қашықтықта орналасса, ең жақсы көру қашықтығы 275 мм көз үшін микроскоптың үлкейтуі қанша болады? (*Жауабы:* 286)
- 5.2.5. Микроскоп объективінің фокустық арақашықтығы 5 мм, ал окулярдың фокустық арақашықтығы 25 мм. Нәрсе объективтен 5,1 мм қашықтықта орналасқан. Микроскоп тубусының ұзындығын және микроскоптың үлкейтуін есептеңдер. (*Жауабы:* 28 см; 510)

V ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Жарықтың түзусызықты таралу заңы:** оптикалық біртекті ортада жарық түзусызықты таралады.

- **Жарықтың шағылу заңы:** түскен сәуле, шағылған сәуле және екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; γ шағылу бұрышы α түсу бұрышына тең.

- **Жарықтың сыну заңы:** түскен сәуле, сынған сәуле және сол екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесінде тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; түсу бұрышы (α) синусының сыну бұрышы (β) синусына қатынасы екі орта үшін де тұрақты шама:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}.$$

- **Толық ішкі шағылу** деп электрмагниттік сәуле тығыздығы үлкен ортадан тығыздығы кіші ортаға бағытталып, екі мөлдір ортаның шегарасына белгілі бір α_0 шекті бұрыштан үлкен бұрышпен түскенде тек шағылған сәулелердің ғана пайда болу құбылысын айтады.

Шекті бұрыш мына шарт бойынша анықталады: $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$.

Егер сәуле сыну көрсеткіші n ортадан вакууммен (ауамен) шектелетін ортаға қарай тараса, одан шекті бұрыш мына формула бойынша анықталады:

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

- **Жарықжетектегіш (оптикалық талшық)** — сыну көрсеткіші талшықтікінен аз мөлдір материалмен қапталған цилиндр тәрізді шыны талшықтар жиыны.

- **Оптикалық аспаптар** деп жарық сәулелері шоқтарын геометриялық оптика заңдарына сәйкес түрлендіре отырып, қарусыз көзге көрінбейтін микрообъектілерді немесе макрообъектілердің құрылымдық бөліктерін еселеп үлкейтетін, сондай-ақ жақын нәрселердің де, алыстағы аспан шырақтарының да көрінерлік барлық өлшемдерін ұлғайтатын құрылғыларды айтады.

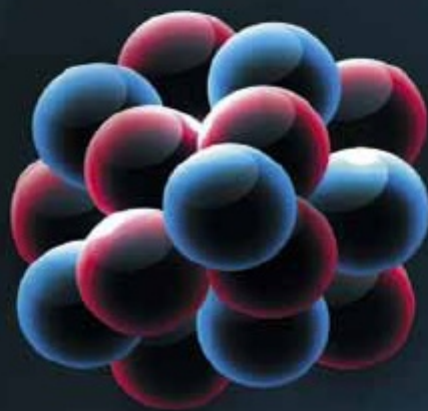
- **Аспаптың бұрыштық үлкейтуі** деп нәрсені оптикалық аспап арқылы бақылаған кездегі көру бұрышының құралсыз көзбен қараған кездегі көру бұрышына қатынасын айтады: $\gamma = \frac{\varphi}{\psi}$.

- **Луна** деп фокустық арақашықтығы аз ($F \approx 10$ см) жинағыш линзаны айтады.

- **Микроскоп** — өте ұсақ нәрселерді үлкейтіп көру үшін қолданылатын оптикалық аспап.









- **Телескоптар (көру түтіктері)** — қашықтағы объектілерді бақылауға арналған оптикалық аспап.

6-тарау



АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  электрмагниттік сәуле шығарудың корпускулалы және толқындық табиғатын айғақтайтын дәлелді мысалдар келтіру (элементар бөлшектердің толқындық табиғаты туралы түсінік беру);
-  спектрлік талдау әдісін және оның қолдану аясын сипаттау;
-  электрмагниттік сәуле шығаруды олардың пайда болу табиғаты бойынша және заттармен өзара әрекеттесулеріне қарай ажырату;
-  фотоэффектінің табиғатын түсіндіру және оны қолдануға мысалдар келтіру;
-  фотосинтездегі және фотографиядағы процестер мысалында жарықтың химиялық әсерін сипаттау;
-  компьютерлік және магниттік-резонанстық томографияны салыстыру;
-  лазердің жұмыс істеу принципі мен қолданысын түсіндіру;
-  голографияның даму болашағын талқылау.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
сәулелену	излучение	emission, radiation
электрмагниттік толқындардың шкаласы	шкала электромагнитных волн	the scale of electromagetic waves
инфрақызыл сәуле шығару	инфракрасное излучение	infrared radiation
ультракүлгін сәуле шығару	ультрафиолетовое излучение	ultraviolet radiation
сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы	спектральная плотность излучения	spectral radiation density
спектрлік талдау	спектральный анализ	spectral analysis

үздіксіз (тұтас) спектр	не прерывный (сплошной) спектр	continuous spectrum
сызықтық спектр	линейчатый спектр	line spectrum
жолақ спектр	полосатый спектр	band spectrum
жұтылу спектрі	спектр поглощения	absorption spectrum
корпускулалы-толқындық дуализм	корпускулярно-волновой дуализм	wave-corpucle dualism
фотозэффект	фотозэффект	photoeffect
фотозэлемент	фотозэлемент	photocell
күн батареялары	солнечные батареи	solar batteries
жарықтың химиялық әсері	химическое действие света	chemical action of light
лазер	лазер	laser

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «сәуле шығару», «электр-магниттік толқындардың шкаласы», «инфрақызыл сәуле шығару», «ультра-күлгін сәуле шығару», «сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы», «спектрлік талдау», «үздіксіз спектр», «сызықтық спектр», «жолақ спектр», «жұтылу спектрі», «корпускулалы-толқындық дуализм», «фотозэффект», «фотозэлемент», «күн батареялары», «жарықтың химиялық әсері», «лазер».

§ 6.1

Жарықтың корпускулалы-толқындық табиғатының біртұтастығы

1. Жарық табиғаты XVIII ғасырдың басынан белсенді түрде зерттеле бастады. Ол уақытта жарықтың екі балама теориясы белгілі болды: **корпускулалық** және **толқындық**. Жарық толқын ба немесе бөлшектер ағыны ма? деген сұрақ туындады. XIX ғасырда Юнг, Френель мен Максвеллдің жұмыстарынан кейін жарықтың дифракциясы, интерференциясы мен поляризациясы дәлелденіп, мәселе толқындық теория пайдасына шешілгендей болды: жарық – электромагниттік толқын деген көзқарас қалыптасты. Алайда XX ғ. басында Планктың,

Эйнштейн мен Комптонның және басқа да ғалымдардың еңбектерінде қара дененің кванттық сәуле шығаруы, фотоэффект пен Комптон эффектісі белгілі болғаннан кейін жарықтың **энергия** мен **импульске** ие, *релятивистік бөлшектер – фотондар ағыны* екені дәлелденді.

Жарықтың қысымы мен сынуы әрі толқындық, әрі кванттық теориямен де түсіндірілді.

Сөйтіп, *жарықтың табиғаты екіжақты екендігі, яғни корпускулалы-толқындық қасиетке ие болатындығы ақиқатқа айналды.*

Жарықтың әрі үздіксіздік (толқындық), әрі дискреттік (кванттық) қасиеттері бар болып шықты. Кейінгі зерттеулер мұндай екіжақтылық бізді қоршаған материяның кірпіші болып табылатын барлық элементар бөлшектерге ортақ *іргелі қасиет* екендігін тағайындады.

Жарықтың ажырамас корпускулалы-толқындық екіжақтылығы корпускулалы-толқындық дуализмі деп аталады.

Алғаш рет жарықтың екіжақтылық қасиеті ұғымын абсолют қара дененің көлем бірлігіндегі энергия флуктуациясын және жарық қысымының флуктуациясын *зерттеу кезінде Эйнштейн енгізген болатын.* Абсолют қара дененің сәуле шығаруы мен статистикалық физика әдістерін пайдаланып, Эйнштейн қысым ауытқуының және энергия тығыздығының мәндерін есептеп, екі мүшенің де қосындысын қамтитын формула алды. Алғашқы (кванттық) мүше арқылы жарық дискретті бөлшектер – фотондар ағыны ретінде қарастырады. Екінші (толқындық) мүше таралатын электрмагниттік толқындағы флуктуацияларды сипаттайды. Осылайша, электрмагниттік сәулелену бірін-бірі толықтыратын *үздіксіз* (толқындар) және *дискретті* (фотондар) қасиеттердің таңғажайып біртұтастығын анықтайды.

2. Электрмагниттік сәуле шығарудың *ε энергиясы* мен фотондарының *p импульсі* сияқты корпускулалы қасиеттерін оның *ν жиілік* немесе *λ толқын ұзындығы* сияқты толқындық қасиеттермен байланыстыратын негізгі теңдеулер мына түрде жазылады:

$$\varepsilon_{\gamma} = h\nu, \quad (6.1)$$

$$p_{\gamma} = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (6.2)$$

Жарық толқынының электрмагниттік өрісіне тән үздіксіздік қасиеттері фотонға тән дискреттік қасиеттеріне қарсы қойылмауы керек. Корпускулалық және толқындық қасиеттерге ие жарық, олардың шығуына қарай белгілі бір заңдылықты көрсетеді. Осылайша, *жарықтың толқындық қасиеттері* оның таралу заңдарында, интерференция, дифракция және поляризация құбылыстарында, ал корпускулалық – жарықтың затпен өзара әрекеттесу процестерінде көрініс табады.

Толқын ұзындығы өскен сайын фотонның энергиясы мен импульсі соғұрлым аз болады да, жарықтың кванттық қасиетін байқау қиынға соғады (фотоэффектінің қызыл шеғарасы осымен байланысты). Керісінше, толқын ұзындығы аз

болған сайын (яғни жиілік өскен сайын) фотон *энергиясы* мен *импульсі* соғұрлым үлкен болып, жарықтың толқындық қасиетін байқау қиынға соғады (мысалы, рентген сәулесінің толқындық қасиеті (дифракциясы) кристалды дифракциялық тор ретінде қарастырғанда ғана байқалды).



Луи де Бройль (1892–1987) – француз физик-теоретигі, кванттық механиканың негізін қалаушылардың бірі, физикадан 1929 жылғы Нобель сыйлығының лауреаты

3. Француз физигі Луи де Бройль толқындық қасиеттер тек фотондарға ғана емес, басқа да элементар бөлшектерге де тән екенін көрсетті. Бөлшектер қозғалған кезде де толқындық қасиеттерге ие болады. Өрбір микрообъектілер, бір жағынан, олардың *корпускулалық сипаттамасы болатын энергия E* және *импульс p* шамаларымен, екінші жағынан, *толқындық сипаттамасы болатын жиілік ν* және *толқын ұзындығы λ* шамаларымен байланысады. Көрсетілген физикалық шамалардың араларындағы сандық сипаттамалар да фотон үшін жазылған формулалар сияқты өрнектеледі:

$$E = h\nu, p = \frac{h}{\lambda}, \quad (6.3)$$

мұндағы p – импульс.

Де Бройль толқынының ұзындығы келесі формуламен есептеледі:

$$\lambda = \frac{h}{p}. \quad (6.4)$$

Де Бройль гипотезасының батылдығы (6.4) өрнегін фотонға ғана емес, сонымен қатар басқа микробөлшектер үшін де дұрыс деп дәлелдей алғандығында еді.

4. Элементар бөлшектердің тәжірибеде дәлелденген толқындық табиғатының мысалдарын келтіруге болады. 1927 жылы америкалық физиктер К. Дэвиссон (1881–1958) және Л. Джермер (1896–1971) никель кристалы секілді табиғи дифракциялық тордан шашырайтын электрондар шоғы анық дифракциялық кескінді беретінін көрсетті. Ресей физигі В.А. Фабрикант (1948) дифракциялық кескін тек шоқтарға ғана емес, жеке электрондарға да тән екенін дәлелдеді.

Кейінірек дифракциялық құбылыстардың нейтрондарға, протондарға, атомдық және молекулалық шоқтарға да тән екені көрсетілді. Бұл жайт микробөлшектердің толқындық қасиеттерінің айқын дәлелі, сөйтіп олардың қозғалысын де Бройль формуласымен есептеп табуға болатын нақты толқын ұзындығы бар толқындық процесс ретінде сипаттауға мүмкіндік берді. Микробөлшектердің толқындық қасиеттерінің ашылуы заттың құрылымын зерттейтін *электронография, нейтронография* секілді заманауи құралдарын шығаруға және ғылымның жаңа саласы *электрондық оптиканың* дамуына өкелді.



Сұрақтар

1. Жарықтың толқындық теориясының негізгі қағидалары мен түсініктері қандай?
2. Жарықтың корпускулалық теориясының негізгі қағидалары мен түсініктері қандай?



3. Неліктен жарықтың корпускулалы-толқындық табиғатының екіжақтылығы туралы түсінік пайда болды?
4. Жарықтың және басқа да элементар бөлшектердің толқындық және кванттық (дискреттік) табиғатын сипаттайтын формулалар қалай жазылады?



Тапсырма (теориялық зерттеу)

«Микробөлшектердің корпускулалы-толқындық дуализмінің көріністері» тақырыбына баяндама даярлаңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. 400 В потенциалдар айырымының үдетуімен өткен электрон мен протон үшін де Бройль толқын ұзындығын табыңдар.

Берілгені:

$$U = 400 \text{ В}$$

$$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$m_p = 1,6720 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$\lambda_e = ? \quad \lambda_p = ?$$

Шешуі:

Де Бройль толқын ұзындығын мына формуламен табамыз:

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (1)$$

мұндағы Планк тұрақтысы – $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с;
 $p = mv$ – бөлшектің импульсі. (2)

Бөлшектер потенциалдар айырымынан өткен кезде, пайда болатын жылдамдықты келесі өрнектен табамыз:

$$\frac{mv^2}{2} = qU.$$

Бұдан электрон мен протонның жылдамдықтарын табамыз:

$$v_e = \sqrt{\frac{2q_e U}{m_e}}; \quad v_p = \sqrt{\frac{2q_p U}{m_p}}. \quad (3)$$

(3)-ті (2)-ге қойып, шыққан өрнекті (1)-ге қойғанда, келесі формулаларды аламыз:

$$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2q_e U m_e}}; \quad \lambda_p = \frac{h}{\sqrt{2q_p U m_p}},$$

мұндағы $q_e = q_p = |e|$ – элементар зарядтың абсолют шамасы.

Планк тұрақтысын, электронның және протонның зарядтарын формулаға қойып есептейміз: $\lambda_e = 61,3$ пм, $\lambda_p = 1,4$ пм.

Жауабы: $\lambda_e = 61,3$ пм, $\lambda_p = 1,4$ пм.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 6.1.1. Жылдамдығы 20 км/с; 0,8 км/с болатын электрон үшін де Бройль толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 36,4 нм; 908 нм)
- 6.1.2. Кинетикалық энергиясы 100 эВ протон үшін де Бройль толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 2,86 пм)

6.1.3. Орташа кинетикалық энергиясы бөлме температурасындағы газ атомдарының орташа энергиясына жақын жылулық нейтрондардың жылдамдығы 2,5 км/с. Осындай нейтрондар үшін де Бройль толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 159 пм).

§ 6.2

Спектрлік талдау

1. Спектрлік талдау деп белгісіз заттың спектрін зерттеу негізінде оның сапалық және сандық химиялық құрамын анықтайтын физикалық әдістерді айтады.

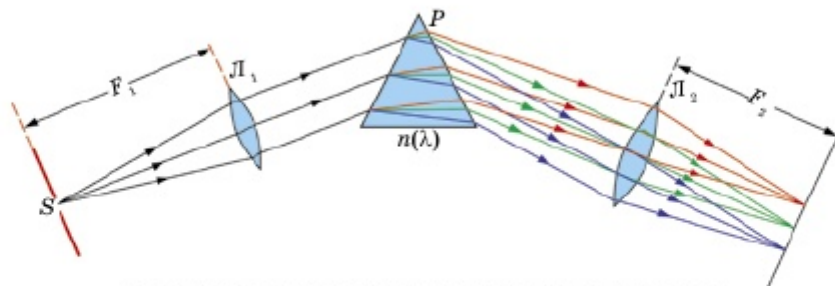
Спектр деп электромагниттік толқындардың толқын ұзындығы (немесе жиілігі) бойынша құрамдас бөліктерге жіктелген жиынтығын айтады.

Күрделі электромагниттік толқындарды толқын ұзындығы (немесе жиілігі) бойынша құрамдас бөліктерге жіктеу арнайы спектрлік аппараттарда жүзеге асырылады да, әрбір бөлік көрінетін түсті сызықтар немесе жолақтар түрінде тіркеледі. Мұндай көрінетін сызықтар мен жолақтар да спектр деп аталады.

Спектрлік аппарат деп зерттелетін заттың электромагниттік сәулеленуін қоздырып шығаратын және оны спектрге жіктейтін, әрі тіркейтін құрылғыны айтады.

2. Спектрлерді зерттеу үшін қолданылатын аппараттарға спектрлерді аяқын бөлектейтін (жіктейтін) және оларды бір-біріне қабаттастырмайтын т.б. талаптар қойылады. Мұндай талаптарды орындау үшін спектрлік аппараттарда көп жағдайда дифракциялық тор немесе призма қолданылады. Төмендегі суретте осындай аппараттың сұлбасы көрсетілген (6.2.1-сурет).

Призманың әрекеті дисперсия құбылысына, яғни заттың n сыну көрсеткішінің жарықтың λ толқын ұзындығына тәуелділік $n(\lambda)$ заңдылығына негізделген.



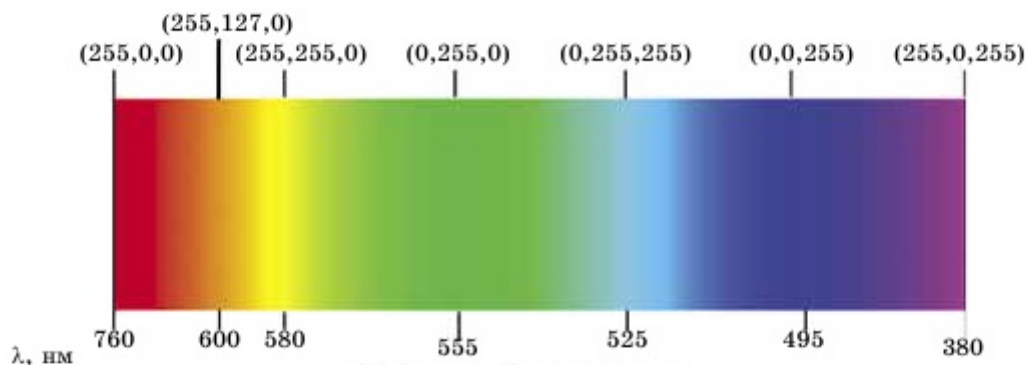
6.2.1-сурет. Спектрлік аппараттағы сәулелер жолы

Зерттелетін жарық шоғы түсетін S саңылау L_1 линзаның фокалдық жазықтығында орналасқан. Аспаптың бұл бөлігі коллиматор деп аталады. Линзадан шыққан жарықтың параллель шоғы P призмасына өртүрлі бұрыштармен түседі. L_2 линзаның фокалдық жазықтығында экран немесе фотопластинка орналасқан, онда линзадан шыққан сәулелер тоғысады. Нәтижесінде экранның өртүрлі орын-

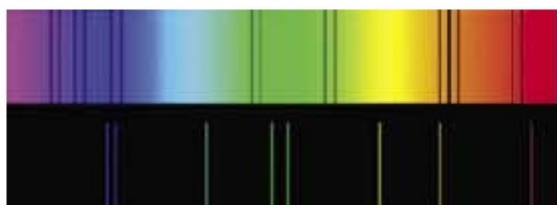
дарында әртүрлі толқын ұзындықтарына сәйкес түстерге жіктелген сызық немесе жолақ түріндегі кескін пайда болады. Призмалар жасалатын барлық мөлдір заттарда (шыны, кварц) көрінетін жарық диапазонындағы n сыну көрсеткіші λ толқын ұзындығы артқан сайын біртіндеп кемиді; мұндай монотонды кемитін $n(\lambda)$ тәуелділігі **қалыпты дисперсия** деп аталады. Осындай дисперсия құбылысы негізінде призма көк және күлгін сәулелерді бастапқы бағытынан көбірек үлкен, ал қызыл түсті сәулелер аз бұрышқа ығыстырады.

3. Әртүрлі заттардың атомдарының сәуле шығару спектрінің құрамы алуан түрлі болып келеді. Дегенмен барлық спектрлерді бір-бірінен қатты ерекшеленетін үш түрлі топқа бөлуге болады.

Үздіксіз (тұтас) спектрлер. Сәуле шығарудың үздіксіз спектрінде (6.2.2-сурет) бүкіл ұзындықтағы толқындар келтірілген. Спектрде үзіліссіз және спектрограф экранында бір түстен екінші түске бірсыдырғы өтетін түрлі түсті тұтас жолақты көруге болады. Үздіксіз (тұтас) спектрлерді қатты немесе сұйық күйдегі денелер және қатты сығылған газдар береді. Үздіксіз спектрді жоғары температуралы плазма да шығарады.



Сызықтық спектрлер. Сәуле шығарудың сызықтық спектрлері (6.2.3-сурет) жарықтылығы әртүрлі аралары жалпақ жолақтармен бөлінген түрлі түсті сызықтар жиыны болып табылады. Газ тәріздес атомдық (бірақ молекулалық емес) күйдегі заттардың бәрі сызықтық спектр шығарады. Әдетте, сызықтық спектрлерді бақылау үшін ыстық жалындағы (мысалы, электр доғасындағы) зат буының жарқырауы немесе зерттелетін газбен толтырылған түтікшедегі газ разрядының жарық шығаруы қолданылады.

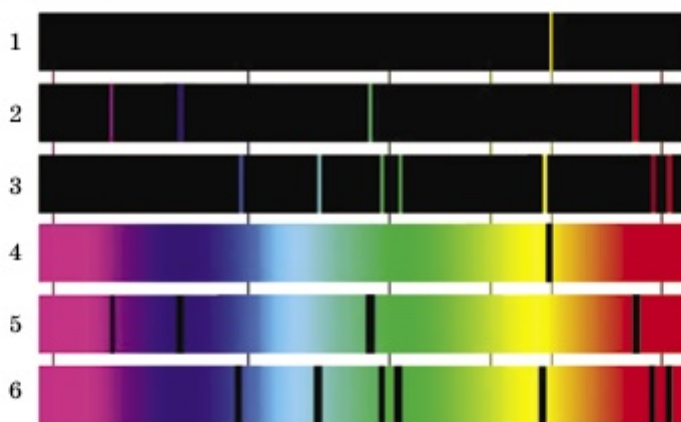


Жолақ спектрлер. Жолақ спектрлер қара аралықтармен бөлінген жеке жолақтардан тұрады (6.2.4-сурет). Жолақ спектрлердің негізгі көзі атомдар емес, бір-бірімен байланыспаған немесе әлсіз байланысқан молекулалар болып табылады.



6.2.4-сурет. Жолақ спектр

Жұтылу спектрлері. Егер ақ жарықты жарық шығармайтын салқын газ арқылы өткізсек, онда үздіксіз спектрде жұтылған сәулелерге сәйкес келетін қара сызықтар пайда болады (6.2.5-сурет, төменгі үш спектр). Газ қатты қыздырылған күйде қандай сәуле шығаратын болса, сондай сәулелерді салқындау күйінде белсенді жұтады. Ендеше, жұтылу спектрлері де белгісіз газдың құрамын анықтауға мүмкіндік береді.



Шығару спектрі: 1-натрий; 2-сутегі; 3-гелий. Жұтылу спектрлері: 4-натрий; 5-сутегі; 6-гелий.
6.2.5-сурет. Шығару және жұтылу спектрлері

Сызықтық спектрлер атом құрылымымен тікелей байланысты болғандықтан, оларды зерттеу спектрлік талдаудың негізі болып табылады. Сызықтық спектрлердің орналасу түрлеріне қарап, заттардың химиялық құрамын анықтайды, өйткені химиялық элементтің атомдары басқа элементтердің спектріне ұқсамайтын тек өздеріне тән сызықтық спектрлер шығарады.

4. Спектрлік талдау арқылы күрделі заттың құрамындағы элементтерді анықтауға болады. Спектрлік талдау — металлургияда, машина жасауда, атомдық өндірісте зат құрамын тексерудің кең тараған негізгі әдісі.

Астрофизикада спектрлік талдаудың қызметіне тек жұлдыздардың, газ бұлттарының және тағы басқа объектілердің химиялық құрамын анықтаумен қатар, олардың спектрлері бойынша температура, қысым, қозғалыс жылдамдығы, магнит индукциясы секілді басқа да физикалық сипаттамаларын айқындау жұмыстары да жүктеледі.

Спектрлік талдау криминалистикада қылмыс жасаған жердегі айғақтарды зерттеу үшін қолданылады. Бұл салада спектрлік талдау қылмыстың құрал-саймандарын және кейбір айғақтарын ашу үшін зор көмегін тигізеді.

Медицинада спектрлік талдауды қолдану аймағы өте кең. Оны диагностика мақсаттарында және адам ағзасында бөгде заттарды анықтау үшін қолданады.



Сұрақтар

1. Спектрлік талдаудың физикалық мағынасы қандай?
2. Спектр дегеніміз не?
3. Спектрлік аппарат деп қандай қондырғыны айтады? Спектрлік аппараттардың жұмыс істеуі неге негізделген және оларды қайда қолданады?
4. Үздіксіз, сызықтық және жолақ спектрлердің бір-бірінен айырмашылығы неде? Шам жалыны, алау жалыны, электрплитка спиралі, электр доғасының жалыны, неон шамы, күндізгі жарық шамы көздерінен қандай спектрлер алынады?
5. Спектрлік талдаудың негізгі функциясы қандай және ол қандай құбылысқа негізделген?
6. Спектрлік талдау қандай салаларда қолданылады?



Тапсырма (практикалық тапсырма)

Спектрлік талдаудың металлургияда, машина жасауда, атомдық индустрияда, криминалистикада және астрофизикада қолданылуы бойынша ақпарат дайындаңдар да, топтарда талқылаңдар.

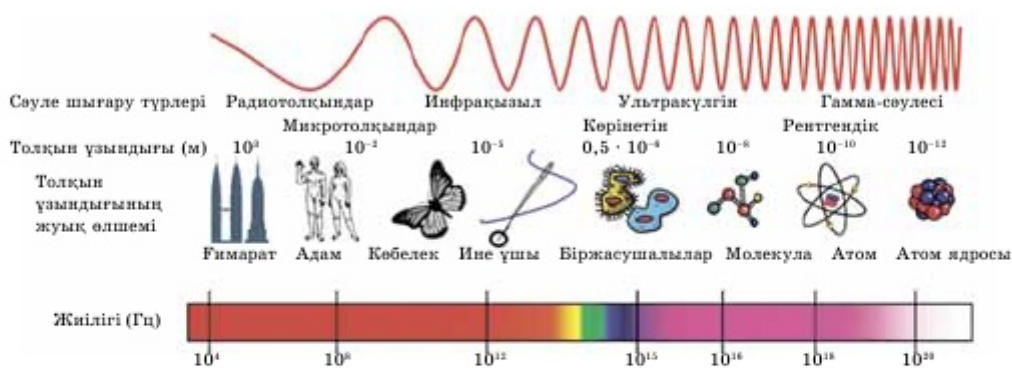
§ 6.3

Электрмагниттік толқындар шкаласы

1. Электрмагниттік толқындар шкаласы деп электрмагниттік сәулелердің толқын ұзындықтарының (немесе жиіліктерінің) өсуіне немесе кемуіне қарай орналасқан барлық мүмкін мәндерінің тізбесін айтады.

Электрмагниттік сәуле шығарудың негізгі көзі – атом. Атом сәуле шығару үшін оған белгілі бір энергияны беру қажет. Атом сәуле шығарғанда кеңістікте тарайтын электрмагниттік толқын түрінде энергияны жоғалтады. Өдетте, электрмагниттік толқындар атомдардың құрамына кіретін зарядталған бөлшектер үдемелі қозғалған кезде шығады. Бұл бөлшектер заттар құрамындағы атомдардың ішінде болады. Сәуле шығаруды **сәуле шығару көзі** және **энергиясы** бойынша жіктейді.

Сәулелер шыққан **көздері** мен **энергияларына** қарай жіктеледі. Сәулелердің әсері олардың толқын ұзындығына және жиілігіне тәуелді. Толқын ұзындығы аз болған сайын жиілігі мен энергиясы үлкенірек болады да, сәуленің өткірлігі артады. Көзге көрінетін жарық та электрмагниттік толқындар шкаласының $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7}$ м аралығында орналасқан электрмагниттік сәуле болып табылады (6.3.1-сурет).



6.3.1-сурет. Электрмагниттік толқындар шкаласы

Бұл шкала электрмагниттік толқындардың толқын ұзындығының арту және жиілігінің кему ретімен солдан оңға қарай орналасқан. Шкаладағы барлық толқындардың жылдамдығы бірдей және вакуумда $3 \cdot 10^8$ м/с жылдамдығы тарайды.

2. Электрмагниттік сәулелер толқын ұзындығы (немесе жиілігі) бойынша, ендеше энергиялары ($E = h\nu$) бойынша да бірнеше түрге жіктеледі. Толқын ұзындығы ең үлкен топқа *радиотолқындар* жатады. Олардың өтімділігі өте төмен.

Радиотолқындар 6.3.1-кестеде көрсетілгендей бірнеше топтарға жіктеледі.

6.3.1-кесте

Радиотолқындардың жіктелуі

Радиотолқындардың диапазоны	Толқын ұзындығы	Жиілігі
Аса ұзын толқындар	100 – 10 км	3 – 30 кГц
Ұзын толқындар	10 – 1 км	30 – 300 кГц
Орташа ұзындықтағы толқындар	1000 – 100 м	0,3 – 3 МГц
Қысқа толқындар	100 – 10 м	3 – 30 МГц
Ультрақысқа радиотолқындар	метрлік толқындар	30 – 300 МГц
	дециметрлік	0,3 – 3 ГГц
	сантиметрлік	3 – 30 ГГц
	миллиметрлік	30 – 300 ГГц
	субмиллиметрлік	0,3 – 3 ТГц

Ұзындығы 1 м-ден аз толқындар *микротолқындар* немесе *аса жоғары жиіліктегі (АЖЖ) радиотолқындар* деп аталады (жиілігі 300 мГц-тен кем).

Радиодиапазонның толқын ұзындықтары атом өлшемдерімен салыстырғанда үлкен болған соң, радиотолқындар таралған кезде ортаның атомдық құрылысы қарастырылмайды. Радиотолқындардың кванттық қасиеттері тек спектрдің инфрақызыл бөлігіне жапсарлас аймағындағы ең қысқа толқындарда ғана сезіле бастайды.

3. Инфрақызыл, көрінетін және ультракүлгін сәулелер электрмагниттік толқындар спектрінің оптикалық аймағын құрайды. Аталған толқындардың спектр аймақтарының жақындығы оларды зерттеу және практикалық қолдану әдістерінің бірлігін, сондай-ақ аспаптарының да ұқсастығын қамтамасыз етеді. Сондықтан оларды зерттеу үшін бөріне ортақ құралдар: линза, дифракциялық тор, призма, диафрагма және өртүрлі аспаптардың (интерферометрлердің, поляризаторлардың, модуляторлардың және т.б.) құрамына енетін оптикалық белсенді заттар қолданылады.

1800 жылы ағылшын ғалымы У. Гершель Күн спектрінің көрінбейтін бөлігінде термометрдің температурасы артатынын байқады. Кейінірек, Ресей физигі А. Глаголева-Аркадзева *инфрақызыл сәулелердің* бар екенін дәлелдеді.

Инфрақызыл сәуле (ИҚ) деп жиілігі (толқын ұзындығы) $3 \cdot 10^{11}$ Гц – $3,75 \cdot 10^{14}$ Гц (800 нм – 1 мм) аралығындағы электрмагниттік сәуле шығаруды айтады.

Инфрақызыл сәулелену адам көзіне көрінбейді, оны бүкіл сұйық және қатты дене молекулалары мен атомдарының үздіксіз ішкі жылулық қозғалыстары есебінен де шығарады. Сондықтан да инфрақызыл сәуле шығаруды *жылулық* деп атайды.

Инфрақызыл сәуле шығару табиғи сәуле шығаруға жатады. Әр адам күнделікті өмірде оның әсеріне ұшырайды. Артық энергиясы бар атомдар және иондар сәуле шығарады. Абсолют нөлден жоғары температурасы бар әр дене инфрақызыл сәуле шығарудың көзі болып саналады. Күн – ол ИҚ сәуле шығарудың табиғи көзі. Күн энергиясының қомақты бөлігі біздің планетаға ИҚ сәулелер түрінде жетеді. Пәтердегі қыздыру батареялары да инфрақызыл сәулелер шығарады.

Көрінетін жарық (толқын ұзындықтары 400 нм – 780 нм аралықта орналасқан) инфрақызыл сәуледен кейін жайғасады. Бұл жарықтың «көрінетін» деген атауы оның құрамындағы көрінетін жеті сәулеге байланысты берілген. Олардың ішінде толқын ұзындығы ең үлкені – **қызыл сәуле**, ең қысқасы – **күлгін сәуле**.

Көрінетін жарықтан кейін ультракүлгін сәулелер орналасқан.

Ультракүлгін сәуле деп жиілігі (толқын ұзындығы) $8 \cdot 10^{14}$ Гц – $3 \cdot 10^{16}$ Гц (10 нм – 375 нм) аралығындағы электрмагниттік сәуле шығаруды айтады.

Ультракүлгін сәуле жоғары химиялық белсенділігімен ерекшеленеді. Ультракүлгін сәулелерге фотозмульсия өте сезімтал болып келеді. Егер спектрді көлеңкелі бөлмеде фотоқағазға проекцияласа, қағаз көзге көрінетін спектр аймағына қарағанда спектрдің күлгін шетінен кейін көбірек қарайып кетеді.

Ультракүлгін сәулелер көз торына және адам терісіне қатты әсер етеді. Сондықтан ультракүлгін сәулеленуден сақтану қажет. Бірақ аз мөлшерлерден ультракүлгін сәуле пайдалы.

Ультракүлгін (УК) сәуленің қасиеттеріне химиялық белсенділігі, өтімділік қабілеті, көзге көрінбеуі, микроағзаларды жоюы, адам ағзасына пайдалы (аз мөлшерлерде) және адам ағзасына кері әсері (көп мөлшерлерде) жатады.

Ультракүлгін сәулеленудің табиғи көздері – Күн, жұлдыздар, тұмандықтар және басқа ғарыш объектілері. Ультракүлгін сәуленің тек ұзын толқынды бөлігі ғана ($\lambda > 290$ нм) Жер бетіне келіп жетеді. Қысқа толқынды ультракүлгін сәуле озон мен оттекте және Жер бетінен 30–200 км қашықтықтағы басқа компоненттерде жұтылады, сөйтіп атмосфералық процестерде үлкен рөл ойнайды.

Ультракүлгін сәулені маталарды ағартуда, нақты заттар синтезінде, Д витаминінің түзілуінде, былғарыны лактауда және әртүрлі өндірістік істерде пайдаланады. УК сәуленің тамаша қасиеттерінің бірі – *люминесценция* туғызуы болып табылады.

Ультракүлгін сәуле шығарудан кейін *рентген*, ал одан кейін *гамма*-сәулелері орналасады.

Рентген сәулесінің толқын ұзындығы $5 \cdot 10^{-12} - 6 \cdot 10^{-9}$ м аралығында жатады. Ол үдетілген электрондардың тежелген кезінде немесе атомдардың, молекулалардың электрондық қабаттарындағы жоғары энергиялық ауысуларында пайда болады. Оның өтімділік қабілеті жоғары, заттардың атомдарын иондайды және электрондық қозулардың, ақаулардың, люминесценцияның пайда болуына әкеледі.

Гамма-сәулесі атомдардың ядроларының ыдырауы және ядролық реакция кезінде туындаған құбылыстардың салдары болып табылады. Гамма-сәуле шығару толқын ұзындығы 10^{-2} нм-ден кеміген кезде басталады, оған 0,1 МэВ энергия сәйкес келеді ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).



Қосымша деректер

Жердің магнит өрісі мен атмосферасы сүзгі секілді Күннен бізге келетін өмірге қауіпті электрмагниттік толқындар мен зарядталған бөлшектерді жібермей тұтады. Толқын ұзындығы 29 нм-ден кем ультракүлгін сәулелер атмосфераның жоғарғы жағындағы озон қабатында жұтылады, ал ұзын толқынды ультракүлгін сәулелер көмірқышқыл газында, су буларында жұтылады. Зарядталған бөлшектерді Жердің магнит өрісі қармайды.



Сұрақтар

1. Электрмагниттік толқындар шкаласы деп нені айтады? Электрмагниттік толқындар шкаласында сәулелердің қасиеттері қалай өзгереді?
2. Электрмагниттік сәулелер қандай параметрлері бойынша жіктеледі? Мұндай жіктелуде олар қандай ретпен орналасады?
3. Радиотолқындардың ерекшеліктері қандай? Олар қандай топтарға бөлінеді?
4. Спектрдің оптикалық аймағына қандай сәулелер кіреді? Оларды неге бір аймаққа біріктіреді, ерекшеліктері қандай?
5. Өтімділігі ең үлкен сәулелерге қандай сәулелер жатады?
6. Шыны инфрақызыл сәуле үшін мөлдір емес. Неліктен Күн жарығы терезе әйнегі арқылы өтіп, бөлмедегі ауаны қыздырады?



**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

Кестені толтырыңдар.

Сәуле шығару түрі	Сәуле шығару көзі	Қабылдағыш	Диапазоны	Қасиеттері	Қолдануы
Радиотолқындар					
Инфрақызыл сәуле шығару					
Көрінетін жарық					
Ультракүлгін сәуле шығару					
Рентген сәулесі					
Гамма-сәулелер					

**Топтық жұмыс**

Сынып екі топқа бөлінеді. Өр топқа плакат беріледі. Оның ортасына «Сәулелер» сөзі жазылады. Өр топтың қатысушылары оған сәулелердің түрлерін жазады. Өрі олардың негізгі қасиеттерін де көрсетеді. Топтар плакаттармен алмасып, тиісті толықтырулар жасайды. Өр топтан сайланған оқушы плакатты пайдаланып, ондағы ақпаратты басқаларына таныстырып, презентация жасайды.

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

- 6.3.1. Спектрдің көрінетін бөлігіндегі ең ұзын (760 нм) және ең қысқа (380 нм) толқындарға сәйкес келетін фотондар энергиясын анықтаңдар.
(Жауабы: $2,62 \cdot 10^{-19}$ Дж; $5,23 \cdot 10^{-19}$ Дж)

В

- 6.3.2. Қызыл жарық фотонының энергиясын ($2,7 \cdot 10^{-19}$ Дж) және күлгін жарық фотонының энергиясын ($5,0 \cdot 10^{-19}$ Дж) электронвольтпен есептеңдер.
(Жауабы: 1,6875 эВ; 3,125 эВ)
- 6.3.3. Энергиясы 2,07 эВ және 4140 эВ фотондар сәуле шығарудың қандай түріне жатады? (Жауабы: көрінетін және рентген сәулесі)
- 6.3.4. $\lambda = 380$ мм толқын ұзындығына (спектрдің күлгін шеғарасы) сәйкес келетін фотонның энергиясын анықтаңдар. (Жауабы: $\approx 3,27$ эВ)

§ 6.4

Фотоэффект және оның қолданылуы

1. 1887 жылы Г. Герц ұшқынды разряд аралығына ультракүлгін сәулемен әсер еткен кезде оның күшеюін бақылап, фотоэффект құбылысын ашты.

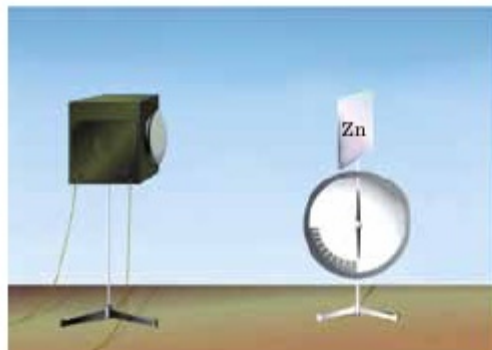
Фотоэффектінің іргелі зерттеулерін алғаш рет орыс ғалымы А.Г. Столетов жүргізді.

Фотоэффект деп жарық фотондарының әсерінен катодтан электрондарды жұлып шығу құбылысын айтады.



Александр Григорьевич Столетов (1839–1896) – орыс физигі, Мәскеу университетінің құрметті профессоры. Сыртқы фотоэффект құбылысын зерттеп, оның заңын ашқан (1888–1890).

Электрметрге жалғанған мырыш (Zn) табақшасын теріс зарядтап, оны электр доғасымен жарықтандырсақ, онда электрметрдің заряды тез жоғалып разрядталады (6.4.1-сурет). Себебі теріс зарядты электрондар жарықтың әсерінен табақша бетінен босап шыққанда өздерімен бірге зарядтарын ала кетеді, сөйтіп табақшаның теріс заряды бірте-бірте азайып разрядталады.



6.4.1-сурет. Фотоэффект құбылысын дәлелдейтін тәжірибе

Егер жарық шоғының жолына шыны қойсақ, онда электрондарды жұлып шығару құбылысы тоқтап қалады. Өйткені шыны ультракүлгін сәулесін жұтып алады да, басқа ұзын толқынды сәулелерін өткізеді. Ендеше, электрондардың табақша бетінен босап шығуына ультракүлгін сәуле басты рөл атқарады.

2. А. Столетов фотоэффекті құбылысын екі электроды бар қондырғыда зерттеген кезде катодты монохроматты (ультракүлгін) жарықпен жарықтандырды. Мұнда ток тізбекке қосылған миллиамперметрмен өлшенді. Тәжірибе нәтижелеріне сүйеніп, Столетов осы уақытқа дейін өзектілігін жоймаған **үш заңдылықты** ашты:

1. **Катодтан электрондарды жұлып шығару үшін ең тиімді әрекетті ультракүлгін сәуле жасайды.**

2. **Жарық әсерінен зат тек электрондарын жоғалтады.**

3. Жарық әсерінен пайда болатын токтың күші оның қарқындылығына тура пропорционал.

Ток күшінің электродтар аралығындағы кернеуге тәуелділік қисығы 6.4.2-суретте көрсетілген. Кернеу өскен сайын фототок те өседі; кернеудің белгілі бір мәндерінде (U_1 және U_2) фототоктар да қанығу деңгейіне (I_{κ_1} және I_{κ_2}) дейін өсіп, босап шыққан электрондардың барлығы да анодқа жетеді. Суреттегі $I(U)$ тәуелділігі **вольтамперлік сипаттама** деп аталады.

Суреттен көрініп тұрғандай, $U = 0$ кезінде де фототок нөлге айналмайды, ток жүре береді. Өйткені жарық әсерінен катодтан шыққан электрондардың бастапқы v жылдамдығы да, кинетикалық энергиясы да нөлге тең болмайды, сондықтан кейбір электрондар анодқа дейін сыртқы өріссіз де жете алады, яғни фототок нөлге тең болмайды. Фототок нөлге тең болуы үшін U_0 **бөгеуші кернеу** қажет. $U = U_0$ тең болғанда v_{\max} максимал жылдамдыққа ие болған электрондар да анодқа жете алмайды. Мұндай жағдай электрондардың максимал кинетикалық энергиясы электр өрісінің потенциалдар айырымы U_0 болатын аралықтағы жұмысына (eU_0) тең болғанда туындайды, ендеше:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_0, \quad (6.1)$$

демек, бөгеуші U_0 кернеуді өлшеп, фотоэлектрондардың жылдамдығының және кинетикалық энергиясының максимал мәнін анықтауға болады.

Тәжірибе нәтижелерін жинақтау әрі зерделеу барысында **фотоэффектінің маңызды үш заңы** анықталды:

1) **Түсетін жарықтың көрсетілген жиілігінде уақыт бірлігінде катодтан жұлып шығаратын фотоэлектрондар саны жарықтың қарқындылығына тура пропорционал өседі.**

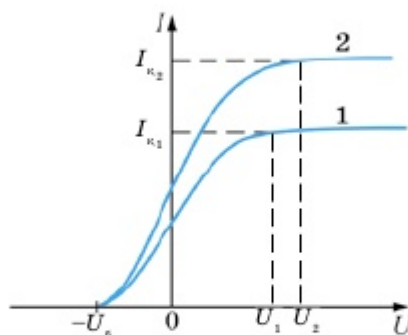
2) **Фотоэлектрондардың бастапқы максимал жылдамдығы түсетін жарықтың қарқындылығына тәуелді емес, тек оның жиілігімен анықталады.**

3) **Әр зат үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы, яғни жарықтың минимал жиілігі болады, бұдан төмен жиілікте фотоэффект құбылысы байқалмайды.**

3. Электронды заттан жұлып шығару үшін жарық фотоны оның шығу жұмысына жетерлік $A_{\min} = h\nu_{\min}$ энергия береді.

Түсетін фотонның $E = h\nu$ энергиясы электронның металдан шығу A_{\min} жұмысына және босап шыққаннан кейінгі қозғалысының $\frac{mv_{\max}^2}{2}$ кинетикалық энергиясына жұмсалады. Энергияның сақталу заңы бойынша мына өрнекті аламыз:

$$h\nu = A_{\min} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (6.2)$$



6.4.2-сурет.

Вольтамперлік сипаттама

(6.2) теңдеуі *фотозффект үшін Эйнштейн теңдеуі* деп аталады, мұндағы $h\nu$ – түсетін сәуленің энергиясы; $A_{\text{эм}}$ – электронның шығу жұмысы. Оған *фотозффектінің қызыл шегарасы* деп аталатын ең кіші ν_{min} жиілік сәйкес келеді:

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{эм}}}{h}. \quad (6.3)$$

4. Фотозффектінің қолданылуын қарастырайық. Ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында қолданыс тапқан фотоэлектронды құрылғылар фотозффект құбылысына негізделген. Қазіргі таңда фотозффект негізінде жұмыс істейтін және жарық энергиясын электр энергиясына айналдыратын құрылғыларды, басқаша айтқанда фотоэлементтерді қолданбайтын өндіріс саласын табу мүмкін емес.



6.4.3-сурет.
Фотоэлемент

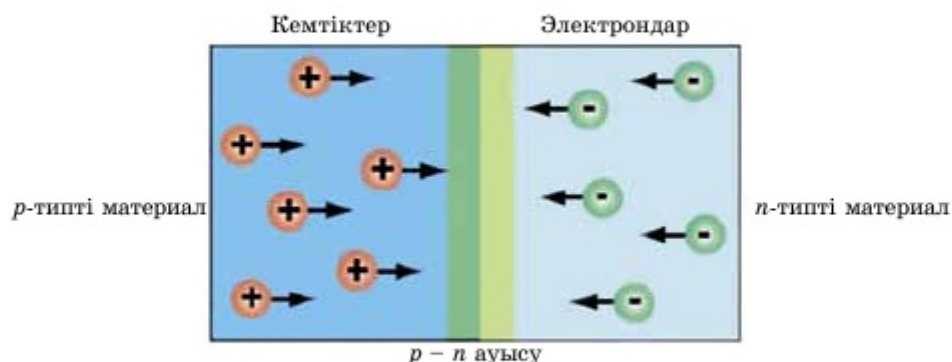
Фотозффект құбылысы негізінде жұмыс істейтін қарапайым фотоэлементке *вакуумдық фотоэлемент* мысал бола алады. Ол — ауасы сорылған шыны баллон (6.4.3-сурет). Оның ішкі беті фотокатод ретінде қарастырылатын фотосезгіш қабатпен қапталған. Анод ретінде баллон ортасында орналасқан сақина немесе тор қолданылады. Фотоэлемент қанығу тоғын қамтамасыз ете алатындай ЭҚК-і бар батарея тізбегіне қосылады. Фотокатод материалын таңдау спектрдің жұмыстық аймағымен анықталады, мысалы, көрінетін жарықты және инфрақызыл сәулені тіркеу үшін *оттек-цезий*, ал ультракүлгін және көрінетін жарықтың қысқа толқынды бөлігі үшін *сурьма-цезий* катодтары қолданылады.

Жарық баллонның қапталмаған бетіндегі саңылау арқылы катодта түскенде тізбекте релені қосып ажырататын электр тогы пайда болады. Фотоэлементтің релемен жалғанған сан қилы тетіктері көптеген автоматтарды құрастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар автоматтар апаттардың алдын алып, сақтандыра да алады. Мысалы, зауытта адам қолы қауіпті аймаққа енген жағдайда фотоэлемент қуатты престі лезде тоқтатады. Фотоэлемент арқылы таспаға жазылған дыбыс қайта жаңғыртылады.

Қолданылатын фотоэлементтердің тағы бір түрі – *жартылай өткізгішті фотоэлементтер* немесе *фотокедергілер (фоторезисторлар)*. Олардың вакуумдық фотоэлементтермен салыстырғанда интегралды сезгіштігі жоғары. Мұндай фотоэлементтерді жасау үшін PbS, CdS, PbSe және тағы басқа жартылай өткізгіштер қолданылады.

Жартылай өткізгішті фотоэлементтердің *жұмыс істеу принципін* қарастырайық. Жартылай өткізгіштің құрылымы орнықты, яғни атомдар арасындағы ковалентті байланыс берік болып келеді. Егер квант энергиясы электрон мен атом арасындағы байланысты үзу үшін жеткілікті болса, онда еркін электрон пайда болады. Оның босаған орнын зарядының абсолют мәні электрон зарядына тең оң

зарядты «кемтік» басады. Егер мұндай жартылай өткізгіштерге потенциалдар айырымын берсе, зарядтар бағытталған қозғалыстарға келеді де (6.4.4-сурет) олардан электр тогы өте бастайды.



6.4.4-сурет. Жартылай өткізгішті фотоэлемент

Егер n -типті және p -типті материалдарды қосса, онда шеғарада зарядтардың қайта бөлінуі байқалады: кемтіктер n -аймаққа, ал электрондар p -аймаққа қозғалады, бұл процесс шеғарада p - n ауысу атты зарядтардың қос қабаты және заряд тасымалдаушылардың әрі қарай бөлінуіне кедергі келтіретін электр өрісі пайда болғанша жалғаса береді. Тізбек тұйықталса, онда электр тогы пайда болады.

5. Кремнийлік және вентильді жартылай өткізгішті фотоэлементтер тікелей Күн энергиясын электр энергиясына айналдыратын **күн батареяларын** жасау үшін қолданылады. Қазіргі таңда күн батареялары энергияның баламалы көздері болып есептеледі және көптеген сфераларда қолданылады: космонавтикада, ұшақ жасауда, ғимаратты энергиямен қамтамасыздандыруда, ұялы телефондарды зарядтауда, автомобильдер, бау-бақша мен саяжайларда және шалғайдағы шаруашылық қожалықтарында (6.4.5-сурет).



6.4.5-сурет. Күн энергиясын шалғайдағы шаруашылықта пайдалану

Күн батареясының жұмыс істеу принципін қарастырайық. Күн энергиясы тізбектей қосылған фотоэлементтерде электр энергиясына түрлендіріледі. Фотоэлемент негізін кремний кристалы құрайды. Кремний қосындылары – кремний тотығы немесе кәдімгі құм, олар табиғатта кең тараған. Кремнийден жасалған пластиналардың бір беті бор, екінші беті фосфор жұқа қабаттарымен қапталған. Күн жарығы батарея фотоэлементтеріне түскенде, олардың беті фотондармен атқыланады. Нәтижесінде фосформен шегаралас беттегі артық электрондар босап шығады да, бормен шегаралас аймақтағы «кемтіктерге» қарай қозғала бастайды. Сөйтіп, электрондардың реттелген қозғалысынан электр тогы пайда болады. Фотоэлементке токты тұтынушыларға жеткізетін «жол – металл жолағы» жүргізіледі.

Қазіргі таңда Қазақстанда жергілікті кремний негізінде фотоэлектрлік модульдерді жасақтаумен 2012 жылы ашылған «Astana Solars» компаниясы айналысады.



Сұрақтар

1. Фотоэффект деп қандай құбылысты айтады?
2. Столетов ашқан фотоэффект заңдылықтары қалай тұжырымдалады?
3. Фототоктың вольтамперлік сипаттамасын графикте көрсетіңдер. Қанығу фототогы дегеніміз не?
4. Фотоэффектінің негізгі заңдары қандай, қалай тұжырымдалады?
5. Фотоэффект қайда қолданылады?
6. Жартылай өткізгішті күн батареяларының жұмыс істеу принциптері қандай физикалық құбылысқа негізделген?

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Фотондардың ағыны металдан максимал кинетикалық энергиясы 10 эВ болатын фотоэлектрондарды жұлып шығарады. Фотондардың энергиясы фотоэлектрондардың шығу жұмысынан 3 есе артық. Фотондардың энергиясы қандай?

Берілгені:

$$E_k = 10 \text{ эВ}$$

$$E_\phi = 3 A_m$$

$$E_\phi = ?$$

Шешуі:

Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін жазайық:

$$E_\phi = A_m + E_k.$$

$$E_\phi = 3A_m \text{ екенін ескеріп, } A_m = \frac{E_\phi}{3}.$$

$$E_\phi = \frac{E_\phi}{3} + E_k, \quad \frac{2E_\phi}{3} = E_k, \quad E_\phi = \frac{3E_k}{2} = 15 \text{ эВ.}$$

Жауабы: $E_\phi = 15 \text{ эВ.}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Осы параграфтың есептеріне қолданатын тұрақты шамалар: Планк тұрақтысы $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$; жарық жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$; электрон массасы $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

А

- 6.4.1. Барий тотығы жиілігі 1 ПГц жарықпен сәулелендірген кезде жұлынып шыққан электрондардың максимал кинетикалық энергиясын табыңдар. Электрондардың шығу жұмысы 1 эВ. (Жауабы: $\approx 3,14$ эВ)
- 6.4.2. Электронның металдан шығу жұмысы 4,28 эВ. Фотоэффектінің толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 290 нм)

В

- 6.4.3. Толқын ұзындығы 400 нм жарықпен сәулелендірген кезде цезийден ұшып шыққан электронның ең үлкен жылдамдығын табыңдар. Электрондардың цезийден шығу жұмысы 1,94 эВ. (Жауабы: ≈ 640 км/с)
- 6.4.4. Натрий толқын ұзындығы $\lambda = 40$ нм монохроматты жарықпен сәулеленеді. Фототок тоқтайтын кернеуді $U_c = 28,9$ В деп алып, натрий үшін фотоэффектінің қызыл шегарасын табыңдар. (Жауабы: ≈ 570 нм)
- 6.4.5. Бір металл үшін фотоэффектінің қызыл шегарасының толқын ұзындығы 307 нм. Фотоэлектрондардың максимал кинетикалық энергиясы 1 эВ. Электронның шығу жұмысының түсетін фотон энергиясына қатынасын табыңдар. (Жауабы: 0,80).

§ 6.5

Жарықтың химиялық әсері

1. Жеке молекулалар жарық энергиясын жекелеген үлеспен (порциямен), яғни $h\nu$ кванттар түрінде жұтады. Көрінетін және ультракүлгін сәулелердің мұндай энергиясы молекулаларды ыдыратуға жеткілікті. Молекулалардың ыдырауынан жарықтың химиялық әсері айқын көрінеді. Жарықтың әсерінен көптеген молекулалардың ыдырауы төмендегі **фотохимия заңдарында** көрініс тапты:

- *Затта жұтылған фотон тек бір ғана молекуланы түрлендіре алады.*
- *Фотон энергиясы молекулалық байланысты үзуге жеткілікті болса ғана, яғни диссоциация энергиясынан кем болмаған жағдайда ғана фотохимиялық реакцияның жүруі мүмкін.*

Молекулалардың кез келген түрленуі — химиялық процесс. Көп жағдайда молекулалар жарық әсерінен ыдырағаннан кейін, химиялық өзгерістердің тұтас тізбегі басталады. Жарықтың химиялық әсеріне мысал ретінде Күн сәулесінің әсерінен мата түсінің өңуін және ағзалардың Күнге күйін атауға болады.

Жарық әсерінен жүретін ең маңызды химиялық реакциялар көптеген ағаштар мен өсімдіктердің жасыл жапырақтарында, қарағай инелерінде, сан алуан микроағзаларда орын алады. Жасыл жапырақтарда Күн сәулесінің әсерінен Жердегі

тіршілік үшін қажетті процестер жүзеге асады. Олар бізге тамақ қана емес, тыныс алу үшін аса қажетті оттекті де өндіреді.

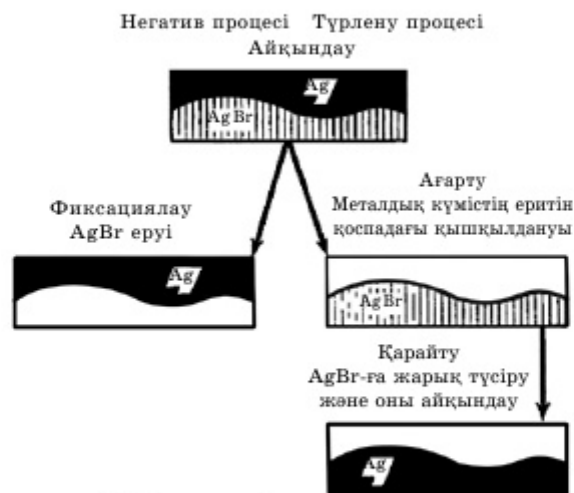
Жапырақтар ауаның көмірқышқыл газын өзіне сіңіреді де, оның молекулаларын құрамдас бөліктерге: көміртек пен оттекке ыдыратады.

Бұл процестің Күн спектрінің қызыл сәулесінің хлорофилл молекулаларына тигізетін әсерінен жүзеге асатынын орыстың ұлы биолог ғалымы К.А. Тимирязев дәлелдеп берді. Өсімдіктер топырақтан тамыр арқылы алынған элементтердің атомдарын көміртектік тізбекке қосып алып, ақуыздар мен майларды және көмірсуларды түзеді.

Мұның бәрі Күн сәулесінің энергиясына байланысты. Оның үстіне мұнда энергияның өзі ғана емес, қандай формада алынатыны да маңызды. Фотосинтез (бұл процесс осылай аталады) белгілі бір спектрдің құрамы бар жарық әсерімен ғана жүре алады.

Фотосинтез механизмі әлі соңына дейін анықталған жоқ. Фотосинтездің құпиясы толығымен ашылған жағдайда адамзат үшін жаңа дәуірдің басталуы мүмкін. Ақуыздар мен басқа күрделі органикалық заттарды жасанды жолмен аспан астындағы ашық зауыттарда алудың мүмкіндігі туар еді.

2. Жарықтың химиялық әсері **фотографияда** (цифрлық емес) кеңінен қолданылады. Сезімтал фотопластинка қабаты желатинмен араласқан күміс бромидінің (AgBr) шағын кристалдарынан тұрады. Егер қара қағаздан немесе фольгадан кесілген қиындымен қараңғы бөлмеде жарыққа сезімтал фотопластинканың бір бөлігін жауып, оған Күн сәулесін немесе қуатты жарық көзін бағыттайтын болсақ, оның жарықтанған бөлігі қарайып, кесілген қиындымен жабылған бөлігі ақ күйінде қалады. Кәдімгі фотобейнелерді алу процестері 6.5.1-суретте көрсетілген сатыларды қамтиды.



6.5.1-сурет. Фотосуретті алу процесі

Сұрақтар

1. Жарықтың химиялық әсерінің мәні неде?
2. Жарықтың әсері қандай заңдарда және қалай тұжырымдалған?
3. Жарықтың химиялық әсері қандай табиғи процестерде байқалады? Фотосинтез неліктен жердегі тіршілік негізі болып саналады?
4. Жапыраққа инфрақызыл сәуле түнде де түседі, бірақ неге фотосинтез процесі түнде жүрмейді?
5. Кәдімгі фотосуреттерді шығарғанда қандай процестер орын алады?

Тапсырма (практикалық зерттеу)

Фотосурет өнерінің пайда болуы және фототехнологияның эволюциясы туралы презентация дайындаңдар.

§ 6.6

Рентгендік сәуле

1. Рентген сәулелерінің ашылуы 1895 жылға жатады, ол кезде неміс физигі В. Рентген электр өрісінде үдетілген электрондармен металл объектіні атқылау кезінде жаңа сәуле түрін тапты, оны *X-сәуле* деп атады. Кейінірек ғалымның құрметіне *рентген сәулесі* деген атау алды.

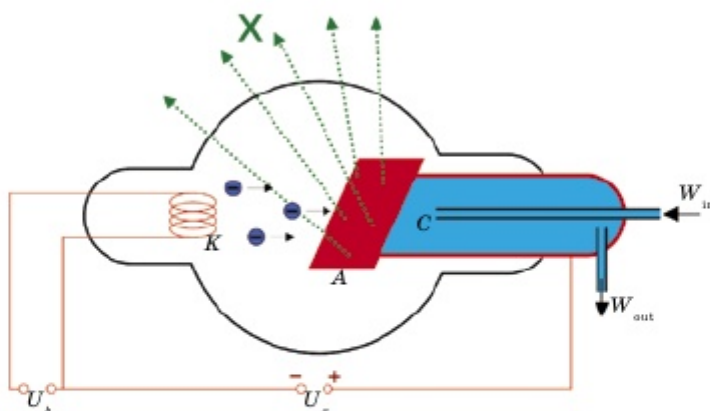
Рентген сәулесі зарядталған бөлшектер (электрондардың) өте күшті үдетілген немесе атомдар мен молекулалардың электрондық қабаттарындағы жоғары энергетикалық ауысулар кезінде туындайды.

Жоғарыда аталған процестің екеуі де рентгендік түтіктерде көрініс табады (6.6.1-сурет). Мұндай түтіктердің негізгі құрылымдық элементтерін металл катод және анод құрайды; оларға электрондарды үдететін жоғары кернеу беріледі. Рентген түтігінде катодтан шыққан электрондар анод пен катодтың арасындағы электр өрісінде үдей қозғалады да (бұл аралықта рентген сәулесі туындамайды, өйткені қысқа аралықта электрон үлкен үдеу ала алмайды), кенеттен анодқа



Вильгельм Конрад Рентген (1845–1923) – Вюрцбург университетінде жұмыс істеген неміс физигі.

соғылып үлкен үдеумен $\left(a = \frac{v - v_0}{\Delta t} \right)$ тежеледі. Тежелу барысында рентген сәулесі туындайды; оны *тежегіш рентген сәулесі* деп атайды. Сонымен қатар анодқа соғылған электрон оның атомдарының ішкі қабаттарындағы біраз электрондарын ұшырып шығарады; ал олардың орындарын жоғарғы қабаттағы электрондар басады. Атомның бір энергетикалық деңгейінен екіншісіне электрондардың ауысуы барысында да анод затын сипаттайтын рентген сәулелері туындайды. Анод затының сипатына қарай туындайтын рентген сәулелерін *сипаттамалық рентген сәулесі* деп атайды.



6.6.1-сурет. X – рентген сәулесі; K – катод; A – анод; C – жылу шығарғыш;
 U_k – катодты қыздыру кернеуі; U_a – үдемелі кернеу; W_{in} – сумен салқындату жүйесі;
 W_{out} – салқындатылған суды шығару

Рентген сәулесінің электромагниттік толқын ұзындығы ультракүлгін сәулесінің толқын ұзындығынан қысқа, шамамен $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-12} - 6 \cdot 10^{-9}$ м, сондықтан ол өте өтімді сәуле болып табылады.

Рентген сәулелері толқын ұзындықтарына (жиіліктеріне) қарай заттарда әртүрлі жұтылады, сондықтан оларды салыстырмалы түрде *жұмсақ* рентген сәулесі және *қатты рентген сәулелері* деп бөледі (жұмсақ рентген сәулесі үшін $\lambda > 2 \cdot 10^{-10}$ м, қатқыл рентген сәулесі үшін $\lambda < 2 \cdot 10^{-10}$ м).

2. Толқындардың барлық түріне төн құбылыс рентген сәулелерінде де байқалады. Рентген сәулелерінің толқындық сипаты 1912 жылы оның *дифракциялық көрінісі* арқылы дәлелденді. Дифракциялық кескінді байқау үшін тор тұрақтысы түсетін сәуленің толқын ұзындығымен шамалас болуы керек. Неміс физигі М. Лауэнің болжамы бойынша рентгендік сәулелердің дифракциясы кристалдарда алынуға тиіс болатын, өйткені жоғарыда көрсетілген шартқа, яғни рентген сәулелерінің толқын ұзындықтарына кристалл торларының периодтары шамалас еді. Шынымен де, рентген сәулесін монокристаллға бағыттағанда экранда орталық дақтың айналасында реттеліп орналасқан бөлек дақтар бейнесіндегі дифракциялық кескін байқалды. Ал поликристалдардағы рентген сәулелерінің дифракциялық кескіні симметриялы түрде орналасқан концентрлі сақиналар түрінде пайда болады.

3. Рентген сәулелерінің ашылуы диагностикада нағыз революция туғызды: дәрігерлер ішкі ағзалардың кескінін көруге, олардың жай-күйін сипаттауға мүмкіндік алды. Дегенмен бұл әдістің кейбір кемшіліктері бар: атап айтқанда, екіөлшемді рентгенде кейбір ішкі органдардың суреттері көп жағдайда бір-бірімен қабаттасып кетуі мүмкін, нәтижесінде диагноздың дұрыстығы тек рентгенограмманы оқитын дәрігердің тәжірибесіне тәуелді болады. Сонымен қатар зерттеудің сипатына байланысты рентгенограммадағы кейбір ауруларды, мысалы, жырықты (жараны) немесе қабынуды көру мүмкін емес. Осының бәрі диагностиканың жаңа түрлерін дамытуға ықпал етті, олардың арасында *компьютерлік және магнитті-резонансты томография* ерекше орын алады.

Томография деп объектіні қабат-қабатқа бөліп зерттей отырып, оның үшөлшемді кескінін қалыптастыруды айтады.

Компьютерлік томография деп рентген сәулесі арқылы жасалатын тексерісті айтады. Қарапайым рентгенде сәуле дене арқылы өтіп қабыршаққа немесе пластинкаға түседі де, екіөлшемді кескін береді; компьютерлік томографияда үшөлшемді кескін алынады. Томографиялық құрылғыда рентген сәулесінің көзі сақина тәріздес контур болып келеді де, оның ішкі жағында науқасқа арнайы үстел орналасады. Мұндай құрылым компьютерлік томография кезінде органдардың әртүрлі нүктелерден, әртүрлі бұрыштармен түсірілген рентгендік суреттерін алуға мүмкіндік береді. Компьютер арқылы барлық суреттер өңделіп, ағзаның үшөлшемді кескіні пайда болады.

Магнитті-резонансты томографияның басты қасиеті – кескін алу үшін рентген сәулесін қажет етпейтіндігі. Томографияның бұл түрі ядролық магниттік-резонансты құбылысқа, күшті электрмагниттік өріс әсерінен сутек атомы протонының кеңістікте бағытын өзгерту қасиетіне негізделген. Магнитті-резонансты томографияны радиация деңгейінің көтерілуі туралы уайымдамай жиі жасай беруге болады.

Қосымша деректер



1901 жылы Нобель сыйлығын физиктердің ішінен ең алғашқы болып X-сәулесін ашқаны үшін В. Рентген алған болатын.



Сұрақтар

1. Рентген сәулесінің толқын ұзындығы қандай диапазонды қамтиды? Рентген сәулесінің негізгі қасиеттері қандай?
2. Рентген сәулелерінің табиғаты қандай? Тежегіштік және сипаттамалық рентгендік сәулелердің пайда болу механизмі қандай?
3. Рентген сәулелерін практикада қалай алады? Электрондар катод пен анодтың арасында неліктен үдей қозғалады?
4. Томография деп нені айтады? Компьютерлік және магниттік-резонанстық томографияның артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 6.6.1. Рентген сәулелерінің толқын ұзындықтары $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-12} - 6 \cdot 10^{-9}$ м аралығында орналасқан деп есептеп, оның энергиясының жоғары және төменгі шегін анықтаңдар. (Жауабы: ≈ 207 эВ – $2,5 \cdot 10^5$ эВ)

В

- 6.6.2. Толқын ұзындығы $6 \cdot 10^{-9}$ м рентген сәулелерінің энергиясы толқын ұзындығы 1 м радиотолқындардың энергиясынан неше есе артық? (Жауабы: $16,7 \cdot 10^7$ есе)

- 6.6.3. Кескіннің пайда болуын қамтамасыз ететін электрон шоқтарының әрекетінен телевизиялық түтіктің экранынан шығатын рентген сәулесінің ең қысқа толқын ұзындығы қандай? Телевизиялық түтіктегі кернеу 10 кВ. (Жауабы: 0,124 нм)

§ 6.7

Лазерлер

1. Лазерлер *сызықтық емес оптика* деп аталатын саладағы іргелі зерттеулердің нәтижесінде жасақталды.

Сызықтық емес оптика – бұл аса қуатты жарық шоқтарының қатты денелерде, сұйықтар мен газдарда таралуын және олардың заттармен әрекеттесулерін зерттейтін оптиканың аса маңызды саласы.

«Сызықтық емес оптика» терминін бұдан 100 жылдай бұрын алғаш енгізген әйгілі орыс ғалымы С.И. Вавилов болатын. Бұндай атаудың берілуі мына жағдайларға байланысты еді: заттар қуатты жарық шоғымен әрекеттескенде *сызықтық оптиканың заңдары* тек аса күшті емес жарықтың электромагниттік өрісі үшін ғана жуық сипат алады. Ал жарық шоғының қуаты белгілі бір шекті мәннен асқан кезде заттық ортаның оптикалық сипаттамаларында (сыну көрсеткіші, жұтылу коэффициенті т.с.с.) күшті өзгерістер туындайды; сонымен қатар жарық шоғының өзінде де күтпеген эффектілер мен құбылыстар (мысалы, жарықтың өздігінен фокусталуы, өзара әсерлесуі, өздігінен сығылуы) орын алады.

Сызықтық емес оптиканың қазіргі заманауи дамуы **лазерлерді** жасағаннан кейін 1961 жылдан бастау алады. Лазерлер пайда болысымен оптика когерентті де қуатты сәуле шығару көздеріне ие болды. Импульстік лазерлердің көмегімен жарықтың қарқындылығы бір квадрат сантиметрге шаққанда $10^7 - 10^9$ Вт-қа ($I \sim 10^7 - 10^9$ Вт/см²) жетті. Кейбір лазерлік жүйелер когерентті сәулелердің қарқындылығын көрсетілген шамадан 10^7 есе арттыруға ($I \sim 10^{16}$ Вт/см²) мүмкіндік береді.

Лазердің жұмыс істеу принципін түсіну үшін кейбір арнайы физикалық терминдерді қарастырайық.

Ең төменгі энергетикалық деңгей деп атомның сәуле шығармайтын негізгі күйін айтады; басқа күйлері сәуле шығаруға бейім **қозған** күйлер болып табылады.

Қозған күйде атом өте аз уақыт ($\sim 10^{-8}$ с) болады. Содан кейін ол бастапқы негізгі күйіне қайта оралады. Мұндай жағдайда атомның электроны жоғарғы энергетикалық деңгейге ауысады, ал атом энергиясы $\Delta\varepsilon = h\nu$ болатын жарық фотонын шығарып, стационар күйіне оралады. Егер электрон ең төменгі энергетикалық күйден жоғарғы күйге өтсе, керісінше жарықты жұтады. **Спонтанды сәулелер** деп аталатын жеке атомдардың өздігінен шығаратын сәулелерінің энергиясы өте аз болады. Сондықтан көптеген атомдардың сәуле шығару энергиясын концентрациялау үшін **еріксіз сәуле шығару** керек.

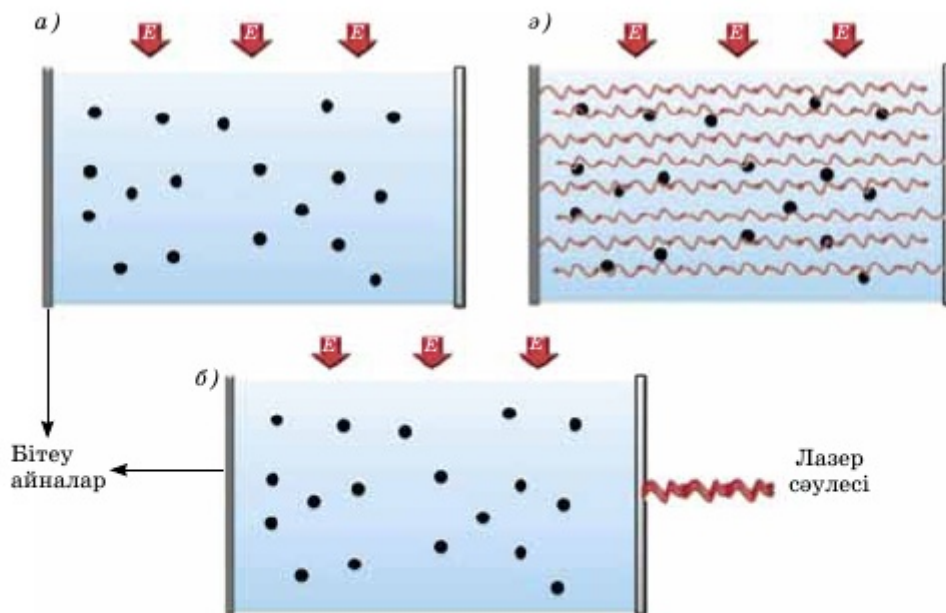
1917 жылы Альберт Эйнштейн еріксіз сәуле шығарудың мүмкіндігін болжап, жеткілікті жоғары энергиялы фотон атомға соғылған кезде дәл өзіндей екі фотонның шыға алатынын айтқан болатын. Мұндай сәуле шығару *индукцияланған* (немесе *еріксіз сәуле шығару*) деп аталды.

2. Индукцияланған сәуле шығару деп сыртқы (мәжбүрлеуші) жарық әсерінен берілген кванттық жүйедегі атомдардың электрмагниттік сәуле шығаруын айтады.

Мұндай сәуле шығару кезінде пайда болатын жарық толқынының жиілігі де, фазасы да, поляризациясы да атомға түскен жарық толқынмен бірдей болады. Бұл *түскен және шыққан толқындардың когеренттілігін* білдіреді. Осының бәрі лазер сәулесін алудың қажетті шарттары болып табылады.

Атомға түскен фотонның энергиясы сол атомның қозған күйден стационар күйге ауысқан кездегі шығаратын энергиясына тең болса, онда бұл **фотонды атом жұтпайды. Оның үстіне дәл сондай фотонды атомның өзі шығарады.** Бұл екі фотон когерентті болып табылады. *Міне, осы идея лазерді жасаудың негізіне алынды.*

Көп атомдары бар активті ортаны (кванттық жүйені) елестетіп көрелік. Бұл орта бітеу (сәулелерді толық шағылдыратын) және жартылай шағылдыратын күңгірттеу айналар арасында орналассын. Бітеу айна іс жүзінде жарықты толық шағылдырып өткізбейді, ал күңгірттеу айна жарықтың шамамен 2% -ын өткізеді. Міне, осындай айналар лазерлерде қолданыс тапқан (6.7.1-сурет).



6.7.1-сурет. Лазердің жұмыс істеу принципі

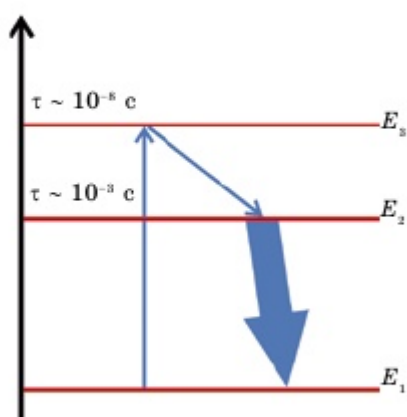
Активті орта сырттан энергияны алады. Бұл кез келген энергия болуы мүмкін: жылу, жарық, химиялық немесе электрлік (6.7.1, а-сурет). Бұл энергия қозған

күйдегі атомдардың біраз бөлігін тудырады. Қозған атомдардың бастапқы күйге қайта оралған кезде шығарған фотондары көршілес атомдарды қоздырып, олар да дәл сондай фотондар шығарады. Осылайша, индукцияланған сәуле құбылысы орын алады, сөйтіп **фотонмен әрекеттескен әр атом дәл сондай екі фотонды шығарады**. Бұл қайта-қайта жалғасып, соның салдарынан көптеген атомдар қозған күйге өтеді. Айналар арасында фотондар алма-кезек шағылып (6.7.1, а-сурет), жолдарындағы атомдармен соқтығысады да, басқа фотондарды шығаруға жағдай жасалады, ақыр соңында фотондармен қаныққан орта пайда болады.

Атомдар бастапқы күйге қайта оралғанда когерентті фотондармен әбден қаныққан ортадан қуатты лазер сәулесі шығады (6.7.1, б-сурет). Бұл сәуледе фотондар бір-біріне өте жақын орналасады және олардың қозғалыс бағыттары сәйкес келеді, сондықтан лазер сәулесі іс жүзінде шашырамайды.

3. Қуатты лазер сәулелерін алу үшін **екі ғана энергетикалық деңгейдің** (мысалы, 6.7.2-суреттегі E_1 және E_2 деңгейлердің) жеткіліксіз болатындығын зерттеулер көрсетті, өйткені сыртқы энергия көзі қаншалықты қуатты болса да, қоздырылған атомдардың саны қозбаған атомдар санынан аспады. Бірақ 1960 жылы **үш деңгейлі жүйе** деп аталатын алғашқы лазер жасалды. Бұл жүйе әлі күнге дейін лазерлерді жасаудың негізі болып табылады. Өйткені атомның белгілі бір энергетикалық деңгейде болу уақыты бірдей емес. Бүгінгі таңда үш деңгейлі жүйе рубиндік лазерлерде табысты қолданылады (өйткені рубин қажетті энергетикалық деңгейлерді құрамындағы қоспасы арқылы қамтамасыз ете алады). Рубин құрамында хром атомдарының шамалы қосындысы бар, олар индукцияланған сәуле шығару процесіне белсенді қатысады.

6.7.2-суретте атомның үш энергетикалық күйі қарастырылған. E_1 энергетикалық деңгей бастапқы негізгі күйге, ал E_2 және E_3 деңгейлері қоздырылған күйлерге жатады. Соңғы екі деңгейдің ерекшелігі сол, үшінші энергетикалық деңгейде атом шамамен 10^{-8} с, ал екінші энергетикалық деңгейде шамамен 10^{-3} с уақыт тұра алады. Бұл аса үлкен (10^5 еседей) айырмашылық; сондықтан **екінші деңгейде қоздырылған атомдар саны аса көп мөлшерде жиналады**.



6.7.2-сурет. Үш деңгейлі жүйе

Сонымен, атомдар E_3 энергиясына сәйкес келетін қоздырылған күйге келтіріледі, бірақ олар бұл күйде ұзақ тұрмай дереу E_2 деңгейіне өтеді де, онда әлдеқайда ұзағырақ бола алады. Осылайша, хром атомдары түгелімен қоздырылған күйге өтеді. Барлық қозған атомдар негізгі E_1 күйге қайта оралғанда қуатты лазер сәулесі алынады.

Лазер келесі қасиеттерімен ерекшеленеді:

- лазер өте аз бұрышқа ауытқитын жарық сәулелерін шығарады (яғни сәуле шашыраңқы емес);
- лазерлік сәуле толқынының фазасы ретсіз өзгерістерге ұшырамайды (яғни атомдар жарықты келісімді бірфазада шығарады);
- лазердің қуаты орасан үлкен шамаға жетеді.

Лазердің кейбір түрлерінде сәуле қуаты Күн радиациясының қуатына қарағанда миллиондаған, тіпті миллиардтаған есе жоғары. Алайда мұндай жоғары қуат өте аз уақытта ($\sim 10^{-13}$ с) пайда болады.

4. Лазер ғылым мен техникада кеңінен қолданылады. Оны *оптика саласында әртүрлі эксперименттерде және ақпаратты сақтау үшін* пайдаланады (лазер дискісі). Қуатты лазерлік сәуле *металдарды дәнекерлеуде және кесуде* немесе *әртүрлі материалдарды буландыруды* жеделдетуде және *медицинада*, соның ішінде *көз микрохирургиясында* қолданылады. Сонымен қатар лазерлер когерентті толқын көздері ретінде *голографияда* да кең қолданыс табуда.

Голография деп екі когерентті толқынның, бір жағынан, жарықталған нәрседен шағылған нәрселік толқынның, екінші жағынан, оған когерентті жарық көзінен тікелей келетін тіректік толқынның қабаттасуынан туындаған интерференциялық көріністі жазу және қайта қалпына келтіру тәсілін айтады. Тіркелген интерференциялық көрініс *голограмма* деп аталады.

Лазермен жарықтандырғанда голограмма түпнұсқа – үшөлшемді объектінің дәл көшірмесін қалыптастырады және оның барлық қасиеттерін шынайы бейнелейді. Негізінен белгілі бір объекіден шағылған немесе одан өткен жарықпен тасымалданатын ақпаратты жазу үшін пайдаланылатын голография әдісі тек көзге көрінетін жарық үшін ғана жарамды емес. Бұл әдіс басқа толқындық құбылыстарға, мысалы, дыбыс толқындарына, микротолқын мен инфрақызыл сәулелеріне, рентгендік және электронды сәуле шығаруларға да жарамды әдіс болып табылады. Бұлардың бәрі голографияға қызығушылықты арттырады, алайда практикалық қиындықтарға байланысты оны спектрдің көзге көрінбейтін аймақтарында (мысал электрондық, рентгендік т.б. сәулелер) қолдану әзірге мүмкін болмай отыр.

Голографиялық технологияның болашағы зор. Шынайы уақыт режимінде зерттелетін объектілердің, процестер мен құбылыстардың проекцияларын жасауды қамтамасыз ететін 3D-шлемдер жасалады. Мысалы:

- астрономияда (галактикалардың, планеталық жүйелердің құрылу процестерінің, планета немесе жұлдыздың бетіне кометалар мен астероидтардың құлау т.с.с. проекцияларын жасау);
- физикада (микроөлемнің проекцияларын жасау; атом мен атом ядросының құрылымын және сутек бомбасының жарылуын т.с.с. демонстрациялау);
- химияда (тотығу реакцияларының және жану процесінің демонстрацияларын жасау; органикалық және бейорганикалық химиядағы айырмашылықты суреттеу т.с.с.);
- географияда (Жер бетіндегі қолжетімсіз орындардың ландшафтық аймақтарын жасау; Күн жүйесіндегі басқа планеталардың ландшафын көзге елестету т.с.с.);
- медицинада (адам мен жануарлардың ішкі құрылымын демонстрациялайтын көріністерді жасау т.с.с.)

Мұндай технологиялар адамның өмірлік қарекетіндегі тиісті салаларда тиімді жұмыс жасауын қамтамасыз етеді.

Сұрақтар

1. Сызықтық емес оптика қандай салаға жатады, нені зерттейді? Ерекшелігі қандай?
2. Еріксіз сәуле шығару үшін қандай шарттар қажет? Индукцияланған сәуле деп қандай сәуле шығаруды айтады?
3. Лазердің жұмыс істеу принципі неге негізделген? Екі энергетикалық деңгейі бар лазер қалай жұмыс істейді?
4. Үш энергетикалық деңгейі бар лазер қалай жұмыс істейді?
5. Лазерлер қайда қолданылады? Интерференциялық көріністі алудың қандай тәсілі голография деп аталады? Болашақтары қандай?

Тапсырма (теориялық зерттеу)

Қуатты лазер сәулесі радиусы 20 мкм мөлдір шыны шарикті жоғары көтеріп, қалықтаған күйде ұстап тұрады. Жарық мұндай шарикті қалай көтереді? Қалықтаған шариктің орнықтылығын қалай түсіндіруге болады?

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Қуаты $P = 40$ мВт үздіксіз режимде жұмыс істейтін терапевтік гелий-неон лазері толқын ұзындығы $\lambda = 630$ нм монохроматты жарықты береді. 1 с-та лазер қанша фотон шығарады?

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$\lambda = 630$ нм	$630 \cdot 10^{-9}$ м	Лазердің қуаты: $P = \frac{E}{t},$ мұндағы E – сәулелену энергиясы, t – уақыт. Сәулелену энергиясы жеке фотондар энергиясынан тұрады. $E_0 = h\nu$, олардың санын N арқылы белгілеуге болады.
$P = 40$ мВт	$40 \cdot 10^{-3}$ Вт	
$t = 1$ с		
$N = ?$		

Мұнда ν – фотонның жиілігі. $\nu = \frac{c}{\lambda}$ екенін ескерсек, келесіні жазамыз:

$$P = \frac{hcN}{\lambda t}, \text{ бұдан } N = \frac{P\lambda t}{hc} = 1,3 \cdot 10^{17} \text{ фотон.}$$

Жауабы: $N = 1,3 \cdot 10^{17}$ фотон.

Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

6.7.1. Газды лазер үздіксіз сәуле шығару режимінде жұмыс істеп, толқын ұзындығы 500 нм жарық шығарады. Қуатын 50 мВт деп алып, 2 с шығарылатын фотондар санын табыңдар. (*Жауабы:* $2,5 \cdot 10^{17}$ фотон)

В

6.7.2. Лазер бір импульсте 10^{19} жарық кванттарын шығарады. Жарқылының ұзақтығы $3 \cdot 10^{-8}$ с лазер импульсінің орташа қуаты 1100 Вт. Лазер сәулесінің толқын ұзындығын табыңдар. Жауабын микрометрмен белгілеңдер. (*Жауабы:* 0,6 мкм)

- 6.7.3. Хирургиялық жолмен денедегі сүйелді алған кезде диаметрі $d = 0,4$ мм дақта шоғырланған қуаты $P = 10$ мВт гелий-неон лазері қолданылады. Лазер ұзақтығы $t = 1$ с жарқылды берді. Жарқылдың энергиясын және қуаттың тығыздығын ($\text{Вт}/\text{м}^2$) табыңдар. (Жауабы: 0,01 Дж; 79617 $\text{Вт}/\text{м}^2$)

VI ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР






- **Корпускулалы-толқындық дуализм** деп жарықтың және басқа да элементар бөлшектердің екіжақтылық – өрі корпускулалық (бөлшектік), өрі толқындық табиғатының ажырамас біртұтастығын айтады. Жарықтың **толқындық қасиеттері** оның таралу заңдарында, интерференция, дифракция және поляризация құбылыстары арқылы көрініс табады; **корпускулалық қасиеттері** жарықтың заттармен әрекеттесу процестерінен байқалады.
- **Сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы** деп жиіліктердің бірлік интервалына келетін жарықтың қарқындылығын айтады.
- **Спектр** деп электромагниттік толқындардың толқын ұзындығы (немесе жиілігі) бойынша жіктелген құрамдас бөліктерінің жиынтығын айтады.
- **Спектрлік талдау** деп белгісіз заттың спектрін зерттеу негізінде оның сапалық және сандық химиялық құрамын анықтайтын физикалық әдістерді айтады.
- **Сәуле шығару** – энергияның толқын және бөлшектер түрінде шығарылу және таралу процесі.
- **Инфрақызыл сәуле шығару** деп жиілігі $3 \cdot 10^{11}$ Гц – $3,75 \cdot 10^{14}$ Гц аралығындағы электромагниттік сәуле шығаруды айтады.
- **Ультрақұлгін сәуле шығару** деп жиілігі $8 \cdot 10^{14}$ Гц – $3 \cdot 10^{16}$ Гц аралығындағы электромагниттік сәуле шығаруды айтады.
- **Фотозффе́кт** деп жарық фотондарының әсерінен катодтан электрондарды жұлып шығу құбылысын айтады.
- **Рентген сәулесі** зарядталған бөлшектер өте күшті үдетілгенде немесе атомдар мен молекулалардың электрондық қабаттарындағы жоғары энергетикалық ауысулар кезінде туындайды.
- **Сызықтық емес оптика** – аса қуатты жарық шоқтарының қатты денелерде, сұйықтар мен газдарда таралуын және олардың заттармен әрекеттесулерін зерттейтін оптиканың аса маңызды саласы.
- **Индукциялық сәуле шығару** деп сыртқы (мәжбүрлеуші) жарық әрекетінен берілген кванттық жүйедегі атомдардың электромагниттік сәуле шығаруын айтады.
- **Голография** деп екі когерентті толқынның, бір жағынан, жарықталған нәрседен шағылған **нәрселік толқынның**, екінші жағынан, оған когерентті жарық көзінен тікелей келетін **тіректік толқынның** қабаттасуынан туындаған интерференциялық көріністі жазу және қайта қалпына келтіру тәсілін айтады.

7-тарау



АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  радиоактивті ыдырау құбылысын және жартылай ыдырау периоды терминін түсіндіру;
-  графикалық әдіспен жартылай ыдырау периоды есептеуге машықтану;
-  ядроның бөліну және бірігу (синтезделу) процесін түсіндіру;
-  радиоактивті сәуле шығарудың иондағыш эффектінің табиғатын және өтімділік қабілетін түсіндіру;
-  радиоактивті материалдардың өңделуін, қолданылуын, қауіпсіз сақталуын сипаттау;
-  ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін сипаттау;
-  ядролық энергетиканың даму болашағын талқылау.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
табиғи радиоактивтілік	естественная радиоактивность	natural radioactivity
ыдырау	распад	decay
ядро	ядро	nucleus
аналық ядро	материнское ядро	mother nucleus
туынды ядро	дочернее ядро	daughter nucleus
жартылай ыдырау периоды	период полураспада	half-life, decay period
нейтрон	нейтрон	neutron
сутегі	водород	hydrogen
нуклон	нуклон	nucleon
меншікті байланыс энергиясы	удельная энергия связи	specific bond energy
ядролық реакция	ядерная реакция	nuclear reaction

тізбекті реакция	цепная реакция	chain reaction
сәуле шығарудың жұтылған дозасы	поглощенная доза излучения	absorbed radiation dose

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «табиғи радиоактивтілік», «ыдырау», «ядро», «аналық ядро», «туынды ядро», «жартылай ыдырау периоды», «нейтрон», «нуклон», «меншікті байланыс энергиясы», «ядролық реакция», «тізбекті реакция», «сәуле шығарудың жұтылған дозасы».

§ 7.1

Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңдары



Антуан Анри Беккерель (1852–1908) – француз физигі, физикадан Нобель сыйлығының лауреаты. Оның негізгі зерттеулері кристалдардағы жұтылу спектрлерінің өртүрлілігіне арналған. 1903 жылы Пьер және Мария Кюрилермен бірге физикадан Нобель сыйлығын «Өздігінен болатын радиоактивтілік құбылысын» ашқаны үшін алды.

зерттеуге құлшындыра түсті. Кейінірек Беккерель бұл сәуленің фотопластинкаға әсер етуімен қатар, ауаны иондайтынын және бірқатар заттардың люминесценциясын қоздыратынын байқады.

2. «Беккерельдік сәуле» төңірегіндегі зерттеулерді жалғастырып, ерлі-зайыпты Мария және Пьер Кюрилер оның тек уранға ғана емес, торий, актиний секілді

1. Француз физигі А. Беккерель 1896 жылы уран тұздарының люминесценциясын зерттеу кезінде олардың табиғаты белгісіз сәулелерді өздігінен шығаратынын кездейсоқ ашты. Ол Рентгеннің 1895 жылы ашқан X-сәулеге қызығушылық танытып, оның фосфоресценция және флуоресценциямен байланысын анықтауды, оларға Күн сәулесінің тигізетін әсерін зерделеуді ойластырған еді. Сондай-ақ бір күні ауа райының құбылмалы тұманды күндері тап келді де, зерттеуші жарықсезгіш фотопластинкаларын қалың қарақағазға орап, уран мен калийдің дисульфатымен бірге жәшікке күн ашылғанша салып қойды. Бірнеше күн өткеннен кейін зерттеулерін жалғастырып, ораулы фотопластинкалардың біреуін тексеріп көргенде оның Күн сәулесі түспесе де, қарайып кеткенін көрді. Басқа фотопластинкалардың да белгісіз сәулелердің әрекетінен қарайғандығы анықталды. Бұл уран тұздарының өз бетімен белгісіз сәулелерді шығаратынына ғалымның көзін жеткізді.

Ашылған жаңалық Беккерельді де, басқа ғалымдарды да құпия сәуленің сырын ашып, табиғатын

ауыр элементтерге де тән екенін анықтады. Олар кейбір уран аралас кен қоспаларының уранға қарағанда қарқындылығы жоғары сәуле шығаратынын да көрсетті. Сөйтіп, бұл қоспалардан «Беккерель сәулесін» шығаратын екі жаңа химиялық элементті бөліп алды. Оларға $^{210}_{84}\text{Po}$ *полоний және радий* $^{226}_{88}\text{Ra}$ деген ат берілді. Полоний элементі Мария Склодовская-Кюридің отаны Польшаның құрметіне қойылды. Ал радийдің ашылуынан кейін байқалған құбылыс **радиоактивтілік**, элементтердің спонтанды сәуле шығаруын **радиоактивті** деп атады.

Радийдің салыстырмалы атомдық массасы 226, реттік нөмірі 88. Радий сілтілі жер металы болып табылады. Реттік нөмірлері 88-ден артық барлық химиялық элементтердің радиоактивті екені белгілі болды.

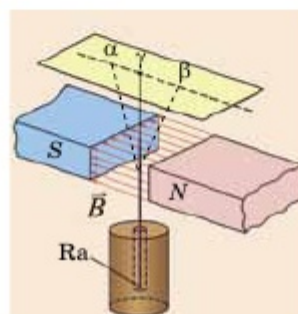
Радиоактивтілік **табиғи** (табиғаттағы изотоптарда байқалады) және **жасанды** (ядролық реакция әрекетінен пайда болады) болып бөлінеді. Радиоактивтілік түрінің арасында принципті айырмашылық жоқ, себебі екі жағдайда да радиоактивті түрлену бірдей заңмен жүреді.

3. Радиоактивті сәуле шығару ашылған соң олардың табиғатын зерттеу басталды. Осындай зерттеулерге арналған классикалық тәжірибелердің бірін қарастырайық (7.1.1-сурет). Қорғасын цилиндрдің каналына (жіңішке өзек) радий салынады. Каналға қарама-қарсы фотопластинка қойылады. Радийден шыққан сәулеге магнит өрісі әсер етеді. Магнит өрісі әсер етпегенде фотопластинкада жалғыз қара дақ, ал магнит өрісі әсерінен үш бөлек шоқ пайда болды: біреуі ауытқымайды, ал қалған екеуі екі жаққа ауытқиды. Бұл екі сәуленің зарядтарының әртектілігін білдіреді. Теріс компонент оң компонентке қарағанда магнит өрісінде үлкен бұрышқа ауытқиды. Олардың оң ***α-сәуле***, теріс ***β-сәуле*** және бейтарап компоненті ***γ-сәуле*** деген атау алды.

Оларды тереңірек зерттеу сәуле шығарудың табиғатын және негізгі қасиеттерінің білуге мүмкіндік берді.

Альфа-сәулесі электр және магнит өрістерінің әсерінен ауытқиды, оның иондаушы қабілеті жоғары, ал өтімділік қабілеті төмен (мысалы, қалыңдығы шамамен 0,05 мм алюминий қабатында жұтылады). **α-сәулесі гелий ядроларының ағыны болып шықты**; заряды $+2e$, массасы ^4_2He гелий изотопы ядросының массасына тең. Альфа-бөлшектердің электр және магнит өрістерінде ауытқуы бойынша олардың меншікті заряды $\frac{q}{m_\alpha}$ анықталды, оның мәні α-бөлшегінің табиғаты туралы көзқарастың дұрыстығын растады.

Бета-сәулесі де электр және магнит өрістерінің әсерінен ауытқиды; оның иондаушы қабілеті α-сәулеге қарағанда біраз төмен (шамамен екі ретке), ал өтімділік қабілеті анағұрлым жоғары (қалыңдығы шамамен 2 мм алюминий қабатында жұтылады). **β-сәуле шапшаң электрондар ағыны болып шықты** (мұндай пайымдау оның меншікті зарядын анықтау бойынша жасалды).



7.1.1-сурет.
Радиоактивті сәулелердің табиғатын анықтаған тәжірибенің сұлбасы

Гамма-сәулер электр және магнит өрістерінде ауытқымайды, иондайтын қабілеті әлсіз және өтімділік қабілетті жоғары (қалыңдығы 5 см болат қабатынан өтеді), кристалдардан өткен кезде дифракция құбылысы байқалады. **γ-сәулелері** толқын ұзындығы өте аз $\lambda < 10^{-10}$ м қысқа толқынды **электрмагниттік сәулеге жатады**. Толқын ұзындығы аз болғандықтан, корпускулалық қасиеттері анық білінеді, басқаша айтқанда бұл сәуле кванттар (фотондар) ағыны болып табылады.

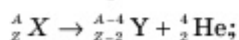
4. Радиоактивті сәуле шығару кезінде затта қандай процестер орын алады? деген сұрақ туындайды. Көптеген тәжірибелер радиоактивті заттардың сәуле шығаруының қарқындылығы өзгермейтінін көрсетті, оған қыздыру, қысымның өзгеруі, заттың түскен химиялық реакциялары да әсер етпейтіні байқалды. Сонымен қатар радиоактивті сәуле шығару кезінде энергия бөлініп шығады. Мысалы, радийдің бір грамы 1 сағатта 582 Дж энергия бөледі. Бастапқыда ғалымдар радиоактивті сәуле шығару кезінде атомдар түрленулердің тізбегінен өтетіні туралы ойлады. Мысалы, Резерфорд торийдің активтілігін зерттеп, альфа-бөлшектерімен қатар белгілі бір газ шығатынын тіркеді. Ал бұл газдың активтілігі уақыт өтуімен төмендейді. Бұл газ радий сияқты радиоактивті болғандықтан **радон** деп аталды.

Осыдан ғалымдар радиоактивті сәуле шығару кезінде атомдардың түрленуінің, табиғаттағы элементтердің химиялық өрі физикалық қасиеттері бойынша басқа элементке айналатынын ұғынды. Кейінірек химиялық элементтің түрленуі оның атом ядросының ыдырауынан туындайтыны анықталды. Расында да оң зарядты α -бөлшектері атомның электрондық қабаттарында болмайтыны белгілі; ал электрондық қабаттардағы электрондар саны кемісе, атомдар оң зарядты иондарға айналар еді, алайда радиоактивті заттардың атомдары нейтрал күйін өзгертпей сақтайды. Радиоактивті ыдырауға ұшырайтын атомдық ядро – **аналық ядро**, ал пайда болатын басқа ядро – **туынды ядро** деп аталады.

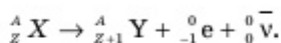
Сонымен, **радиоактивтілік деп кейбір атомдық ядролардың әртүрлі бөлшектерді шығара отырып, басқа ядроларға түрлену қабілетін айтады**.

Ядролардың түрленуін сипаттайтын қажетті белгілеулерді енгізейік. Аналық ядроны X , туынды ядроны Y деп белгілейік. Элементтерді бір-бірінен ажырату үшін заряд санын Z , массалық санын A деп таңбалайық. **Заряд саны бұл Менделеев кестесіндегі элементтің реттік нөмірі, бұл сан сол элементтің атом ядросындағы протондар санына тең**. Реттік нөмірі өзгерсе, ядро да өзгереді және бір элемент екінші элементке түрленеді. **Массалық сан да Менделеев кестесінде көрсетілген, бұл сан ядродағы Z протондар саны мен N нейтрондар санының қосындысына ($A = Z + N$) тең**. Массалық санның өзгеруі химиялық элементтің өзгеруіне әкелмейді. Кез келген аналық ядроны заряд және массалық сандарына сәйкес ${}^A_Z X$ деп белгілейді.

Радиоактивті ядролардың түрленулері **Соддидің ығысу заңына** бағынады. Бұл заң бойынша аналық ядроның қандай ядроға түрлендірілетіні анықталады. Мысалы, **альфа-ыдырау кезінде аналық ядро оң (+2e) зарядты жоғалтады да, оның массасы 4 атомдық бірлікке кемиді**. Соның нәтижесінде туынды элемент периодты жүйенің басына қарай екі торкөзге ығысады:



ал β -ыдырау кезінде туынды ядро өз зарядын бірге арттырады, бірақ массасы өзгермейді; нәтижесінде туынды элемент периодты жүйенің соңына қарай бір төркөзге ығысады:



Бета-ыдырау кезінде электронмен бірге тағы бір *антинейтрино* $\bar{\nu}$ атты бөлшек босап шығады, оның массасы да, заряды да жоқ. β -ыдырау кезінде электрондардың үздіксіз энергетикалық спектрі байқалады.

Гамма-сәуле шығару радиоактивтіліктің жеке түрі болып есептелінбейді, тек α - және β -ыдыраулармен бірге қатар жүреді. Ол туынды ядромен қатар шығады.

5. Радиоактивті ыдырау статистикалық заңға бағынады. Жоғарыда айтылғандай, Резерфорд радон активтілігінің бір минуттан кейін әлсірейтінін байқады. Радиоактивтіліктің осындай әлсіреу заңдылығы басқа да радиоактивті элементер үшін байқалады, тек кему жылдамдықтары әртүрлі болып келеді (7.1.2-сурет). Радиоактивті элементтің активтілігі екі есе кемитін уақыт *жартылай ыдырау* периоды деп аталады.

Жартылай ыдырау периоды деп атомдардың ядроларының бастапқы санының жартысы ыдырайтын уақытты айтады.

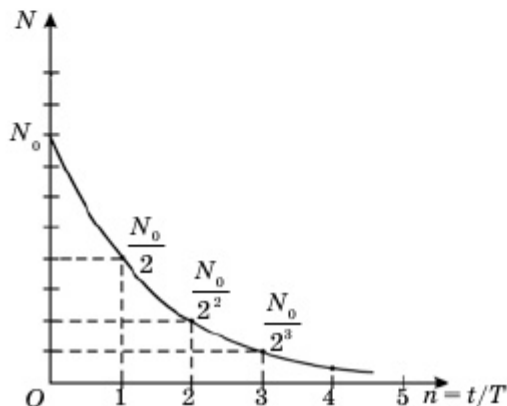
Жартылай ыдырау периодының математикалық формуласын қорытып шығарайық. Радиоактивті атомдардың бастапқы санын N_0 арқылы белгілейік. Жартылай ыдырауға сәйкес келетін $t = T$ уақыт өткеннен кейін бұл сан екі есе азайып, $\frac{N_0}{2}$ -ге тең болады. Ал $t = 2T$ уақыт өткеннен кейін ыдырамаған радиоактивті атомдардың саны $\frac{N_0}{2^2}$ болады. Ал $t = nT$ уақыттан кейін қалған радиоактивті атомдар саны $N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n}$. Бұл теңдеудегі $n = \frac{t}{T}$ болғандықтан, оны мына түрде жаза аламыз:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (7.1)$$

Бұл өрнек — *радиоактивті ыдыраудың негізгі заңы*. (7.1) формуласы бойынша кез келген уақыттағы ыдырамаған атомдар санын табуға болады.

(7.1) формуласына $2 = e^{\ln 2}$ өрнегін қолданып, сонымен қатар $\frac{\ln 2}{T}$ шамасын λ таңбасымен белгілесек $\left(\lambda = \frac{\ln 2}{T} \right)$, бұл формуланы мына түрде де жазуға болады:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (7.2)$$



7.1.2-сурет. Радиоактивтіліктің уақытқа тәуелділік қисығы

мұндағы $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ **ыдырау тұрақтысы** деп аталады. Жартылай ыдырау периоды – элементтің негізгі сипаттамаларының бірі. Жартылай ыдырау уақыты аз болған сайын ядроның өмір сүру уақыты да аз және элемент тез ыдырайды. Төмендегі кестеде кейбір элементтердің жартылай ыдырау периодтары көрсетілген.

7.1.1-кесте

Кейбір элементтердің жартылай ыдырау периодтары

№	Элемент	Жартылай ыдырау периоды
1	Полоний	138,4 тәулік
2	Радон	3,83 тәулік
3	Радий	1601 жыл
4	Торий	$1,41 \cdot 10^{10}$ жыл
5	Протактиний	$3,25 \cdot 10^4$ жыл
6	Уран	$1,6 \cdot 10^5$ жыл
7	Нептуний	$1,15 \cdot 10^5$ жыл

6. Өрбір радиоактивті элементтің өзіне тән ыдырау жылдамдығы өзгермейді. Өр элементтің ядроларының өмір сүру уақыты секундтың миллионнан бір бөлігінен бастап миллиард жылға дейін жалғасады. Сондықтан радиоактивті заттардың қалдықтарымен қандай да бір территория зақымданса, уақыт өте келе ондағы әртүрлі қалдықтар түрлі жылдамдықпен ыдырай бастайды. Сонымен, жекелеген ядролардың өмір сүру уақытына тәуелді жергілікті орындардың радиоактивті қалдықтармен зақымдануы ұзақ уақыт бойы сақталады.

Қазақстан Республикасының аймағындағы Семей полигонында 1949 жылдан бастап 1989 жылға дейін 468 ядролық сынақтар жасалып, 616 ядролық және термоядролық құрылғылар жарылды. Солардың ішінде: 125 атмосфералық (26 жерүстілі, 91 ауада, 8 биіктікте), жердің астында 343 сынақ (215 ұңғымада және 128 төтелдерде) өткізілді. Осы сынақтар нәтижесінде полигонның көп бөлігі жарылыстың радиоактивті өнімдерімен қатты зақымданды. Қазақстанда жазушы Олжас Сүлейменов басшылығымен полигондағы сынақтарды тоқтатуға бағытталған «Невада–Семей» атты қозғалысы пайда болды. Көптеген елдерді осы мәселеге тартып, өз мақсатына жетті. Полигондағы соңғы жарылыс 1989 жылы 19 қазанда болды және полигон 1991 жылдың 29 тамызында Тұңғыш Президент Н.Ә. Назарбаевтың жарлығымен жабылды.

Сұрақтар

1. Қандай құбылысты радиоактивтілік деп атайды?
2. Радиоактивті сәулелердің қандай түрлері бар? Олардың табиғаттары қандай?
3. Радиоактивті ыдырау түрлерін қандай заңмен сипаттап, қандай формулалармен өрнектейді?
4. Жартылай ыдырау периоды дегеніміз не? Радиоактивті ыдырау заңы қандай формуламен өрнектеледі?
5. Неліктен залалданған жердің радиоактивті зақымдануы көптеген жылдар бойы сақталады?

ЕСЕПТЕР ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ

1-есеп. ${}_{92}^{235}\text{U}$ уран изотопы радиоактивті түрленуден соң ${}_{82}^{207}\text{Pb}$ қорғасынға айналды. Мұнда қанша α - және β -ыдыраулар орын алды?

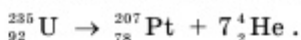
Берілгені:

$$\begin{array}{l} {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{207}\text{Pb} \\ N(\alpha) - ? \\ N(\beta) - ? \end{array}$$

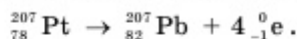
Шешуі:

β -ыдырау кезінде элементтің массалық саны өзгермейді, өйткені бөлініп шыққан электрондардың массалары өте аз болғандықтан еленбейді, бірақ α -ыдырау кезінде өзгереді, себебі мұнда α -бөлшек ұшып шығады да, өзімен бірге 2 протон мен 2 нейтронды ала кетеді, сөйтіп аналық ядроның массалық саны 4-ке кемиді.

Есеп шартына сәйкес уранның қорғасынға айналған процестері кезінде массалық сан $235 - 207 = 28$ -ге азайды, сондықтан $\frac{28}{4} = 7$ α -ыдырау орын алды. Мұнда зарядтық сан $7 \cdot 2 = 14$ -ке азайды. 7 α -ыдыраудан кейін платина пайда болады:



Пайда болған платина 4 β -ыдыраудан кейін қорғасынға айналады:



Сонымен, 7 α -ыдырау және 4 β -ыдырау орын алды, барлығы 11 ыдырау.

Жауабы: 7 α -ыдырау және 4 β -ыдырау.

2-есеп. Полонийдің ${}_{84}^{218}\text{Po}$ жартылай ыдырау периоды 3,05 минут. Полонийдің бастапқы ядроларынан $\frac{1}{3}$ -і ыдырайтын уақытты анықтаңдар.

Берілгені:

$$\begin{array}{l} T_{1/2} = 3,05 \text{ мин} \\ {}_{84}^{218}\text{Po} \\ \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{1}{3} \\ t - ? \end{array}$$

ХБЖ

183 с

Шешуі:

Есеп шартына сәйкес t уақытта ыдыраған ядролар санының үлесі мынаған тең:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0}, \quad (1)$$

мұндағы N_0 - ыдырамаған ядролардың бастапқы

саны ($t = 0$ уақыт мезетінде), $N - t$ уақыт мезетіндегі ыдырамаған ядролар саны. Радиоактивті ыдырау заңы бойынша:

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

мұндағы λ – радиоактивті ыдырау тұрақтысы. (1) формуласын (2) өрнегіне қойсақ:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{t}{T} \ln 2},$$

(мұндағы $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$). Есеп шарты бойынша $\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{1}{3}$, онда

$$\frac{1}{3} = 1 - e^{-\frac{t}{T} \ln 2}; \quad e^{-\frac{t}{T} \ln 2} = \frac{2}{3},$$

$$\frac{-t}{T} \ln 2 = \ln \frac{2}{3}; \quad \frac{t}{T} \ln 2 = \ln \frac{3}{2}.$$

Іздеген уақыт

$$t = \frac{T \ln \frac{3}{2}}{\ln 2} = \frac{183 \cdot 0,405}{0,693} = 107 \text{ с.}$$

Жауабы: $t = 107 \text{ с.}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 7.1.1. Менделеев кестесін және ығысу ережелерін пайдаланып, ${}_{92}^{235}\text{U}$ алты α -және үш β -ыдыраудан кейін қандай элементке айналатынын анықтаңдар. (*Жауабы:* ${}_{83}^{211}\text{Bi}$)
- 7.1.2. Торийдің ${}_{90}^{232}\text{Th}$ радиоактивті изотоптары ретімен α -ыдырау, екі β -ыдырау және тағы да α -ыдырауға ұшырайды. Бөлінудің соңғы өнімін анықтаңдар. (*Жауабы:* ${}_{88}^{224}\text{Ra}$)
- 7.1.3. Радийдің ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ радиоактивті изотопы төрт α -ыдырау және екі β -ыдырауға ұшырайды. Соңғы ядро үшін мыналарды анықтаңдар: 1) зарядтық сан Z ; 2) массалық сан A . (*Жауабы:* $Z = 82$; $A = 209$)

В

- 7.1.4. Кейбір радиоактивті изотоптың активтілігі $t = 5$ тәулікте $n = 2,2$ есе кемісе, осы изотоптың T жартылай ыдырау периоды қандай? (*Жауабы:* 4,4 тәул.)
- 7.1.5. Изотоптың $t = 849$ с-та $n = \frac{5}{8}$ бөлігі ыдыраса, оның жартылай ыдырау периоды қандай болады? (*Жауабы:* 10 мин)

№4 зертханалық жұмыс**Жартылай ыдырау периодын анықтау**

Жұмыстың мақсаты: Радиоактивті ыдырау процесін модельдеу және графикалық әдіспен жартылай ыдырау периодын анықтау.

Қажетті құрал-жабдықтар: 1) 128 кеңселік батырма (кнопка); 2) банка; 3) қорап.

Қысқаша теория. Жартылай ыдырау периоды дегеніміз радиоактивті элементтің бүкіл атомдарының жартысы ыдырайтын уақыт. Радиоактивті ыдырау келесі формулаға бағынады:

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

немесе

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

мұндағы N_0 – атомдардың бастапқы саны, $N = t$ уақыт мезетіндегі ыдырамаған атомдар саны.

Активтілік A дегеніміз – уақыт бірлігіндегі ыдыраған атомдар саны. Егер активтіліктің логарифмдік масштабта ($\ln A$) уақытқа тәуелділік графигін салсақ, онда графиктен элементтің жартылай ыдырау периодын таба аламыз.

Радиоактивті ыдырау процесін батырмаларды лақтыру арқылы модельдей аламыз. Бұл жағдайда да радиоактивтілік ыдырау заңына сәйкес батырмалардың ықтимал түсу қалпын бақылаймыз. Үштары жоғары жатса, ыдырамаған деп есептейміз. Батырмалардың әрбір лақтырылуы ядро үшін жартылай ыдырау периодына тең уақыттың өтуіне сәйкес келеді.

Жұмыс реті

1. Батырманың бастапқы санын $N_0 = 128$ деп алып, оларды қорапта араластырып, үстел үстіне шашып жіберіңдер.

2. «Ыдырамаған» батырмаларды (үштары жоғары қарап жатқан) санап алып, қайта банкаға салыңдар. Оларды қайта араластырып, тағы да шашып жіберіңдер.

3. Әр жолғы шашу саны белгілі уақыт аралығына сәйкес келеді (секунд немесе минут деп есептеуге болады).

4. «Ыдыраған» батырмалар санын кестеге түсіріп, жазып отырыңдар.

№ тәжірибе реті немесе уақыт, (с)	«Ыдыраған» батырмалар саны, A
1	
2	
3	

5. Тәжірибені 10 рет қайталаңдар.

6. $\ln A$ -ның t уақытқа тәуелділік графигін салыңдар.

7. Бір-бірінен активтілігі бойынша екі есе, яғни $\ln 2 = 0,3$ шамасына ажырайтын екі нүктені графикте белгілеп алыңдар.

8. Осы нүктелер арқылы абсцисса осіне параллель түзулерді ордината осімен қиылысқанша жүргізіңдер. Осы нүктелер арқылы абсцисса осіне перпендикулярлар түсіріңдер.

9. Екі перпендикуляр арасындағы кесіндінің ұзындығы ($t_2 - t_1$) жартылай ыдырау периодына сәйкес келеді $T = (t_2 - t_1)$.

10. Қандай шамаларды есептеп, қандай нәтиже алғандарың туралы қорытындылап жазып, берілген бақылау сұрақтарына жауап беріңдер.



Бақылау сұрақтары

1. Радиоактивтілік дегеніміз не?
2. Радиоактивті ыдырау заңын қорытып шығарыңдар.
3. Жартылай ыдырау периоды дегеніміз не?
4. Иондаушы сәулелену ағзаға қалай әсер етеді?
5. Кейбір радиоактивті элементтердің жартылай ыдырау периодтарының мысалдарын келтіріңдер.
6. Радиоактивті элементтің активтілігінің түсуінің графиктегі пішіні қандай?

§ 7.2

Ядролық реакциялар. Ауыр ядролардың бөлінуі.

Тізбекті ядролық реакциялар. Термоядролық реакциялар

1. Радиоактивті сәулелерді зерттеудің дамуы, 9-сынып физикасында қарастырылғанымыздай, Резерфордтың *атомның планетарлық моделінің* пайда болуына әкелді. Бұл модель бойынша атомның центрінде *протондар* мен *нейтрондардан* тұратын өлшемдері $10^{-14} - 10^{-15}$ м-ге тең оң зарядты атомдық ядро орналасқан, ал ядро төңірегінде теріс зарядталған *электрондар* айналып жүреді (атомның өлшемі 10^{-10} м шамасында).

Атомдардың ядроларын жалпы түрде **нуклидтер** деп атайды, олар протондарының саны Z және нейтрондарының саны N бойынша бір-бірінен ажыратылады.

Ядролардағы протондар мен нейтрондарды жалпы түрде **нуклондар** деп атайды.

Атом ядросындағы нуклондар саны **массалық сан** A деп аталады ($A = Z + N$).

Атом ядросының заряды $q_n = Z \cdot e$, мұндағы Z – **зарядтық сан**, ол ядроға протондар санына тең және Менделеевтің элементтер кестесіндегі химиялық элементтің реттік нөміріне сәйкес келеді.

Ядро да бейтарап атомның символымен белгіленеді: ${}_Z^A X$, мұндағы X – химиялық элемент символы, Z – атомдық нөмірі (ядроға протондар саны), A – массалық сан (ядроға нуклондар саны).

Зарядтық сандары Z бірдей, бірақ массалық сандары A әртүрлі (нейтрондар саны әртүрлі $N = A - Z$) ядролар **изотоптар** деп аталады. Мысалы, уранның үш изотопы бар: ${}_{92}^{238}U$, ${}_{92}^{235}U$ және ${}_{92}^{238}U$.

2. **Элементар бөлшектермен әрекеттескен кезде атом ядролары өзгере алады, демек, массалық сан да, зарядтық сан да өзгеріп, ядро түрленеді.**

Ядролық реакция деп әртүрлі ядролардың бір-бірімен немесе басқа бөлшектермен әрекеттесуі кезінде олардың жаңа ядролар мен бөлшектерге түрленулерін айтады.

Ядролық реакцияның ең көп таралған түрі мынадай символдық белгілеулер бойынша жазылады:



мұндағы X – аналық ядро, Y – туынды ядро.

Кез келген ядролық реакция жүруі үшін атқылаушы a бөлшектер ядроға мейлінше жақын келіп, ядролық күштердің әрекет аймағына енулері шарт. Алайда бұл шартты орындау, егер бөлшек оң зарядталса, қиындай түседі. Себебі оң зарядталған аттас бөлшектердің арасында кулондық тебілу күштері әрекет етеді. Сондықтан да осы күштерді жеңу үшін бөлшектерге үдеткіш арқылы берілетін қомақты энергия қажет. Мұндай энергия шамамен – 10^5 МэВ.

3. Ядролық реакциялар төменде көрсетілген белгілер бойынша жіктеледі:

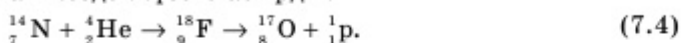
1) *қатысатын бөлшектер түріне қарай* – *нейтрондар* әрекетінен, *зарядталған бөлшектер* әрекетінен (мысалы, протондар, α -бөлшектер); *γ -кванттар* әрекетінен болатын реакциялар;

2) *реакцияларды қоздыратын бөлшек энергиялары бойынша*: көбінесе нейтрондар әрекетінен болатын шамасы аз энергияларда (электронвольт шамасында); γ -кванттар және зарядталған бөлшектер (протондар, α -бөлшектер) әрекетінен болатын орташа энергияларда (бірнеше мегаэлектронвольтқа дейін); бос күйінде болмайтын элементар бөлшектердің пайда болуына әкелетін жоғары энергияда (жүздеген және мыңдаған мегаэлектронвольт энергияда);

3) *қатысатын ядролар түріне қарай*: жеңіл ядроларда ($A < 50$); орташа ядроларда ($50 < A < 100$); ауыр ядроларда ($A > 100$);

4) *ядролық түрлендірілу сипатына қарай*: *нейтрондар*; *зарядталған бөлшектер* шығарылуымен; қармау реакциялары (бұл реакцияларда күрделі ядро ешқандай бөлшек шығармайды да, бір немесе бірнеше γ -квант шығарып өзінің негізгі күйіне оралады).

Тарихта ең бірінші ядролық реакцияны 1919 жылы Э. Резерфорд азот атомын альфа-бөлшектермен атқылаған кезде жүзеге асырды:



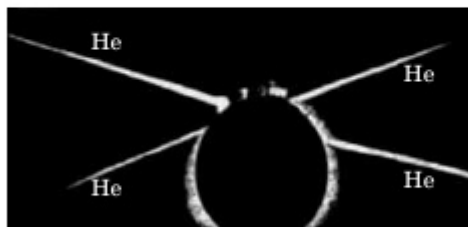
Шапшаң протондардың (${}^1_1\text{p}$ немесе ${}^1_1\text{H}$) қатысуымен бірінші ядролық реакция 1932 жылы жүзеге асырылды:



Протондармен литийді атқылаған кезде орын алған ядролық реакция барысында пайда болған гелий ядроларының іздері (тректері) 7.2.1-суретте көрсетілген.

Кез келген ядролық реакцияларда (немесе радиоактивті ыдырауларда) электр зарядтарының және массалық сандардың сақталу заңдары орындалады. Бұл заңдар былайша тұжырымдалады:

Ядролық реакцияға қатысатын ядролар мен бөлшектердің зарядтарының және массалық сандарының қосындысы



7.2.1-сурет. Ядролық реакция кезінде гелий ядросының пайда болуы

реакциядан кейінгі өнімдердің (ядролар мен бөлшектердің) зарядтық және массалық сандарының қосындысына тең.

Сонымен қатар энергияның, импульстің және импульс моментінің сақталу заңдары да орындалады.

Нейтрондардың қатысуымен өтетін реакцияның мысалы:



Нейтрондардың қатысуымен өтетін реакцияны итальяндық физик Энрико Ферми жан-жақты тыңғылықты зерттеп, ядроларды бөлуде шапшаң нейтрондарға қарағанда баяу нейтрондармен тиімді болатынын дәлелдеді. Сондықтан да шапшаң нейтрондарды суда баяулату ұсынылды. Өйткені сутек ядросының массасы мен нейтронның массасы шамалас болғандықтан, бұл әдіс сутек ядроларымен соқтығысқанда нейтрондардың энергиясының жылдам жоғалуына әкеледі.



Энрико Ферми (1901–1954) — итальяндық физик, әлемде алғаш рет ядролық реактор жасақтағаны үшін, ядролық физика, элементар бөлшектер физикасы, кванттық және статистикалық механика дамуына үлесін қосқаны үшін әйгілі. Физикадан нейтрондарды сәулелендірген кезде жаңа элементтердің пайда болуын дәлелдегені үшін және баяу нейтрондармен жүзеге асырылатын ядролық реакцияларды ашқаны үшін Нобель сыйлығының иегері.

Кері жағдайда энергия жұтылады да, реакция *эндотермиялық* түрде өтеді.

Кері жағдайда энергия жұтылады да, реакция *эндотермиялық* сипат алады. Эндотермиялық реакцияның мысалына азотты α -бөлшектермен атқылау жатады (7.4). Мұнда қосымша берілген энергияның бөлігі жаңадан пайда болған ядроның ішкі энергиясына айналады.

5. Жасанды ядролық реакцияларға *ауыр ядролардың бөлінуі* жатады. Бөлінуге уран, плутоний, нептуний секілді ауыр элементтердің ядролары бейім тұрады.

Уранның бөлінуін 1938 жылы неміс ғалымдары О. Хан және Ф. Штрассман жүзеге асырды. 1939 жылы ағылшын физигі О. Фриш пен австриялық физик Л. Мейтнер уран ядросының бөліну механизмін дұрыс түсіндіре білді.

Нейтронды қармаған (қосып алған) кезде ядроның тұрақтылығы бұзылады да, бөліне бастайды. Мұндай тұрақсыздық ауыр ядроның тыныштық массасы

4. Ядролардың табиғи радиоактивті ыдырауларында энергия үнемі бөлініп шығады. Ал жасанды ядролық реакцияларда энергияның бөлінуі де (ондай реакциялар *экзотермиялық* деп аталады), жұтылуы да (ондай реакциялар *эндотермиялық* деп аталады) мүмкін. Реакциялардың қандай түрге жататынын анықтау үшін *ядролық реакцияның энергетикалық шығымы* деген ұғым қолданылады.

Ядролық реакцияның энергетикалық шығымы деп ядролардың және бөлшектердің реакцияға дейінгі және кейінгі энергияларының айырымын айтады.

Егер ядролардың және бөлшектердің реакцияға дейінгі олардың қосынды массаларына эквивалентті жалпы энергиясы реакциядан кейінгі бөлшектердің қосындысы энергиясына қарағанда көбірек болса, онда энергия бөлінеді де, реакция *экзотермиялық*

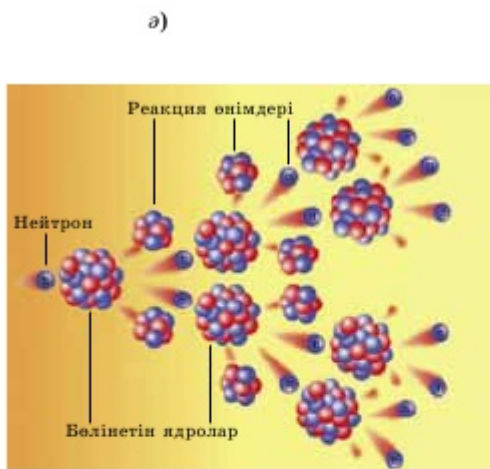
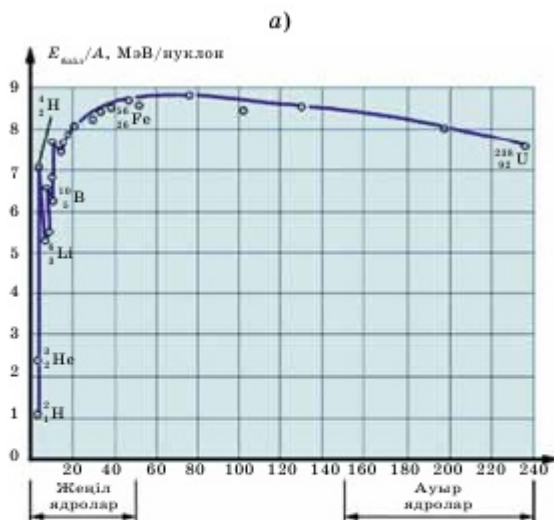
осы ядро бөлінетін бөліктердің қосынды тыныштық массасынан артық болғанда орын алады.

Ядролардың бөлінуін олардың E_6 байланыс энергиясы негізінде түсіндіруге болады. Менделеев кестесінің соңындағы элементтердің **меншікті байланыс энергиясы** орта жағындағы элементтерге қарағанда азырақ (7.2.2, а-сурет). Байланыс энергиясы — нуклондарды ұстап тұратын ядроның потенциалдық энергиясы. Осы энергияның есебінен ядроның құрамындағы жеке бөлшектердің массаларының қосындысы ядроның массасынан артық болып шығады. Мұндағы Δm массалар айырымы ауыр ядроның бөліну реакциясы кезінде масса мен энергияның арасындағы $E_6 = \Delta mc^2$ тәуелділікке сәйкес кинетикалық және сәулелік энергия түрінде босап шығады. Міне, осылайша әрбір ядро ыдыраған сайын 200 МэВ энергия бөлініп отырады. Ал бөлінуден кейін пайда болған жаңа химиялық элементтердің ядроларының байланыс энергиялары бөлінген ядроларға қарағанда 1 МэВ шамасына артады. Бұл жаңадан пайда болған ядролар үшін энергетикалық тұрғыдан пайдалы болып шығады, өйткені олардың орнықтылығы арта түседі.

Меншікті байланыс энергиясы деп бір нуклонға тиесілі ядроның байланыс энергиясын айтады (E_6/A).

7.2.2, а-суретте меншікті байланыс энергиясының ядродағы нуклондар санына (массалық сандарға) тәуелділік графигі көрсетілген.

6. Ядроның бөлінуі кезіндегі шығатын екінші реттік нейтрондар бөлінудің жаңа тізбегін жалғастыруы мүмкін. Мысалы, бірінші ядро бөлінгенде шығатын нейтрон көршілес ядроның ыдырауына әкелуі мүмкін. Өз кезегінде, көршілес ядродан шығатын нейтрон үшінші ядроның бөлінуіне әкеледі де, бұл процесс геометриялық прогрессия түрінде өсіп жалғаса береді (7.2.2, ә-сурет).



7.2.2-сурет. а) Меншікті байланыс энергиясының атомдардың массалық сандарына тәуелділік графигі; ә) Тізбекті ядролық реакция

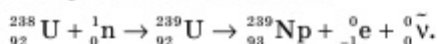
Тізбекті реакция деп реакцияның өз өнімі ретінде бөлініп шығатын нейтрондардың жәрдемімен ауыр ядролардың бөлінуін үзбей жалғастыратын ядролық реакцияны айтады.

Бөлінудің тізбектік реакциясы белгілі бір тізбектегі нейтрондар санының оның алдындағы тізбектегі нейтрондар санының қатынасына тең k нейтрондардың көбею коэффициентімен сипатталады.

Тізбекті реакцияны жүзеге асырудың қажетті шарты көбею коэффициенті бірден үлкен болуы тиіс ($k \geq 1$). Бірақ тізбекті реакцияны басқару үшін нейтрондардың көбею коэффициентін нақты бірлік деңгейде ұстап тұру қажет, өйтпесе жарылыс болуы мүмкін.

Пайда болатын екінші реттік нейтрондардың бәрі ядролардың келесі бөлінуін қоздыра алмайды, сондықтан көбею коэффициентінің азайып кетуі мүмкін. Оған бірнеше себеп бар: біріншіден, k шамасы активті зона өлшемдеріне байланысты өзгеріп отырады (тізбекті реакция өтетін зона); екіншіден, нейтрондардың өтімділік қасиеті үлкен болғандықтан, олардың кейбір бөлігі активті зонадан шығып кетуі мүмкін, үшіншіден, нейтрондардың қалған бөлігі активті зонадағы бөлінбейтін басқа қоспалардың ядроларымен де қармалады (жұтылады). Сонымен қатар бөлінумен бірге радиациялық қармау және серпімді шашырау секілді бәсекелес процестер де орын алады.

Бөлінуді қоздырмайтын ${}^{238}_{92}\text{U}$ уран изотопымен нейтрондарды қармау өте маңызды рөл атқарады. Қармаудан кейін пайда болған ${}^{239}_{92}\text{U}$ изотопының жартылай ыдырау периоды 23 мин-қа тең. ${}^{239}_{92}\text{U}$ изотопының ядросы электронды шығаратын β -ыдырауынан кейін жартылай ыдырау периоды екі күнге тең трансурандық элемент *нептуний* пайда болады:



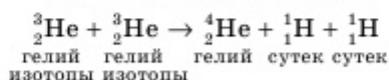
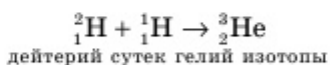
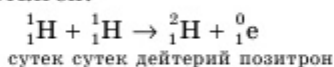
β -ыдыраған нептуний *плутонийге* түрленеді:



Плутоний салыстырмалы түрде тұрақты элемент болып табылады. Оның жартылай ыдырау периоды 24 000 жыл. Оған баяу нейтрондармен әрекет еткен кезде өте мол энергия бөлініп шығады, сондықтан плутоний атом электр станциялары үшін уран-235-пен қоса қажетті ядролық отындар қатарына жатады.

7. Ядролық энергияны босатудың ең тиімді тәсілі сутек, гелий, литий сияқты жеңіл элементтердің ядроларын біріктіру. Шындығында да, 7.2.2, *a*-суреттегі графиктен көрініп тұрғандай, ауыр элементтердің меншікті байланыс энергиясы олардың массалық сандары (нуклондар саны) өскен сайын кеми береді. Ендеше, олардың ядросын біріктіруге қарағанда бөлу оңайға түседі. Ал жеңіл элементтердің меншікті байланыс энергиясы олардың массалық сандары өскен сайын арта береді. Олай болса, жеңіл элементтердің ядроларын бөлуге қарағанда бір-біріне біріктіру оңайырақ. Нақ осындай жеңіл элементтердің ядроларын біріктіру кезінде бөлініп шығатын орасан мол энергия — жұлдыздардың, солардың бірі Күннің де энергия көзі. Жеңіл ядролардың бірігуі ондаған миллион градуста жүзеге асады, сондықтан мұндай ядролық реакцияларды *термоядролық реакциялар* деп атайды.

Бірінші рет басқарылмайтын термоядролық реакциялар 1953 жылы Семей полигонында сутек бомбасын жару барысында жүзеге асты. Қазіргі кезде өлем елдерінің ғалымдары, солардың ішінде қазақстандық ғалымдар да «Токамак» термоядролық қондырғысының негізінде басқарылатын термоядролық реакцияларды алу жолының әртүрлі қырларын зерттеу үстінде. Термоядролық синтез кезінде бір нуклонға шаққанда босайтын энергия ауыр ядролық бөліну реакцияларына қарағанда 4 еседей артық. Төменде мысал ретінде кейбір термоядролық реакциялардың түрлері көрсетілген:



Басқарылатын термоядролық энергия мәселесі шешілген жағдайда, адамзаттың энергияға тәуелділігі біржола жойылады. Термоядролық реакциялардың тағы бір тамаша қасиеті – ядролардың синтезі кезінде бөліну реакцияларындағыдай аса зиянды радиоактивті қалдықтар түзілмейді.



Қосымша деректер

Атомның бүкіл массасы ядрода шоғырланған. Оның өлшемі атоммен салыстырғанда өте кішкентай. Егер атомды футбол алаңының өлшеміне дейін арттырса, онда ядроның көлемі бидай дәнінің көлеміндей ғана болады.



Сұрақтар

1. Ядролық реакциялар деп қандай процесті айтады?
2. Ядролық реакциялар қандай түрлерге бөлінеді?
3. Зарядтық және массалық сандардың сақталу заңдары қалай тұжырымдалады? Реакцияларды жазып, мысалдар келтіріңдер.
4. Қандай ядролық реакция тізбекті реакция деп аталады? $k > 1$; $k = 1$; $k < 1$ болғанда ядролық тізбекті реакция қалай өтеді?
5. Термоядролық реакциялар деп қандай реакцияларды айтады? Термоядролық реакциялардың бөліну реакцияларына қарағанда қандай артықшылықтары бар?

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. ${}^7_3\text{Li}$ ядросы протонды жұтып алып, екі α -бөлшекке ыдырайды. Осы бөлшектердің кинетикалық энергияларының қосындысын табыңдар.

Берілгені:

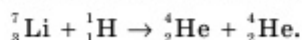


2α – бөлшек

$W(2\alpha) = ?$

Шешуі:

Есеп шартына сәйкес ядролық реакцияны жазайық:



Пайда болған екі гелий ядросының (2α -бөлшектің) $W(2\alpha)$

кинетикалық энергиялары жоғарыда жазылған реакцияның сол жағындағы бөлшектердің қосынды энергиясынан оң жақтағы бөлшектердің қосынды энергиясын алғандағы айырымға тең: $W(2\alpha) = E_1 - E_2$, мұндағы $E_1 = \sum m_1 c^2 = -[m({}^7_3\text{Li}) + m({}^1_1\text{H})]c^2$; $E_2 = \sum m_2 c^2 = [2m({}^4_2\text{He})]c^2$.

Ыңғайлы болу үшін ядро массасының м.а.б. берілген кестелік мәнін аламыз.

$$E_1 = 931 \cdot [m({}^7_3\text{Li}) + m({}^1_1\text{H})] = 931 \cdot [7,01601 + 1,00783] = 7470,19 \text{ МэВ.}$$

$$E_2 = 931 \cdot [2m({}^4_2\text{He})] = 931 \cdot 2 \cdot 4,00260 = 7452,84 \text{ МэВ.}$$

$$W(2\alpha) = E_1 - E_2 = 17,35 \text{ МэВ.}$$

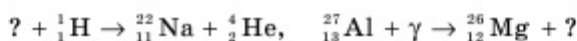
Жауабы: 17,35 МэВ.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

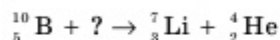
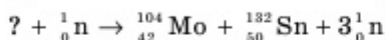
7.2.1. Берілген реакциялардың жетіспейтін бөлігін жазыңдар:



7.2.2. ${}^{25}_{12}\text{Mg}$ ядросымен нейтрон қармалған кезде белгісіз элемент және протон пайда болады. Осы реакцияны жазып, белгісіз элементті анықтаңдар.

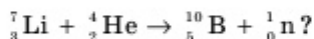
7.2.3. Мыстың ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ изотопын протондармен сәулелендіргенде реакция бірнеше жолдармен жүруі мүмкін: бір нейтрон шығару, екі нейтрон шығару; протон мен нейтрон шығару арқылы. Өр жағдайда қандай элементтің ядросы туындайды? (*Жауабы: ${}^{63}_{30}\text{Zn}$; ${}^{62}_{30}\text{Zn}$; ${}^{62}_{29}\text{Cu}$*)

7.2.4. Ядролық реакциядағы белгісіз элементті анықтаңдар:



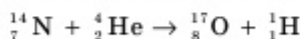
В

7.2.5. Берілген ядролық реакция өту үшін α -бөлшектің минимал энергиясы қандай болу қажет:



(Жауабы: 2,8 МэВ)

7.2.6. Ядролық реакция кезіндегі энергетикалық шығуды анықтаңдар.



(Жауабы: -1,2 МэВ)

§ 7.3

Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері.
Радиациядан қорғану

1. Радиоактивті сәуле адам денсаулығына теріс әсер етеді. Адамда дене температурасының көтерілуінен бастап сәулелік ауру секілді реакциялар болуы мүмкін. Білетініміздей, дене температурасының артуы бүкіл жасушалар үшін өте зиян. Радиоактивті сәулелер сүйек майын, асқорыту жолының жасушаларын зақымдайды.

Сәулеленудің өлімге әкелетін дозасының да ешқандай ауырту сезімін тудырмайтындығы олардың қауіптілігін еселей түседі.

Сәулеленудің зақымдаушы әрекеті атомдардың және молекулалардың иондануына әкеліп, олардың химиялық белсенділігінің өзгеруін тудырады. Сәулелендіру хромосомалардағы гендерге зақым келтіріп, тұқымқуалаушылыққа зор әсер етеді. Көп жағдайда мұндай әсер зардабын тигізеді.

Өртүрлі сәулелердің шығаратын энергиялары да, өтімділік қабілеті де өртүрлі, сондықтан олар тірі ағзаның тіндеріне түрліше әсер етеді. Мысалы, альфа-бөлшектерін қағаз парағымен бөгеуге болатындықтан, ол теріден өте алмайды. Альфа-бөлшектер ашық жарақат арқылы немесе тамақпен, сумен, бумен (мысалы, моншада) ағзаға өтіп кетпесе, іс жүзінде қауіп төндірмейді, ал өтіп кетсе, аса қауіпті. Бета-бөлшектің өтімділік қабілеті өте жоғары: энергиясына байланысты ол теріге бір-екі сантиметрден де көбірек тереңдікке өте алады. Жарық жылдамдығымен тарайтын гамма-сәулеленудің өтімділік қабілеті өте жоғары: оны тек қалың болат немесе бетон тақтасы ғана ұстай алады.

Ағзаға өткен альфа және бета-бөлшектер маңайындағы атомдардың электрондарымен электрлік әрекетке түседі де, өз энергияларын жоғалтады, яғни ағзаның атомына береді. Соның салдарынан ағза атомынан электрон жұлынып шығады.

Электрон теріс зарядты болғандықтан, электронынан айырылған атом оң зарядты бөлшекке айналады. Бұл процесс *иондану* деп аталады. Босап шыққан электрон басқа атомдарды иондай алады.

Еркін электрон және ионданған атом өте қысқа уақыт аралығында реакциялар тізбегіне қатысады. Осының нәтижесінде реакцияға бейім аса қатерлі «бос радикалдар» секілді жаңа молекулалар пайда болады.

Осы радикалдар көптеген реакцияларға қатысып, қысқа уақыт аралығында жасушаның дұрыс жұмыс істеуіне кедергі келтіретін молекулалардың химиялық модификацияларының пайда болуына әкеледі.

Радиоактивті сәуле шығарудың биологиялық әсері *соматикалық* және *генетикалық* болып бөлінеді. Соматикалық эффектілер бақыланатын ағзада көрініс береді, ал генетикалық хромосомаларды зақымдап, ұрпаққа жалғасады. Сәулелендіру әсері бірден біліне қоймайды. Ол бірнеше сағаттан бастап бірнеше айға дейін жалғасады.

Медицинада радиоактивті сәулені қатерлі ісікті емдеу үшін қолданады. Қатерлі ісіктегі тез көбейетін жасушалар сау жасушаларға қарағанда сәулеге өте сезімтал

келеді. Сондықтан ісікті басу үшін рентген сәулелерімен салыстырғанда тиімділігі жоғары радиоактивті препараттардың γ -сәулелерін пайдаланады.

2. Радиоактивті сәуле шығарудың тірі ағзаларға әсер ету деңгейі *сәулелену дозасымен* анықталады.

Сәулеленудің жұтылған дозасы деп иондаушы сәуленің жұтылған E энергиясының сәулелендірілген заттың m массасына қатынасын айтады:

$$D = \frac{E}{m}. \quad (7.4)$$

ХБЖ-де сәуле шығарудың жұтылған дозасын *греймен* белгілейді (қысқаша: Гр). Бір грейге (1 Гр) массасы 1 кг сәулелендірілген затқа иондаушы сәулеленудің 1 Дж жұтылған энергиясы сәйкес келеді:

$$1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}}.$$

Радиацияның табиғи фоны (ғарыштық сәулелер, қоршаған ортаның және адам денесінің радиоактивтілігі) бір адамға бір жылға $2 \cdot 10^{-3}$ Гр сәулелену дозасын құрайды. Радиациялық қорғау бойынша халықаралық комиссия бір жылға сәулеленумен жұмыс істейтін адамдар үшін алуға болатын 0,05 грейге тең шекті дозаны белгіледі. Ал қысқа мерзімде алған 3–10 грейге тең доза өлімге әкеледі.

Практикада сәулеленудің экспозициялық дозасының жүйеден тыс *рентген* (қысқаша: Р) деген бірлігі қолданады. Бұл бірлік рентген және гамма-сәулелерінің иондаушы қабілетінің өлшемі болып табылады. 1 рентгенге тең сәулелену дозасына құрғақ ауаның 1 см³ көлемінде 0°C температурада және сынап бағанасымен 760 мм қысымда әрбірінің қосынды заряды $3 \cdot 10^{-10}$ Кл болатын әр таңбалы иондалған жұптардың саны сәйкес келеді. Мұндай дозада шамамен $2 \cdot 10^9$ иондар жұбы пайда болады. Пайда болатын иондар саны заттың жұтатын энергиясына байланысты өзгереді. Практикалық дозиметрияда 1 рентгенді 0,01 Гр сәулеленудің жұтылған дозасына сәйкес деп есептеуге болады.

Сәулеленудің әсер ету сипаты тек жұтылған сәуленің дозасына ғана емес, оның түріне де тәуелді. Сәулелену түрлерінің биологиялық әсерлерінің әртүрлілігі *k* сапа коэффициентімен байланыстырылады. Бірлік үшін рентген және гамма-сәулеленудің сапа коэффициенті алынады.

Альфа-бөлшектер сапа коэффициентінің ең үлкен мәніне ие ($k = 20$). α -бөлшектер аса қауіпті, себебі олар тірі жасушаларда ең көп қиратулар туғызады.

Тірі ағзаларға сәуле әсерін бағалау үшін арнайы шама *жұтылған сәуленің эквивалентті дозасы* енгізіледі. Оны жұтылған сәулелену дозасын сапа коэффициентіне көбейту арқылы табады:

$$H = D \cdot k. \quad (7.5)$$

Эквивалентті доза бірлігі – *зиверт* (Зв). 1 Зв – жұтылған гамма-сәулесінің мөлшері 1 Гр-ге тең болатын эквивалентті доза.

Ағзаның бұзылуына, жасушалардың қалыпты бөлінуін өзгертуге, сөйтіп қатерлі ісік жасушаларын көбейтуге әкелетін *эквивалентті дозаның максимал мәні* 0,5 Зв.

Табиғи радиациялық фон (космостық сәулелер, жер қыртысының радиоактивті изотоптары) арқылы жұтылған сәулеленулердің эквивалентті дозасы *жылына 2 мзв-дан* аспауы керек.

3. Ағзаларды сәулеленуден қорғау. Кез келген радиация көзімен жұмыс істегенде (радиоактивті изотоптар, реакторлар және т.б.) сәулеленудің әсер ету зонасында болуы мүмкін барлық адамдарды радиациялық қорғау үшін белгілі шараларды қолдану қажет.

Қорғанудың ең қарапайым әдісі – адамды сәуле шығару көзінен жеткілікті үлкен қашықтыққа алшақтату. Ауада жұтылуды ескермей-ақ, радиацияның қарқындылығы сәуле шығару көзінен қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді. Сондықтан да радиоактивті препараттары бар ампулаларды қолмен ұстауға болмайды. Ол үшін арнайы ұзын сабы бар қысқашты қолдану қажет.

Сәуле шығару көзінен үлкен қашықтыққа алшақтау мүмкін болмаған жағдайда сәулеленуді жұтатын материалдардан жасалған қалқаларды, қабырғаларды қолданады.

Өтімділік қабілеттері үлкен болғандықтан, γ -сәулелерден және нейтрондардан қорғану өте қиын, γ -сәулелерді ең жақсы жұтатын материал – қорғасын. Баюу нейтрондар судағы борда және кадмийде жақсы жұтылады. Шапшаң нейтрондарды алдын ала графит арқылы баяулатады.

Үлкен қатер туғызатын радиоактивті қалдықтарға ядролық технологияларды электр энергиясын өндіру үшін қолданғанда, АЭС-тар мен өнеркәсіптегі, ауылшаруашылығы мен медицинадағы пайдалы қарекеттер үшін пайдаланғанда туындайтын қосалқы өнімдері жатады. Радиоактивті қалдықтардан қорғану үшін арнайы іс-шаралар жүзеге асырылады.

Бірінші кезеңде радиоактивті материалдардың сипаттамалары анықталады. Бұл кезең *сипаттаушы* деп аталады. Қатерлі материалдардың бар немесе жоқ екенін тағайындау үшін радиографиялық және басқа да томографиялық әдістер қолданылады (7.3.1-сурет).

Алдын ала өңдеу кезеңінде материалдарды өңдеуге дайындайды. Мұнда олар өңдеуді немесе қалдықтарды көмуді жеңілдету үшін іріктеліп ұсақталады, олардың өлшемдері кішірейтіледі немесе ұнтақталады (7.3.2-сурет). *Дезактивация әдістері* жәрдемімен өңдеуді қажет ететін қалдықтар көлемі азайтылады.

Өңдеу кезеңінде қалдықтардың көлемі азайып, олардан радионуклидтер алынып тасталады, кейбір жағдайда олардың физикалық және химиялық құрамы да өзгертіледі. Сұйық және қатты қалдықтарды өңдеудің жеке технологиялары бар.

Кондиционерлеу кезеңінде радиоактивті материалдарды тасымалдау, сақтау және көму үшін қауіпсіз түрге



7.3.1-сурет. Радиоактивті материалды анықтау



7.3.2-сурет. Радиоактивті материалдарды дезактивациялау



7.3.3-сурет. Радиоактивті қалдықтарды сақтау

келтіреді (7.3.3-сурет). Көп жағдайда оларды цемент, битум немесе шыныға салып сақтайды. Бұл әдіс көмілген қалдықтардың қоршаған ортаға радионуклидтерді шығару процесін баяулатады.

Өңделмеген және өңделген қалдықтар қауіпсіз және қорғалатын жерде сақталып, қажет жағдайда алынатын болады. Сақтау мерзіміне қойылатын талаптар әртүрлі болып келеді: қысқамерзімді, радиоактивті ыдырау аяқталғанға дейін және ұзақмерзімді, қалдықтарды арнайы көмуге арналған алаңға ауыстырғанға дейін деп көрсетіледі.

Көмуге қолайлы тәсілді таңдау және оқшаулау мен локализациялаудың қажетті деңгейін қамтамасыз ету шаралары қалдықтардың қасиеттеріне және олардың радиоактивті мерзімінің ұзақтығына тәуелділігі бойынша анықталады. Көрсетілген алаңда көмілген жағдайда радиоактивті қалдықтың да, осы алаңның да қауіпсіздігі қатаң дәлелденіп бағалануы қажет. Мысалы, осындай талаптарға жауап беретін активтілігі төмен қалдықтарды көметін алаң Францияның солтүстігінде (Норманияда) бар.



Қосымша деректер

Барлық органикалық қосылыстар, барлық өсімдіктер, барлық жануарлар – міне, осылардың бәрі де радиоактивті объект болып табылады; өйткені олардың бойында үнемі толығып отыратын көміртектің радиоактивті C^{14} изотопының белгілі мөлшері бар. Адам да бұл қатардан қалыс қалмайды. Барлық адамдар да, солардың ішінде сіз бен біз де радиоактивтіміз!

«Тірі» ағзаның әр грамы негізінен ондағы радиоактивті C^{14} изотопының салдарынан әрбір минут сайын 15 ыдырауды бастан кешіреді. *Сцинтилляциялық санағышпен* өлшенген адамның «толық» радиоактивтілігі *200 000 ыдырау/мин* шамасын құрайды. Осылайша, өсіп тұрған ағаштың да немесе тірі жануардың да радиоактивтілігін өлшеуге болады. Егер ағаш кесілсе немесе жануар өлсе, олардың бойындағы C^{14} изотопы ыдырауын жалғастыра береді. Көміртектің осы радиоактивті изотопының жартылай ыдырау периоды 5700 жыл; ендеше өлі денедегі C^{14} изотопының мөлшері осыншама жыл өткен сайын екі есеге кеміп отырады. Міне, осы құбылысқа негізделіп, археологиялық қазбалардан табылған объектілердің (мысалы, «Алтын адамның» немесе мамонттың) өмір сүрген уақыты мен жас шамасы үлкен дәлдікпен анықтайтын *радиокоміртекті әдісті* америкалық ғалым Либби 1948 жылы ойлап тапты. Осы әдісті ойлап тауып, талдамалап жасағаны үшін оған физика саласы бойынша 1960 жылы Нобель сыйлығы тапсырылды.



Сұрақтар

1. Радиоактивті сәуле әсер еткен кезде адамда қандай реакциялар пайда болуы мүмкін?
2. Радиоактивті сәулелену қай жерде қолданылады?
3. Сәулеленудің жутылған дозасы дегеніміз не?
4. Адам ағзасы үшін сәулеленудің шекті қауіпсіз нормалары қандай?
5. Радиациядан қалай қорғануға болады?
6. Радиоактивті материалдармен жұмыс істеген кезде және радиоактивті қалдықтарды сақтауда қандай қауіпсіздік шаралары қолданылады?



Тапсырма (практикалық зерттеу)

Радиоактивті препарат шығаратын α -бөлшектер не себепті ауыр элементтерде ядролық реакция тудыра алмайды?

§ 7.4

Ядролық реактор. Ядролық энергетика

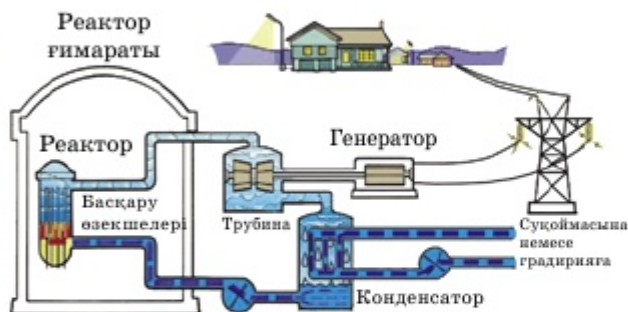
1. Ядролық энергетикада бөлінудің тізбекті реакциясын жүзеге асыру ғана емес, оны басқару да үлкен мәнге ие болып отыр. Басқарылатын ядролық реакциялар *реакторларда* жүзеге асырылады.

Ядроның басқарылатын тізбекті бөліну реакциясын жүзеге асыратын қондырғылар ядролық реакторлар деп аталады.

Әлемдегі ең бірінші реакторды іске қосу Э. Ферми басшылығымен АҚШ-та Чикаго университетінде (1942), Еуропа мен Азияда бірінші рет И.В. Курчатов басшылығымен КСРО-да, Мәскеуде (1946) жүзеге асты.

Реактор жұмысын түсіндіру үшін оның құрылымын қарастырайық. Кез келген реактор бірнеше бөліктерден тұрады: *ядролық отын мен баяулатқыш* орналасқан *активті аймақ*, *нейтрондарды шағылдырғыш*, *жылутасығыш*, *басқару және қорғаныс жүйесі*.

Активті аймақта нейтрондарды баяулатқыш пен жылутасығыш элементтер (ЖШЭ) орналасқан. ЖШЭ-лер ядролық отынмен (уранмен) толтырылған түтіктер болып табылады. Активті аймақ нейтрондарды шағылдыратын капсуланың ішінде орнатылады. Бұл аймақ жылутасығыш ретінде қолданылатын сумен толтырылған (судың орнына кейде «ауыр су» немесе сұйық графит пайдаланылады). Активті аймақта радиоактивтіліктің деңгейі жоғары болғандықтан, ол сенімді радиациялық қорғану қабатымен қапталды. Басқару және қорғау жүйесі нейтрондарды жақсы жұтатын кадмий және бордан жасалған өзекшелерден тұрады. Өзекшелерді активті аймаққа енгізу арқылы ядролық реакцияны тоқтатуға немесе одан шығару арқылы қайыра тұтатуға болады. 7.4.1-суретте реактордың қатысуымен атом энергиясын өндіретін қондырғылардың сұлбасы көрсетілген.



7.4.1-сурет. а) Ядролық реактор; ә) АЭС-тің жұмыс істеу сұлбасы

Реактордың активті жұмыс аймағынан нейтрондарды жұтатын өзекшелерді шығарғанда ол іске қосылады. Тізбекті реакция кезінде үлкен жылулық энергия бөлініп шығады да, реактордың активті аймағындағы суды ЖШЭ-лерде бөлінген

жылу энергиясы 320 градусқа дейін қыздырады. Қызған су бірінші контурдағы бу генераторының жылуалмасу құбырларының ішінен өтіп, екінші контурдағы суға онымен жанаспай өз жылуын береді де, қайтадан активті аймаққа оралады. Активті аймақтан өткен радиоактивті судың екінші контурдағы сумен араласпауы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

Бірінші контурдан кейінгі процестердің барлығы кәдімгі жылу электр станциясындағыдай өтеді, яғни екінші контурдың суы бұға айналады. Ол бу өте үлкен жылдамдықпен турбинаны айналдырады да, турбина электргенераторды іске қосады. Одан электр тогы өндіріледі.

2. Нейтрондардың k көбею коэффициенті бөлінетін изотоптың табиғатына тәуелді өзгереді, ал берілген изотоп үшін оның мөлшеріне, активті аймақтың өлшемдері мен пішініне тәуелді болады.

Тізбекті ядролық реакцияны жүзеге асыратын реактордың активті аймағының минимал өлшемдері критикалық өлшемдер деп аталады.

Тізбекті реакция жүзеге асатын бөлінетін заттың минимал массасы критикалық масса деп аталады.

Өзекшелер активті аймақтан шығарылғанда ($k > 1$) ядролық реакциялар жүре бастайды, енгізілген кезде ($k < 1$) тоқтайды. Тізбекті реакцияны осылайша басқару автоматтандырылған процесс болып табылады.

3. Ядролық реакторларды жасақтау ядролық энергияның өндірістік қолдануына әкелді. Ядролық (атомдық) энергия деп ядролық түрлендірулер барысында босайтын атом ядросының ішкі энергиясын айтады.

Ядролық энергияның басқарылмайтын бөлінуі атом бомбасын жарған кезде орын алады. Ядролық энергияны ырыққа көндіріп босату ядролық реакторлардың жәрдемімен атом электр станцияларында (АЭС-тарда) жүзеге асырылады. АЭС-тар ядролық отынды (мысалы, уранды) «жағады». Жер қойнауындағы ядролық отынның қорлары органикалық жанғыш зат (көмір, мұнай, газ) қорларынан жүздеген есе артық. Сондықтан ядролық отынды АЭС-тарда қолдану, біріншіден, электр энергиясының құнын төмендетеді, екіншіден, бірнеше жүзжылдықтарға энергетикалық мәселені шешіп, мұнай мен газды химиялық өндірістің құнды шикізаты ретінде қолдануға мүмкіндік береді деп болжам жасалған.

4. Шапшаң нейтрондармен жұмыс істейтін көбейткіш-реакторлардың жасақталуы атомдық энергетиканың дамуына үлкен мүмкіндіктер ашты. Мұндай реакторларда энергияның бөлінуі екінші реттік ядролық отынның пайда болуымен бірге жүреді. Граниттің 1 тоннасында шамамен 3 г $^{238}_{92}\text{U}$ және 12 г $^{232}_{90}\text{Th}$ бар (көбейткіш-реакторларда олар шикізат ретінде қолданылады да, ядролардың түрленуі кезінде екінші ретті, яғни туынды ядролық отындарға айналады). Салыстыру үшін мынадай деректерді келтіре кетейік: адамзат болашақта $5 \cdot 10^8$ МВт энергия тұтынғанда (бұл қазіргіден 100 есе артық) граниттағы уран және торий қорлары 10^9 жылға жетеді. Алайда бұл проблеманы шешудің технологиялық қырлары болашақтың үлесіне тиеді.

ТМД-да қуатты АЭС-тарды жасақтаумен қатар (мысалы, қуаты шамамен 1500 МВт Нововоронеждегі, 1000 МВт-тан 2 реакторы Санкт-Петербургтегі т.с.с.) эксплуатацияға ыңғайлы кіші ядролық энергетика қондырғыларына да

(750 – 1500 кВт) үлкен мән беріле бастады. Мысалы, Ресейде әлемдегі ең бірінші жылжымалы АЭС жасалып, жұмыс істеуде. Бұл шағын АЭС-та жартылай өткізгіштер арқылы жылулық энергияны бірден электр энергиясына айналдыратын «Ромашка» реакторы қолданыс тапты (белсенді аймақта 49 кг $^{235}_{92}\text{U}$ ядролары бөлінеді, реактордың жылулық қуаты 40 кВт, электрлік қуаты 0,8 кВт).

5. Қазақстанда үш ядролық реактор бар. Біреуі Алматыда Ұлттық ядролық орталықта орналасқан. Зерттеуге арналған ВВР-К ядролық реакторы 1967 жылы іске қосылған. Реактор базасында іргелі ядролық-физикалық және материалтану зерттеулері жүргізіледі, реакторішілік сынақтар да орын алады. Сонымен қатар медицина және өндіріс үшін радиоизотоптар даярланды, гамма-көздері де шығарылады, кремнийдің нейтрондық легирленуі және нейтрондық-активациялық талдау жасалады. Басқа екі реактор Шығыс Қазақстанда Курчатовтағы Ұлттық ядролық орталықта орналасқан. Осы жерде халықаралық ЕХРО көрмесі аясында 2017 жылы отандық материалтанушылық Токамак термоядролық реакторы іске қосылды. Токамакта жеңіл элементтердің ядроларын біріктіру (синтездеу) термоядролық реакциясы жүзеге асырылады. Алайда оның энергетикалық шығымдылығы әзірше өте төмен. Ғалымдар басқарылатын термоядролық реакциялардың энергетикалық шығымдылығын арттыратын әртүрлі технологиялық жолдар мен амалдарды іздестіруде. Токамакты іске қосу арқылы біздің республика осындай жоғары технологиялық қондырғылары бар 10 елдің қатарына кірді. Қазақстандық Токамакқа көптеген елдер қызығушылық танытып, бірнеше елмен бірігіп жұмыс істеу туралы келісімшарттарға қол қойылды.



Қосымша деректер

- Қазақстан әлемдегі уран қорлары бойынша Австралиядан (26%) кейін 2-орында тұр (13%). Ал уранды өндіру бойынша ең алдыңғы позицияны алып, әлемге осы альтернативті энергия көзінің 9% -ын қамтамасыз етіп отыр.

- Әлемдегі ең үлкен атом электр станциясының паркі АҚШ-қа тиесілі. Эксплуатацияда жалпы қуаты 100 ГВт энергоблоктар бар. Олар тұтынатын электр энергияның 20% -ын қамтамасыз етеді.

- Атом электр станциясын қолдану бойынша әлемдік көшбасшы болып келетін ел – Франция. Оның энергоблоктары тұтынатын электр энергияның 80% -ын береді. Бірақ олардың жалпы қуаты АҚШ-тағыдан аз – шамамен 70 ГВт.



Сұрақтар

1. Ядролық реактор дегеніміз не? Реактор қандай бөліктерден тұрады?
2. Ядролық реактордың жұмыс істеу принципі қандай? Ядролық реакторды қандай элементтер арқылы басқарады?
3. Критикалық өлшем және критикалық масса дегеніміз не?
4. Көбею коэффициенті: 1) $k > 1$; 2) $k = 1$; 3) $k < 1$ болған жағдайда тізбекті бөліну реакциясының сипаты қандай болады?
5. Атом электр станцияларының артықшылықтары мен кемшіліктері қандай? ТМД мен әлем елдеріндегі осы саладағы жай-күйі қандай?
6. Ядролық реакторлар қандай мақсаттар үшін қолданылады? Қандай энергия ядролық энергия деп аталады? Токамакта қандай ядролық реакция жүзеге асырылады? Қиыншылығы мен болашағы қандай?

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. 1 г уран (${}_{92}^{235}\text{U}$) бөлінгенде қандай энергия алуға болады? Өр бөліну актісінде 200 МэВ энергия шығарылады.

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
${}_{92}^{235}\text{U}$		1 грамм урандағы бөлінетін ядролар санын есептейік:
$W_0 = 200 \text{ МэВ}$	$32 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$	$\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$, осыдан $N = \frac{mN_A}{M} = \frac{0,001 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{235 \cdot 10^{-3}} =$
$m = 1 \text{ г}$	$0,001 \text{ кг}$	$= 2,5 \cdot 10^{21}.$
$W - ?$		

1 грамм уранның атомдарындағы ядролар санын бір бөліну актісінде шығарылатын энергияға көбейтіп, босап шығатын энергияны анықтаймыз:

$$W = W_0 \cdot N = 32 \cdot 10^{-12} \cdot 2,5 \cdot 10^{21} = 80 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Осы энергияны ЭВ-қа ауыстырамыз:

$$\frac{80 \cdot 10^9}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ} = 50 \cdot 10^{28} \text{ эВ} = 5 \cdot 10^{28} \text{ МэВ.}$$

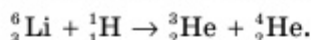
Жауабы: $5 \cdot 10^{28}$ МэВ.



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

7.4.1. Мына реакцияның энергетикалық шығымын табыңдар:



(Жауабы: 4 МэВ)

В

7.4.2. Бір тәулікте массасы 0,1 кг ${}_{92}^{235}\text{U}$ уранды тұтынатын ПЭК 16% станцияның электр қуатын анықтаңдар. Өрбір бөліну актісінде 200 МэВ энергия шығады деп есептеңдер. (Жауабы: 15,13 МВт)

7.4.3. Уранның ${}_{92}^{235}\text{U}$ 1 грамы ыдыраған кездегі энергия мөлшерін алу үшін қанша таскөмір жағу керек? Өрбір бөліну актісінде 200 МэВ энергия шығады деп есептеңдер. Таскөмірдің меншікті жану жылуы 27 МДж/кг. (Жауабы: 3 тонна)

7.4.4. Бір тәулікте 220 г уран ${}_{92}^{235}\text{U}$ тұтынатын және ПЭК 25% станцияның электр қуатын табыңдар. Өрбір бөліну актісінде 200 МэВ энергия шығады деп есептеңдер. (Жауабы: 52 МВт)

7.4.5. Рентген қондырғысымен жұмыс істейтін қызметкердің бір сағатта алған сәулеленудің жұтылған дозасы 7 мкГр. Ол бір жылда 200 күнде 6 сағаттан жұмыс істейді. Егер бір жылғы рұқсат етілген шектік сәулелендіру дозасы 50 мГр болса, онда рентген қондырғысымен жұмыс жасау дозасы қызметкерге қауіпті ме? (Жауабы: қауіпті емес)

VII ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

• **Радиоактивтілік** деп кейбір атомдық ядролардың әртүрлі бөлшектерді шығара отырып, өз бетімен басқа ядроларға түрлену қабілетін айтады.

• **Соддидің ығысу заңы:**

1) **α -ыдырау** кезінде туынды ядро оң $2e$ зарядты жоғалтады да, оның массасы 4 атомдық бірлікке кемиді. Соның нәтижесінде пайда болған жаңа элемент периодты жүйенің басына қарай екі торкөзге ығысады.

2) **β -ыдырау** кезінде ядро өз зарядын бірге арттырады, бірақ массасы өзгермейді. Нәтижесінде элемент периодты жүйенің соңына қарай бір торкөзге ығысады.

• **Гамма-ыдырау** радиоактивтіліктің жеке түрі болып есептелінбейді, тек α - және β -ыдыраулармен бірге қатар жүреді.

• **Жартылай ыдырау периоды** деп атомдардың ядроларының бастапқы санының жартысы ыдырайтын уақытты айтады.

• **Радиоактивті ыдырау заңы** мына формуламен сипатталады:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

мұндағы $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ **ыдырау тұрақтысы** деп аталады.

• **Атомдық ядро – нуклондар** деп аталатын протондардан және нейтрондардан тұратын атомның орталық (центрлік) бөлігі.

• Зарядтық сандары Z бірдей, бірақ массалық сандары A әртүрлі (яғни нейтрондар саны әртүрлі $N = A - Z$) ядролар **изотоптар** деп аталады.

• **Ядролық реакциялар** деп әртүрлі ядролардың бір-бірімен немесе басқа бөлшектермен әрекеттескен кездегі олардың жаңа ядролар мен бөлшектерге түрленуін айтады.

• **Зарядтық және массалық сандардың сақталу заңы:** ядролық реакцияға қатысатын ядролар мен бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысы (және массалық сандарының қосындысы) реакциядан кейінгі өнімдердің (ядролар мен бөлшектердің) зарядтық сандарының қосындысына (және массалық сандарының қосындысына) тең.

• **Меншікті байланыс энергиясы** деп бір нуклонға тиесілі ядроның байланыс энергиясын айтады: $E_{\text{мен}} = E_{\text{бай}}/A$.

• **Ядролық реакцияның энергетикалық шығымы** деп ядролардың және бөлшектердің реакцияға дейінгі және кейінгі энергияларының айырымын айтады.

• **Бөлінудің тізбекті реакциясы** деп реакцияның өз өнімі ретінде бөлініп шығатын нейтрондардың жәрдемімен ауыр ядролардың бөлінуін үзбей жалғастыратын ядролық реакцияны айтады.

• **Ядролық (атомдық) реакторлар** деп ядролардың ішкі энергиясын босатуға әкелетін басқарылатын тізбектік бөліну реакциясын жүзеге асыратын қондырғыларды айтады.

• Иондаушы сәулеленудің жұтылған E энергиясының сәулелендірілген заттың m массасына қатынасы **сәулеленудің жұтылған дозасы** деп аталады:

$$D = \frac{E}{m}.$$

8-тарау

НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:



наноматериалдардың физикалық қасиеттерін және оны алу тәсілдері мен қолданыстарын түсіндіру.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
нанобөлшек	наночастица	nanoparticle
нанотехнология	нанотехнология	nanotechnology
наноматериалдар	наноматериалы	nanomaterials
графен	графен	graphene
нанотүтіктер	нанотрубки	nanotubes
фуллерен	фуллерен	fullerene
микролитография	микролитография	microlithography
нанороботтар	нанороботы	nanorobots
зондтық микроскопия	зондовая микроскопия	probe microscopy
сканерлейтін туннельдік микроскоп	сканирующий туннельный микроскоп	scanning tunneling microscope
атомдық-күштік микроскоп	атомно-силовой микроскоп	atomic-force microscope

Бұл тарауда оқушылар меңгеруге жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «нанобөлшек», «нанотехнология», «наноматериалдар», «графен», «нанотүтіктер», «фуллерен», «микролитография», «нанороботтар», «зондтық микроскопия», «сканерлейтін туннельдік микроскоп», «атомдық-күштік микроскоп».

§ 8.1

Нанотехнология және оның негізгі жетістіктері

1. Ғылым мен техниканың *нанотехнология* деп аталатын саласы таяуда пайда болды. Бұл саланың болашағы таңданарлықтай ұшан-теңіз. «Нано» термині гректің «нанос» (құртымдай) деген сөзінен шыққан, бұл ұзындықтың халықаралық бірлігі – метрдің *нанометр (нм)* деп аталатын миллиардтан бір бөлігін, яғни $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ шамасын құрайды.

Нанометрмен өлшенетін бөлшектерді *«нанобөлшектер»* деп атау қалыптасқан.

Мұндай бөлшектер атомдар мен молекулаларға шамалас келеді. Ғылым мен техниканың нанотехнология деп аталатын саласы өлшемдері 1 нм-ден 100 нм-ге дейін болатын объектілермен жұмыс істейді де, олардан *наноматериалдар* құрастырып шығарады.

Жекелеген атомдар мен молекулалардың деңгейінде жұмыс істеу әдісі мен техникасы нанотехнология деп аталады.

«Нанотехнология» деп кейін аталған алғашқы әдістің шығу тарихын Нобель сыйлығының лауреаты Ричард Фейнманның 1959 жылы Калифорния технологиялық институтында «Төменде көп орын бар» деп аталған баяндамасымен байланыстырады. Ричард Фейнман жекелеген атомдарды оған сәйкес өлшемі бар тетіктің жәрдемімен механикалық қозғалысқа келтіруге болады, мұндай процесс бүгінгі күнгі белгілі физика заңдарына қайшы келмейді деп пайымдады. Мұндай тетікті жасау үшін Фейнман оның өлшемін бірте-бірте кішірейту тәсілін ұсынады. Кішірейту тәсілі бойынша атомды қажетті қозғалысқа келтіретін алғашқы механизмді құрастыру қажет. Құрастырылған механизм өз өлшемінен 10 есе кіші болатын жаңа нұсқаны жасауға тиіс. Осылайша, жалғастыра отырып, атомның өлшемімен өлшемдес болатын механизмді құрастыруға болады. Мұндай *наномеханизмдер (нанороботтар)* жекелеген атомдардан макрозаттарды да жасай алады. Олар қажетті мөлшерде молекулалармен, энергиямен және керекті заттарды құрастыруға арналған компьютерлік бағдарламалармен қамтамасыз етілген жағдайда, қалаған өнімдерді шығаруға мүмкіндік береді.

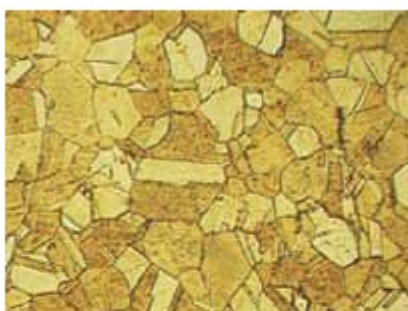
«Нанотехнология» терминін бірінші рет жапон профессоры Норио Танигути 1974 жылы Токиода өткен халықаралық конференцияда «Нанотехнологияның негізгі принциптері» деген баяндамасында енгізді.

2. Нанобөлшектер мен нанокристаллиттерден (дәнектерден) құрастырылған әртүрлі нәрселер наноматериалдар деп аталады.

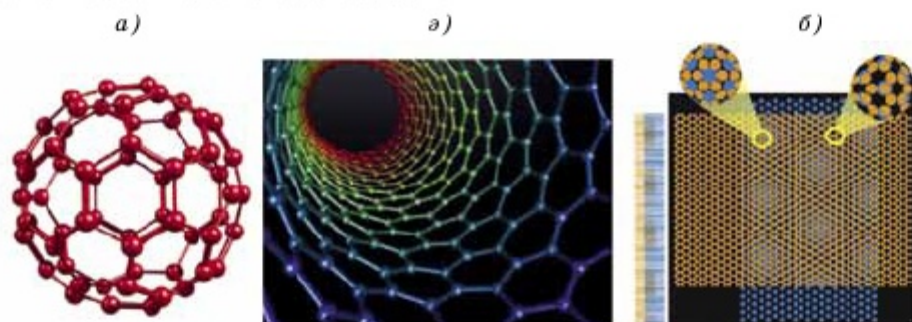
Біз 8-сынып оқулығында броундық қозғалыс пен диффузиялық құбылыстарды қарастыра отырып, бірінші рет кристалдық денелердің *дәнек* деп аталатын микрокристаллиттерден тұратынын айтқан едік. Поликристалдық денелер әртүрлі бағытала орналасқан дәнектерден (8.1.1-сурет) тұрады, ал монокристалдық дене бір бағытқа ғана бағытталған ірі біртұтас дәнек болып табылады.

Наноматериалдар *дәнектерінің өлшемдері* бойынша да, *кристалдық торларының құрылымы* бойынша да жіктеледі.

Өлшемдері бойынша негізгі нанокристалдық материалдардың түрлеріне мыналар жатады: нөлөлшемді (0D) *нанокластерлер*, мысалы, *фуллерен* молекуласы (8.1.2, а-сурет), мұндай кластерлерден әртүрлі өлшемді наноматериалдар жасайды; бірөлшемді (1D) *талшықты материалдар*, мысалы, *нанотүтіктер* (8.1.2, ә-сурет); екіөлшемді (2D) *жарғақтар мен көпқыртысты материалдар*, мысалы, *бірқыртысты және көпқыртысты графендер* (8.1.2, б-сурет); үшөлшемді (3D) *поликристалдық материалдар*, мысалы, *поликристалдық мыс* (8.1.1-сурет), оның дәнегінің үш бағытта да салыстырарлық өлшемдері болады.



8.1.1-сурет. Көпдәнекті поликристалдық мыс



8.1.2-сурет. Наноэлементтер және материалдар: а) фуллереннің молекуласы; ә) нанотүтік (тор түйіндерінде фуллерен молекулалары орналасқан); б) көпқыртысты наноматериал (графендерден тұрады)

Фуллерен – тұрақты молекула, оның футбол добына ұқсас сфералық бетіндегі 5 және 6 бұрышты көпбұрыштардың түйіндерінде көміртектің 60 атомы (кейде одан да көп) орналасқан.

Нанотүтіктер – созылыңқы цилиндрлік құрылым, ол түтікше түрінде оралған бір немесе бірнеше қабатты графендерден тұрады; оның диаметрі бір нанометрден ондаған нанометрге дейін жетеді де, ұзындығы бірнеше сантиметрді құрайды.

Графен – көміртек атомдарының моноқыртысы, яғни көміртек атомдарының бірқыртысты наноjarғағы, ол 2004 жылдың қазанында Манчестер университетінде алынды.

Фуллерен мен нанотүтіктің және графеннің жиынтықтарын *наноэлементтер* деп атайды.

Заттар мен материалдарды олардың бойындағы бөлшектердің (дәнектердің) өлшемі мен әр бөлшекке (дәнекке) келетін атомдардың саны бойынша шартты жіктеу төмендегі кестеде көрсетілген.

Заттар мен материалдарды бөлшектерінің (дәнектерінің) өлшемі мен атомдарының саны бойынша шартты жіктеу

Наноэлементтер және материалдар	Бөлшектердің (дәнектердің) өлшемдері, пм, нм	Бөлшектегі (дәнектегі) атомдар саны
Атомдар және екі-үш атомды молекулалар	50–70 пм	1–3
Молекулалық кластерлер (фуллерендер т. б. молекулалар)	70 пм–1 нм	4–70
Икосаэдрикалық металл кластерлері	1–7 нм	70 – 1500
Нанокристалдық материалдар	7–70 нм	$1500 - 1 \cdot 10^7$
Субмикрокристалдық материалдар	70–500 нм	$1 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^9$
Ірі дәнекті материалдар	500 нм-ден жоғары	$1 \cdot 10^9$ -дан көп

3. *Материалдардың қасиеттері үш жағдайда сапалы өзгерістерге ұшырайтыны теория мен практикадан белгілі болды. Біріншіден*, біз 7-сынып физикасында қатты кристалл денелердің құрылымын зерделей отырып, заттың *кристалдық торының формасына (пішініне)* қарай оның қасиеттерінің мүлдем түрліше болатынына көз жеткіздік. Шынында да, әртүрлі үш дене: көмір (*графит*), фуллерен және алмас бір ғана зат – көміртек атомдарынан тұрады. Алайда олардың кристалдық торлары әртүрлі болғандықтан, қасиеттері де бір-біріне мүлдем ұқсамайды. *Екіншіден*, заттың қасиеттері оның кристалдық торларының пішіндеріне ғана емес, *құрылымдық элементтерінің (бөлшектерінің, дәнектерінің) өлшемдерінің шамаларына* да тәуелді болатыны анықталды. *Үшіншіден*, заттардың молекулалық кластерлеріне енгізілген *бөтен химиялық элементтердің қоспа атомдары* да көдімгі материалдар сияқты наноматериалдардың да қасиеттерін күрт өзгертеді. Расында да, темірдегі қоспа атомдардың тегі мен мөлшерлеріне қарай қасиеттері сапалы өзгерістерге ұшыраған әртүрлі материалдарды, мысалы: *шым болатты, брондалған құйманы немесе шойынды* алуға болады.

4. Соңғы онжылдықтарда *дәнектері өте кіші кристалл денелер мен наноөлшемді үгінділер мен ұнтақтарды* зерттеуге деген құлшыныс арта түсті. Өйткені, жоғарыда айтқанымыздай, денелердің (әсіресе металдардың 8.1.1-сурет) құрылымдық элементтерінің (бөлшектерінің, дәнектерінің) өлшемдерін белгілі бір шекті шамадан кішірейткенде олардың қасиеттерінің едәуір өзгеретіні байқалды. Нақтырақ айтар болсақ, кристалдық дәнектердің орташа өлшемі 100 нм-ден кемігенде материалдардың қасиеттерінің өзгеретіні байқала бастайды, ал дәнектің өлшемі 10 нм-ден де кем болғанда өзгеріс айқын орын алады.

Наноөлшемді осындай материалдардың жаңадан ашылған қасиеттері күнделікті өмірімізде де қарқынды қолданыс табуда. Мысалы, медицинада мөлшері тым аз болса да антисептикалық қасиеті бірнеше есе күшейтілген күмістің наноұнтағы қолданыс тапты. Титан диоксидінің нанобөлшектері кір заттарды өз бетіне жолатпайды, сондықтан өмірде де, өндіріс орындарында да нәрселердің беттерін өздігінен тазартып тұруға мүмкіндік туғызды. Алюминийдің наноұнтағы зымырандардың қатты отындарының жануын еселеп үдетеді де, олардың қуаттылығын да еселеп арттырады. Бойында нанобөлшектері бар жаңа литийлі-ионды аккумуляторларды зарядтауға қазіргідей бірнеше сағаттарға созылған уақыттың орнына бір-екі ғана минут кетеді. Мұндай тез зарядталатын аккумуляторлар экологиялық таза көлік түрлерін, мысалы, электромобильдердің қарыштап даму болашағына даңғыл жол ашты.

Өсіресе жеп-жеңіл көміртекті нанотүтіктер ғалымдарды 1991 жылдан бастап қызықтыра түсуде. Өйткені басқа да химиялық элементтердің атомдарының қоспасы бар кейбір көміртекті нанотүтіктердің беріктігі болатын беріктігінен де 60 есе асып түсетіні, 2500 градустық қыздыруға және мыңдаған атмосфералық қысымға шыдайтыны анықталды. Бұндай беріктік олардан жасалған бұйымдарға да тән. Электроникада осындай қасиеттері бар нанотүтіктер тамаша өткізгіштер ретінде де, шалаөткізгіштер ретінде де қолданыла алады.

Ғалымдардың пайымдауы бойынша нанотехнология мен наноматериалдардың соңғы жетістіктері *обыр ауруларымен күресте* айтарлықтай нәтижелі болмақ. Қатерлі ісікке шалдыққан жасушаларға нанороботтармен тікелей мақсатты жерге жеткізілетін обырға қарсы қолданатын дәрілер жасақталды. Дәріні «мекеніне» тура жеткізетін жаңа жүйе **биосиликон** деген атаумен белгілі наноматериалға негізделген. Мұндай силикон диаметрі он атомдай болатын кеуек құрылым болып табылады да, оның қуыстарына дәрі-дәрмектер мен радионуклидтер енгізіледі. Мақсатты жеріне жеткізілген биосиликон ыдырай бастайды да, оның қуыстарындағы дәрілер өз жұмыстарына кіріседі.

Нанотехнология басқа да озық технологиялармен кіріктіріле отырып, тіпті ғылыми-техникалық өркениеттен алшақ саналатын музыка, әдебиет, балет, театр, сәулет өнері сияқты салаларда да нағыз ғажайыптар туғызуы мүмкін. Мысалы, 2001 жылы жапон ғалымдары озық лазерлік технологияларды қолдана отырып, әлемдегі ең кішкентай скульптура жасап шығарды. Ол жойқын шабуыл жасау үшін шұғыл бұрыла бастап, аласұра ұмтылған бұқаның кескінін бейнелейді. «Микробұқаның» өлшемдері таңырқарлықтай: ұзындығы 10 мкм, биіктігі 7 мкм, яғни адам қанындағы қызыл түйіршіктердің өлшемдерінен аспайды. Оны тек аса қуатты микроскоппен ғана көруге болады.

5. Нанотехнология мен наноматериалдардың арқасында ғарыштық зерттеулердің де көкжиегі кеңейе түсті. Мысалы, нанотехнология мен наноматериалдар кез келген аспаптардың, солардың ішінде ғарышқа шығаратындардың да массасы мен аумағын екі ретке (100 есеге) дейін кемітуге мүмкіндік береді. Мысалы, кәдімгі никельге қарағанда наноникельдің беріктігі 6 есе жоғары, мұндай никельді зымыран қозғалтқыштарында қолданғанда олардың соплоларының массасын ондаған пайызға төмендетеді. Ғарыш техникасының массасын азайту көптеген мәселелерді шешеді: аппараттың ғарышта болу мерзімін ұзартады, оған алысқа ұшуға және зерттеулер жүргізу үшін әртүрлі пайдалы құрал-саймандарды көбірек алуға мүмкіндік береді.

Екіөлшемді наножарғақтан жасалған жеңіл айналарды қолдану жоғары жиілікті аса өткір рентгендік сәулелерден жақсы қорғайды, өйткені мұндай айналар іс жүзінде рентген сәулелерін толығымен шағылдырады, ал басқа материалдар оларды өткізіп жібереді. Мұндай наноайналарды рентгендік телескоптарда қолдану, бір жағынан, ғарыштан келетін энергиясы 35 кэВ-ке дейінгі рентген сәулелерін шағылдыруға және фокустауға, екінші жағынан, аса алыстағы көздерден өлсіреп жеткен сигналдарды күшейтуге мүмкіндік береді. Мұндай айналардың қысқа толқынды сәулелерді шағылдыруы айна қабатының қалыңдығы рентген сәулелерінің толқын ұзындығымен өлшемдес болуы арқылы түсіндіріледі.

Наножарғақ айналарды рентгендік телескоптарда қолдану Ғаламның терең қойнауына, жекелеп алғанда Біздің Галактиканың центріне үңілуге мүмкіндік берді. Расында да, оптикалық телескоптар тым алыс ғарыштық объектілердің сигналдарын қабылдай алмайды, өйткені жарықтың көрінерлік спектрлерінің электрмагниттік толқындары галактикааралық және жұлдызаралық газ бұлттарында жұтылады. Ал өздерімен бірге мол ақпаратты таситын рентгендік сәулелердің электрмагниттік толқындары галактикааралық тұмандықтарда жұтылмай, Ғаламдағы жолын жалғастыра береді. Мысалы, таяуда «Чандра» рентгендік телескопы Біздің Галактиканың қойнауынан 26 жарық жылына тең жол жүріп келген ақпаратты тіркеді. Бұл ақпараттар Галактиканың центрінде жұлдыздардың сығылуы немесе кеңеюі, бір жұлдыздың екіншісін жұтып қоюы сияқты таңғажайып құбылыстардың орын алатынын көрсетті. Галактиканың орталық бөлігінен рентген сәулелерін шығаратын 1000-нан аса объектілер тіркелді, олардың ішінде *қара құрдымдар*, *ақ ергежейлілер* мен *нейтрондық жұлдыздар* да бар. Жаңадан көзге түскен объектілердің ішінен тек 20-сы ғана бұрыннан белгілі болатын. Міне, осындай жетістіктердің барлығына *нанотехнология* мен *наноматериалдарды* қолданудың арқасында қол жеткізілді.



Сұрақтар

1. Нанотехнологияның қысқаша анықтамасы қандай, оның мән-мағынасын қалай түсінесіңдер? Нанотехнологияның дамуына кімдердің еңбектері түрткі болды?
2. Қандай материалдарды наноматериалдар деп атайды? Олар қандай белгілері бойынша жіктеледі және қалай аталады?
3. Қандай объект фуллерен, нанотүтік, графен және наноэлементтер деп аталады?
4. Қандай жағдайларда материалдардың қасиеттері сапалы өзгерістерге ұшырайды?
5. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері қандай? Олар өмірдің қай салаларында қолданыс таба бастады?
6. Нанотехнология мен наноматериалдар ғарыштық зерттеулерге қандай үлес қосуда?



§ 8.2

Наноматериалдарды алу тәсілдері және даму перспективасы

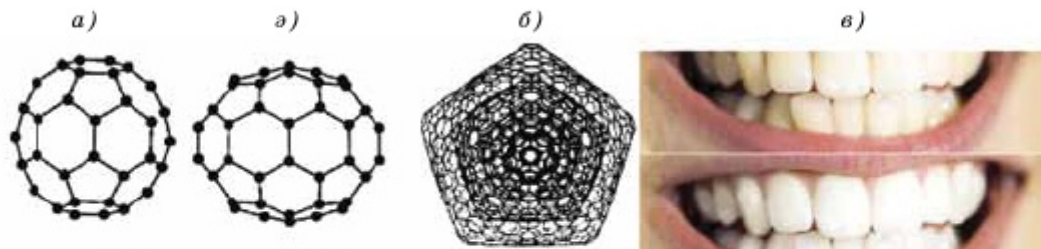
1. Наноматериалдарды алудың әртүрлі әдіс-тәсілдері бар. Ғылыми әдебиеттерде бұл әдістерді екі топқа бөледі: бірінші топқа наноұнтақтарды алу үшін қолданылатын әдістер, ал екінші топқа жинақы жазық және көлемді материал-

дарды алатын әдістер жатады. Қазіргі таңда өндірістік мақсатта тек *микролитография* әдісі ғана электроникада қолданылады; бұл әдіспен матрица бетінде өлшемдері 50 нм-ге дейін болатын бедерлі жазық объектілер салынады. Басқа әдіс-тәсілдер өзінше тек ғылыми мақсаттар үшін ғана қызмет етеді. Мысалы, үшөлшемді бөлшектер *өткізгіштердегі жарылыс, плазмалық синтез, жұқа жарғақтарды қақтау* әдістерімен; екіөлшемді объектілер (графендер мен жарғақтар) *молекулалық-иондық қаптамалау* әдісімен; бірөлшемді наноцилиндрлік объектілер (нанотүтіктер) *молекулалық қаптамалау, заттарды цилиндрдің микрокеуектеріне енгізу* тәсілдерімен алынады.

Иондық және молекулалық қаптамалау тәсілдерінің болашағы зор саналады, өйткені олардың жәрдемімен шынайы моноқыртыстарды алу мүмкіндігі туды. Сондай-ақ нөлөлшемді фуллерен молекулаларын және олардың негізінде құрастырылатын бір, екі және үшөлшемді наноматериалдарды алуда графит электродтарының арасында пайда болатын *плазмадағы электр разряды* әдістері кең қолданыс таба бастады.

2. Фуллерен молекулалары кластерлерінің мысалында наноматериалдарды алу тәсілдеріне қарай олардың қасиеттерінің қалай өзгеретінін қарастырайық. Наноқұрылымды молекулалық кластерлер ішінде көміртектің графит пен алмасқа мүлде ұқсамайтын жаңа құрылымы – **фуллерен** айрықша орын алады. Фуллерендерді ашқаны үшін Р. Кёрл, Х. Крото және Р. Смолли 1996 жылы химия саласы бойынша Нобель сыйлығын алды.

Көміртекті молекулаларды қысымы 10^4 Па болатын гелий атмосферасында графиттен жасалған электродтарды электр доғасы арқылы тозаңдату әдісімен алады. Фуллерен C_{60} молекуласы (8.2.1, а-сурет) көміртектің 60 атомынан құралады, атомдар іші қуыс сфера бетіндегі 5 және 6 бұрышты көпбұрыштардың түйіндерінде орналасады. Құрылымы осындай шатырды (куполды) америкалық сәулетші Бакминстер Фуллер Монреалдағы ЭКСПО-67 көрмесінде АҚШ павильонын салуда қолданған болатын. Көміртек молекуласының жаңа құрылымы Фуллер ұсынған құрылымға ұқсас болғандықтан, сәулетшінің құрметіне *фуллерен* деп аталды.



8.2.1-сурет: а – б) фуллерендер және фуллеренге ұқсас молекулалар; в) «ақылды» наножарғақ тісті тазалайды әрі қорғайды

Екі көмір электродтарының арасында электр доғасы жанғанда қара құрым пайда болып, салқын бетке шөгеді. Шөгінді құрымды жинап алып, толуолда немесе бензолда қайнатып суалтады. Ерітінді суалғаннан кейін оның түбінде қалған қорытқының (конденсаттың) 10 – 15% -ға жуығы көміртектің 60 атомынан тұратын C_{60} фуллерен молекулаларынан және көміртектің 70 атомынан тұратын фуллерен

C_{70} молекулаларынан тұрады. Фуллерендердің C_{60} бірінші молекуласының пішіні футбол добына (8.2.1, *a*-сурет), ал C_{70} екінші молекуласының пішіні бейсбол добына (8.2.1, *ә*-сурет) ұқсайды. Фуллерендерге ұқсас молекулалардың басқа да құрылымдары бар (8.2.1, *б*-сурет).

Фуллерендер арасында ең басты орынды C_{60} молекуласы алады, өйткені ол жоғары симметриялығымен және одан туындайтын тұрақтылығымен ерекшеленеді. C_{60} молекуласының диаметрі 0,7 нм-ге жуық. Ол ерітіндіден немесе газ фазасынан шөгеріліп кристалданғанда оның молекулалары жақтарына центрленген кристалл (ЖЦК) түзеді. Осындай C_{60} фуллерендерден құралған қатты денені *фуллерит* деп атайды.

Фуллериттер ғажайып қасиеттерге ие. Мысалы, кристалдық фуллериттер жоғары фотоөтімді шалаөткізгіштер болып табылады. Ал оларды сілтілі металдардың атомдарымен диффузиялық қақтаса, онда олар өткізгішке, тіпті, асқынөткізгішке де 30 К және одан да жоғары температурада айнала алады. Кристалдық фуллерит 20 ГПа қысымда үй температурасында да алмасқа түрленеді, ал 1500 К температураға дейін қыздырғанда алмасқа айналдыру үшін 7 ГПа қысым да жеткілікті болады. Салыстыру үшін келтіре кетейік: кәдімгі графит 30–50 ГПа қысым түсіріп, 900 К температурадан асыра қыздырғанда ғана алмасқа түрлене алады.

3. Жасанды нанообъектілер өздерінің жаңа қасиеттерімен зерттеушілерді таңдандыра отырып, болашақтағы қолданыс аясының да сан-салалы боларын аңғартады. Шынында да, ойға келген көптеген соны идеялар қазірдің өзінде талдамалану кезеңдерінен өтіп, практикалық қолданыс кезеңіне аяқ басуда. Солармен қатар ең керемет деген фантастикалық идеяларды, мысалы, кез келген нәрсені атомдардан құрастырып шығаратын *нанофабрикаларды* салу дәуірінің жақындауы ғалымдардың құлшынысын да, құштарлығын да арттыра түсуде.

Наноматериалдардың осы кезге дейін белгілі болған қасиеттері өмірдің көптеген салаларында қазірдің өзінде қолданыс тауып отыр. Оларға мысал ретінде кейбір деректерді келтіре кетейік.

Тез тазаратын наноматериалдар тұрмыста, сәулет өнерінде, сүт және тамақ өнеркәсібінде, көлік индустриясында, санитарияда қолданыс табады. Осы мақсатта өздігінен тазаратын шыныларды, аурухана жабдықтары мен аспаптарын, тағамдардың өңезденіп бұзылуына қарсы жапқыштарды, жеңіл тазаратын әртүрлі ас және қыш ыдыстарын шығару өндірісі жандану үстінде.

Оптика нанотехнологияның қолданыс аясының бірі ретінде электрохромия және оптикалық шынылар өндірісін қамтиды; бұл салалар бойынша фотохромдық оптика, *тез тазаратын* оптика және *жарықталғыш* оптика сияқты жаңа бағыттар дами бастады.

Наноматериалдарды керамикалық өндірісте қолдану жоғары сапалы таңбалық пасталарды, пигменттерді, наноұнтақтарды, микробөлшектерді, мембраналарды алуға мүмкіншілік берді.

Компьютерлік техника мен электроника нанотехнологияның негізгі қолданыс аясына айналып, аса сезімтал наносенсорлардың, тұрмыстық микрокомпьютерлердің, көзге көрсеткіш құралдардың, энергия түрлендіргіштерінің, сымсыз байланыстардың, кванттық және ДНҚ компьютерлердің дамуына қуатты серпін береді. Нақ осы электроника саласында ХХ ғасырдың 90-жылдарында жекелеген атомдарды қалаған бағытта қозғалту бойынша алғашқы нәтижелер алынды,

тұңғыш жасанды наноэлементтер шығарылып, олардан белгілі бір құрылымдар жинақталды. Ал 2010 жылдан бастап көлемі ондаған гигабайт болатын ақпараттарды «естерінде» сақтайтын наноэлектрондық чиптер (құрылғылар) өндіріле бастады.

Медицина саласында да наноматериалдарды қолдану негізінде «ақылды» протездер (8.2.1, б-сурет) мен аспап-жабдықтар шығару, нанокансулалар мен диагностикалық наноэлектрондық және инплантанттарды даярлау қолға алынды, сондай-ақ бағыттала өрекет етуші фармацевтика өндірісі де дами бастады.

4. Наноматериалдардың даму болашағы мен проблемалары туралы сөз қозғағанда мына негізгі үш бағытқа көңіл аударады: 1) өлшемдері молекула және атомдармен салыстыруға болатын белсенді наноэлементтері бар электрондық сұлбаларды даярлау; 2) атомдар мен молекулаларды бір-бірлеп қозғалта отырып, олардан жаңа материалдарды, объектілер мен құрылғыларды жиыстыру; 3) наномашиналарды, яғни өлшемдері молекулалармен шамалас механизмдер мен роботтарды талдамалап даярлау. Көрсетілген бағыттардың ішіндегі ең басты проблема – наноөнімдерді көптеп шығаратын нанофабрикаларда жұмыс істей алатын «ақылды» *нанороботтар мен наномашиналарды* (ортақ атауы – **наноботтарды**) шығару болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін адамзат мына *үш мәселені шешуге тиіс*:

1) молекулаларды жөндей алатын нанороботтарды талдамалап жобалау және жасау;

2) нанороботтар мен басқа да наномашиналарды басқаратын нанокомпьютерлерді талдамалап жобалау және жасау;

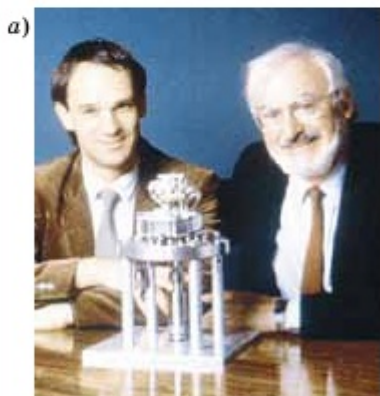
3) адам денесіндегі барлық молекулалардың толық сипаттамасын жасау; осылайша, атомдық деңгейде барлық адам мүшелерінің картасын иелене отырып, олардың ауруға шалдығып бұзыла бастағандарын емдеу немесе айырбастау.

Осындай жұмыстардың барлығын жалықпай атқаратын нағыз еңбекқор «тұлғаның» рөлін «ақылды» наноробот атқаратын болады.

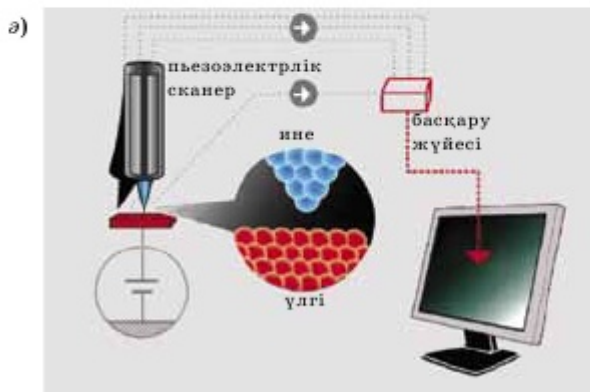
Наноробот деп өлшемдері молекула өлшемдерімен қарайлас наноэлементтерден жасалған роботты атайды, ол атомдарды бір-бірлеп қозғау, молекулаларды өңдеу, ақпаратты жіберу және компьютерлік бағдарламаларды орындау қызметтерін атқарады.

Өз нұсқасын жасауға, яғни өзіндей роботты туғызуға қабілетті нанороботтарды **репликаторлар** дейді. Мұндай **репликаторлар** тағамдарды да өндіре алады, сөйтіп өсімдіктер мен жануарларды бұл жұмыстардан «босатады». Мысалы, аралық бөлік – сиырды жөніне қалдырып, сапалы сүтті бірден атомдардан құрастырылып алынған өсімдіктерден алуға болатынын теория теріске шығармайды. Сөйтіп, келер заманда кез келген нәрселер мен тағамдарды Жерде де, тіпті, алыстағы басқа планеталарда да «ақылды» репликаторлар даярлайтын болады. Міне, осындай «ақылды» наномашиналар мен нанороботтар, Бұқар жыраудың қанатты ойы мен ұшқыр қиялы толғағандай: «Ай нұрын ұстап мініп, жұлдыз аралап жүрсе де, арманға тоймас адамзаттың» өзге планеталарды да «сарыжайлауға» айналдырсақ деген асыл арманын жүзеге асыруға жетелейді. «Ақылды» роботтардың адамдар жайлайтын осындай құрылыстарды Жер шарында да, ғарышта да автоматты құрастыру күндері де алыс емес (сарапшылар мұндай құрылыстарды салуға роботтар 2025 жылдан бастап кіріседі деп болжайды).

5. «Ақылды» молекулалық роботтардың жарқын болашағын ғалымдар мен конструкторлар *сканерлейтін туннельдік және атомдық-күштік микроскоптардың* технологиялық жаңғыртылуларымен байланыстырады. 1980 жылы жасалған *сканерлейтін туннельдік микроскоп* және кейінірек шыққан *атомдық-күштік микроскоп* ғалымдарға атомдарды түстеп бөлуді ғана емес, олардан жаңа құрылымдарды жинауға да мүмкіндік береді. Бұл микроскоптарды жасаушылар Герд Бинниг пен Генрих Рорерге (8.2.2, а-сурет) 1986 жылы Нобель сыйлығы тапсырылды.



8.2.2-сурет. а) Герд Бинниг пен Генрих Рорер және СТМ-нің бірінші моделі



ә) Сканерлейтін туннельдік микроскоп құрылымының сұлбасы

Сканерлейтін туннельдік және атомдық-күштік микроскопияларды біріктіріп *зондтық микроскопия* деп жиі атайды.

Сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ) – бұл нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд (игла) пен ток өткізгіш наноматериал (үлгі) атомдарының арасындағы (8.2.2, ә-сурет) *электрондық тоқтың* шамасын тіркеуге негізделген.

Атомдық-күштік микроскоп (АКМ) – бұл да нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд-игла мен үлгі атомдарының арасындағы *Ван-дер-Ваальстік өзара әрекеттесу күшінің* шамасын тіркеуге негізделген.

Зондтық микроскопия – бұл әртүрлі наноөлшемді зондтардың жәрдемімен зерттелетін беттің локалдық (нүктелік) бөлігіндегі механикалық, электрлік, магниттік және басқа да қасиеттерін анықтайтын әдістер жиынтығы. Зондық микроскопияда зонд (игла) зерттелетін үлгіге бірнеше нанометр ғана болатын арақашықтыққа дейін жақындатылады (8.2.2, ә-сурет).

Тіркелетін сигналдың табиғатына қарай *электрондық-туннельдік микроскопия* (сигнал ретінде тіркелген электрондық тоқтың шамасы алынады) және *атомдық-күштік микроскопия* (сигнал ретінде тіркелген Ван-дер-Ваальс күшінің шамасы алынады) болып бөлінеді. Сканерлейтін туннельдік микроскоп электрөткізгіш беттерді зерттеу үшін, ал атомдық-күштік микроскоп электрөткізгіш беттер үшін де, өткізбейтін беттер үшін де қолданылады.

**Сұрақтар**

1. Наноматериалдарды алу үшін қандай әдістер мен тәсілдер қолданылады?
2. Фуллерендерді алу тәсілдеріне қарай олардың физикалық қасиеттері қалай өзгереді?
3. Наноматериалдар өмірдің қандай өзекті салаларында қолданыс таба бастады?
4. Нанотехнологияны дамытудың өзекті бағыттары қандай? Қандай объектілерді наноробот және репликатор деп атайды?
5. Нанотехнологияның негізгі проблемасын шешуде зондтық микроскопияның рөлі қандай? Сканерлейтін туннельдік және атомдық-күштік микроскоптардың жұмыс істеу принциптері қандай физикалық құбылыстарға негізделеді?

**Тапсырма (теориялық талдау)**

Мына *жобалық тақырыптардың* біріне қысқаша реферат жазыңдар:

- 1) «Наноматериалдардың мені таңдандырған қасиеттері»;
- 2) «Нанотехнология мен наноматериалдардың ең қызықты қырлары».

VIII ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

Нанобөлшек – өлшемдері нанометрмен өлшенетін молекулаларға қарайлас бөлшек.

Нанотехнология – жекелеген атомдар мен молекулалардың деңгейінде жұмыс істеу техникасы.

Наноматериалдар – нанобөлшектер мен наноэлементтерден (кристалшалардан, дәнектерден) құрастырылған әртүрлі нәрселер.

Графен – көміртек атомдарының бірқыртысты наножарғағы.

Нанотүтіктер – бір немесе бірнеше қабатты графендерден тұратын созылық цилиндрлік құрылым.

Фуллерен – тұрақты молекула, оның футбол добына ұқсас сфералық бетіндегі бес және алтыбұрышты түйіндерінде көміртектің 60 атомы орналасқан.

Микролитография – электроникада қолданыс тапқан нанотехнологияның кең тараған әдісі.

Наноробот – өлшемдері молекула өлшемдерімен қарайлас наноэлементтерден жасалған робот, ол атомдарды бір-бірлеп қозғау, молекулаларды өңдеу, ақпаратты жіберу және компьютерлік бағдарламаларды орындау қызметтерін атқарады.

Зондтық микроскопия – әртүрлі наноөлшемді зондтардың жәрдемімен зерттелетін беттің локалдық (нүктелік) бөлігіндегі механикалық, электрлік, магниттік және басқа да қасиеттерін анықтайтын әдістер жиынтығы.









Сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ) – нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд пен ток өткізгіш (үлгі) атомдарының арасындағы электрондық токтың шамасын тіркеуге негізделген.

Атомдық-күштік микроскоп (АКМ) – нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд пен үлгі атомдарының арасындағы *Ван-дер-Ваальстік өзара әрекеттесу күшінің* шамасын тіркеуге негізделген.

9-тарау

КОСМОЛОГИЯ

ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  жұлдыздардың жарықтылық дәрежелеріне қарай жіктелетінін және көрінерлік жұлдыздық шама мен абсолюттік жұлдыздық шама ұғымдарымен сипатталатынын түсіндіру;
-  жұлдыздар эволюциясын түсіндіру үшін Герцшпрунг–Рассель диаграммасын қолдану;
-  асқынжаңа жұлдыз бен нейтрондық жұлдыздардың және қара құрдымдардың қасиеттерін сипаттау;
-  арақашықтықтарды анықтау үшін жаңа әдістерді пайдалануды сипаттау;
-  Ғаламның кеңеюі және тұңғыық энергия төңірегіндегі талас-тартыстарды талқылау;
-  астрономиялық бақылаулардың деректеріне сүйене отырып, Ғаламның кеңеюі туралы болжамды талқылау;
-  Хаббл заңын қолданып, Ғаламның жасын бағалай алу;
-  микротолқынды фондық сәулелену туралы деректерді қолданып, Үлкен Жарылыс теориясын түсіндіру.

Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
жұлдыз	звезда	star
астрономиялық бірлік	астрономическая единица	astronomical unit
жылдық параллакс	годовой параллакс	annual parallax
парсек	парсек	parsec
жарық жылы	световой год	light year
Метагалактика	Метагалактика	Metagalaxy

қараңғы материя	темная материя	dark matter
қараңғы энергия	темная энергия	dark energy
Үлкен Жарылыс	Большой Взрыв	Big Bang
реликтивтік сәулелену	реликтовое излучение	relict radiation

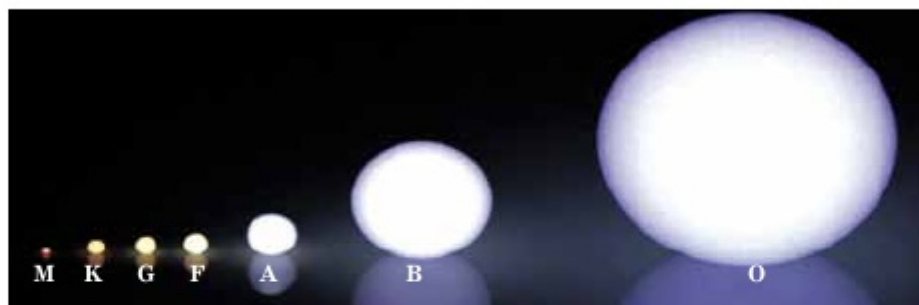
Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «жұлдыз», «астрономиялық бірлік», «жылдық параллакс», «парсек», «жарық жылы», «Метагалактика», «қараңғы материя», «қараңғы энергия», «Үлкен Жарылыс», «реликтивтік сәулелену».

§ 9.1

Жұлдыздар әлемі. Жұлдыздық шамалар

1. Жұлдыз деп қойнауындағы термоядролық синтездік реакциялардың нәтижесінде жылу мен жарықты шығаратын шар тәріздес массивті плазмалық құрылымды айтады.

Жұлдыздар температурасы, түсі және спектрлік класы арқылы ажыратылады (9.1.1-сурет).



9.1.1-сурет. Жұлдыздар кластары

Жұлдыздың спектрлік кластарының реті (сонымен бірге түсі де) латын алфавитінің үлкен әріптерімен белгіленеді: O, B, A, F, G, K, M. Әрбір спектрлік класқа жататын жұлдыздар өз арасында тағы да бөлінеді: O-ден (ең ыстық) 9-ға (ең суық) болып, мысалы, Күн G 2 спектрлік класқа жатады. Төмендегі 9.1.1-кестеде мысал ретінде әр класс жұлдыздарының түсі, температурасы және орналасқан шоқжұлдызы келтірілген.

Жұлдыздарды классификациялаудың кейбір мысалдары

Спектрлік класс	Түсі	Температурасы	Мысалы	Шоқжұлдызы
O	Көгілдір	30 000 К	Беллатрикс	Орион
B	Ақшыл көгілдір	20 000 К	Регул	Арыстан
A	Ақ	10 000 К	Сириус	Үлкен Төбет
F	Ақ сары	8 000 К	Альтаир	Бүркіт
G	Сары	6 000 К	Күн	–
K	Сарғыш	5 000 К	Альдебаран	Торпақ
M	Қызыл	3 500 К	Бетельгейзе	Орион

Салқынырақ жұлдыздардың спектрлерінде *молекулаларды* жұту жолақтары, ал температурасы жоғарырақ жұлдыздарда бейтарап атомдарды жұту жолақтары кездеседі. Күннің спектрі оның құрамында иондалған *металдардың* бар екенін айғақтайды (бұл Күннің құрметті «ақсақалдық» жасқа жеткендігінің бір белгісі болса керек). Ыстық жұлдыздарда иондалған *сутек* жолақтарының қарқындылығы, ал ең ыстық жұлдыздарда иондалған *гелийдің* қарқындылығы арта түседі.

Жұлдыздардың температурасын олардың спектрі арқылы (мысалы, спектрлеріндегі әртүрлі сызықтардың қарқындылығы бойынша немесе үздіксіз спектріндегі энергияның таралуы бойынша, тіпті жұлдыздардың түсі бойынша да) анықтайды. Біздер бақылайтын жұлдыздардың спектрі мен жарығы олардың сыртқы атмосфералары шығаратындықтан, анықталған температура мен химиялық құрамы тек жұлдыздардың атмосферасына ғана қатысты болып табылады. Жұлдыздардың қойнауындағы температура күрделі теориялық есептеулер арқылы жүргізіледі және ондаған-жүздеген миллион градусқа жетеді.

2. Жұлдыздарды толық сипаттау үшін жоғарыда көрсетілген сипаттамаларымен қатар, төменде анықтамалары берілген шамалар да қолданылады.

Жұлдыздардың жарықтылығы (L) деп жұлдыздың бір секундта шығаратын толық жарық энергиясын айтады.

Жарықтылықты қуат бірлігі *ваттпен* өрнектеуге болады (сондықтан кейде «жарықтылық» терминін «қуат» деген терминмен де ауыстырады); жұлдыздардың көбінесе жарықтылығын Күн жарықтылығымен салыстыра өрнектейді, ол $3,85 \cdot 10^{26}$ Вт құрайды.

Көрінетін жұлдыздық шама (m) – бұл жұлдыздан бақылаушы тұрған нүктеге қанша жарық келетінін көрсететін жұлдыздық сипаттама.

Жұлдыздардың *көрінетін жылтырауы* тек шынайы сөуле шығаруына ғана емес, Жерге дейінгі қашықтыққа да байланысты болады.

Абсолюттік жұлдыздық шама (M) – бізден *10 парсек (пк)* қашықтықтағы жұлдыздың көрінетін жұлдыздық шамасы. Абсолюттік жұлдыздық шаманы мына

формуламен анықтайды:

$$M = m + 5 - 5 \lg r, \quad (9.1)$$

мұндағы m – көрінетін жұлдыздық шама, r – парсекпен өлшенетін жұлдыздарға дейінгі қашықтық.

1 парсек (1 пк) $3,086 \cdot 10^{13}$ км-ге тең; бұл жұлдыздан қарағанда Жер орбитасының орташа радиусы (1") секундқа тең бұрышпен көрінетін қашықтық.

Күннің абсолюттік жұлдыздық шамасы $M_K = +4,8^m$ мәніне тең, бұл стандартты 10 пк қашықтықтан қарағанда Күннің 5-реттік жұлдыздық шамадағы кішігірім әлсіз жұлдыз екендігін білдіреді. (Күннің көрінетін жұлдыздық шамасы $m = -27^m$).

Күннің жарықтылығы мен қандай да бір жұлдыздық шамаларының арасындағы байланыс төмендегі қатынаспен өрнектеледі:

$$\frac{L}{L_K} = 2,512^{M_K - M}. \quad (9.2)$$

Күннің жарықтылығын $L_K = 1$ деп қабылдап және $M_K = 4,8^m$ екенін ескеріп, жұлдыздың жарықтылығын анықтауға болады: $L = 2,512^{4,8 - M}$.

Аса алып жұлдыздардың сәуле шығару қуаты ($M = -9^m$), бұл Күн сәулесі қуатынан 330 мың есе артық, ал солғын жұлдыздардың сәуле шығару қуаты ($M = 19^m$) – 480 мың есе кем.



Сұрақтар

1. Қандай параметрлері мен белгілері бойынша жұлдыздарды бір-бірінен ажыратады?
2. Жұлдыздардың түстері қандай шамаларға тәуелді өзгереді?
3. Жұлдыздар қандай шамалармен сипатталады? Олардың физикалық мағыналары қандай?
4. Көрінетін жұлдыздық шаманың абсолюттік жұлдыздық шамадан айырмашылығы неде? Бұл шамалар қандай формулалармен өрнектеледі?
5. Жұлдыздардың жарықтылығы деп нені айтады? Ол қандай өлшем бірліктермен өлшенеді?



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Жарық жұлдыздар туралы мәліметтерді қарастырыңдар.

9.1.2-кесте

Жұлдыздың атауы	Температурасы, К	Массасы, (Күн массасымен алғанда)	Радиусы, (Күн радиусымен алғанда)
Ригель	11 200	40	138
Вега	10 600	3	3
Кастор	10 400	3	2,5
Процион	6 900	1,5	2
Капелла	5 200	3	2,5
107 Балықтар	5 200	0,83	0,8

9.1.1 және 9.1.2-кестелерінің деректерін пайдалана отырып, төменде көрсетілген шынайы және жалған растауларды анықтаңдар.

- Процион бетіндегі температура Күн бетінің температурасынан 2 есе төмен.
- Вега жұлдызы А спектрлік класының ақ жұлдыздарына жатады.
- Вега мен Капелла жұлдыздарының массасы бірдей болғандықтан, олар бір спектрлік класқа жатады.
- Беллатрикс және Бетельгейзе жұлдыздары бір шоқжұлдызға жатады, демек, Күннен бірдей қашықтықта орналасады.
- Ригель жұлдызы – асқыналып жұлдыз.
- Вега мен Кастор жұлдыздары бірдей спектрдің А класына жатады.
- 10⁷ Балықтар жұлдызы супералып емес, ол Күнге ұқсайды.

§ 9.2

Жұлдыздардың классификациясы

1. XX ғ. басында дат астрономы Э. Герцшпрунг пен америкалық ғалым Г. Рассел бір-біріне тәуелсіз жұлдыздардың *спектрлік класы* (немесе *температурасы*) мен олардың *жарықтылығы* арасында байланысты орнатты. Бұл байланыс *Герцшпрунг–Рассел диаграммасы* деп аталады.

Герцшпрунг–Рассел диаграммасында әр жұлдызға бір нүкте сәйкес келеді.

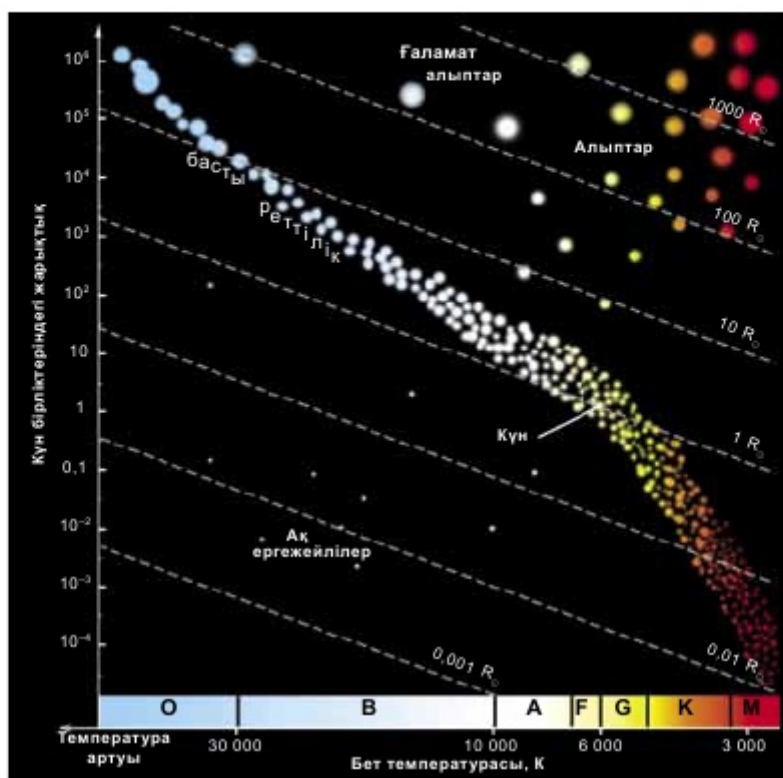
Диаграммада жұлдыздар кездейсоқ реттілікпен орналаспай, *басты реттілік*, *көгілдір ғаламат алыптардың реттілігі*, *қызыл ергежейлілер*, *қызыл ғаламат алыптар*, *ақ ергежейлілер* (9.2.1-сурет) деп аталатын топтарды құрайды.

Диаграмма жарықтылық пен температураның белгілі бір қатынасы сақталатын жұлдыздар ғана табиғатта кездесетінін көрсетеді. Мысалы, жарықтылығы Күннің жарықтылығына тең, бірақ қызыл түсті (*K* және *M* спектрлік кластарға енетін) жұлдыздар болмайды.

Барлық жұлдыздардың эволюциясының ең ұзақ фазасы ретімен өтеді. Бұл кезеңнің ұзақтығы жұлдыздың нейтрондық жұлдызға немесе ақ ергежейліге айналғанға дейінгі эволюциясының барлық уақытының 90% -ға жуығын құрайды. **Жұлдыздардың басты реттілікте өмір сүру ұзақтығы олардың массасына байланысты мына формуламен анықталады:**

$$t = 10^{10} \frac{1}{M^3} \text{ (жыл)}, \quad (9.3)$$

мұндағы *M* – Күн массасымен салыстыра алынған жұлдыз массасы. Жұлдыздың қойнауындағы сутек термоядролық реакцияларда «жағылып» таусылғаннан кейін жұлдыз басқа топқа ауысады.



9.2.1-сурет. Жұлдыздардың реттіліктері

Жұлдыздың қандай тармақ пен спектрлік класқа жататынын біле отырып, оның абсолюттік шамасын және басқа да сипаттамаларын анықтауға болады.

2. Заманауи қорытындылар бойынша жұлдыздар жұлдызаралық ортадағы затының гравитациялық сығылуы нәтижесінде туындайды. Аумағы шамамен 100 пк болатын алып кешен сығылады, тығыздалады және өрі қарай сығылуын жалғастыра беретін жиынтықтарға (протожұлдыздарға) ыдырайды. Жиынтықтардың температурасы сығылған сайын көтеріле береді де, 10 млн градусқа жеткенде термоядролық реакция басталып, сығылу аяқталады, жаңа жұлдыз жарқырап туады.

Термоядролық реакциялар барысында сутек гелийге айналып энергия шығарады. Күн өзінің сутек қорын шамамен 10 млрд жылда тауысады. Массасы Күннің 10 массасына тең жұлдыздар 10 млн жыл шамасында, қызыл ергежейлілер 80 млрд жылда сутек қорын жағып бітіреді.

Күн ядросындағы сутек отыны жанған сайын оның сыртқы қабаты ұлғая береді де, ядросы сығылып, қыза түседі. Ядро ішіндегі сутек толық біткен соң, термоядролық реакциялар ядроның жұқа сыртқы қабатында жалғасады. Күн көлемін ұлғайта береді де, алдағы 4,6 млрд жылда кеңейіп **қызыл алыпқа** айналады (9.2.2-сурет). Күн массасы аз болғандықтан, оның эволюциясы **асқынжаңа жұлдыздардың** жарылғаны сияқты аяқталмайды.

Жарылыс барысында күшті нейтрино ағындары және айналмалы магнит өрісі темірмен қоса, жұлдызда жинақталған материалдың көп бөлігін кеңістікке сілкіп шығарады. Шашыраған материя ұшып шыққан нейтрондармен атқыланып, оларды қармайды; нәтижесінде темірден де ауыр уранға дейінгі (мүмкін калифорнийға дейінгі) радиоактивті элементтер пайда болады. Бұдан әрі бұл элементтер жаңа жұлдыздарды, планеталарды және олардың серіктерін қалыптастыруға қатысады.

Асқынжаңа жұлдыздардың жарықтылығы жарылыс кезінде ондаған миллион есе артады, сонымен бірге 10^{46} Дж шамасында орасан мол энергия бөлінеді.

Асқынжаңа жұлдыздардың жарқылдары – өте сирек құбылыс. Біздің Галактикамызда асқынжаңа жұлдыздардың бірнеше қалдықтары ғана белгілі, олардың ішінде ең атақтылары: Тихо асқынжаңа жұлдызы, Кеплер асқынжаңасы, 1054 жылғы асқынжаңасы. Қазіргі заманғы аппаратураның көмегімен басқа галактикаларда жылына 100 асқынжаңа жұлдыздар ашылады, ал олардың жалпы саны 1500-ден асты. Асқынжаңалар жұлдызаралық ортаны ауыр элементтермен байытады, жаңа жұлдыз пайда болуына ықпал етеді.

Асқынжаңа жұлдыздың қалыптасуында орын алатын процестерді де, жарылғаннан кейін оның бұрынғы орнындағы қалдықтарын да зерттеу әлі күнге дейін жалғасуда. Мұндай зерттеулерде аса массивті жұлдыздардың соңғы тағдыры *нейтрондық жұлдыздарға* немесе *қара құрдымдарға* айналатын нұсқалары да қарастырылады.



9.2.4-сурет. Нейтрондық жұлдыздар

Бірінші нұсқа бойыша алып жұлдыздың қойнауындағы ғаламат күшті гравитация электрондарды сығымдап, атом ядросы аймағына еруге мәжбүрлейді; сөйтіп олар протондармен бірігіп нейтрондарды құрайды. Нәтижесінде ядродағы оң зарядталған протондардың арасындағы тебіліс күштері, яғни электромагниттік күштер жоғалады. Жұлдыз онан сайын сығылып, тек нейтрондардан тұратын тығыз шарға айналады. Мұндай жұлдыздардың өлшемдері бірнеше ондаған километрмен өлшенеді, олардың тығыздығы су тығыздығынан 100 млн есе асады. Оларды *нейтрондық жұлдыздар* деп атайды (9.2.4-сурет).

Нейтрондық жұлдызды Жерден өртүрлі спектрлік диапазонда, оның ішінде оптикалық диапазонда да байқауға болады. Бұл диапазонға жалпы жұлдыз сәулелері энергиясының 0,003%-ы сәйкес келеді.

Екінші нұсқа бойынша егер жұлдыз айтарлықтай үлкен массаға ие болса, онда сығылу жалғаса береді де, жұлдыз *қара құрдымға* айналады. Қара құрдымдардың бар болуында жалпы салыстырмалылық теориясы болжанған еді.

Қазіргі уақытта қара құрдымдар тек жанама бақылау арқылы ғана қолжетімді болып отыр. Қара құрдымдардың галактика центрлерінде орналасу ықтималдығы мол деп пайымдалады. Галактика центрлерінің массаларын бағалаудың өртүрлі мүмкін нұсқалары бар, мысалы: белсенді галактикалардың ядроларының жарықтылығын бақылау арқылы, галактиканың айналуын немесе оған жақын жұлдыздардың айналуын зерттеу арқылы бағалауға болады. Көптеген галактикалар

үшін олардың центрлерінің бағаланған массасы аса массивті қара құрдымнан басқа кез келген объект үшін тым үлкен болып отыр. Аспандағы алып объектілердің арасында, мысалы, жақын орналасқан қос жұлдыз арасында заттардың бірінен екіншісіне өтетін **аккреция** құбылысы да жиі байқалады. Аккреция кезінде заттар өздеріне тән сәулелер ағынын туғызады. Галактиканың центрінде жұлдыздар тығыз орналасқандықтан, мұндай аккрециялық құбылыс жиі орын алады деп болжауға негіз бар. Алайда галактика центрлерінен аккрецияға тән сәулелер ағыны тіркелмейді. Ендеше, заттарды да, сәулелерді де (тіпті өз сәулесін де кері қайтарып) жұтып отыратын жалғыз объект **қара құрдым** ғана болып табылады.



Сұрақтар

1. Герцшпрунг–Рассел диаграммасы қандай сипаттамаларымен ерекшеленеді? Диаграммада ең көп қамтылған жұлдыздар тобы қандай?
2. Жұлдыз өз эволюциясының қандай кезеңін басты реттілікте өткізеді? Осы реттіліктегі жұлдыздардың ғұмырлы жасы қандай формула арқылы анықталады?
3. Температуралары мен жарықтылығы Күндікімен салыстырғанда жоғары болатын жұлдыздар диаграмманың қай бөлігінде орналасқан?
4. Жұлдыздар қалай пайда болады? Күн қашан пайда болған? Оның ғұмырлық циклі қалай аяқталады?
5. Массивті жұлдыздардың ғұмырлық циклі қалай өтеді? Асқынжаңа жұлдыздың коллапсын (кенеттен жарылуын) қалай түсіндіруге болады?
6. Асқыналып жұлдыздардың ғұмырлық циклі немен аяқталады? Нейтрондық жұлдыздар қалай пайда болады? «Қара құрдым» дегеніміз қандай нысан?



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

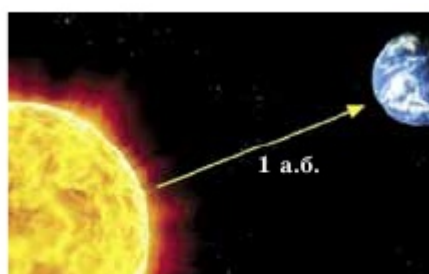
1. F3, G2, K0, A5, B8 спектрлік кластарындағы жұлдыз атмосферасының температурасын өсу ретімен орналастырыңдар.
2. Play Market, (App Store) қосымшасындағы «Звездная карта (airanet)» – «Жұлдызды карта (airanet)» тегін бағдарламасын смартфонға енгізіп алыңдар. Өз құрылғыңды аспанға бағыттасаң, онда жұлдыздар мен шоқжұлдыздардың және планеталардың аттары жазылған көрініс пайда болады. Осы сәтте Күннің қай шоқжұлдызда екенін көріңдер. Жеке экрандағы планеталардың орбиталарындағы орындарын байқап тексеріңдер.

§ 9.3

Астрономиялық қашықтықтарды өлшеу

1. Астрономияда ғарыштағы объектілерге дейінгі қашықтықтарды километрмен өлшеу ыңғайсыз, өйткені тіпті Ай немесе Күн сияқты жақын объектілерге дейінгі қашықтықтардың өздері тым үлкен сандармен өрнектеледі. Нақтырақ айтқанда, Айға дейінгі қашықтық 384 400 км, Күнге дейін 150 000 000 км, Уран планетасына дейін 3 000 000 000 км.

Күн жүйесінің ішінде қашықтықтарды өлшеу үшін көп жағдайда **астрономиялық бірлік (а.б.)** қолданылады.



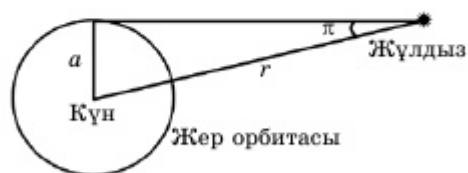
9.3.1-сурет.
Астрономиялық бірлік (1 а.б.)

Дегенмен оны қолдану кезінде Жер мен зерттелінетін дененің қозғалысын ескеріп, жарық жылдамдығын білу керек. Жіберілген радиосигнал аспан денесінің бетінен шағылысып, қайтадан Жерде қабылданады (9.3.2-сурет). Радиосөуле қос қашықтықты өтеді (бару-қайту), сигналдың жолды жүріп өтуге жұмсаған уақытын біле отырып, қашықтықты анықтауға болады.

3. Егер бір нәрсеге әртүрлі орыннан қарасақ, онда ол өзінен алыс қашықта орналасқан денеге қарағанда орнын өзгертіп отырады. Егер бұндай объектілер бақылаушының орнын ауыстыру кезінде олардың көрінетін орын ауыстыруын елемеуге болатындай алыс болса, онда геометриялық пайымдаулар бойынша жақын жұлдызға дейінгі қашықтықты анықтау қиын емес. Астрономиялық масштабтағы тікбұрышты үшбұрыштың катетке қарсы жатқан бұрышын π әрпімен белгілеп, *параллаксикалық бұрыш* дейді (9.3.3-сурет).



9.3.2-сурет. Радиолокация



9.3.3-сурет. π – жылдық параллакс

Бір астрономиялық бірлік Жерден Күнге дейінгі орташа қашықтыққа тең:

1 а.б. $\approx 150 \cdot 10^9$ м (9.3.1-сурет).

Уранға дейін қашықтық 20 а.б., яғни Жерден Күнге дейінгі қашықтықтан 20 есе үлкен. Бұндай салыстырулардан астрономиялық бірлікті қолданудың әрі ыңғайлы, әрі ұтымды екенін көреміз.

2. Бірнеше астрономиялық бірліктердегі қашықтықты тікелей өлшеуге астрономдарға *радиолокация* көмектеседі. Бұл өте дәл әдіс.

Жұлдыздан қарағанда Жер орбитасының a орташа радиусы (a = 1 а.б.) көзге тікбұрышты үшбұрыштың қарсы жатқан катеті түрінде көрінетін π бұрышы жылдық параллакс деп аталады. Жұлдызды аспанның нақты бір бөлігін жарты жыл мерзімінің бастапқы және соңғы кезінде екі рет суретке түсіріп, жылдық параллаксты 0,01'' дейінгі дәлдікпен анықтайды.

Жұлдызға дейінгі r қашықтықты анықтайық: $r = \frac{a}{\sin \pi}$, мұндағы a = 1 а.б.; π – бұрыштың секундтық бірлігімен өлшенетін өте кішкентай бұрыш, мысалы: бір бұрыштық

секунд $1'' = \frac{1}{206\,265}$ шамасын құрайды.

Математикадан білетініміздей, мұндай өте аз шамалардың синусы мен тангенсі жуықтап алғанда осы шамалардың өзіне тең болады: $\sin \pi \approx \pi$.

Жоғарыда көрсетілген мәліметтерді ескеріп, параллаксы бір секунд болатын ($\pi = 1''$) жұлдыз бен Күннің (Жердің десе де болады) арақашықтығын анықтайық:

$$r = \frac{a}{\sin \pi} = \frac{a}{\pi} = \frac{1 \text{ а.б.}}{1''} = 206 \ 265 \text{ а.б.}$$

Параллаксы бір секунд ($1''$) болатын осындай арақашықтық ($r = 206 \ 265 \text{ а.б.}$) астрономияда парсек (пк) деп аталады.

Егер кез келген жұлдыздың жылдық параллаксы π болса, онда оған дейінгі қашықтық мына формуламен табылады:

$$r = \frac{a}{\sin \pi} = \frac{a}{\pi} = \frac{1}{\pi} \text{ парсек.} \quad (9.4)$$

Сонымен, Біздің Галактикадағы жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтау үшін келесі өлшем бірліктер қолданылады:

1) **парсек** (параллакс, секунд) – Жер орбитасының орташа радиусы $1''$ бұрышпен көрінетін қашықтық.

$$1 \text{ пк} = 206 \ 265 \text{ а.б.} = 3,26 \text{ жарық жылы} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

2) **жарық жылы** – жарықтың бір жылда өтетін қашықтығы.

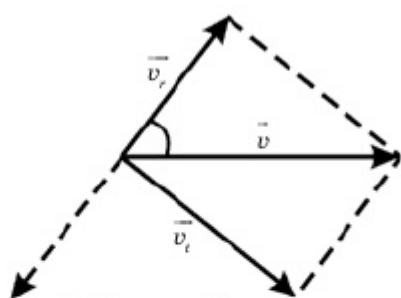
$$1 \text{ жарық жылы} = 0,3069 \text{ пк} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63 \ 240 \text{ а.б.}$$

4. Біздің Галактикадан тысқарғы қашықтықтарды өлшеу үшін **стандартты шырағдан** әдісі қолданылады. Оның мағынасы мынаны білдіреді: сәулелену қуаты (жарықтылығы) L белгілі (немесе жеңіл есептелетін) объектілер кластары таңдалып алынады. Астрономиялық құралдардың жәрдемімен таңдалған объектіден Жерге түсетін сәулелер ағыны I өлшенеді. *Объектіден келген сәулелер ағыны оған дейінгі қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді. Егер жарықтылық белгілі болса, онда жарқырауын өлшеп объектіге дейінгі қашықтықты анықтауға болады.*

Өртүрлі галактикалардағы эталондық объектілердің (немесе астрономдар айтатындай, стандартты шырағдандардың) байқалған жарқырауларын салыстырып, олардың біреуіне дейінгі қашықтығы белгілі болса, басқаларына дейінгі қашықтықтарды да анықтауға болады.

Жұлдыздарын ажыратуға болатын таяу галактикалар үшін (25 Мпк-ке дейін) «стандартты шырағдандар» ретінде жарқырауы мол көгілдір және қызыл асқыналып жұлдыздарын пайдалану ұтымдырақ. Бұлар массалары мен жарықтылығы бойынша ең шекті асқыналып жұлдыздардың үлгісі ретінде де қызықты болып табылады. Қазіргі 60 Мпк-ке дейінгі бақылаулар деңгейінде жарқырауық көгілдір асқыналыптар жақсы ажыратылады. Қызыл асқыналыптардың жарқырауының шектеулігі эмприкада (тәжірибеде) анықталды, алайда мұндай шектеуліктің физикалық сыры ашылған жоқ. Қызыл асқыналыптар массивті жұлдыздардың гұмырнамалық (эволюциялық) теориясын тексеру үшін де қолданылады. Қызыл асқыналыптардың абсолюттік болометрлік жұлдыздың шамалары жуықтап алғанда $-9,5^m$. Галактикалардағы сандары аз экстремалдық объектілер – жарқырағыш жұлдыздарды пайдаланғанда, кез келген әдістердегі сияқты сұрыптау (селекция) эффектісін ескеру қажет.

Күн жүйесіне жақын жұлдыз Центавр Проксимасына дейінгі қашықтық



9.3.4 сурет. Жұлдыздың тангенциалды, сәулелік және кеңістіктік жылдамдықтары

бұрыштық ығысуы, π – жылдық параллакс.

$\Delta\lambda$ спектрлік сызықтардың ығысуын өлшеп, жұлдыздардың *сәулелік жылдамдығын* анықтауға болады:

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c.$$

Жұлдыздардың *кеңістіктік жылдамдықтарын* төмендегі формуламен анықтайды:

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}. \quad (9.5)$$

Жұлдыздардың жылдамдықтары секундына ондаған километрді құрайды. Зерттелген жұлдыздардың ішінде ең үлкен жылдамдықты Көгершін шоқжұлдызындағы солғын жұлдыз иеленеді. Өзара тартылыс күштерімен байланысқан, әрі жаратылысы ұқсас кейбір жұлдыздар (мысалы, Гиадалар) бірдей жылдамдықпен параллель қозғалады. Сонымен қатар жұлдыздар Галактика центрінің төңірегінде айналады. Әр жұлдыздың меншікті жылдамдығы бар деуге болады. Күн *апекс* деп аталатын аспан сферасындағы координаталары $\alpha = 270^\circ$; $\delta = +30'$ болатын нүктеге қарай көршілес жұлдыздармен салыстырғанда 19,4 км/с жылдамдықпен Геркулес шоқжұлдызы бағытында қозғалады.

Жұлдыздардың жылдамдықтарының үлкен болуына қарамастан, олардың аспандағы көрінетін орны өте баяу өзгереді. Жердегі адамзат өркениетінің уақыты ішінде шоқжұлдыздар пішіндерін елеулі өзгерткен жоқ.



Сұрақтар

1. Күн жүйесіндегі қашықтықтарды өлшеу үшін қандай өлшем бірлік қолданылады?
2. Біздің Галактикадағы жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтауда қандай өлшем бірліктер қолданылады?
3. Галактикадан тысқары қашықтықтарды өлшеу үшін қандай әдіс қолданылады? Бұл әдістің мәні неде?
4. Жұлдыздың жылдық параллакс деп нені айтады? Жұлдыздарға дейінгі қашықтықтар қандай формуламен анықталады?
5. Радиолокация әдісімен жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтауға бола ма? Неге?
6. Жұлдыздардың тангенциал, сәулелік және кеңістіктік жылдамдықтарын қалай анықтауға болады?



ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Гемма (Солтүстік Сақина α) және Садр (Аққу γ) жұлдыздарының жылдық параллаксы сәйкесінше $\pi_1 = 0,044''$ және $\pi_2 = 0,004''$. Олардың көрінерлік жұлдыздық шамалары бірдей: $m_1 = m_2 = 2,23''$. Парсекпен алғандағы r_1 және r_2 қашықтықтары қандай? Қай жұлдыздың жарықтылығы көбірек? Қанша есе көп? Гемма мен Садрдың M_1 және M_2 абсолюттік жұлдыздық шамалары қандай? Жұлдызаралық жарық жұтылуын ескермейміз.

Берілгені:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= 0,044'' \\ \pi_2 &= 0,004'' \\ m_1 = m_2 &= 2,23'' \end{aligned}$$

$$r_1 - ?$$

$$r_2 - ?$$

$$\frac{L_2}{L_1} - ?$$

$$M_1 - ?$$

$$M_2 - ?$$

Шешуі:

Жұлдыздарға дейінгі қашықтықтар сәйкесінше мыналарға тең:

$$r_1 = \frac{1}{\pi_1}; r_2 = \frac{1}{\pi_2}.$$

Гемма және Садрдың абсолюттік жұлдыздық шамалары сәйкесінше:

$$M_1 = m_1 + 5 - 5 \lg r_1; M_2 = m_2 + 5 - 5 \lg r_2.$$

Жұлдыздардың жарықтылық қатынасын мына формула бойынша табуға болады:

$$\frac{L_2}{L_1} = 2,512^{M_1 - M_2}.$$

Есептеулерді жүргізейік:

$$r_1 = \frac{1}{0,044} = 23 \text{ пк}; r_2 = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ пк}.$$

$$M_1 = 2,23 + 5 - 5 \lg 23 = 0,42, M_2 = 2,23 + 5 - 5 \lg 250 = -4,76.$$

$$\frac{L_2}{L_1} = 2,512^{0,42 - (-4,76)} = 2,512^{5,18} = 118.$$

$$\text{Жауабы: } r_1 = 23 \text{ пк}, r_2 = 250 \text{ пк},$$

$$M_1 = 0,42, M_2 = -4,76, \frac{L_2}{L_1} = 118.$$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 9.3.1. Жұлдыз параллаксы $0,01''$, ал көріну шамасы $+10^m$. Оның абсолюттік жұлдыздық шамасы қандай? (Жауабы: 5^m)
- 9.3.2. Капелла жұлдызынан қарағанда көздің көру сәулесіне перпендикуляр Жер орбитасының үлкен жарты осі $0,07''$ бұрышпен көрінеді. Процион жұлдызының жылдық параллаксы $0,28''$. Аталған жұлдыздардың қайсысы бізден алыс және неше есе алыс? (Жауабы: Капелла Проционнан 4 есе қашықта)
- 9.3.3. Жұлдыздың параллаксы $0,5''$. Ол бізден Күнге қарағанда қанша есе алыс? (Жауабы: $4,1 \cdot 10^5$ есе)

В

- 9.3.4. Альтаир жұлдызының параллаксы $0,20''$. Вегаға дейінгі қашықтық 29 жарық жылы. Аталған жұлдыздардың қайсысы бізден алыс және неше есе алыс? (*Жауабы: Вега Альтаирдан 2 есе қашықта*)
- 9.3.5. Жұлдыз кеңістікте бақылаушыға қарай көздің көру сәулесіне 30° бұрышта 50 км/с жылдамдықпен қозғалып келеді. Жұлдыз жылдамдығының сәулелік және тангенциал құраушыларының модульдері неге тең? (*Жауабы: 43,3 км/с; 25 км/с*)
- 9.3.6. Егер жұлдыздың сәулелік жылдамдығы 27 км/с, тангенциал жылдамдығы 31 км/с болса, оның кеңістіктік жылдамдығы қандай? (*Жауабы: 41 км/с*)

§ 9.4

Қараңғы энергия. Ғаламның кеңеюінің жеделдеуі

1. Ғасырлар бойы әртүрлі космологиялық модельдер бірін-бірі ауыстырды, бірақ бәрінде де Ғаламның уақыт пен кеңістік бойынша шексіздігі өзгермейтін абсолют саналды. Жұлдызды аспан мәңгіліктің және тұрақтылықтың символы болды (9.4.1-сурет).

Бақылаудағы Ғалам – бұл бақылаушыға қарағанда абсолютті өткен шақтарды білдіретін Ғаламның сипатталына алатын бөлігі. Кеңістік тұрғысынан алғанда, бұл материяның (атап айтқанда, сәуленің және тағы басқа кез келген сигналдардың) Ғаламның өмір сүру уақытында қазіргі орналасқан қалпына жеткен (адамзат жағдайында – қазіргі Жерде) байқалатын аймақ. Байқалатын Ғаламның шегарасы ғарыштық көкжиек болып табылады, ондағы объектілер шексіз қызыл ығысуда болады. Галактикалар саны 500 млрд-тан астам деп бағаланады.

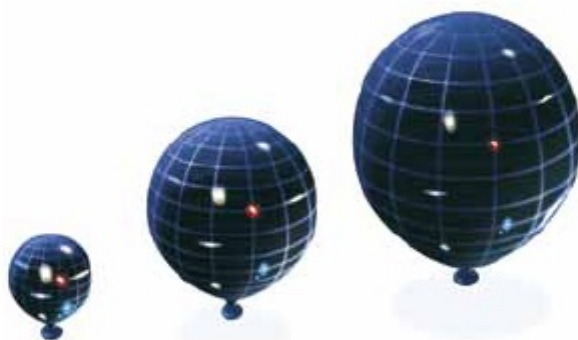


9.4.1-сурет. Бақыланатын аспан – мәңгілік символы

Қазіргі заманғы астрономиялық әдістерімен зерттелетін Ғаламның бақыланып отырған қолжетімді бөлігі **Метагалактика** деп аталады. Метагалактикадан

өрірек Ғаламның бақылауға қолжетімді емес бөлігінде болжамалы (гипотезалық) «*метагалактиканың сыртындағы*» объектілер орналасқан.

XX ғасырдың соңында алыстағы асқынжаңа жұлдыздарды бақылау арқылы Ғаламның үдемелі кеңейіп бара жатқаны белгілі болды (9.4.2-сурет).



9.4.2-сурет. Ғаламның үдемелі кеңеюінің модельдері

Ғаламның кеңеюі – *бұл шын мәнісінде оның эволюциялық даму жолын анықтайтын үлкен масштабты процесс*. Кеңею барысында орташа температура төмендейді; алғашқы нуклеосинтездің қанша уақыт және қандай жылдамдықпен жүретінін анықтайды; кеңею аясында флуктуациялардың дамуы да орын алады, содан кейін галактикалар пайда болады, міне, осындай және т.б. процестерден мағлұмат береді.

2. Ғаламның үдемелі кеңеюін түсіндіру үшін «қараңғы энергия» түсінігі енгізілді. Оның қасиеттері өте ерекше. Мысалы, қараңғы энергия Ғаламды өрібері «итермелеу» үшін теріс қысымға ие болуы керек. Бұндай жұмбақ қараңғы энергияның табиғатын анықтау – физиканың басты міндеттерінің бірі, өйткені қазіргі заманғы көзқарасқа сәйкес, дәл осы қараңғы энергия біздің әлемнің дамуын айқындайды.

Алынған деректер бойынша бақыланатын Ғалам жазық болып келеді. Осының негізінде өрі Ғаламның үдемелі кеңеюі ескеріліп, Фридман моделі бойынша оның орташа тығыздығы бағаланды. Алайда тікелей бақылауға қолжетімді кәдімгі материяның бұл тығыздықтағы үлесі өте аз: тек $(4,54 \pm 0,01)\%$ немесе 0,25 кубтық метрдегі сутек атомын береді. Тығыздыққа үлкен үлес қосатын басқа екі компонент бар. Олар қараңғы материя (26,8%) және қараңғы энергия (68,3%). Релятивистік бөлшектердің, яғни микротолқынды фонның фотондарының үлесі өте аз: 0,0050%.

Қараңғы материя – электромагниттік сәулені шығармайтын және онымен тікелей өзара әрекеттеспейтін материяның гипотезалық түрі.

Материяның бұл қасиеті оны тікелей бақылауды қиындатады, тіпті мүмкіндік те туғызбайды.

Қараңғы материяның бар болуы туралы қорытынды астрофизикалық объектілердің сипаттамаларының жанама белгілері негізінде және олардың туғызған

гравитациялық әрекеттері бойынша жасалған. Қараңғы материяның табиғатын анықтау жасырын массаның проблемасын шешуге көмектеседі, сондай-ақ галактиканың шеткі бөліктерінің қисынсыз жоғары жылдамдықпен айналу себебін түсіндіруге мүмкіндік береді.

Қараңғы энергия – Ғаламның байқалып отырған үдемелі кеңеюін түсіндіру үшін оның математикалық моделіне енгізілген энергияның гипотезалық түрі.

Қараңғы энергияның мәнін түсіндірудің үш гипотезалық нұсқасы бар. Солардың біріншісі бойынша қараңғы энергия – космологиялық тұрақты, яғни ғаламның кеңістігін біркелкі толтырып тұрған өзгермейтін энергетикалық тығыздық (басқаша айтқанда, вакуумның нөлге тең емес энергиясы мен қысымы бар деп жорылады).

Қазіргі уақытта барлық белгілі сенімді бақылау деректері бірінші гипотезаға қайшы келмейді, ол космологияда стандартты гипотеза ретінде қабылдана бастады. Басқа нұсқалар арасындағы соңғы таңдау әлі аяқталған жоқ, ол үшін Ғаламның кеңею жылдамдығын өте дәл өлшеуге және жылдамдықтың уақыт бойынша қалай өзгеретінін көрсетуге мүмкіндік беретін ұзақ уақыт қажет. Ғаламның кеңею қарқыны космологиялық теңдеуімен сипатталады. Қараңғы энергия үшін күй теңдеуін шешу қазіргі заманғы бақылау космологиясының көкейкесті міндеттерінің бірі болып табылады.



Қосымша деректер

2019 жылы канадалық Джеймс Пибла және швейцариялық ғалымдар Мишель Майер мен Дидье Кело астрономия саласындағы зерттеулері үшін физика бойынша Нобель сыйлықтарын алды.

Джеймс Пибла физикалық ғарышнамадағы теориялық зерттеулері үшін лауреат атанды. Ол бірінші рет Үлкен Жарылыстан кейін Ғаламды толтырған реликтивті (қалдық) сәулелердің бар екендігін болжаған болатын.

1995 жылы Мишель Майер мен Дидье Кело Күн жүйесінен тысқары бірінші экзопланетаны ашқандары үшін марапатталды. Олардың ашқан планетасы 51 Pegasi жұлдызының төңірегінде айналады. Бұл жұлдыз Күн сияқты жұлдыздар тобына кіреді. Содан бері осындай экзопланеталардың төрт мыңнан астамы ашылды.



Сұрақтар

1. Ғаламның бақылаудағы, бақыланатын және бақыланбайтын бөліктері қалай аталады?
2. Ғаламның эволюциялық даму процесі қандай мағлұматтар береді?
3. «Қараңғы материя» ұғымы қалай сипатталады?
4. «Қараңғы энергия» ұғымы қалай сипатталады?
5. Қараңғы энергияның мәнділігін түсіндірудің қандай гипотезалық нұсқалары бар?

**Тапсырма (эксперименттік зерттеу)**

Галактикалар қозғалысының модельдік процестерін қарастырыңдар. Ол үшін диаметрі 23 см-дей болатын сфералық шарды пайдаланыңдар. Шарды алманың көлеміндей болғанша ауамен толтырып, оның бетіне қара маркермен 20 нүктені (галактикаларды) салыңдар. Айнаның алдында тұрып, ауасы алдын ала шығарылған шарды үргілеп, ауамен қайыра толтырған кездегі нүктелердің жылжуын бақылаңдар. Алыстаған немесе жақындаған нүктелер болды ма? Өз бақылауларың бойынша қорытынды жасаңдар.

§ 9.5**Үлкен Жарылыс теориясы. Қызыл ығысу**

1. XX ғасырда Ғаламның кеңеюін растайтын екі эксперименттік дерек: *қызыл ығысу, релятивтік сәулелену* белгілі болды.

1922 жылы А.А. Фридман А. Эйнштейннің жалпы тартылыс теориясының негізінде Ғаламның стационарлық бола алмайтынын көрсетті. 1912 жылы америкалық астроном Весто Слайдер галактикалардың спектріндегі қызыл ығысуды анықтады, бұл галактикалардың бізден алыстап бара жатқандарын білдіретін еді.

1929 жылы галактикалардың спектрлерін бақылаудан америкалық астроном Эдвин Хаббл мынадай заңды тұжырымдады: *галактикалардың алшақтау жылдамдығы оларға дейінгі қашықтықтың өсуіне пропорционал:*

$$v = HR, \quad (9.6)$$

мұндағы H – Хаббл тұрақтысы; R – зерттелетін галактикаға дейінгі қашықтық.

Бұл заң – ғалымның құрметіне *Хаббл заңы* деп аталады.

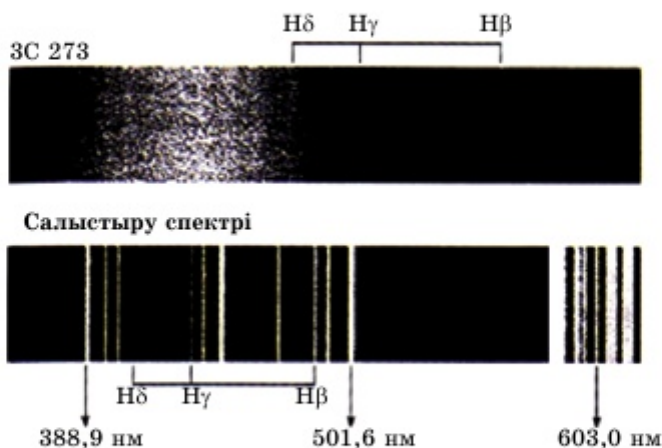
Хаббл тұрақтысы қазіргі уақытта $H = 66,93 \pm 0,62$ (км/с)/Мпк шамасына тең деп қабылданды. Хаббл заңы біздің Галактика кеңейіп жатқан Ғаламның орталығы болып табылады дегенді білдірмейді. Ғаламның кез келген нүктесіндегі бақылаушы, біздің көргеніміздей, ғарыш кеңістігін көреді: барлық галактикаларда оларға дейінгі қашықтыққа пропорционал қызыл ығысу орын алады. Сондықтан кеңістіктің өзі кеңейеді деп те айтылады. Бұны, әрине, шартты түрде түсіну қажет: галактика, жұлдыз, планета және сіз бен біз бірге кеңеймейміз.

2. Қазіргі уақытта Ғаламның бізді қоршаған бөлігінің жан-жаққа шашырай алшақтауын **Үлкен Жарылыстың** нәтижесімен байланыстырады.

Галактикадағы *қызыл ығысу* оларға дейінгі қашықтықты үлкен дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Галактика спектріндегі сызықтардың ығысуы артқан сайын галактика да алысырақ алшақтайды (9.5.1-сурет). Галактикаға дейінгі қашықтықты анықтаудың бұл әдісі физикадан белгілі *Доплер эффектісіне* негізделген.

Электрмагниттік тербелістердің қандай да бір көзі (мысалы, қозғалыстағы галактика) бар деп есептейік. Егер бұл көз бақылаушыға қатысты қозғалса, онда Доплер эффектісі бойынша одан тараған сәулелік жиілігі бақылаушымен байланысқан координаталар жүйесінде сәуле шыққан көздің жылдамдығына да, жарық

жылдамдығына да тәуелді өзгереді. Көз алыстағанда сәуленің тербеліс жиілігі азаяды, жақындағанда көбейеді.



9.5.1-сурет. Спектрдің қызыл ығысуы

Егер жиілікті қолданбай, толқын ұзындығы қолданылса, онда бақылаушымен байланысқан координаталар жүйесінде көзден шыққан сәуле мына формуламен өрнектеледі:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c},$$

мұндағы $\Delta\lambda = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ – толқын ұзындығының өзгеруі, v – галактиканың алыстау жылдамдығы, c – жарық жылдамдығы, λ_0 – зертханалық, қозғалмайтын көздің толқын ұзындығы. Екінші жағынан, көздің (яғни галактиканың) алшақтау жылдамдығы Хаббл заңы бойынша анықталады:

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = HR, \quad (9.7)$$

мұндағы H – Хаббл тұрақтысы, R – галактикаға дейінгі қашықтық. Қызыл ығысу шамасын біле отырып, мысалы, $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$, кейбір Галактика үшін біз оған дейінгі қашықтықты анықтай аламыз.

Хабблдың кеңею уақыты (біздің Ғаламның кеңею уақытына жақын болуы мүмкін) $t_H = 1/H = 14$ миллиард жыл, ал Хаббл қашықтығы (әлемнің шартты өлшемі) $R = c/H = 4\,300$ Мпк.

Қазіргі уақытта қызыл ығысулар жүздеген мың галактикада өлшенген. Олардың ішіндегі ең алысы 12 миллиард жарық жыл қашықтықта орналасқан.

Ғаламның эксперименттік кеңеюі Хаббл заңына сәйкес алшақтап бара жатқан галактикалардың спектрлік сызықтарының қызыл ығысуы түрінде көрініс береді, сондай-ақ оларда орын алған түрлі процестердің көрінерлік өту уақытының ұзаруы да (асқынжаңадағы жарықтың ұзақтығы және т.б.) дәлел бола алады.

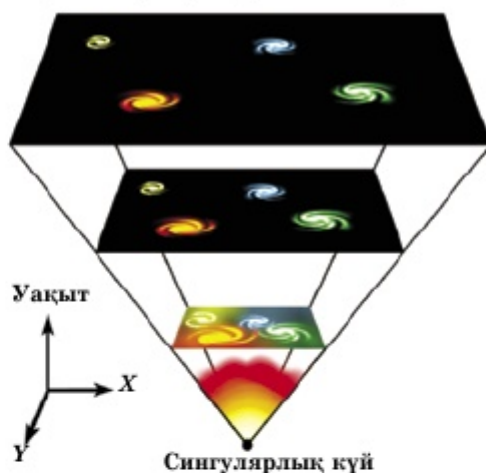
3. Ғалам бастапқы асқынтығыздықтан және асқыныстық күйден *Үлкен Жарылыс* деп аталатын жарылыстан бастап кеңею үстінде.

Үлкен Жарылыс – Ғаламның ерте дамуын сипаттайтын жалпы қабылданған космологиялық модель, атап айтқанда, Ғалам кеңеюінің бастауы.

Заттың шексіз тығыздығы және температурасымен сипатталатын Үлкен Жарылыстың алдындағы Ғаламның күйі космологияда сингулярлық күй деп аталады.

Космологиялық сингулярлық жалпы салыстырмалылық теориясымен және басқа да теориялармен болжанатын гравитациялық ерекшеліктердің бір мысалы болып табылады.

Қазіргі заманғы көзқарастар бойынша біз байқаған Ғалам шамамен 14 млрд жыл бұрын қандай да бір бастапқы сингулярлық күйден пайда болды және содан бері үздіксіз кеңейіп, салқындап келеді (9.5.2-сурет). Қазіргі физикалық теорияларды қолданудың белгілі шектеулеріне сәйкес сипаттала алатын Ғаламның ең алғашқы пайда болу кезеңі *Планк дәуірі* деп аталатын сәтке сәйкес келеді; мұндай сәт температураның 10^{32} К шамасымен, ал тығыздықтың 10^{93} г/см³ шамасымен сипатталады. Әу бастағы Ғалам энергиясының тығыздығы да, температурасы да, қысымы да ғаламат зор біртекті әрі изотропты орта деп сипатталады. Кеңею және салқындау нәтижесінде Ғалам элементар бөлшектердің фазалық ауысуларын бастан кешірді; элементар бөлшектердің мұндай фазалық ауысуларын газ атомдарының сұйық күйге айналуына ұқсастыруға болады. Газдан сұйықтықтың конденсациясына ұқсас фазалық өтулерді элементар бөлшектер де бастан кешті.



9.5.2-сурет. Ғаламның Үлкен Жарылыстан кейін кеңеюі

Үлкен Жарылыстың барлық сатыларында *космологиялық принцип* орындалатынын атап өту қажет. Бұл принцип бойынша Ғалам кез келген берілген уақытта кеңістіктің кез келген нүктесіндегі бақылаушы үшін бірдей болып көрінеді. Осыған орай, кез келген уақытта кеңістіктің барлық нүктелерінде материяның тығыздығы орта есеппен бірдей. Үлкен Жарылыс бос кеңістіктегі динамит шашкасының жарылысына ұқсамайды, мұндай жарылыста зат шағын көлемнен қоршаған айналада кеңейе бастайды, нақты кеңейту фронты сфералық

газ бұлтын құрады, оның сыртында вакуум болады. Үлкен Жарылысты осылайша елестету қате. Шын мәнінде, Үлкен Жарылыс кеңістіктің барлық нүктелерінде бір мезгілде және синхронды болды, жарылыс орталығы сияқты қандай да бір нүктені көрсетуге болмайды, кеңістікте қысым мен тығыздықтың үлкен масштабы градиенттері де, кеңейе түскен затты бостықтан бөлетін ешқандай шегара немесе фронттар да болған емес. Үлкен Жарылысты кеңістіктің өзіндегі материямен кеңеюі ретінде елестету керек.

4. Ыстық Ғаламның моделі – Ғаламның эволюциясы элементар бөлшектерден тұратын тығыз ыстық плазма күйінен басталады, одан әрі адиабаттық космологиялық кеңеюден өтеді дейтін космологиялық модель.

Алғаш рет Ыстық Ғаламның моделін 1947 жылы Г.А. Гамов қарастырды. Ыстық Ғаламның моделінен туындайтын ең маңызды болжам бақылау арқылы тіркеуге болатын **реликтивтік сәулеленулердің** Ғалам кеңістігінде бар екендігі туралы пайымдау еді. Мұндай сәулеленулер Үлкен Жарылыстан кейін Ғаламның эволюциясы барысында иондар (негізінен, сутек пен гелий иондары) мен электрондардың нейтрал атомдарға рекомбинациялау кезінде пайда болады, олардың спектрлері абсолют қара дененің спектріне ұқсас сипатталады.

Аталған модель бойынша Ғаламның ірі масштабы құрылымы гравитациялық тұрақсыздыққа байланысты бастапқы біртекті емес өсудің салдарынан туындайды. Бұл аспектіде Ыстық Ғалам моделінің негізгі проблемасы – бастапқы біртексіздік спектрін түсіндірместен қабылдауы немесе өлшеулерден алына салуы болып табылады.

1970-жылдардың соңынан бастап Ыстық Ғаламның моделінде элементар бөлшектердің пайда болуы симметрияның спонтанды бұзылуының көмегімен сипатталады. Ыстық Ғаламның моделінің көптеген кемшіліктері Ғаламның инфляциялық моделін құру нәтижесінде 1980-жылдары шешілді.

Сондай-ақ бұл теорияның Үлкен Жарылыс болды ма немесе болмады ма деп дәлелдеп жатпай-ақ, оған тәуелді емес екендігін атап өту маңызды. Сонымен қатар реликтивтік сәулеленулердің ашылуы және олардың анизотропиясын өлшеуден кейін Ыстық Ғаламның моделі бақылаулармен жақсы расталған соң екі ұғым бір-бірімен араласып, Үлкен Жарылыс туралы айтылғанда көкейге «Ыстық Ғалам» оралады.

Реликтивтік сәуле шығару ғарыштағы электрмагниттік сәулеленудің жалпы фонын құрайтын компоненттерінің бірі болып табылады. Ол аспан сферасы бойынша біркелкі таралған және қарқындылығы бойынша температурасы 3К маңындағы абсолют қара дененің жылулық сәуле шығаруына сәйкес келеді. Реликтивтік сәулеленудің Ғаламда бар екенін 1965 жылы америкалық ғалымдар А. Пензис пен Р. Уилсон анықтады. Оларға осы жаңалығы үшін 1978 жылы Нобель сыйлығы тапсырылды.

Реликтивтік сәулеленудің қасиеттері Г.А. Гамовтың Ыстық Ғалам моделі туралы гипотезасымен жақсы үйлеседі; бұл гипотеза бойынша Ғаламның кеңеюінің ең алғашқы кезеңінде плазма мен электрмагниттік сәулеленудің тығыздығы жоғары, температурасы 10^9 К шамасында немесе одан да үлкен болды. Ғалам кеңіген сайын плазманың және онымен термодинамикалық тепе-теңдікте тұрған сәулеленудің температурасы төмендей берді. Температура 4000 К шамасына жеткенде протондар мен электрондар рекомбинацияға түсіп, нейтрал зат (сутек пен гелий) түзіле бастайды; осылайша нейтрал затқа айналған плазма мен сәулелену арасындағы тепе-теңдік бұзылады. Соның салдарынан сәулелену

кванттарының заттарды иондауға қажетті энергиялары жетіспейді де, олар мөлдір ортадан өткен сияқты емін-еркін нейтрал заттардан өтіп, кеңістікте өз бетінше тарай бастаған бұл сәулеленудің температурасы төмендей келе, біздің дәуірде 3 К шамасына жуық деңгейге жетті. Міне, осылайша бұл сәулелену осы күнге дейін жетіп, рекомбинация мен нейтрал сутек пен гелий атомдарының пайда болу дәуірінен елес беретін реликт сәулелену ретінде қабылданады. Космологиялық қызыл ығысумен қатар, реликтивтік сәуле шығару Үлкен Жарылыс теориясының басты дәлелдемелерінің бірі ретінде қарастырылады.

5. Ғаламда әртүрлі сатыдағы тіршіліктің де, ақылды да парасатты ғұмыр иелерінің де бар екендігі ақиқат. Оған Біздің Галактикадағы Күн жүйесінің Жер планетасындағы сан алуан тіршілік иелері мен саналы адамзат куә. Алайда *Біз жалғызбыз ба?* деген сұрақ туындайды. Өйткені Біздің Галактиканың өзінде 200 миллиардтан астам жұлдыз бар, ал оның сыртында тағы да 500 миллиардтан астам галактикалардың бар екендігін қазіргі ғылым жетістігі растап отыр. Міне, сондықтан ерте кезден бері адамзатты Жерден тыс өмір қызықтырды. Осы бағытта ғарыштық техникалармен жасалған зерттеулер мынадай нәтижелер беріп отыр:

- Меркурийде атмосфера мен су жоқ, температурасы -170° , $+430^{\circ}$ арасында өзгереді. Ендеше, Жердегі формадағыдай тіршілік ол жақта мүмкін емес.

- Шолпанның сыртқы бетінде қорғасын ($t = +475^{\circ}\text{C}$) ериді, қысымы Жерге қарағанда 95 есе жоғары, күкірт қышқылы бар. Өмір сүру мүмкін емес.

- Ай мен астероидтар тіпті жансыз көрінеді.

- Марстағы жағдай да өмір сүруге қолайсыз, себебі атмосфера сирек, ультракүлгін сәуле өте қарқынды және сұйық су жоқ. Дегенмен де планетаның суретіне зер салсақ, құрғақ өзендерге ұқсас су эрозиясының іздерін байқауға болады. Ерте заманда Марстың бетінде су мен өмірдің де болуы мүмкін. Бұл сұраққа тек Марстың топырағын егжей-тегжейлі зерттеуден кейін ғана жауап беруге болады, бірақ топырақты Жерге жеткізу қиын. «Викинг» қондырғысы Марстағы топырақтан органикалық заттар таба алмады. Дегенмен де марсиандық деп есептелетін (химиялық құрамы бойынша) метеориттерден көмірсутектер анықталды.

- Алып планеталардың атмосферасынан көптеген органикалық молекулаларды байқауға болады, бірақ қатты беті жоқ, өмір оларда мүмкін емес.

- Юпитердің серігі Еуропада атмосфера болмаса да, мұзды беткі қабатының астында өмір сүруге мүмкіндік беретін су бар, бірақ оны анықтау өте қиын.

Сонымен, біздің планетаралық зондтар кез келген планетаның бетіндегі өмір сүруге болатын жағдайды анықтауға мүмкіндігі болса да, алайда Жерден басқа Күн жүйесінде тіршіліктің бар екендігіне дәлеліміз жоқ. Осы орайда ғарыштағы аппараттардың Ғаламдағы тіршілік иелерінен келетін сигналдарды қабылдап, бізге жеткізе алатындығын білу үшін немесе өзге планетадағы тіршілікті анықтауға қабілеттігін тексеру мақсатында арнайы тәжірибелер жүргізілгенін айта кету керек. Мысалы, «Галилео» құрылғысының қабылдағыштары Жердегі техникалық өркениеттің бар екендігін көрсететін біздің радио және теледидар станцияларымыздың сигналдарын тіркеп, бізге қайыра ақпарат берді. «Галилео» телекамерасы Жердің тар диапазондағы жасыл өсімдіктің кескінін алып, фотосинтездің жүріп жатқанын анықтады. Күн жүйесіндегі басқа ешқандай денелерде мұндай жасыл түс жоқ. «Галилео» инфрақызыл спектрометрі планетаның

биологиялық белсенділігін көрсететін Жердің атмосферасында молекулалық оттектің және метанның бар екенін айғақтады.

Қазіргі кезде басқа жұлдыздардың планеталық жүйесі (*экзопланеталар*) зерттелу үстінде, ғарыштық кеңістік көптеген жиілікте тыңдалуда, Жердегі өмір мен өркениет туралы кодталған ақпарат ғарышқа жіберілуде. Алайда Ғаламдағы өркениеттерді іздестіру өзірге оң нәтиже берген жоқ.



Сұрақтар



1. Ғаламның кеңеюін қандай эксперименттік деректер дәлелдейді? Галактикадағы қызыл ығысу қалай түсіндіріледі?
2. Хаббл заңы және қызыл ығысу бойынша галактикалар қандай жылдамдықпен алшақтайды?
3. Үлкен Жарылыс арқылы Ғаламның эволюциялық дамуы қалай сипатталады?
4. Қандай моделді Ыстық Ғалам моделі деп атайды? Ыстық Ғалам моделінен қандай маңызды болжам жасалады?
5. «Реликтивтік сәуле шығару» дегеніміз не? Ол қашан және қалай туындаған? Реликтивтік сәулеленудің бар болу мүмкіндігін кім болжады? Эксперимент жүзінде кім ашты?
6. Меркурий, Шолпан, Ай және Марста өмір сүру неге мүмкін емес? «Экзопланеталар» дегеніміз не?



Топтық жұмыс

Өрбір топ астрономияның басқа ғылымдармен байланысын көрсететін Эйлер–Вен диаграммасын сызулары қажет. Салынған диаграмманы қорғау үшін осындай өзара байланыстың ең кем дегенде біреуін көрсету қажет. Ең көп қиылысулар жасап, оларды дәлелдей алған топ жеңімпаз атанады.



Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Спиральдік галактиканың қозғалысын көрсету. Биік мөлдір ыдыс көлемінің 3/4 бөлігін сумен толтырыңдар. Қағаз тескіштің (дыроколдың) жәрдемімен 20 қағаз дөңгелегін ойып алыңдар. Қағаз дөңгелектерін су бетіне салыңдар да, суды қарындаш не қаламмен жылдам айналдырып, судың бетіне бүйір жағынан қараңдар. Айналу центрінде спиральдік құрылым құраған қағаз дөңгелектерін (жұлдыздарды) бақылаңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

Есеп. Егер галактиканың алыстау жылдамдығы $2 \cdot 10^4$ км/с болса, онда ол бізден қандай қашықтықта болады?

Берілгені:

$$H = 66,9 \text{ (км/с)/Мпк}$$

$$v = 2 \cdot 10^4 \text{ км/с}$$

$$R = ?$$

Шешуі:

Хаббл заңын қолданып, қашықтықты анықтаймыз:

$$R = \frac{v}{H}$$

Есептеулерді жүргізейік:

$$R = \frac{2 \cdot 10^4}{66,9} = 299 \text{ Мпк.}$$

Жауабы: $R = 299 \text{ Мпк.}$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

А

- 9.5.1. $3 \cdot 10^8$ пк қашықтықта орналасқан галактиканың алыстау жылдамдығы қандай болады? (Жауабы: $2 \cdot 10^4$ км/с)
- 9.5.2. Андромеда тұмандығына дейінгі қашықтық $5 \cdot 10^5$ пк, ал сызықтық диаметрі $3,5 \cdot 10^4$ пк болса, қарапайым көзбен оны көруге бола ма? Көздің рұқсат ету қабілеті $2'$. (Жауабы: болады)

В

- 9.5.3. Галактикада жаңа жұлдыз анықталды, оның көрінерлік жұлдыздық шамасы +18, ал абсолюттік жұлдыздық шамасы -7. Галактикаға дейінгі қашықтықты табыңдар. (Жауабы: 10^6 пк)
- 9.5.5. Егер галактиканың қызыл ығысу спектрі 10^4 км/с жылдамдыққа сәйкес келсе, галактикаға дейінгі қашықтық қандай болады? (Жауабы: 149 Мпк)
- 9.5.4. Галактиканың көріну бұрышы 1° , ал оған дейінгі қашықтық $2,4 \cdot 10^5$ пк болса, оның сызықтық диаметрі қандай? (Жауабы: $4,2 \cdot 10^3$ пк)

IX ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Жұлдыз** – қойнауында өтетін термоядролық синтездік реакциялардың нәтижесінде жылу мен жарықты шығаратын массивті плазмалық шар.
- **1 астрономиялық бірлік** – Жерден Күнге дейінгі орташа қашықтық, 1 а.б. = $150 \cdot 10^9$ м.
- Жұлдыздан қарағанда Жер орбитасының a орташа радиусы көзге тік-бұрышты үшбұрыштың қарсы жатқан катеті түрінде көрінетін π бұрышы **жылдық параллакс** деп аталады.
- **Парсек** – Жер орбитасының орташа радиусы $1''$ бұрышында көрінетін қашықтық, 1 пк = 206 265 а.б. = 3,26 жарық жылы = $3,086 \cdot 10^{13}$ км.
- **Жарық жылы** – жарықтың бір жылда өтетін қашықтығы; 1 жарық жылы = 0,3069 пк = $9,46 \cdot 10^{12}$ км = 63 240 а.б.
- Қазіргі заманғы астрономиялық әдістерімен зерттеу үшін қолжетімді Ғаламның бақыланып отырған бөлігі **Метагалактика** деп аталады.
- **Қараңғы материя** – электрмагниттік сәулені шығармайтын және онымен тікелей өзара әрекеттеспейтін материяның гипотезалық түрі.
- **Қараңғы энергия** – Ғаламның математикалық моделіне енгізілген оның кеңеюі мен қозғалысын түсіндіруге арналған энергияның гипотезалық түрі.
- **Үлкен Жарылыс** – Ғаламның ерте дамуын сипаттайтын жалпы қабылданған космологиялық модель, атап айтқанда, Ғаламның кеңеюінің басталуы.
- **Реликтивтік сәуле шығару** (**микротолқынды фондық сәуле шығару**) – температурасы 3 К-ге жуық абсолют қара денеге тән спектрі бар жоғары дәрежелі изотропты ғарыштық электрмагниттік сәулелену.

ҚОСЫМША КЕСТЕЛЕР

1. Негізгі физикалық тұрақтылар

Еркін түсу үдеуі	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Жарықтың вакуумдағы жылдамдығы	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Элементар заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрлік тұрақты	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Планк тұрақтысы	$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Стефан–Больцман тұрақтысы	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Вин тұрақтысы	$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Бор радиусы	$r_B = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Массаның атомдық бірлігі	$1 \text{ м. а. б.} = 1,66053906660(50) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

2. Ондық үлестер қосымшалары

Аталуы	Белгіленуі	Негізгі бірлікке қатынасы	Аталуы	Белгіленуі	Негізгі бірлікке қатынасы
пета	П	10^{15}	деци	д	10^{-1}
тера	Т	10^{12}	санти	с	10^{-2}
гига	Г	10^9	милли	м	10^{-3}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	нано	н	10^{-9}
гекто	г	10^2	пико	п	10^{-12}
дека	да	10^1	фемто	ф	10^{-15}

3. Кейбір изотоптардың массасы (м. а. б)

Изотоп	Нейтрал атомның массасы	Изотоп	Нейтрал атомның массасы
${}^1_1\text{H}$ (сутек)	1,00783	${}^{10}_5\text{B}$ (бор)	10,01294
${}^2_1\text{H}$ (дейтерий)	2,01410	${}^{11}_5\text{B}$ (бор)	11,00931
${}^3_1\text{H}$ (тритий)	3,01605	${}^{12}_6\text{C}$ (көміртек)	12,00000
${}^3_2\text{He}$ (гелий)	3,01602	${}^{14}_7\text{N}$ (азот)	14,00307
${}^4_2\text{He}$ (гелий)	4,00260	${}^{15}_7\text{N}$ (азот)	15,00011
${}^6_3\text{Li}$ (литий)	6,01513	${}^{16}_8\text{O}$ (оттек)	15,99491
${}^7_3\text{Li}$ (литий)	7,01601	${}^{17}_8\text{O}$ (оттек)	16,99913
${}^8_4\text{Be}$ (бериллий)	8,00531	${}^{27}_{13}\text{Al}$ (алюминий)	26,98146
${}^{234}_{92}\text{U}$ (уран)	234,0409521	${}^{237}_{92}\text{U}$ (уран)	237,0487302
${}^{235}_{92}\text{U}$ (уран)	235,0439299	${}^{238}_{92}\text{U}$ (уран)	238,0507882
${}^{236}_{92}\text{U}$ (уран)	236,0455680(20)	${}^{239}_{92}\text{U}$ (уран)	239,0542933

4. Астрономиялық шамалар

Күн радиусы	$6,95 \cdot 10^8$ м
Күн массасы	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг
Айдың радиусы	$1,74 \cdot 10^6$ м
Айдың массасы	$7,35 \cdot 10^{22}$ кг
Жердің радиусы	$6,378 \cdot 10^6$ м
Жердің массасы	$5,976 \cdot 10^{24}$ кг

5. Жұлдыздардың өмір сүру уақытының массасына тәуелділігі

Жұлдыздар массасы, Күн массасымен	Уақыты, жыл
50	3–5 млн
10	30 млн
1,5	3 млрд
1,0	10 млрд
0,1	1 трлн

6. Элементар бөлшектердің тыныштық массасы

Протон	Нейтрон	Электрон
1_1P	1_0n	${}^{-1}_1e$
1,0072765 м. а. б.	1,0086649 м. а. б.	0,0005486 м. а. б.
$1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг	$9,1095 \cdot 10^{-31}$ кг

7. Химиялық элементтердің Д.И. Менделеев жасаған периодтық жүйесі

Период- Тар	Тоштар											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
1	H	He										
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne				
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar				
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni			
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd		
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt		
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds		

*Лантаноидтар (лантаноидтар)

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

**Актиноидтар (актиноидтар)

90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------

ГЛОССАРИЙ

Абсолют қара дене дегеніміз өзіне түсетін бүкіл энергияны жұтып алуға қабілетті дене.

Атомдық-құштік микроскоп (АКМ) — нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд пен үлгі атомдарының арасындағы Ван-дер-Ваальстік өзара әрекеттесу күшінің шамасын тіркеуге негізделген.

Атом электр станциясы (АЭС) — реакторда радиоактивті элементтердің тізбекті ядролық реакциясы кезінде бөлінген жылу энергиясы электр энергиясына түрленеді.

Айнымалы ток генераторы — энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына түрлендіретін құрылғы.

Айнымалы электр тогы — белгілі бір уақыт мезетінде периодты түрде өзгертін ток.

Байланыс — елдің экономикалық жүйесіндегі ең маңызды буыны, адамдардың қарым-қатынасы, олардың өндірістік, рухани, мәдени және әлеуметтік қажеттіліктерін қанағаттандыру.

Бұрыштық үлкейту — нәрсені оптикалық аспап арқылы бақылаған кездегі көру бұрышының құралсыз көзбен қараған кездегі көру бұрышына қатынасы аспаптың үлкейтуі: $\gamma = \frac{\varphi}{\psi}$ деп аталады.

Галактика — бұл жүздеген миллиард жұлдыздар мен жұлдызаралық ортадан тұратын гравитациялық түрде байланысқан жүйе.

Графен — көміртек атомдарының бірқыртысты наножарғағы.

Голография — бұл үшөлшемді объектілердің суреттерін лазермен жазып, бастапқы қалпына келтірілетін арнайы фотографиялық әдіс.

Жарық толқындарының дифракциясы деп жарық сәулелерінің геометриялық оптика заңдарынан ауытқып, мөлдір емес дененің геометриялық көлеңкесінің аймағына ену құбылысын айтады.

Дифракциялық тор — мөлдір емес аралықтармен бөлінген өте жіңішке саңылаулардың жиынтығы.

Жарық жылдамдығы (c) — біздің Ғаламның негізгі тұрақты шамаларының бірі және вакуумда өзара әрекеттесудің шекті жылдамдығын анықтайды.

Жарық дисперсиясы — бұл ортаның абсолюттік сыну көрсеткішінің жарық толқынының жиілігіне (ұзындығына) тәуелділігі себебінен жарықтың спектрге жіктелу құбылысы.

Жарықтың шағылу заңы — түскен сәуле, шағылған сәуле және екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады. γ шағылу бұрышы α түсу бұрышына тең.

Жартылай ыдырау периоды дегеніміз атомдардың бастапқы санының жартысы ыдырайтын уақыт.

Жарықжетектегіш — сыну көрсеткіші талшықтікінен аз мөлдір материал қабықпен жабылған, цилиндр тәрізді шыны талшықтар жиыны.

Жарық толқындарының интерференциясы когерентті жарық толқындарының қосылуы кезінде жарық ағынының кеңістікте қайта таралып, туындаған қорытқы толқынның бір жерлерде қарқындылық максимумдары, келесі жерлерде минимумдары пайда болады.

Жазық айна — одан шағылу кезінде параллель шоқтар дәл сол қалпында параллель болып қалатын тегіс бет.

Жарықтың сыну заңы — түскен сәуле, сынған сәуле және сол екі ортаның шегарасында сәуленің түсу нүктесінде тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады; түсу бұрышы (α) синусының сыну бұрышы (β) синусына қатынасы екі орта үшін де тұрақты шама:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Жылу электр станциясы (ЖЭС) — органикалық отынды (көмір, газ, мазут, шымтезек, сланец және т.б.) жағу кезінде түзілетін жылу энергиясы электр генераторын қозғалысқа әкелетін турбиналарды айналдыру үшін пайдаланылады.

Жұқа линза — бетінің қисықтық радиусымен салыстырғанда қалыңдығы аз болатын линза.

Жұлдыз — қойнауында өтетін термоядролық синтездің нәтижесінде жылу мен жарық шығаратын массивті газды шар.

Зондтық микроскопия — әртүрлі наноөлшемді зондтардың жәрдемімен зерттелетін беттің локалдық (нүктелік) бөлігіндегі механикалық, электрлік, магниттік және басқа да қасиеттерін анықтайтын әдістер жиынтығы.

Инфрақызыл сәуле шығару дегеніміз жиілігі $3 \cdot 10^{11}$ Гц – $3,75 \cdot 10^{14}$ Гц аралығындағы электромагниттік сәуле шығару.

Корпускулалы-толқындық дуализм деп жарықтың және басқа да элементар бөлшектердің екі жақтылық — әрі корпускулалық (бөлшектік), әрі толқындық табиғатының ажырамас біртұтастығын айтады.

Квазарлар — үлкен галактикалардың ядроларында қамтылған өте масштабты және ықшам заттар.

Линзаның фокалдық жазықтығы — басты оптикалық оське перпендикуляр бас фокус арқылы өтетін жазықтық.

Линзаның оптикалық күші, D шамасы — бас фокустың арақашықтығына кері шама.

Люминесценция — заттың энергияны жұтқаннан кейін табиғаты жылулық емес сәуле шығару құбылысы.

Механикалық тербелістер — бірдей уақыт аралықтарында дәл немесе дәлге жуық қайталанатын денелердің қозғалысы.

Математикалық маятник деп массалары еленбейтін ұзындығы l созылмайтын жіпке ілінген нүктелік денені айтады. Математикалық маятниктің тербеліс периоды Галилей формуласымен анықталады:

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

Нанобөлшек — өлшемдері нанометрмен өлшенетін молекулаларға қарайлас бөлшек.

Нанотехнология — жекелеген атомдар мен молекулалардың деңгейінде жұмыс істеу техникасы.

Наноматериалдар — нанобөлшектер мен наноэлементтерден (кристалшалардан, дәнектерден) құрастырылған әртүрлі нәрселер.

Нанотүтіктер — бір немесе бірнеше қабатты графендерден тұратын созылық цилиндрлік құрылым.

Наноробот — өлшемдері молекула өлшемдерімен қарайлас наноэлементтерден жасалған робот, ол атомдарды бір-бірлеп қозғау, молекулаларды өңдеу, ақпаратты жіберу және компьютерлік бағдарламаларды орындау қызметтерін атқарады.

Оптикалық аспаптар деп жарық сәулелері шоқтарын геометриялық оптика заңдарына сәйкес түрлендіре отырып, қарусыз көзге көрінбейтін микрообъектілерді немесе макрообъектілердің құрылымдық бөліктерін еселеп үлкейтетін, сондай-ақ жақын нәрселердің де, алыстағы аспан шырақтарының да көрінерлік барлық өлшемдерін ұлғайтатын құрылғыларды айтады.

Радиоактивтілік деп кейбір ядролардың әртүрлі бөлшектерді шығара отырып, өз бетімен басқа ядроларға түрлену қабілетін айтады.

Радиоактивті көздің активтілігі дегеніміз уақыт бірлігіндегі ыдыраулар саны.

Радиобайланыс — кеңістікте өткізгіш сымдардың көмегімен таралатын радиотолқындар арқылы ақпаратты жеткізу және қабылдау.

Радиолокация — радиотолқындар арқылы объектіні тауып, оның тұрған орнын дәл анықтауды айтады.

Рентген сәулесі — зарядталған бөлшектер жылдам үдегенде немесе атомдар мен молекулалардың электрондық қабықшаларындағы жоғары энергетикалық ауысулар өсерінен туындайды.

Сфералық айна — шағылдыратын беті сфера сегментінің түріне ие айна.

Сфералық айнаның формуласы: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.

Сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы деп жиіліктердің бірлік интервалына келетін жарықтың қарқындылығын айтады.

Сәуле шығару дегеніміз энергияның толқын және бөлшектер түрінде шығарылуы және таралуы.

Сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ) — нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд пен ток өткізгіш үлгі атомдарының арасындағы электрондық токтың шамасын тіркеуге негізделген.

Спектр — сәуле шығарудың спектрлік тығыздығының толқын ұзындығына немесе жиілікте тәуелділік қисығы.

Спектрлік талдау — спектрі бойынша заттың химиялық құрамын анықтау әдістері.

Сызықтық емес оптика — аса қуатты жарық шоқтарының қатты денелерде, сұйықтар мен газдарда таралуын және олардың заттармен әрекеттесулерін зерттейтін оптиканың аса маңызды саласы.

Синус немесе косинус заңдары бойынша уақытқа тәуелді өзгертін тербелісті гармоникалық тербеліс дейміз: $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

Серіппелі маятник деп екінші ұшы қозғалмайтын қатандығы k серіппеге бекітілген массасы m жүкті айтады. Серіппелі маятниктің периоды Гюйгенс формуласымен анықталады:

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

Су электр станциясы (ГЭС) — мұнда электр генераторларын айналдыратын гидравликалық турбиналар көмегімен су ағынының механикалық энергиясы электр энергиясына түрленеді.

Тербелістер — уақыт өтуіне қарай белгілі бір дәлдікпен немесе жуықтай қайталанып отыратын қозғалыстар немесе процестер.

Тербеліс периоды — гармоникалық тербелістер жасайтын жүйенің белгілі бір күйі қайталанып отыратын уақыт аралығы. Оны T әрпімен белгілейді.

Термодролық реакциялар деп өте үлкен температурада жеңіл ядролардың бірігу реакциялары аталады.

Трансформатор — тұрақты жиілікте айнымалы ток күші мен кернеуді түрлендіретін құрылғы.

Қараңғы материя — электрмагниттік сәулені шығармайтын және онымен тікелей өзара әрекеттеспейтін материяның гипотезалық түрі.

Қараңғы энергия — Ғаламның математикалық моделіне енгізілген оның кеңеюі мен қозғалысын түсіндіруге арналған энергияның гипотезалық түрі.

Фотон — тыныштық массасы және электр заряды жоқ, бірақ электрмагниттік әрекетті тасымалдайтын, электрмагниттік өрістің кванты болып келетін элементар бөлшек.

Фотозфект — жарықтың әсерінен заттардан электрондарды жұлып шығу құбылысы.

Ультрақұлгін сәуле жиілігі — $8 \cdot 10^{14}$ Гц-тен $3 \cdot 10^{16}$ Гц аралығындағы электр-магниттік сәуле шығару.

Үлкен Жарылыс — Ғаламның ерте дамуын сипаттайтын жалпы қабылданған космологиялық модель, атап айтқанда, Ғаламның кеңеюінің басы.

Фокустық арақашықтығы — линзаның оптикалық центрі мен оның фокусы арасындағы қашықтық.

Фуллерен — көміртектің 60 атомынан құралған футбол добына ұқсас тұрақты молекула.

Электрмагниттік тербелістер деп біртұтас электрмагниттік өрістің электрлік кернеу векторы \vec{E} мен магниттік индукция векторының \vec{B} өзара байланысқан тербелістерін айтады.

Электрмагниттік өріс — электр және магний өрістерінің біртұтас көрінісі. Электрмагниттік өріс — зарядталған бөлшектер өзара әрекеттесетін материяның ерекше бір формасы.

Электрлік резонанс деп айнымалы ток жиілігінің белгілі бір мәнінде ток күшінің тербеліс амплитудасының күрт өсу құбылысын айтады.

Электр энергетикасы — шаруашылықтың барлық секторларын электр энергиясымен және жылумен қамтамасыз ететін базалық инфрақұрылым.

Ядролық реакциялар — әртүрлі ядролардың элементар бөлшектермен (соның ішінде γ -кванттармен) немесе бір-бірімен әрекеттескен кездегі олардың жаңа ядролар мен бөлшектерге түрленуі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Ақылбеков Ә., Ермекова Ж., Дәулетбекова А. Физика. – Астана: Фолиант, 2015. – 440 б.
2. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я. Задачи по физике для поступающих в вузы. – М.: МГУ, 1968. – 336 с.
3. Воробьев И. И., Зубков П. И., Кутузова Г. А., Савченко О. Я., Трубачев А. М., Харитонов В. Г. Задачи по физике. – М.: Наука, 1988. – 416 с.
4. Гинзбург В. Л., Левин Л. М., Сивухин Д. В., Четверикова Е. С., Яковлев И. А. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика. М., 1977. – 320 с.
5. Гольдфарб Н. И. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Высшая школа, 1973. – 352 с.
6. Косов В. Н., Красиков С. А. Численное моделирование на уроках физики. – Алматы: Алматыкітап, 2015. – 240 с.
7. Московкина Е. Г., Волков В. А. Сборник задач по физике. – М.: ВАКО, 2017. – 320 с.
8. Оськина В.Т. Физика и астрономия. 9–11 классы: олимпиадные задания. – Волгоград.: Учитель, 2011. – 143 с.
9. Романова В. В. Астрономия. Практикум. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2016. – 112 с.
10. Рымкевич А. П. Физика. Задачник. 10–11 кл. Пособие для общеобразоват. учеб. заведений. – 6-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2002. – 192 с.
11. Сборник задач по курсу общей физики/Под редакцией Цедрика М. С. – М.: Просвещение, 1989. – 271 с.
11. Сборник задач и вопросов по физике/Под общей редакцией Жданова Л. С. – М.: Наука, 1974. – 368 с.
13. Трофимова Т. И., Фирсов А. В. Курс физики с примерами решения задач. Том 1. – М.: Кнорус, 2010. – 584 с.
14. Уокер Дж. Физический фейерверк. – М.: Мир, 1989. – 298 с.
15. Физика. 11 кл. Проф. уровень – п.р. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина. – 2011. – 420 с. PDF (91.3 Мб).
16. Физика. Механика. 10 кл. Проф. уровень_под ред. Мякишева Г. Я._2010 – 496 с. pdf (5.8 Мб).
17. Физика. Молекулярн. физика. Термодинамика. 10 кл. Проф. ур_Мякишев Г. Я., Синяков А. З._2010 – 352 с. pdf (4.4 Мб).
18. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. (углубл. изуч.)_Мякишев Г.Я., Синяков А.З._2002 – 464 с. djvu (8.7 Мб).
- 19 Физика. Электродинамика. 10–11 кл. Проф. уровень_Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков, Б.А. Слободсков_2010 – 480 с. pdf (5.8 Мб).
20. Уокер Дж. Физический фейерверк. – М.: Мир, 1989. – 298 с.

21. Физика. 10 кл. Учебник – Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский Н. Н. – 2008. – 368 с.djvu (9.8 Мб).
22. Физика. 10 класс. Учебник. Касьянов В. А. (2000, 416 с.).djvu (8.1 Мб).
23. Физика. 11 кл. Учебник – Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. – 2010. – 399 с. pdf (19.1 Мб).
24. Физика. Механика. 10 кл. Проф. уровень – под ред. Мякишева Г. Я. – 2010. – 496 с.pdf (5.8 Мб).
25. Физика. Часть 2. Энциклопедия для детей. М. Аксенова. – Издательство: Аванта+, 2007.
26. Физика будущего Митио Каку. – Издательство: Альпина нон-фикшн, 2018. – 584 с.
27. Agrawal P., Kitajima N., Reese M., Sekiguchi T., Takahashi F. Relicabundance of dark photon dark matter // Physics Letter B. – 2020. – Vol. 801. – 135136.
28. Arzumanov A., Batischev V., Berdinova N., Borissenko A., Chumikov G., Gorodisskaya N., Knyazev A., Koptev V., Lyssukhin S., Popov Y., Sychikov G., Zheltov, D. Radioisotope production at the Kazakhstan cyclotron //Journal of Radionalytical and Nuclear Chemistry. – 2003. – Vol. 257. – P. 215–218.
29. Zhurinov M.Z., Kassymbekov Z.K., Kassymbekov G.Z. Mastering and development hydropower in Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences. – 2019. – Vol. 3. – P. 219–224.
30. Klinovitskaya I., Plotnikov S., Kalygulov D., Lay P. The investigation of the properties of solar cells based on Kazakhstan silicon // Bulletin of the University of Karaganda – Physics. – 2019. – Vol. 3 (95). – P. 34–42.
31. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A. Electric field effect in atomically thin carbon films // Science. – 2004. Oct 22; 306(5696):666-9.

Интернет-ресурстар

1. <https://fiz.1sept.ru/fizarchive.php>
2. <http://www.edu.delfa.net/>
3. <http://www.eduspb.com>
4. <https://physics.ru/>
5. <https://videouroki.ru/>
6. <http://www.astonews.ru>
7. <http://www.cosmoworld.ru>
8. <https://www.elementy.ru/physics>
9. <http://www.inp.kz/>
10. <https://aphi.kz/>

МАЗМУНЫ

Алғы сөз.....	3
<i>I тарау. МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР</i>	
§1.1. Гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері	6
§1.2. Еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер.....	12
§1.3. Механикалық және электрмагниттік тербелістердің ұқсастығы	17
<i>II тарау. АЙНЫМАЛЫ ТОК</i>	
§2.1. Айнымалы ток генераторы	24
§2.2. Айнымалы ток	27
§2.3. Айнымалы ток тізбегіндегі резонанс	31
§2.4. Электр энергиясын өндіру және жеткізу. Трансформатор.....	36
№1 зертханалық жұмыс. Трансформатор орамдарының санын анықтау	42
§2.5. Қазақстанда және әлемде электр энергиясын өндіру және пайдалану	43
<i>III тарау. ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР</i>	
§3.1. Электрмагниттік толқындарды шығаруы және оларды қабылдау.....	50
§3.2. Электрмагниттік толқындардың қасиеттері	54
§3.3. Радиобайланыс. Детекторлық радиоқабылдағыш	57
§3.4. Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер. Байланыс арналары	66
§3.5. Байланыс құралдарының дамуы.....	68
<i>IV тарау. ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА</i>	
§4.1. Жарық интерференциясы. Жарық дифракциясы	76
§4.2. Дифракциялық торлар	82
№2 зертханалық жұмыс. Дифракциялық тордың көмегімен жарық толқынының ұзындығын анықтау	85
§4.3. Жарық поляризациясы	86
№3 зертханалық жұмыс. Жарықтың поляризациясын бақылау	88
<i>V тарау. ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА</i>	
§5.1. Геометриялық оптика заңдары.....	92
§5.2. Оптикалық аспаптар	97
<i>VI тарау. АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА</i>	
§6.1. Жарықтың корпускулалы-толқындық табиғатының біртұтастылығы ...	106
§6.2. Спектрлік талдау	110
§6.3. Электрмагниттік толқындардың шкаласы	113
§6.4. Фотоэффект және оның қолданылуы	118
§6.5. Жарықтың химиялық әсері	123
§6.6. Рентгендік сәуле.....	125
§6.7. Лазер	128

VII тарау. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

§7.1. Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңдары.....	136
№4 зертханалық жұмыс. Жартылай ыдырау периодын анықтау	143
§7.2. Ядролық реакциялар. Ауыр ядролардың бөлінуі. Тізбекті ядролық реакциялар	144
§7.3. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану.....	151
§7.4. Ядролық реактор. Ядролық энергетика.....	155

VIII тарау. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

§8.1. Нанотехнология және оның негізгі жетістіктері	162
§8.2. Наноматериалдарды алу тәсілдері және даму перспективасы.....	166

IX тарау. ҚОСМОЛОГИЯ

§9.1. Жұлдыздар әлемі. Жұлдыздық шамалар.....	174
§9.2. Жұлдыздардың классификациясы	177
§9.3. Астрономиялық қашықтықтарды өлшеу	181
§9.4. Қараңғы энергия. Ғаламның кеңейуінің жеделдеуі.....	186
§9.5. Үлкен Жарылыс теориясы. Қызыл ығысу	189
Қосымша кестелер	196
Глоссарий	199
Пайдаланылған әдебиеттер	203

О қ у б а с ы л ы м ы

**Башарұлы Рахметолла
Шүнкеев Қуанышбек
Мясникова Людмила
Жантурина Нүргүл
Бармина Александра
Аймағанбетова Зухра**

ФИЗИКА

**Жалпы білім беру деңгейінің қоғамдық-гуманитарлық бағытындағы
11-сыныпқа арналған оқулық**

**Редакторы *Ү. Өмірзақ*
Көркемдеуші редакторы *А. Ысқақов*
Техникалық редакторы *Ү. Рысалиева*
Корректоры *Е. Амангелді*
Компьютерде беттеген *Ж. Есетова***

ИБ №056

Теруге 21.04.2019 берілді. Басуға 29.06.2020 қол қойылды. Пішімі 70×90^{1/16}.
Офсеттік қағаз. Мектептік өріп. Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 15,21.
Есептік баспа табағы 12,17. Таралымы 2000 дана. Тапсырыс №5179.
«Атамұра» корпорациясы» ЖШС-і, 050000, Алматы қаласы, Абылай хан даңғылы, 75.
Қазақстан Республикасы «Атамұра» корпорациясы» ЖШС-нің
Полиграфкомбинаты, 050002, Алматы қаласы, М. Мақатаев көшесі, 41.



Оглавление

page1
page2
page3
page4
page5
page6
page7
page8
page9
page10
page11
page12
page13
page14
page15
page16
page17
page18
page19
page20
page21
page22
page23
page24
page25
page26
page27
page28

page34

page35

page36

page37

page38

page39

page40

page41

page42

page43

page44

page45

page46

page47

page48

page49

page50

page51

page52

page53

page54

page55

page56

page57

page58

page59

page60

page61

page62

page63

page64

page69
page70
page71
page72
page73
page74
page75
page76
page77
page78
page79
page80
page81
page82
page83
page84
page85
page86
page87
page88
page89
page90
page91
page92
page93
page94
page95
page96
page97
page98
page99

page104
page105
page106
page107
page108
page109
page110
page111
page112
page113
page114
page115
page116
page117
page118
page119
page120
page121
page122
page123
page124
page125
page126
page127
page128
page129
page130
page131
page132
page133
page134

page139
page140
page141
page142
page143
page144
page145
page146
page147
page148
page149
page150
page151
page152
page153
page154
page155
page156
page157
page158
page159
page160
page161
page162
page163
page164
page165
page166
page167
page168
page169

page174
page175
page176
page177
page178
page179
page180
page181
page182
page183
page184
page185
page186
page187
page188
page189
page190
page191
page192
page193
page194
page195
page196
page197
page198
page199
page200
page201
page202
page203
page204