

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі ұсынған

Н.А. Закирова

Р.Р. Аширов

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің
11-сыныбының жаратылыстану-математикалық
бағытына арналған оқулық

11



ӘОЖ 373.167.1
КБЖ 22.3я72
3-16

3-16 Закирова Н.А., Аширов Р.Р.

Физика: жалпы білім беретін мектептің 11-сыныбының жаратылыстану-математикалық бағытына арналған оқулық./ Н.А.Закирова, Р.Р.Аширов.– Нұр-Сұлтан: «Арман-ПВ» баспасы, 2020. – 336 б.

ISBN 978–601–318–303–9

«Физика» оқулығы жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математикалық бағытындағы жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасына сәйкес жазылған. Материалдарды мазмұндауда оқытудың ғылыми ұстанымдары мен оқушылардың жас ерекшеліктері ескерілген.

ӘОЖ 373.167.1
КБЖ 22.3я72

ISBN 978–601–318–303–9

© Закирова Н.А.,
Аширов Р.Р., 2020
© «Арман-ПВ» баспасы, 2020

Барлық құқығы қорғалған. Баспаның рұқсатынсыз көшіріп басуға болмайды.

Шартты белгілер

Анықтамалар

Бақылау сұрақтары

Теориялық материал бойынша өзін тексеруге арналған сұрақтар

★ Жаттығу

Сыныпта орындалатын жаттығулар

Эксперименттік тапсырмалар

Зерттеу жұмыстарына арналған тапсырмалар

Шығармашылық тапсырма

Шығармашылық деңгейдегі тапсырмалар

Физика біздің өмірімізде

Халықаралық зерттеулер (TIMSS, PISA) форматындағы тапсырмалар

? Жауабы қандай?

- Физикалық құбылыстардың мәнін түсіндіруді талап ететін сұрақтар

👁 Бұл қызық!

- Тақырыпқа қатысты қосымша ақпараттар

🔄 Тапсырма

- Сыныпта орындалатын тапсырмалар

📄 Маңызды ақпарат

- Жаратылыстану ғылымдарынан ақпарат

🔍 Өз тәжірибең

- Сыныпта орындалатын эксперименттік тапсырмалар

🔗 Естеріңе түсіріңдер!

- Меңгерілген материалды қайталауға арналған тапсырмалар

✅ Есте сақтаңдар!

- Жадынама

⚠ Назар аударыңдар!

- Жаттығуды орындау кезінде қиындық тудыратын оқу материалы



Назар аудар

Электронды қосымша жүктелген CD қолжетімсіз болған жағдайда, қосымшаны *arman-pv.kz* сайтынан тауып, өз компьютеріңе жүктеп алуыңа болады

Алғы сөз

Құрметті оқушылар!

Сендер биыл орта мектепке арналған физика курсын аяқтайсыңдар.

Физика – табиғат туралы ең қызықты ғылымдардың бірі. Оның заңдарын тек мамандар ғана емес, күнделікті өмірде әрбір адам білуі қажет.

Физика – ең күрделі ғылымның бірі, ол ойлауға үйретеді, логиканы дамытады. Оның негізін терең зерттей отырып, көптеген мәселелердің шешімін табасыңдар, табиғат жұмбақтарына жауап іздейсіңдер.

10-сыныптың физика курсында сендер классикалық механика мен электрдинамиканы оқуды жалғастырдыңдар. 11-сынып курсының басым бөлігі – ХХІ ғасырдың физикасына арналады. Оқулықта салыстырмалылық теориясы, кванттық теория, атом ядросының физикасы және элементар бөлшектер туралы ұғымдар беріледі. Қазіргі физиканың классикалық физикадан айырмашылығы – уақыт өте келе өзгеруі мүмкін гипотезалар, постулаттардың көп болуы. Сендер әлі жауабы табылмаған көптеген сұрақтармен таныс боласыңдар. Жаңа сандық технологиялар радиотехникалық және оптикалық аспаптарды түбегейлі өзгертті. Мол ақпарат ағынын алуға және алмасуға мүмкіндік беретін техникалық аспаптар жоғары және өте жоғары жиіліктер диапазонында жұмыс істейді, бұл да аспаптар мен құрылғылар құрылымының өзгеруіне әсер етті.

Физика табиғат туралы ғылым ретінде дами береді, өйткені оның мақсаты – табиғатта болып жатқан құбылыстарды түсіндіру және олардың заңдылықтарын анықтау. Бізді қоршаған орта үнемі даму барысында үздіксіз өзгеріп отырады, соған байланысты алдымызда жаңа міндеттер мен мәселелер туындайды.

Оқулықтың құрылымы мынадай: әр параграфтан кейін бақылау сұрақтары, жаттығулар, эксперименттік және шығармашылық тапсырмалар берілген. Қазіргі заманғы физиканы бір оқулық аясында ашу мүмкін емес, ол қосымша материалды игеруді қажет етеді. Осы мақсатта шығармашылық тапсырмалар, берілген тақырыптар бойынша мультимедиялық және қарапайым презентация түрінде хабарламалар дайындау ұсынылған. Параграфтың мәтініне «Жауабы қандай?», «Бұл қызық!», «Өз тәжірибен», «Назар аударыңдар!», «Есте сақтаңдар!» деген айдарлар енгізілген, олар мәтіндік материалды толық түсінуге мүмкіндік береді.

Оқулықтағы зертханалық жұмыстарды орындау алған білімдеріңді практика жүзінде бекітуге көмектеседі. Жаттығулардың жауаптары оқулықтың соңында берілген.

Физиканы оқуда сәттілік тілейміз!

Авторлар



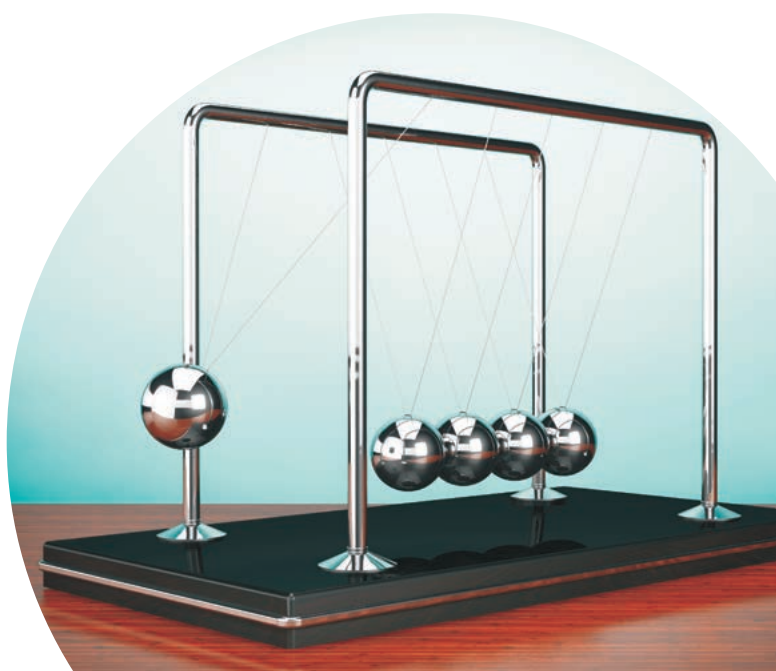
1-ТАРАУ

МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР

Тербелмелі қозғалыс – табиғатта ең көп таралған қозғалыс түрлерінің бірі. Тербелістерді зерттеу – микроәлем мен ғарыштық процестерді танып-білу құралы. Табиғатта ең көп таралған механикалық процестерге Жердің өз өсінен айналуы және Күнді айнала қозғалуы, сағат тілінің қозғалысы, тірі ағзалардың функционалдық белсенділігі сияқты қайталанатын қозғалыстар жатады.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

- эксперименттік, аналитикалық және графиктік тәсілмен гармоникалық тербелісті ($x(t)$, $v(t)$, $a(t)$) зерттеуді үйренесіңдер.

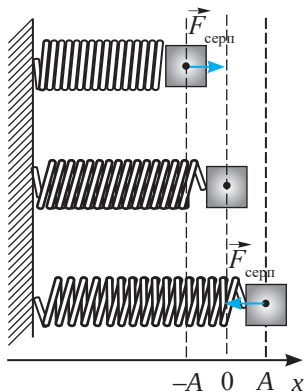


§ 1. Гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері

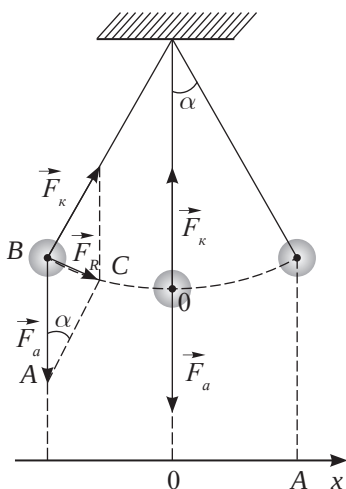
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- эксперименттік, аналитикалық және графиктік тәсілмен гармоникалық тербелісті $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ зерттеуді үйренесіңдер.



1-сурет. Серіппелі маятниктің тербелісін тудыратын күш



2-сурет. Математикалық маятниктің тербелісін тудыратын күштер

I Еркін гармоникалық тербелістердің пайда болу шарттары

Тепе-теңдік күйінен ығысқан денеге ығысуға пропорционал және тепе-теңдік күйіне бағытталған күш әсер еткен жағдайда, ол еркін гармоникалық тербеліс жасайды.

Тепе-теңдік күйі деп дененің оған әсер ететін барлық күштердің теңәсерлі күші нөлге тең болатын күйін айтады.

Тепе-теңдік күйінен шығарылған серіппелі маятниктегі денеге гармоникалық тербелістердің пайда болу шарттарын қанағаттандыратын серпімділік күші әсер етеді (1-сурет):

$$F_x = -kx. \quad (1)$$



1-тапсырма

- Тербелмелі қозғалыс жасайтын денелерге мысал келтіріңдер.
- Көрсетілген денелер ішінен еркін тербеліс жасайтын денелерді таңдаңдар: іштен жану қозғалтқышы (ІЖҚ) цилиндрінің поршені, механикалық сағат маятнигі, желдің әсерінен қозғалған тал бұтақтары, балалар өткеншегі, адам жүрген кездегі оның қолы.



2-тапсырма

Математикалық маятниктің тербелісі ығысуға пропорционал және тепе-теңдік күйіне бағытталған теңәсерлі күштің әсерінен болады: $F_R = -kx$.

2-суретті қолданып, математикалық маятникке әсер ететін теңәсерлі күш пен ығысу арасындағы пропорцио-

налдық коэффициенті $k = \frac{mg}{l}$ екенін дәлелдендер. (2)



Естеріңе түсіріңдер!

$$T = \frac{1}{\nu}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}; \quad \nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}.$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega_0 = 2\pi\nu; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

II Гармоникалық тербеліс заңдары

Математикалық және серіппелі маятниктерде синус немесе косинус заңдарымен жүретін еркін гармоникалық тербелістер орындалады.

Үйкеліс күштерін ескермесе, гармоникалық тербеліс заңдары мына түрге келеді:

$$x = A \cos \omega_0 t, \quad (3)$$

$$x = A \sin \omega_0 t, \quad (4)$$

мұндағы A – ығысудың амплитудалық мәні, ω_0 – меншікті циклдік жиілік.

Қозғалыс заңы (3) дене өз қозғалысын $x = A$ максимал ауытқу күйінен бастаған кезде қолданылады. Егер дене қозғалысын $x = 0$ тепе-теңдік күйінен бастаса, онда (4) қозғалыс заңы қолданылады.



Есте сақтаңдар!

Жалпы жағдайда гармоникалық тербеліс заңдары мынадай түрде болады:

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

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

мұндағы φ_0 – бастапқы фаза, ω_0 – меншікті циклдік жиілік.

III Тербеліс фазасы. Гармоникалық тербеліс фазасының периодпен байланысы

(3) және (4) қозғалыс заңдарындағы косинус немесе синус функциясының φ аргументін тербеліс фазасы деп атайды:

$$\varphi = \omega_0 t. \quad (5)$$

Фазаның өлшем бірлігі – 1 радиан, $[\varphi] = 1 \text{ рад}$.

Егер жүйенің тербелісін кез келген уақыт мезетінен бастап бақыласа, онда бастапқы тербеліс фазасы нөлге тең болмайды. Бұл жағдайда тербеліс фазасы мына формуламен анықталады:

$$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0, \quad (6)$$

мұндағы φ_0 – бастапқы тербеліс фазасы. $t = 0$ болғанда тербеліс фазасы бастапқы тербеліс фазасына тең: $\varphi = \varphi_0$.

Меншікті циклдік жиіліктің тербеліс периодымен байланысын $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ ескерсек, (5) формуладан шығатыны:

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T}. \quad (7)$$



3-тапсырма

Ағаш текшені тербелмелі қозғалысқа келтіретін күштің пропорционалдық коэффициентінің ығысуға тәуелділігін анықтаңдар.



4-тапсырма

Тербелмелі қозғалысты сипаттайтын кинематикалық шамалар: период, жиілік және циклдік жиілікке анықтама беріңдер. Олардың өлшем бірліктерін атаңдар.



Есте сақтаңдар!

Жүйенің меншікті жиілігі, циклдік жиілігі және периоды оны сипаттайтын шамаларға: жүктің m массасына және серіппелі маятник үшін серіппенің k қатандығына, математикалық маятник үшін оның жібінің l ұзындығына және еркін түсу үдеуіне тәуелді.

Тербелістің меншікті жиілігі тербеліс амплитудасына тәуелді емес.



5-тапсырма

(7) формуланы қолданып, $t = \frac{T}{4}$; $t = \frac{T}{2}$; $t = \frac{3T}{4}$;

$t = T$ уақыт аралықтарына сәйкес тербеліс фазасын анықтаңдар.

Тербеліс фазасы – берілген уақыт мезетіндегі тербелісті сипаттайтын және периодтың үлесімен өрнектелген уақыттың бұрыштық өлшемі.

IV Гармоникалық тербеліс теңдеулері

Дененің үдемелі қозғалысы кезінде Ньютонның екінші заңы қолданылады:

$$ma = F. \quad (8)$$

(1) және (2) маятниктерді қозғалысқа келтіретін күштерді ескерсек, серіппелі маятник үшін Ньютонның екінші заңы мына түрге келеді:

$$ma = -kx, \quad (9)$$

математикалық маятник үшін:

$$ma = -\frac{mg}{l}x. \quad (10)$$

Түзу бойымен қозғалатын дененің жылдамдығы – дене координатасының өзгеру шапшаңдығы $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, ал үдеу – дене жылдамдығының өзгеру шапшаңдығы

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ екені белгілі, Δt -ның аз мәнінде жылдамдықты дене координатасының бірінші ретті туындысы: $v = x'$, ал үдеуді дене жылдамдығының бірінші ретті туындысы ретінде анықтауға болады. Демек, үдеу дене координатасының екінші ретті туындысы:

$$a = x''. \quad (11)$$

(11) формуланы ескерсек, (9) және (10) формулалар мына түрге келеді:

$$x'' = -\frac{k}{m}x, \quad (12)$$

$$x'' = -\frac{g}{l}x. \quad (13)$$

(12) және (13) теңдеулерді мынадай түрде жазайық:

$$x'' = -\omega_0^2 x. \quad (14)$$

Алынған (12), (13) және (14) өрнектерді серпимділік және ауырлық күштерінің әсерінен *тербелетін дененің теңдеулері* деп атайды.

V Тербелмелі қозғалыстағы дененің жылдамдығы мен үдеуі

Жылдамдық пен үдеуді есептеу формулаларын қозғалыс заңдарынан оңай алуға болады:

$$v = x' = (A \cos \omega_0 t)' = -A\omega_0 \sin \omega_0 t \quad (15)$$

$$\text{немесе } v = x' = (A \sin \omega_0 t)' = A\omega_0 \cos \omega_0 t, \quad (16)$$

мұндағы $v_{\max} = A\omega_0$ (17) – жылдамдықтың амплитудалық мәні.

$$a = x'' = -A\omega_0^2 \cos \omega_0 t \quad (18)$$



6-тапсырма

(3) және (4) қозғалыс заңдары тербелмелі дене теңдеуінің (14) шешімі екенін дәлелдендер. Тербеліс жиілігі мен амплитудасы тұрақты шама болып қалады деп алып, дене координатасынан екінші ретті туынды алыңдар ((3) және (4) формулалар).



7-тапсырма

(17) және (20) формулаларды қолданып, максимал жылдамдық пен максимал үдеудің тербеліс периоды мен жиілігіне тәуелділік формулаларын жазыңдар.



8-тапсырма

$x = 0,2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ заңымен тербеліс жасайтын массасы 2 кг дененің жылдамдығы мен үдеуінің уақытқа тәуелділік теңдеулерін жазыңдар.



Өз тәжірибең

Серіппелі маятниктің амплитудасы мен периоды, жылдамдық пен үдеудің максимал мәнін, денеге әсер ететін күштің максимал мәнін анықтаңдар. Алынған мәліметтер бойынша маятник үшін координатаның, жылдамдықтың және үдеудің уақытқа тәуелділік графиктерін тұрғызыңдар.

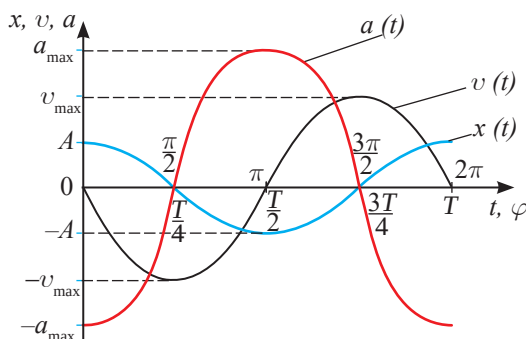
немесе $a = x'' = -A\omega_0^2 \sin \omega_0 t$, (19)
мұндағы $a_{\max} = A\omega_0^2$ (20) – үдеудің амплитудалық мәні.

VI Гармоникалық тербелістердің графиктері. Фазалар ығысуы

Бастапқы фазаның мәнін нөлге $\varphi_0 = 0$ тең деп алып, (3, 15, 18) тәуелділіктерді қолданып, бір период аралығындағы $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ тербеліс графиктерін тұрғызайық.

3-суреттен шамалардың тербелісі фазаның ығысуы бойынша орындалатынын көреміз. Жылдамдықтың тербелісі координата тербелісінен $\varphi = \frac{\pi}{2}$ -ге озады.

Үдеу тербелісі фаза бойынша координата тербелісіне қарама-қарсы фазада болады.



3-сурет. Координатаның, жылдамдықтың, үдеудің уақытқа және тербеліс фазасына тәуелділік графиктері

Фазалар ығысуы – бірдей тригонометриялық функциямен өрнектелген, жиіліктері бірдей гармоникалық тербелістердің фазаларының айырымы.

Үдеу үшін $\varphi_0 = 0$ болғанда (20) формуланы ескеріп, (18) формуладан алатынымыз:

$$a = -a_{\max} \cos \omega_0 t = a_{\max} \cos(\omega_0 t + \pi).$$

Үдеу тербелісі фаза бойынша координата тербелісін π -ға басып озады:

$$\Delta\varphi = (\omega_0 t + \pi) - \omega_0 t = \pi.$$

Алгебралық және графиктік жолмен алынған нәтижелер сәйкес келетінін көреміз.



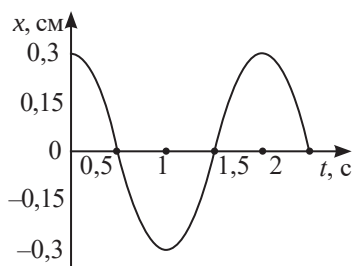
Жауабы қандай?

1. Неліктен тепе-теңдік күйінен максимал ауытқу сәтінде тербелмелі дененің жылдамдығы нөлге тең?
2. Неліктен ығысудың оң мәндерінде үдеу теріс мәнге ие?
3. Не себепті ығысу нөлге тең болғанда, үдеу де нөлге тең?



9-тапсырма

1. 4-суретте берілген график бойынша, амплитуданы, периодты, тербеліс жиілігі мен циклдік жиілікті анықтаңдар.
2. Тербелмелі қозғалыс заңын жазыңдар.
3. Жылдамдық пен үдеудің максимал мәндерін анықтаңдар.
4. Жылдамдық пен үдеудің уақытқа тәуелділік теңдеулерін жазыңдар.



4-сурет. Дене координатасының уақытқа тәуелділік графигі



Есте сақтаңдар!

Фазалар айырымын анықтау үшін келтіру формулаларын қолданып, шамалардың уақытқа тәуелділігін бір тригонометриялық функция арқылы өрнектеу керек.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай тербелістер гармоникалық тербелістер деп аталады?
2. Тербеліс косинус заңы немесе синус заңы бойынша орындалатын шарттарды атаңдар.
3. Тербеліс фазасы деп нені атайды? Фазалар ығысуы дегеніміз не?
4. Шамалардың тербеліс фазаларының ығысуы қандай шарттар орындалғанда анықталады?

★ Жаттығу

1

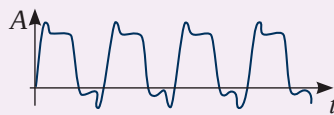
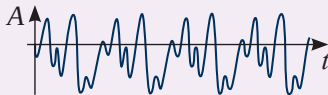
1. Шар амплитудасы 0,1 м гармоникалық тербеліс жасайды. Бастапқы уақыт мезетінде ол тепе-теңдік күйде болды. Шардың $T/12$ периодқа тең уақыттағы тепе-теңдік күйден ығысуын анықтаңдар.
2. Серіппеге ілінген жүк амплитудасы 0,1 м, периоды 1,57 с гармоникалық тербеліс жасайды. Жүктің қозғалыс кезіндегі максимал үдеуін анықтаңдар.
3. Аспап ішегінің өшпейтін тербелістерінің жиілігі 5 Гц. Ішектегі қандай да бір нүктенің тербеліс амплитудасы 1 мм. Осы нүкте 5 с ішінде қандай жол жүріп өтеді?
- 4*. Массасы 80 кг адам суда қалқып жүрген мұз кесегін басады, кесек адаммен бірге 2 с периодпен тербеле бастады. Беткі қабатының ауданы 1 м^2 , тығыздығы 900 кг/м^3 мұздың қалыңдығын анықтаңдар.
5. Материялық нүкте $x = 0,4 \cos \pi(2t + 1/2)$ заңы бойынша тербеліс жасайды. Нүкте координатасының уақытқа тәуелділік графигін тұрғызыңдар.
6. Материялық нүкте $x = 0,4 \sin \pi(2t - 1/2)$ заңы бойынша тербеліс жасайды. Материялық нүкте жылдамдығының уақытқа тәуелділігін және $t_1 = 2 \text{ с}$ уақыт мезетіндегі жылдамдығын анықтаңдар. Нүкте жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигін тұрғызыңдар.

Эксперименттік тапсырма

Сағат маятнігінің тербеліс амплитудасы мен периодын анықтаңдар. Алынған нәтижелер бойынша маятник үшін координатаның, жылдамдықтың және үдеудің уақытқа тәуелділік графиктерін тұрғызыңдар.

Шығармашылық тапсырма

«Гармоникалық тербелістер және музыка» (5-сурет) тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

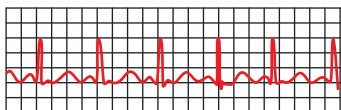


5-сурет. Музыкалық аспаптар мен олардың дыбыс тербелістері

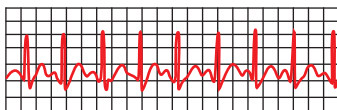
Энциклопедиялық сөздікте жүректің соғуына мынадай анықтама берілген:

Жүректің соғуы – (*лат. pulsus* – сокқы) артерия қабырғаларының жүректің жиырылуымен бірге периодты түрде сокқы тәріздес ұлғаюы. Тыныштық күйінде ересек адамның жүрегі 1 минут ішінде 60–80 рет соғады. 6–8-суреттерде жүректің қалыпты, үдемелі және баяу соғуының кардиограммалары берілген. Қалыпты жағдайда жүрек минутына 60 рет соғады деп санап, тахикардия мен брадикардия кезіндегі жүрек соғысының периоды мен жиілігін анықтаңдар.

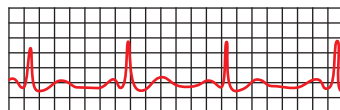
Жүректің жиырылуы гармоникалық тербеліске жата ма?



6-сурет. Жүректің қалыпты соғуы



7-сурет. Тахикардия – жүректің үдемелі соғуы



8-сурет. Брадикардия – жүректің баяу соғуы

Бұл қызық!

Жер қыртысының тербелісі

1. 1887 жылы 7,3 магнитудалы жер сілкінісі салдарынан шамамен 2000 км² ауданды алып жатқан құрылыс ғимараттары бұзылды. Тербеліс центрі Верный қаласынан (қазіргі Алматы) оңтүстікке қарай 10–12 км қашықтықта орналасты (9-сурет).
2. Верный қаласының құрылысы үшін жаңа орын таңдау Петербург тау-кен институтының профессоры И.В.Мушкетовқа тапсырылды.
3. Алматы және оның айналасындағы аймақ сейсмосенді аймаққа жатады.
4. Жер сілкінісін зерттеу және болжаумен Алматы қаласындағы ҚР БҒМ сейсмология институты айналысады.
5. ҚР БҒМ сейсмология институты жасаған статистикаға сүйенсек, 2015 жылы 11,5 мың жер сілкінісі тіркелген, 2016 жылы бұл көрсеткіш мыңға төмендеген.



9-сурет. Верный қаласының жер сілкінісінен кейінгі көрінісі, 1887 ж.

Тапсырма

1. Интернет желісі материалдарын қолданып,
 - ҚР-ның сейсмосенді аймақтарын;
 - жер сілкінісі себептерін;
 - осы аймақтарда өмір сүру қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қандай шаралар қолданылатынын анықтаңдар.
2. Рихтер шкаласын зерттеңдер. Магнитуданың қандай мәнінде қатты бұзылулар орындалады, ал қандай мәнінде жер сілкінісі сезілмейді?
3. Жер қыртысының тербелісі гармоникалық тербелістерге жата ма?

1-тараудың қорытындысы

Механикалық тербелістер	
Қозғалыс теңдеуі	$x'' = -\omega_0^2 x$; $x'' = -\frac{k}{m} x$; $x'' = -\frac{g}{l} x$
Қозғалыс заңы	$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$; $x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
Тербелмелі қозғалыс жылдамдығы. Максимал жылдамдық	$v = x' = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$; $v = x' = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$; $v_{\max} = A\omega_0$
Тербелмелі қозғалыс үдеуі. Максимал үдеу	$a = x'' = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$; $a = x'' = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$; $a_{\max} = A\omega_0^2$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктерінің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
a	үдеу	м/с ²	v	жылдамдық	м/с
$a_{\max}$	максимал үдеу	м/с ²	$v_{\max}$	максимал жылдамдық	м/с
x	ығысу	м	A	амплитуда	м
k	қатандық коэффициенті	Н/м	φ_0	бастапқы фаза	рад
m	жүктің массасы	кг	$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$	фаза	рад
l	жіптің ұзындығы	м	ω	циклдік жиілік	рад/с
T	период	с	ν	жиілік	Гц

Глоссарий

Тепе-теңдік күйі – дененің оған әсер ететін барлық күштердің теңәсерлі күші нөлге тең болатын күйі.

Фазалар ығысуы – бірдей тригонометриялық функциямен өрнектелген, жиіліктері бірдей гармоникалық тербелістердің фазаларының айырымы.

Тербеліс фазасы – берілген уақыт мезетіндегі тербелісті сипаттайтын және периодтың үлесімен өрнектелген уақыттың бұрыштық өлшемі.

ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

Электрмагниттік тербелістердің механикалық тербелістермен ұқсастықтары өте көп: олар бірдей сандық заңдарға бағынады.

Зарядтың, ток күші мен кернеудің периодты түрде өзгеруі электрмагниттік тербелістер деп аталады.

Физикалық құбылыстар арасында электрмагниттік тербелістер ерекше орынға ие, олар электртехникада, радиотехникада және физикалық оптикада кең қолданысқа ие болған электрмагниттік толқындарды тудырады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- еркін және еріксіз тербелістердің пайда болу шарттарын сипаттауды;
- механикалық тербелістер мен электрмагниттік тербелістерді сәйкестендіруді;
- компьютерлік модельдеу арқылы заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін зерттеуді үйренесіңдер.



§ 2. Еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер

Күтілетін нәтиже:

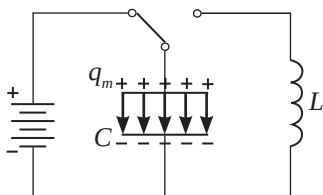
Осы параграфты игергенде:

- еркін және еріксіз тербелістердің пайда болу шарттарын сипаттай аласыңдар.



Жауабы қандай?

10-суретте көрсетілген тізбекте электрмагниттік тербелістер пайда болуы үшін не істеу керек?



10-сурет. Тербелмелі контур конденсаторының зарядталуы

I Еркін электрмагниттік тербелістер. Еркін тербелістер теңдеуі

Контурда тербелмелі процесс тудыру үшін екі тәсілді: конденсаторды зарядтауды (10-сурет) немесе сыртқы айнымалы магнит өрісімен шарғыда индукция ЭҚК-сын тудыруды қолдануға болады.

Тербелмелі контур үшін Ом заңын жазамыз:

$$u + iR_L = e_{is}, \quad (1)$$

мұндағы u – конденсатор астарларындағы айнымалы кернеу, e_{is} – шарғының өздік индукциясының ЭҚК-сы, i – тұйықталған контурдағы ток күші, R_L – шарғының активті кедергісі.

Егер тербелмелі контурды идеал контур етіп алсақ, яғни $R_L \rightarrow 0$, кернеуді конденсаторға берілген заряд арқылы өрнектесек: $u = \frac{q}{C}$, ал өздік индукция ЭҚК-сын шарғыдағы ток өзгерісі арқылы өрнектесек $e_{is} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -Li'$, (1) өрнек мына түрге келеді:

$$\frac{q}{C} = -Li'. \quad (2)$$

Аргумент болып табылатын уақыт аралығы өзгерісінің аз мәндерінде, $i = q'$, онда

$$i' = q''. \quad (3)$$

(3) өрнекті (2) өрнекке қойсақ, идеал контурда орындалатын процестерді сипаттайтын теңдеуді немесе тербелмелі контур үшін Ом заңын аламыз:

$$q'' = -\frac{1}{LC} q. \quad (4)$$

«Тербелістің меншікті циклдік жиілігі» ұғымын енгізейік:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad (5)$$

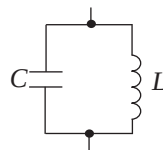
онда (4) формула мына түрге келеді: $q'' = -\omega_0^2 q$. (6)

Алынған (6) теңдеу контурдағы электрмагниттік тербелістерді сипаттайды.



Естеріңе түсіріңдер!

1. Өзара тұйықталған тізбекке жалғанған конденсатор мен индуктивтілік шарғысы электрмагниттік тербелістер орындалатын *тербелмелі контур* болып табылады (11-сурет).
2. Ток күші – уақыт бірлігі ішінде өткізгіштің көлденең қимасы арқылы өткен заряд мөлшері: $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$.
Уақыттың өте кішкене Δt аралықтарында ток күші зарядтың бірінші ретті туындысына тең болады: $i = q'$.



11-сурет. Тербелмелі контурдың электрлік сұлбасы. C – конденсатордың сыйымдылығы, L – шарғының индуктивтілігі



Жауабы қандай?

1. Қандай шарттар орындалғанда конденсатор астарларындағы зарядтың өзгеруі

$$q = q_m \cos \omega_0 t \quad (7)$$

заңымен сипатталады?

2. Қандай шарттар орындалғанда

$$q = q_m \sin \omega_0 t \quad (8)$$

заңын қолдану қажет?

3. Қандай шарттар орындалғанда заңдар

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

$$\text{немесе} \quad q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (9)$$

түрлерінде болады?

II Тербелмелі контурдағы еркін тербелістерді сипаттайтын шамалар

Тербелмелі контурда орындалатын процестер период, меншікті жиілік, циклдік жиілік, заряд, ток күші, кернеу сияқты шамалармен сипатталады.

Тізбектегі ток күшінің лездік мәнін (7) және (8) теңдеулердегі зарядтан бірінші ретті туынды алу арқылы анықтаймыз:

$$i = q' = -q_m \omega_0 \sin \omega_0 t = -I_m \sin \omega_0 t$$

$$\text{немесе} \quad i = q' = q_m \omega_0 \cos \omega_0 t = I_m \cos \omega_0 t. \quad (10)$$

Алынған өрнектерден контурдағы ток күшінің максимал мәні зарядтың максимал мәніне тәуелді екені шығады:

$$I_m = q_m \omega_0. \quad (11)$$

Конденсатор астарларында заряд қаншалықты көп болса, олардың арасындағы кернеу де жоғары болады: $u = \frac{q}{C}$. Тербелмелі контурда кернеу мен заряд бірдей заңдар бойынша өзгереді:

$$u = \frac{q_m}{C} \cos \omega_0 t \quad \text{немесе} \quad u = \frac{q_m}{C} \sin \omega_0 t. \quad (12)$$



Есте сақтаңдар!

Электрмагниттік тербелістердің периоды мен меншікті жиілігі тек конденсатор сыйымдылығына C және шарғының индуктивтілігіне L тәуелді. Олар зарядқа, ток күшіне және кернеуге тәуелді емес.

III Автотербелмелі жүйелер. Еріксіз тербелістер

Автотербелмелі жүйелер жиіліктері әртүрлі өшпейтін тербелістер алуға мүмкіндік береді. Бұл жүйелерде белгілі бір уақыт мезетінде энергия шығынының орнын толтырып отыратын энергия



1-тапсырма

1. Механикалық тербелістерді сипаттайтын § 1 (14) теңдеу мен электр-магниттік тербелістерді сипаттайтын (6) теңдеуді салыстырыңдар.
2. Шамалардың ұқсастықтары негізінде конденсатор астарларындағы зарядтың өзгеру заңдарын жазыңдар.



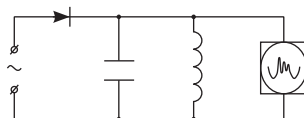
2-тапсырма

Меншікті циклдік жиілік формуласын (5) қолданып, электрмагниттік тербелістердің периоды мен жиілігін есептеу формулаларын жазыңдар.



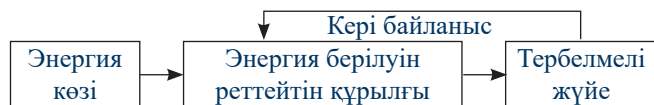
Өз тәжірибең

1. Сұлбасы 12-суретте көрсетілген тізбекті жинаңдар.
2. Не себепті контурда тербеліс амплитудасы азаяды? Амплитудасы азаятын тербелістерді қалай атайды?
3. Тербеліс жиілігінің конденсатор сыйымдылығы мен шарғының индуктивтілігіне тәуелділігін зерттеңдер.



12-сурет. Еркін электрмагниттік тербелістерді бақылауға арналған тізбектің сұлбасы

көздері бар. Автотербелмелі жүйенің негізгі элементтері 13-суретте көрсетілген.



13-сурет. Автотербелмелі жүйе құрылғысының жұмыс істеу принципінің сұлбасы

3-тапсырма

1. 13-суретте берілген автотербелмелі жүйе құрылғысының сұлбасын қарастырыңдар. Автотербелмелі жүйенің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
2. 14-суретке қараңдар. Жұмыс істеу принципінің сұлбасы негізінде автотербелмелі жүйенің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.

Жауабы қандай?

1. Автотербелісті еркін тербеліс деп санауға бола ма? Неге?
2. Автотербелісті еріксіз тербеліс деп санауға бола ма? Неге?

IV Транзисторлы генератор

15-суретте «транзисторлы генератор» атауына ие болған автотербелмелі электр жүйесінің сұлбасы берілген. Онда клапанның рөлін транзистор атқарады. Кері байланысты $L_{байл}$ байланыс шарғысы жүзеге асырады.

V Транзисторлы генератордың жұмыс істеу принципі

Егер $p-n-p$ транзистордың эмиттеріне оң потенциал берілсе, эмиттер – база өтуі ($p-n$) тура, ал база – коллектор өтуі ($n-p$) кері болады. Егер базадағы потенциал теріс болса, онда тізбекте ток пайда болады (16-сурет), базадағы потенциал оң болған кезде ток тоқтайды. Базадағы теріс потенциал байланыс шарғысында индукциялық ток тудырады (17-сурет).

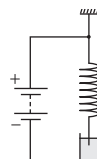
Естеріңізге түсіріңдер!

Транзистор – екі $p-n$ -өтуі бар жартылайөткізгіш аспап. Транзистор инерциалды емес, жиілігі кГц-тен ТГц-ке дейінгі жоғары жиілікті сигналдармен жұмыс істеу үшін қолданылады.



Есте сақтаңдар!

Автотербелмелі жүйелер – жүйенің ішіне энергия берілуі арқылы өшпейтін тербелістер жасалатын жүйелер.

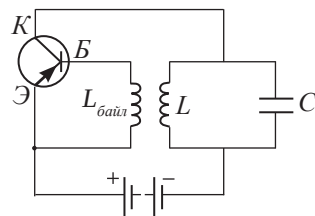


14-сурет. Автотербелмелі жүйе



Естеріңізге түсіріңдер!

Еріксіз тербеліс – периодты түрде әсер ететін сыртқы күштің әсерінен болатын тербеліс.



15-сурет. Автотербелмелі электр жүйесінің сұлбасы



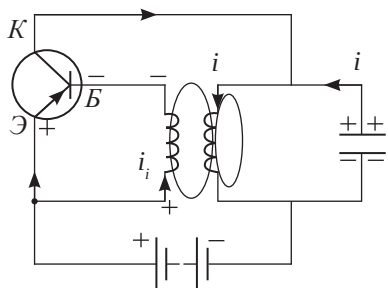
4-тапсырма

Автотербелмелі жүйенің негізгі элементтері және транзисторлы генератордың электр аспаптары арасында сәйкестік орнатыңдар.

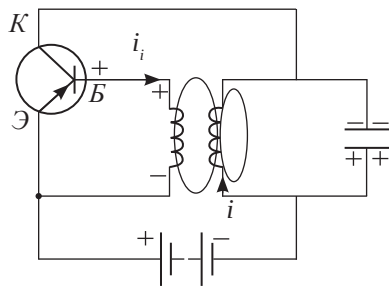


5-тапсырма

Ленц ережесіне сүйеніп, транзистор базасындағы потенциалдың өзгеруін түсіндіріңдер (16, 17-суреттер).



16-сурет. Эмиттер – база өтуі ашық.
Конденсатордың зарядталуы орындалады



17-сурет. Эмиттер – база өтуі жабық.
Конденсатордың зарядталуы тоқтайды



6-тапсырма

Транзисторлы генератор тудырған тербелістің жиілігін анықтаңдар. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 0,1$ мкФ конденсатордан және индуктивтілігі $L = 10^{-10}$ Гн шарғыдан тұрады.



Естеріңе түсіріңдер!

Индукциялық ток әрқашан оның магнит өрісінде осы токты тудыратын магнит ағынының өзгерісіне қарсы әрекет ететіндей бағытталады.



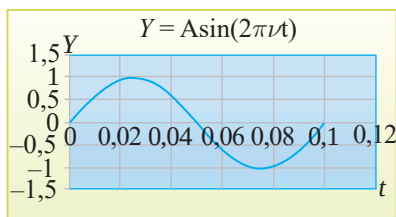
Жауабы қандай?

1. Тербелмелі контурда ток күші артқанда, байланыс шарғысындағы индукциялық ток бағытының теріс мәнге ие болуының себебі неде?
2. Автотербелмелі жүйелерде неліктен ток көзінен энергия берілу қатаң түрде белгіленген уақыт мезетінде ғана жүруі керек?

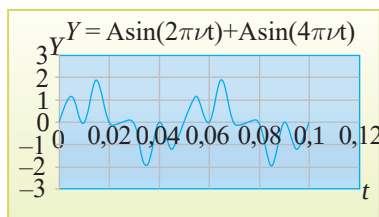


7-тапсырма

1. График мәліметтері негізінде $y = A \sin(4\pi t)$ тәуелділігі графигін бейнелеңдер (18, а-сурет).
2. Алынған графикті бастапқы графикпен қосыңдар, алынған нәтижені 18, ә-суреттегі графикпен салыстырыңдар.



а)



ә)

18-сурет. Тербелістерді қосу

Бақылау сұрақтары

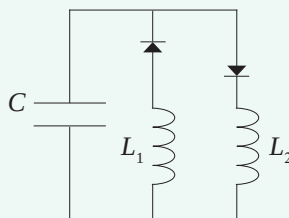
1. Қандай тербелістерді электрмагниттік деп атайды?
2. Электрмагниттік тербелісті сипаттайтын шамаларды атаңдар.
3. Тербелмелі жүйедегі процестерді сипаттау үшін қандай заңдар орындалады?

4. Автотербелмелі жүйе дегеніміз не?
5. Автотербелмелі жүйенің негізгі элементтерін атаңдар.
6. Автотербелмелі электр жүйесіндегі транзистордың рөлі қандай?
7. Транзисторлы генераторда кері байланыс қалай орындалады?

★ Жаттығу

2

1. Тербелмелі контурдың индуктивтілігі 100 мкГн болғанда, еркін электромагниттік тербелістердің жиілігі 2 МГц-ке тең. Электрсійымдылық өзгермесе, контурдағы тербелістердің жиілігі 4 МГц болуы үшін контурдың индуктивтілігі қандай мәнге ие болуы керек?
2. Тербелмелі контур индуктивтілік шарғысы мен параллель жалғанған екі бірдей конденсатордан тұрады. Егер конденсаторларды тізбектей жалғаса, контурдағы еркін электр тербелістерінің жиілігі неше есе артады?
3. Тербеліс жиілігі екі есе артуы үшін конденсатор пластиналарының арақашықтығын қалай өзгерту керек?
- 4*. 19-суретте бейнеленген контурдағы тербеліс периодын анықтаңдар. Контурға екі идеал жартылайөткізгіш диод қосылған.
 $C = 0,25 \text{ мкФ}$, $L_1 = 2,5 \text{ мГн}$, $L_2 = 4,9 \text{ мГн}$.

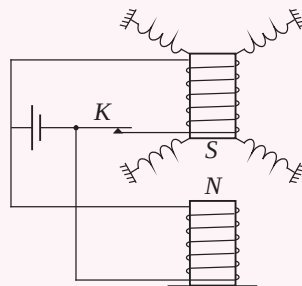


19-сурет. Идеал диодтары бар тербелмелі контур

Эксперименттік тапсырма

20-суретте берілген автотербелмелі жүйенің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер. Қондырғыны жинап, тербелмелі процестің сипаттамаларын, олардың сыртқы факторларға тәуелділігін зерттеңдер.

Тербелмелі жүйенің берілген моделі қандай практикалық қолданысқа ие болуы мүмкін?



20-сурет. Электрмеханикалық автотербелмелі жүйе

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар:

1. Тербелмелі контурдың және транзисторлы генератордың қолданылуы.
2. Тірі табиғаттағы электромагниттік тербелістер.

§ 3. Механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістер арасындағы ұқсастықтар

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- механикалық тербелістер мен электромагниттік тербелістерді сәйкестендіре аласыңдар;
- компьютерлік модельдеу арқылы заряд пен ток күшінің уақытқа тәуелділік графиктерін зерттей аласыңдар.

I Механикалық және электромагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалар арасындағы ұқсастықтар

Механикалық тербелістерді сипаттайтын барлық шамаларға электромагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалар арасынан ұқсас шама табуға болады (1-кесте).

1-кесте. Механикалық және электромагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың ұқсастықтары

Механикалық тербелістер	Электромагниттік тербелістер
Ығысу x	Заряд q
Тербеліс амплитудасы A	Максимал заряд q_m
Жылдамдық $v = x'$	Ток күші $i = q'$
Үдеу $a = v' = x''$	Ток күшінің өзгеру жылдамдығы $\frac{\Delta I}{\Delta t}$
Масса m	Индуктивтілік L
Қатаңдық коэффициенті k	Сыйымдылыққа кері шама $\frac{1}{C}$
Күш $F = ma$	Кернеу $u = e_i = Li'$

1-тапсырма

Тербелмелі контур үшін энергияның сақталу заңын

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} \text{ пайдаланып,}$$

электромагниттік тербелістер теңдеуін алыңдар § 2 (6).

Ұсыныс: Конденсатор сыйымдылығы, шарғының индуктивтілігі және толық энергия (бұл шамалардың туындысы нөлге тең) тұрақты шама болып қалады деп санап, толық энергиядан туынды алыңдар.

II Тербелмелі жүйе энергиялары

Шамалардың ұқсастықтары механикалық тербелістер формулаларына қарап, электромагниттік тербелістер формулаларын жазуға мүмкіндік береді. Мысалы, серіппелі маятниктің кинетикалық энергиясы дененің массасы мен жылдамдығы арқылы анықталады:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}. \text{ Электромагниттік толқындар үшін алатынымыз: } W_{\text{м.о.}} = \frac{Li^2}{2}. \text{ Серіппелі маятниктің потенциалдық энергиясы тепе-теңдік күйінен ауытқуымен анықталады:}$$

$$W_p = \frac{kx^2}{2}. \text{ Шамалардың ұқсастығы негізінде электромагниттік толқындар үшін:}$$

$$W_{\text{э.о.}} = \frac{q^2}{2C}. \text{ Демек, серіппелі маятниктің потенциалдық энергиясы зарядталған конденсатордың электр өрісінің энергиясына ұқсас, серіппелі маятниктің кинетикалық энергиясы индуктивтілік шарғысының магнит өрісінің энергиясына ұқсас.}$$

III Энергияның сақталу заңының механикалық және электромагниттік тербелістерге қолданылуы

Серіппелі маятникті тепе-теңдік күйінен шығарайық (21, *a-сурет*). Созылған серіппе максимал ауытқу күйінде максимал потенциалдық энергияға ие болады

$W_{\max} = \frac{kA^2}{2}$. Бұл кезде серпімділік күші тепе-тендік күйіне бағытталған және максимал мәнге $F_{\text{серп}\max} = kA$ ие. Дене тепе-тендік күйіне жақындағанда потенциалдық энергия кинетикалық энергияға айналады (21, а-сурет). Тепе-тендік күйінен өту кезінде кинетикалық энергия максимал мәнге дейін артады (21, б-сурет). Дене инерциямен тепе-тендік күйінен өтіп, серіппені сығады. Кинетикалық энергия потенциалдық энергияға айналады, серпімділік күші артады (21, в, г-суреттер) (2-кесте).

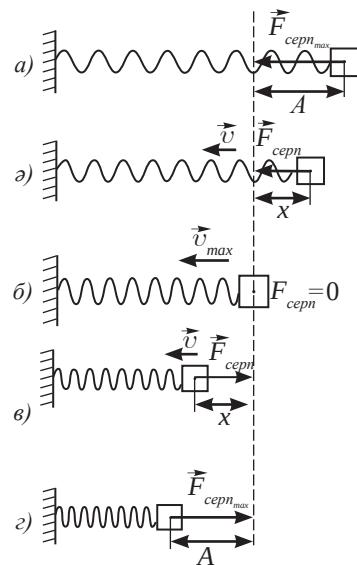
Кедергі күші болмаған жағдайда толық механикалық энергияның сақталу заңы орындалады:

$$W_p + W_k = \text{const}$$

немесе $W_{p1} + W_{k1} = W_{p2} + W_{k2}$, (1)

мұндағы W_{p1}, W_{k1} – маятниктің бірінші күйдегі потенциалдық және кинетикалық энергиялары;

W_{p2}, W_{k2} – маятниктің екінші күйдегі потенциалдық және кинетикалық энергиялары.



21-сурет. Серіппелі маятниктегі потенциалдық және кинетикалық энергиялардың өзара түрленуі

2-кесте. Серіппелі маятник тербелісінің энергиясы

Период үлесіндегі уақыт	Потенциалдық энергия	Кинетикалық энергия	Толық энергия
$t = 0$	$W_{p\max} = \frac{kA^2}{2}$	$W_k = 0$	$W = \frac{kA^2}{2}$
$t = \frac{T}{8}$	$W_p = \frac{kx^2}{2}$	$W_k = \frac{mv^2}{2}$	$W = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$
$t = \frac{T}{4}$	$W_p = 0$	$W_{k\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$	$W = \frac{mv_{\max}^2}{2}$
$t = \frac{3T}{8}$	$W_p = \frac{kx^2}{2}$	$W_k = \frac{mv^2}{2}$	$W = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$
$t = \frac{T}{2}$	$W_{p\max} = \frac{kA^2}{2}$	$W_k = 0$	$W = \frac{kA^2}{2}$

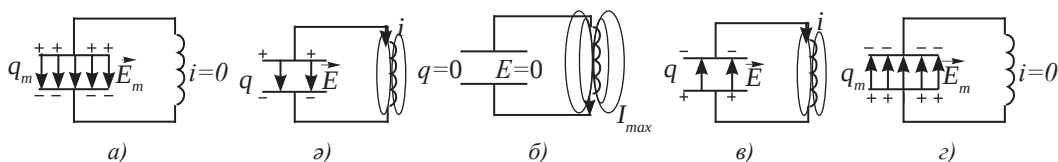


2-тапсырма

- 21-суретте және 2-кестеде берілген мәліметтерді қолданып, а және ө, ө және б, а және б күйлері үшін толық механикалық энергияның сақталу заңын жазыңдар.
- $t = \frac{5T}{8}$, $t = \frac{3T}{4}$, $t = \frac{7T}{8}$, $t = T$ уақыт аралықтары үшін тербелмелі жүйенің күйін бейнелеңдер. Осы уақыт мәндері үшін «Серіппелі маятник тербелісінің энергиясы» кестесін толықтырыңдар.

IV Энергияның сақталу заңының электромагниттік тербелістерге қолданылуы

Тербелмелі контурдағы электромагниттік тербелістерді қарастырайық (22, *а-сурет*). Бастапқы уақыт мезетінде конденсатор астарлары арасындағы электр өрісінің энергиясы максимал мәнге ие және контурдағы толық энергияға тең (3-кесте). Конденсатор разрядталғанда оның астарларындағы заряд және электр өрісінің энергиясы азаяды. Шарғыда ток пайда болады, магнит өрісінің энергиясы артады (22, *б-сурет*). Контурдағы толық энергия конденсатордың электр өрісінің энергиясы мен тогы бар шарғының магнит өрісінің энергиясының қосындысына тең. Төрттен бір периодтан кейін конденсатор астарларындағы заряд нөлге тең болады, шарғыдағы ток күші I_m максимал мәнге жетеді, осы кезде магнит өрісінің энергиясы максимал мәнге ие болады (22, *б-сурет*). Контурдағы толық энергия шарғының магнит өрісінің энергиясына тең. Конденсатордың зарядталуы барысында контурдағы ток күші азаяды (22, *в-сурет*), магнит өрісінің энергиясы электр өрісінің энергиясына айналады. Контурдың толық энергиясы конденсатордың электр өрісінің энергиясы мен тогы бар шарғының магнит өрісінің энергиясының қосындысына тең. Конденсатор жарты периодқа тең уақытта қайта зарядталады, оның астарларындағы заряд та қайтадан максимал болады, шарғыдағы ток күші жоғалады (22, *г-сурет*). Осы кезде магнит өрісінің энергиясы нөлге тең, электр өрісінің энергиясы максимал мәнге ие. Өрі қарай процесс кері реттілікпен орындалады.



22-сурет. Тербелмелі контурда электр және магнит өрістерінің энергияларының өзара түрленуі

Жылу шығыны болмаған кезде тербелмелі контурдың толық энергиясы тұрақты шама болып қалады:

немесе

$$W_{э.э.} + W_{м.э.} = const$$

$$W_{э.э.1} + W_{м.э.1} = W_{э.э.2} + W_{м.э.2} \quad (2)$$

мұндағы $W_{э.э.1} + W_{м.э.1}$ – электромагниттік тербелістердің тербелмелі контурдың бірінші күйіндегі толық энергиясы, $W_{э.э.2} + W_{м.э.2}$ – электромагниттік тербелістердің тербелмелі контурдың екінші күйіндегі толық энергиясы.



Жауабы қандай?

1. Егер индуктивтілік шарғысын реостатпен алмастырсақ, контурда тербелістер орындала ма?
2. Конденсатор қандай құбылыстың арқасында қайта зарядталады?
3. Конденсатордың қайта зарядталу уақытын арттыру үшін тербелмелі контурға қандай шарғыны қосу керек: индуктивтілігі жоғары шарғыны ма, әлде индуктивтілігі төмен шарғыны ма?

Период үлесіндегі уақыт	Конден- сатордың электр өрісінің энергиясы	Шарғының магнит өрісінің энергиясы	Толық энергия $W = W_{э.ө.} + W_{м.ө.}$
$t = 0$	$W_{э.ө. \max} = \frac{q_m^2}{2C}$	$W_{м.ө.} = 0$	$W = \frac{q_m^2}{2C}$
$t = \frac{T}{8}$	$W_{э.ө.} = \frac{q^2}{2C}$	$W_{м.ө.} = \frac{Li^2}{2}$	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$
$t = \frac{T}{4}$	$W_{э.ө.} = 0$	$W_{м.ө. \max} = \frac{LI_m^2}{2}$	$W = \frac{LI_m^2}{2}$
$t = \frac{3T}{8}$	$W_{э.ө.} = \frac{q^2}{2C}$	$W_{м.ө.} = \frac{Li^2}{2}$	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$
$t = \frac{T}{2}$	$W_{э.ө. \max} = \frac{q_m^2}{2C}$	$W_{м.ө.} = 0$	$W = \frac{q_m^2}{2C}$

V Электрмагниттік тербелістер графиктері

Электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың фазалық ығысуын анықтайық. Конденсатордағы заряд мына заң бойынша өзгереді делік:

$$q = q_m \cos \omega t. \quad (3)$$

Онда ток күшінің өзгерісі

$$i = -I_m \sin \omega t = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (4)$$

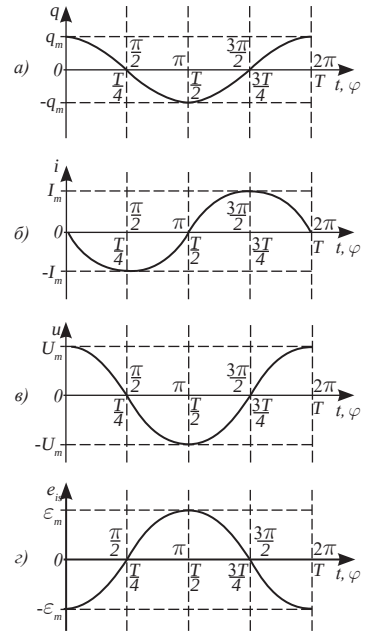
заңы бойынша орындалады. Конденсатор астарларындағы кернеу мына заң бойынша өзгереді:

$$u = \frac{q}{C} = \frac{q_m \cos \omega t}{C} = U_m \cos \omega t. \quad (5)$$

Шарғының магнит өрісі тудырған өрістің өздік индукция ЭҚК-сын мына формуламен анықтаймыз:

$$\begin{aligned} e_{is} &= -Li' = -Lq'' = -L(q_m \cos \omega t)'' = \\ &= Lq_m \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \pi) = \varepsilon_m \cos(\omega t + \pi). \end{aligned} \quad (6)$$

Барлық шамалар бір тригонометриялық функция арқылы өрнектелген. Фазалар айырымын анықтаймыз. Ток күшінің тербелісі конденсатордағы заряд тербелісін фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге озады. Конденсатор астарларындағы кернеудің тербелісі заряд тербелісімен бірдей фазада жүреді. Конденсатордағы кернеу мен өздік индукция ЭҚК-сының өзгерісі тербелісі қарсы фазаларда жүреді. (6) формулада бұл теріс таңбамен берілген. 23-суреттен бір период ішінде зарядтың, ток күшінің, кернеудің және өздік индукция ЭҚК-сының уақытқа және фазаға тәуелділік графиктерін көреміз.



23-сурет. Зарядтың, ток күшінің, кернеудің, өздік индукция ЭҚК-сының уақытқа және фазаға тәуелділігі



3-тапсырма

1. Тербелмелі контурда периодтың екінші жартысында орындалатын процестерді сипаттаңдар.
2. $t = \frac{5T}{8}$, $t = \frac{3T}{4}$, $t = \frac{7T}{8}$, $t = T$ уақыт аралықтары үшін тербелмелі контурдың күйін бейнелеңдер.
3. Берілген уақыт мәндері үшін «Контур тербелісінің энергиясы» кестесін толтырыңдар.



Маңызды ақпарат

Активті кедергісі нөлге тең, конденсаторда өткізгіш ток және энергия шығынына алып келетін басқа құбылыстар жоқ тербелмелі контурды *идеал тербелмелі контур* деп атайды.



4-тапсырма

$q = q_m \sin \omega t$ заңы бойынша орындалатын тербеліс үшін ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік теңдеулерін жазыңдар. Осы тәуелділіктердің графиктерін тұрғызыңдар.



5-тапсырма

<https://www.geogebra.org/graphing> программасын қолданып, $q = 3,2 \cos 314 t$ (мкКл) зарядтың уақытқа тәуелділік графигін тұрғызыңдар. Ток күшінің уақытқа тәуелділігін анықтап, график тұрғызыңдар. Шамалардың тербеліс жиілігі мен бастапқы фазаға тәуелділігін зерттеңдер.



Бұл қызық!

«Адам – тербелмелі контур» (24-сурет)

1. Тірі жасушаны электрсійымдылығы және кедергісі бар тербелмелі контур түрінде елестетуге болады, жасушаның сыйымдылығы еркін радикал реакциялармен және антиоксиданттық қорғаныс жүйесімен, кедергісі ферментативті қышқылданумен анықталады.
2. Тербелмелі контур ретінде тек жасушаны ғана емес, сонымен қатар бауырды да, қан айналым жүйесін де қарастыруға болады.
3. Жүйке жүйесі барлық ағзаның жұмысын басқарады.
4. Адам мүшелерінің электрлік потенциалының ырғағы:
асқазан мен ішекте – 0,01...0,05 Гц;
өкпе-бауырда – 0,2...0,3 Гц;
жүректе – шамамен 1,2 Гц;
жүйке жүйесінде – 10...1000 Гц;
бас миының электрлік потенциалының ырғағы – 8...100 Гц.



24-сурет. Адам – тербелмелі контур



6-тапсырма

Алынған мәліметтер негізінде адам ағзасы мүшелерінің күйін бақылайтын диагностикалық аппараттың жұмыс істеу принципін ұсыныңдар. Заманауи медицинада мұндай аппарат қолданыста бар ма?

Бақылау сұрақтары

1. Серіппелі маятникте және тербелмелі контурда энергияның қандай түрленулері орындалады?

2. Қандай шарттар орындалғанда тербелмелі жүйенің толық механикалық энергиясының сақталу заңы жүзеге асады?
3. Қарастырылып отырған шамалардың фазалық ығысуы қандай жағдайда анықталады?

★ Жаттығу

3

1. Массасы 0,1 кг жүк тепе-теңдік күйінен 0,03 м-ге ауытқыған кездегі серіппенің потенциалдық энергиясын анықтандар. Гармоникалық тербелістің циклдік жиілігі 20 рад/с.
2. Электр сыйымдылығы 10 пФ конденсаторы бар тербелмелі контурдың толық энергиясын анықтандар. Конденсатор астарларындағы максимал кернеу 100 В-қа жетеді.
- 3*. Массасы 0,81 кг жүгі бар серіппелі маятник тепе-теңдік күйінен шығарылды. Оның ығысуы 0,314 с-тан кейін бірінші рет тербеліс амплитудасының жартысына тең болса, серіппенің қатаңдығы қандай?
- 4*. Идеал тербелмелі контурда индуктивтілік шарғысындағы ток күшінің тербеліс амплитудасы 5 мА, ал конденсатордағы зарядтың амплитудасы 2,5 нКл. Біршама уақыт өткен соң конденсатордағы заряд 1,5 нКл-ға тең болды. Осы кездегі шарғыдағы ток күшінің мәнін анықтандар.
5. Тербелмелі контур конденсаторының сыйымдылығы 0,4 мкФ, меншікті тербеліс жиілігі 50 кГц, заряд тербелісінің амплитудасы 8 мкКл. Зарядтың, кернеудің, ток күшінің уақытқа тәуелділік $q = q(t)$, $u = u(t)$, $i = i(t)$ теңдеулерін жазыңдар. Кернеудің тербеліс амплитудасын, ток күшінің тербеліс амплитудасын және шарғының индуктивтілігін анықтандар. Шамалардың тәуелділік графиктерін тұрғызыңдар.
6. Сыйымдылығы 1 мкФ конденсатор астарларындағы кернеу $u = 100\cos 500t$ заңы бойынша өзгереді: а) конденсатордағы кернеудің максимал мәнін; ә) контурдағы тербеліс периоды, жиілігін және циклдік жиілігін анықтандар; б) конденсатордың максимал зарядын; в) контурдың индуктивтілігін; г) контурдағы максимал ток күшін анықтандар; ғ) конденсатордағы зарядтың уақытқа тәуелділік теңдеуін; д) ток күшінің және кернеудің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар. $u(t)$, $q(t)$, $i(t)$ тәуелділік графиктерін салыңдар.

Эксперименттік тапсырма

Математикалық маятник тербелісінің максимал жылдамдығын анықтандар. Бір период аралығында максимал жылдамдық пен тербеліс амплитудасының уақытқа тәуелділік графиктерін тұрғызыңдар.

Транзисторлы радиотаратқыш

Өшпейтін электромагниттік тербелістер тудыратын ең қарапайым құрылғы – транзисторлы генератор. Ол радиотаратқыш құрылғы ретінде қолданылады. 4-кестеде ҚР аумағындағы кейбір радиолардың жұмыс істеу жиілігі берілген.



4-кесте

	Қазақ радиосы Нұр-Сұлтан қ. 106,8 МГц		Астана радиосы Нұр-Сұлтан қ. 101,4 МГц
	Ретро FM Алматы қ. 107 МГц		DALA FM Алматы қ. 100,2 МГц



Тапсырма

4-кестеде берілген жиіліктерді алу үшін индуктивтілігі 1 мкГн шарғыға жалғанатын конденсатордың сыйымдылығын анықтаңдар.



Бұл қызық!

1998 жылы Алматыда LG Electronics зауыты салынды. Ол Орталық Азиядағы әлемдік деңгейдегі электроника өндіретін алғашқы және жалғыз зауыт болды (25-сурет).



25-сурет. Теледидар құрастыру және баспалық тақша жасау желілері

2-тараудың қорытындысы

Еркін электрмагниттік тербелістер	
Еркін тербелістер теңдеуі	$q'' = -\omega_0^2 q; q'' = -\frac{1}{LC} q$
Гармоникалық тербеліс заңы	$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0); q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
Ток күші	$i = -I_m \sin \omega_0 t; I_{\max} = q_{\max} \omega_0$
Период	$T = 2\pi\sqrt{LC}$
Меншікті жиілік	$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
Меншікті циклдік жиілік	$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$
Тербелмелі контурдың толық энергиясы	$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$
Энергияның сақталу заңы	$W_{э.ө.} + W_{м.ө.} = \text{const}$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктерінің ХБЖ–да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
q	зарядтың лездік мәні	Кл	φ_0	бастапқы фаза	рад
Δi	ток күшінің лездік мәні	А	$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$	фаза	рад
$\frac{\Delta I}{\Delta t}$	ток күшінің өзгеру жылдамдығы	А/с	ω	циклдік жиілік	рад/с
$q_{\max}$	максимал заряд	Кл	ω_0	меншікті циклдік жиілік	рад/с
L	шарғының индуктивтілігі	Гн	ν_0	меншікті жиілік	Гц
C	конденсатордың сыйымдылығы	Ф	$W_{э.ө.}$	электр өрісінің энергиясы	Дж
T	период	с	$W_{м.ө.}$	магнит өрісінің энергиясы	Дж
$I_{\max}$	ток күшінің максимал мәні	А	π	π тұрақтысы	$\pi = 3,14$

Глоссарий

Еріксіз тербелістер – периодты түрде әсер ететін сыртқы күштің әсерінен болатын тербелістер.

Идеал тербелмелі контур – активті кедергісі нөлге тең, конденсаторда өткізгіш ток және энергия шығынына алып келетін басқа құбылыстар жоқ тербелмелі контур.

Автотербелмелі жүйелер – жүйеге энергияның берілуі арқылы өшпейтін тербелістер жасалатын жүйелер.

Еркін электрмагниттік тербелістер – шарғыдағы ток күшінің және конденсатор астарлары арасындағы кернеудің сырттан энергия алмай периодты түрде қайталанатын өзгерісі.

Электрмагниттік тербелістер – зарядтың, ток күші мен кернеудің периодты түрде өзгеруі.

АЙНЫМАЛЫ ТОК

Генератор тудырған айнымалы магнит өрісі әсерінен өндірістік желіде айнымалы ток пайда болады, ол зарядталған бөлшектердің тербелмелі қозғалысы болып табылады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- генератор моделін қолданып, айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципін зерттеуді;
- физикалық шамаларды (период, жиілік, кернеу, ток күші мен электр қозғаушы күшінің (ЭҚК) максимал және әсерлік мәндері) қолданып, айнымалы токты сипаттауды;
- синусоидалы айнымалы ток немесе кернеуді гармоникалық функция түрінде көрсетуді;
- айнымалы ток тізбегінде тек активті жүктеме кезінде (резистор) фазалық ығысуды сипаттауды;
- айнымалы ток тізбегінде реактивті жүктемелер кезінде (шарғы, конденсатор) фазалық ығысуды сипаттауды;
- R , L , C -дан тұратын айнымалы токтың тізбектелген электр тізбегін есептеуді;
- айнымалы токтың активті және реактивті қуат ұғымының физикалық мағынасын түсіндіруді;
- векторлық диаграмма салу арқылы қуат коэффициентін анықтауды;
- резонанс шартын түсіндіруді және оның қолданылуына мысал келтіруді;
- резонанстық жиілікті есептеуді;
- қуат формуласының негізінде трансформатордың жұмыс істеу принципін талдауды;
- электр энергиясын тасымалдау үшін жоғары кернеудегі айнымалы токтың экономикалық артықшылықтарын түсіндіруді;
- Қазақстандағы электр энергиясы көздерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалауды үйренесіңдер.

§ 4. Айнымалы ток генераторы

Күтілетін нәтиже:

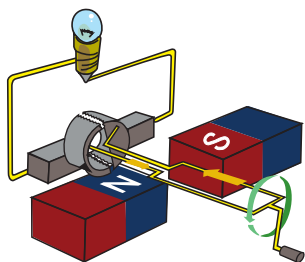
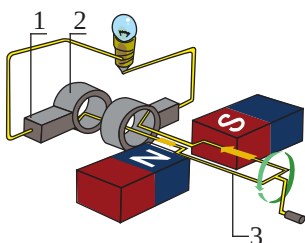
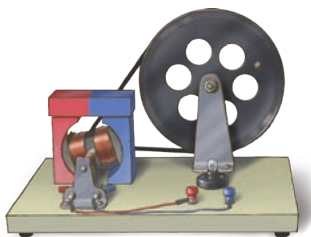
Осы параграфты игергенде:

- генератор моделін қолданып, айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципін зерттей аласыңдар.



Өз тәжірибең

Айнымалы токтың және тұрақты токтың индукциялық генераторларының жұмысын бақылаңдар (26-сурет).



26-сурет. Тұрақты ток және айнымалы ток индукциялық генераторларының моделі, 1 – щеткалар, 2 – сақиналар, 3 – рама

I Айнымалы токтың индукциялық генераторының өндірістік желідегі орны

Тұрмыста және өндірісте қуаттары әртүрлі электр аспаптары қолданылады, оларды қуаттандыру үшін жиілігі 50 Гц айнымалы ток желісі пайда болды. Бұл желідегі ток көзі электрстансыларында орналасқан айнымалы токтың индукциялық генераторлары болып табылады. Айнымалы ток электртасымалдаушы желілер арқылы тұтынушыларға жіберіледі.

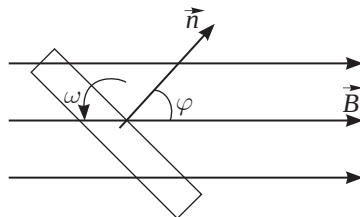
Индукциялық генератор – механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын құрылғы.



Естеріңе түсіріңдер!

Тұйықталған өткізгіш контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі кезінде онда индукциялық ток пайда болады.

Ауданы S бетті тесіп өтетін Φ магнит ағыны мынаған тең: $\Phi = BS \cos \varphi$ (1), мұндағы φ – рама жазықтығына түсірілген $\vec{n}$ нормаль мен $\vec{B}$ магнит индукция векторы арасындағы бұрыш (27-сурет).



27-сурет. Тұйықталған контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі, $\vec{n}$ – рама жазықтығына түсірілген перпендикулярдың бірлік векторы



Есте сақтаңдар!

Раманың ω бұрыштық жылдамдықпен айналуы кезінде бұрылу бұрышының мәні $\varphi = \omega t$ формуласымен анықталады. Осы өрнекті ескерсек, магнит ағынын есептеу формуласы (1) мына түрге келеді: $\Phi = BS \cos \omega t$. (2)

II Айнымалы ток генераторы тудырған индукция ЭҚК-сы

Айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципі электромагниттік индукция заңына негізделген: тұйықталған өткізгіш раманы тесіп өтетін айнымалы

магнит ағыны құйынды электр өрісін тудырады, рамада индукциялық ток пайда болады.

Δt уақыт аралығының өте аз мәнінде тұйықталған контур үшін электромагниттік индукция заңы мына түрге келеді:

$$e_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi', \quad (3)$$

мұндағы e_i – индукция ЭҚК-сының лездік мәні.

Магнит ағынының туындысын анықтайық:

$$e_i = -\Phi' = -(BS \cos \omega t)' = BS\omega \sin \omega t \quad (4)$$

немесе
$$e_i = \varepsilon_{im} \sin \omega t, \quad (5)$$

мұндағы $\varepsilon_{im} = BS\omega$ (6) – ЭҚК-ның максимал мәні.

Генератор роторы көптеген рамалардан тұрады. Егер ротордағы рама саны N болса, онда ЭҚК-ның максимал мәні мынаған тең:

$$\varepsilon_m = N\varepsilon_i \text{ немесе } \varepsilon_m = NBS\omega. \quad (7)$$



Естеріңізге түсіріңдер!

Тұйықталған контур үшін электромагниттік индукция

заңы: $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

N орамнан тұратын контур

үшін: $\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, мұн-

дағы $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ – магнит ағынының өзгерісі.



Жауабы қандай?

Не себепті N орамнан тұратын ротор ЭҚК-сы бір орамның ЭҚК-сының орам санына көбейтіндісі ретінде анықталады?



1-тапсырма

1. 26-суретте тұрақты және айнымалы ток генераторлары модельдерін көрсетіңдер. Модельдердің негізгі айырмашылықтарын атаңдар.
2. Индукциялық ток генераторының негізгі бөліктерін атаңдар.
3. Индукциялық ток генераторының жұмыс принципін түсіндіріңдер.

III Айнымалы токтың индукциялық генераторы

Генератор: 1) индуктор – магнит өрісін тудыратын құрылғыдан; 2) зәкір – ЭҚК индукцияланатын орамалардан; 3) щеткалары бар сакина генератордың айналмалы бөліктерінен токты шығарып алатын немесе жіберетін құрылғыдан тұрады (28-сурет).

Генератордың айналмалы бөлігін ротор, қозғалмайтын бөлігін статор деп атайды. Қуатты генераторларда ротор индуктор ретінде, ал статор зәкір ретінде қолданылады. Себебі ротордағы ток күші жылжымалы контактілердің қызуымен шектеледі, ал зәкірде пайда болған мәндері жоғары токтарды қозғалмайтын орамалар арқылы түсіру ыңғайлы. Индукция ЭҚК-сын арттыру үшін статордың орамдар саны көп орамасы қолданылады. Магнит ағынын арттыру үшін индуктор мен зәкірдің орамаларын болат өзекшелерге орайды, олардың арасына айналу үшін қажетті қуыс қалдырылады. Ротордың айналуы кезінде зәкірді тесіп өтетін магнит ағыны өзгереді, индукциялық ЭҚК пайда болады (29-сурет).



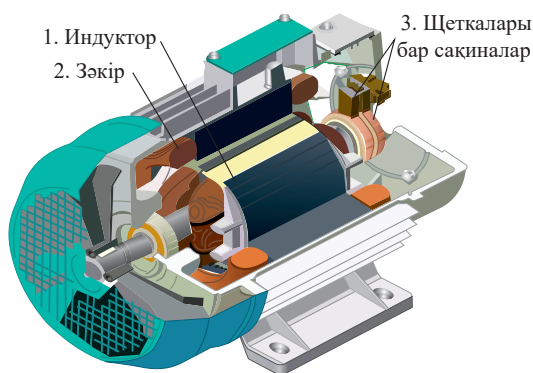
2-тапсырма

1. Индукциялық генератор ЭҚК-сының лездік мәнінің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар. Раманы тесіп өтетін магнит ағынының тәуелділік теңдеуі мына түрге ие болады: $\Phi = 0,5 \cdot \cos 100\pi t$ (мВб).
2. Рамадағы ЭҚК-ның максимал мәнін анықтаңдар.
3. ЭҚК-ның максимал мәні 30 В-қа тең болуы үшін роторда неше рама болуы керек?

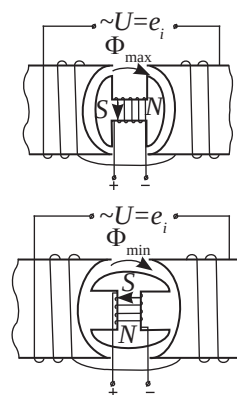


3-тапсырма

Магнит ағыны мен ЭҚК-ның уақытқа тәуелділік графиктерін тұрғызыңдар. Бастапқы уақыт мезетінде рамаға түсірілген нормаль бағыты магнит индукциясы векторы бағытымен сәйкес келетіні белгілі. Тербелістердің фазалық ығысуын анықтаңдар.



28-сурет. Айнымалы токтың индукциялық генераторының негізгі бөліктері



29-сурет. Зәкірді тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі нәтижесінде индукциялық ЭҚК-ның пайда болуы

IV Генератор шығысындағы кернеу

Егер статор орамасының кедергісі сыртқы тізбектің кедергісімен салыстырғанда біршама аз болса $u = e_i$, кернеуді индукциялық ЭҚК-ның сандық мәніне тең деп алуға болады:

$$u = e_i = NBS \omega \sin \omega t. \quad (8)$$

(8) теңдеуден индукциялық ЭҚК-ның максимал мәні мен генератор шығысындағы кернеудің тең екені шығады:

$$U_m = \varepsilon_m = NBS \omega, \quad (9)$$

мұндағы N – зәкірдегі орам саны.

Электрстансы генераторлары бірнеше мыңдаған вольт кернеу тудырады.

V Генератор роторының айналу жиілігі

Жиілігі 50 Гц айнымалы ток алу үшін ротор полюстерінің бірі 50 айн/с немесе 3000 айн/мин жиілікпен айналуы керек. Роторға мұндай айналу жылдамдығын бу және газ турбиналары бере алады. Су электрстансыларында тыныш жүрісті су турбиналарын қолданады, сондықтан стандартты жиілікті айнымалы ток алу үшін полюстерінің жұбы көп роторлары бар генераторлар қолданылады. Полюстерінің 24 жұбы бар ротор 125 айн/мин немесе шамамен 2 айн/с жиілікпен айналады:

$$\nu_p = \frac{50 \Gamma_{\text{ц}}}{n},$$

мұндағы n – индуктордағы полюстер жұбының саны.



4-тапсырма

Полюстерінің 12 жұбы бар генератор роторының айналу жиілігін анықтаңдар. Генератор өндірістік жиілігі 50 Гц тербеліс тудырады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Қимасының ауданы 400 см^2 , $N = 100$ орамнан тұратын сымды индукциясы $B = 0,01 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде $\omega = 1 \text{ рад/с}$ бұрыштық жылдамдықпен бірқалыпты айналдырады. Күш сызықтары айналу өсіне перпендикуляр. ЭҚК-ның максимал мәнін анықтаңдар.

Берілгені: $S = 400 \text{ см}^2$ $N = 100$ $\omega = 1 \text{ рад/с}$ $B = 0,01 \text{ Тл}$	ХБЖ $0,04 \text{ м}^2$	Шешуі: $\varepsilon_{\max} = BS\omega \cdot N$ $\varepsilon_{\max} = 0,01 \text{ Тл} \cdot 0,04 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ рад/с} \cdot 100 = 0,04 \text{ В.}$ Жауабы: $0,04 \text{ В.}$
$\varepsilon_{\max} - ?$		

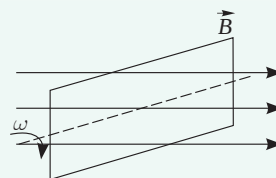
Бақылау сұрақтары

1. Айнымалы токтың индукциялық генераторының негізгі бөліктерін және олардың қызметтерін атаңдар.
2. Айнымалы ток генераторының жұмыс істеу принципі қандай құбылысқа негізделген?
3. Генератор роторының айналу жиілігін қандай әдіспен азайтады? Бұл не үшін қажет?

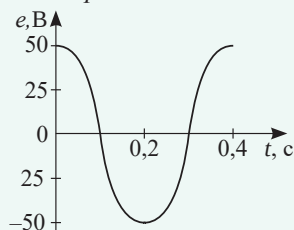
★ Жаттығу

4

1. Ауданы $S = 200 \text{ см}^2$ раманы индукциясы $B = 0,2 \text{ Тл}$ (30-сурет) магнит өрісінде $\nu = 8 \text{ с}^{-1}$ жиілікпен айналдырады. а) раманы тесіп өтетін магнит ағынының өзгеру заңын; ә) рамада пайда болатын индукциялық ЭҚК-ның өзгеру заңын жазыңдар. Бастапқы уақыт мезетінде рама магнит өрісіне перпендикуляр орналасқан.
2. График бойынша (31-сурет) айнымалы ЭҚК-ның амплитудалық мәнін, периодын және жиілігін анықтандар. ЭҚК-ның уақыт өте келе өзгеру заңын жазыңдар.
3. Айнымалы ток генераторының роторы полюстерінің сегіз жұбы бар, $n = 8$. Генератор $\nu = 50 \text{ Гц}$ стандартты жиілікті ток өндіретін болса, ротордың айналу жиілігі қандай болуы керек?



30-сурет. 4-жаттығудың бірінші есебіне



31-сурет. ЭҚК-ның уақыт өте келе өзгеру графигі

Эксперименттік тапсырма

Ойыншық мәшине қозғалтқышы негізінде жарықдиодты шам үшін индукциялық генератор құрастырыңдар.

Шығармашылық тапсырма

«Электр энергиясының баламалы көздері» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 5. Еріксіз электрмагниттік тербелістер. Айнымалы ток

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- физикалық шамаларды (период, жиілік, кернеу, ток күші мен электр қозғаушы күшінің максимал және әсерлік мәндері) қолданып, айнымалы тоқты сипаттай аласыңдар;
- синусоидалы айнымалы ток немесе кернеуді гармоникалық функция түрінде көрсете аласыңдар.

I Айнымалы ток еріксіз электрмагниттік тербелістер мысалы ретінде

ЭҚК-сы

$$e_i = \varepsilon_{im} \sin \omega t \text{ немесе } e_i = \varepsilon_{im} \cos \omega t \quad (1)$$

айнымалы ток генераторы тудырған айнымалы электр өрісі әсерінен тізбекте айнымалы ток пайда болады. Ол зарядталған бөлшектердің тербелмелі қозғалысын білдіреді.

Айнымалы ток – өткізгіштегі зарядталған бөлшектердің периодты түрде өзгеріп отыратын сыртқы электр қозғаушы күш әсерінен болатын еріксіз тербелістері.

ҚР-да өндірістік ток жиілігі 50 Гц, $\omega = 2\pi\nu$ -ға тең циклдік жиілігі $\omega = 100\pi \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ -ты құрайды, демек, тізбек бөліктеріндегі кернеудің тербелісі мына заң бойынша орындалады:

$$u = U_m \sin 100\pi t \text{ немесе } u = U_m \cos 100\pi t, \quad (2)$$

мұндағы u – кернеудің лездік мәні, U_m – кернеудің максимал мәні.

Егер тербеліс бастапқы фазаға сәйкес келетін уақыт мезетінен бастап қарастырылса, онда (2) формула мына түрге келеді:

$$u = U_m \sin(100\pi t + \varphi_0)$$

$$\text{немесе } u = U_m \cos(100\pi t + \varphi_0). \quad (3)$$

Ток күшінің уақытқа тәуелділігін Ом заңы негізінде өрнектейміз, ол гармоникалық функцияны береді:

$$i = I_m \sin(100\pi t + \varphi_{\text{в}})$$

$$\text{немесе } i = I_m \cos(100\pi t + \varphi_{\text{в}}), \quad (4)$$

мұндағы i – ток күшінің лездік мәні, I_m – ток күшінің максимал мәні, $\varphi_{\text{в}}$ – ток күші мен кернеу тербелістері арасындағы фазаның ығысуы.



Жауабы қандай?

1. Тұрмыстық аспаптар жұмысында қандай ток қолданылады (32-сурет)?



32-сурет. Тұрмыстық аспаптар

2. Тұрмыстық аспаптар қандай кернеуге есептелген?



1-тапсырма

Өндірістік ток желісіндегі зарядталған бөлшектер тербелісінің периодын анықтаңдар.

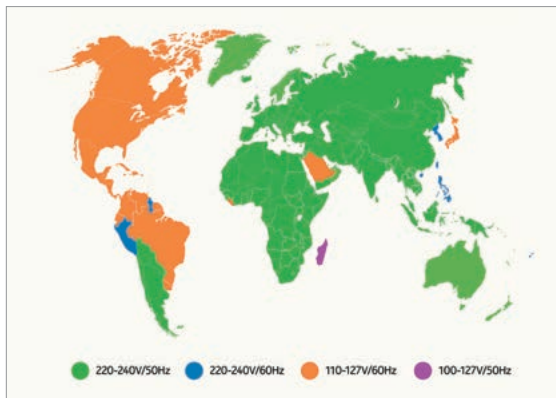


2-тапсырма

$u = 308 \cos 100\pi t$ заңы бойынша өзгеретін кернеудің қозғалыс басталғаннан кейін $t_1 = 0,25$ с және $t_2 = 1$ с уақыт аралықтарындағы лездік мәндерін анықтаңдар. Кернеудің максимал мәні неге тең? Қандай уақыт мезеттерінде кернеу максимал мәнге жетеді?

Бұл қызық!

Әлемде кернеу мен жиіліктің екі стандарты көп таралған. Олардың бірі – америкалық стандарт: 110–127 В, 60 Гц. Екіншісі – еуропалық стандарт: 220–240 В, 50 Гц (33-сурет).



33-сурет. Әртүрлі мемлекеттердегі кернеу мен жиілік стандарты

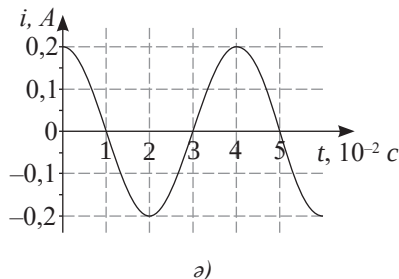
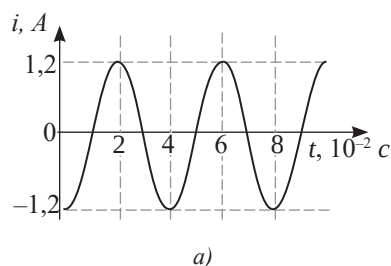
III Айнымалы тоқты сипаттайтын шамаларды өлшеу

Тұрақты токқа арналған өлшеуіш аспаптарды айнымалы тоқты сипаттайтын шамаларды өлшеу үшін қолдануға болмайды. Аспап көрсеткішіндегі тілше біресе нөлден оңға қарай, біресе солға қарай ауытқуы керек. Айнымалы токқа арналған аспаптардың тілшелері тек бір бағытта ғана ауытқиды. Аспап тілшесі өзінің инерттілігі салдарынан жиілігі 50 Гц тербеліс жасай алмайды, ол бір орында «дірілдейді». Егер тізбектегі токтардың әсері бірдей болса, онда айнымалы ток аспабының көрсеткіші тұрақты ток аспабының көрсеткішімен сәйкес келуі керек деген шешім қабылданды. Мысалы, айнымалы токқа арналған амперметр тілшесі 1 А-ді көрсеткен жағдайда 1 А тұрақты токтың жылулық әсері айнымалы токтың жылулық әсерімен бірдей болуы керек. Айнымалы токтың мұндай эквивалентті мәнін *токтың әсерлік немесе эффективті мәні* деп атайды. Әсерлік мәндердің максимал мәндермен байланысын мына қатынастармен көрсетуге болады (§ 8-та қарастырылады):

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad (5)$$

3-тапсырма

Токтың уақытқа тәуелділік графиктері бойынша (34 а, ә-суреттер) периоды, жиілікті, циклдік жиілікті, ток күшінің максимал мәнін анықтаңдар. Ток күшінің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар. 34, ә-суреттегі график үшін 25 мс уақыт мезетіндегі ток күшін анықтаңдар.



34-сурет. Ток күшінің уақытқа тәуелділік графикі

4-тапсырма

1. Бір период аралығында кернеудің уақытқа және фазаға тәуелділік графикін бейнелеңдер $u = 308 \cos 100 \pi t (В)$.
2. $u = 308 \cos (100 \pi t + \frac{\pi}{4}) (В)$ тәуелділігінің графикін бейнелеңдер.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad (6)$$

мұндағы U , I – кернеу мен ток күшінің әсерлік мәндері.



5-тапсырма

1. Максимал мәні 308 В-қа жететін тізбектегі кернеудің әсерлік мәнін анықтаңдар.
2. Егер амперметр көрсеткіші 2 А болса, айнымалы ток тізбегіндегі ток күшінің максимал мәнін анықтаңдар.



Назар аударыңдар!

Мультиметр панелінде дисплей (аналогты мультиметрлерде – өлшеуіш шкала), жұмыс тәртібін реттеуіш, жалғағыш сымдардың қосылуы орындары орналасқан (35-сурет).

Аспаптың жұмыс тәртіптері:

- OFF – аспап өшірілі;
- ACV – айнымалы кернеуді өлшеу;
- DCV – тұрақты кернеуді өлшеу;
- ACA – айнымалы токты өлшеу;
- DCA – тұрақты токты өлшеу;
- Ω – кедергіні өлшеу;
- hFE – транзистор параметрлерін өлшеу.

Жұмыс тәртіптерін ауыстыру реттеуішті қажетті позицияға бұру арқылы орындалады. Оң жақ төменгі бөлікте сымдар қосылатын үш жалғағыш орналасқан.



35-сурет. Жұмыс тәртіптері көрсетілген мультиметр панелі



Жауабы қандай?

1. Неліктен айнымалы ток үшін өлшеуіш аспаптардың тілшесі ток күшінің максимал мәнінде максимал ауытқу бұрышына жетпейді?
2. Неліктен тұрақты ток тізбегіндегі ток күші мен кернеуді өлшеуге арналған амперметр мен вольтметрді айнымалы ток тізбегінде қолдануға болмайды?



Өз тәжірибең

«Мультиметр арқылы ток күші мен кернеуді өлшеу» (36-сурет).

Айнымалы ток көзі бар және тұрақты ток көзі бар екі тізбек жинаңдар. Сандық мультиметрдің қажетті жұмыс тәртібін реттеп, тізбектің активті кедергісі бар бөлігінің кернеуін анықтаңдар.



36-сурет. Мультиметр арқылы тұрақты ток көзінің ЭҚК-сын өлшеу

Бақылау сұрақтары

1. Айнымалы ток дегеніміз не?
2. Айнымалы ток тізбегіндегі тербелісті сипаттайтын негізгі шамаларды атаңдар.
3. Айнымалы ток тізбегін сипаттайтын шамалар өзара қалай байланысқан?
4. Қандай тербелістерді гармоникалық тербелістер деп атайды?



Жаттығу

5

1. Тізбектегі ток күші мына заң бойынша өзгереді: $i = 8,5 \sin(314t + 0,661)$. Ток күшінің амплитудалық мәнін, оның бастапқы фазасы мен жиілігін анықтаңдар.
2. Айнымалы ток тізбегі бөлігінің ұштарындағы кернеу синусоида заңы бойынша өзгереді. Бастапқы фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$, тербеліс периоды $T = 0,02$ с. $t = \frac{T}{24}$ уақыт мезетіндегі кернеу $u = 5$ В. Кернеу амплитудасын, циклдік жиілікті, ток жиілігін анықтаңдар. Кернеудің уақыт өте келе өзгеру заңын жазыңдар.
- 3*. Тізбектегі ток күші уақыт өте келе мына заң бойынша өзгереді $i = 4 \sin(314t + \frac{\pi}{6})$. Ток күшінің әсерлік мәнін, оның бастапқы фазасын және ток тербелісінің периодын анықтаңдар. $t_1 = 0,01$ с, $t_2 = 0,04$ с уақыт мезеттерінде ток күші неге тең болады?
4. ҚР-дағы өндірістік желі үшін кернеудің уақыт өте келе өзгеру заңын жазыңдар. Өндірістік ток жиілігі 60 Гц, максимал кернеуі 127 В болатын елдер үшін осы заң қалай өзгереді?

Шығармашылық тапсырма

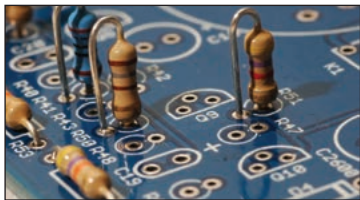
1. Интернет желісі материалдарын пайдаланып, мультиметрді қолдану ережелерімен танысыңдар. Кернеуді, ток күшін және кедергіні өлшеу үшін жадынама құрастырыңдар.
2. «Айнымалы ток» тақырыбына байланысты есеп құрастырыңдар.

§ 6. Айнымалы ток тізбегіндегі активті және реактивті кедергілер

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- айнымалы ток тізбегінде тек активті жүктеме (резистор) болған кезде кернеу мен айнымалы токтың фазалық ығысуын;
- айнымалы ток тізбегінде реактивті жүктеме (шарғы, конденсатор) болған кезде фазалық ығысуын сипаттай аласыңдар.



37-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі резистор



1-тапсырма

Тізбек бөлігі үшін Ом заңын тұжырымдаңдар.



Естеріңе түсіріңдер!

Резистордың активті кедергісі оның ұзындығына, көлденең қимасының ауданына және меншікті кедергісіне тәуелді:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



2-тапсырма

Электр тогының тізбектің активті кедергісі бар бөлігіндегі әсерін атаңдар.

I Тізбектің активті кедергісі бар бөлігіндегі ток күші мен кернеу. Фазалық ығысу

37-суретте тізбектің резистор бар бөлігі бейнеленген. Резистордағы ток күші мен кернеуді анықтайық. Ом заңы негізінде желідегі кернеу косинус заңымен өзгереді десек:

$$u = U_m \cos \omega t, \quad (1)$$

ток күші үшін мынадай теңдеу аламыз:

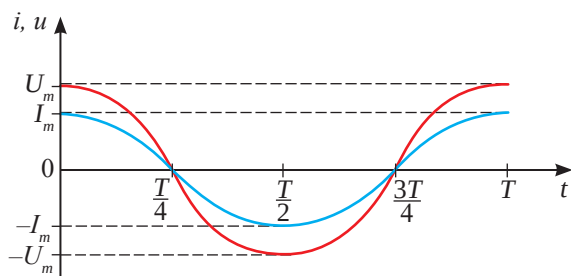
$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t$$

немесе

$$i = I_m \cos \omega t, \quad (2)$$

$I_m = \frac{U_m}{R}$ – тізбектегі ток күшінің максимал мәні.

(1) және (2) теңдеулерді салыстырсақ, резистордағы ток күші мен кернеудің бірдей фазада жүретіні шығады. Бір период аралығында ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графиктері 38-суретте берілген.



38-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі резистордағы ток күші мен кернеудің тәуелділік графиктері



3-тапсырма

1. Өндірістік желіге қосылған электр шәйнегі үшін ток күші мен кернеудің тәуелділік теңдеулерін жазыңдар. Желідегі кернеудің мәні 220 В. Электр шәйнегінің кедергісі 22 Ом.
2. Бір период аралығындағы ток күші мен кернеудің тәуелділік графиктерін бейнелеңдер.
3. Уақыт өсіне сәйкес тербеліс фазаларының мәнін енгізіңдер.
4. Ток күші мен кернеу тербелістері арасындағы фазалық ығысуды анықтаңдар.



Естеріңізге түсіріңдер!

Фазалық ығысуды анықтау үшін гармоникалық тербеліс теңдеуін бір тригонометриялық функция арқылы өрнектеу қажет.

II Индуктивтілік шарғысы бар тізбек бөлігіндегі ток күші мен кернеу. Фазалық ығысу

39-суретте индуктивтілік шарғысы бар тізбек бейнеленген. Айнымалы ток көзіне қосқанда шарғыда ток көзі тудырған токтың өзгеруіне кедергі келтіретін индукциялық ток пайда болады. Айнымалы ток көзінен және индуктивтілік шарғысынан тұратын сұлбасы 40-суретте берілген тізбек үшін Ом заңын жазайық:

$$u + e_{is} = iR_L, \quad (3)$$

мұндағы R_L – шарғының активті кедергісі.

Өздік индукцияның ЭҚК-сы тізбектегі ток күшінің өзгеру шапшаңдығымен және шарғының индуктивтілігімен анықталады:

$$\varepsilon_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (4)$$

Δt -ның аз мәнінде ЭҚК-ның лездік мәні үшін (4) теңдеу мына түрге келеді:

$$e_i = -Li' \quad (5)$$

(5) өрнекті және шарғының активті кедергісі мәнінің аз $R_L \rightarrow 0$ екенін ескерсек, Ом заңынан (1) алатынымыз:

$$u = Li'. \quad (6)$$

Тізбектегі ток күші мына заң бойынша өзгереді делік:

$$i = I_m \sin \omega t, \quad (7)$$

онда шарғы ұштарындағы кернеу өзгертін заң мынадай түрге келеді:

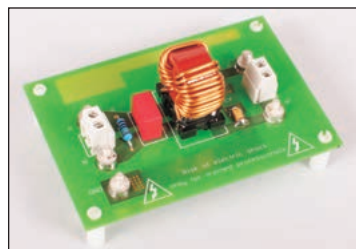
$$u = L(I_m \sin \omega t)' = \omega LI_m \cos \omega t \quad (8)$$

немесе $u = U_m \cos \omega t. \quad (9)$

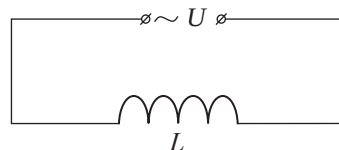
Келтіру формуласын қолданып, алынған тәуелділікті $\sin$ функциясы арқылы өрнектейік:

$$u = U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}). \quad (10)$$

(7) және (10) формулаларды салыстырсақ, шарғыдағы ток күшінің тербелісі кернеудің тербелісінен $\frac{\pi}{2}$ -ге артта қалатыны шығады. Бір период аралығындағы ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графиктері 41-суретте берілген.



39-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивтілік шарғысы



40-сурет. Шарғыны айнымалы ток көзіне жалғау сұлбасы



Есте сақтаңдар!

Индуктивтілік шарғысын

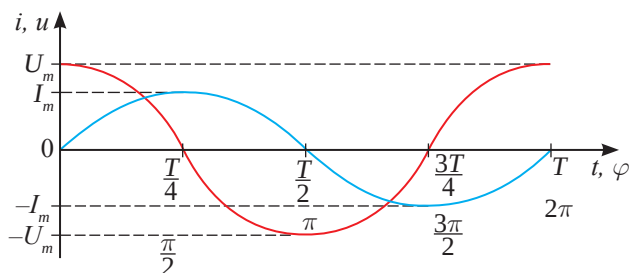
$R_L = \rho \frac{l}{S}$ активті кедергісі аз сымнан жасайды.

Шарғыны тұрақты ток көзіне қосу қысқа тұйықталуға және тізбектегі ток күшінің бірден артуына алып келеді.



4-тапсырма

1. Индуктивтілігі 0,1 Гн шарғыдағы кернеудің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар. Шарғыдағы ток күшінің уақытқа тәуелділік графигі мына түрге ие: $i = 2 \sin 100\pi t$ (А).
2. Шарғыдағы ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділіктерін графиктік түрде бейнелеңдер.
3. Шарғыдағы ток күші неліктен кернеуден артта қалатынын түсіндіріңдер.



41-сурет. Индуктивтілік шарғысындағы ток күші мен кернеудің бір период аралығындағы уақыт пен фазаға тәуелділік графиктері

III Шарғының реактивті кедергісі

(8) және (9) формулалардан кернеудің амплитудасы үшін мына өрнекті жазамыз:

$$U_m = \omega L \cdot I_m, \quad (11)$$

(11) өрнектен ток күшінің амплитудасын өрнектейміз:

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} \quad (12)$$

және тізбек бөлігі үшін Ом заңымен $I = \frac{U}{R}$ салыстырып, циклдік жиіліктің шарғының индуктивтілігіне көбейтіндісі кедергінің рөлін атқарады деген қорытындыға келеміз. ωL өрнегін шарғының реактивті индуктивті кедергісі деп атайды және X_L әрпімен белгілейді:

$$X_L = \omega L. \quad (13)$$

Индуктивті кедергі оммен өлшенеді:

$$[X_L] = 1 \frac{\text{Гн}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = 1 \text{ Ом}.$$

IV Тізбектің конденсатор бар бөлігіндегі ток күші мен кернеу. Фазалық ығысу

42-суретте айнымалы ток тізбегіне қосылған конденсаторлар бейнеленген. Айнымалы ток көзі бар тізбекте конденсаторды зарядтауға қажетті ток ағып жатыр, еріксіз электромагниттік тербелістер орындалады. Конденсатор астарларындағы кернеу мына заңмен өзгерсе:

$$u = U_m \cos \omega t, \quad (14)$$

онда $q = C \cdot u$ заряд конденсатор астарларында кернеумен бірдей фазада өзгереді:

$$q = q_m \cos \omega t, \quad (15)$$

мұндағы $q_m = CU_m$ (16) – зарядтың максимал мәні.



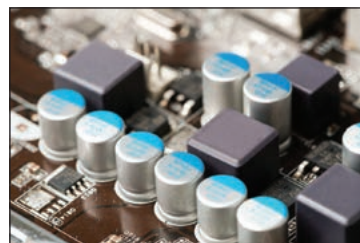
5-тапсырма

Индуктивтілігі 0,1 Гн шарғыдағы реактивті кедергінің жиілікке тәуелділік графигін бейнелеңдер.



Жауабы қандай?

1. Шарғының реактивті кедергісі тізбектегі ток күші мен кернеудің тербеліс жиілігіне қалай тәуелді?
2. Қандай желіде шарғының ток күшіне әсері көбірек болады: өндірістік ток желісінде ме, радиосигналды таратқыш құрылғыда ма?



42-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі конденсатор



Назар аударыңдар!

Конденсаторды тұрақты ток көзіне қосу кезінде тек зарядталу тогы ғана жүреді.

Конденсатордағы кернеу ток көзінің полюстеріндегі кернеуге тең болғанда, тізбектегі ток тоқтайды.

Ток күшінің лездік мәні зарядтың уақыт бойынша бірінші ретті туындысы болып табылады:

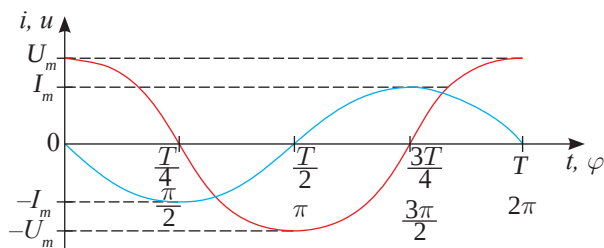
$$i = q' = (CU_m \cos \omega t)' = -\omega CU_m \sin \omega t. \quad (17)$$

Келтіру формуласын қолданып, $\sin$ функциясы алдындағы өрнек шаманың максимал мәні деп алып, (17) теңдеуді мына түрде жазамыз:

$$i = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}). \quad (18)$$

(14) және (18) теңдеулерден, конденсатордағы ток күшінің тербелісі кернеу тербелісінен $\frac{\pi}{2}$ -ге озатынын

көреміз. 43-суретте бір период аралығында ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графиктері берілген.



43-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділік графиктері

V Конденсатордың реактивті кедергісі

(17) және (18) теңдеулерден ток күшінің максимал мәні кернеудің амплитудасына қатынасымен байланысқан деген қорытындыға келеміз:

$$I_m = \omega CU_m. \quad (19)$$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы негізінде X_C әрпімен белгілеп, реактивті сыйымдылық кедергі ұғымын енгіземіз:

$$I_m = \frac{U_m}{X_C}. \quad (20)$$

(19) және (20) теңдеулерден реактивті сыйымдылық кедергі тербелістің циклдік жиілігіне және конденсатор сыйымдылығына кері пропорционал екенін аламыз:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (21)$$

Реактивті сыйымдылық кедергі оммен өлшенеді:

$$[X_C] = 1 \frac{c}{\Phi} = 1 \frac{cB}{Kl} = 1 \frac{cB}{Ac} = 1 \text{ Ом}.$$



Жауабы қандай?

1. Неліктен айнымалы ток тізбегі үзілгенде, ондағы ток тоқтайды, ал конденсаторды қосқанда ток тоқтамайды?
2. Неліктен ток күшін реттеу үшін тұрақты ток тізбегінде – реостат, ал айнымалы ток тізбегінде – индуктивтілік шарғысы мен конденсатор қолданылады?



6-тапсырма

1. Сыйымдылығы 10 нФ конденсатордағы ток күшінің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар. Конденсатордағы кернеудің уақытқа тәуелділік теңдеуі мына түрге ие:
 $u = 308 \sin 100\pi t \text{ (В)}.$
2. Конденсатордағы ток күші мен кернеудің уақытқа тәуелділіктерін графиктік түрде бейнелендер.
3. Конденсатордағы ток күші неліктен кернеуді басып озатынын түсіндіріңдер.



7-тапсырма

Сыйымдылығы 10 мкФ конденсатордағы реактивті кедергінің жиілікке тәуелділік графигін бейнелендер. Қандай жиіліктерде конденсатордың реактивті кедергісі біршама артады: жоғары жиіліктерде ме, төменгі жиіліктерде ме?

Бақылау сұрақтары

1. Активті кедергідегі, индуктивтілік шарғысындағы және конденсатордағы ток күші мен кернеу тербелістерінің арасындағы фазалық ығысу неге тең?
2. Активті, индуктивті және сыйымдылық кедергілерді қалай анықтайды? Оларды қандай өлшем бірлігімен өлшейді?



Жаттығу

6

1. Тізбектің активті кедергісі 4 Ом бөлігіндегі ток күші $i = 6,4\sin 314t$ заңымен өзгереді. Ток күшінің әсерлік мәнін анықтаңдар, кернеудің уақытқа тәуелділік теңдеуін жазыңдар.
2. Стандартты жиілікті $\nu_{cm} = 50\text{ Гц}$ кернеуі $U = 220\text{ В}$ айнымалы ток желісіне қосылған конденсатордың сыйымдылығын анықтаңдар. Тізбектегі ток күші $I = 2\text{ А}$.
3. Индуктивтілігі $L = 35\text{ мГн}$ шарғы айнымалы ток желісіне жалғанған. Ток жиілігі $\nu = 50\text{ Гц}$ болғандағы, шарғының кедергісін анықтаңдар.
4. Индуктивтілігі $L = 0,02\text{ Гн}$ шарғы жиілігі $\nu = 50\text{ Гц}$ айнымалы кернеу көзіне қосылған. Кернеудің әсерлік мәні $U = 100\text{ В}$. Ток күшінің лездік мәнінің уақытқа тәуелділігін және ток пен кернеу арасындағы фазалық ығысуды анықтаңдар. Шарғының активті кедергісін ескермеңдер.
5. Жиілігі 100 Гц айнымалы ток тізбегіне алдымен сыйымдылығы 10 мкФ конденсатор қосылады, содан соң конденсатор орнына индуктивтілік шарғысы қосылады. Егер тізбектің индуктивті және сыйымдылық кедергілері тең болса, шарғының индуктивтілігі неге тең?

Шығармашылық тапсырма

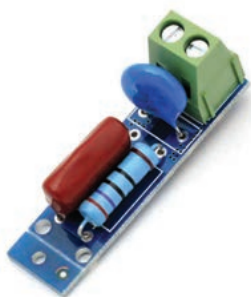
Венн диаграммасында салыстырыңдар: «Айнымалы токтың активті, индуктивті және сыйымдылық кедергілері».

§ 7. Активті және реактивті кедергілерден тұратын тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегіне арналған Ом заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- R , L , C -дан тұратын айнымалы токтың тізбектелген электр тізбегін есептей аласыңдар.



а) RC -тізбек – реле контактілерінің қорғанысы



ә) кернеу түрлендіргіш

44-сурет. Резистор, индуктивтілік шарғысы және конденсатор – айнымалы ток тізбегінің негізгі элементтері

I Тізбектей жалғанған шарғыдан, конденсатордан және активті жүктемеден тұратын тізбек бөлігіндегі ток күші мен кернеу

44-суретте резистордан, конденсатордан және индуктивтілік шарғысынан тұратын тізбек бөліктері бейнеленген. Тізбектей жалғау кезінде тізбектің барлық бөліктерінде ток бірдей фазада тербеледі (45-сурет):

$$i = I_m \cos \omega t. \quad (1)$$

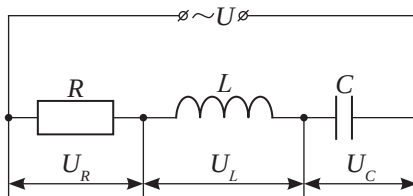
Кез келген уақыт мезетінде генератор тудырған кернеу тізбектің тармақталмаған бөлігі құраушыларының кернеулерінің қосындысына тең:

$$u = u_R + u_L + u_C. \quad (2)$$

Шарғы мен конденсатордағы кернеу мен ток күші тербелістерінің фазалар айырымын ескерсек, (2) теңдеу мына түрге келеді:

$$u = U_{mR} \cos \omega t + U_{mL} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) + U_{mC} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (3)$$

Векторларды қосу үшін векторлық диаграмма қолданылады.



45-сурет. Тізбектей жалғанған активті, сыйымдылық және индуктивті кедергілері бар айнымалы ток тізбегінің сұлбасы

II Векторлық диаграмма

Векторлық диаграмма – гармоникалық тербелістерді графикалық түрде бейнелеу әдісі.

Жазықтықта координатасы кез келген ($x = 0, y = 0$) нүкте таңдалады және осы нүкте арқылы көлденең өс



1-тапсырма

Тізбектей жалғанған резисторлардан тұратын тұрақты токтың тізбек бөлігі үшін негізгі заңдарды жазыңдар.

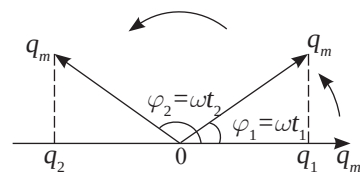
жүргізіледі. Карастырылып отырған q заряд шамасы векторлық диаграммада ұзындығы q_m амплитудаға пропорционал және көлденең өспен t уақыт мезетінде φ бұрыш құрайтын вектор түрінде беріледі (46-сурет).

Вектордың $0x$ өсіне проекциясы берілген шаманың лездік мәнін анықтайды: $q_1 = q_m \cos \omega t_1$.

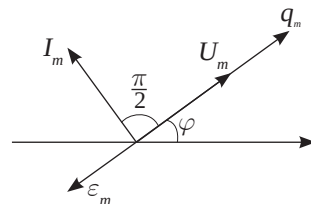
Егер тербеліс синустар заңы бойынша орындалса, шаманың вертикаль $0y$ өсіне проекциясын анықтау керек.

Ток күші, кернеу, ЭҚК (47-сурет) сияқты кез келген шама үшін векторлық диаграмма осыған ұқсас салынады. Тербелісті график арқылы бейнелеудің бұл түрінің артықшылығы – онда зерттелетін шамалардың фазалық ығысуы анық көрсетілуі.

Вектордың сағат тіліне қарама-қарсы T периодпен айналуы кезінде, вектордың проекциясы бір период аралығында зерттелетін шаманың барлық мәндерін қабылдайды.



46-сурет. Конденсатор астарларындағы заряд тербелісінің векторлық диаграммасы



47-сурет. Электрмагниттік тербелістерді сипаттайтын шамалардың векторлық диаграммасы



2-тапсырма

1. 47-сурет бойынша зарядтың, кернеудің, ток күшінің және ЭҚК-ның тербелістері арасындағы фазалық ығысуды анықтаңдар.
2. $\cos$ функциясын қолданып және фазалық ығысуды ескеріп, зарядтың, кернеудің, ток күшінің және ЭҚК-ның өзгеру заңдарын жазыңдар.



Назар аударыңдар!

Вектордың сағат тілінің бағытына қарсы бағытта айналуын басып озуға оңтайлы деп санайды.



3-тапсырма

$i = 2\sin 100\pi t$ (А) ток күші тербелісінің векторлық диаграммасын бейнелеңдер.

$\varphi_1 = \frac{\pi}{6}, \varphi_2 = \frac{\pi}{4}, \varphi_3 = \frac{\pi}{3}$ фазалардағы ток күшінің лездік мәнін анықтаңдар.

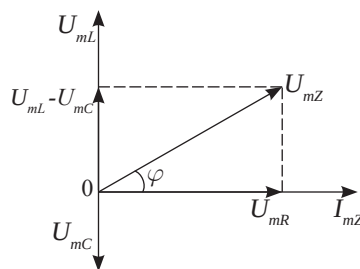
III Тізбектей жалғанған индуктивтілік шарғысынан, конденсатордан және активті жүктемеден тұратын тізбек үшін Ом заңы

Шарғыдан, конденсатордан және резистордан тұратын тізбектің ток күші мен кернеуінің максимал мәндері үшін Ом заңын жазайық:

$$I_m = \frac{U_m}{Z}, \quad (4)$$

мұндағы Z – тізбектің толық кедергісі.

Кернеудің тербелісі бірдей жиілікпен орындалады, демек, кернеулердің қосындысын анықтау үшін векторлық диаграмманы қолдануға болады. Активті кедергіде ток күші мен кернеудің максимал мәнінің векторлары кеңістікте таңдалған координаталары $(0,0)$ нүктеден оңға қарай бағытталады (48-сурет).



48-сурет. Активті және реактивті кедергілердегі кернеудің және ток күшінің амплитудалық мәндерінің векторлық диаграммасы

Индуктивтілік шарғысындағы кернеу амплитудасының векторы жоғары бағытталады, ал конденсатордағы кернеу амплитудасының векторы төмен бағытталады, себебі кернеудің тербелісі шарғыда ток тербелісінен $\frac{\pi}{2}$ -ге озады, ал конденсаторда $\frac{\pi}{2}$ -ге артта қалады. U_{mL} , U_{mC} және U_{mR} кернеулердің амплитудалық мәндерін векторлық түрде қосуды орындап, модулі Пифагор теоремасымен анықталатын толық U_{mZ} тізбектегі кернеу амплитудасын аламыз:

$$U_{mZ} = \sqrt{U_{mR}^2 + (U_{mL} - U_{mC})^2}. \quad (5)$$

Ом заңының негізінде кернеулердің максимал мәндерін ток күшінің амплитудасы арқылы өрнектейміз: $U_{mR} = I_m R$, $U_{mL} = I_m X_L$, $U_{mC} = I_m X_C$ және (5) теңдеуге қойсақ:

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

немесе
$$I_m = \frac{U_{mZ}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}. \quad (6)$$

(6) теңдеу тізбектей жалғанған индуктивтілік шарғысынан, конденсатордан және активті жүктемеден тұратын тізбек үшін Ом заңы болып табылады. (4) және (6) формулаларды салыстырып, тізбектің толық кедергісін өрнектейміз:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (7)$$

мұндағы R – тізбектің активті кедергісі; $(X_L - X_C)$ – тізбектің реактивті кедергісі.



4-тапсырма

1. Айнымалы ток тізбегінің
 - конденсатордан және активті кедергіден;
 - индуктивтілік шарғысынан және активті кедергіден;
 - индуктивтілік шарғысынан және конденсатордан тұратын бөліктері үшін векторлық диаграмма тұрғызыңдар.
2. Осы бөліктердегі жалпы кернеуді анықтаңдар.
3. Әрбір бөлік үшін Ом заңын жазыңдар.



Жауабы қандай?

Қандай жиіліктерде тізбек бөліктерінің кедергісі артады?
Егер тізбек бөліктерін тұрақты ток көзіне қосса, не болады?

IV Айнымалы ток тізбегіндегі ток күші мен кернеу тербелістерінің фазалық ығысуы

Векторлық диаграммалардың артықшылығы – онда зерттелетін шамалардың фазалық ығысуы анық көрсетілуінде. Активті жүктемеден, конденсатордан және индуктивтілік шарғысынан тұратын тармақталмаған тізбектегі (49-сурет) ток күші мен кернеу тербелістері арасындағы фазалық ығысуды анықтайық. Ток күшінің бағыты активті кедергідегі кернеу бағытымен сәйкес келеді. Диаграммадан кернеу тербелісі ток күші тербелісінен озатыны көрініп тұр, фазалық ығысу φ -ға тең. Ток күші мен кернеудің теңдеулерін фазалық ығысуды ескеріп жазамыз:

$$i = I_m \cos \omega t; \quad (8)$$

$$u = U_{mZ} \cos(\omega t + \varphi). \quad (9)$$

Фазалық ығысуды кернеулер үшін үшбұрыш ережесін қолданып өрнектейміз (48-сурет):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R}. \quad (10)$$

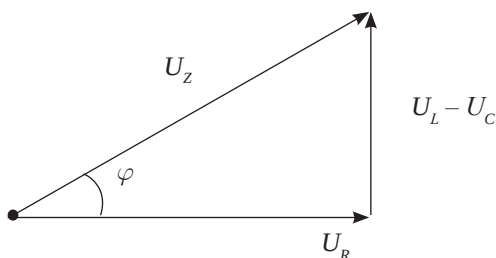
Кедергілер үшін үшбұрыш ережесінен шығатыны (50-сурет):

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}. \quad (11)$$

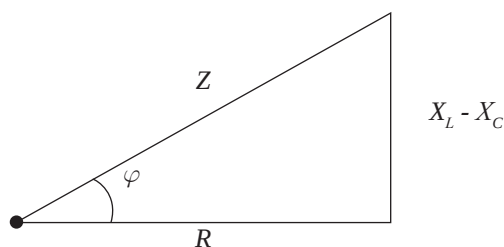


Жауабы қандай?

Реактивті кедергілердегі кернеулер бірдей мәнді қабылдаған жағдайда не болады?



49-сурет. Кернеулер үшбұрышы



50-сурет. Кедергілер үшбұрышы

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Кернеуі 120 В айнымалы ток желісіне активті кедергісі 15 Ом өткізгіш және индуктивтілігі 0,05 Гн шарғы тізбектей жалғанған. Егер ток күшінің амплитудасы 7 А болса, ток жиілігі қандай болады?

Берілгені:

$U = 120 \text{ В}$
 $R = 15 \text{ Ом}$
 $L = 0,05 \text{ Гн}$
 $I_m = 7 \text{ А}$

$\nu - ?$

Шешуі:

Тізбектей жалғанған тізбек бөлігі үшін Ом заңы:

$$I = \frac{U}{Z} \quad (1) \text{ мұндағы } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad (2) \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \quad (3)$$

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L. \quad (4)$$

(2–4) формулаларды (1) формулаға қойсақ, алатынымыз:

$$\frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + 4\pi^2\nu^2 L^2}} \quad (5)$$

(5) теңдеуді белгісіз шамаға қатысты шешеміз:

$$\frac{I_m^2}{2} = \frac{U^2}{R^2 + 4\pi^2\nu^2 L^2}; \quad 4\pi^2\nu^2 L^2 = \frac{2U^2}{I_m^2} - R^2; \quad \nu = \sqrt{\frac{2U^2 - I_m^2 R^2}{I_m^2 4\pi^2 L^2}} = \frac{\sqrt{2U^2 - I_m^2 R^2}}{I_m \cdot 2\pi L};$$

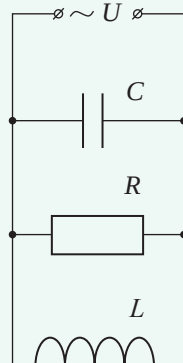
$$\nu = \frac{\sqrt{2 \cdot 120^2 \text{ В}^2 - 49 \text{ А}^2 \cdot 225 \text{ Ом}^2}}{7 \text{ А} \cdot 6,28 \cdot 0,05 \text{ Гн}} \approx 61 \text{ Гц.}$$

Жауабы: $\nu \approx 61 \text{ Гц.}$

Бақылау сұрақтары

1. Векторлық диаграммалардың мәнісі неде? Бұл әдістің қандай артықшылығы бар?
2. Айнымалы ток тізбек бөліктеріндегі жалпы кернеуді қалай анықтайды? Неге?
3. Айнымалы ток тізбегінің бөлігі үшін Ом заңын тұжырымдаңдар.
4. Индуктивтілік шарғысынан, конденсатордан және активті кедергіден тұратын тізбек бөлігі үшін толық кедергі неге тең?

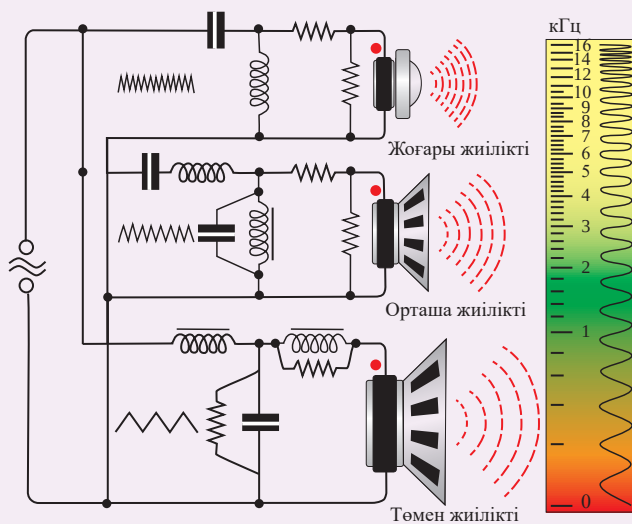
1. Айнымалы ток тізбегінің тармақталмаған бөлігі активті, индуктивтілік және сыйымдылық кедергілерден тұрады, олардың мәндері сәйкесінше $R = 3 \text{ Ом}$, $X_L = 6 \text{ Ом}$, $X_C = 2 \text{ Ом}$. Тізбектің жалпы кедергісін анықтаңдар.
2. 45-суреттегі сұлбада активті кедергі $R = 2 \text{ Ом}$, шарғының индуктивтілігі $L = 50 \text{ мГн}$, конденсатордың сыйымдылығы $C = 25 \text{ мкФ}$. Тізбектің толық кедергісін және 50 Гц айнымалы ток жиілігінде ток пен кернеу арасындағы фазалық ығысуды анықтаңдар.
- 3*. 51-суретте көрсетілген тізбек бөліктері үшін векторлық диаграмма тұрғызыңдар. Ом заңын жазыңдар, толық кедергіні анықтаңдар.
4. Жиілігі 100 Гц айнымалы ток генераторына индуктивтілігі $0,5 \text{ Гн}$ шарғы, сыйымдылығы 4 мкФ конденсатор және кедергісі 54 Ом резистор қосылған. Тізбектегі ток күшінің амплитудалық мәні $0,5 \text{ А}$. Генератордағы кернеудің амплитудалық мәнін анықтаңдар. Жауапты бүтін санға дейін дөңгелектендер.



51-сурет. Тізбектей жалғанған активті, сыйымдылық және индуктивті кедергілері бар айнымалы ток тізбегінің сұлбасы

Шығармашылық тапсырма

Динамиктерге арналған ЖЖ – жоғары жиілікті сүзгілер сұлбасын қарастырыңдар (52-сурет). Сүзгілердің негізгі қолданылу мақсатын анықтаңдар. ЖЖ сүзгілер үшін қандай бөлшектер қолданылады?



52-сурет. Динамиктерге арналған сүзгілер

§ 8. Айнымалы ток тізбегіндегі қуат

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- айнымалы токтың активті және реактивті қуат ұғымының физикалық мағынасын түсіндіре аласыңдар;
- векторлық диаграмма салу арқылы қуат коэффициентін анықтай аласыңдар.

I Активті кедергідегі айнымалы ток қуатының орташа мәні

Қуаттың лездік мәнінің уақытқа тәуелділігін жазайық:

$$p(t) = i^2 R = I_m^2 R \cos^2 \omega t. \quad (1)$$

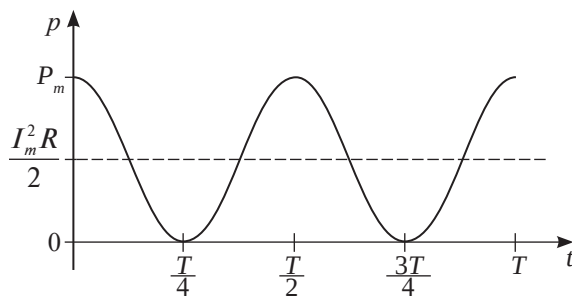
Тербеліс фазасы косинусының квадратын екі есе үлкен бұрыштың косинусы арқылы өрнектеп, (1) формулаға қойсақ, алатынымыз:

$$p(t) = I_m^2 R \left(\frac{1 + \cos 2\omega t}{2} \right) = \frac{I_m^2 R}{2} + \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\omega t. \quad (2)$$

$p(t)$ тәуелділік графигі 53-суретте көрсетілген.

(2) формулада екінші қосылғыш мәндерінің қосындысы нөлге тең екенін дәлелдеу қиын емес. Онда активті кедергідегі қуаттың орташа мәні мынаған тең:

$$P = \frac{I_m^2 R}{2}. \quad (3)$$



53-сурет. Айнымалы токтың лездік қуатының уақытқа тәуелділік графигі

Маңызды ақпарат

Екі есе үлкен бұрыштың косинусы мынаған тең:
 $\cos 2\alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$.
 Жиілігі ω гармоникалық электрмагниттік тербелістерге қолданылғанда мына түрге келеді:

$$\cos 2\omega t = 2 \cos^2 \omega t - 1.$$

Бұрыш косинусының квадратын екі есе үлкен бұрыштың косинусының квадраты арқылы өрнектейміз:

$$\cos^2 \omega t = \frac{1 + \cos 2\omega t}{2}.$$

1-тапсырма

(2) формула негізінде активті кедергідегі ток қуаты

$P = \frac{I_m^2 R}{2}$ екенін дәлелдеңдер.

Ұсыныс:

Берілген функцияның графигін тұрғызыңдар:

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

Бір период аралығында осы функцияның лездік мәндерінің қосындысы нөлге тең екенін дәлелдеңдер.

II Ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері

(3) формуланы $P = I^2 R$ (4) тұрақты ток резисторындағы қуатты есептеу формуласымен салыстыру ток күшінің әсерлік және максимал мәндерінің

арасында байланыс орнатуға мүмкіндік береді:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$



Назар аударыңдар!

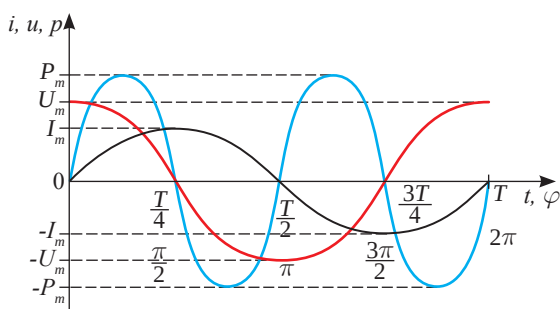
Үдеудің оң мәндері резистордың барлық тербеліс периодында электр энергиясын тұтынғанын көрсетеді.

Ом заңы негізінде $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ (6) екенін дәлелдеу

қиын емес.

III Индуктивтілік шарғысының қуаты

Қуаттың уақытқа тәуелділік графигін ток күші мен кернеудің сәйкес лездік мәндерін көбейту арқылы аламыз. 54-суретте индуктивтілік шарғысындағы ток күшінің, кернеудің және қуаттың бір период аралығындағы уақытқа тәуелділік графигі берілген. Қуат графигінен шарғы энергия жинақтаушы ретінде әрекет ететіні шығады. Периодтың алғашқы ширегінде шарғыдағы қуат оң мәнге ие. Келесі ширекте қуаттың мәні теріс болғандықтан, шарғы энергияны энергия көзіне қайтарады.



54-сурет. Индуктивтілік шарғысындағы ток күшінің, кернеудің және қуаттың бір период аралығындағы уақытқа тәуелділік графигері

IV Конденсатордағы ток қуаты

55-суретте конденсатордағы ток күші мен кернеудің бір период аралығындағы уақытқа тәуелділік графигері көрсетілген. Қуаттың уақытқа тәуелділік графигі ток күші мен кернеудің сәйкес лездік мәндерін көбейту арқылы алынған.



2-тапсырма

Активті кедергідегі айнымалы тоқтың лездік қуатының бір период аралығы үшін уақытқа тәуелділік графигін тұрғызыңдар. Тапсырманы ток күші мен кернеудің графигеріндегі сәйкес мәндерін көбейту арқылы орындаңдар. Алынған нәтижені 53-суретпен салыстырыңдар.



3-тапсырма

Ток қуатын:

- 1) резистордағы кернеудің максимал мәні арқылы;
- 2) ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері арқылы өрнектендер.



Есте сақтаңдар!

Айнымалы ток тізбегінде шарғы ток күшін шектейтін кедергі және энергия жинақтаушы ретінде қолданылады.



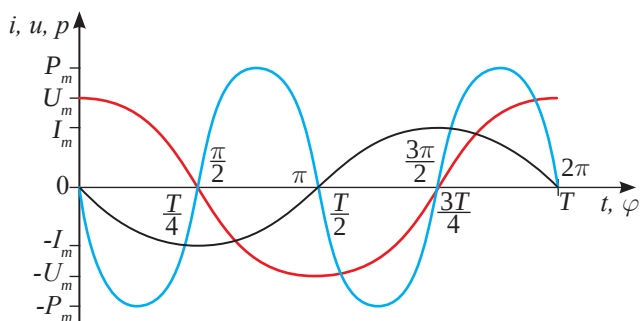
Жауабы қандай?

1. Айнымалы тоқтың қандай тізбегінде шарғының кедергісі жоғары болады: жоғары жиілікті ме, төменгі жиілікті ме?
2. Шарғының қандай қасиеті тізбекте ток күшінің тербелісін тудыруға мүмкіндік береді?
3. Шарғыда индуктивті кедергі бола ма?
4. Неліктен шарғының активті кедергісі кемігенде тербелістің ұзақтығы артады?



Назар аударыңдар!

Идеал шарғы электр энергиясын энергияның басқа түрлеріне түрлендірмейді, барлық тербеліс периодында қуат нөлге тең.



55-сурет. Конденсатордағы ток күшінің, кернеудің және қуаттың бір период аралығындағы уақытқа тәуелділік графиктері

Сыйымдылық кедергі энергия жинау үшін және жиілігі төмен айнымалы ток тізбегінде қуаты төмен аспаптар арқылы өтетін ток күшін шектеу үшін қолданылады.

V Конденсатордан, шарғыдан және активті кедергіден тұратын айнымалы ток тізбегіндегі ток қуаты

Векторлық диаграммада кернеулер үшбұрышын қолданып (56-сурет), активті кедергідегі кернеуді толық тізбектегі кернеудің амплитудалық мәні арқылы өрнектейміз:

$$U_{mR} = U_{mZ} \cos \varphi. \quad (7)$$

Алынған өрнекті ескеріп, тізбектегі қуаттың формуласын жазамыз:

$$P = \frac{I_m U_{mZ}}{2} \cos \varphi \quad (8)$$

$$\text{немесе} \quad P = I U \cos \varphi, \quad (9)$$

мұндағы I_m, U_m — ток күші мен кернеудің максимал мәндері, I, U — ток күші мен кернеудің әсерлік мәндері; $\cos \varphi$ — қуат коэффициенті.

Қуат коэффициенті айнымалы ток тізбегіндегі энергияның қанша бөлігі басқа энергия түріне айналатынын көрсетеді.

Мысалы, қуат коэффициенті $\cos \varphi = 0,8$ тізбектегі электрқозғалтқыш желіден 1 кВт электр энергиясын алып, 800 Вт энергияны энергияның басқа түрлеріне түрлендіреді және желіге 200 Вт электр энергиясын қайтарады.



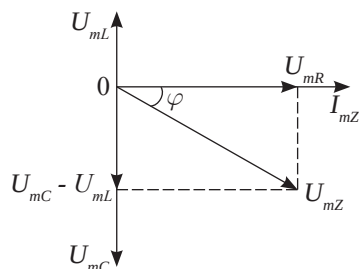
4-тапсырма

55-суретте берілген графиктерді талдаңдар.



Жауабы қандай?

1. Конденсатордың бір период аралығында тұтынатын қуаты неге тең? Тізбекте жұмыс жасалатын жалпы уақыт ішінде тұтынатын қуаты ше?
2. Ол бір период аралығындағы тербеліс көзінен неше рет зарядталады? Неше рет разрядталады?
3. Индуктивтілік шарғысы мен конденсатордағы қуаттың өзгеру графиктерін салыстырыңдар. Олардың айырмашылығы неде?
4. Конденсатор мен идеал шарғыдан тұратын контурда электромагниттік тербелістердің орындалу себебі неде?



56-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі ток күші мен кернеу тербелістері арасында фазалық ығысу пайда болады



Жауабы қандай?

Неліктен $\cos \varphi$ пайдалы әсер коэффициенті емес, қуат коэффициенті деп аталады?



Есте сақтаңдар!

Активті және реактивті кедергісі бар тізбекке берілетін энергияның бір бөлігі ғана активті кедергіде энергияның басқа түрлеріне айналады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Сыйымдылығы $C = 120$ мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған активті кедергісі $R = 15$ Ом, индуктивтілігі $L = 52$ мГн шарғы жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток желісіне қосылған. Желідегі кернеудің әсерлік мәні $U = 220$ В. Тізбектегі ток күшінің амплитудалық және әсерлік мәндерін, орташа қуатты анықтаңдар.

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$R = 15$ Ом		
$L = 52$ мГн	$52 \cdot 10^{-3}$ Гн	Тізбек бөлігі үшін Ом заңынан: $I_m = \frac{U_m}{Z}$, (1)
$\nu = 50$ Гц		екені шығады, мұндағы I_m, U_m – ток күші мен
$C = 120$ мкФ	$120 \cdot 10^{-6}$ Ф	кернеудің амплитудалық мәндері. Тізбектегі толық
$U = 220$ В		кедергі: $Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}$. (2)
$I_m - ?$ $I - ?$ $P - ?$		

Кернеудің әсерлік және амплитудалық мәндері арасындағы байланыс

$$U_m = \sqrt{2} U \quad (3)$$

формуласымен өрнектеледі. (2) және (3) формулаларды (1)-ге қойып, ток күшінің амплитудалық мәнін табамыз:

$$I_m = \frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}}, I_m \approx 17,2 \text{ A.}$$

Ток күшінің әсерлік мәні максимал мәнімен мына қатынаспен байланысқан:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, I \approx 12,3 \text{ A.}$$

Айнымалы тоқтың орташа қуаты: $P = IU \cos \varphi$. (4)

Қуат коэффициенті $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}}. \quad (5)$$

(5) формуланы (4)-ке қойып, қуатты мына формула бойынша есептейміз:

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

$$P = \frac{220 \text{ В} \cdot 12,3 \text{ А} \cdot 15 \text{ Ом}}{\sqrt{15^2 \text{ Ом}^2 + \left(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ Гц} \cdot 52 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} - \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ Гц} \cdot 120 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}\right)^2}} \approx 2250 \text{ Вт}.$$

Жауабы: $I_m \approx 17,2 \text{ А}$; $I \approx 12,3 \text{ А}$; $P \approx 2250 \text{ Вт}$.

Бақылау сұрақтары

1. Айнымалы токтың қуатын қалай анықтайды?
2. Қуат коэффициенті нені көрсетеді?

★ Жаттығу

8

1. Айнымалы ток желісіне кедергісі $R = 40$ Ом шәйнек қосылған. Егер желідегі кернеу амплитудасы $U_m = 311$ В болса, қуатты және $t = 3$ мин ішінде бөлінетін жылу мөлшерін анықтаңдар.
2. 57-суретте айнымалы ток тізбегінің кедергілері $R = 3$ Ом, $X_L = 6$ Ом, $X_C = 2$ Ом резистордан, шарғыдан және конденсатордан тұратын бөлігі көрсетілген.
 - а) Кедергілер үшбұрышын тұрғызыңдар.
 - ә) Тізбектің толық кедергісін анықтаңдар.
 - б) Қуат коэффициентін анықтаңдар.
- 3*. Тізбектей жалғанған R, L, C элементтері $U = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу көзіне қосылған, мұндағы $U_m = 179$ В. Жиілік $\nu = 10$ кГц болғанда, тізбектегі ток күші максимал мәнге ие.
 - а) Ом заңы негізінде қандай жағдайда тізбектегі ток күші максимал мәнге ие болатынын талдаңдар.
 - ә) $C = 0,05$ мкФ деп алып, тізбектің индуктивтілігін анықтаңдар.
 - б) Кернеу мен ток күшінің векторлық диаграммасын тұрғызыңдар, қуат коэффициентін анықтаңдар.
 - в) $R = 50$ Ом активті кедергіде бөлінетін қуатты анықтаңдар.
4. Кернеуі 220 В тізбекке активті кедергісі 10 Ом болатын резистор және индуктивтілік шарғысы тізбектей жалғанды. Егер резистордағы және шарғыдағы кернеудің әсерлік мәндері сәйкесінше 50 В және 160 В болса, онда шарғыда бөлінетін жылу қуатын анықтаңдар.



57-сурет. Айнымалы ток тізбегінің бөлігі

Шығармашылық тапсырма

«Электр және радиоаспаптарда активті кедергіні, шарғыны және конденсаторды қолдану» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 9. Электр тізбегіндегі кернеу резонансы

Күтілетін нәтиже:

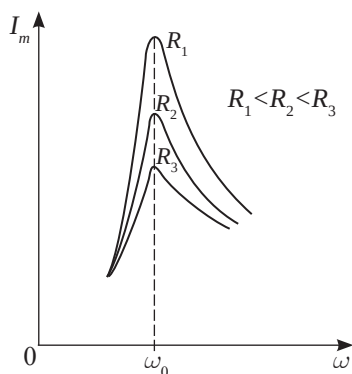
Осы параграфты оқығанда:

- резонанс шартын түсіндіріп, оның қолданылуына мысал келтіре аласыңдар, резонанстық жиілікті есептей аласыңдар.



Естеріңізге түсіріңдер!

Айнымалы ток тізбегінде резонанс ток күшінің тербеліс амплитудасының бірден артуы кезінде байқалады.



58-сурет. Ток күшінің амплитудалық мәндерінің резонанстық қисықтары



1-тапсырма

Резонанс кезінде конденсатордан, индуктивтілік шарғысынан және активті кедергіден тұратын тізбек үшін ток күшінің максимал

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

Ом заңы бойынша мына

түрге:
$$I_m = \frac{U_m}{R}$$
 келетінін дәлелдендер.

I Резонанс шарты. Резонанстық жиілік

Резистордан, индуктивтілік шарғысынан және конденсатордан тұратын тізбектің толық кедергісі сыйымдылық кедергі мен индуктивті кедергі тең болған жағдайда ең төменгі мәнге ие болады:

$$X_L = X_C. \quad (1)$$

Бұл жағдайда тізбектегі толық кедергі активті кедергіге тең болады $Z = R$, ток күшінің амплитудалық мәні максимал мәнге жетеді:

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (2)$$

Ток күші максимал мәнге жететін еріксіз тербелістердің жиілігін анықтайық. (1) теңдіктен

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \text{ немесе } \omega^2 = \frac{1}{LC}$$

екені шығады. Алынған қатынастан циклдік жиілікті өрнектейік:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (3)$$

(3) формуладан *тізбектей жалғанған резистордан, шарғыдан және конденсатордан тұратын тізбекте резонанс сыртқы кернеудің циклдік жиілігі мен тізбектің мениікті циклдік жиілігі тең болған кезде орындалатыны* шығады:

$$\omega = \omega_0. \quad (4)$$

58-суретте ток күшінің амплитудалық мәндерінің резонанстық қисықтары берілген. Активті кедергі неғұрлым аз болса, резонанс соғұрлым анық байқалады.



2-тапсырма

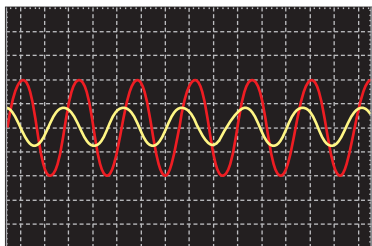
Бір координаталық жазықтықта индуктивтілігі L шарғының және сыйымдылығы C конденсатордың реактивті кедергілерінің ω циклдік тербеліс жиілігіне тәуелділік графиктерін салыңдар. Циклдік жиіліктің қандай мәнінде реактивті кедергілер бірдей мәнге ие болады?

II Резонанс

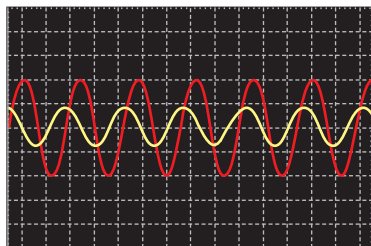
Индуктивтілік шарғысы мен конденсатордағы кернеулердің тербелісі қарсы фазаларда жүреді. $X_L = X_C$ резонанс жағдайында конденсатордағы және шарғыдағы кернеулер тең $U_{L\text{рез}} = U_{C\text{рез}}$.



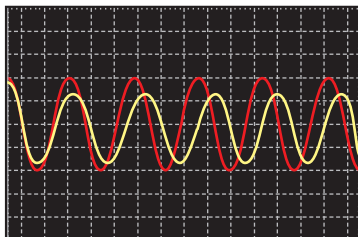
Тізбектей жалғанған айнымалы жиілік генераторынан (4 В), айнымалы жиілік резисторынан, индуктивтілік шарғысынан (1 мГн) және конденсатордан (1 мкФ) тұратын тізбек құрастырындар. Тізбек элементтерінің параметрлері ток көзінің жиілік диапазонымен анықталады. Айнымалы жиілік генераторы мен резисторы үшін осциллограмма алындар. Резисторда кернеу мен ток күші бірдей фазада өзгертін болғандықтан, резистордан алынған кернеу тізбектегі ток күшінің өзгерісі туралы ақпарат береді. 59, а, ә, б-суреттерде айнымалы ток генераторынан алынған сигналдар қызыл түспен, резистордан алынған сигналдар сары түспен көрсетілген осциллограммалар берілген. 59, в-суретте конденсатордан резонанс шартында алынған кернеу көрсетілген.



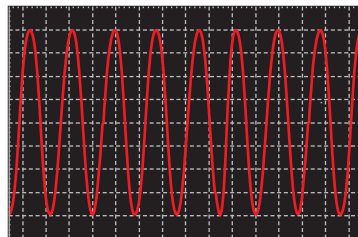
а) Сигнал жиілігі 2 кГц. Ток күшінің тербелісі кернеу тербелісін басып озады. Төменгі жиіліктерде сыйымдылық кедергісі басым болады.



ә) Сигнал жиілігі 4,78 кГц. Индуктивті кедергі сыйымдылық кедергіге тең, резонанс байқалады. Кернеу мен ток күшінің тербелістері фаза бойынша сәйкес келеді, ток күшінің амплитудасы артады.



б) Сигнал жиілігі 7,2 кГц. Кернеудің тербелісі ток күшінің тербелісін басып озады. Жоғары жиіліктерде индуктивті кедергісі басым болады.



в) Резонанс жағдайында конденсатор мен индуктивтілік шарғысындағы кернеу 10 В, бұл кірістегі кернеу мәнінен артық.

59-сурет. Тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегіндегі кернеу резонансы

Векторлық қосу кезінде конденсатор мен шарғыдағы жалпы кернеу нөлге тең және барлық кедергілер толығымен активті кедергіге беріледі $U_{\text{кіріс}} = U_R$. Нәтижесінде тізбектегі ток артады. Онымен бірге шарғыдағы және конденсатордағы кернеу де артады:

$$U_{L_{\text{рез}}} = I_{\text{рез}} X_L = \frac{U_{\text{кіріс}}}{R} \omega_{\text{рез}} L = U_{\text{кіріс}} \frac{L}{\sqrt{LC} \cdot R} = U_{\text{кіріс}} \frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}},$$

$$U_{C_{\text{рез}}} = I_{\text{рез}} X_C = \frac{U_{\text{кіріс}}}{R\omega_{\text{рез}} C} = \frac{U_{\text{кіріс}}}{R} \frac{\sqrt{LC}}{C} = U_{\text{кіріс}} \frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}}.$$

Реактивті кедергідегі кернеудің артуын әрқашан бірден үлкен $\frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}}$ шамасы арқылы есептеуге болады. Оны *контурдың сапалылығы* $Q = \frac{\sqrt{L}}{R\sqrt{C}}$ деп атайды.

Кернеулердің резонансы реактивті элементтердегі кернеудің Q есе өсуіне алып келеді. Активті кедергісі жоғары тізбектерде резонанс байқалуы мүмкін емес.

III Айнымалы ток тізбегінде резонансты қолдану

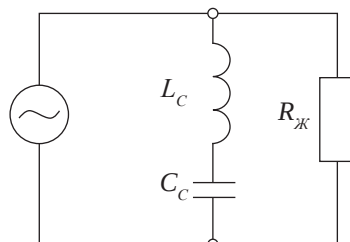
Радиоқабылдағыш. Кез келген радиоқабылдағыштың кіріс тізбегі реттелетін тербелмелі контурды береді. Оның конденсатор сыйымдылығын реттеу арқылы өзгертуге болатын резонанстық жиілігі радиостансы сигналының жиілігімен сәйкес келеді (60-сурет).

Электрлік сүзгілер (61-сурет). Кернеулердің резонансы құбылысын электрлік сүзгілерде қолданады. Егер жіберілетін сигналдан қандай да бір жиіліктегі ток құраушысын алып тастау керек болса, онда қабылдағышқа параллель, өзара тізбектей жалғанған конденсатор мен индуктивтілік шарғысын жалғайды (62-сурет). Резонанстық жиілік тогы LC-тізбек арқылы өтеді, басқа жиілікті токтар қабылдағыш арқылы өтеді.

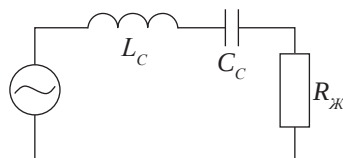
Егер қабылдағыш арқылы тек белгілі бір жиіліктегі ғана ток өтсе, онда LC-тізбекті қабылдағышқа тізбектей жалғайды (63-сурет). Бұл жағдайда сигналдың резонанстық жиіліктегі құраушысы жүктемеге шығынсыз өтеді, басқа жиіліктердің сигналдары әлсірейді.



60-сурет. Радиоқабылдағышты резонанстық жиілікке келтіру



62-сурет. Резонанстық жиіліктегі сигналды кідіретін сүзгі



63-сурет. Резонанстық жиіліктегі сигналды анықтайтын сүзгі



61-сурет. Компьютерге арналған желілік сүзгі

IV Резонанстың зиянды әсерлері

Резонанс жағдайында шарғы мен конденсатордағы кернеу активті кедергінің төменгі мәндерінде кірістегі кернеуден бірнеше есе артық болуы мүмкін. Мұны диэлектрик қабатының тесілуін және шарғының оқшаулағышының жанып кетуін болдырмау үшін ескерген жөн.

Электрэнергетикада кернеулер резонансы электр энергиясын тұтынушыны – жүк-темесі жоқ ұзын кабельді желі генераторына қосу жағдайында орындалады. Мұндай жағдай қосымша жүктеме қолданудың алдын алады.

Бақылау сұрақтары

1. Резонанс құбылысы қайда және қандай тізбектерде байқалады?
2. Ток күші және кернеу резонансы қандай шарттар орындалғанда пайда болады?
3. Резонанстық жиілік қалай анықталады?
4. Кернеу резонансы құбылысының қалай алдын алуға болады?

★ Жаттығу

9

1. Конденсатор мен шарғы тізбектей жалғанған. Сыйымдылық кедергі $X_C = 5000$ Ом. Егер жиілік $\nu = 20$ кГц болғанда кернеу резонансы байқалатын болса, тізбекке қосылған шарғының индуктивтілігі қандай?
2. Активті кедергісі $R = 100$ Ом реостат, индуктивтілігі $L = 5$ мГн шарғы және сыйымдылығы $C = 0,05$ мкФ конденсатор тізбектей жалғанған. Резонанстық жиілікті, резонанстық жиілік кезіндегі конденсатор мен шарғыдағы кернеулердің максимал мәндерін анықтаңдар. Тізбекке берілген кернеудің әсерлік мәні $U = 10$ В.
3. Активті кедергісі $R = 2$ Ом және индуктивтілігі $L = 75$ мГн шарғы айнымалы сыйымдылықты конденсатормен бірге кернеуінің әсерлік мәні $U = 50$ В, жиілігі $\nu = 50$ Гц желіге тізбектей жалғанған. Кернеулер резонансы кезінде конденсатордың C сыйымдылығын және шарғыдағы U_L кернеу мәнін, конденсатордағы U_C кернеу мәнін анықтаңдар.
- 4*. Электр тізбегі өзара тізбектей жалғанған кедергісі $R = 10$ Ом резистордан, индуктивтілігі $L = 100$ мкГн шарғыдан және сыйымдылығы $C = 100$ пФ конденсатордан тұрады. Резонанстық жиілік пен тізбектің сапалылығын анықтаңдар. Егер жалпы кернеу $U = 1$ В болса, ток күші I , ток қуаты P , индуктивтілік шарғысындағы кернеу U_L және конденсатордағы кернеу U_C неге тең?

Шығармашылық тапсырма

Мына тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ток күшінің резонансы мен кернеу резонансының айырмашылығы неде?
2. Ток және кернеу резонансының электртехника мен радиотехникада қолданылуы.

§ 10. Электр энергиясын өндіру, тасымалдау және қолдану. Трансформатор

Күтілетін нәтиже:

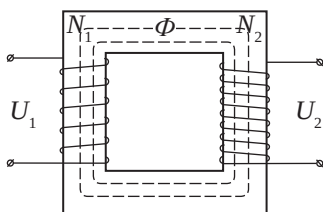
Осы параграфты игергенде:

- қуат формуласының негізінде трансформатордың жұмыс істеу принципін талдай аласыңдар;
- электр энергиясын тасымалдау үшін жоғары кернеудегі айнымалы тоқтың экономикалық артықшылықтарын түсіндіре аласыңдар.



Назар аударыңдар!

Тұрмыста және техникада қуаттары әртүрлі электр аспаптары қолданылады, оларға қуат көзі ретінде жиілігі 50 Гц айнымалы тоқтың өндірістік желісі пайдаланылады. Бұл желідегі ток көздері – электрстансыларында орналасқан айнымалы тоқтың индукциялық генераторлары. Айнымалы ток тұтынушыларға сымдар арқылы беріледі.



65-сурет. Трансформатор құрылысының принциптік сұлбасы

I Трансформатор құрылғысы, тасымалдау коэффициенті

Тұтынушылар әртүрлі кернеулерді қажет етеді, сондықтан оны түрлендіру қажеттілігі туындады.

Трансформатор – айнымалы ток кернеуін түрлендіру үшін қолданылатын аспап (64-сурет).



64-сурет. Кентау қаласында жасап шығарылған күштік трансформатор

Трансформатор тұйықталған болат өзекшеден және орам сандары әртүрлі екі немесе бірнеше орамдан тұрады (65-сурет). Трансформатордың жұмыс істеу принципі электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Трансформатордың бірінші реттік орамасын кернеуі U_1 айнымалы ток тізбегіне қосқанда орама арқылы өзекшеде Φ айнымалы магнит ағынын тудыратын I_1 ток өтеді. Бұл ағын трансформатор орамаларында электр қозғаушы күштері:

$$e_1 = -N_1 \Phi' \quad \text{және} \quad e_2 = -N_2 \Phi' \quad (1)$$

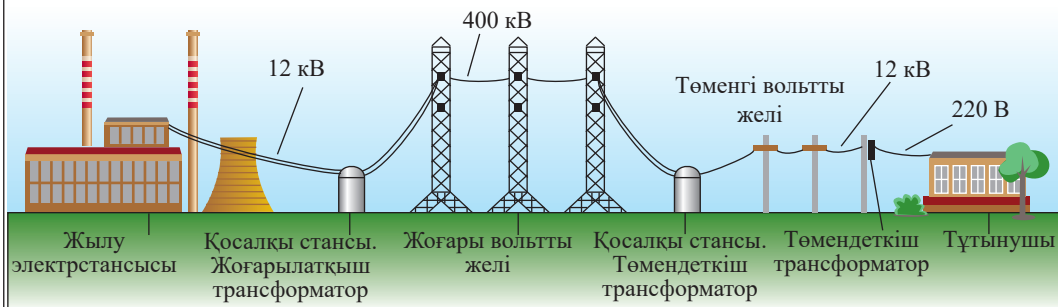
құйынды өрістер тудырады. Мұндағы N_1 – бірінші реттік орамадағы орам саны, N_2 – трансформатордың екінші реттік орамасындағы орам саны. Трансформатор орамаларындағы ЭҚК қатынасы орамдар санымен анықталады:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{-N_1 \Phi'}{-N_2 \Phi'} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (2)$$

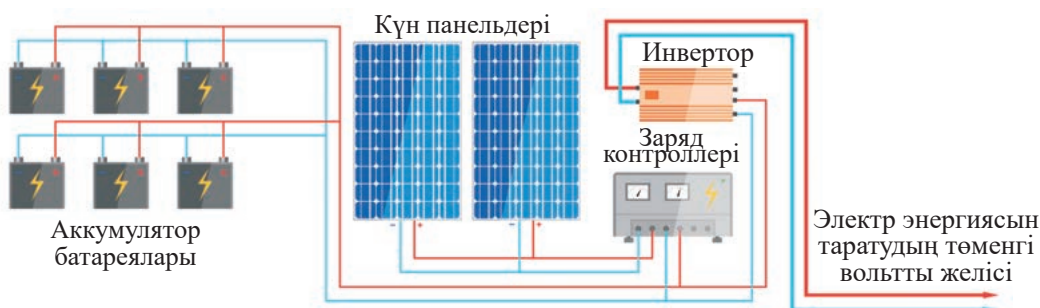


1-тапсырма

66 және 67-суреттерде бейнеленген электр энергиясының берілу сұлбаларын қарастырыңдар. Олардың айырмашылығы неде? Ұқсастықтары ше?



66-сурет. Индукциялық генераторда электр энергиясының өндірілуі және тұтынушыларға берілуі



67-сурет. Күн батареясынан өндірістік желі арқылы электр энергиясының өндірілуі және тұтынушыларға берілуі

Алынған қатынас ЭҚК-ның әсерлік мәндері үшін орындалады, себебі орамалар өзекшелеріндегі ағын бірдей фазада өзгереді:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3)$$

Ом заңының негізінде активті кедергісі аз бірінші реттік орамаға түсірілген кернеу теріс таңбамен алынған индукция ЭҚК-сына тең:

$$u_1 + e_{i1} = 0 \text{ немесе } u_i = -e_{i1}.$$

Кернеудің және ЭҚК-ның әсерлік мәндері тең:

$$U_1 = \varepsilon_1. \quad (4)$$

Екінші реттік орама үшін ε_2 индукцияның ЭҚК-сы шарғыға

$$\varepsilon_2 = U_2 \quad (5)$$

жүктеме қосылған кезде, шығыстағы U_2 кернеуге тең. Бұл жағдайда трансформатор бос жүріс



Жауабы қандай?

1. Трансформаторлар не үшін қажет?
2. Неліктен тізбекте электр тасымалдау желісінен кейін кернеу жоғарылайды?
3. Инвертордың қолданылу мақсатын анықтаңдар.

тәртібінде болады. (4) және (5) өрнектерді ескерсек, (3) теңдеу мына түрге келеді:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (6)$$

Тасымалдау коэффициенті – трансформатордың бірінші реттік орамасындағы орамдар санының екінші реттік орамадағы орамдар санына қатынасына тең шама:

$$k = \frac{N_1}{N_2}. \quad (7)$$

Есте сақтаңдар!

Егер шарғының активті кедергісін ескермеуге болмайтын болса және екінші реттік орамаға жүктеме қосылған болса, онда бірінші реттік орамаға түсірілген кернеу мынаған тең: $U_1 = \mathcal{E}_1 + I_1 R_{L1}$. (8)

Екінші реттік орамадағы ЭҚК: $\mathcal{E}_2 = U_2 + I_2 R_{L2}$, (9)

мұндағы $U_2 = I_2 R_2$ – жүктемедегі кернеу, I_2 – трансформатордың екінші реттік орамасындағы токтың әсерлік мәні. Онда (3) формула мына түрге келеді:

$$\frac{U_1 - I_1 R_{L1}}{U_2 + I_2 R_{L2}} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (10)$$

Есте сақтаңдар!

Егер тасымалдау коэффициенті бірден артық болса $k > 1$, онда трансформатор төмендеткіш: $U_2 < U_1$. Ал $k < 1$ болса, трансформатор жоғарылатқыш: $U_2 > U_1$.

2-тапсырма

66-суретте көрсетілген жоғарылатқыш және төмендеткіш трансформаторлардың екінші реттік орамаларындағы орамдар саны бірінші реттік орамаларындағы орамдар санынан неше есе артық екенін анықтаңдар.

II Трансформатордағы ток күші мен ток қуаты

Тасымалдау кезінде тербеліс жиілігінің кернеуі сақталады. Ток қуаты өзгермейді. Трансформатордың ПӘК-і 99 %-ке жетеді. Орамаларды қыздыру және өзекшенің қайта магниттелуі кезінде аз ғана энергия шығындалады. $P_1 \approx P_2$ деп санап,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (11)$$

екенін дәлелдеу қиын емес. Кернеуді тасымалдау кезінде ток күшінің тасымалдануы орындалады.

Жауабы қандай?

1. Кернеу мен ЭҚК-ның максимал мәндері үшін (3) және (6) қатынастар орындала ма?
2. Жоғарылатқыш трансформаторды төмендеткіш трансформатор ретінде және керісінше қолдануға бола ма?

III Электр энергиясы генераторынан трансформатордың екінші реттік тізбегіне энергия тасымалдау

Трансформатордың екінші реттік орамасында жүктеме бар болса, айнымалы ток амплитудасы I_2 кемиді. Екінші реттік орамада өздік индукцияның ЭҚК-сы пайда болады, ол өзекшедегі магнит ағынының азаюына алып келеді. U_1 кернеудің тұрақты мәнінде бірінші реттік орамада ЭҚК-ның кемуі ондағы I_1 ток күшінің кернеу мен ЭҚК мәні тең бол-

Жауабы қандай?

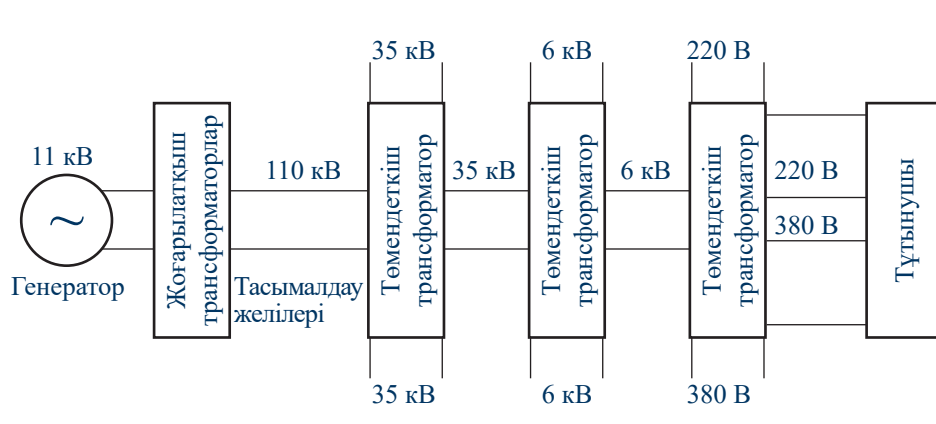
Неліктен электр тасымалдаушы желілерде энергия шығынын сымның қалыңдығын арттыру арқылы төмендетпейді?

ғанға дейін $U_1 = \varepsilon_1$ артуына алып келеді. Бірінші реттік орамада ток күшінің артуы – генератордан ток күші тұтынылғанын дәлелдейді. Екінші реттік орамада жүктеме артқан сайын, магнит ағынының өзгерісі де артады, энергия көзінен электр энергиясын тұтыну да жоғарылайды.



3-тапсырма

1. Диаметрі 1 мм екі алюминий сымнан тұратын электртасымалдаушы желілердің әрбір километрінің кедергісі 20 Ом екенін дәлелдеңдер.
2. Кернеу 12 кВ-тан 400 кВ-қа артқанда энергия шығыны неше есе азаяды (66-сурет)?
3. 68-суретте бейнеленген электртасымалдаушы желілердің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



68-сурет. Электртасымалдаушы желілердің принциптік сұлбасы

IV Электртасымалдаушы желілер (ЭТЖ)

Барлық электрстансылар Жерде бірқалыпты таралмаған табиғи энергоресурс-тарға жақын орналасқан, сондықтан бір аймақтардан алынған электр энергиясы басқа аймақтарға электртасымалдаушы желілер арқылы беріледі. Электртасымалдаушы желілердің сымдары меншікті электр кедергісі аз металдардан жасалатынына қарамастан, олардың кедергілері жоғары мәнге ие болады.

Электр энергиясын жүздеген және мыңдаған километрлерге тасымалдау барысында энергияның жылулық шығыны жоғары болса, электр энергиясы тұтынушыға жетпей қалады. Электр энергиясын тасымалдау кезінде энергия шығынын азайту – практикалық маңызды мәселе. Джоуль – Ленц заңынан:

$$Q = I^2 R t$$

электртасымалдаушы желілердегі ток күшін кеміту – осы мәселені шешудің ең тиімді жолы екенін көреміз. Ток күшін он есе кеміту энергия шығынын жүз есе кемітуге мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Трансформатор деген не? Ол неден құралады?
2. Трансформатор не үшін қолданылады?

3. Трансформатордың бірінші реттік орамасы тізбегіндегі ток көзінен екінші реттік орамасындағы жүктемеге энергия беру қалай орындалады?
4. ЭТЖ қандай мақсаттарда қолданылады?

★ Жаттығу

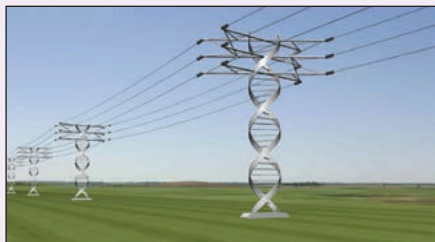
10

1. $N = 200$ орамы бар трансформатордың екінші реттік орамасын уақыт бойынша $\Phi = 0,02\cos 100\pi t$ заңымен өзгеретін магнит ағыны тесіп өтеді. Екінші реттік орамадағы ЭҚК-ның уақытқа тәуелділігін өрнектейтін формуланы жазыңдар, осы ЭҚК-ның әсерлік мәнін анықтаңдар.
2. Тасымалдау коэффициенті $k = 20$ төмендеткіш трансформатор кернеуі $U_1 = 220$ В желіге қосылған. Егер екінші реттік ораманың кедергісі $r_2 = 0,1$ Ом, жүктеменің кедергісі $R_2 = 1$ Ом болса, трансформатор шығысындағы кернеу қандай болуы керек?
3. Жоғарылатқыш трансформатордың тасымалдау коэффициенті $k = 0,5$. Екінші реттік орама тізбегіне қосылған жүктеменің кернеуі $U_2 = 216$ В. Жүктеменің кедергісі $R_2 = 10,8$ Ом, екінші реттік ораманың кедергісі $r = 0,2$ Ом. Бірінші реттік орамадағы кернеу мен ток күшін, трансформатордың ПӘК-ін анықтаңдар.
- 4*. $P_{\text{ж}} = 1$ МВт қуат тұтынатын жүктеме электрстансыдан $l = 75$ км қашықтықта орналасқан. Егер мыс сымның көлденең қимасының ауданы $S = 16$ мм² болса, электртасымалдаушы желі кірісіндегі қуат қандай болуы керек? Мыстың меншікті кедергісі $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, желідегі кернеу 40 кВ, $\cos\varphi = 0,63$.
- 5*. Көлденең қимасының ауданы $S = 15$ мм² мыс сым арқылы энергия шығыны 10%-тен аспайтындай қуаты $P = 200$ МВт энергияны қандай қашықтыққа тасымалдауға болады? Желідегі кернеу $U = 350$ кВ, $\cos\varphi = 0,87$.

Шығармашылық тапсырма

Мына тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Трансформаторлардың жасалу тарихы. Трансформаторлардың даму тарихы. ҚР-дағы трансформатор өндірісі.
2. Қазақстандағы және әлемдегі электртасымалдаушы желілердің негізгі сипаттамалары (69-сурет).



69-сурет. Электртасымалдаушы желілердің бағандары

§ 11. Қазақстандағы және дүниежүзіндегі электр энергиясын өндіру және қолдану

Күтілетін нәтиже:

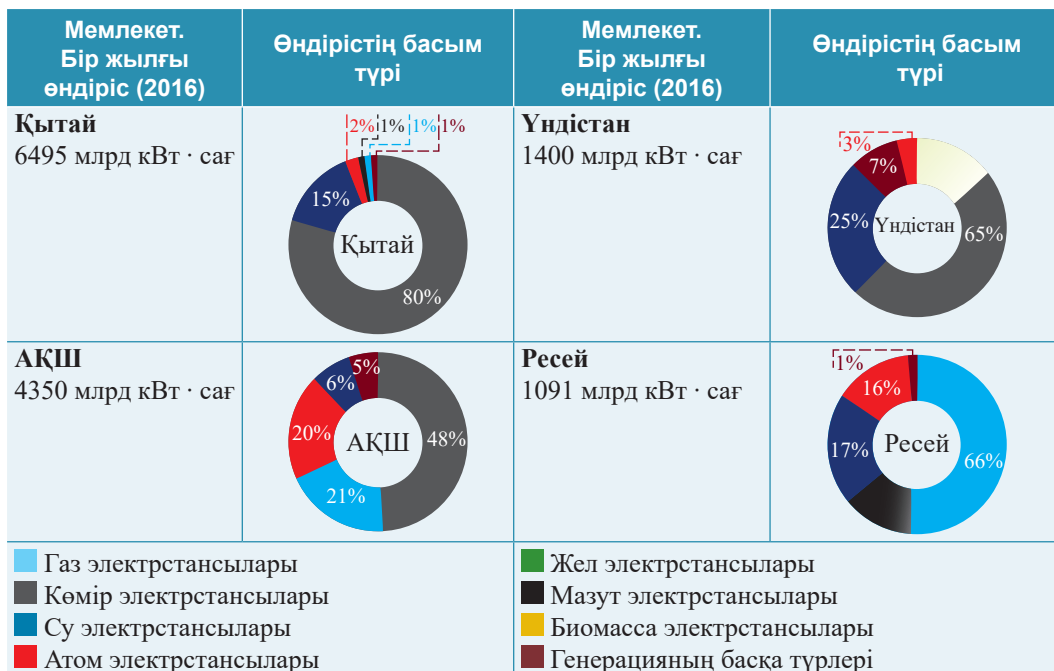
Осы параграфты игергенде:

- Қазақстандағы электр энергиясы көздерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін бағалай аласыңдар.

I Қазақстандағы және дүниежүзіндегі электр энергиясын өндіру технологиясы. Электр энергиясын өндіру саласының көшбасшылары

XX ғасырдың соңына дейін көптеген мемлекеттерде электр энергиясын өндіру айнымалы ток генераторын қолдану арқылы жүзеге асты. Генераторларда құлаған су ағынының энергиясы, мұнай, газ, көмір, шымтезек

сияқты органикалық отын энергиясы, атом энергиясы электр энергиясына айналдырылады. XXI ғасырда мемлекеттер энергияның жаңартылатын көздерін қолдануға көшті. Әлемдік энергетиканың статистикасы электр энергиясын өндіру бойынша Қытай, АҚШ және Үндістан көш бастап тұрғанын көрсетті. 70-суретте көшбасшы мемлекеттердің өндіріс технологиясы бойынша 2016 жылғы статистика қорытындысы берілген.



70-сурет. Көшбасшы мемлекеттердегі электр энергиясын өндіру технологиясы

Бұл қызық!

Адамзаттың электр энергиясын өндіруі 1870 жылдардың соңында басталды. Осы кезде бавариялық инженер З.Шуккерт Этталь қаласында алғашқы электрстансыны тұрғызды. Ол Линдерхоф сарайы бақшасында орналасқан болатын. Оның ішінде жарықтандыру қажет болған үңгір бар еді. Үңгірді жарықтандыру үшін шам жеткіліксіз болды да, Шуккерт тәжірибе жасауға бел буды. Оның электрстансысы 24 бу қозғалтқышының сымымен жалғанған 24 динамоэлектрлік мәшинеден тұрды.

2016 жылы Қазақстанда 92 млрд кВт · сағ электр энергиясы өндірілген. Рейтингіте Қазақстан 35-орынға тұрақтады.

2018 жылы «Қазақстанның электрэнергетикасы саласының ұзақмерзімді даму стратегиясы» атты энергетикалық форум өтті. Онда энергетика саласының дамуына әсер ететін тұтынушылар тарапынан электржабдықталу сапасы мен сенімділігіне қойылатын талаптардың, экологиялық және өндірістік қауіпсіздік талаптарының артуы, жаңартылатын энергия көздерін дамыту, энергетикалық жүйені жаһандандыру сияқты негізгі мақсаттар анықталды. «Электр желілерін басқару жөніндегі Қазақстан компаниясының» төрағасы әлемдік электр энергияны дамытудың жаңа тұжырымдамасы – Smart Grid интеллектуалды энергожүйе тұжырымдамасы осы мақсаттарға сәйкес келетінін атап өтті. Интеллектуалды энергожүйенің негізі – заманауи сандық технологиялар және энергожүйенің басқарылатын күштік элементтері. 2017 жылы XI Еуразиялық KAZENERGY форумында Қазақстанның стратегиясында дәстүрлі энергияның жоғары көрсеткіштерімен қатар баламалы, соның ішінде жаңартылатын энергия көздерінің кезеңдер бойынша дамуына да басты назар аударылатыны туралы айтылды. Онда Қазақстан баламалы және жаңартылатын көздерді энергобалансқа тарту арқылы олардың жалпы энергия көлеміндегі үлесі 2020 жылға қарай 3 %-ті, 2030 жылдарға қарай 10 %-ті, 2050 жылдарға қарай 50 %-ті құрауы керек екені көрсетілген. Жасыл экономикаға өту мәселелерімен ЭКСПО-2017 базасында құрылған Жасыл технологиялардың халықаралық орталығы айналысады.



1-тапсырма

1. «Электр энергиясының дәстүрлі және дәстүрлі емес көздері» кестесін құрыңдар.
2. Электр энергиясын алу-дың дәстүрлі әдістерінің артықшылығы неде? Кемшіліктері ше?
3. Қазақстанда электр энергиясын өндіруде қандай технологиялар қолданылады?



2-тапсырма

1. 2016 жылғы электр энергиясы өндірісінің рейтингі негізінде (4-кесте) «Жапониядағы, Германиядағы және Қазақстандағы электр энергиясы өндірісіндегі басым технологиялар» диаграммасын құрастырыңдар.
2. Интернет желісінен өткен жылға арналған статистика мәліметтерін тауып, 2016 жылғы статистикамен салыстырыңдар. Көрсетілген мемлекеттерде электр энергиясы өндірісінің көлемі және технологиялары бойынша қандай өзгерістер орын алған?

4-кесте. 2016 жылғы электр энергия өндірісінің рейтингі

Жанғыш отын			Су электрстансысы			Ядролық энергия		
№	Мемлекет	млн кВт · сағ	№	Мемлекет	млн кВт · сағ	№	Мемлекет	млн кВт · сағ
1	Қытай	3942347	1	Қытай	1208383	1	Франция	449263
2	Үндістан	1110531	2	Канада	342427	2	Жапония	288230
3	Жапония	765570	3	Бразилия	333763	3	Ресей	189006
4	Ресей	640390	4	Ресей	169984	4	Корея Республикасы	174030
5	Германия	347000	5	Норвегия	140698	5	Қытай	153463
6	Корея Республикасы	334942	6	Үндістан	116980	6	Канада	11917
7	Иран	262934	7	Жапония	71909	7	Германия	96968

Жанғыш отын			Су электрстансысы			Ядролық энергия		
№	Мемлекет	млн кВт · сағ	№	Мемлекет	млн кВт · сағ	№	Мемлекет	млн кВт · сағ
8	Мексика	193012	8	Италия	64991	8	Үндістан	37976
9	Аустралия	190406	9	Франция	60528	9	Чехия	29905
10	Египет	164662	10	Парагвай	50175	10	Бельгия	24762
17	Қазақстан	98233	35	Қазақстан	8795		Қазақстан	—

Күн энергиясы			Жел энергиясы			Геотермальды энергия		
№	Мемлекет	млн кВт · сағ	№	Мемлекет	млн кВт · сағ	№	Мемлекет	млн кВт · сағ
1	Германия	41102	1	Қытай	170959	1	Филиппин	11012
2	Қытай	24814	2	Германия	63006	2	Индонезия	9357
3	Италия	23023	3	Канада	26875	3	Жаңа Зеландия	8043
4	Үндістан	6491	4	Үндістан	18911	4	Италия	5231
5	Грекия	3936	5	Бразилия	17840	5	Мексика	4054
6	Франция	3291	6	Франция	17064	6	Исландия	2402
7	Корея Республикасы	2960	7	Италия	15459	7	Кения	1559
8	Чехия	2213	8	Дания	15035	8	Жапония	1556
9	Румыния	2181	9	Аустралия	12544	9	Коста-Рика	645
10	Канада	2013	10	Португалия	12208	10	Сальвадор	466
	Қазақстан	—	54	Қазақстан	21		Қазақстан	—

II Дүниежүзіндегі жаңартылатын энергия көздерінің табысты технологиялары

Ең тиімді жаңартылатын энергия көзі Күн энергиясы болып табылады. Егер алғашқы күн батареяларының ПӘК-і 1–2 %-ті құраса, ХХІ ғасырдың басында олардың ПӘК-і 30 %-ке жетті.

Еуропада жел және күн энергетикасы қарқынды дамуда. Желқондырғылары және гелиоқондырғылары энергия өндіру тұрақсыздығына байланысты ірі электр желілерінің негізгі энергия көзі бола алмайды. Олардың энергожүйедегі үлесі 20 %-тен асса, бұл қосымша қуат реттеуіштерді енгізуді талап етеді. Қазіргі кезеңде ірі электр желілерінің қуатын реттеу мәселесін ірі СЭС-тер шешті. Еуроодақ «жасыл энергетикадағы» қуатты реттеуіштер мен жинақтауыштар мәселелерін шеше алды: сужинақтаушы электрстансылары (СЖЭС) көп болғандықтан, Батыс Еуропада Норвегия «аккумулятор батареясы» рөлін атқарды. Электр энергиясы артық болған кезде СЖЭС-тардағы сорғылар су қоймасының төменгі бьефтарындағы суды жоғары бьефтарына тартады. Электр тұтынудың көрсеткіші максимал болған кезде су қайта төменгі бьефтарға жіберіледі де, генераторды қозғалысқа келтіреді. Норвегия жоғары вольтты ЭТЖ-лер арқылы Швециямен, Даниямен және Нидерландымен жалғанған. 2020 жылы бұл желіге Германия қосылады. 2015 жылы ақпанда қуаты 1400 МВт, ұзындығы 623 километр жалғастырушы



Жауабы қандай?

Қандай мемлекеттер электр энергиясы өндірісіне «жасыл технологияларды» енгізуде?



3-тапсырма

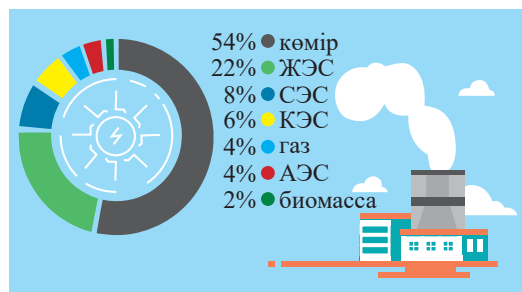
Өздеріңе белгілі дүниежүзіндегі жаңартылатын энергия көздерінен электр энергиясын өндірудің табысты технологияларына мысал келтіріңдер.

ЭТЖ-ні жүргізу туралы келісімге қол қойылды. Бұл ЭТЖ Германияда тұтылатын электр энергиясының 3%-ін қамтамасыз етеді. Исландияда электрэнергетиканың басым бөлігі геотермальды көздерді қолданады. 2014 жылы жалпы еуроодақта жылдық энергетикалық статистика бойынша (Global Energy Statistical Yearbook 2015) СЭС-ті қоса алғанда жаңартылатын энергия көздерінің үлесі 30 %-ті құрады, кейбір елдерде, мысалы, Норвегияда 98%-ке дейін жетті. АҚШ пен Бразилияда жаңартылатын энергия көздерінің ең көп қолданысқа ие түрі – биомасса. Бұл елдер дүниежүзінде қолданылатын биоотын – биоэтанолдың 2/3 бөлігін өндіреді. АҚШ-та жүгеріні отынға түрлендіру жұмыстары жүргізілсе, Бразилияда қант қамысы өсіріледі. Биоэтанол жанғанда атмосфераға шығарылатын зиянды қалдықтардың көлемі қарапайым бензинге қарағанда өте аз. Қант қамысынан алынған этанол парниктік газдардың зиянды қалдықтарын басқа отын түрлеріне қарағанда шамамен 80%-ке, ал жүгеріден алынған этанол 30%-ке дейін аз шығарады.

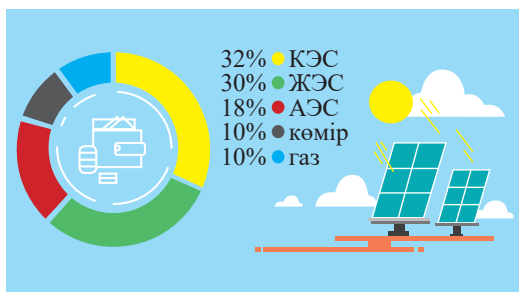
III 2040 жылға дейін Азиядағы энергетиканың дамуына болжам

Әлемдегі көмір ЖЭС-терінің басым бөлігі орналасқан Азияда көмір күні бүгінге дейін негізгі энергия көзі болып қалып отыр. 2016 жылы көмір стансыларының үлесі 54%-ті құрады (71-сурет). 2040 жылдарға қарай көмір стансыларында электр энергиясын өндіруге бөлінетін инвестиция үлесін 10%-ке дейін азайтып, Күн энергиясы және жел сияқты жаңартылатын көздерден электр энергиясын алуға жұмсалатын шығынды арттыру көзделіп отыр (72-сурет).

Жылу стансыларында негізінен көмір қолданатындықтан, парниктік газдар шығарудан Қытай алдыңғы орында тұр. Дегенмен ол 2013 жылы алғаш рет «жасыл энергетикаға» салынған инвестиция жағынан көшбасшы болды. Қытайдың осындай белсенді әрекеттері нәтижесінде 2014 жылы алғаш рет әлемдік экономиканың дамуымен қатар жүретін көмірқышқыл газының бөлінуінің артуы процесі байқалмады. Бұны БҰҰ аясында жұмыс жасайтын «XXI ғасырға арналған жаңартылатын энергия саясатының жүйесі» ұйымы ұсынған есептен көруге болады. Бүгінгі күні тек дамыған елдердің ғана емес, дамушы елдердің де энергетикалық даму жоспарларының маңызды бөлімі жаңартылатын энергия көздерін арттыру болып табылады.



71-сурет. Азия елдерінде алынатын электр энергиясының құрылымы, 2016 ж.



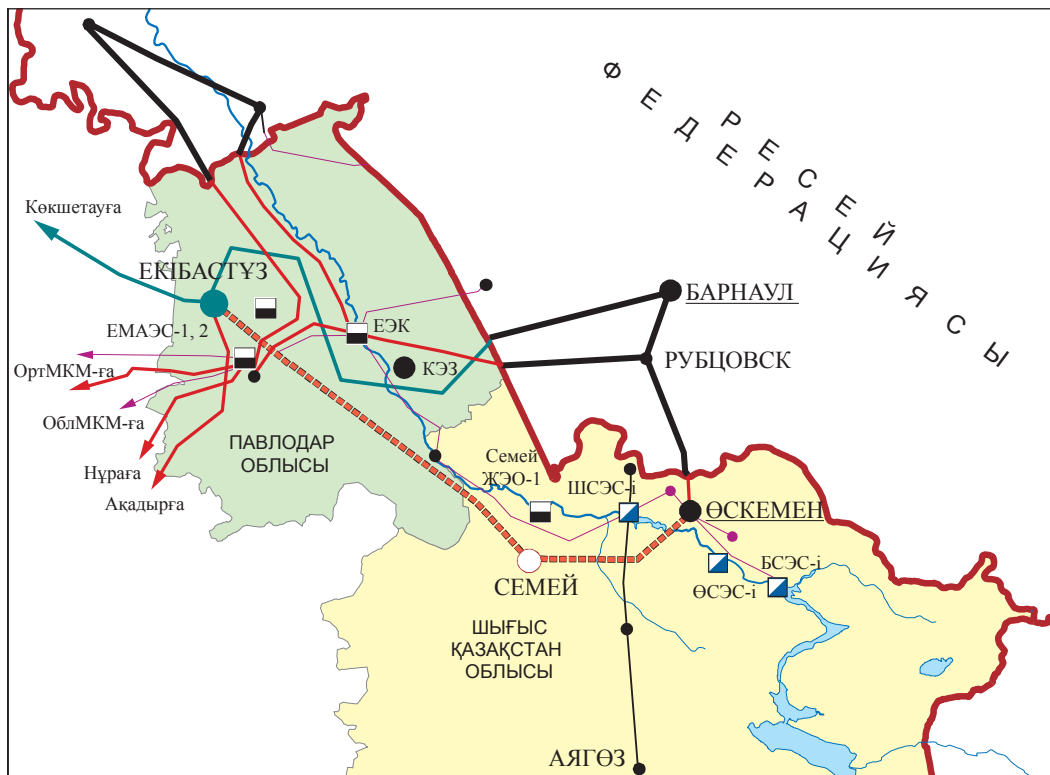
72-сурет. Электр энергиясы өндірісінің әртүрлі технологияларын дамытуға жоспарланған инвестицияның үлесі

IV Қазақстандағы электр энергиясын өндіру және тасымалдау мәселелері

Қазақстан экономикасының дамуы электр энергия өндірісінің қосымша көлемін талап етеді. Электр энергиясын тұтыну соңғы жылдары Қазақстанда жылына

4–5%-ке артуда. KazEnergy болжамдары бойынша экономика дамуының оң динамикасы сақталған жағдайда, 2030 жылдарға қарай электр энергиясын тұтыну 144,7 млрд кВт · сағ-ты құрайды, бұл 2015 жылмен салыстырғанда 58%-ке артық. Электр энергиясын тұтынудың артуын 2030 жылдары құрылғылардың қайта жабдықталуы, қолданыстағы электрстансылардың, соның ішінде Балқаш ЖЭС-ының, Торғай ЖЭС-ының қуатын арттыру және жаңа электрстансыларын тұрғызу арқылы қамтамасыз ету жоспарлануда.

Электр энергиясын қолдану тиімділігі көп жағдайларда электр энергиясын тасымалдау жүйесінің тиімділігіне тәуелді. Қазақстанда ЭТЖ-лердің басым бөлігі кеңестік дәуірде тұрғызылған және қатты тозған, коррозиядан кедергі жоғарылап, электрокшаулау әлсіреген. Электр энергиясын тасымалдау және бөлу кезінде энергия шығыны 21,5 %-ті құрайды, ал ауылдық жерлердегі желілердің энергия шығыны 25–50 %-ке жетеді. Ұлттық энергетикалық жүйенің (ҰЭЖ) шешуі тиіс мәселелері бірі – Солтүстік-Оңтүстік және Солтүстік-Шығыс негізгі бағыттары бойынша желілердің өткізу қабілетінің төмендігі, Батыс Қазақстанның ҚР-ның Біртұтас электр энергетикасы жүйесімен (БЭЖ) байланысы жоқтығы, техникалық жабдықталудың жеткіліксіздігі. 2017–2018 жылдары ұзындығы 678 км «Екібастұз – Семей – Өскемен» (73-сурет) және ұзындығы 883 км «Семей – Ақтоғай – Талдықорған – Алматы» (74-сурет) электр тасымалдау желісінің құрылысы аяқталды.



73-сурет. «Екібастұз – Семей – Өскемен» ЭТЖ



74-сурет. «Семей – Ақтоғай – Талдықорған – Алматы» ЭТЖ

----- Қолданыстағы ЭТЖ, ===== 2018 жылы салынған ЭТЖ.



Бұл қызық!

«Екібастұз – Көкшетау» электр тасымалдау желісі жобалық кернеуі 1150 кВ «Сібір – Орталық» жоғары вольтты электр тасымалдау желісіне кіреді (75-сурет). Әлемде мұндай жоғары кернеуде жұмыс істейтін басқа желі жоқ. Екібастұз – Көкшетау – Қостанай ЭТЖ-сі 1988–1991 жылдары аралығында 1150 кВ номинал кернеуде жұмыс жасады. Қазіргі кезде ол 500 кВ кернеуде жұмыс жасайды. Ұзындығы – 432 км желі бөлігі орташа биіктігі 45 м электр бағандарында орналасқан. Сымдардың салмағы, шамамен, 50 мың тонна. Желі 2019 жылы Саян – Шушен СЭС-ындағы апаттан кейін, Сібір электр қуаттарының азаюының орнын толтыру үшін қосылған.



75-сурет. Жобалық кернеуі 1150 кВ «Екібастұз – Көкшетау» ЭТЖ-лері

Бақылау сұрақтары

1. Электр энергиясын алу үшін дүниежүзі елдерінде энергияның қандай түрлері қолданылады?
2. Неліктен ХХІ ғасырда жаңартылатын энергия көздерін қолдану өзекті бола түсті?
3. Әлемде электр энергиясын өндіру бойынша қандай жаһандық өзгерістер орын алуда?
4. Қазақстанда электр энергиясын өндіру мен тасымалдаудағы мәселелер қалай шешілуде?



Жаттығу

11

Параграфта берілген 5-кесте бойынша Германияда, Корея Республикасында, Мексикада және Қазақстанда өндірілген электр энергиясындағы жаңартылатын көздерден алынған үлесті анықтаңдар. Алынған нәтижелер бойынша диаграмма құрастырыңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Баламалы энергия мен жаңартылатын энергия көздері және олардың ҚР-дағы даму перспективалары (76-сурет).
2. Дүниежүзі елдеріндегі атомдық энергетика. ҚР-дағы атомдық энергетиканың даму перспективалары.



а) Күн батареялары бар автобус аядамасы, Нұр-Сұлтан қ.



ә) Күн батареялары бар көше шамдары

76-сурет.

6-кесте. Биоотын – этанолдың мемлекеттер және шикізат түрі бойынша шығарылуы

Ауылша- руашылық дақылы	Дүниежүзілік бағалау/Елдер бойынша бағалау	Биоотын	Дақылдың өнімділігі (тонна/га)	Түрлену тиімділігі (литр/тонна)	Биоотын өндірілімі (литр/га)
Қант қамысы	Бразилия	Этанол	73,5	74,5	5476
Қант қамысы	Үндістан	Этанол	60,7	74,5	4522
Жүгері	АҚШ	Этанол	9,4	399	3751
Жүгері	Қытай	Этанол	5,0	399	1995
Маниока	Бразилия	Этанол	13,6	137	1863
Маниока	Нигерия	Этанол	10,8	137	1480



Жауабы қандай?

1. Этанолды қандай шикізаттан өндіреді?
2. Қай мемлекетте шикізатты этанолға түрлендіру тиімділігі жоғары? Ол неге байланысты?

7-кесте. Биоотын өндіретін елдердегі халық және жеңіл автокөліктердің автопарк саны

№	Мемлекет	Автокөлік/1000 адам	Жылы	Халық саны
1	АҚШ	809	2018	327 631340
2	Бразилия	249	2016	206081432
3	Қытай	154	2016	1395000000



Тапсырма

Автокөліктер толығымен этанол қолданған жағдайда АҚШ, Бразилия және Қытай үшін отынның жылына тұтынылатын мөлшерін анықтаңдар. Дақыл өсіру үшін қанша аудан қажет? Барлық ауданды суару үшін қажетті су шығынын анықтаңдар. Есептеулерде 100 км үшін этанолдың орташа шығынын 8 л деп алыңдар, бір автокөліктің жылына орташа жүретін жолы – 17 мың км. Өсімдіктердің өнімділігі жоғары болуы үшін олардың тұтынатын маусымдық су көлемі, шамамен, 1100–1500 мм/га.

3-тараудың қорытындысы

Шамалар	R активті кедергісі бар	C конденсаторы бар	L индуктивтілік шарғысы бар	R, L, C-тан тұратын тармақталмаған
	тізбектегі айнымалы ток			
Кернеу	$u = U_m \cos \omega t$			
Ток күші	$i = I_m \cos \omega t$	$i = I_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$	$i = I_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$	$i = I_m \cos (\omega t - \varphi)$
Фазалық ығысу	0	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\cos \varphi = \frac{U_R}{U_Z} = \frac{R}{Z}$
Ом заңы	$I_m = \frac{U_m}{R}; I = \frac{U}{R}$	$I_m = \omega C U_m$	$I_m = \frac{U_m}{\omega L}$	$I_m = \frac{U_m Z}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$
Кедергі	$R = \rho \frac{l}{S}$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$X_L = \omega L$	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$
Ток қуаты	$P = \frac{U_{\max} I_{\max}}{2} = UI$	0	0	$P = IU \cos \varphi$
Айнымалы тоқты өндіру және тасымалдау				
Генератор ЭҚК-сы	Генератор роторының айналу жиілігі		Тасымалдау коэффициенті	
$e_i = -\Phi' = BS\omega \sin \omega t$ $\varepsilon_{i\max} = NBS\omega$	$\nu_p = \frac{50 f \eta}{n}$		$k = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1};$ $\frac{U_1 - I_1 R_{L1}}{U_2 + I_2 R_{L2}} = \frac{N_1}{N_2}$	

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктерінің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
$e_i, e_{\max}$	индукция ЭҚК-сының лездік және максимал мәні	В	u, i U_m, I_m	кернеу мен ток күшінің лездік және максимал мәндері	В, А
B	магнит индукциясы	Тл	U, I	кернеу мен ток күшінің әсерлік мәндері	В, А
S	рама ауданы	м ²	k	тасымалдау коэффициенті	
N	орамдар саны		X_L	индуктивті кедергісі	Ом
ω	циклдік жиілік	рад/с	X_C	сыйымдылық кедергі	Ом

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
n	полюстер жұптарының саны		Z	тізбектің толық кедергісі	Ом
φ	фазалық ығысу	рад	P	қуат	Вт

Глоссарий

Қуат коэффициенті – айнымалы ток тізбегіндегі энергияның қанша бөлігі басқа энергия түріне айналатынын көрсететін шама.

Тасымалдау коэффициенті – трансформатордың бірінші реттік орамасындағы орамдар санының екінші реттік орамасындағы орамдар санына қатынасына тең шама.

Айнымалы ток – өткізгіштегі зарядталған бөлшектердің периодты түрде өзгеріп отыратын сыртқы электр қозғаушы күш әсерінен болатын еріксіз тербелістері.

Фазалық ығысу – бір тригонометриялық функциямен өрнектелген жиіліктері бірдей тербелістердің фазалар айырымы.

ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

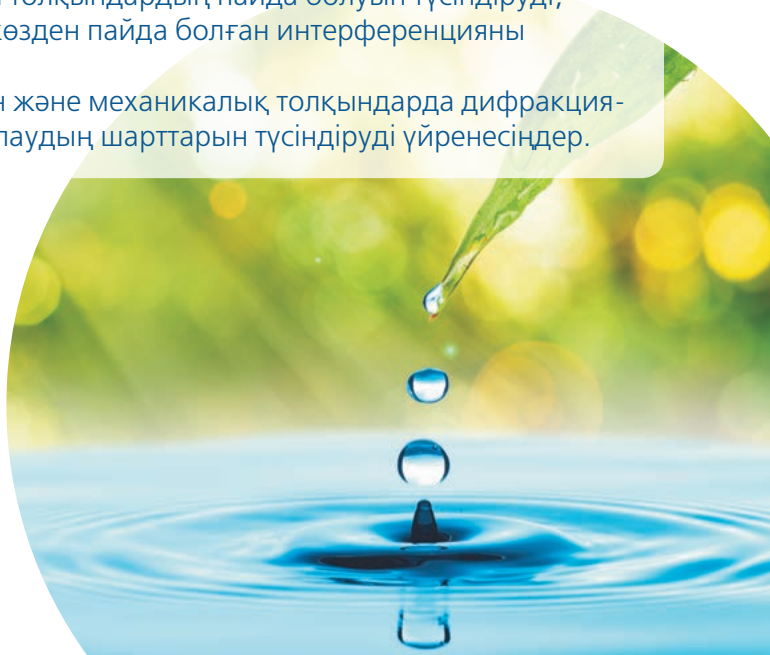
Тербелістердің серпімді ортада таралу құбылысын *механикалық толқындар* деп атайды. Механикалық толқындар үшін кинетикалық және потенциалдық энергиялардың қоры бар орта керек, орта *инерттілік және серпімділік қасиеттеріне* ие болуы керек.

Толқындардың *көлденең және бойлық түрлері* болады. Бойлық толқындар қатты, сұйық және газ тәріздес кез келген ортада тарала алады, көлденең толқындар тек қатты орталарда таралады.

Көлденең толқындарда да, бойлық толқындарда да толқынның таралу бағыты бойынша зат тасымалданбайды. Толқындар тербелістің энергиясын тасымалдайды.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- ауадағы тұрғын дыбыс толқындарының пайда болуын зерттеуді;
- графикалық әдісті қолданып, түйіндер мен шоқтықтарды анықтауды және тұрғын толқындардың пайда болуын түсіндіруді;
- судың бетінде екі көзден пайда болған интерференцияны зерттеуді;
- Гюйгенс принципін және механикалық толқындарда дифракциялық көріністі бақылаудың шарттарын түсіндіруді үйренесіңдер.



§ 12. Серпімді механикалық толқындар. Қума және тұрғын толқындардың теңдеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- ауадағы тұрғын дыбыс толқындарының пайда болуын зерттей аласыңдар;
- графикалық әдісті қолданып, түйіндер мен шоқтықтарды анықтай аласыңдар және тұрғын толқындардың пайда болуын түсіндіре аласыңдар.

I Қума толқындар теңдеуі

Дененің серпімді ортадағы тербелмелі қозғалысы механикалық толқын көзі болып табылады.

Қума толқын – энергия тасымалдайтын толқын.

Толқынның біртекті ортада таралу жылдамдығы тұрақты шама. Мына заң бойынша орта бөлшектерінің тепе-теңдік күйінен ығысуы $y(x, t)$ толқын таралатын Ox өсіндегі x координаталарына және t уақытқа тәуелді:

$$y(x, t) = A \sin \omega(t - \Delta t) = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) = A \sin \left(\omega \cdot t - \frac{\omega \cdot x}{v} \right), \quad (1)$$

мұндағы $\Delta t = \frac{x}{v}$ – толқын Ox өсіндегі координатасы x нүктеге жететін уақыт аралығы. (1) теңдеу қума толқын теңдеуі деп аталады.

$$k = \frac{\omega}{v} \quad (2)$$

толқындық сан ұғымын енгіземіз, сонда қума толқын теңдеуі мына түрге келеді:

$$y(x, t) = A \sin(\omega \cdot t - kx). \quad (3)$$

Таңдап алынған Ox өсіне қарама-қарсы бағытталған қума толқындағы серпімді орта бөлшектерінің ығысуын мына формуламен анықтауға болады:

$$y(x, t) = A \sin(\omega \cdot t + kx). \quad (4)$$



Жауабы қандай?

1. Қандай тербелістер гармоникалық деп аталады?
2. Гармоникалық тербелістер қандай шамалармен сипатталады?



1-тапсырма

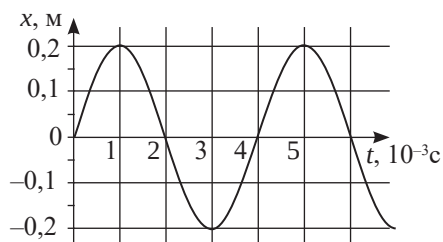
77–78-суреттерде көрсетілген толқын көзінің графигі мен толқын графигін қарастырыңдар. Толқын көзі тербелісінің амплитудасын, периоды мен жиілігін, толқын ұзындығын және оның таралу жылдамдығын анықтаңдар.



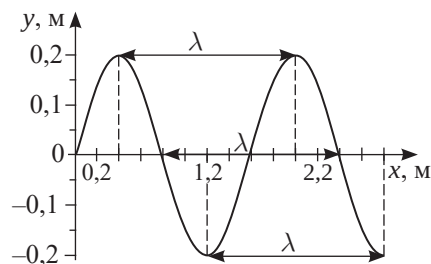
Естеріңе түсіріңдер!

Толқынның негізгі сипаттамалары

Гармоникалық тербеліс жасайтын көздерден туындаған толқындар бөлшектердің ортадағы тербеліс амплитудасымен A , жиілігімен ν , толқын ұзындығымен λ , таралу жылдамдығымен v сипатталады. Толқын ұзындығы λ – Ox өсі бойындағы бірдей фазада тербелетін екі көршілес нүктелерінің арақашықтығы. Толқын ұзындығына тең арақашықтықты толқын бір период T ішінде жүріп өтеді, демек, $\lambda = vT$ немесе $\lambda = \frac{v}{\nu}$. Біртекті орталарда толқынның таралу жылдамдығы тұрақты шама болады.



77-сурет. Гармоникалық тербеліс графигі



78-сурет. Толқынның таралу графигі

II Толқындық санның физикалық мағынасы

Циклдік жиілікті период арқылы өрнектеп $\omega = \frac{2\pi}{T}$, толқын ұзындығы $\lambda = v \cdot T$ екенін ескерсек, (2) формула мына түрде жазылады:

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{v \cdot T} = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (5)$$

Қума толқын уақыт бойынша және кеңістікте қос периодтылыққа ие. Уақыттық период орта бөлшектерінің T тербеліс периодына тең, кеңістіктік период λ толқын ұзындығына тең. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ толқындық сан $\omega = \frac{2\pi}{T}$ циклдік жиіліктің кеңістіктік аналогы болып табылады.

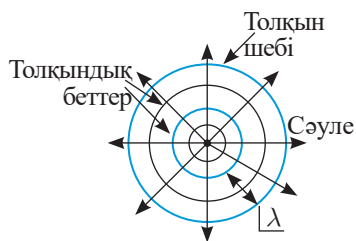
III Толқын шебі және толқындық бет

Тербеліс периодына тең уақыт ішінде толқын кеңістіктің толқын көзінен толқын ұзындығына тең қашықтықта орналасқан нүктелеріне жетеді. Осы нүктелердің жиынтығы *тербелетін нүктелерді тербелмелі қозғалысқа түспеген орта бөлшектерінен бөліп тұратын толқын шебі* болып табылады. Толқын шебі нүктелік көзден туындаса – сфераны, жазық пластинадан туындаса – жазықтықты, музыкалық аспап ішектерінен туындаса – цилиндрді береді (79–81-суреттер).

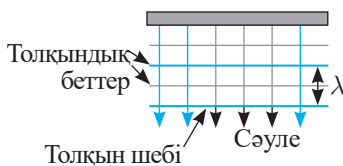


2-тапсырма

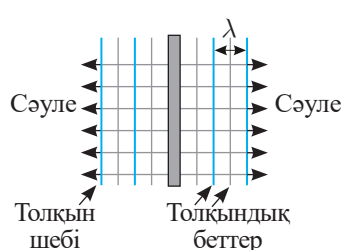
1. Тербеліс жиілігі 440 Гц камертон тудырған ауадағы дыбыстық қума толқынның теңдеуін жазыңдар. Тербеліс амплитудасы 2 мм, дыбыстың ауада таралу жылдамдығы 340 м/с.
2. Циклдік жиілік пен толқындық санды анықтаңдар.



79-сурет. Сфералық толқын



80-сурет. Жазық толқын



81-сурет. Цилиндрлік толқын

Толқын шебі – берілген t уақыт мезетінде кеңістіктің тербеліс жеткен нүктелерінің геометриялық орны.

Толқынның таралу бағытын толқын шебіне перпендикуляр сәуле көрсетеді.

Толқында нүктелері бірдей фазамен тербелетін көптеген беттерді көруге болады, оларды *толқындық беттер* деп атайды. Толқындық беттер көп болса да, толқын шебі тек біреу ғана болады.

Толқындық бет – берілген уақыт мезетінде кеңістіктің бірдей фазада тербелетін нүктелерінің геометриялық орны.

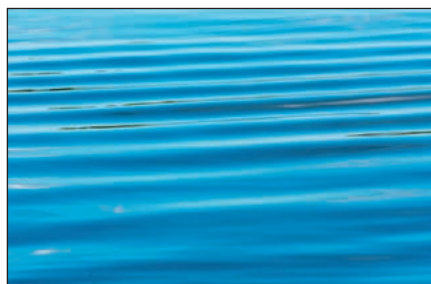


3-тапсырма

82, а, ә-суреттерді қараңдар. Бейнеленген толқындардың толқындық беттері қандай?



а)



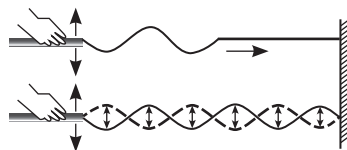
ә)

82-сурет. Су бетіндегі толқындар



Өз тәжірибең

Сымның ұшын 83-суретте көрсетілгендей бекітіңдер. Вертикаль жазықтықтағы тербелмелі қозғалыс арқылы қума толқын тудырыңдар. Қума және шағылған толқындардың қабаттасуы нәтижесінде пайда болған тұрғын толқынды бақылаңдар.



83-сурет. Су бетіндегі толқындар

IV Тұрғын толқындар. Тұрғын толқын теңдеуі

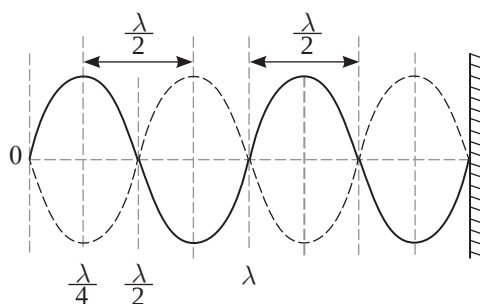
Толқын тығыздығы жоғары ортадан шағылғанда бағытын кері бағытқа өзгертеді, фазасын π -ға, яғни қарама-қарсыға өзгертеді. Түсетін және шағылған толқындарды қосу нәтижесінде тұрғын толқын түзіледі. Олар 83-суретте көрсетілген түрге ие болады. Тұрғын толқында *түйіндер* деп аталатын қозғалмайтын нүктелер болады. Түйіндердің ортасында максимал амплитудамен тербелетін нүктелер орналасады. Бұл нүктелерді *шоқтықтар* деп атайды.

Қума толқындардың теңдеулерін қосу арқылы тұрғын толқын теңдеуін аламыз:

$$y = y_1 + y_2 = A \sin(\omega \cdot t - kx) + A \sin(\omega \cdot t + kx) = 2A \sin kx \cdot \cos \omega t.$$

Толқындық санды $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ сандық мәнімен алмастырып, теңдеуді мына түрде жазамыз:

$$y = \left(2A \sin \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} \right) \cdot \cos \omega t \quad (6)$$



84-сурет. Тұрғын толқынның шоқтықтары және түйіндері



4-тапсырма

1. Тұрғын толқынды бақылауға арналған тәжірибені қайталаңдар. Толқын ұзындығы мен оның таралу жылдамдығын анықтаңдар.
2. Қума және тұрғын толқындардың негізгі айырмашылықтарын көрсетіндер.

Шоқтықтар мен түйіндер нүктелерінің координаталарын амплитуданың ең аз және ең үлкен мәндерінің шарттарынан алады. $\sin \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} = 1$ болатын нүктеде толқын амплитудасы $2A$ болса, онда шоқтық түзіледі (84-сурет). Тұрғын толқын көзінен шоқтықтарға дейінгі қашықтық $x = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$, мұндағы $n = 0, 1, 2, 3$. (7)

$\sin \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} = 0$ болатын нүктеде берілген толқын амплитудасы 0-ге тең болса, түйін түзіледі. Толқын көзінен түйіндерге дейінгі қашықтық:

$$x = \pm 2n \frac{\lambda}{4}. \quad (8)$$

Екі көршілес шоқтық немесе екі көршілес түйін арасындағы қашықтық мынаған тең:

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{2}. \quad (9)$$

Тұрғын толқында энергия ағыны болмайды. Музыкалық аспаптың екі көршілес түйіні арасындағы тербелмелі энергия ішектің басқа бөліктеріне тасымалданбайды. Әрбір бөлікте бір период ішінде кинетикалық энергияның потенциалдық энергияға айналуы және қарапайым тербелмелі контурдағыдай керісінше түрленуі екі рет жүреді. Тұрғын толқынды ерекшелейтін қасиет тербеліс энергиясының тасымалданбауы болып табылады.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай толқынды қума толқын деп атайды?
2. Қума толқындардың теңдеуі мен қарама-қарсы бағыттарда таралатын толқындар теңдеуінің айырмашылығы неде?
3. Толқындық санның физикалық мағынасы қандай?
4. Толқындық бет деген не? Толқын шебі деп нені атайды?
5. Тұрғын толқынның түйіні, шоқтығы дегеніміз не?
6. Қандай шарттар орындалғанда тұрғын толқында түйіндер мен шоқтықтар түзіледі?
7. Тұрғын толқын графигі бойынша толқын ұзындығы қалай анықталады?

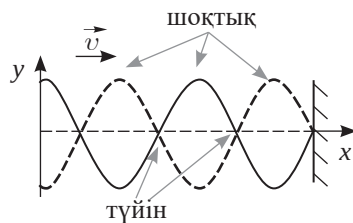
ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

85-суретте бейнеленген қума толқынның теңдеуі $y_1 = A \cos(\omega \cdot t - kx)$. Шағылған толқынның теңдеуі: $y_2 = A \cos(\omega \cdot t + kx)$.

А) Түсетін және шағылған сәулелердің қосындысы ретінде тұрғын толқын теңдеуін табыңдар.

В) Табылған теңдеудегі толқындық пен циклдік жиілікті толқын ұзындығы мен период арқылы өрнектеп, түрлендіріп жазыңдар.

С) Түйіндер мен шоктықтардың орнын анықтаңдар.



85-сурет. Қума және косинусоидалы шағылған толқын тудырған тұрғын толқын

Берілгені:

$$y_1 = A \cos(\omega t - kx)$$

$$y_2 = A \cos(\omega t + kx)$$

$$y(x, t) = ? \quad x_{\max} = ?$$

$$x_{\min} = ?$$

Шешуі:

А) Тұрғын толқын теңдеуі қума толқындардың теңдеулерін қосу арқылы анықталады: $y = y_1 + y_2$;

$$y = A \cos(\omega t - kx) + A \cos(\omega t + kx) = 2A \cos kx \cdot \cos \omega t;$$

$$В) y = \left(2A \cos \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} \right) \cdot \cos \frac{2\pi \cdot t}{T};$$

С) $\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = 1$ болғанда амплитудасы $2A$ шоктық түзіледі.

Толқын көзінен шоктыққа дейінгі қашықтық $x_{\max} = \pm 2n \frac{\lambda}{4}$.

Түйіндерге дейінгі қашықтықты $\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = 0$ шартынан анықтаймыз, сонда

$$x_{\min} = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{4}.$$

Жауабы: $y = 2A \cos kx \cdot \cos \omega t$; $y = \left(2A \cos \frac{2\pi \cdot x}{\lambda} \right) \cos \frac{2\pi \cdot t}{T}$; $x_{\max} = \pm 2n \frac{\lambda}{4}$;

$$x_{\min} = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{4}.$$



Жаттығу

12

1. Тұрғын толқынның екінші және төртінші түйіндерінің арақашықтығы 60 см. Механикалық толқынның ұзындығы мен таралу жылдамдығын анықтаңдар. Толқын көзінің тербеліс периоды 2 с.
2. Осы жаттығудың 1-есебінде берілген қума және тұрғын толқын графиктерін, толқын көзі тербелісінің графигін салыңдар. Толқын көзінің тербеліс амплитудасы 5 см.

Эксперименттік тапсырма

Хладни фигураларын жинау туралы Интернет желісі материалдарымен танысып, оларды бақылау үшін қондырғы жинаңдар.

Шығармашылық тапсырма

«Тұрғын дыбыс толқындарын бейнелеу (визуалдау) әдістері» және «Тұрғын толқындар мен музыкалық аспаптар» тақырыптарының біріне хабарлама дайындаңдар.

§ 13. Механикалық толқындардың таралуы.

Механикалық толқындардың интерференциясы мен дифракциясы. Гюйгенс принципі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- судың бетінде екі көзден пайда болған интерференцияны зерттей аласыңдар;
- Гюйгенс принципін және механикалық толқындарда дифракциялық көріністі бақылаудың шарттарын түсіндіре аласыңдар.



Есте сақтаңдар!

Егер толқын көздері фазалық ығысулары тұрақты әрі жиіліктері бірдей тербелістер жасайтын болса, толқындарды *когерентті* деп атайды.

I Толқындардың интерференциясы

Қандай да бір ортада бірнеше толқын көзі механикалық толқын тудыратын болса, онда олар бір-біріне тәуелсіз таралады. Ортаның барлық бөлшектері әр толқын жеке тудырған тербеліске қатысады. Толқындардың қабаттасуы нәтижесінде орта бөлшектері тербелісінің максимумдары мен минимумдары кезектескен орнықты көрініс пайда болады. Бұл құбылыс *интерференция* деп аталады.

Фазалық ығысулары тұрақты және жиіліктері бірдей толқындар ғана интерференциялана алады. Ондай толқындарды *когерентті* деп атайды, оларды фазалық ығысулары тұрақты, бірдей жиілікте тербелетін толқын көздері тудырады.

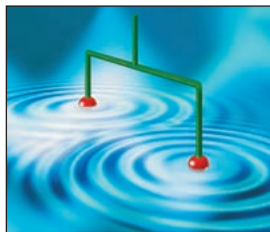
Толқындардың интерференциясы – екі немесе бірнеше когерентті толқынның қабаттасуы кезінде олардың қорытқы амплитудаларының артуы немесе кемуі.

Интерференцияның стационар және нестационар емес түрлері бар. Стационар интерференциялық көріністі когерентті толқындар береді, мысалы, су бетінде екі когерентті нүктелік көзден таралатын екі сфералық толқын (87-сурет).

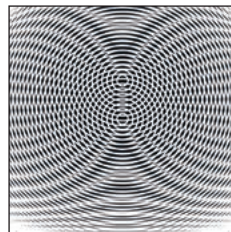


Өз тәжірибен

Судағы бір тербелмелі дене және жиілігі мен амплитудасы бірдей тербеліс жасайтын екі тербелмелі дене тудырған толқындарды бақылаңдар. Бұлар бір өзекке бекітілген екі шар болуы мүмкін (86-сурет). Су бетіндегі толқындардың қабаттасу аймағында неліктен нүктелердің жартысы – ыдыстағы сұйық деңгейінен жоғары, жартысы ыдыстағы сұйық деңгейінен төмен орналасатыны бақыланады (87-сурет)?



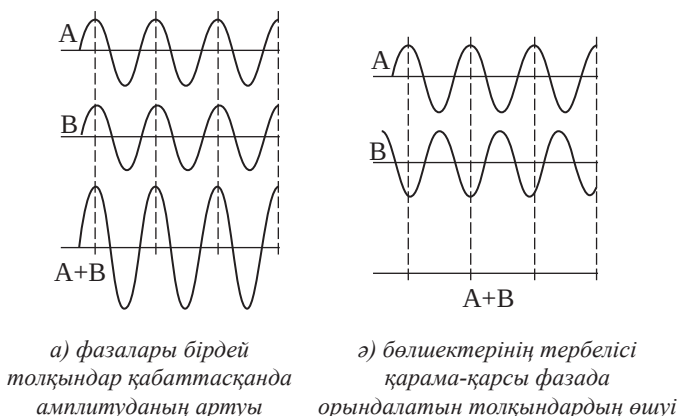
86-сурет. Екі толқын көзі тудырған толқындардың қабаттасуын бақылау



87-сурет. Когерентті көздер тудырған толқындардың қабаттасуының нәтижесі

II Екі толқынның интерференциясы кезіндегі максимум және минимум шарты

Толқындардың қабаттасуы кезіндегі тербеліс амплитудасы суперпозиция принципіне сәйкес анықталады (88-сурет). Егер ортаның қандай да бір нүктесінде когерентті толқындардың жоталары қабаттасатын болса, онда тербеліс күшейеді, амплитуда барлық амплитудалардың қосындысына тең болады. Егер бір толқынның жотасын екінші толқынның ойысымен қабаттастырса, онда жекелей алынған толқындардың амплитудалары тең болған кезде, кеңістіктің осы нүктесі тербеліс жасамайды. Егер амплитудалар әртүрлі болса, онда осы нүктеде амплитудасы таралатын толқындардың амплитудаларының айырымына тең тербеліс жасалады.



88-сурет. Толқындардың қабаттасуы

С нүктесінен l_1 және l_2 қашықтықтарда орналасқан А және В көздерінен таралатын толқындардың интерференциясы нәтижесін көру үшін толқындардың таралу жолдарының айырымын анықтау және толқын ұзындығымен салыстыру жеткілікті. Егер таралу жолдарының айырымы бүтін санға тең болса, онда С нүктесінде жоталардың немесе ойыстардың қабаттасуы орындалады, тербеліс амплитудасы артады (89-сурет). **Максимум шарты** орындалады:

$$\Delta l = l_1 - l_2 = k\lambda, \quad (1)$$

мұндағы Δl – толқындардың таралу жолдарының айырымы, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ тең натурал сан.

Толқындардың таралу жолдарының айырымы тербелістердің фазалар айырымына сәйкес келеді:

$$\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = k \cdot 2\pi, \quad (2)$$

себебі толқын период ішінде λ толқын ұзындығына тең қашықтықты жүріп өтеді, T периодқа

$$\varphi = \frac{2\pi}{T} \cdot t = \frac{2\pi}{T} \cdot T = 2\pi \text{ фаза сәйкес келеді.}$$



Есте сақтаңдар!

Толқындардың интерференциясы тербеліс энергиясының орта бөлшектері арасында бөлуіне алып келеді. Бұл энергияның сақталу заңына қайшы келмейді, себебі орта есеппен алғанда кеңістіктің үлкен аумағы үшін қорытқы толқынның энергиясы интерференцияланатын толқындардың энергияларының қосындысына тең.



1-тапсырма

Қума толқын теңдеуін §12 (3) және толқындық сан мен толқын ұзындығының байланыс формуласын §12 (5) қолданып, интерференциялық көріністің максимум және минимум шарттарының (1, 3) дұрыстығын дәлелдендер.



Жауабы қандай?

Тұрғын толқындар когерентті толқындардың интерференциясының нәтижесі деп тұжырымдауға бола ма?

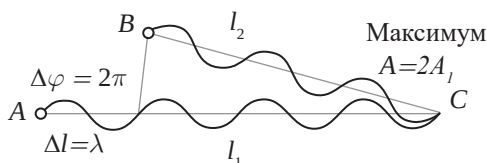
Ортаның қарастырылып отырған нүктесіндегі тербелістердің минимумы екі когерентті көздерден фазалық ығысуы тақ π санына тең толқындар таралады, ал таралу жолдарының айырымы жарты толқындардың тақ санына тең болатын жағдайда байқалады. Бұл жағдайда тербелістер қарсы фазаларда орындалады (90-сурет):

Минимум шарты:

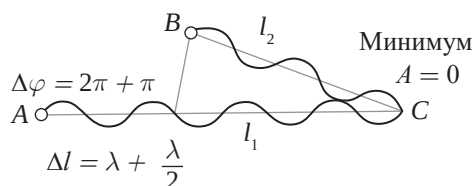
$$\Delta l = l_1 - l_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

немесе

$$\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = (2k + 1) \cdot \pi. \quad (4)$$



89-сурет. Тербелістердің C нүктесіндегі максимум шарты



90-сурет. Тербелістердің C нүктесіндегі минимум шарты

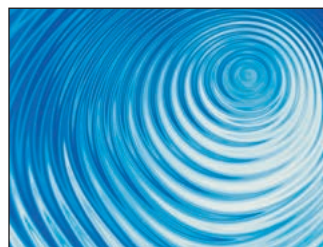
III Толқындардың таралуы. Гюйгенс – Френель принципі

Х.Гюйгенс принципі бойынша кеңістіктің ауытқу жеткен барлық нүктелері екінші ретті толқын көздері болып табылады, екінші ретті толқын көздері нәліктен тек толқынның таралу бағыты бойынша ғана толқын шебін құратынын түсіндіру мүмкін емес. Толқындардың таралу құбылысын түсіндіру үшін 1815 жылы француз физигі О.Френель Х.Гюйгенс принципін екінші ретті толқындардың когеренттілігі мен интерференциясы туралы түсінікпен толықтырды: екінші ретті толқындарды қабаттастыру кезінде интерференция орындалады, нәтижесінде тербеліс амплитудасы кеңістіктің әртүрлі мәндерінде түрліше болады: толқындардың таралу бағыты бойынша толқындар күшейеді, ал кері бағытта – әлсірейді. Екінші ретті толқындардың орағытып өтетін шептері қорытқы толқынның шебі болып саналады (92-сурет).



2-тапсырма

91, а, ә-суреттерде бейнеленген су бетіндегі толқындарды қарастырыңдар. Олардың ұқсастықтары мен айырмашылықтары неде?



а)



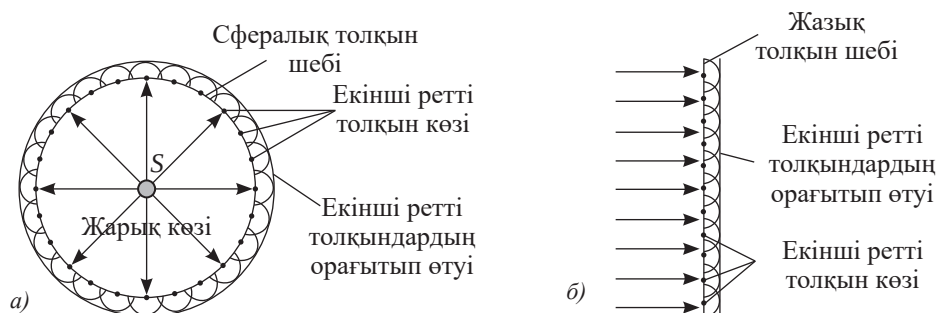
ә)

91-сурет. Су бетіндегі толқындар



3-тапсырма

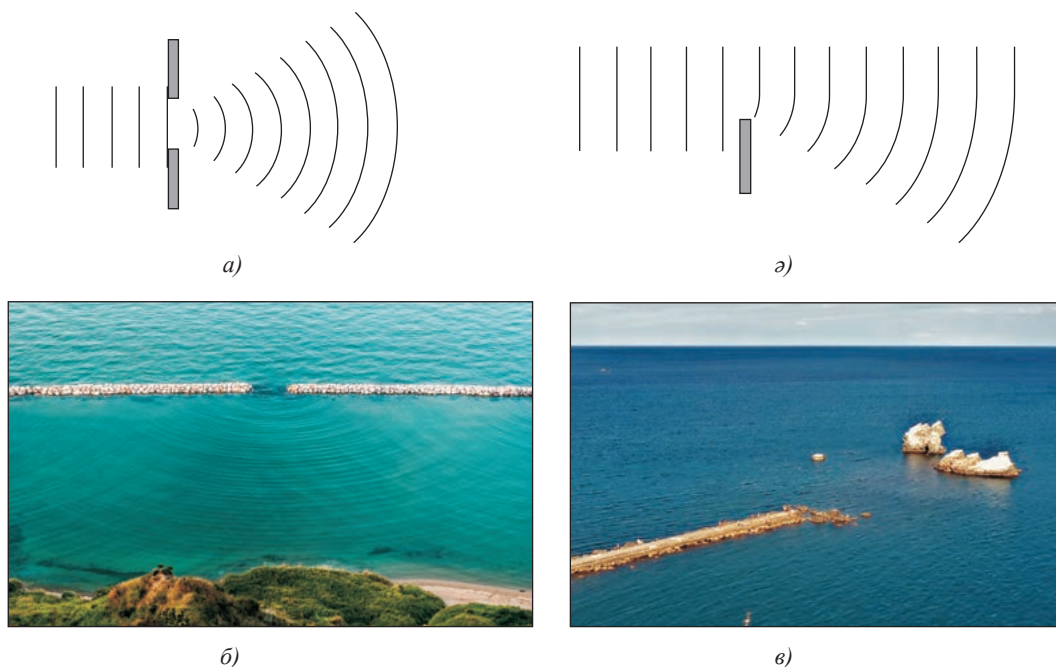
Гюйгенс және Френель принциптері негізінде 92-сурет бойынша сфералық және жазық толқындардың таралуын түсіндіріңдер. Осы принциптерге сүйеніп, цилиндрлік толқынның таралу моделін бейнелеңдер.



92-сурет. Толқын шебі. а) сфералық толқын шебі; б) жазық толқын шебі

IV Механикалық толқындардың дифракциясы

Саңылаудың немесе кедергінің шетінде орналасқан орта бөлшектері тудырған екінші ретті толқындар қисаяды да, кедергіні орағытып өтеді (93-сурет).



93-сурет. Толқындардың а), б) саңылауларды және в), г) кедергілерді орағытып өтуі

Дифракция – толқындардың кедергілерді орағытып өту құбылысы.

Егер толқын ұзындығы кедергінің өлшемдерімен шамалас болса, барлық толқындар кедергілерді орағытып өтуге қабілетті. Егер кедергінің өлшемдері толқын ұзындығынан аз болса, дифракция байқалмай өтеді.



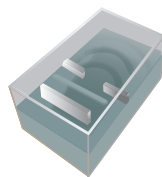
4-тапсырма

Дыбыс толқындарының, радиотолқындардың және су бетіндегі толқындардың дифракциясына мысал келтіріңдер.



Өз тәжірибен

Суы бар ыдысқа өлшемдерін өзгертуге болатын тар саңылауы бар экран орнатыңдар. Жазық толқын тудырыңдар. Саңылаудың өлшемдері кедергінің арғы жағындағы толқын шебіне қалай әсер ететінін анықтаңдар (94-сурет). Су бетінде сфералық толқын тудырып, тәжірибені қайталаңдар. Тар және кең саңылаулар үшін толқындық беттерді бейнелеңдер.



94-сурет. Су бетіндегі толқындардың дифракциясын бақылау

Бақылау сұрақтары

1. Қандай құбылысты интерференция деп атайды?
2. Қандай жағдайда орнықты интерференциялық көрініс бақыланады?
3. Интерференция кезіндегі минимум және максимум шарттарын атаңдар.
4. Толқындардың таралуын Гюйгенс және Френель принциптері негізінде түсіндіріңдер.
5. Қандай құбылысты дифракция деп атайды?
6. Неліктен барлық толқындар кедергіні орағытып өтуге қабілетті?



Жаттығу

13

1. Толқындардың қабаттасуы нәтижесінде олардың максимал әлсіреулері байқалатын серпімді ортада екі когерентті толқынның серпімді орта нүктелеріне дейінгі минимал таралу жолдарының айырымын анықтаңдар. Толқын көздері 0,4 кГц жиілікпен бірдей фазада тербеледі. Толқынның берілген ортада таралу жылдамдығы 240 м/с.
2. Екі когерентті толқынның берілген ортаның бірінші толқын көзінен 16 м және екіншісінен 31 м қашықтықта орналасқан нүктесіндегі интерференциясы нәтижесін анықтаңдар. Толқын көздері 20 мс периодпен бірдей фазада тербеледі. Толқынның таралу жылдамдығы 1,5 км/с.
3. Екі интерференцияланатын толқындардың фазалар айырымы $\frac{\pi}{2}$. Осы толқындардың таралу жолдарының минимал айырымын анықтаңдар, оны толқын ұзындығы арқылы өрнектендер.
4. Екі интерференцияланатын толқындардың таралу жолдарының минимал айырымы $\frac{\lambda}{6}$. Толқын көздері тербелістерінің фазалар айырымын анықтаңдар. Жауапты радианмен және градуспен өрнектендер.

Эксперименттік тапсырма

Бокалдағы дыбыс жиілігінің ондағы ауа қабатының биіктігіне тәуелділігін зерттендер (95-сурет). Дыбыс шығару үшін бокал шетінен сулы саусақпен жүргізіп өту қажет.



95-сурет. Эксперименттік тапсырмаға

Ішекті музыкалық аспаптар



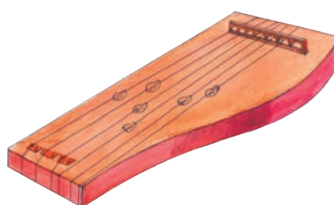
Өз тәжірибең

Адырна (96, а-сурет) – қазақ халқының ежелгі ішекті аспаптарының бірі. Оның пішінінде көшпелі қазақтардың жауынгерлігі көрініс береді: ол жауынгердің созылған садағына ұқсас. Аспаптың шанағы қуыс болғандықтан, ағаш корпусы жеңіл. Ішектері арнайы өңделген теріден немесе түйе жүнінен алынған жіптен жасалады. Аспапта 13 ішек бар.

Жетіген (96, ә-сурет) – жеті ішекті музыкалық аспап. Ол тік төртбұрышты пішінге ие, ағаштан жасалған, ал ішектері – жылқы қылынан жасалған. Жетіген туралы аңыз аспапта неліктен жеті ішек бар екенінің құпиясын ашады. Жеті ұлынан айырылған ақсақал өз қайғысын ұлдары туралы күй шерту арқылы шығарған. Әрбір ұлын еске алып, аспапқа жаңа ішек тартып отырған.



а) адырна



ә) жетіген

Музыкалық аспап ішегінде тұрғын толқынның пайда болу шарттары

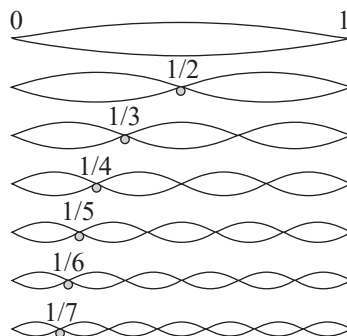
Аспап ішегінде тұрғын толқын ішек ұзындығы L жарты толқын ұзындығының бүтін санына тең болған кезде пайда болады: $L = n \frac{\lambda}{2}$, мұндағы $n = 1, 2, 3 \dots$

λ_n толқын ұзындығы мәндерінің жиынтығына мүмкін жиіліктердің жиынтығы сәйкес келеді:

$$\nu_n = \frac{v}{\lambda_n}.$$

ν_n жиіліктердің әрқайсысы және олармен жалғанған ішектің тербеліс түрі *нормаль мода* деп аталады. Күрделі дыбыстың ең төменгі жиілігі *негізгі жиілік*, оған сәйкес келетін белгілі бір биіктіктегі дыбыс *тон* деп аталады, негізгі тонда *обертоңдар* немесе *гармоникалар* деп аталатын жиіліктер бірге жүреді.

Меншікті жиіліктері бар серіппедегі немесе маятниктегі жүктерден айырмашылығы ішек меншікті резонанстық жиіліктің шексіз санына ие. 96, б-суретте ішектегі тұрғын толқындардың түрлері бейнеленген. Ішек тербелісінде бір мезетте бірнеше әртүрлі тұрғын толқындар түзіледі.



б) музыкалық аспаптар және ішектің гармоникалары

96-сурет.



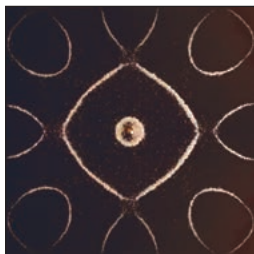
Тапсырма

Жылқы қылынан жасалған ұзындығы $l = 0,3$ м аспап ішегі тербелісінің негізгі модасының жиілігін және гармоникасын анықтаңдар. Жылқы қылы дыбысының таралу жылдамдығы 1500 м/с. Ішектің дыбысталуының негізгі модасын қандай әдіспен өзгертуге болады?

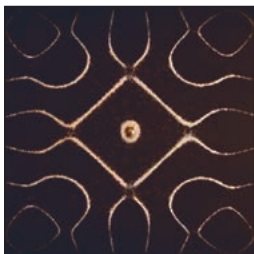
Дыбыс толқындарын визуалдау

Тұрғын толқындарды демонстрациялаудың бірнеше әдісі бар, олардың бірі – Хладни фигуралары (97-сурет).

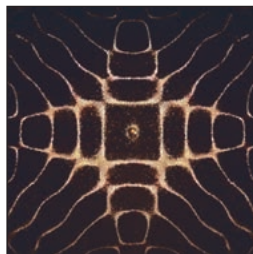
Неміс физигі Эрнст Хладни пластинаға құм себеді де, оның шетінен скрипка ысқысымен жүргізіп, өрнектер алған. Ысқының қозғалысынан пластина қандай да бір резонанстық жиілікте тербеледі. Құм түйіндерде жинақталып, қозғалыссыз қалған, ал шағылған толқын кума толқынды күшейтетін аймақтарда құм ығысқан.



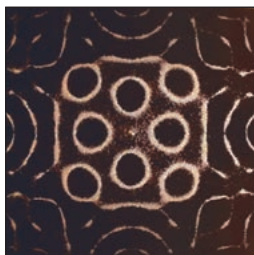
1033 Гц



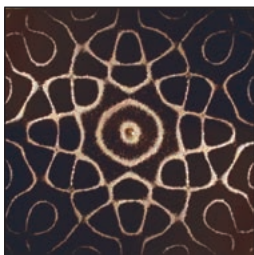
1820 Гц



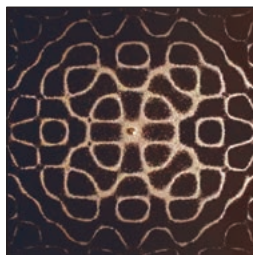
3835 Гц



4049 Гц



5201 Гц



5907 Гц

97-сурет. Динамик тербелістері көмегімен алынған Хладни фигуралары



Бұл қызық!

Шотландиядағы әулие Матвей шіркеуінің аркаларының бірінде геометриялық суреттер ойып салынған 213 тас текшелер бар. Көптеген ғалымдар текшелердегі суреттердің құпиясын ашуға тырысты. ӨӘК-нің отставкадағы генаралы Томас Митчел өзінің ұлы пианист Стюарт Митчелмен бірге осы құпияны ашудың ерекше әдісін ұсынды. Олар геометриялық суреттерді Хладни фигураларымен салыстырып, текшелерде ноталар жазылған деген қорытындыға келді. Ноталарды біріктіріп және өңдеп, әлемге «Росминский Мотет» шығармасын ұсынды.

4-тараудың қорытындысы

Қума толқын теңдеуі	$y(x, t) = A \sin(\omega \cdot t - kx);$ $y(x, t) = A \sin(\omega \cdot t + kx)$
Толқындық сан	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
Тұрғын толқын теңдеуі	$y = 2A \sin kx \cdot \cos \omega t;$ $y = 2A \cos kx \cdot \cos \omega t$
Интерференцияның максимум шарты	$\Delta l = l_1 - l_2 = k\lambda; \Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = k \cdot 2\pi$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$
Интерференцияның минимум шарты	$\Delta l = l_1 - l_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2};$ $\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = (2k + 1) \cdot \pi;$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктерінің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
$y(x, t)$	серпимді орта нүктелерінің ығысуы	м	x	толқын таралатын қашықтық	м
A	тербеліс амплитудасы	м	λ	толқын ұзындығы	м
ω	циклдік жиілік	рад/с	Δl	толқындардың таралу жолдарының айырымы	м
t	толқынның таралу уақыты	с	l_1, l_2	бірінші және екінші толқындардың таралу жолы	м
k	толқындық сан		$\Delta \varphi$	фазалық ығысу	рад

Глоссарий

Толқындық бет – берілген уақыт мезетінде кеңістіктің бірдей фазада тербелетін нүктелерінің геометриялық орны.

Дифракция – толқындардың кедергілерді орағытып өту құбылысы.

Толқындардың интерференциясы – екі немесе бірнеше когерентті толқынның қабаттасуы кезінде олардың қорытқы амплитудаларының артуы немесе кемуі.

Когерентті толқындар – фазалық ығысулары мен жиіліктері бірдей тербелістер.

Механикалық толқын – тербелістердің серпимді ортада таралу құбылысы.

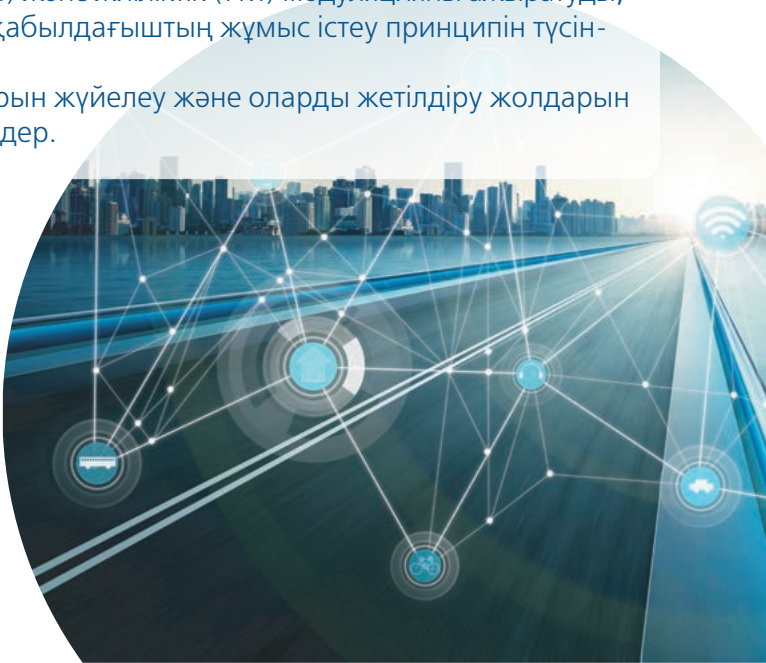
Толқын шебі – берілген t уақыт мезетінде кеңістіктің тербеліс жеткен нүктелерінің геометриялық орны.

ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

«Электрмагниттік тербелістер» және «Айнымалы ток» тарауларында индукциялық генератор тудырған төменгі жиілікті электрмагниттік тербелістермен таныстыңдар. Олар электртехникада кең қолданысқа ие болды, төменгі жиілікті электрмагниттік тербелістердің энергиясын алу, тасымалдау және қолдану үшін құрылғылар жасалды.

Бұл тарауда радиотехниканың негіздері қарастырылады. Радиотехникада электрмагниттік толқындар көмегімен жоғары жиілікті тербеліс көзі мен қабылдағыш арасында сымсыз байланыс орнатылады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- электрмагниттік толқындардың пайда болу шарттарын түсіндіруді және олардың қасиеттерін сипаттауды;
 - жоғары жиілікті электрмагниттік тербелістердің модуляциясы мен детекторлауды сипаттауды;
 - амплитудалық (AM) және жиіліктік (FM) модуляцияны ажыратуды;
 - детекторлы радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін түсіндіруді;
 - байланыс құралдарын жүйелеу және оларды жетілдіру жолдарын ұсынуды үйренесіңдер.
- 

§ 14. Электрмагниттік толқындардың жұтылуы мен шығарылуы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электрмагниттік толқындардың пайда болу шарттарын түсіндіре аласыңдар және олардың қасиеттерін сипаттай аласыңдар.



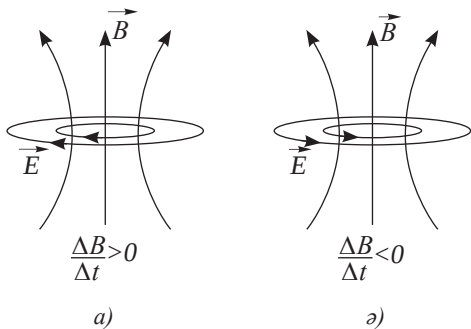
Естеріңе түсіріңдер!

Электрленген денелердің айналасында электрстатикалық өріс, тогы бар өткізгіш айналасында магнит өрісі пайда болады.

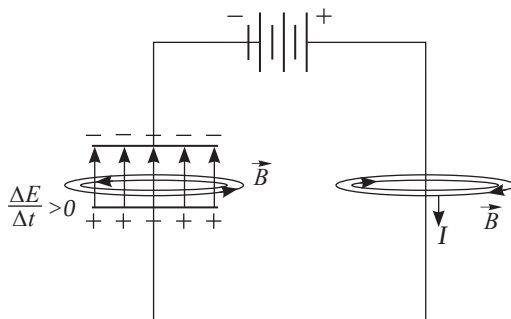
I Құйынды өріс. Максвелл гипотезасы

Электрмагниттік индукция құбылысын бақылап М.Фарадей магнит өрісі өзгерген кезде күш сызықтары тұйықталған құйынды өріс қозады деп тұжырымдады. Олардың күш сызықтарының басы да, ұшы да жоқ, олар магнит индукция сызықтарын камтиды. Құйынды өрістің күш сызықтарының бағытын Ленц ережесі бойынша анықтайды. Магнит индукциясы артқанда $\vec{E}$ кернеулік векторы $\vec{B}$ магнит индукция векторымен сол бұранда, кемігенде оң бұранда құрайды (98, а, ә-суреттер).

Электр және магнит өрістерінің қасиеттерін зерттеп, Максвелл электр өрісі өзгеретін барлық жағдайларда ол айнымалы магнит өрісін тудырады деп болжады. Максвелл гипотезасына сәйкес, конденсатор зарядталғанда магнит өрісі тек тогы бар өткізгіш айналасында ғана емес, конденсатор астарлары арасында да пайда болады (99-сурет). Осы кезде пайда болған өрістің $\vec{B}$ магнит индукциясы векторы $\vec{E}$ кернеулік векторымен, егер электр өрісінің кернеулігі артса $\frac{\Delta E}{\Delta t} > 0$, оң бұранда құрайды, егер кернеулік кемісе $\frac{\Delta E}{\Delta t} < 0$, сол бұранда құрайды.



98-сурет. Құйынды электр өрісінің күш сызықтары

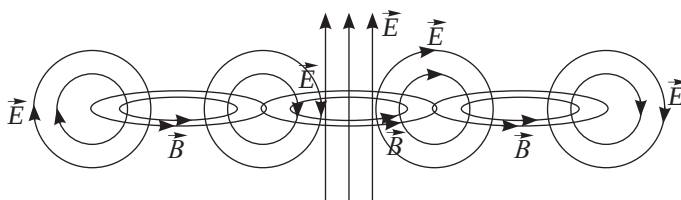


99-сурет. Конденсатор астарлары арасында айнымалы электр өрісін тудыратын магнит өрісінің күш сызықтары

II Электрмагниттік толқындар. Электрмагниттік толқындардың сәулелену шарттары

1865 жылы Максвелл теория жүзінде айнымалы электрмагниттік өріс кеңістікте электрмагниттік толқындар түрінде таралуы керек деп болжады. Кеңістіктің қандай да бір нүктесіндегі электр өрісінің кез келген өзгерісі айнымалы магнит өрісін

тудырады, ол өз кезегінде құйынды электр өрісін тудырады. Электр өрісі кернеулігінің және магнит өрісі индукциясының тербелістерін кеңістіктің бір нүктесінен екіншісіне тасымалдағанда, электромагниттік өріс пайда болады (100-сурет).



100-сурет. Электромагниттік толқынның таралуы

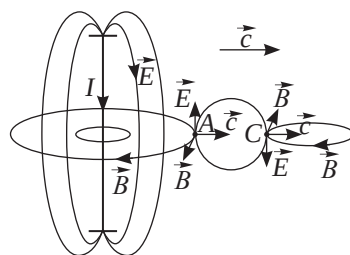
Электр өрісінің кернеулігі зарядталған бөлшектердің үдемелі қозғалысы кезінде өзгереді, демек, айнаымалы ток электромагниттік толқын көзі болуы мүмкін. Бірақ айнаымалы токтың стандартты 50 Гц жиілігі жоғары энергиялы толқын тудыруға жеткіліксіз, зарядталған бөлшектердің тербеліс қарқындылығы өте аз. Электромагниттік толқындар тудыру үшін қажетті шарттардың бірі – электромагниттік тербелістердің жиіліктерінің ондаған мегагерц шамасындағы жоғары мәнге ие болуы. Мұндай жиіліктегі тербелістер тербелмелі контурда орындалады, бірақ жабық контур энергия шығармайды және толқын тудырмайды.

Толқын тудыру үшін шарғыдағы токтың қарсы фазалы тербелістері бар тізбек бөлігін ажыратып, конденсатор астарларының арақашықтығын арттыру қажет. Бұл үшін шарғы орамдарын түзулеп және конденсатор астарларын алыстату керек, яғни ашық тербелмелі контур жасау керек (101-сурет). Осы шарттарда жоғары жиілікті тербелістер тудырған электромагниттік өрістің энергиясы ашық тербелмелі контурды қоршаған кеңістікте таралады.

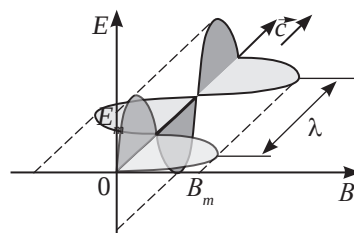
III Электромагниттік толқын – көлденең толқын. Толқын жылдамдығы

101-суретте электр өрісінің $\vec{E}$ кернеулік векторының және магнит өрісінің $\vec{B}$ магнит индукция векторының бағыттары, толқынның A және C нүктелеріндегі таралу жылдамдығы көрсетілген. Толқынның таралу бағыты бұранда ережесі бойынша анықталады. Егер бұранданы оң қимасымен $\vec{E}$ векторынан $\vec{B}$ векторына қарай айналдырса, онда бұранданың ілгерілемелі қозғалысы толқынның таралу жылдамдығы $\vec{c}$ векторымен сәйкес келеді. Кернеулік және магнит индукциясы векторларының тербелістерінің бағыты толқынның таралу бағытына перпендикуляр. Электромагниттік толқын – көлденең толқын (102-сурет).

Жауабы қандай?
Негізден еркін электрлік тербелістер ашық контурда жабық контурға қарағанда тез өшеді?



101-сурет. Ашық тербелмелі контурдың электр және магнит өрістері энергияларының таралуы



102-сурет. Электромагниттік толқын

Максвелл толқынның таралу жылдамдығы мен кернеулік және магнит индукциясы арасында байланыс орнатты:

$$c = \frac{E}{B}. \quad (1)$$

Электрмагниттік толқынның таралу жылдамдығы электр өрісі кернеулігінің магнит өрісі индукциясына қатынасына тең.

Өз есептеулерінде ол электрмагниттік толқынның вакуумда таралу жылдамдығын анықтады:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}. \quad (2)$$

Осы есептеулерге сәйкес электрмагниттік толқынның басқа орталарда таралу жылдамдығы n есе кемиді:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}, \quad (3)$$

мұндағы ε – ортаның диэлектрлік өтімділігі, μ – ортаның магнит өтімділігі, n – ортаның сыну көрсеткіші.

IV Толқын ұзындығының антенна ұзындығымен байланысы. Тербеліс жиілігі

Вибратор немесе антенна деп аталған ашық тербелмелі контурда зарядтардың тығыздығы оның ұштарында максимал, ал ортасында нөлге тең. Ток күші, керісінше, ортасында максимал мәнге, ұштарында нөлге тең. Антенна ұштарын қайта зарядтау $t = \frac{T}{2}$ жарты период ішінде орындалады, демек, таралатын толқын ұзындығы антенна ұзындығынан екі есе артық:

$$\lambda = 2l, \quad (4)$$

мұндағы λ – таралатын толқын ұзындығы; l – антенна ұзындығы.

Толқын ұзындығының мәні белгілі болса, толқын тарататын антеннаның меншікті тербеліс жиілігін анықтау қиын емес:

$$\nu = \frac{c}{2l}. \quad (5)$$

V Электрмагниттік толқынның күштік сипаттамалары

Кеңістікте таралатын электрмагниттік толқындар кума толқындар болып табылады. Демек, таңдалған өс бойымен орналасқан кеңістіктің қандай да бір нүктесінде кернеулікті немесе магнит индукциясын кума толқын теңдеуімен анықтауға болады:

$$E = E_m \sin \omega(t - \Delta t), \quad (6)$$

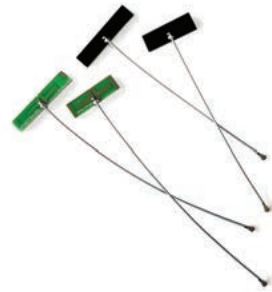
$$B = B_m \sin \omega(t - \Delta t), \quad (7)$$

мұндағы $\Delta t = \frac{l}{c}$ – толқынның таңдалған өс бағыты бойынша толқын көзінен l қашықтықта орналасқан кеңістіктің A нүктесіне жететін уақыты (104-сурет).



1-тапсырма

Ұялы телефон антеннасының ұзындығын анықтаңдар (103-сурет). Қазақстандағы Beeline және Kcell/Activ ұялы байланыс операторларының 3G жиілік диапазоны 2100 МГц.

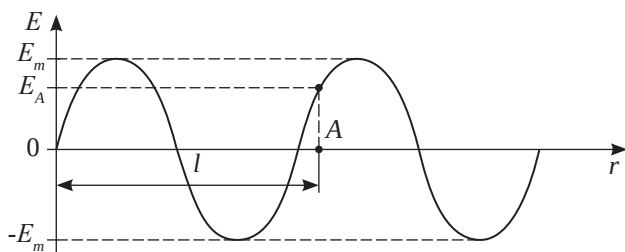


103-сурет. Ұялы телефондардың ішкі антеннасы



2-тапсырма

Алынған өске кері бағытта таралатын кума толқын теңдеуін жазыңдар.



104-сурет. Құма электромагниттік толқынның графигі

VI Электромагниттік толқынның энергиясы, энергия тығыздығы және қарқындылығы

Жарықтың қарқындылығы толқын энергиясымен анықталады.

Толқын қарқындылығы I немесе энергия ағынының беттік тығыздығы – бірлік уақыт ішінде толқындардың таралу бағытына перпендикуляр орналасқан бірлік бет арқылы тасымалдайтын энергиясына тең физикалық шама:

$$I = \frac{W}{St}. \quad (8)$$

Қарқындылықтың өлшем бірлігі: $[I] - 1 \text{ Вт/м}^2$.

Толқын энергиясын энергияның w көлемдік тығыздығы арқылы өрнектейік:

$$W = w \cdot V, \quad (9)$$

мұндағы $V - t$ уақыт ішінде ауданы S бет арқылы өтетін энергия жинақталған көлем (105-сурет). Кеңістік көлемін толқынның таралу жылдамдығы арқылы өрнектейік: $V = Sl = Sct$. (10)

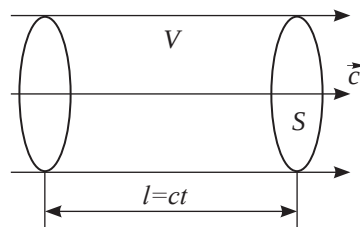
(9) және (10) формулаларды ескерсек, (8) өрнектен алатынымыз:

$$I = wc. \quad (11)$$

Электромагниттік толқынның қарқындылығы электромагниттік энергия тығыздығының толқынның таралу жылдамдығына көбейтіндісіне тең.

VII Электромагниттік толқындардың қасиеттері

Сендерге 9-сынып курсынан электромагниттік толқындар шағылатыны, сынатыны, кедергілерді орағытып өтетіні белгілі. Жоғары жиілікті электромагниттік толқындар генераторы және рупорлы антенналардың қабылдағышы электромагниттік толқындардың қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік береді. Өткізгіштер электромагниттік толқындарды шағылдыратынын (106, а-сурет), диэлектриктер оларды жұтатынын және сындыратынын (106, ә-сурет), когерентті электромагниттік толқындар орнықты интерференциялық көрініс беретінін (106, б-сурет) дәлелдеу қиын емес.



105-сурет. S бетті тесіп өтетін электромагниттік толқындар ағыны



3-тапсырма

(2), (3) және $v = \frac{E}{B}$ формулалары негізінде электромагниттік толқында магнит өрісінің энергия тығыздығы электр өрісінің энергия тығыздығына тең

$$\frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0} \text{ немесе}$$

$w_{м.ө.} = w_{э.ө.}$ екенін дәлелдеңдер.



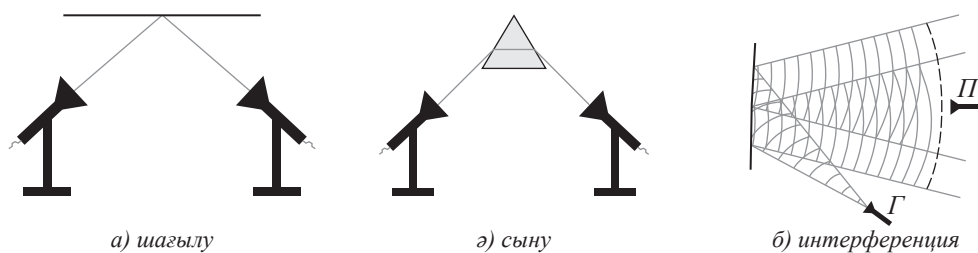
Жауабы қандай?

1. Не себепті сигнал дұрыс қабылдануы үшін қабылдағыш антенна таратқыш антеннаға параллель орналастыру қажет?
2. Қандай шарттар орындалғанда интерференцияның минимумы мен максимумы бақыланады?



4-тапсырма

Электромагниттік толқындардың барлық қасиеттерін атаңдар.



106-сурет. Толқындардың қасиеттері



Өз тәжірибең

106, а, ә, б-суреттерде көрсетілген тәжірибелерді қайталаңдар. Электрмагниттік толқындардың сыну және шағылу заңдарын тұжырымдаңдар. Π рупорлы антенна көмегімен (106, б-сурет) Γ генератордан шығып, екі металл пластинадан шағылған толқындар интерференциялық көрініс беретінін қалай дәлелдеуге болады?

Толқындар дифракциясын бақылауға және олардың көлденеңдігін дәлелдеуге арналған тәжірибе қойылымын ойластырыңдар.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай өрісті құйынды өріс деп атайды?
2. Электрстатикалық және құйынды магнит өрісінің арасында қандай айырмашылық бар?
3. Максвелдің электрмагниттік өріс теориясының негізгі идеясы қалай тұжырымдалады?
4. Қандай шарттар орындалғанда электрмагниттік толқын пайда болады?
5. Электрмагниттік толқынның таралу бағыты қалай анықталады?



Жаттығу

14

1. «Восток» ғарыш кемесінің бортында орналасқан таратқыш $\nu = 20$ МГц жиілікте жұмыс жасайды. Таратқыш шығаратын радиотолқындардың периодын және ұзындығын, таратқыш антеннаның ұзындығын анықтаңдар.
2. Ашық тербелмелі контурдағы ток күші $I = 0,1 \cos 6 \cdot 10^5 \pi t$ заңы бойынша уақытқа тәуелді. Таралатын толқын ұзындығын анықтаңдар.
3. Электрмагниттік толқын қандай да бір ортада $2 \cdot 10^8$ м/с жылдамдықпен таралады. Егер вакуумдағы жиілік 1 МГц болса, онда электрмагниттік тербелістердің осы ортада тудыратын электрмагниттік толқындарының ұзындығы қандай болады?
4. Сәулелену ағынының тығыздығы толқын көзінен 100 м қашықтықтағы сәулелену ағынының тығыздығымен салыстырғанда 100 есе кемитін қашықтықты анықтаңдар.
5. Берілген уақыт мезетінде кеңістіктің белгілі бір нүктесінде электрмагниттік толқын энергиясының тығыздығы $w = 5,2$ мкДж/м³. Осы сәттегі және осы нүктедегі магниттік индукция және кернеулік векторларының модулін анықтаңдар. $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7}$ Н/А².

§ 15. Радиобайланыс. Детекторлы радиоқабылдағыш

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жоғары жиілікті электр-магниттік тербелістердің модуляциясы мен детекторлауды сипаттай аласыңдар;
- амплитудалық (AM) және жиіліктік (FM) модуляцияны ажырата аласыңдар.
- детекторлы радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципі түсіндіре аласыңдар.

I Толқын қарқындылығы мен жиілігі

Адамның дауысының дыбысы алыс қашықтықтарға тарай алмайды. Демек, жуан дауыстан (80 Гц) сопраноға (1400 Гц) дейінгі аралықтағы толқындар – қарқындылығы төмен толқындар. Сигналдың таралу қашықтығын арттыру үшін энергия тығыздығы жоғары толқындар қажет.

Сфералық толқынның қарқындылығы арақашықтық квадратына пропорционал кемитінін дәлелдеу қиын емес:

$$I = \frac{W}{tS} = \frac{W}{t4\pi R^2}, \quad (1)$$

мұндағы $S = 4\pi R^2$ – толқын шебі бетінің ауданы.

Алыс қашықтықтарға тарату мәселелерін шешу үшін мынадай қорытынды жасаймыз: *энергия тығыздығы электр өрісі кернеулігінің квадратына*

$w_{э.о.} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}$ *және магнит индукциясының квадратына*

мына $w_{м.о.} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$ пропорционал. Электрмагниттік

өрістің кернеулігі $\vec{E}$ және магнит индукциясы $\vec{B}$ толқынның күштік сипаттамалары болып табылады. Ньютонның екінші заңы негізінде олар толқынды тудырған зарядталған бөлшектердің үдеуіне тәуелді: $a = \omega^2 A \cos \omega t$, ал үдеу өз кезегінде тербеліс жиілігіне тәуелді. *Энергия тығыздығы тербеліс жиілігінің төртінші дәрежесіне пропорционал:*

$$w \sim \omega^4, \quad (2)$$

Электрмагниттік толқынның қарқындылығы энергия тығыздығына тура пропорционал $I = ws$, демек, ол жиіліктің төртінші дәрежесіне пропорционал:

$$I \sim \omega^4. \quad (2)$$

Сигнал жиілігі жоғарылағанда таратқыш антеннаның әрекет ету радиусы артады. Тербеліс жиілігін 2 есе арттыру электрмагниттік толқынның қарқындылығының 16 есе артуына, ал тербеліс жиілігін 4 есе арттыру электрмагниттік толқынның қарқындылығының 256 есе артуына алып келеді.

II Тасымалдаушы жиіліктегі сигнал модуляциясы. Радиотаратқыштың жұмыс істеу принципі

Радиотелефондық байланыста ақпаратты алыс қашықтықтарға дыбыс жиілігі тербелістерін транзисторлы генератордың жоғары жиілікті сигналына қабаттастыру арқылы тасымалдайды.



Жауабы қандай?

1. Неліктен бір дыбыс көзінен тараған дыбыс қаттылығы кеңістікте бөлмедегіге қарағанда аз болады?
2. Неліктен дыбыс толқындары алыс қашықтықтарға тарай алмайды?



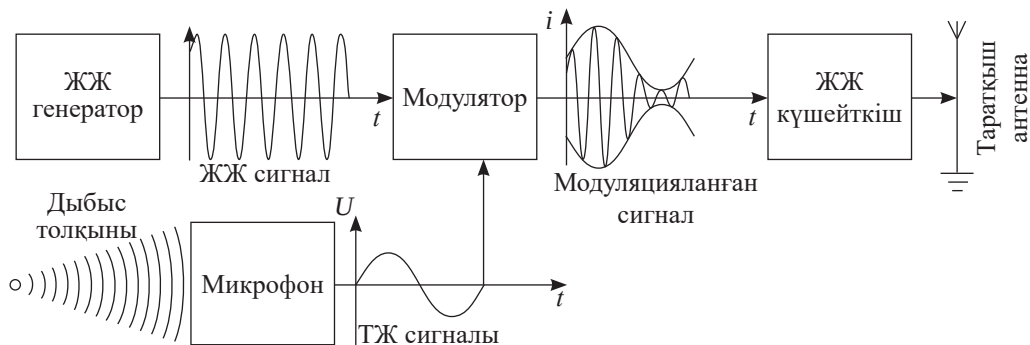
1-тапсырма

Жиіліктері 100 Гц және 100 МГц сигналдар тарататын тербеліс көздерінен қабылдағышқа дейінгі қашықтықтарды салыстырыңдар.

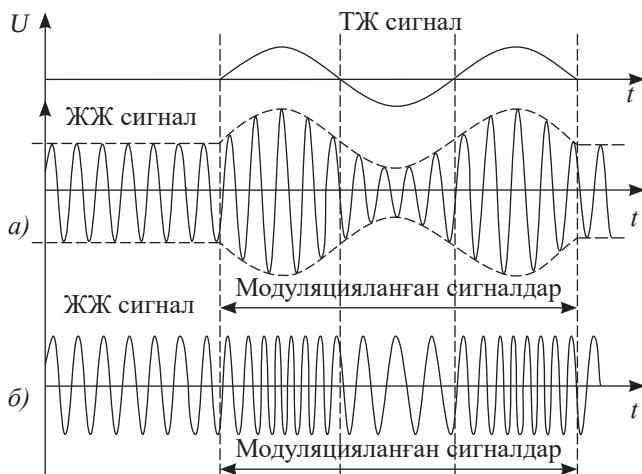
Жоғары жиілікті (ЖЖ) генератор тудырған тербеліс жиілігін *тасымалдаушы жиілік* деп атайды.

Дыбыс жиілігіндегі тербелістерді жоғары жиілікті сигналмен қабаттастыру *модуляция* деп аталады.

Модуляцияны амплитуданы (АМ) немесе жиілікті (FM) өзгерту арқылы жүзеге асыруға болады. Амплитудалы-модуляцияланған сигналдар шығаратын радиотаратқыштың принциптік сұлбасы 107-суретте көрсетілген.



107-сурет. Радиобайланыс принциптерінің модульдік сұлбасы



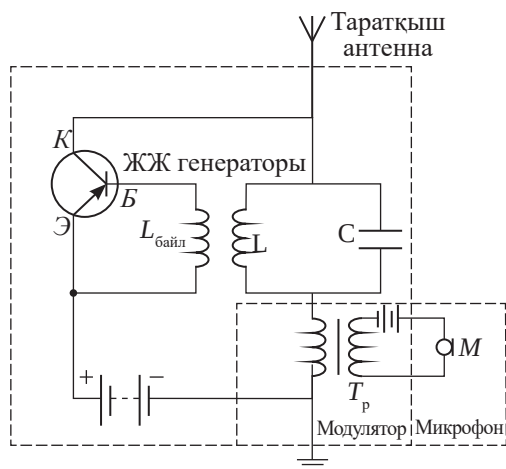
108-сурет. Модуляцияланған сигналдар

2-тапсырма

1. Аналогты радиотаратқыштың принциптік сұлбасын қарастырыңдар. Оның жұмыс істеу принципі түсіндіріңдер.
2. 108-суретке қараңдар. Модуляцияланған сигналдардың ұқсастығы мен айырмашылығы неде? Модуляцияның қай түрі барлық жағдайда жоғары жиілікті сигналмен қабаттас-тыру арқылы жүргізілгенін көрсетіндер.

Күшейткіштері жоқ транзистордағы қарапайым радиотаратқыш сұлбасы 109-суретте көрсетілген. Бейнеленген радиотаратқышта трансформатор модулятор рөлін атқарады. Оның орамаларының бірі генератордың тербелмелі контурымен

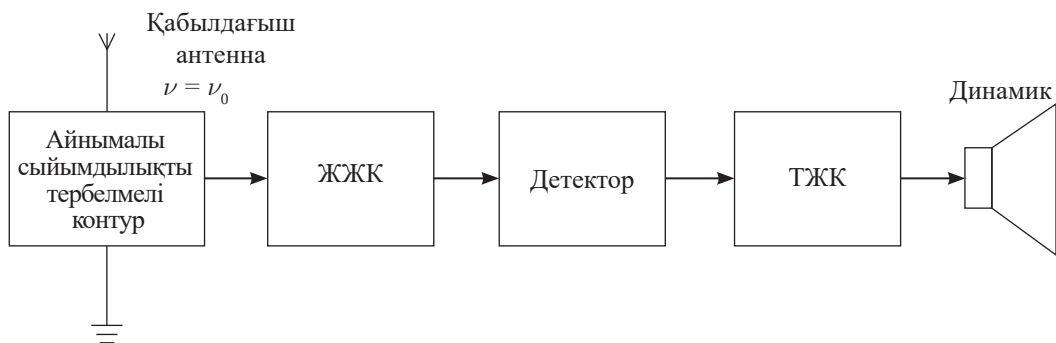
тізбектей жалғанады. Екінші реттік орамасына микрофон шығысынан дыбыс жиілігінің кернеуі беріледі. Трансформатордың екінші шарғысындағы айнымалы ток бірінші шарғының ұштарында айнымалы кернеуді индукциялайды. Эмиттер мен коллектор арасындағы кернеудің өзгеруі дыбыс толқыны жиілігіндегі тізбектегі ток күшінің өзгеруіне алып келеді. Таратқыш антеннадағы токтың жоғары жиілікті модуляцияланған тербелістері электромагниттік толқын тудырады.



109-сурет. Транзисторлы радиотаратқыш құрылғысының сұлбасы

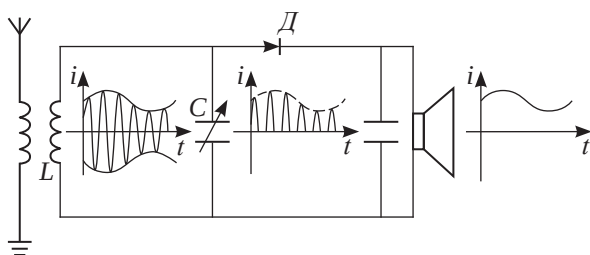
III Радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципі

Бір уақытта жұмыс жасайтын көптеген стансылар сигналдарынан радиоқабылдағыш антеннасы резонанстық жиіліктегі біреуін ғана бөліп алады (110-сурет). Резонанс жағдайында сигнал қабылдауға радиоқабылдағыштағы тербелмелі контурдың айнымалы сыйымдылықты конденсаторы мүмкіндік береді. Қабылданған сигнал жоғары жиілікті күшейткіш (ЖЖК) арқылы өтіп, жоғары жиілікті модуляцияланған тербелістерден төменгі жиілікті тербелістерді бөліп алатын детекторға түседі. Төменгі жиілікті күшейткіштен (ТЖК) кейін тербеліс телефонда немесе динамикте дыбыс тербелістеріне түрленеді.



110-сурет. Радиоқабылдағыштың принциптік сұлбасы

Күшейткіштері жоқ қарапайым радиоқабылдағыштың сұлбасы 111-суретте бейнеленген. Радиоқабылдағышта детектор рөлін осы аспаптың біржақты өткізгіштігі әсерінен пульсирленген ток өтетін диод атқарады. Телефонға параллель жалғанған конденсатор жарты период зарядталады, содан кейін жарты период телефон немесе динамик арқылы разрядталады, бұл пульсирленген сигналды бірқалыпқа түсіреді. Телефон арқылы радиотаратқыш микрофонындағы жиіліктегідей ток өтеді. Осылайша, телефон электр тербелістерін механикалық тербелістерге түрлендіріп, жіберілген дыбыс толқындарын тыңдауға мүмкіндік береді.



111-сурет. Қарапайым радиоқабылдағыш сұлбасы



Жауабы қандай?

Неліктен радиоқабылдағыштың тербелмелі контурындағы конденсатор сыйымдылығы айнымалы болатындай етіп жасалады?

Бақылау сұрақтары

1. Радиотолқындардың таралу қашықтығын қандай әдіспен арттыруға болады?
2. Радиотаратқыштың жұмыс істеу принципі қандай?
3. Транзисторлы радиотаратқышта тасымалдаушы жиілікті тербелістердің амплитудалық модуляциясы қалай жүргізіледі?
4. Радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



Жаттығу

15

1. Ұзындықтары 24 м-ден 26 м-ге дейінгі аралықтағы толқындарды қабылдайтын радиоқабылдағыштың жиілік диапазонын анықтаңдар.
2. Қабылдағыштың тербелмелі контуры индуктивтілігі $L = 2$ мкГн шарғыдан және сыйымдылығы $C = 1800$ пФ конденсатордан тұрады. Контур қандай ұзындықтағы толқынға арналған?
3. Қабылдағыштың тербелмелі контурының шарғысының индуктивтілігі 1 мкГн. Сигнал $\lambda = 100$ м толқын ұзындығында жұмыс жасайтын стансыдан қабылданады деп алып, конденсатордың сыйымдылығын анықтаңдар.
4. Индуктивтілігі 2 мкГн шарғыдан және ауданы 800 см^2 пластиналарының арақашықтығы 1 см болатын жазық конденсатордан құралатын тербелмелі контур қандай толқын ұзындығына арналған? Пластиналар арасындағы кеңістік диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 11$ затпен толтырылған.
5. Индуктивтілігі $L = 1$ мкГн тербелмелі контурдың сыйымдылығы $C_1 = 50$ пФ-тан $C_2 = 100$ пФ-қа дейін өзгерсе, радиоқабылдағыш қабылдайтын сигналдардың жиілік диапазоны қандай болатынын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Сымсыз байланыстың алғашқы құрылғылары.
2. Апатты жағдайлар үшін байланыс желілері.

§ 16. Аналогты-сандық түрлендіргіш. Байланыс арналары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- аналогтықпен салыстырғанда сандық форматтағы сигналды жіберудің артықшылықтарын түсіндіре аласыңдар.



Жауабы қандай?

1. Неліктен қысқа толқындар радиобайланысты сенімді қабылдауды қамтамасыз ете алмайды?
2. Аналогты байланыс неліктен байланыс арналары санымен шектеледі?

I Радиобайланыс арналары

Радиостансылар сигналдары жиіліктерінің диапазоны бір-біріне жақын болмауы керек. Олай болмаса, бір стансының сигналын қабылдауға басқа стансылардың сигналдары кедергі жасауы мүмкін, сондықтан аналогты радиобайланыс каналдарының саны шектеулі.

Жиілікті радиобайланыс каналы деп радиотолқындардың нақты тұтынушылар арасындағы радиобайланыс үшін қолданылатын және ерекшеленген жиілігін айтады.

Жиілікті каналдың ені жіберілетін ақпарат көлемімен анықталады. Ені ең үлкен сигналдар теледидарда дыбыс, бейне және дыбыс пен бейнені сәйкестендіру сигналын жіберу үшін қолданылады.

Жіберілуі мен қабылдануы тек тура көрінетін бағыттарда ғана мүмкін болатын ультрақысқа толқындарды (УҚТ) қолданғанда, ақпарат көлемі өзгермесе, сигналдың ені сығылады. Серіктік байланыс пайда болғалы бері УҚТ-ның бұл кемшілігі олардың артықшылығына айналды. Жасанды серікке бағытталған УҚТ-дағы радиосигналдар борттық ретранслятормен күшейтіледі және планетаның қажетті аймағына, жіберілу аймағынан жүздеген және мыңдаған километрлерге таралады.

УҚТ жұмыс істеу аумағының шектеулі болуына қарай ұялы байланыс жүйесінде кең қолданысқа ие болды. Бірдей жиілікті арналар әртүрлі елдер аумағында ғана емес, бір мемлекеттің ішінде де қолданылады.

II Электрмагниттік толқындардың жиіліктері бойынша халықаралық классификациясы

Толқынның жиілігіне (ұзындығына) қарай оның таралу, шағылу, сыну қасиеттері және дифракция түрліше бақыланады, сондықтан, радиотолқындардың классификациясы халықаралық деңгейде бекітілді (5-кесте).

5-кесте. Электрмагниттік толқындардың халықаралық классификациясы

Жиілік диапазонының атауы	Диапазон шекарасы	Толқындық диапазон атауы	Диапазон шекарасы
Шекті қысқа, ШҚЖ	3–30 Гц	Декамегаметрлік	100–10 Мм
Асатөмен, АТЖ	30–300 Гц	Мегаметрлік	10–1 Мм
Инфратөмен, ИТЖ	0,3–3 кГц	Гектокилометрлік	1000–100 км
Өте төмен, ӨТЖ	3–30 кГц	Асаұзын километрлік	100–10 км
Төмен жиілікті, ТЖ	30–300 кГц	Ұзын километрлік	10–1 км
Орташа, ОЖ	0,3–3 МГц	Орташа гектометрлік	1–0,1 км
Жоғары жиілікті, ЖЖ	3–30 МГц	Қысқа декаметрлік	100–10 м

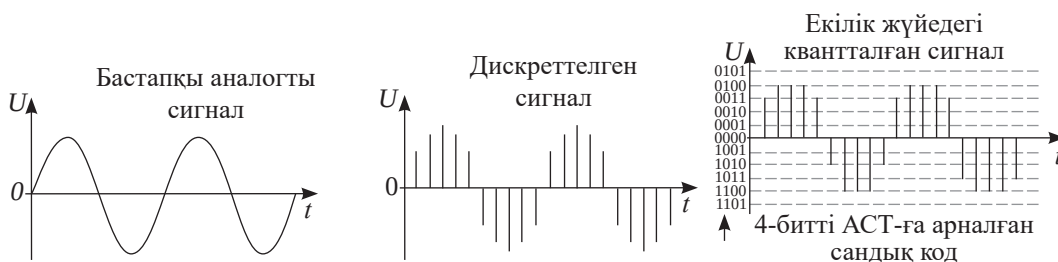
Жиілік диапазонының атауы	Диапазон шекарасы	Толқындық диапазон атауы	Диапазон шекарасы
Өте жоғары, ӨЖЖ	30–300 МГц	Ультрақысқа метрлік	10–1 м
Ультражоғары, УЖЖ	0,3–3 ГГц	Дециметрлік	1–0,1 м
Асажоғары, АЖЖ	3–30 ГГц	Сантиметрлік	10–1 см
Шекті жоғары, ШЖЖ	30–300 ГГц	Миллиметрлік	10–1 мм
Гипержоғары, ГЖЖ	300–3000 ГГц	Децимиллиметрлік	1–0,1 мм

III Сандық технологиялар. Аналогты-сандық түрлендіргіш

Жиілікті арналарды радио және теледидарлық стансылар арасында бөлу радио және телебағдарламалардың санын шектеді. Сандық технология пайда болған соң жағдай өзгерді. Сигналды аналогты-сандық түрлендіргіштерде сандық кодтау (112-сурет) бірнеше стансыға бір жиілікте жұмыс жасауға мүмкіндік берді, бағдарламалардың саны ондаған есе артты. Дыбыстық және теледидарлық сигнал сандық технологиялар көмегімен екілік жүйеде кодталады да (113-сурет), әртүрлі кедергілерден аз зақымдалатын дестеге (пакетке) беріледі. Сигналдың қабылдағыш құрылғыда декодталу кезіндегі сапасы аналогты радиобайланыс орнату кезіндегі сапасынан біршама артық болады.



112-сурет. АСТ – аналогты-сандық түрлендіргіш



113-сурет. Компьютерлік өңдеу үшін аналогты сигналды кодтау

IV Сандық теледидар принципі

Заманауи теледидар сандық технологияға негізделген. Сандық теледидарлық жүйенің құрылымдық сұлбасы 114-суретте көрсетілген. Жүйенің негізгі бөліктерін қарастырайық.

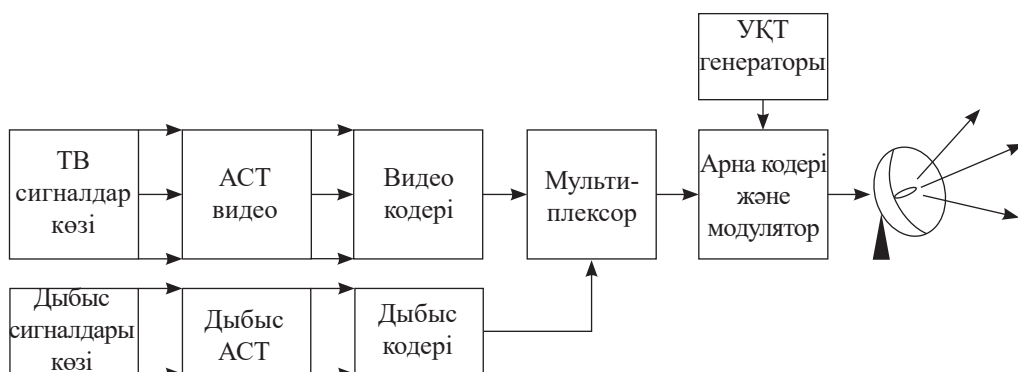
Аналогты теледидарлық сигналдардың көзі аналогты-сандық түрлендіргішке түсетін түрлі түсті суреттерді құрайды. Жүйенің бейне немесе видео кодері деп аталатын келесі бөлігінде стандартты байланыс арналарына жіберу үшін видеоақпараттарды кодтау жүзеге асады. Дыбыстық сигналдар да сандық формаға түрленеді. Дыбыстық ақпарат дыбыс кодерінде сығылады. Бейненің және дыбыстың кодталған мәліметтері, сондай-ақ қосымша ақпараттар мультиплексорда мәліметтердің бірыңғай ағынына



1-тапсырма

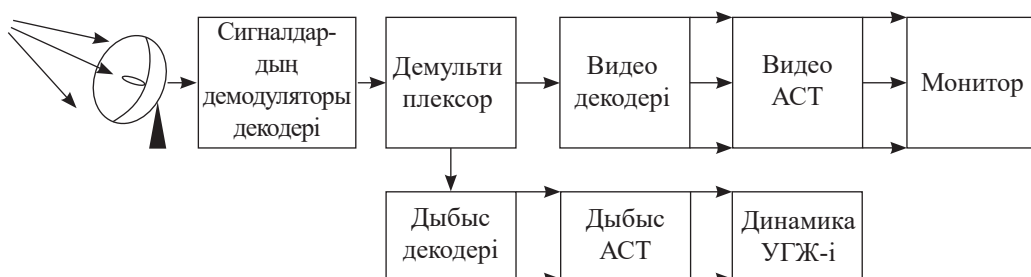
Интернет желісі материалдарын қарастырып, 8-битті АСТ қолдану 4-битті АСТ-ға қарағанда ақпарат жіберудің дәлдігін неше есе арттырады?

біріктіріледі. Арна кодерінде берілетін мәліметтер кедергіге төтеп бергіштігін арттыру үшін тағы да кодталады. Қолданылатын байланыс арнасының тасымалдаушы жиілігі бірнеше кодтау кезеңінен кейін алынған сандық сигналмен реттеледі.



114-сурет. Тасымалдаушы сандық теледидарлық жүйенің құрылымдық сұлбасы

Жүйенің қабылдаушы бөлігінде (115-сурет) барлық процестер кері ретпен жүреді: қабылданған жоғары жиілікті сигналдың демодуляциясы және арналық кодтаудың декодталуы.



115-сурет. Қабылдаушы сандық теледидарлық жүйенің құрылымдық сұлбасы

Содан кейін демультиплексорда мәліметтер ағыны бейне және дыбыс мәліметтері, қосымша ақпараттарға бөлінеді. Бұдан соң мәліметтердің декодталуы орындалады. Нәтижесінде бейне декодері шығысында аналогты-сандық түрлендіргіште (АСТ) аналогты формаға түрленіп, экранында түрлі түсті бейне көрінетін мониторға берілетін сандық сигнал алынады. Дыбыс декодері шығысында аналогты формаға түрленген дыбыс сигналдары алынады. Бұл сигналдар дыбыс жиілігін күшейткішке, әрі қарай динамиктерге түседі.



Бұл қызық!

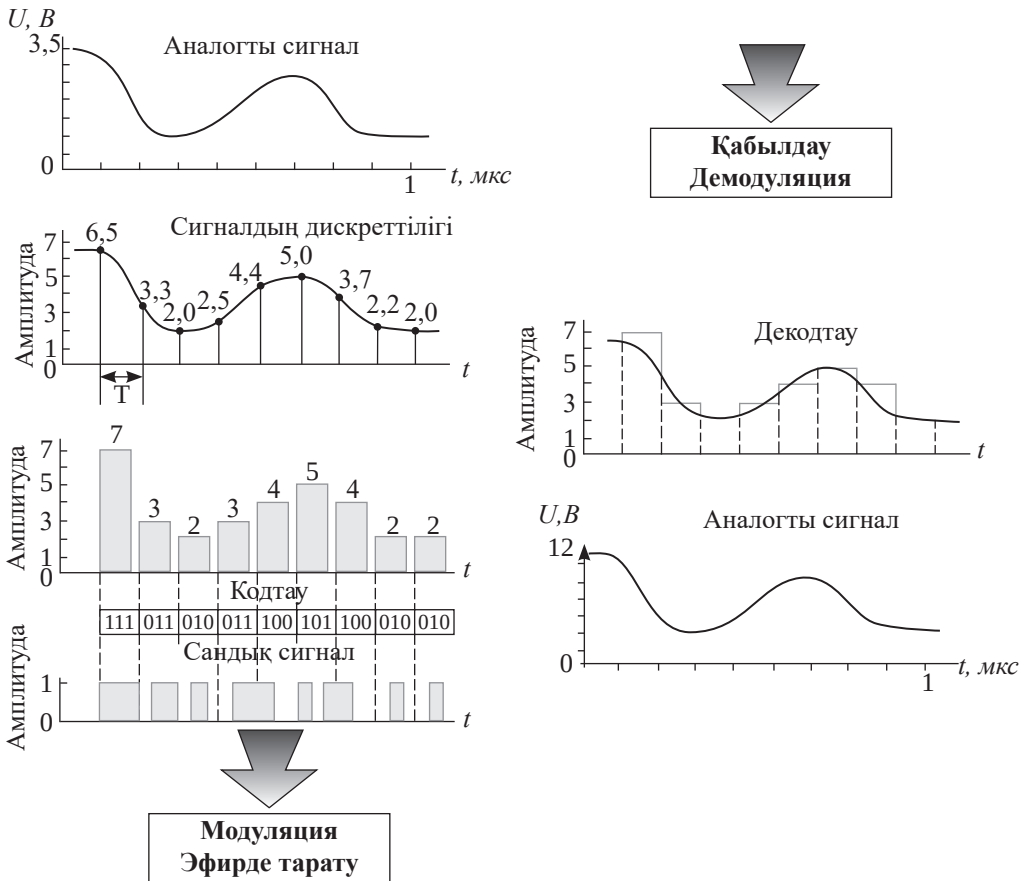
Экрандағы кескін әртүрлі түстердің пиксельдері нүктелерінің жиынтығын білдіреді. Ақ-қара түсті бейне үшін бір нүктенің ақпараттық көлемі бір битке тең немесе қара – 1, немесе ақ – 0. Монитор экранында түрлі түсті бейне үш негізгі: қызыл, жасыл және көк түстерді араластыру барысында алынады. Түстерге бай палитра алу үшін негізгі түстерге әртүрлі қарқындылық берілуі мүмкін. 256 түс үшін ақпарат көлемі 8 бит немесе 1 байт, 294 967 296 түс үшін – 32 бит немесе 4 байт.

V Сандық радиохабар тарату принципі



2-тапсырма

116-суретке қараңдар. Сандық радиохабар тарату үшін дыбыс сигналын түрлендіру принципін түсіндіріңдер. Сигналды кодтау үшін неше бит қолданылды?



116-сурет. Сандық радиохабар тарату үшін дыбыс сигналын түрлендіру принципі



Назар аударыңдар!

АСТ аудиокартасы дыбысты өте аз уақыт бөліктеріне бөледі және олардың әрбірінің қарқындылық деңгейін екілік кодта кодтайды. Мұндай бөлуді *дискреттілік* деп атайды. Дискреттілік жиілігі жоғары болған сайын, жазба да сапалы болады. Егер АСТ дыбыстық картасы (цифрланған сигналды оқуға арналған құрылғы) дискреттіліктің жоғары деңгейін қамтымаса, сигнал оқылмайды.

Бақылау сұрақтары

1. Радиобайланыс арнасы деп нені атайды?
2. Ұзындықтары әртүрлі радиотолқындар қалай таралады? Ұзын, қысқа, ультрақысқа толқындардағы радиобайланыс кезінде қандай мәселелерді ескеру қажет?
3. АСТ-де қандай процестер орындалады?
4. Сандық радио және телехабар таратудың артықшылығы неде?



Жаттығу

16

Кестеде ҚР-ның байланыс операторларының жиілік диапазоны көрсетілген. Байланыс жүзеге асатын толқын ұзындықтарын анықтаңдар. Электр-магниттік толқындардың халықаралық классификациясына сәйкес байланыс операторлары жұмыс жасайтын толқын диапазонын көрсетіндер.

Байланыс операторлары		2G	3G
	Altel	900 МГц	850 МГц, 900 МГц*
	Beeline	900 МГц	2100 МГц
	Kcell/Activ	900 МГц	2100 МГц
	Tele2	900 МГц	900 МГц, 850 МГц*

* 2016 жылы Altel және Tele2 өз желілерін біріктірді.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ұялы байланыстың аналогты және сандық стандарты.
2. Серіктік байланыс түрлері.
3. Қазақстан Республикасының коммуникациялық дамуы.

§ 17. Байланыс құралдары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- байланыс құралдарын жүйелер аласыңдар және оларды жетілдірудің жолдарын ұсына аласыңдар.



Назар аударыңдар!

2012 жылы Көлік және коммуникациялар министрлігі «Ақпаратты Қазақстан – 2020» бағдарламасын құрастырды. Бағдарламаның негізгі мақсаты – ақпараттық қоғам қалыптастыру. Негізгі міндеттері: мемлекеттік басқару жүйесінің тиімділігін, ақпараттық-коммуникациялық инфрақұрылымның қолжетімділігін қамтасыз ету, қоғамның әлеуметтік-экономикалық және мәдени дамуы үшін ақпараттық орта құру, отандық ақпараттық кеңістікті дамыту. Бағдарламаны жүзеге асыру заманауи байланыс құралдарының дамуын, халықтың компьютерлік сауаттылығын арттыруды және желілік технологияны меңгеруін талап етеді.

I Заманауи байланыс құралдарын дамыту. Интернет желісі

Қазақстанда «Телекоммуникация желілерін салу және NGN технологиясына көшіру» бағдарламасын жүзеге асыру бір желі арқылы ұялы байланыстың, Интернетке қолжетімділіктің, кабельді теледидардың және сымды радиохабар таратудың барлық қызмет түрлерін бір мезгілде көрсетуді қамтамасыз етеді. Телекоммуникация саласының негізгі тенденциясы телерадиохабар таратуға сандық технологияларды енгізу және дамыту болып табылады. Қазақстан Республикасында ADSL, CDMA/EVDO, FTTH, 3G, 4G заманауи технологияларын қолданып, Интернет желісіне кең жолақты қосылу дамып келеді.

Интернет желісіне жоғары сапалы кең жолақты қосылу сұраныстарын қанағаттандыру және ұсынылатын қызметтер санын арттыру мақсатында 2011 жылы FTTH талшықты-оптикалық желінің құрылысы басталған. Жоба Нұр-Сұлтан, Алматы қалаларындағы және ҚР-ның барлық облыс орталықтарындағы көпқабатты үйлер мен коттедж құрылыстарын 100 % қамтуды көздеп отыр. *Талшықты-оптикалық желілердің* мынадай артықшылықтары бар:

- алыс қашықтықтарда өткізу қабілетінің жоғарылығы;
- желіге рұқсатсыз қосылудан қорғау: талшықты-оптикалық желіні бұзбай, ақпаратты «тыңдау» мүмкін емес;
- алыс аймақтарда орналасқан офистер мен корпорацияларды біріктіру мүмкіндігі.

Қазақстанның ауыл тұрғындарының Интернет желісіне кең жолақты қосылуы үшін CDMA технологиясы қолданылады. CDMA – тарату арналарының жолақ жиілігі бірдей, ал кодтық модуляциясы әртүрлі байланыс технологиясы. 2011 жылдан бастап ол EVDO платаларымен жабдықталуының арқасында дамып келеді. CDMA 450/EVDO технологиясы арқылы тасымалданатын мәліметтер сандық ақпараттарды сығудың жаңа алгоритмдері арқасында жоғары жылдамдыққа ие болады.



Жауабы қандай?

Интернет желісіне кең жолақты қосылу үшін үйлеріңде қандай технология қолданылатынын анықтаңдар.



Есте сақтаңдар!

NGN (Next Generation Network) – келешек ұрпақтың байланыс желісі.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) – асимметриялы сандық абоненттік желі.

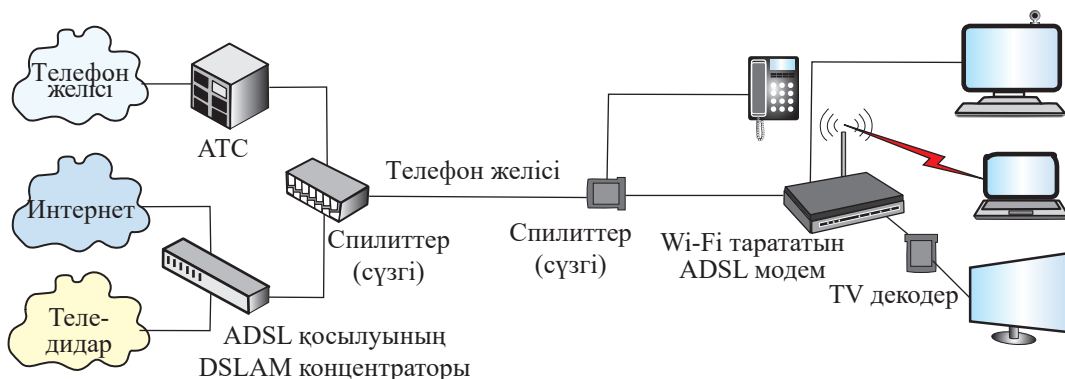
CDMA (Code Division Multiple Access) – кодтық модуляциясы бар бірнеше мәрте қолжетімділік.

EVDO (Evolution Data Optimized) – жақсартылған, оптимизацияланған ақпарат тасымалдау.

FTTH (Fiber to the Home) – үйге қосылған оптоалшықты кабель.

II Сандық телерадиохабар тарату

ADSL технологиясы ақпаратты жылдам тасымалдау үшін жасалған, ол телефон сымдарын мәліметтерді тарататын жоғары жылдамдықты желі ретінде қолдануға негізделген. Екі модемді телефон желісінің ұштарына қосады (117-сурет). Бір желіде бір мезетте бірнеше сигнал жіберу үшін сплиттер – арналардың жиілік бойынша бөлінуіне қажетті электрлік сүзгі қолданылады. Әрбір қолданушының арнайы түрлендіргіші бар, ол сигналды декодтауға және теледидар экранында әртүрлі бағдарламаларды көруге мүмкіндік береді.



117-сурет. ADSL технологиясы көмегімен Интернет, теледидар және телефон қызметтерін ұсыну

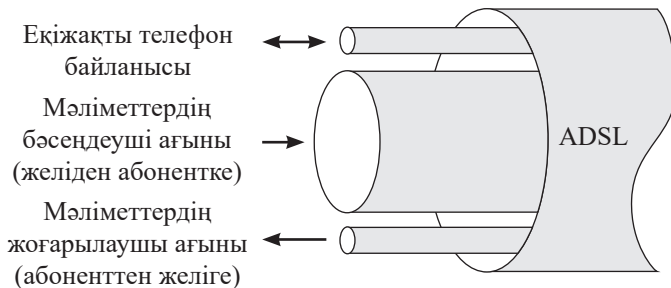
Мәліметтерді тасымалдау жылдамдығы сымдардың диаметрі мен олардың ұзындығына тәуелді. Желінің ұзындығы артып, сымның диаметрі кеміген кезде желідегі сигналдың өшуі артады. ADSL үшін функционалдық шек сымдардың қалыңдығы 0,5 мм, ұзындығы 3,5–5,5 км абоненттік желі болып табылады. Қазіргі уақытта ADSL желіден абонентке берілетін мәліметтер ағынының бәсеңдеуші ағыны 1,5 Мбит/с-тан 8 Мбит/с-қа дейінгі жылдамдықпен берілуін қамтамасыз етеді. Желіден абонентке берілетін мәліметтердің жоғарылаушы ағынының жылдамдығы шамамен 640 Кбит/с-тан 1,5 Мбит/с-қа жетеді. ADSL ағымдағы қарапайым телефон



1-тапсырма

117-суретті қараңдар. ADSL технологиясы бойынша ақпараттың тасымалдануы қалай жүзеге асады? Тұтынушыға қандай қызметтер ұсынылған? Мектепте сендерге байланыс қызметтерінің қандай түрлері ұсынылған?

байланысын үзбей, осы телефон желісі қолданылатын жоғары жылдамдықта видео-сигнал жіберуді қамтамасыз ете алады (118-сурет).



118-сурет. Телефон желісінде ақпарат ағынының бөлінуі

III Ұялы байланыс

Қазақстанның барлық ұялы байланыс операторлары 2012 жылға дейін 3G желісін қолданған. 3G технологиясының біршама артықшылықтары бар: жоғары жылдамдығының арқасында мультимедиялардың жүктелуі және жіберілуі аз ғана секундтар ішінде орындалады. Сұхбаттасушыны тек есту ғана емес, көру мүмкіндігі де бар, видеоконференция және видеотрансляция жүргізу мүмкіндігі бар. 3G технологиясының арқасында **есту қабілеті нашар жандар видеоқоңырау арқылы қарым-қатынас жасау мүмкіндігіне ие болды.**

2012 жылдан бастап 4G стандартты желілер салу жобасы іске аса бастады. 4G технологиясы мәліметтерді тасымалдау пакеті оптимизацияланған ұялы байланыс жүйесін құруды қамтамасыз етеді.

IV Желілік технологиялар. Дата-орталық

Телекоммуникация және байланыс саласы еліміздің экономикасының дамушы және байланыстырушы саласы болып табылады, ол еңбек өнімділігінің артуына және отандық өнеркәсіптердің қарқынды дамуына қолайлы жағдай жасауға, олардың әлемдік экономикаға шығарылуына әсер етеді.

2012 жылы желтоқсанда Павлодарда ТМД елдеріндегі ең үлкен алғашқы дата-орталық іске қосылды. Ол желілік және есептеу құрылғыларының және арнайы программалық жабдықтама кешені болып табылады. Құрылған орталық базасында орта және шағын бизнеске ұсынылған IT-қызметтер: мәліметтерді сақтаудың бұлтты жүйесі, мәліметтерді өңдеудің виртуалды резервтік орталығы, бизнеске арналған бағдарламалық жабдықтама, интерактивті қарым-қатынас және ақпараттар алмасу жүйесі, бұлтты серверлік орталық іске қосылды.

Жоба «Қазақтелеком» АҚ мен дата-орталықтар тұрғызуда әлемдік көшбасшы Калифорнияның Hewlett-Packard компаниясының серіктестігі арқылы жүзеге асты. «Қазақтелеком» АҚ-ның 16 дата-орталығынан тұратын желі республиканың барлық аумағын қамтиды. 119-суретте Алматы қаласындағы дата-орталық көрсетілген.



119-сурет. Алматы қаласындағы дата-орталық

V Бұлтты технологиялар

Қазақстанға бұлтты технологияларды енгізумен байланыс операторларының көшбасшысы «Қазақ-телеком» АҚ айналысады. 2011 жылы маусымда Microsoft компаниясымен келісімге қол қойылды. 2012 жылдың бірінші жартысында Microsoft Hosted Exchange және Microsoft Share Point Hosting сияқты бұлтты технологиялар іске қосылды.

Microsoft Hosted Exchange-дің негізгі функциялары – пошта хабарламаларын өңдеу және жеткізу, ұялы құрылғыларды және Интернетке қолжеткізуді іске асыру, дыбыстық хабарламалар жүйесін интеграциялау, сондай-ақ жылдам хабарламалармен алмасу жүйесін іске асыру.

Share Point Hosting – Microsoft компаниясының ақпарат алмасуға және бірігіп жұмыс жасауға арналған ұжымдық ресурстар құруға арналған техникалық платформасы.

Share Point платформасында өзгерістерді, блогтарды, форумдар мен сауалнамаларды, wiki-беттерді қадағалап отыру мүмкіндігі бар Office құжаттар құруға болады.

VI Желілік әлеуметтік жобалар

Халықтың компьютерлік сауаттылығының жоғарылауы және желілік әлеуметтік жобаларға қатысуы байланыс қызметтерін одан да қарқынды қолдануға алып келеді. Электронды құжат айналымы, Интернет желісі арқылы әртүрлі мемлекеттік мекемелерге өтініш жазу және төлемдер жасау мүмкіндігі, интернет-сауда даму үстінде.

e.gov.kz порталында азаматтар мемлекеттік органдар туралы ақпараттарға тегін қолжеткізе алады, оның ішіне Қазақстанның заңнамалық базасы да кіреді. Портал арқылы азаматтарға, кәсіпкерлерге және мемлекеттік органдарға қызмет көрсету және ақпарат беру міндеттері шешілді.



Жауабы қандай?

1. Неліктен сарапшылар орта және шағын бизнес дата-орталықтың IT-қызметтерін қолданатынына сенімді?
2. Электронды поштадағы бұлтты қалай қолданамыз?
3. Блогты қалай құрамыз?



2-тапсырма

Параграфта берілген ақпараттарды «Ақпаратты Қазақстан – 2020» бағдарламасының мақсаттары және міндеттерімен салыстырыңдар. Барлық қойылған мақсаттар мен міндеттерге қолжеткізілді ме?



Жауабы қандай?

1. Неліктен ҚР-да ақпараттық қоғам құруға басты назар аударылуда?
2. Үкіметтің халықтың басым бөлігін e.gov.kz порталына қосуға талпынуының себебі неде?



Жауабы қандай?

1. Өз аймақтарыңда заманауи байланыс құралдарын пайдалануға қандай өзгерістер енгізілген?
2. Сендер қандай өзгеріс енгізер едіңдер? Қандай мақсатта? Ол үшін не істеу қажет? Ұсыныстарыңды жүзеге асыру мүмкіндігі бар ма?

Бақылау сұрақтары

1. «Ақпаратты Қазақстан – 2020» бағдарламасының басты мақсаты қандай?
2. ҚР-да Интернетке кеңжолақты қосылу қалай қамтамасыз етілуде?
3. Талшықты-оптикалық байланыс желілерінің артықшылығы неде?
4. 3G байланыс желісі қандай мүмкіндіктерге ие? 4G байланыстың артықшылығы неде?
5. Дата-орталықтар қандай мақсаттарда құрылады?
6. ҚР-да қандай бұлтты технологиялар мен желілік әлеуметтік жобалар қолданыста бар?



Жаттығу

17

Ұялы телефон қолданушысы айына 320 минут сөйлесу уақытын қолданады және 450 хабарлама жібереді. Ұялы байланыс операторы шарттары кестеде көрсетілген үш түрлі тариф ұсынады.

Тарифтік жоспар	Абоненттік төлем, теңге	1 мин құны, теңге	1 SMS құны, теңге	Ескерту
Стандарт	Жоқ	8,5	7,5	Жоқ
Қонақтарға арналған	1000	150 минуттан асқан кезде әр минут үшін 6 теңге	9	Алғашқы 150 минут тегін
Шектеусіз	3500	300 минуттан асқан кезде әр минут үшін 4 теңге	12,5	Алғашқы 300 минут және алғашқы 300 SMS тегін

Егер ең тиімді тарифті таңдаса, қолданушы айына қанша теңге төлейді?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар:

1. ADSL технологиясының мүмкіндіктері.
2. Арнайы экономикалық аймақ «Инновациялық технологиялар паркінің» Smartcity бағдарламасы аясындағы перспективалары.
3. Ұялы телефондардың жасалу тарихы.
4. Жылжымалы байланыс құралдары.

Спорттық радиопеленгациядан XVII әлем чемпионаты

2014 жылы Ақмола облысында Бурабайда спорттық радиопеленгациядан XVII әлем чемпионаты өтті. Жарысқа әлемнің 25 елінен 300 қатысушы келді. Олардың ішіндегі ең үлкен командалар: Қытай – 64 қатысушы, Ресей – 40 қатысушы, Чехия – 37 қатысушы, Қазақстан – 30 қатысушы, Жапония – 25 қатысушы.

Спорттық радиопеленгация «Түлкі аулау» деген атпен белгілі, ол – радиоспорт пәні. Ол Екінші дүниежүзілік соғыстан кейін Ұлыбритания мен Данияда пайда болды. Спорттың бұл түрінде спортшылар аймақтың картасы, тұсбағар және бағытталған антеннасы бар радиоқабылдағыш көмегімен берілген уақыт ішінде радиотаратқыштардың – «түлкілердің» барынша көп санын (3-тен 5-ке дейін) табуы керек.

Жарыс таулы, батпақты, жүріп өтуге қиын аймақтарда ұйымдастырылады. «Түлкі» – радиотаратқыштары 4 минут сайын сигнал жібереді. Жарысқа қатысу тек жақсы шынығуды ғана емес, аймақта бағдар таба білу қабілеті мен картамен жұмыс жасай білу және радиоқабылдағышты қолдана білу қабілеттерін қажет етеді.

Сигнал жіберу үшін қолданылатын толқын диапазоны: 3,5 МГц, 28 МГц және 144 МГц (120–121-суреттер).



120-сурет. Спортшының диапазоны 144 МГц радиопеленгатормен жүзгіруі



121-сурет. Диапазоны 3,5 МГц радиопеленгатор

Ұялы байланыс операторлары



Тапсырма

Ұялы байланыс операторлары ұсынған тарифтік жоспарларды салыстырыңдар. Әрбір ұсыныстың қандай артықшылығы бар?

ҚР-дағы ұялы байланыс операторларының тарифтік жоспарлары				
Қызметтер	TELE2 «Супер +»	ALTEL «Супер SMART +»	BEELINE «Бәрі бар М»	ACTIV «Алло, Қазақстан 2»
Абоненттік төлем	880 тг/айына	990 тг/айына	1470 тг/айына	1490 тг/айына
Желі ішіндегі SMS лимиті	9000 SMS/айына	9000 SMS/айына	3000 SMS/айына	500 SMS/айына
Айлық мобильді интернет	5 ГБ	лимит жоқ	450 ГБ	10 ГБ (5 ГБ түнде және 5 ГБ күндіз)
Лимиттен кейінгі желі ішіндегі қоңырау шалу бағасы	0 тг/мин	0 тг/мин	8 тг/мин	5 тг/мин
Лимиттен кейінгі желі ішіндегі қоңырау шалу бағасы	11 тг/мин	10 тг/мин	18 тг/мин	5 тг/мин
Желі ішіндегі қоңырау шалу лимиті	лимит жоқ	лимит жоқ	3000 айына	1490 мин/айына Желі ішіндегі және желіден тыс қоңырауларға ортақ лимит
Басқа операторларға қоңырау шалу лимиті	90 мин/айына	100 мин/айына	—	

5-тараудың қорытындысы

Электрмагниттік толқын теңдеуі		Толқын ұзындығы мен антенна ұзындығының байланысы	
$E = E_m \sin \omega(t \pm \Delta t) ; \quad B = B_m \sin \omega(t \pm \Delta t)$		$\lambda = 2l$	
Электрмагниттік толқынды сипаттайтын шамалар			
Жылдамдық	$c = \frac{E}{B};$ $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м / с};$ $v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$	Энергия тығыздығы	$w = w_{э.ө.} + w_{м.ө.} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu \mu_0};$ $w = 2w_{э.ө.}; \quad w = 2w_{м.ө.}$
Толқын ұзындығы	$\lambda = cT ; \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$	Қарқындылық	$I = \frac{W}{St}; \quad I = w c$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктердің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
E	электрмагниттік толқынның кернеулігі	В/м	n	сыну көрсеткіші	
B	магнит индукциясы	Тл	λ	толқын ұзындығы	м
c	жарық жылдамдығы	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	I	толқын қарқындылығы	Вт/м ²
ε	ортаның диэлектрлік өтімділігі		W	толқын энергиясы	Дж
ε_0	электр тұрақтысы	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2$	ω	энергия тығыздығы	Дж/м ³
μ	ортаның магниттік өтімділігі		$\omega_{э.ө.}$	электр өрісі энергиясының тығыздығы	Дж/м ³
μ_0	магниттік тұрақты	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$	$\omega_{м.ө.}$	магнит өрісі энергиясының тығыздығы	Дж/м ³
T	период	с	ν	жиілік	Гц

Максвелл гипотезасы

Кеңістіктің қандай да бір нүктесінде электр өрісінің кез келген өзгерісі айнымалы магнит өрісін тудырады, ол өз кезегінде құйынды электр өрісін тудырады.

Глоссарий

Толқын қарқындылығы – бірлік уақыт ішінде толқындардың таралу бағытына перпендикуляр орналасқан бірлік бет арқылы тасымалдайтын энергиясына тең физикалық шама.

Модуляция – дыбыс жиілігіндегі тербелістерді жоғары жиілікті сигналмен қабаттастыру.

Тасымалдаушы жиілік – жоғары жиілікті генератор тудырған тербеліс жиілігі.

Жиілікті радиобайланыс каналы – радиотолқындардың нақты тұтынушылар арасындағы радиобайланыс үшін қолданылатын және ерекшеленген жиілігі.

ТОЛҚЫНДЫҚ ОПТИКА

Толқындық оптика – оптикалық құбылыстарды жарықтың толқындық табиғаты негізінде түсіндіретін оптика бөлімі. Жарық толқындары электромагниттік толқындардың барлық қасиеттеріне ие болғандықтан, электромагниттік толқын ретінде қарастырылады. Толқындық оптика интерференция, дифракция, поляризация және дисперсия сияқты құбылыстарды түсіндіреді.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- жарық жылдамдығын анықтаудың зертханалық және астрономиялық әдістерін түсіндіруді;
- призма арқылы өткен ақ жарықтың жіктелуін түсіндіруді;
- механикалық және жарық толқындарының интерференциялық көріністеріне салыстырмалы талдау жүргізуді;
- жұқа пленкаға түскен және шағылған жарықтардан пайда болған интерференциялық максимумдар мен минимумдарды бақылау шарттарын анықтауды;
- Френель теориясын қолданып, қылдан, саңылаулардан, дөңгелек саңылаудан пайда болған дифракциялық көріністерді түсіндіруді;
- жарықтың толқын ұзындығын дифракциялық тордың көмегімен эксперимент арқылы анықтауды;
- жарықтың интерференция, дифракция және поляризация құбылысын талдай отырып, эксперимент арқылы жарықтың электромагниттік табиғатын дәлелдеуді үйренесіңдер.

§ 18. Жарықтың электромагниттік табиғаты. Жарықтың жылдамдығы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жарық жылдамдығын анықтаудың зертханалық және астрономиялық әдістерін түсіндіре аласыңдар.



Христиан Гюйгенс (1629–1695) – голланд математигі, физигі және астрономы. «Жарық туралы трактатында» жарықтың толқындық теориясын қарастырды. Ол линзалық микроскопты жетілдірді, кішкентай бұрыштарды өлшеу үшін микрометрді ойлап тапты. Өзі құрастырған телескоп көмегімен 1655 жылы Сатурнның сақинасын және оның серігі Титанды бақылады, Титанның планета айналасында айналу периоды анықтады.

I Жарық табиғаты

Жарық табиғатына қатысты алғашқы ғылыми көзқарастар XVII ғасырда айтылды. Олардың бірінде «жарық – корпускулалар ағынын білдіретін зат» делінсе, екіншісінде «жарық – толқын» деген болжам жасалды.

И.Ньютон механикалық толқындардың кедергіні орағытып өту қасиеттеріне сүйеніп, жарықтың заттық теориясына тоқталды. Оның 1672 жылы тұжырымдаған теориясына сәйкес жарық жарқырайтын дене шығаратын бөлшектерден тұрады. Жарық макроскопиялық денелер сияқты түзу сызықты қозғалады және кедергілерді орағытып өтпейді, олардың артында көлеңке қалдырады. Жарық бөлшектері ортаның серпімді болуын қажет етпейді.

Х.Гюйгенс жарықтың толқындық теориясын құрастырды. Ол қысқа толқындардың кеме бортына соғылып, оны орағытып өте алмайтыны сияқты жарық толқындары да кедергіні орағытып өте алмайды деп есептеді. Ол барлық кеңістікті толтырып тұратын және барлық денелердің ішіне кіретін серпімді орта – эфир бар деп санады. Алғаш рет жарықтың таралу, шағылу және сыну процестерін 1690 жылы жарық көрген «Жарық туралы трактатында» толқындық теория тұрғысынан қарастырған Х.Гюйгенс болатын.

Корпускулалық және толқындық теория ұзақ уақыт бойы қатар қолданылып келді. Корпускулалық теория негізінде жарық бөлшектері кеңістікті қиып өткенде неге шашырамайтынын түсіндіру мүмкін болмады, бұны толқындық теория бойынша түсіндіру оңай. Толқындық теория негізінде XIX ғасырдың басында *жарықтың интерференциясы, дифракциясы, дисперсия және жарық поляризациясы* сияқты құбылыстар түсіндірілді.

XIX ғасырдың екінші жартысында Дж.Максвелл электромагниттік толқындар теориясын тұжырымдады. Жарық толқыны жылдамдығының $c = 3 \cdot 10^8$ м/с электромагниттік толқындар жылдамдығымен сәйкес

келуі, жарық толқындары электромагниттік толқындардың дербес жағдайы екенін дәлелдеді. Толқындық теория корпускулалық теориядан басым түскен сияқты көрінгенімен, XX ғасырдың басында ғалымдар шығарылуы және жұтылу кезінде жарық бөлшектер ағыны сияқты болатынын анықтады. *Жарық корпускулалық-толқындық*

дуализмге ие, яғни ол корпускулалық қасиеттерге де, толқындық қасиеттерге де ие.

II Жарық жылдамдығын анықтаудың астрономиялық әдісі

XVII ғасырдың басында теңізде жүзудің қарқынды дамуына байланысты Галилей ашқан Юпитердің серіктері – Ио, Еуропа, Ганимед және Каллистоның шығу және бату периодтылығын нақты хронометр түрінде қолдану идеясы пайда болды. 1672 жылы астроном Джованни Кассини Ионың Юпитер көлеңкесінен шығу периодтылығы ауытқығанын байқады. Сонымен қатар Жер Юпитерден алыстағанда бату мен шығу арасындағы уақыт артып, ал жақындағанда кеміген. 1676 жылы Олаф Ремер осы құбылысты зерттеп, жарықтың таралу жылдамдығы шекті деп болжады. Жер өзінің Күнді айнала қозғалуы кезінде 1-нүктеден 2-нүктеге жылжи отырып Юпитерден алыстағанда (122-сурет), Ионың Юпитер көлеңкесінен шығуы арасындағы уақыт қысқарады, себебі жарыққа алыстап бара жатқан Жерді қуып жету үшін қосымша уақыт қажет. Жер Юпитерге жақындағанда Ионың шығуы арасындағы уақыт қысқарады. Юпитерге ең жақын және ең алыс Жер орбитасының нүктелеріндегі Ионың шығу уақытының айырмасы О.Ремер есептеулері бойынша шамамен 22 минутты құрады. Күн мен Жердің белгілі арақашықтығын қолданып, О.Ремер жарық жылдамдығын есептеп шықты:

$$c = \frac{3 \cdot 10^{11} \text{ м}}{22 \cdot 60 \text{ с}} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

О.Ремер есептеулерінен жарық жылдамдығы Жер бетінде байқалатын басқа процестерге қарағанда өте үлкен мәнге ие екені анықталды.

III Жарық жылдамдығын анықтаудың И.Физо мен А.Майкельсон қолданған зертханалық әдістері

Алғаш рет зертханалық әдіс арқылы жарық жылдамдығын 1849 жылы француз физигі И.Физо анықтады. Жарық көзінен түсірілген сәуле линза арқылы өтіп, жартылай мөлдір айнаға түскен (123-сурет). Айнадан шағылған соң фокусталған жіңішке шоқ жылдам айналатын дискінің тістеріне бағытталған. Тістер арасынан өтіп, жарық сәулесі дөңгелектен 8,633 км қашықтықта орналасқан жазық айнаға жетеді. Айнадан шағылып, бақылаушыға



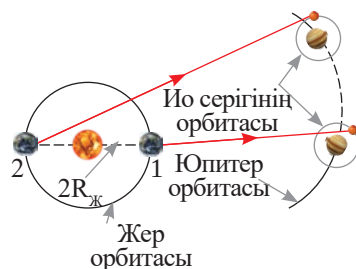
1-тапсырма

Корпускулалық теория негізінде жарықтың шағылу және сыну құбылыстарын түсіндіріңдер. Неліктен корпускулалық теория негізінде жарықтың интерференциясы мен дифракциясы құбылысын түсіндіру мүмкін емес?



2-тапсырма

Күн сәулелері Жер бетіне жететін уақытты анықтаңдар. Қандай уақыт аралығында жарық сәулелері Жер бетін айналып өтеді?



122-сурет. Ионың Юпитер көлеңкесінен шығу аралығының өзгерісі



Жауабы қандай?

1. Неліктен айналмалы дискідегі тістер мен ойықтардың ендері бірдей?
2. Неліктен айналар жоғарырақ орналастырылады?
3. И.Физо және Г.Галилей тәжірибелерінің қандай ұқсастықтары бар?

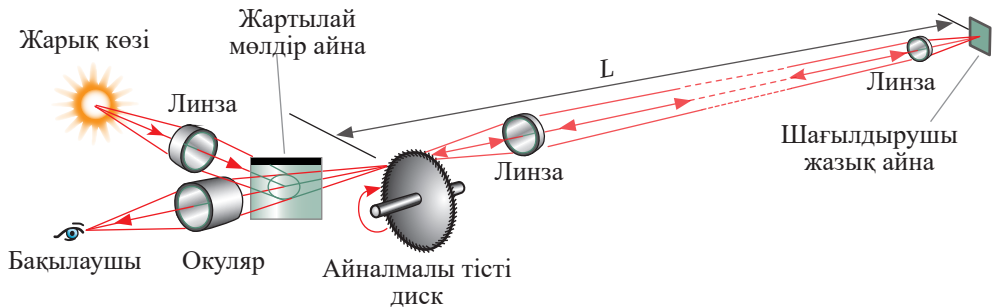
жетпестен бұрын ол тағы да жылдам айналатын дискінің тістері арасынан өтуі қажет еді. Диск баяу айналған кезде, айнадан шағылған жарық көрінеді. Айналу жылдамдығын арттырғанда, ол біртіндеп жоғалып кетеді. Екі тіс арасынан өткен жарық сәулесі айнаға дейін және кері жүріп өткенше диск ойықтарының орнында тістері тұратындай бұрылып үлгереді, онда жарық көрінбейтін болған. Айналу жылдамдығын әрі қарай арттырғанда жарық қайтадан көрінетін болған. Жарықтың айнаға дейін және кері таралуы кезінде диск ойықтары орнында келесі ойықтары тұратындай бұрылатыны белгілі. Осы уақыт аралығының және диск пен айна арасындағы қашықтықтың белгілі мәнінде жарық жылдамдығын анықтауға болады:

$$c = \frac{2L}{t} = \frac{2L}{\varphi/\omega} = \frac{2L \cdot \omega}{2\pi/2n} = \frac{2L \cdot \omega \cdot n}{\pi} = \frac{2L \cdot 2\pi\nu \cdot n}{\pi} = 4\nu nL.$$

Мұндағы L – айна мен айналатын диск арасындағы қашықтық, t – жарықтың $2L$ қашықтықты өтетін уақыт аралығы, ω – дискінің бұрыштық жылдамдығы, n – дискідегі тістер саны, ν – дискінің айналу жиілігі.

Физо мынадай нәтиже алды:

$$c = 4 \cdot 12,67 \text{ с}^{-1} \cdot 720 \cdot 8633 \text{ м} = 315014717 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$



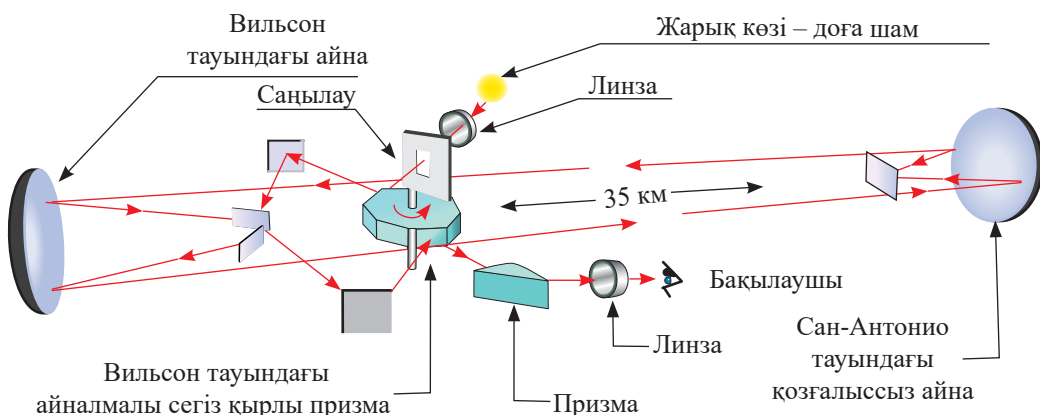
123-сурет. И.Физоның жарық жылдамдығын анықтауға арналған қондырғысы

1924–1927 жылдары америкалық физик Майкельсон жарық сәулесі Вильсон тауының шыңынан шамамен 35 км қашықтықтағы Сан-Антонио тауының шыңына бағытталатын тәжірибенің сұлбасын құрастырды (124-сурет). Диск орнына алты қырлы айналатын айна алынды, оны жоғары жылдамдықты ротор қозғалысқа келтіреді. Ротордың айналу жиілігін өзгерте отырып, бақылаушы окулярда жарық көзінің орнықты кескінін алды. Қондырғылар арасындағы қашықтықты және айнаның айналу жиілігін білу жарық жылдамдығын есептеуге мүмкіндік берді. Майкельсон алған жарық жылдамдығының мәні, сол уақытта ең нақты мән болды: $c = 299796 \pm 4 \text{ км/с}$. Заманауи есептеулер бойынша $\pm 1,2 \text{ м/с}$ дәлдікпен алынған вакуумдағы жарық жылдамдығы 299792458 м/с .



3-тапсырма

1. 124-суретте берілген А.Майкельсон қондырғысын қарастырыңдар. И.Физо қондырғысымен салыстырыңдар. Қолданылған қондырғылардың ұқсастықтары мен айырмашылықтары неде?
2. Майкельсон қондырғысын қолданып, жарықтың жарық көзінен бақылаушыға дейінгі қашықтықты жүріп өткен уақытын қалай анықтауға болады?



124-сурет. Жарықты анықтауға арналған А.Майкельсон қондырғысы

Бақылау сұрақтары

1. Заманауи физикада жарық табиғаты туралы қандай көзқарастар бар? Бұл көзқарастардың авторлары кімдер?
2. Ең алғаш жарық жылдамдығын анықтаған кім? Қандай әдіспен анықтады?
3. Жарық жылдамдығын анықтаудың зертханалық әдісінің астрономиялық әдістен айырмашылығы неде?
4. Зертханалық әдістерде тәжірибе жасаушылар жарықтың жарық көзінен бақылаушыға дейінгі таралу уақытын қалай анықтады?

★ Жаттығу

18

1. 1875 жылы Физо әдісін француз физигі Корню қолданды, ол дискінің айналу жиілігін біршама арттырып, жарықтың 28 рет жоғалып, пайда болуын тіркеді. Егер дөңгелектен айнаға дейінгі арақашықтық 23 000 м, тістердің саны 200, ал жарықтың 28-рет пайда болуы $914,3 \text{ с}^{-1}$ жиілікте байқалған болса, жарық жылдамдығы қандай мәнге ие болған?
2. Жарық көзі бақылаушыға көрінуі үшін Майкельсон тәжірибесінде сегіз қырлы призма қандай минимал жиілікпен айналуы керек? Шағылдырушы айна мен призманың арақашықтығын 35,5 км деп алыңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Жарық жылдамдығын Галилей әдісімен анықтау.
2. Жарық жылдамдығын анықтауға арналған Фуко тәжірибесі.
3. Жарық жылдамдығын анықтаудың заманауи әдістері.

§ 19. Жарықтың дисперсиясы. Жарықтың интерференциясы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- призма арқылы өткен ақ жарықтың жіктелуін түсіндіре аласыңдар;
- механикалық және жарық толқындарының интерференциялық көріністеріне салыстырмалы талдау жүргізе аласыңдар;
- жұқа пленкаға түскен және шағылған жарықтардан пайда болған интерференциялық максимумдар мен минимумдарды бақылау шарттарын анықтай аласыңдар.



125-сурет. Жарық дисперсиясы

I Жарық дисперсиясы

Жарық дисперсиясын бақылауға арналған алғашқы эксперименттерді 1672 жылы И.Ньютон жүргізді. Қараңғыланған бөлменің терезесіндегі кішкентай саңылау арқылы ол Күн сәулесін шыны призмаға бағыттады. Жарық сәулесі үш қырлы призмада екі рет сынып, өзінің бастапқы бағытынан ауытқып, спектрдің жеті негізгі түсіне жіктелді: қызыл, қызғылт, сары, жасыл, көгілдір, көк және күлгін (125-сурет). И.Ньютон түстердің реттілікпен орналасуын *спектр*, ал құбылысты *дисперсия* (лат. «dispergo» – шашырау) деп атады. Түрлі түсті дисперсиялық спектрді бақылап, ол шынының сыну көрсеткіші жарық түсіне тәуелді деп болжады. Ең аз ауыткитын қызыл түсті сәуле, ең көп ауыткитын күлгін түсті сәуле, демек, шыны жиілігі жоғары жарық үшін ең үлкен сыну көрсеткішіне, ал жиілігі төмен жарық үшін ең кіші сыну көрсеткішіне ие.

Дисперсия – заттың сыну көрсеткішінің жарықтың жиілігіне тәуелділігі.

Дисперсия жиіліктері әртүрлі толқындардың бір ортада әртүрлі жылдамдықпен таралуының салдары болып табылады. Жарық толқынының жиілігі қаншалықты көп болса, оның ұзындығы мен ортада таралу жылдамдығы соншалықты аз, сыну көрсеткіші жоғары.



Жауабы қандай?

1. Не себепті вакуумда дисперсия байқалмайды?
2. Неліктен призмадан ең көп ауытқу күлгін түсті сәуледе болады?
3. Неліктен адамдар мен жануарлар қоршаған заттарды түрлі түсті гаммада көреді?



Естеріңе түсіріңдер!

Сыну көрсеткіші берілген ортада электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы неше есе кемітінін көрсетеді: $n = \frac{c}{v}$.

II Күрделі және алғашқы жарық. Қосымша түс

Бақыланған спектрде 7 түрлі түс ажыратылады. Ал шын мәнісінде, ақ түс негізгі үш түстен: қызыл, жасыл және көк түстен тұрады. Бұл түстерді *алғашқы* деп атайды, себебі олар басқа түстердің үйлесімдері арқылы алынбайды. Алғашқы түстер жарықтарының қоспасынан тұратын жарықты *күрделі* деп атайды.

Түрлі түсті спектрдің басқа түстері бірнеше түстердің қосылуы болып табылады. Жасыл мен қызыл сарыны, жасыл мен көк көгілдірді, көк пен қызыл күлгін түсті береді (126-сурет). Теледидарда мүмкін болатын барлық түстерді алу үшін негізгі үш түсті қолданады.

Қосымша түстер – қабаттасу кезінде ақ түсті беретін сәулелену түстері.

Қосымша түстерге сары мен көк, көгілдір мен қызыл, күлгін мен жасыл жатады.

III Денелердің түстері

Бізді қоршаған денелердің түстері жарықтың шағылуы арқылы анықталады. Егер дене, мысалы, қағаз парақ оған түсетін барлық жарықтарды шағылдырса, ол ақ түсті болып көрінеді. Қағазды қызыл түсті бояумен боясақ, біз жаңа түс алмаймыз, қағаз бетінде қандай да бір жиілік диапазонындағы шағылдырғыш сәулелерін ұстап тұрамыз. Берілген жағдайда тек қызыл сәулелер шағылады, қалғандары бояу қабатына жұтылады. Өсімдіктер мен ағаштардың жапырақтары барлық түсетін күн сәулелерінен тек жасылды шағылдырып, қалғандарын жұтатын болғандықтан, жасыл болып көрінеді. Егер өсімдікке тек қызыл сәулелерді өткізетін қызыл шыны арқылы қарасақ, ол қара түсті болып көрінеді.

Түссіз заттардың түстерін шағылған сәулелер, түсті заттардың түсін шағылатын және сынатын сәулелер анықтайды.



126-сурет. Алғашқы түстерді (қызыл, жасыл, көк) қабаттастырғанда жаңа түстердің пайда болуы



Жауабы қандай?

Егер қызыл шаршы бейнеленген ақ қағазға көк шыны арқылы қарасақ, шаршы қандай түсті болып көрінеді? Қызыл шыныдан қарасақ ше?



Маңызды ақпарат

Жарықтандыруға арналған жарық көздері когерентті толқындарды шығармайды, оларда жиілігі мен фазалар айырымы әртүрлі толқындар болады. Жарық көзі 400 нм-ден 750 нм-ге дейінгі диапазонында жиіліктері $4 \cdot 10^{14}$ Гц пен $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц аралығында көрінетін сәулелер шығарады. Атомның сәулеленуі толқынның «бөлігін» береді, ол *цуг* деп аталады.

Атомның қозған күйден қозбаған күйге өтуі шамамен 10 нс өте аз уақыт аралығында орындалады, демек, *цуг*тың ұзындығы шамамен

$l = ct \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3 \text{ м-ге жетеді, ал цугтар арасындағы фазалар еркін мәнге ие болады.}$

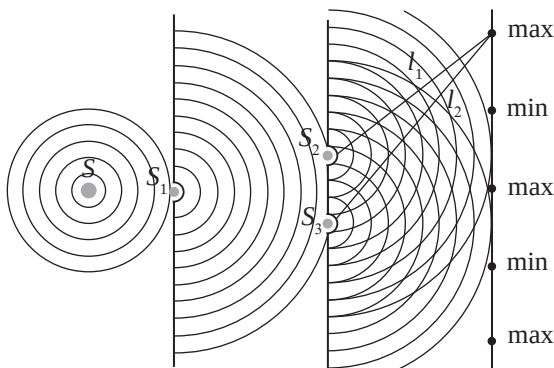


Жауабы қандай?

Неліктен ғимаратта екінші жарық көзін қосқанда жарықтандырудың максимумы мен минимумы байқалмайды, жарқырау тұтас кеңістікте күшейеді?

IV Жарық толқындарының интерференциясын бақылауға арналған Т.Юнг тәжірибесі

Ағылшын физигі Т.Юнг 1802 жылы толқын шебін бөлу әдісімен бір монохроматты көзден шығарылатын жарық интерференциясын анықтады, ол бір және екі орташа саңылауы бар екі кедергіні қолданды (127-сурет). Т. Юнг экранда ашық және қою жолақтардың қатарласуын бақылады, олар сәулелердің таралу жолдарының айырымымен анықталды. Экранның берілген нүктесіне екі жарық та фазалары бірдей тербелістермен жеткен жағдайда жарық күшейеді. Бұл кезде бір толқынның жотасы екінші толқынның жотасымен қабаттасады.



Жауабы қандай?

Неліктен Т.Юнг толқын шебін бөлген кезде когерентті сәулелер алды?

127-сурет. Жарық толқындарының интерференциясын бақылауға арналған Т.Юнг тәжірибесі

V Жарықтың максимум және минимум шарты

Екі саңылаудан пайда болған кума толқынның теңдеуін жазамыз:

$$E_1 = E_{\max 1} \sin \omega \left(t - \frac{l_1}{c} \right), \quad E_2 = E_{\max 2} \sin \omega \left(t - \frac{l_2}{c} \right).$$

Түсу нүктесінде сәулелердің тербеліс фазаларының айырымы мынаған тең:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \omega \left(t - \frac{l_1}{c} - t + \frac{l_2}{c} \right) = \frac{2\pi(l_2 - l_1)}{Tc} = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda}.$$

Егер фазалар айырымы синусоиданың циклділігіне, яғни 2π -ге бөлінетін болса, тербелістер бірдей фазада жүреді:

$$\frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = 2\pi k,$$

бұдан

$$\Delta l = k\lambda, \quad (1)$$

мұндағы $\Delta l = l_2 - l_1$ толқындардың таралу жолдарының айырымы, λ – толқын ұзындығы, $k = 0, 1, 2, 3 \dots$

Жарықтың максимум шарты біртекті ортада когерентті сәулелердің таралу жолдарының айырымы толқын ұзындығының бүтін санына қалдықсыз бөлінген жағдайда бақыланады.

Егер тербелістер қарсы фазада жүретін болса, бір толқынның жотасы екінші толқынның ойысымен қабаттасады. Мұндай тербелістердің фазалар



1-тапсырма

Механикалық және жарық толқындары үшін максимум және минимум шарттарын салыстырыңдар. Механикалық және жарық толқындарын қабаттастыру нәтижесінде алынған интерференциялық көріністердің ұқсастықтары мен айырмашылықтары неде?

айырымы π . Синусоиданың периодтылығын ескерсек, $\frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = (2k + 1)\pi$, толқындардың таралу жолдарының айырымы үшін төмендегі теңдікті жазамыз:

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

Жарықтың минимум шарты біртекті ортада когерентті сәулелердің таралу жолдарының айырымы жарты толқын ұзындығының тақ санына қалдықсыз бөлінген жағдайда бақыланады.

VI Жұқа пленкадағы интерференцияның максимум шарты

Жұқа пленкалардың әртүрлі түстері – пленканың екі бетінен шағылған немесе сынған сәулелердің қабаттасуының нәтижесі (128–129-суреттер). Пленканың түсі максимум шартымен анықталады. Егер 1- және 2-монохроматты көздердің сәулелерінің таралу жолдарының айырымы толқын ұзындығының бүтін санына бөлінетін болса, онда пленка жарық көзінің түсіне боялады. Егер сәулелердің таралу жолдарының айырымы жарты толқындардың ұзындықтарының тақ санына тең болса, пленка қоюлана түседі. Толқындардың таралу жолдарының айырымы $OB + BC$ (128–129-суреттер) пленканың қалыңдығына және сәуленің сыну бұрышына тәуелді:

$$\Delta l = \frac{2d}{\cos \gamma}. \quad (3)$$

Оптикалық таралу айырмашылығы сәулелердің таралу жолдарының айырымынан n есе артық:

$$\Delta l_n = \frac{2d}{\cos \gamma} \cdot n. \quad (4)$$

Зерттеулер жарық оптикалық тығыз ортадан шағылғанда толқын фазасы π -ға өзгертетінін көрсетті. Сондықтан шағылған жарықта 1- және 2-сәулелердің оптикалық таралу жолының айырмашылығы

$\frac{\lambda}{2}$ -ге азаяды (128-сурет), демек, шағылған сәулелердегі максимум шарты мына түрге келеді:

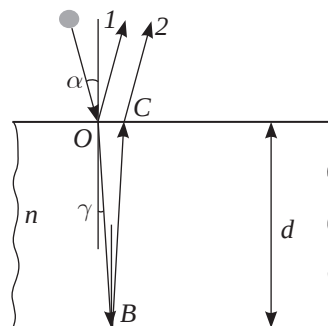


2-тапсырма

1. Шағылған және өтетін жарықтардағы жұқа пленкадағы интерференцияның максимум және минимум шарттарын жазыңдар.
2. Жарықтың интерференциясына мысал келтіріңдер.



Томас Юнг (1773–1829) – ағылшын физигі, механик, дәрігер, астроном және шығыстанушы, жарық теориясын құрастырушылардың бірі. Ол жарық толқынының ұзындығын анықтауға арналған тәжірибелерді бірінші болып сипаттады. Жарық толқындарының көлденеңдігі туралы гипотеза жасады, түрлі түсті көру теориясын құрастырды.



128-сурет. Жұқа пленкадағы шағылған жарықтың интерференциясы

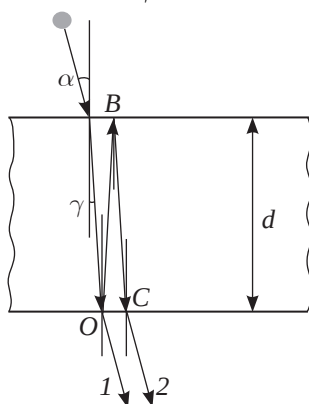
$$\Delta l - \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}. \quad (5)$$

(4) формуланы (5)-ке қойсақ, *шағылған жарық үшін максимум шартын* аламыз:

$$\frac{2dn}{\cos \gamma} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (6)$$

Өтетін сәуледе 2-сәуле тығыздығы аз ортадан шағылады (129-сурет), демек, максимум шарты біртекті ортада таралатын толқындардағыдай болады:

$$\frac{2dn}{\cos \gamma} = k\lambda. \quad (7)$$



129-сурет. Өтетін жарықтың жұқа пленкадағы интерференциясы



Жауабы қандай?

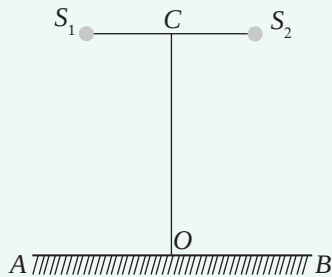
1. Неліктен жұқа пленка оған түсетін жарық сәулесінің түсу бұрышының өзгеруі кезінде кемпірқосақтың барлық түстеріне боялады?
2. Ақ түспен жарықтандырғанда шалшықтағы бензин, инелік қанаты, сабын көпіршіктері неліктен әртүрлі түстерге боялады?
3. Жұқа пленкада неліктен шағылған және өтетін жарықтардағы максимум және минимум шарттары әртүрлі болады?

Бақылау сұрақтары

1. Қандай құбылысты дисперсия деп атайды?
2. Ақ фонда қызыл бояумен жазылған жазу қандай түсті шынымен қарағанда оқылмайды?
3. Көк аспан, көк шыны, көк қағаз парағы түстерінің табиғатын түсіндіріңдер.
4. Жарықтың интерференциясы деген не? Ол қалай байқалады?
5. Қандай шарттар орындалғанда жарықтың минимум мен максимум шарты бақыланады?
6. «Сәулелердің таралу жолдарының айырымы» және «сәулелердің оптикалық таралу айырмашылығы» ұғымдарының айырмашылығы неде?



1. Тәжірибе жүзінде судың сыну көрсеткіші көрінетін спектрдің шеткі қызыл сәулелері үшін 1,329, ал шеткі күлгін сәулелері үшін 1,344 екені анықталды. Қызыл және күлгін сәулелердің суда таралу жылдамдығын анықтаңдар. Қайсысының жылдамдығы артық және қаншаға?
- 2*. S_1 және S_2 екі когерентті жарық көздері (130-сурет) ұзындығы 600 нм монохроматты жарық толқынын шығарады. Егер $OC = 4$ м және $S_1S_2 = 1$ мм болса, жарқыраудың бірінші максимумы O нүктесінен қандай қашықтықта бақыланатынын анықтаңдар.



130-сурет. 19-жаттығудың 2-есепіне

3. Ұзындығы 590 нм жарық толқынымен жарықтандырғанда сыну көрсеткіші 1,54 материалдан жасалған пластина шағылған жарықта а) қызыл; ә) кара болып көрінуі үшін қандай қалыңдықта болуы керек? Жарық пластина бетіне перпендикуляр түседі.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар:

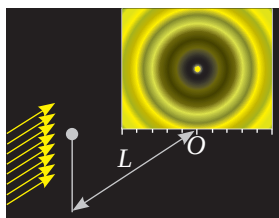
1. Кемпірқосақ туралы (кемпірқосақтың пайда болуы, неліктен ол доға тәріздес, қандай жағдайларда екі кемпірқосақ пайда болады?).
2. Интерферометр дегеніміз не және ол қайда қолданылады?

§ 20. Жарықтың дифракциясы. Дифракциялық тор

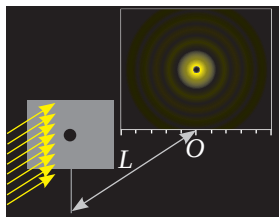
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

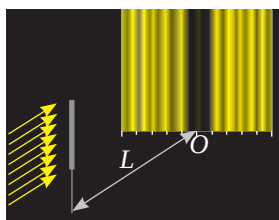
- Френель теориясын қолданып, қылдан, саңылаулардан, дөңгелек саңылаудан пайда болған дифракциялық көріністерді түсіндіре аласыңдар.



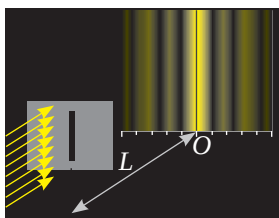
а) шар



ә) дөңгелек саңылау



б) жіңішке өзек

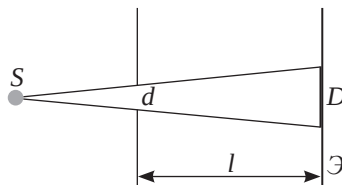


в) саңылау

132-сурет. Жарықтың максимумы мен минимумының экранда таралуы

I Жарық дифракциясы

Геометриялық оптикаға сәйкес жарық сәулелерінің диаметрі d саңылаудан өтуі нәтижесінде экранда диаметрі D (131-сурет) ашық түсті дақ пайда болады.



131-сурет. Дөңгелек саңылауды жарықтандыру кезінде экранда ашық түсті дақтың пайда болуы

Саңылаудың d диаметрін кемітіп, экранға дейінгі l қашықтықты арттырсақ, кескін өзгереді. Ол ортасында ашық түсті де, қою түсті де дақ болуы мүмкін кезекпен орналасқан ашық және қою түсті сақиналарды береді. Өлшемдері кішкентай денелерді жарықтандырғанда да осындай кескін бақыланады.

Жарық дифракциясы – жарықтың өлшемдері кішкентай денелерді орағытып өтіп, оның геометриялық көлеңке аймағына өтуі.

Жарық дифракциясының екі түрі бар: түйісетін сәулелердегі Френель дифракциясы және параллель сәулелердегі Фраунгофер дифракциясы (132, а, ә-суреттер).



Өз тәжірибең

1. Өлшемдері кішкентай саңылаулары бар денелерді экраннан бірнеше метр қашықтыққа орналастырып (132-сурет), оларда:
 - шардан және дөңгелек саңылаудан ашық және қою түсті сақиналар (132, а, ә-суреттер);
 - жіңішке өзек және саңылаудан ашық және қою түсті жолақтар (132, б, в-суреттер) алыңдар. Монохроматты жарық көзін қолданыңдар.
2. Кедергі мен экранның арақашықтығын өзгертіп, шар (өзек) көлеңкесінің центріне ақ дақтың, саңылаудан алынған ашық түсті дақтың ортасында қою түсті дақтың пайда болатынын бақылаңдар.

II Дифракциялық көріністі Френель аумағы негізінде түсіндіру

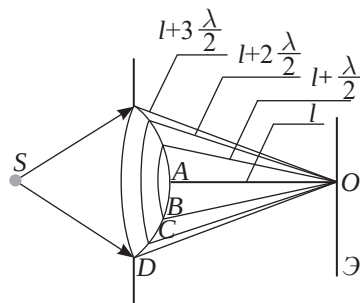
Жарықтың дөңгелек саңылау арқылы өтуін қарастырайық және экрандағы дақтың центрлік бөлігіндегі жарқыраудың максимум және минимум шарттарын анықтайық. Кішкентай саңылаудағы толқындық бет Гюйгенс – Френель принципіне сәйкес сфераның бір бөлігін береді. Оны аймақтарға бөлейік, оның шетінен әрбір келесі BO, CO, DO аумақтарына дейінгі қашықтық (133-сурет) алдыңғысынан $\frac{\lambda}{2}$ -ге артық болсын:

$$BO = AO + \frac{\lambda}{2}; \quad CO = BO + \frac{\lambda}{2}; \quad DO = CO + \frac{\lambda}{2}.$$

Берілген аумақтардағы толқынның таралу жолдарының айырымы $\frac{\lambda}{2}$ -ге тең болғандықтан, олардың

жалпы саны тақ болғанда экрандағы O нүктесінде жарық әлсірейді.

Екі көрші аумақтың толқындары O нүктесінде фазалары қарама-қарсы тербелістер тудырады, нәтижесінде экрандағы кескіннің центрінде ақ және қою түсті сақиналармен қоршалған қою түсті дақ пайда болады. Егер толқындық бетте аумақтардың тақ саны орналасса, онда экрандағы кескіннің центрі ашық түсті болады.



133-сурет. Френель аймақтары



Бұл қызық!

Дөңгелек диск көлеңкесіндегі кезекпен орналасқан сақиналарды ең алғаш рет италиялық ғалым Франческо Гримальди бақылады және «Жарық, түстер және кемпірқосақ туралы физика-математикалық трактатында» сипаттады. Ф.Гримальди жарық толқындарының судағы толқындарға ұқсас кедергілерді орағытып өтуін дифракция (лат. «*diffRACTUS*» – орағытып өту) деп атады.

III Фраунгофердің бір саңылау дифракциясы

Неміс физигі И.Фраунгофер жарықтың параллель сәулелердегі дифракциясын қарастырды. Дифракцияның мұндай түрін алу үшін S нүктелік жарық көзін жинағыш линзаның фокусында орналастыру керек, ал дифракциялық көріністі кедергінің артында орналасқан екінші жинағыш линзаның фокалдік жазықтығында зерттейміз (134-сурет).

Монохроматты толқын ені b шексіз ұзын жіңішке саңылаудың жазықтығына перпендикуляр түссін. Шеткі сәулелердің түзу бағыттан φ бұрышқа ауытқыған таралу жолдарының айырымы мынаған тең:

$$\Delta l = b \cdot \sin \varphi. \quad (1)$$

MN саңылау аумағындағы толқындық бетті Френель аумақтарына бөлейік. Олар MN саңылау шетіне параллель жолақ түрінде болады, себебі параллель сәулелер үшін толқын шебі жазықтық болып табылады. Әрбір жолақтың ені сәулелердің таралу жолдарының айырымы осы аумақтардың шекарасында $\lambda/2$ -ге тең болатындай таңдалады, онда саңылау аумағына $\frac{\Delta l}{\lambda/2} = \frac{2\Delta l}{\lambda}$ аумақ сыяды.

Егер Френель аумақтарының саны жұп болса:
 $\frac{2\Delta l}{\lambda} = \pm 2k$ (2), онда F' нүктесінде дифракциялық минимум байқалады. Минимум шартын жазайық:

$$b \cdot \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (3)$$

мұндағы $k = 1, 2, 3, \dots$.

Егер Френель аумақтарының саны тақ болса:

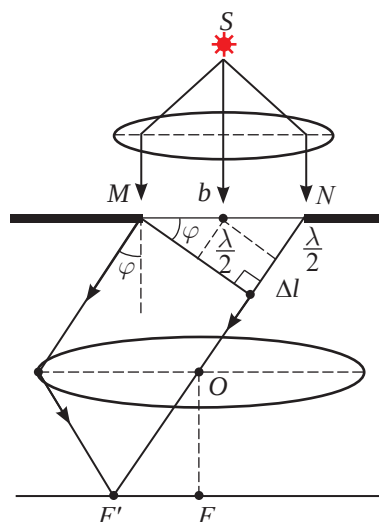
$$\frac{2\Delta l}{\lambda} = \pm (2k + 1), \quad (4)$$

онда F' нүктесінде дифракциялық максимум байқалады. Бір саңылау дифракциясы үшін максимум шарты:

$$b \cdot \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (5)$$

мұндағы $k = 1, 2, 3, \dots$.

$\varphi = 0, \Delta l = 0$ болғанда саңылауда бір Френель аумағы болады, демек, F нүктесінде нөлдік деңгейдің басты және центрлік максимумы бақыланады. Жарық энергиясының басым бөлігі басты максимумда жинақталған.



134-сурет. Фраунгофердің бір саңылау дифракциясы

IV Дифракциялық тор

Дифракциялық тордың жұмыс істеу принципі Фраунгофер дифракциясына негізделген. Бірөлшемді дифракциялық тор ендері бірдей және бір-біріне параллель орналасқан және ендері бірдей түссіз аралықтармен бөлінген экрандағы саңылаулардың N санынан тұратын жүйені береді (135, а-сурет).

Арнайы белгіш машина шыны пластинада бір-бірінен бірдей қашықтықтарда орналасқан түссіз параллель штрихтар салады, олардың 1 мм-дегі саны, шамамен, 3600-ге жетеді.

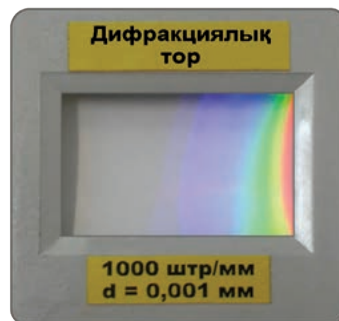
Аспаптың сапасын a түссіз саңылау ені мен жағылған штрихтардың b енінің қосындысына тең d тордың тұрақтысы анықтайды:

$$d = a + b. \quad (6)$$

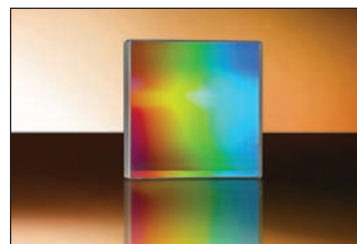
Шыны пластина енінің L және жағылған жолақтар санының мәні N белгілі болғанда дифракциялық тор тұрақтысын немесе периодын мына формула бойынша анықтайды:

$$d = \frac{L}{N}. \quad (7)$$

Шағылдырушы дифракциялық торларда жолақтар металл пластинаға жылтыратылған кескіштермен жағылады (135, ә-сурет).



а) түссіз дифракциялық тор



ә) шағылдырушы дифракциялық тор

135-сурет.

Дифракциялық тор – түссіз аралықтармен бөлінген жіңішке саңылаулардың жиынтығы.

V Дифракциялық тор үшін минимум шарты

Дифракциялық торда барлық саңылаулардан өтетін параллель когерентті жарық шоғының көпсәулелі интерференциясы орындалады.

Дифракциялық тор арқылы тесіп өтетін жарықтағы сәулелердің таралу жолын қарастырайық. Торға жазық монохроматты сәуле түссін (136, *а-сурет*). Гюйгенс принципіне сәйкес екінші ретті жарық көздері саңылауларда сфералық толқындық беттер тудырады, олар кедергілерді орағытып өтеді және барлық бағыттарда таралады. Егер тордың артына L жинағыш линзаны қойсақ, онда саңылаулардан өтетін барлық параллель сәулелер линзаның фокалдік жазықтығында бір жолаққа жинақталады.

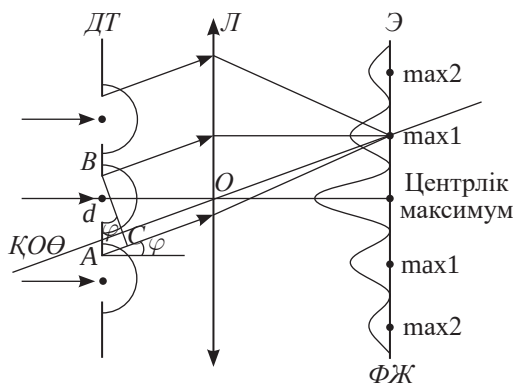
ΔABC үшбұрышынан көршілес саңылаулардан өтетін сәулелердің таралу жолдарының айырымын анықтаймыз (136, *ә-сурет*):

$$\Delta l = d \sin \varphi, \quad (8)$$

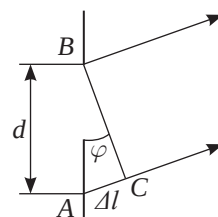
мұндағы φ – жарық сәулелерінің тор жазықтығына түсірілген перпендикулярдан ауытқуы. Егер сәулелердің таралу жолдарының айырымы толқын ұзындығының бүтін санына бөлінсе, онда экранда жарықтандыру максимумы байқалады, мына қатынас орындалады:

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (9)$$

мұндағы k – дифракциялық максимум реті.



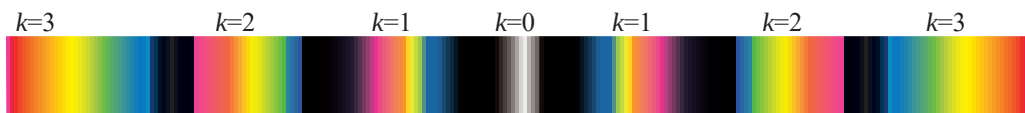
а) дифракциялық тор арқылы өтетін сәулелердің таралу жолдары



ә) сәулелердің таралу жолдарының айырымы

136-сурет.

Алынған теңдеуден әртүрлі толқын ұзындықтары үшін максимум шарты дифракция бұрышының белгілі бір мәнінде орындалатыны шығады. Толқын ұзындығы қаншалықты ұзын болса, ауытқу бұрышы да соншалықты үлкен (137-сурет). Дифракциялық торды ақ жарықпен жарықтандырғанда жарықтандыру максимумдары экранда күлгіннен бастап қызылға дейінгі түрлі түстерге боялады, центрлік максимум ақ болып қалады. Жарықтың қарқындылығы спектр реті артқан сайын төмендейді.



137-сурет. Дифракциялық торды ақ жарықпен жарықпен жарықтандырғандағы дифракциялық спектр



Жауабы қандай?

1. Егер тор тұрақтысын өзгертпей, оның жолақтарының санын арттырса, дифракциялық көрініс қалай өзгереді?
2. Дифракциялық тор спектрінің ең үлкен реті қалай анықталады?
3. Тордан экранды алып тастағанда дифракциялық көрініс қалай өзгереді?

Бақылау сұрақтары

1. Жарық дифракциясы деп нені атайды? Ол қандай шарттар орындалғанда бақыланады?
2. Кішкене дөңгелек саңылауды жарықтандырғанда ретпен орналасқан ашық және қою түсті сақиналардың пайда болуын Френель қалай түсіндірді?
3. Неліктен үлкен саңылаулар мен дискілерде жарық дифракциясы байқалмайды?
4. Френель дифракциясы мен Фраунгофер дифракциясының айырмашылығы неде?
5. Бір саңылаудың дифракциясының максимум және минимум шарттарын атаңдар.
6. Дифракциялық тор дегеніміз не? Оның максимум шартын көрсетіңдер.



Жаттығу

20

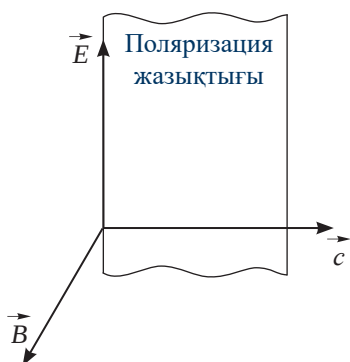
1. Тұрақтысы 0,004 мм дифракциялық тор толқын ұзындығы 687 нм жарықпен жарықтандырылады. Екінші ретті спектрді көру үшін торға бақылауды қандай бұрышпен жүргізу керек?
2. Экранға параллель дифракциялық тор одан 0,7 м қашықтықта орналасқан. Осы дифракциялық тор үшін 1 мм-дегі штрихтар санын анықтаңдар. Толқын ұзындығы 430 нм жарық шоғының қалыпты түсуі кезінде бірінші ретті дифракциялық максимум центрлік жолақтан 3 см қашықтықта орналасады. $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$ деп алыңдар.
3. Төртінші ретті максимумға сәйкес келетін сызығы толқын ұзындығы $\lambda_2 = 440$ нм жарық үшін бесінші ретті максимум сызығына сәйкес келетін жарық торына қалыпты түсетін λ_1 толқын ұзындығын анықтаңдар.
4. Егер дифракциялық тор тұрақтысы 2 мкм болса, толқын ұзындығы 589 нм сары түсті жарық спектрінің ең үлкен ретін k анықтаңдар.
- 5*. Периоды $d = 0,01$ мм дифракциялық тор көмегімен алынған бірінші ретті спектрдің ені неге тең? Толқын ұзындықтарының диапазоны 0,38 мкм-ден 0,76 мкм аралығында. Дифракциялық тордан экранға дейінгі қашықтық $L = 0,5$ м.

§ 21. Жарықтың поляризациясы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жарықтың поляризациясы құбылысын талдай отырып, эксперимент арқылы жарықтың электромагниттік табиғатын дәлелдей аласыңдар.



138-сурет. Электромагниттік толқынның поляризация жазықтығы

I Электромагниттік толқындардың көлденеңдігі. Толқындардың поляризациясы

Таратқыш антеннада зарядтардың тербелісі антенна бойымен орындалады, сондықтан электромагниттік толқында кернеулік векторы антенна орналасқан жазықтықта жатады. Қабылдағыш антеннада еріксіз электромагниттік тербелістерді электр өрісі толқынының әсерінен болатын еркін электрондар жасайды. Бұл электромагниттік толқынның көлденеңдігіне де, поляризациясына да мысал бола алады.

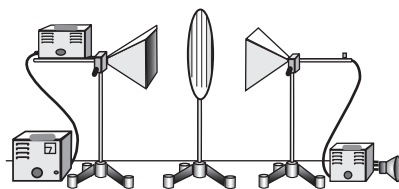
Электромагниттік толқынның кернеулік векторы және оның таралу бағыты арқылы өтетін жазықтық поляризация жазықтығы деп аталады (138-сурет).

Жазық поляризацияланған толқын – кернеулік векторы тек бір жазықтықта тербелетін электромагниттік толқын.

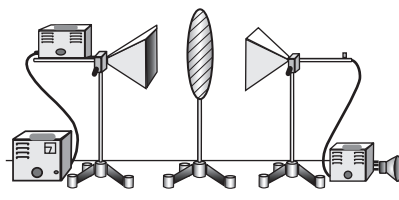


Өз тәжірибең

Электромагниттік толқындардың қасиеттерін бақылау үшін қондырғы жинаңдар. Рупорлы антенналар арасына металл торды орналастырыңдар (139-сурет). Тор өзектері мен вертикал арасындағы көлбеулік бұрышының артуы дыбыс сигналының қарқындылығына қалай әсер етеді? Металл торды қолданбай, электромагниттік толқындардың көлденеңдігіне қалай көзжеткізуге болады?



Сигнал қабылданбайды



Сигнал қабылданады

139-сурет. Электромагниттік толқындардың поляризациясын бақылау



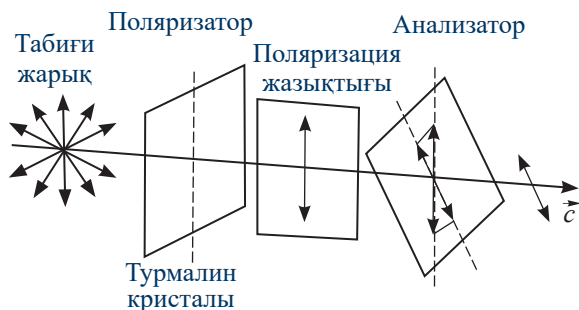
Естеріңе түсіріңдер!

Электромагниттік толқынды қабылдау үшін антеннаны таратқыш антеннаға параллель орналастыру керек. Қабылдағыш антеннаның горизонталь өс бойымен 90° -қа бұрылуы кезінде сигналдың қабылдануы тоқтайды.

II Жарықтың поляризациясы

Поляризация құбылысы ең алғаш жарық сәулелері шоғының турмалин пластинадан өтуі барысында байқалды.

Турмалин – қатты білінетін біресті анизотропиялы қызыл, көк, немесе жасыл түсті мөлдір кристалл. Жүргізілген тәжірибелерде пластинаның қырлары осы өске параллель. Жарықтың таралу бағытына перпендикуляр жазықтықта бір пластинаның айналуы оның қарқындылығына әсер етпейді (140-сурет). Осы жазықтықта екі турмалин пластинасы бір-біріне қатысты айналғанда жарық шоғының қарқындылығы төмендейді, пластина өстері перпендикуляр орналасқан сәтте жарық толығымен сөнеді. Қарапайым қалыңдығы шамамен 1 мм турмалин пластинасы жарық сәулесін толығымен жұтады.



140-сурет. Жарықтың поляризациясы



Есте сақтаңдар!

Т.Юнг және О.Френель ұзақ уақыт бойы жарық толқындарын бізді қоршаған кеңістікте және денелерден өтетін серпімді эфирде таралатын дыбыс толқындары сияқты бойлық толқындар деп санады.

Поляризация құбылысын жарықты көлденең толқын деп алып, түсіндіруге болады.

Табиғи жарықтың кристалл арқылы өтуі кезінде тербелістің барлық бағыттарының ішінде кристалл өсіне параллель поляризация орындалатын біреуі ғана ерекшеленеді. Бұл жағдайда турмалин кристаллын *поляризатор* деп атайды.

Егер екінші пластина арқылы өту кезінде тербеліс кристалл өсі бойымен орындалатын болса, онда поляризацияланған жарық тербелісінің амплитудасы мен қарқындылығы өзгермейді. Екінші пластина бірінші пластинаға қатысты α бұрышқа бұрылғанда кернеуліктің тербеліс амплитудасы мына мәнге дейін төмендейді:

$$E = E_{\max} \cos \alpha.$$

$\alpha = 90^\circ$ бұрышқа бұрылған кезде жарық толқынының кернеулігі нөлге тең болады: $E = 0$, мұндай поляризатор мен анализаторды *айқастырылған* деп атайды. Турмалинның екінші пластинасы табиғи жарықтан поляризацияланған жарық алуға мүмкіндік береді, сондықтан оны *анализатор* деп атайды.

Турмалинмен жүргізілген тәжірибе *жарық толқыны көлденең екенін және қарқындылығы турмалин пластинасының айналуына тәуелді болмайтындықтан, таралу бағытына қатысты симметриялы екенін көрсетті.*

III Поляризаторлар мен поляроидтар

Поляризатор – толығымен немесе жартылай поляризацияланған жарық алуға арналған құрылғы. Поляризация қасиеттері бағытқа бағдарланған ұзын молекулалары бар полимерлі пленкалар, оптикалық анизотропиялыққа ие турмалин, кварц

және шпат кристалдарынан жасалған призмалар мен пластиналарда болады. *Ылғал мен механикалық бұзылулардан қорғау үшін екі мөлдір пластина арасына жапсырылған жұқа поляризацияланған пленканы поляроид деп атайды.*

Жарықтың поляризациясы құбылысы кең практикалық қолданысқа ие. Поляроид әртүрлі мақсаттарда суретке түсу кезінде дақтарды тазарту үшін, 3D кескін алу үшін, сұйықкристалды экран жасау үшін, көлік жүргізушілеріне басқа көлік шамдарының жарығының әсерін жою үшін қолданылады. Поляризация құбылысын қолданып, жарық сәулелерінің қарқындылығын баяу реттеуге болады. Екі поляризатор жарықтандыру қарқындылығын баяу түрде 100 000 есе өзгертуге мүмкіндік береді.

IV Поляризаторлардың қолданылуы

Поляризацияланған жарықты тегіс беттерден шағылған жарықты сөндіру үшін қолданады. *Поляроидты күн көзілдіріктері* осы принципке негізделген. Поляризацияланбаған табиғи жарық су қоймасының бетіне түскенде, оның жартысы айналық беттен шағылады және поляризацияланады. Егер суға поляризатор арқылы қарасак, онда айналық шағылған жарықтың басым бөлігі жұтылады да, суасты нысандарының көрінуі біршама артады.

Осы принципті фототүсірілім кезінде қолданады. Фото және видеотүсірілім кезінде поляризацияланған сүзгілер (141-сурет) дақтар мен металдардан басқа шағылдырушы беттерден шағылуларды жояды. Күн ашық болғанда ол аспанды «бұлттандыра» алады (142-сурет).

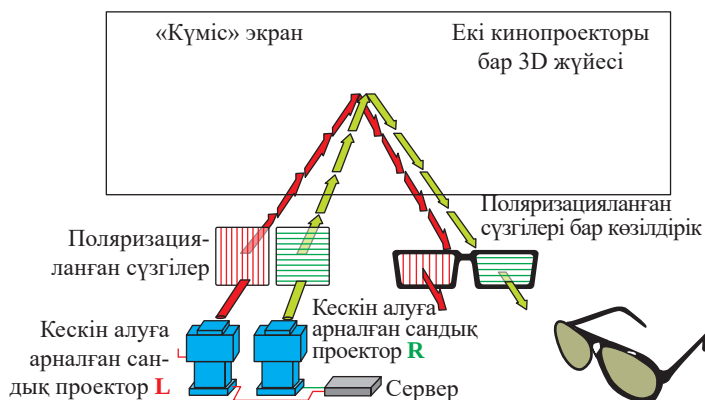


141-сурет. Фото және видеотүсірілімдерге арналған поляризацияланған сүзгілер



142-сурет. Табиғаттың поляризаторсыз және поляризатормен түсірілген фотосуреті

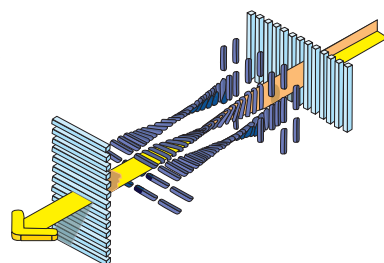
Поляризацияланған көзілдіріктерді көлемділік иллюзиясын беретін 3D стереокинода қолданады. Иллюзия негізінде оң және сол көздердің көру бұрыштарына сәйкес келетін әртүрлі бұрыштармен түсірілген екі сурет – стереожұптар жатыр. Оларды әр көз өзіне арналған суретті ғана көретіндей қарастырады. Сол көзге арналған суретті вертикаль өткізгіш өсі бар поляроид арқылы экранға проекцияланады, ал оң көз үшін сурет горизонталь өткізгіш өсі бар поляроид арқылы экранға проекциялайды да, оларды экранда біріктіреді (143-сурет). *Стереоскопиялық теледидар* үшін экрандағы бейнелер ауысқанда синхрондалған көзілдірік әйнектерінің жылдам қараңғылануы әдісі қолданылады. Көру инерциясы әсерінен көлемді бейне пайда болады, заттар экран мен көрерменнің бір-біріне қатысты орналасуына байланысты көрермен және экран арасында орналасады. Көзілдіріксіз мұндай бейнелер бұлдыр болып көрінеді.



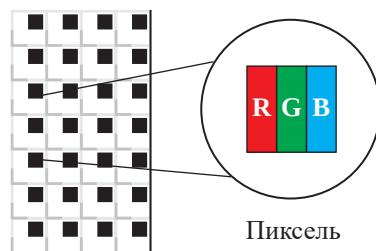
143-сурет. Поляризацияланған сүзгілерді қолданып, 3D көрініс құру принципі

Сұйықкристалды экранда екі поляризаторды олардың арасынан жарық өтетіндей өзара перпендикуляр орналастырады. Поляризаторлар арасына сұйық кристалл орналастырылады (144-сурет). Сұйық кристалдағы молекулалар кристалдық тормен бекітілмеген және электр өрісінің әсерінен айнала алады. Оған қоса, кристалл молекулалары нақты құрылымға біріккен, олар қабаттар түрінде орналасады, әр қабат алдыңғы қабатқа қатысты бұралады. Молекулалардың бұралған қабаттары тесіп өтетін жарық поляризациясының бағытын өзгертеді. Сұйықкристалды дисплейлерде 90° -қа бұралған құрылымды қолданады. Молекулалар жарық поляризациясы бағытын 90° -қа өзгертеді, ол толығымен екінші поляризацияланған сүзгі арқылы өтеді. Поляризаторлардың екі жағында орналасқан электродтарға берілетін кернеу әсерінен сұйық кристалдардағы молекулалардың орналасуы өзгереді. Поляризацияланған жарық үштүсті ұяшық – пиксельден тұратын жарық сүзгіге түседі (145-сурет). Кернеуге тәуелділігіне қарай әр түс жекелей өзінің мөлдірлігін өзгерте алады, көк, қызыл және жасыл түстердің үйлесімінен экранда түрлі түсті көрініс алынады.

1-тапсырма
143-суретті қараңдар. Екі кинопроекторы бар 3D жүйесінің жұмыс принципін түсіндіріңдер.



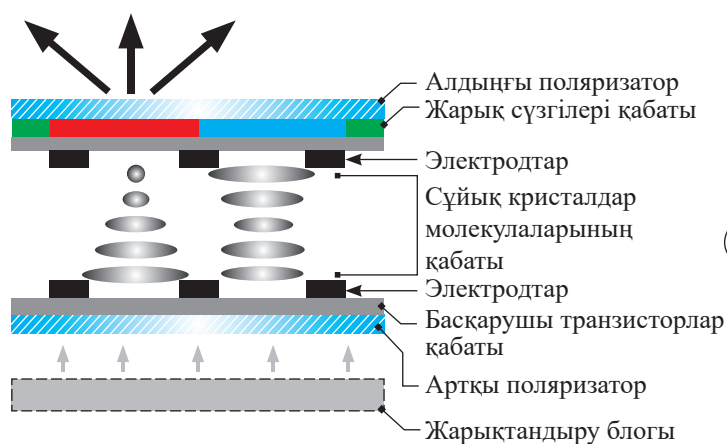
144-сурет. Екі поляризатор арасындағы сұйық кристалл молекулалары



145-сурет. Жарық сүзгісінің құрылымы

? Жауабы қандай?

1. Көлемді көрініс алу көздің қандай қасиеттеріне негізделген?
2. Неліктен көзілдіріксіз экрандағы көрініс бұлдырап көрінеді?
3. 2D режимінде 3D фильм көру үшін көзілдірік құрылымында нені өзгерту керек?
4. Көлемді көрініс алудың берілген әдісінің қандай кемшіліктері бар?
5. Неліктен экрандағы кадрлардың ауысу жылдамдығы екі есе артып, секундына 48 кадрға жетеді?



2-тапсырма

146-суретте берілген сұйықкристалды дисплей құрылғысының сұлбасын қарастырыңдар. Оның жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.

146-сурет. Сұйықкристалды дисплей құрылғысы

Бақылау сұрақтары

1. Поляризацияланған жарықтың табиғи жарықтан қандай айырмашылығы бар?
2. Неліктен поляризатордың айналуы кезінде жарықтың қарқындылығы өзгермейді?
3. Қандай заттарды поляризаторлар деп атайды, олар қандай қолданысқа ие болды?
4. 3D-көріністерді қалай құрайды?



Жаттығу

21

1. Су бетінен шағылған жарық жартылай поляризацияланған болып табылады. Поляроид арқылы бұған қалай көз жеткізуге болады?
2. Жарық толығымен өшетіндей бағдарланған екі поляроидқа табиғи жарық түседі. Олардың қасына үшінші поляроидты орналастырса, не болады?
3. Егер анализатор өсі поляризатор өсімен $\alpha = 45^\circ$ бұрыш құраса, поляризацияланған жарықтың кернеулігінің тербеліс амплитудасы неше есе өзгереді?
4. Анализатор өсі мен поляризатор өсі арасындағы бұрыштың қандай мәнінде жарықтың қарқындылығы екі есе кемиді?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

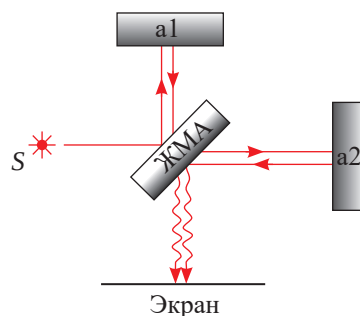
1. Көздің поляризацияланған микроскопиясы.
2. Жарық поляризациясының мәшине жасау мен құрылыс саласында қолданылуы.

Интерферометр – жұмыс істеу принципі интерференция құбылысына негізделген өлшеу аспабы (147-сурет). Оптикалық аспаптардың сапасын сынау мақсатында толқын ұзындығымен шамалас ұзындықтарды нақты дәлдікпен өлшеу үшін қолданылады. Мөлдір заттардың (қатты, сұйық, газ тәріздес) сыну көрсеткіштерінің қысымның, температураның өзгерісімен және қоспалар енгізумен байланысты өзгерісін анықтауға мүмкіндік беретін интерферометрлерді *интерференциялық рефрактометрлер* деп атайды. Аспаптың өлшеу дәлдігі 0,000001-ге жетеді.

Интерферометрдің жұмыс істеу принципі жарық сәулесінің әрқайсысы әртүрлі оптикалық сәулелерден өтіп, экранға бағытталатын екі немесе одан да көп когерентті сәулелерге бөлінуіне негізделген. Интерференциялық көрініс бойынша интерференцияланатын сәулелердің таралу жолдарының айырымы анықталады.



147-сурет. Майкельсон интерферометрі



148-сурет. Интерферометрдегі сәулелердің таралу жолдары

Тапсырма

1. Майкельсон интерферометріндегі сәулелердің таралу жолдарын (148-сурет) қарастырыңдар, a_1 , a_2 – жазық айналар. ЖМА – жартылай мөлдір айна, S – жарық көзі. Аспаптың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
2. Интернет желісінен интерферометрлердің қолданылуы туралы ақпараттар тауып, хабарлама дайындаңдар.
3. Рефрактометрді қолданып, ортаның сыну көрсеткішін өлшеу принципін зерттеңдер.

6-тараудың қорытындысы

Жарықтың біртекті ортадағы интерференциясы	Максимум шарты: $\Delta l = k \lambda$ Минимум шарты: $\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$	Тордағы дифракция	Максимум шарты: $d \sin \varphi = k \lambda$ Тор тұрақтысы: $d = \frac{L}{N}$
Жарықтың жұқа үлдірдегі интерференциясы	Шағылған жарықтағы максимум шарты: $\frac{2dn}{\cos \gamma} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ Өткен жарықтағы максимум шарты: $\frac{2dn}{\cos \gamma} = k \lambda$	Бір саңылаудың дифракциясы	Максимум шарты: $b \cdot \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ Минимум шарты: $b \cdot \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$
Поляризация	$E = E_{\max} \cos \alpha$		

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктердің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
Δl	сәулелер таралу жолдарының айырымы	м	d	тор тұрақтысы	м
λ	толқын ұзындығы	м	L	тордың ені	м
n	сыну көрсеткіші		N	штрихтар саны	
φ	сәулелердің ауытку бұрышы	рад, °	b	саңылаудың ені	м
α	поляризатордың бұрылу бұрышы	рад, °	$E, E_{\max}$	поляризацияланған жарық, поляризацияланбаған жарық кернеулігі	В/м

Заңдар мен принциптер

Х.Гюйгенс принципі:

Ортаның ығысу жеткен кез келген нүктесі екінші ретті толқын көзі болып саналады. Екінші ретті толқындардың орағытып өтетін шептері қорытқы толқынның шебі болып табылады.

О.Френель принципі:

Екінші ретті когерентті толқындарды қабаттастыру кезінде нәтижесінде кеңістіктің әртүрлі нүктелерінде тербеліс амплитудалары толқынның таралу бағыты бойынша артатын, кері бағытта кемитін интерференция пайда болады.

Глоссарий

Дисперсия – заттың сыну көрсеткішінің жарықтың жиілігіне тәуелділігі.

Дифракция – жарықтың өлшемдері кішкентай денелерді орағытып өтіп, оның геометриялық көлеңке аймағына өтуі.

Жарықтың интерференциясы – жарық толқындарын қабаттастырғанда жарықтың күшеюі немесе әлсіреуі.

Когерентті толқындар – фазалық ығысулары тұрақты, жиіліктері бірдей толқындар.

Алғашқы түстер – басқа түстердің үйлесуі арқылы алынбайтын түстер.

Қосымша түстер – қабаттасу кезінде ақ түсті беретін жарық түстері.



7-ТАРАУ

ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ОПТИКА

Геометриялық оптика – жарық энергиясының мөлдір орталарда таралуын жарық сәулелері негізінде қарастыратын оптика бөлімі.

Жарық сәулесі – жарық толқындарының энергиясы таралатын бағыты бар сызық.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

- Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың шағылу заңын түсіндіруді;
- сфералық айнадағы сәуленің таралу жолын салуды және сфералық айнаның формуласын есептер шығаруда қолдануды;
- Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың сыну заңын түсіндіруді;
- жарық сигналдарын тасымалдауда оптоалшықты технологияның артықшылығын түсіндіруді;
- шынының сыну көрсеткішін эксперименттік жолмен анықтау және экспериментті жақсартудың жолдарын ұсынуды;
- әртүрлі радиустағы екі сфералық беттен тұратын жұқа линзаның формуласын есептер шығаруда қолдануды;
- телескоп, микроскоп және лупадағы сәуленің таралу жолын сызуды және түсіндіруді үйренесіңдер.



§ 22. Гюйгенс принципі. Жарықтың шағылу заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың шағылу заңын түсіндіре аласыңдар.



Естеріңізге түсіріңдер!

Шағылу заңы

Түсу бұрышы шағылу бұрышына тең:

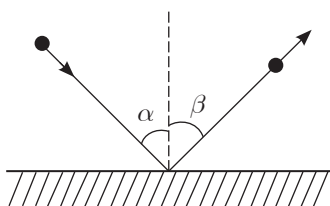
$$\angle \alpha = \angle \beta.$$

Түскен сәуле, шағылған сәуле және сәуленің екі ортаның шекарасына түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықта жатады.

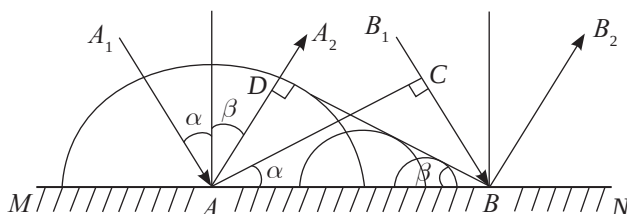
I Жарықтың шағылу заңы корпускулалық және толқындық теория тұрғысынан

Егер жарық сәулелері И.Ньютон тұжырымдағандай бөлшектерден тұратын болса, онда олар геометриялық оптикада қарастырылғандай, шағылу заңдарына сәйкес беттен серпімді шарлар сияқты (149-сурет) шағылады деп болжауға болады. Х.Гюйгенс принципіне негізделген толқындық теория да осындай қорытындыға әкеледі: *ортаның ауытқу жеткен кез келген нүктесі екінші ретті толқындардың көзі болып табылады. Екінші ретті толқындардың орағытып өтетін шептері қорытқы толқынның шебі болып табылады* (§ 13).

Жазық толқынның MN бетінен шағылуын қарастырайық (150-сурет). A_1A және B_1B сәулелері толқындық бетпен тікбұрыш құрайды. AC жазықтығы – A_1A сәулесі MN бетіне жеткен сәтте түскен толқынның шебі. Екінші ретті толқындардың B_1B сәулесі MN бетіне жеткен сәттегі орағытып өтетін шебі BD жазықтығымен бейнеленген. Шағылған толқынның шебі A_2A және B_2B сәулелеріне перпендикуляр. Салулар нәтижесінде $\triangle ABD$ және $\triangle ACB$ тікбұрышты үшбұрыштары алынған, оларда $\angle CAB$ бұрышы түсу бұрышына, $\angle DBA$ бұрышы шағылу бұрышына тең, көрсетілген бұрыштардың қабырғалары өзара перпендикуляр. Үшбұрыштардағы AD және CB қабырғалары тең, себебі түскен және шағылған сәулелердің жылдамдықтары бірдей, жарық бір ортада таралады: $CB = AD = vt$, мұндағы t – B_1B сәулесі MN екі ортаның шекарасына жақындап, A_1A сәулесінен артта қалатын уақыт аралығы. Қарастырылып отырған үшбұрыштар тең болғандықтан, α және β



149-сурет. Серпімді бөлшектің шағылуы



150-сурет. Жазық толқынның екі ортаның шекарасында шағылуы

бұрыштары тең, сәулелер бір жазықтықта жатады, *жарықтың шағылу заңы орындалады.*

Толқындық теория негізінде жарық неліктен қалың шыны бетінен шағылмайтынын және жұқа металл фольгадан толығымен шағылатынын түсіндіруге болады. Шыны – диэлектрик, онда еркін зарядталған бөлшектер жоқ, ол электромагниттік толқындар үшін мөлдір. Металдарда еркін электрондар жарықтың әсерінен тербелмелі қозғалыс жасайды, олар тудырған өріс жарық толқынын шағылдырады.

II Шағылу заңдарының қолданылуы

Шағылу заңдары көптеген құрылғылар мен аттракциондарда қолданысқа ие болды.

Көліктерде бұрыштық шағылдырғыш – катафот қолданылады, ол шыны немесе пластмассадан жасалады. Велосипедтің артына қызыл, алдына ақ, дөңгелегінің сымдарына қызғылт катафот бекітеді. Жарықшағылдырушы жарық сәулесін бетке түсу бұрышына тәуелсіз жарық көзіне кері бағыттайды. Олармен барлық көлік құралдары мен жолдардың қауіпті бөліктері жабдықталады. Еуропалық үлгідегі жарықсигналды аспаптар республикалық маңызы бар «Алматы – Ташкент – Термез», Жамбыл облысындағы «Күйік асуын айналып өту» (151-сурет) жолдарында орнатылған. Аспаптар күн сәулесінен зарядталып, тәуліктің қараңғы уақытында жолдардың өстік сызықтарын жарықтандырып тұрады. Жасанды жарықтандыру жоқ автокөлік жолдарында «Kazautozhol» жазуы бар сигналды бағаналар орнатылған.

Жарықшағылдырушы материалдар өрт сөндіру, медицина, әскери және қызметтердің басқа түрлерінің жұмысшылары үшін арнайы киім тігуде қолданылады.

Жарықшағылдырушылардың маталық негіздегі және ПВХ негіздегі екі түрі бар. Маталық негіздегі жарықшағылдырушылар материалдың жұмыс қабатына полимерлі желім арқылы жағылатын шағылдырушы алюминий қабаты бар шыны микрошарларды қолдану арқылы өндіріледі. ПВХ негіздегі

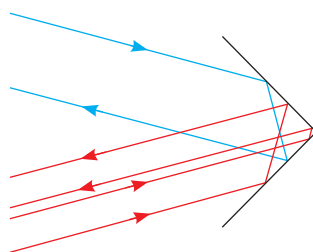


151-сурет. Еуропалық үлгідегі катафоттар мен сигнал бағаналары



1-тапсырма

152-суретті қарастырыңдар. Шағылдырғыштағы бұрыштың қандай мәнінде жарық сәулесі жарық көзіне бағытталады? Өз болжамдарыңды салулар арқылы дәлелдендер.



152-сурет. Бұрыштық шағылдырғыштағы сәулелердің таралу жолдары



2-тапсырма

1. 153-суретті қараңдар. Пәтер, офис интерьерінде жұқа рулондық айналарды пайдаланудың ерекшелігі неде? Рулондық айна қандай материалдан жасалатынын анықтаңдар.
2. Рулондық айнаның қолданылуына мысал келтіріңдер.



153-сурет. Интерьерде рулондық айнаны қолдану

жарықшағылдырушылар микропирамидаларды қолдану арқылы өндіріледі. Олардың маталық негіздегі жарықшағылдырушылардан артықшылығы – төзімділігінде, себебі микропирамидалар пленканың ішінде орналасқан.



3-тапсырма

154,а–ғ-суреттерді қараңдар. Әрбір аспаптың (құрылғының, оптикалық жүйенің) жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер. Шағылу заңдарының тұрмыста, техникада және табиғатта қолданылуына мысал келтіріңдер.



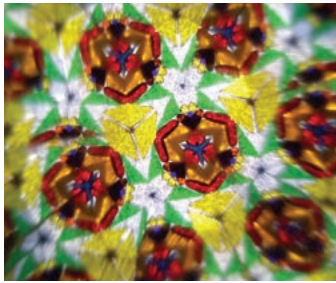
а) айналық шар



ә) лазерлі лабиринт



б) перископ



в) калейдоскоп



г) айналық лабиринт



г) стоматолог айнасы

154-сурет. Оптикалық аспаптар мен жүйелер



4-тапсырма

Айдың өзенде, көлде шағылуын қарастырыңдар (155-сурет). Олардың негізгі айырмашылығын анықтаңдар. Көріністер неге әртүрлі екенін түсіндіріңдер.



155-сурет. Айдың өзен және көл бетінен шағылуы



Жауабы қандай?

Егер жағадан алыстасақ, көрініс қалай өзгереді? Жақындасақ ше? Жаға бойымен қозғалғанда ше?

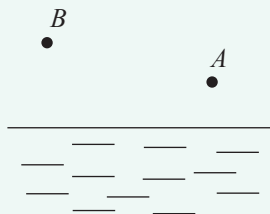
Бақылау сұрақтары

1. Гюйгенс принципін тұжырымдаңдар.
2. Шағылу заңының мәнісі неде?
3. Жарықтың шағылуының практикада қолданылуына мысал келтіріңдер.

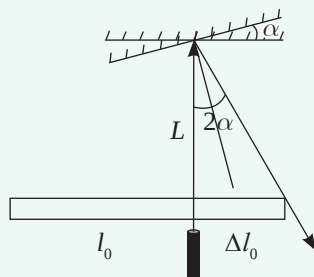
★ Жаттығу

22

1. Салу арқылы А шамынан В бақылаушыға бағытталған сәуленің су бетінен шағылу нүктесін анықтаңдар (156-сурет).
2. Күннің көкжиектен көріну бұрышы $\varphi = 30^\circ$. Шағылған сәулелер: а) вертикаль жоғары; ә) вертикаль төмен бағытталуы үшін жазық айнаны көкжиекке қандай бұрышпен орналастыру керек?
3. Радиусы $R = 5$ м дөңгелек бассейннің шетіне дейін су толтырылған. Бассейннің центрінде су бетінен $h = 3$ м биіктікте шам ілініп тұр. Бойы $H = 1,8$ м адам бассейн шетінен қандай максимал қашықтықта судағы шам кескінін көре алады?
4. 157-суретті қарастырыңдар. Айналық беттің бұрылу бұрышының және айна мен дене арасындағы қашықтықтың белгілі мәнінде деформацияланған дененің ұзаруын анықтаңдар.



156-сурет. 1-есепке



157-сурет. Шағылдырушы бетті қолданып, кіші денелердің өлшемдерін анықтау

Эксперименттік тапсырма

Екі шағылдырушы бетті әртүрлі бұрышпен орналастырып, алынған кескін санының бұрыштың өзгерісіне тәуелділігін зерттеңдер.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

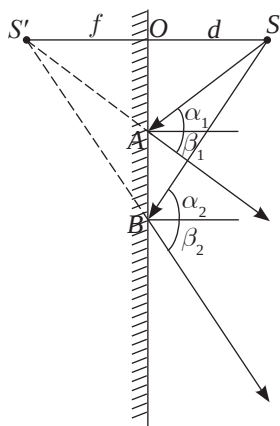
1. Айналардың жасалу тарихы.
2. Архимед римдіктердің кемесін қалай жағып жіберді?
3. Иллюзионист және айна.

§ 23. Жазық және сфералық айналар

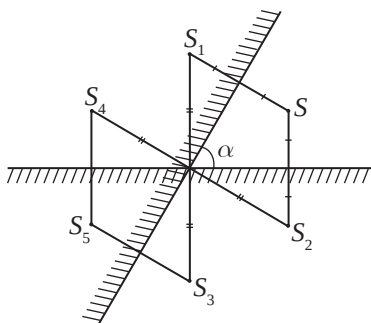
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- сфералық айнадағы сәуленің жолын сала аласыңдар және сфералық айнаның формуласын есептер шығаруда қолдана аласыңдар.



158-сурет. Жазық айнадағы нүктелік жарық көзінің кескіні



159-сурет. Екі айна
жазықтығындағы нүктелік
жарық көзінің кескіні

I Жазық айна формуласы

158-суретте алынған кескінге сәйкес жазық айна формуласын жазамыз:

$$d = -f, \quad (1)$$

мұндағы d – заттан айнаға дейінгі қашықтық;
 f – айнадан кескінге дейінгі қашықтық. Теріс таңбасы
 кескін жалған екенін білдіреді.

II Екі жазық айнадағы кескін

Екі жазық айна көмегімен бірнеше кескін алуға болады, олардың саны шағылдырушы беттер арасындағы α бұрыш арқылы анықталады. Салулар кезінде *бірінші айнаның кескіні екінші айна үшін зат болатынын және керісінше, екінші айна кескіні бірінші айна үшін зат болатынын ұмытпау керек. Алынған соңғы кескін екі айнаның шағылдырушы беттерінің ар жағында орналасады (159-сурет)*. Кескіндер санын анықтау үшін 360° -қа тең толық бұрышты α бұрышы бөлген секторлар санынан 1 санын (зат орналасқан сектор) азайту керек:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1. \quad (2)$$

Мысалы, $\alpha = 60^\circ$ болғанда айналардағы кескін саны:

$$n = \frac{360^\circ}{60^\circ} - 1 = 5.$$

III Сфералық айналар. Айналардың негізгі нүктелері мен сызықтары

Шағылдырушы беті сфераның бір бөлігін беретін айналарды сфералық айналар деп атайды.



Естеріңе түсіріңдер!

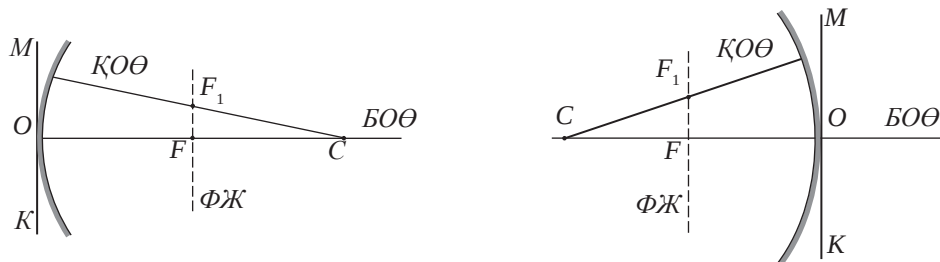
Жарықты айналық шағылдыратын жазық бетті *жазық айна* деп атайды.



1-тапсырма

Жарықтың шағылу заңын қолданып, жазық айнадағы кескіннің өлшемдері зат өлшемдерімен бірдей екенін, айна артында айна мен зат арақашықтығына тең қашықтықта орналасқанын дәлелдендер. Кескін жалған, айналық симметрияға ие (158-сурет).

Айналардың негізгі нүктелері мен сызықтары: O нүктесі – айнаның төбесі; C нүктесі – қисықтық центрі; айна төбесі және центрі арқылы өтетін түзу – бас оптикалық өс (БОО); F нүктесі – айна жазықтығына БОО-ге параллель барлық сәулелер жинақталатын айна фокусы (160-сурет). Дөңес айнаның фокусы жалған, ол айна жазықтығында орналасқан.



а) ойыс айнаның негізгі нүктелері мен сызықтары б) дөңес айнаның негізгі нүктелері мен сызықтары
160-сурет.

Сфералық айна үшін тағы да бірнеше негізгі нүктелер мен сызықтар енгізейік. Қосымша оптикалық өс (KOO) – айнаның C қисықтық центрі арқылы өтетін түзу. Қосымша оптикалық өс фокусы F_1 оның фокалдік жазықтықпен ($\Phi\mathcal{J}$) қиылысу нүктесінде орналасқан. Осы нүкте арқылы өтетін түзулер KOO -ге параллель. Фокалдік жазықтық – бас оптикалық өске (БОО) перпендикуляр және оның фокусы арқылы өтетін жазықтық. $МК$ түзуі – сфералық айнаның негізгі жазықтығы – БОО-ге перпендикуляр және айнаның төбесі арқылы өтеді.

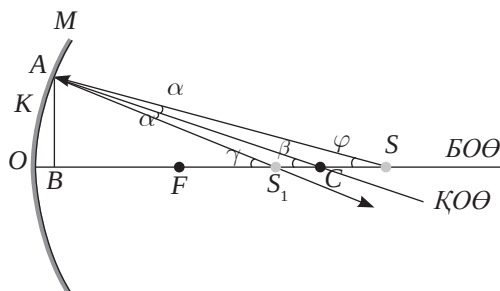


2-тапсырма

1. Шағылдырушы беттер арасындағы бұрыш 30° , 45° , 90° болатын айналардағы кескін санын анықтаңдар.
2. 45° бұрыш үшін салулар жүргізіңдер.

IV Ойыс сфералық айнаның формуласы

Ойыс сфералық айнаның формуласы бас оптикалық өспен өте кіші бұрыштар құрайтын параксиалды сәулелер үшін орындалады. Мұндай шартта фокалдік жазықтық бас оптикалық өске перпендикуляр. 161-суретте S жарық көзінің сәулесі берілген, ол ойыс айна бетінен шағылады. $КМ$ түзуі – A нүктесіндегі AC радиуска немесе қосымша оптикалық өске перпендикуляр жанама.



161-сурет. Ойыс айнадағы жарқырайтын нүкте кескіні

Параксиалды сәулелер үшін $AO \approx AB$, демек, айнадан затқа дейінгі қашықтық $d = OS \approx BS$, айнадан кескінге дейінгі қашықтық $f = OS_1 \approx BS_1$, қисықтық радиусы $R = OC \approx BC$. d, f және R -ді салулар нәтижесінде алынған $\triangle ABS_1$, $\triangle ABC$ және $\triangle ABS$ үшбұрыштарының AB катеті арқылы өрнектейік:

$$f = \frac{AB}{\operatorname{tg} \gamma}; \quad R = \frac{AB}{\operatorname{tg} \beta}; \quad d = \frac{AB}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (3)$$

Үшбұрыштардың бұрыштары арасында байланыс орнатамыз. $\triangle S_1AC$ үшбұрышы үшін γ бұрышы сыртқы бұрыш болып табылады, β бұрышы – $\triangle CAS$ үшбұрышы үшін сыртқы бұрыш, демек:

$$\gamma = \alpha + \beta; \quad (4)$$

$$\beta = \alpha + \varphi. \quad (5)$$

(5) теңдеуден α -ны өрнектеп, (4) теңдеуге қойсақ, алатынымыз:

$$\gamma = 2\beta - \varphi$$

немесе

$$\varphi + \gamma = 2\beta. \quad (6)$$

Кіші бұрыштардың тангенсі олардың радиандық мәндеріне тең. (3) теңдеуден тангенстерді өрнектеп, (6) теңдеуге қойып, сфералық айна үшін мына формуланы аламыз:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}. \quad (7)$$

V Сфералық айнада зат кескінін салу

Сфералық айнада кескін салу үшін жолдары белгілі екі сәулені қолдану жеткілікті (162-сурет):

- 1) бас оптикалық өске параллель сәуле шағылғаннан кейін оның фокусы арқылы өтеді;



3-тапсырма

1. Қисықтық радиусы шексіздікке ұмтылатын $R \rightarrow \infty$ жазық айнаны сфералық айна деп санап, (7) формула негізінде $d = -f$ екенін дәлелдендер.
2. (7) формуланы қолданып, БОӨ-ге перпендикуляр сәулелер айна төбесінен $f = \frac{R}{2}$ қашықтықта қиылысатынын дәлелдендер.



Жауабы қандай?

1. Неліктен сфералық айна-ның фокустық қашықтығы қисықтық радиусының жартысына тең:

$$F = \frac{R}{2} \quad (8)?$$

2. (7) формуладан сфералық айна үшін Гаусс теңдеуін

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (9)$$

қалай аламыз?

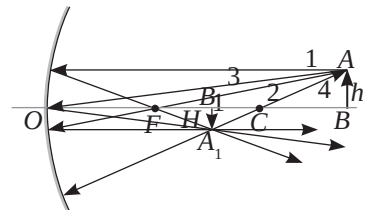


4-тапсырма

1. (9) теңдеуден айна төбесінен кескінге дейінгі қашықтықты өрнектендер.
2. Алынған өрнек негізінде қажетті сөз тіркестерін тандап, сфералық айна үшін үш тұжырым құрастырындар.

$d < F$ болғанда	f оң мәнге ие	кескін жоқ
$d = F$ болғанда	f теріс мәнге ие	кескін шын
$d > F$ болғанда	f мәні шексіздікке ұмтылады	кескін жалған

3. (9) теңдеуден айна төбесінен затқа дейінгі және айна фокусына дейінгі қашықтықты өрнектендер.

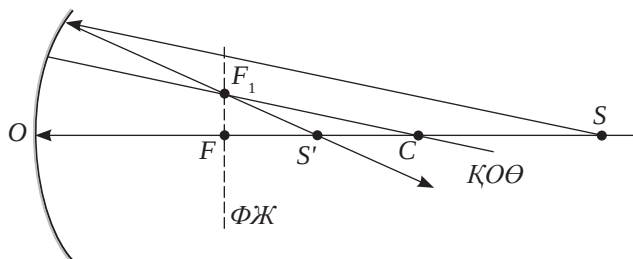


162-сурет. Ойыс айнадағы сәулелердің таралу жолдары

- 2) айна фокусы арқылы өткен сәуле бас оптикалық өске параллель шағылады;
- 3) айна төбесінен өтетін сәуле, дәл осындай бұрышпен шағылады;
- 4) айнаның қисықтық центрі арқылы өткен сәуле түсу сызығының бойымен кері бағытта шағылады.

VI БОО-де орналасқан нүктелік жарық көзінің кескінін салу алгоритмі

1. ҚОО жүргізіп, ФЖ-мен қиылысу нүктесінде жүргізілген өс фокусын көрсету (163-сурет).



163-сурет. ҚОО-ні қолданып кескін салу

2. S жарық көзінен негізгі айна жазықтығына дейін ҚОО-ге параллель сәуле жүргізу. Шағылған сәулені ҚОО фокусы арқылы өткізу.
3. БОО бойымен бағытталған сәулемен қиылысу нүктесінде алынған S' кескінді көрсету.

VII Сызықтық ұлғайту

Денелердің сызықтық өлшемдерінің өзгеруін ΔAOB және ΔA_1OB_1 үшбұрыштарының ұқсастығынан есептеуге болады (162-сурет):

$$\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}, \quad (11)$$

мұндағы H – кескіннің биіктігі; h – дененің биіктігі; f – кескіннен айна төбесіне дейінгі қашықтық; d – денеден айна төбесіне дейінгі қашықтық; Γ – ұлғайту.

Айнаның сызықтық ұлғайтуы – кескін биіктігінің дене биіктігіне қатынасына тең физикалық шама.

Егер $\Gamma > 1$, онда дене кескінінің өлшемдері артады; егер $\Gamma < 1$ болса, кемиді.

Сәулелер қайтымды, демек, егер 162-суретте A_1B_1 кесіндісін дене деп санасақ, онда AB кесіндісі дененің кескіні болады.



Назар аударыңдар!

Ойыс айна үшін фокустық қашықтықтың теріс мәнін ескергенде (9) формула мына түрге келеді:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}. \quad (10)$$



Естеріңізге түсіріңдер!

Егер шағылған сәулелер емес, олардың жалғасы қиылысатын болса, кескін жалған. Егер сәулелердің өзі қиылысатын болса, зат кескіні шын болады.



5-тапсырма

(10) формула негізінде дөңес айна үшін кескіннен айнаға дейінгі қашықтық тек теріс мәнге ие екенін дәлелдендер. Дөңес айна тек жалған кескін береді.



6-тапсырма

Дөңес айнаның бас оптикалық өсінде орналасқан жарқырайтын нүктенің кескінін салыңдар.

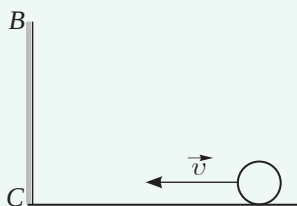
Бақылау сұрақтары

1. Жазық айнадағы зат кескінін сипаттаңдар.
2. Қандай айналарды сфералық айналар деп атайды?
3. Сфералық айнада кескін салуда қолданылатын сәулелерді атаңдар.
4. Ойыс айна қандай кескін түрлерін береді? Дөңес айна ше?
5. Айнаның сызықтық ұлғайтуы нені көрсетеді?

★ Жаттығу

23

1. Доп BC айнаға қарай $v = 1,5$ м/с жылдамдықпен қозғалады (164-сурет). Доп кескіні айнаға, допқа қандай жылдамдықпен жақындайды?



164-сурет. 1-есепке

2. Қисықтық радиусы $R = 0,9$ м ойыс сфералық айнадан $d = 2,8$ м қашықтықта бас оптикалық өсте нүктелік жарық көзі орналасқан. Айнадан осы жарық көзінің кескініне дейінгі қашықтықты анықтаңдар.
3. Қисықтық радиусы $R = 80$ см ойыс сфералық айна беретін шын кескін одан $f = 80$ см қашықтықта орналасқан. Зат пен айнаның арақашықтығын анықтаңдар.
- 4*. Зат ойыс сфералық айнаның алдында оның бас оптикалық өсіне шын кескінінің сызықтық өлшемдерінің қатынасы $\Gamma_1 = 1,5$ -ке тең болатындай перпендикуляр орналасқан. Затты айнадан $l = 16$ см қашықтыққа жылжитқаннан кейін зат пен кескін өлшемдерінің қатынасы $\Gamma_2 = 0,5$ болды. Айнаның қисықтық радиусын анықтаңдар.

§ 24. Жарықтың сыну заңы. Толық ішкі шағылу

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Гюйгенс принципінің көмегімен жарықтың сыну заңын және жарық сигналдарын тасымалдауда оптоалшықты технологияның артықшылығын түсіндіре аласыңдар.

I Жарықтың сыну заңы толқындық теория тұрғысынан

Жарықтың сыну заңын XVII ғасырдың басында голландиялық математик В.Снеллиус тәжірибе жүзінде ашты.

Абсолют сыну көрсеткішінің түсу бұрышына көбейтіндісі тұрақты шама болып қалады, ол жарық бір ортадан екінші ортаға өткенде өзгермейтін «оптикалық инвариант».

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma, \quad (1)$$

мұндағы n_1, n_2 – орталардың абсолют сыну көрсеткіштері, α – түсу бұрышы, γ – сыну бұрышы.

Жазық толқынның A_1A және B_1B екі сәулесінің MN екі ортаның шекарасында сынуын Гюйгенс принципі негізінде қарастырайық (165-сурет). A_1A сәулесі MN екі ортаның шекарасына жететін сәтте түскен толқын шебі AC кесіндісімен берілген. Екінші ортаның сыну көрсеткіші бірінші ортаға қарағанда көп: $n_2 > n_1$. B_1B сәулесі MN шекараға түскен кезде екінші ортада пайда болған екінші ретгі толқын шебі DB кесіндісімен берілген. Салулар нәтижесінде AB қабырғалары ортақ $\triangle ACB$ және $\triangle ABD$ үшбұрыштары алынды. Үшбұрыштарда $\angle CAB$ бұрышы α түсу бұрышына, $\angle ABD$ бұрышы γ сыну бұрышына тең. AB қабырғасын сәулелер бірдей уақыт аралығында жүріп өткен AD және CB кесінділері арқылы өрнектесек, алатынымыз:

$$AB = \frac{CB}{\sin \alpha} = \frac{v_1 t}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

$$AB = \frac{AD}{\sin \gamma} = \frac{v_2 t}{\sin \gamma}. \quad (4)$$

(3) және (4) формулалардан шығатыны:

$$\frac{v_1}{\sin \alpha} = \frac{v_2}{\sin \gamma}$$

немесе

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (5)$$

Орталардағы жарық жылдамдығын абсолют сыну көрсеткіші арқылы өрнектейміз:

$$v_1 = \frac{c}{n_1}, \quad v_2 = \frac{c}{n_2}. \quad (6)$$

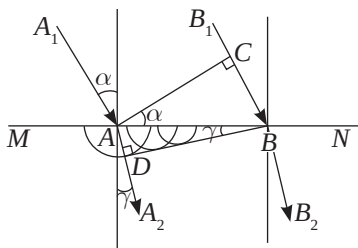
(6) формуланы (5) формулаға қойсақ, алатынымыз:

Есте сақтаңдар!

Абсолют сыну көрсеткіші – жарықтың вакуумдағы таралу жылдамдығы берілген ортада таралу жылдамдығынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (2)$$

мұндағы n – ортаның абсолют сыну көрсеткіші, c – вакуумдағы жарық жылдамдығы, v – ортадағы жарық жылдамдығы. *Оптикалық тығыздығы төмен ортада сыну көрсеткіші де төмен болады.*



165-сурет. Жазық толқынның екі ортаның шекарасында сынуы

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} \quad (7)$$

немесе $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma. \quad (8)$

Гюйгенстің толқындық теориясы негізінде Снеллиустың сыну заңы алынды.



Естеріңе түсіріңдер!

Салыстырмалы сыну көрсеткіші – жарықтың бірінші ортадағы таралу жылдамдығы екінші ортадағы тарату жылдамдығынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (9)$$

(7) теңдеудегі абсолют сыну көрсеткіштерінің қатынасын салыстырмалы сыну көрсеткішімен алмастырамыз:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}. \quad (10)$$



Естеріңе түсіріңдер!

Жарықтың толық ішкі шағылуы

Егер жарық сәулесін оптикалық тығыз ортадан тығыздығы төмен ортаға бағыттаса, онда сыну бұрышы түсу бұрышынан үлкен. 90° -қа тең сыну бұрышының ең үлкен мәніне α_0 түсу бұрышы сәйкес келеді, ол *толық ішкі шағылудың шекті бұрышы* деп аталған. Сәуле екі ортаның шекарасына толық ішкі шағылудың шекті бұрышынан үлкен бұрышпен түскенде: $\alpha > \alpha_0$, сынған сәуле жоғалып кетеді, жарықтың толық ішкі шағылуы орындалады (166-сурет).

Шекті бұрыш үшін сыну заңы мына түрге келеді:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (11)$$

Алынған теңдіктен *толық ішкі шағылудың шекті бұрышы екінші орта вакуум немесе ауа болған жағдайда ортаның сыну көрсеткішімен анықталатыны шығады:*

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_1}. \quad (12)$$



Есте сақтаңдар!

Жарықтың сыну заңы

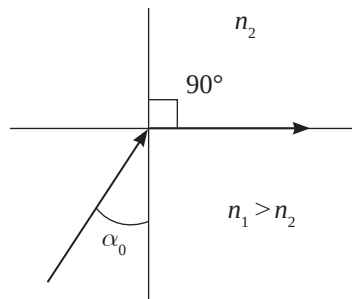
Екі орта үшін түсу бұрышының синусының сыну бұрышының синусына қатынасы тұрақты шама. Ол екінші ортаның бірінші ортаға қатысты салыстырмалы сыну көрсеткішіне тең.

Түскен сәуле, сынған сәуле және сәуленің екі ортаның шекарасына түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады.



Жауабы қандай?

1. Неліктен ыстық күндері көлік жүргізушілер қызған асфальттан жақындағанда жоғалып кететін «шалшықтарды» көреді?
2. Неліктен жүзуші аяғының астындағы су түбін көре алады, ал қандай да бір қашықтықтағы су түбін көре алмайды?



166-сурет. Жарықтың толық ішкі шағылуы

II Жарық сигналдарын таратуда оптоалшықты технологияның артықшылығы

Екі нүкте арасында ақпарат таратудың қарапайым оптоалшықты жүйесі үш негізгі элементтен тұрады: оптикалық таратқыш, оптоалшықты кабель және оптикалық қабылдағыш.

Оптикалық таратқыш электр сигналын оптоалшық арқылы жіберуге арналған жарық ағынына айналдырады. Жарық көзі ретінде жарықдиодтар мен

жартылайөткізгіш лазерлер қолданылады. Сәулелену толқынының ұзындығы талшық материалының максимал мөлдірлігін және фотодиодтардың жоғары сезімталдығы ескеріле отырып таңдалған. Оптикалық таратқыштар толқын ұзындығы 850, 1300 және 1550 нм инфрақызыл сәулелердің диапазонда жұмыс жасайды.

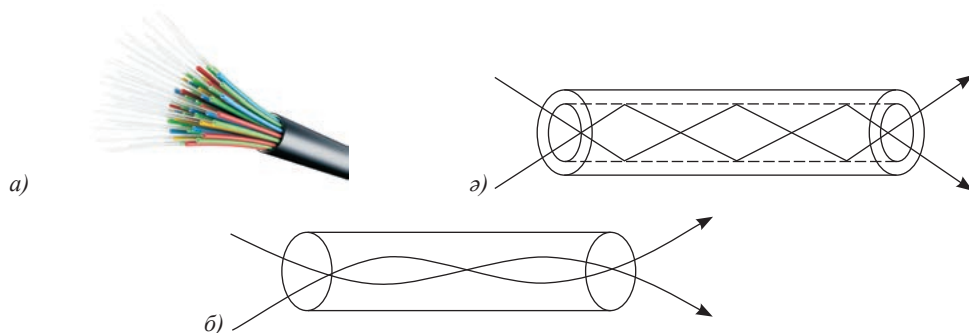
Оптикалық қабылдағыш жарық сигналын бастапқы электр сигналының көшірмесіне түрлендіреді. Оптикалық қабылдағышта сезімтал элемент ретінде фотодиод қолданылады.

Жарықөткізгіш (оптоталшықты кабель) – жарықтың белгілі бір бағыт бойынша таралуын қамтамасыз ететін жабық құрылғы.

Оптоталшықты кабель сыну көрсеткіштері радиус бойымен сатылы немесе баяу өзгертін бір немесе бірнеше шыны талшықтардан тұрады (167, *а-сурет*). Сыну көрсеткіші сатылы профильді талшық сыну көрсеткіші өте төмен шыны қабатымен оралған, оптикалық шығыны төмен шыныдан жасалған өзекшеден тұрады (167, *ә-сурет*).

Баяу профильді оптоталшық тек бір түрлі шыныдан ғана тұрады, ол сыну көрсеткіші талшық центрінен бетіне қарай баяу кемитіндей өңделген. Мұндай жарықөткізгіш оның бойымен таралатын жарықты центріне қарай ығыстырады (167, *б-сурет*).

Талшық санына қарай кабельдерді бірталшықты, көпталшықты және көпмодалы деп бөледі. Көпмодалы кабель жарық толқындарының *мода* деп аталатын бірнеше жол бойынша таралуына мүмкіндік береді.



167-сурет. Жарықтың а) оптоталшықты кабельде; ә) сыну көрсеткіші сатылы оптоталшықта; б) сыну көрсеткіші баяу профильді оптоталшықта таралуы



Тапсырма

«Оптикалық кабельдер түрлері» кестесіндегі суреттерді қараңдар. Олардың құрылымындағы, жарық сигналының өтуіндегі негізгі айырмашылықтарды атаңдар. Қай кабельде сигнал көбірек бұрмаланады?



Бұл қызық!

Қазіргі кезде алыс қашықтықтарға мәліметтер тасуға мүмкіндік беретін өткізгіштік қабілеті 100 Гбит/с оптоталшықты кабельдер қолданылады. WDM каналдары спектрлік тығыздалған оптоталшықты кабельдің максимал өткізгіштік қабілеті 9,6 Тбит/с-қа жетеді, ол мәліметтерді бірден 96 арнаға таратуға қабілетті.



Жауабы қандай?

1. Оптикалық талшықтың жұмыс істеу принципі қандай құбылысқа негізделген?
2. Оларды қандай материалдардан дайындайды?
3. Неліктен оптикалық талшықты төсеу кезінде қатты бүгілуді болдырмау керек (бүгілу радиусы 2,5 см-ден кем болмауы керек)?

6-кесте. Оптикалық кабельдер түрлері

Бірталшықты, диаметрi 125 мкм	Көпмодалы, диаметрi 125 мкм	Көпталшықты, диаметрi 125 мкм
Оптоталшықты кабельде сигналдың таралуы		
Алынған сигналдың сапасы		

Көпмодалы талшықтарда әрбір жарық толқыны өз бұрышымен таралады. Толқындар қабаттан әртүрлі шағылып, қабылдағышқа әртүрлі уақытта түседі. Бір көпмодалы кабельде шамамен 80–100 мода болуы мүмкін. Көпталшықты кабельдерде диаметрлері 8–10 мкм аралығындағы бірнеше жеке талшықтарды қолдануға болады. Көпмодалы және көпталшықты кабельдер бірталшықты кабельмен салыстырғанда, шамамен 2 м-дей қашықтықтарда жоғары өткізгіштік қабілетке ие, алыс қашықтықтарда кедергілер сезіле бастайды. Бірталшықты кабельдер көбінесе алыс қашықтықты қамтитын телекоммуникациялық желілерде қолданылады.

Оптикалық кабельдердің қарапайым сымдар мен кабельдерге қарағанда бір-қатар артықшылықтары бар:

- көп мөлшердегі ақпаратты жоғары жылдамдықпен тасымалдай алады;
- өткізгіштік қабілеті бірдей мыс сымдардан жіңішке әрі жеңіл;
- найзағай жарқылдары және басқа сыртқы әсерлерден зақымданбайды;
- коррозия тудыратын агрессивті химиялық заттармен әрекеттеспейді;
- электр тогын өткізбейді, жоғары вольтты электр аспаптарымен тікелей байланыса алады, жөндеу кезінде электр тогы соғу қаупі жоқ;
- электромагниттік сәулелендіру тудырмайды;
- ақпарат қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, кабельге рұқсатсыз қосылуды анықтау өте оңай.

Бақылау сұрақтары

1. Жарықтың сыну заңының мәнісі неде?
2. Абсолют сыну көрсеткіші деп нені атайды? Салыстырмалы сыну көрсеткіші деп ше?

3. Қандай жағдайда толық ішкі шағылу орындалады? Бұл құбылыс қандай қолданысқа ие болды?
4. Жарық сигналдарын таратуда оптоалшықты технологияның артықшылығы неде?

★ Жаттығу

24

- 1*. Шыны бетіне түскен жарық сәулесінің түсу бұрышын анықтаңдар. Сыну бұрышы түсу бұрышынан $\varphi = 17,2^\circ$ -қа кіші. Шынының сыну көрсеткіші $n = 1,7$.
2. Шағылған сәуле сынған сәулеге перпендикуляр болуы үшін жарық сәулесі шыныға қандай бұрышпен түсуі керек? (Сыну көрсеткішін $1,73$ -ке тең деп алыңдар.)
3. Өзен түбінде тас жатыр. Адам оны сырықпен итергісі келеді. Ол тасты көздеп, сырықты көкжиекке $\varphi = 20^\circ$ бұрыш жасай ұстайды. Егер өзен тереңдігі $h = 50$ см болса, сырық тастан қандай қашықтықта өзен түбіне қадалады?
- 4*. Егер сүңгуір өзінен $S = 15$ м және одан көп қашықтықта орналасқан өзеннің горизонталь түбінің су бетінен шағылған бөліктерін көре алатын болса, ол су астында қандай тереңдікте тұр? Сүңгуірдің бойы $h = 1,5$ м.

Эксперименттік тапсырма

Аквариумда қалқып шығатын ауа көпіршіктерін бақылаңдар (168-сурет). Қандай шарттар орындалғанда көпіршіктердің беті айналық болады? Осы сәтте қандай құбылыс бақыланады? (Ауа көпіршіктерін суы бар стақанды және ауа үрлейтін түтікшені қолданып тудыруға болады).



168-сурет. Аквариумдағы ауа көпіршіктері

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ақпаратты тасымалдаудың оптикалық жүйелеріндегі жарық сигналы модуляциясының түрлері.
2. Оптикалық байланыс жүйелері арқылы 5G жобасын жүзеге асыру.

§ 25. Линзалар жүйесінде кескін салу. Жұқа линза формуласы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- линзалар жүйесінде сәулелердің жолын сала аласыңдар;
- әртүрлі радиустағы екі сфералық беттен тұратын жұқа линзаның формуласын есептер шығаруда қолдана аласыңдар.

1-тапсырма

169, 170-суреттердегі линзалардың негізгі нүктелері мен сызықтарын көрсетіңдер және оларға анықтама беріңдер.

Назар аударыңдар!

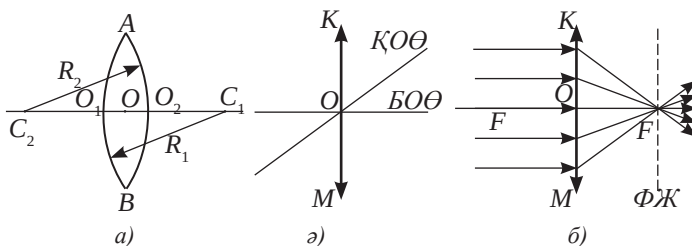
Егер линзаның сыну көрсеткіші ортаның сыну көрсеткішінен жоғары болса, онда дөңес линзалар өздеріне түскен сәулені жинақтайды, ойыс линзалар шашыратады.

2-тапсырма

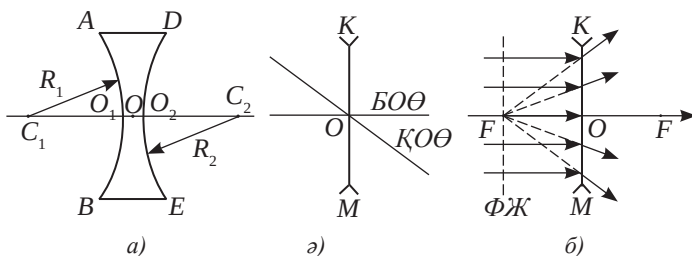
171 және 172-суреттерді қараңдар.
172-суретте көрсетілген сәулелердің бағыттарын сипаттаңдар.
Жинағыш линзадағы сәулелер жолымен салыстырыңдар. Ұқастықтары мен айырмашылықтарын көрсетіңдер.
Шашыратқыш линза үшін 4-сәуленің таралу жолын салыңдар.

I Жинағыш және шашыратқыш линзалар

Линза – екі шеті AO_1B және AO_2B (169, а-сурет), AO_1B және DO_2B (170, а-сурет) сфералық жазықтықтарымен шектелген мөлдір дене. Беттердің біреуі жазық болуы мүмкін, оны радиусы үлкен сфералық бет ретінде қарастыруға болады.



169-сурет. Қосдөңес линзаның негізгі нүктелері мен элементтері: BOO – бас оптикалық өс, KOO – қосымша оптикалық өс, FJ – фокалдік жазықтық



170-сурет. Қосойыс айнаның негізгі нүктелері мен элементтері

II Жинағыш және шашыратқыш линзалардағы сәулелердің таралу жолы

1-сәуле: бас оптикалық өске параллель, линзаның артқы фокусы арқылы өтеді (171-сурет);

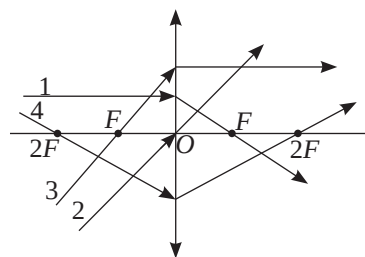
Жауабы қандай?

Егер заттың сыну көрсеткіші ортаның сыну көрсеткішінен төмен болса, линзаның түсетін сәулелерге әсері қалай өзгереді?

2-сәуле: линзаның центрі арқылы өтеді және сынбайды (171-сурет);

3-сәуле: линзаның алдыңғы фокусы арқылы өтеді, бас оптикалық өске параллель болады (171-сурет);

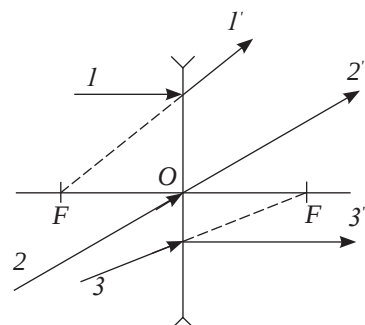
4-сәуле: сфералық беттердің бірінің қисықтық центрі арқылы өткен сәуле, басқа беттің де қисықтық центрі арқылы өтеді (171-сурет).



171-сурет. Жинағыш линзадағы сәулелер жолы

3-тапсырма

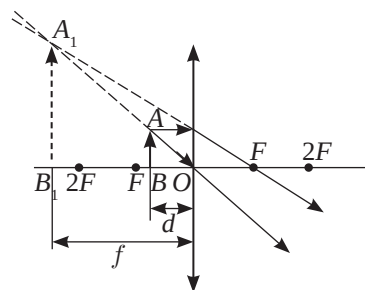
1. Жинағыш линзада кескін салу алгоритмін құрастырыңдар (173-сурет).
2. Затты $d < F$, $F < d < 2F$, $d > 2F$ аралықтарында және $d = F$, $d = 2F$ нүктелерінде орналастырып, кескін алыңдар.
3. Алынған кескінді сипаттаңдар (жалған немесе шын, түзу немесе төңкерілген, үлкейтілген немесе кішірейтілген).
4. Кескін орналасқан интервалды (БОО-дегі нүктені) көрсетіңдер.
5. Алынған кескіндерді дәл осы шарттарда ойыс сфералық айнада алынған кескінмен салыстырыңдар.



172-сурет. Шашыратқыш линзадағы сәулелер жолы

4-тапсырма

1. Кескін өлшемінің зат пен шашыратқыш линзаның оптикалық центрі арасындағы қашықтыққа тәуелділігін зерттеңдер (174-сурет).
2. OF интервалында алынған барлық кескіндер жалған, түзу, кішірейтілген екеніне көз жеткізіңдер.
3. Дөңес сфералық айнадағы кескінмен салыстырыңдар.



173-сурет. Жинағыш линзада кескін салу

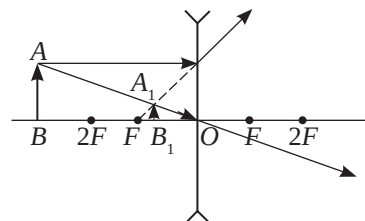
Назар аударыңдар!

Айна шағылған сәулелерде, ал линза тесіп өтетін сәулелерде кескін береді.

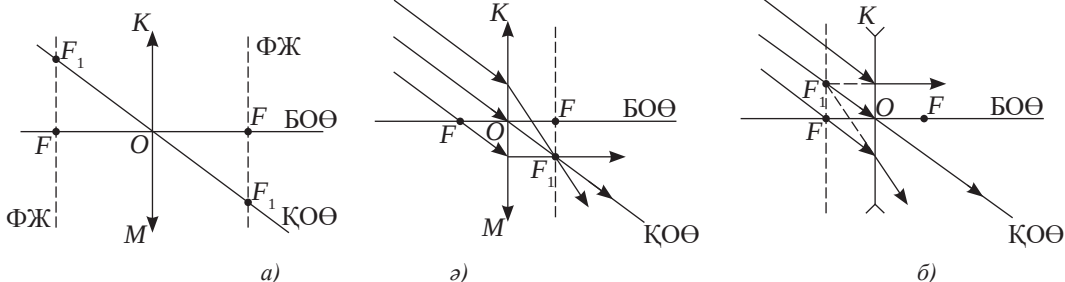
III Қосымша өстер.

Қосымша өстерді қолданып сәулелер салу

Қосымша оптикалық өстердің фокустері F_1 фокалдік жазықтықта және ҚОӨ-нің ФЖ-мен қиылысу нүктесінде жатады (175, а-сурет). Жинағыш линзаға қосымша өске параллель түсетін сәулелер ҚОӨ фокусы арқылы өтеді (175, ә-сурет). Шашыратқыш линзада қосымша өс фокусында сәулелердің жалғасы қиылысады (175, б-сурет).



174-сурет. Шашыратқыш линзада кескін салу



175-сурет. а) қосымша оптикалық өс фокустары; б) жинағыш линзадағы; в) шашыратқыш линзадағы қосымша оптикалық өске параллель сәулелердің жолы

Зат бас оптикалық өсте орналасқан нүктелік жарық көзі болып табылатын жағдайда кескін салу үшін қосымша өс қолданылады. 176-суретте $F < d < 2F$ шартындағы сәулелер жолы бейнеленген, ҚОӨ-ге параллель сәуле және линзаның O центрі арқылы өтетін сәуле пайдаланылған.

Алынған кескін шын, линзаның басқа жағында екі еселенген фокустан кейін орналасқан.



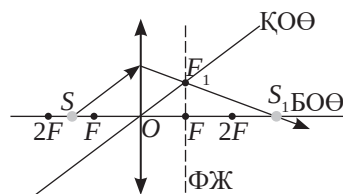
5-тапсырма

Шашыратқыш линзаның бас өсінде орналасқан жарық көзінің кескінін салыңдар.



Есте сақтаңдар!

Қосымша өсті линзаға еркін бұрыш жасай түсетін сәулелер үшін енгізу қажет. Ол түсетін сәулеге параллель жүргізіледі. Бұл жағдайда сынған сәуле жинағыш линзаның қосымша өсінің артқы фокусы арқылы өтеді (176-сурет). Шашыратқыш линза үшін сынған сәулені оның жалғасы қосымша өстің артқы фокусы арқылы өтетіндей етіп жүргізу керек.

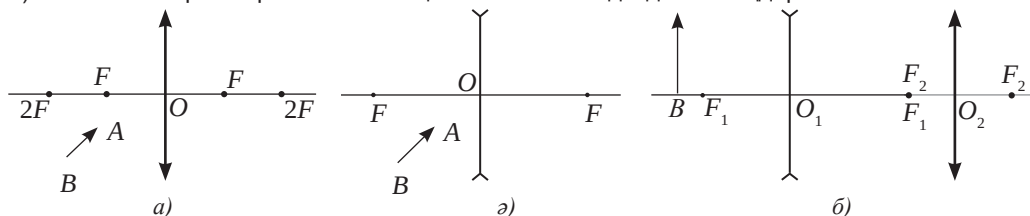


176-сурет. Қосымша өсті қолданып кескін алу



6-тапсырма

1. Шашыратқыш және жинағыш линзаларға еркін бұрыш жасай түсетін сәулелерді қолданып, зат кескінін салыңдар (177, а, б-суреттер).
2. Заттың АВ линзалар жүйесіндегі кескінін (177, б-сурет) екі әдіспен салыңдар:
 - а) ҚОӨ қолданыңдар;
 - б) екінші линза үшін бірінші линзаның кескіні зат болады деп санаңдар.



177-сурет. 6-тапсырмаға

IV Жұқа линза формуласы. Линзаның оптикалық күші. Линзалардың ұлғайтуы

Жұқа линза формуласы сендерге 8-сынып курсынан белгілі:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (1)$$

немесе
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D, \quad (2)$$

мұндағы D – линзаның оптикалық күші. Жинағыш линза үшін линза фокусы оң $F > 0$, шашыратқыш линза үшін теріс $F < 0$.

Линзалардың ұлғайтуы – кескін биіктігінің зат биіктігіне қатынасына тең физикалық шама.

$$\Gamma = \frac{H}{h}. \quad (3)$$

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d}, \quad \Gamma = \frac{f}{d}, \quad (4)$$

Егер зат кескіні үлкейтілген болса, онда ұлғайту Γ -ден үлкен $\Gamma > 1$, егер кескін кішірейтілген болса, онда $\Gamma < 1$.

Линзаның оптикалық күші – фокустық қашықтықтың кері шамасына тең физикалық шама.

$$D = \frac{1}{F}. \quad (5)$$

Оптикалық күшті диоптриямен өлшейді:

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

V Линзаның сындырушы қасиеттерінің сыну көрсеткіші мен линзаның қисықтығына тәуелділігі

Бас оптикалық өсте орналасқан нүктелік көзден шығатын сәулелер жолын қарастырайық (179-сурет). Сәуленің θ ауытқу бұрышы ΔSAS_1 үшбұрышының сыртқы бұрышы болып табылады, ол өзімен іргелес жатпайтын ішкі бұрыштардың қосындысына тең:

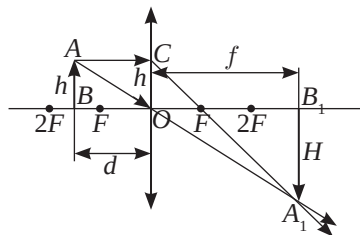
$$\theta = \alpha + \beta. \quad (6)$$

Жауабы қандай?

Неліктен шашыратқыш линза формуласында фокустық қашықтық алдына теріс таңба қойылады?

7-тапсырма

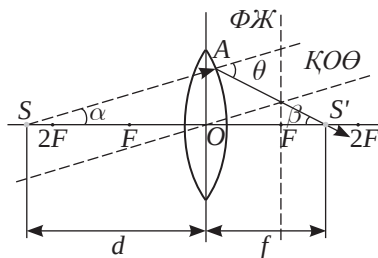
178-суретті қараңдар. h, H, d, f, F әріптерімен белгіленген шамаларға анықтама беріңдер. Ұқсас үшбұрыштарды көрсетіңдер, олар қандай белгілері бойынша ұқсас екенін анықтаңдар.



178-сурет. Жинағыш линзада сәуле салу кезінде кесінділерді белгілеу

Есте сақтаңдар!

Шын зат үшін $d > 0$, жалған зат үшін $d < 0$. Егер есептеулер нәтижесінде $f > 0$ алынса, онда кескін шын. Егер $f < 0$ алынса, онда кескін жалған.



179-сурет. Жинағыш линзада сынған сәуленің ауытқу бұрышы

Параксиалды сәулелер үшін бұрыштар кіші мәндерге ие, радиандық өлшемде олар бұрыштардың тангенстеріне тең:

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta = \frac{AO}{d} + \frac{AO}{f}. \quad (7)$$

Жарық көзін линзаның қисықтық центрі болып табылатын $2F$ нүктесіне орналастырайық, онда сыну нүктесінде сәуле сфералық бет жанамасына перпендикуляр болады (180-сурет). Жанамалармен қиылысу нәтижесінде пайда болған бұрышты φ -мен белгілеп, линзаны жұқа призма ретінде қарастырамыз. Сәуленің ығысу бұрышы призма қабырғалары өзара перпендикуляр болғандықтан, призманың сындыратын бұрышына тең. Заттан кескінге дейінгі қашықтық беттердің қисықтық радиустарына тең. Бұрыштардың қатынасы (6) мына түрге келеді:

$$\varphi = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta = \frac{AO}{R_2} + \frac{AO}{R_1}. \quad (8)$$

(7) мен (8) формулаларды жұқа призма формуласына (9) қойсақ, алатынымыз:

$$\frac{AO}{d} + \frac{AO}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{AO}{R_2} + \frac{AO}{R_1} \right).$$

AO -ға қысқартамыз:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right) \quad (10)$$

немесе
$$D = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right). \quad (11)$$

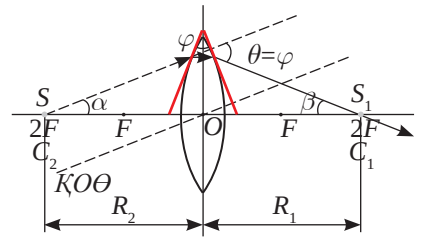
Алынған (10), (11) өрнектер жұқа линза формуласы болып табылады. Линза затының салыстырмалы сыну көрсеткіші және сфералық беттердің қисықтық радиусы қаншалықты көп болса, линзаның оптикалық күші де соншалықты көп.

$n_{21} < 1$ болғанда қосдөңес линза сәулелерді шашыратады, осы кезде оның оптикалық күші теріс мәнге ие болады.



Жауабы қандай?

Неліктен сфералық беттері бар жұқа шыныларды жапсыру нәтижесінде алынған қосдөңес ауа линзасы суға салғанда, сәулелерді шашыратады?



180-сурет. Линзаның қисықтық центрі арқылы өткен сәуленің жолы

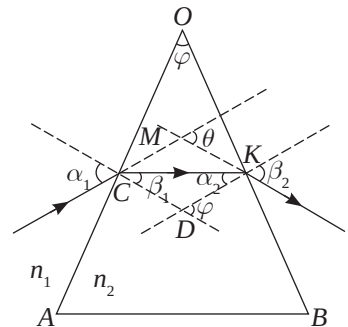


Маңызды ақпарат

Призмаға түсетін жарық сәулесі OA және OB қырларынан өту барысында екі рет сынады. Егер призма ортаға қарағанда оптикалық тығыз материалдан жасалса, онда сәуле призма табанына θ бұрышқа ауытқиды:

$$\theta = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \varphi, \quad (9)$$

мұндағы φ – призманың сындырушы бұрышы (181-сурет).



181-сурет. Жұқа призмадан өту кезінде сәуленің ауытқуы

Бақылау сұрақтары

1. Линза деп нені атайды? Линза жазықтығының негізгі нүктелері мен сызықтарын атаңдар.

2. Жинағыш және шашыратқыш линзаларда кескін салу үшін қолданылатын сәулелердің жолын көрсетіңдер.
3. Жинағыш линза қандай кескін береді? Кескін түрі неге тәуелді?
4. Шашыратқыш линза қандай кескін береді?
5. Қандай жағдайларда кескін салу үшін қосымша өсті қолдану қажет?
6. Жұқа линза формуласы қандай шамаларды байланыстырады?
7. Салыстырмалы сыну көрсеткіші линзаның оптикалық күшіне қалай әсер етеді?



Жаттығу

25

1. Бас оптикалық өсте жинағыш линза центрінен $d > 2F$ қашықтықта орналасқан нүктелік жарық көзінің кескінін салыңдар.
2. Жинағыш линзаның фокустық қашықтығы $F = 10$ см. Егер денені шексіздіктен жинағыш линзадан $d = 2$ см қашықтыққа жылжытса, оның кескінінің орын ауыстыруы қандай болатынын анықтаңдар. Дене бас оптикалық өске перпендикуляр орналасқан.
3. Шам жарығының биіктігі $h = 5$ см. Линза экранда осы шамның биіктігі $H_1 = 15$ см шын кескінін береді. Линзаны қозғамай, шамды линзадан ары $\Delta d = 1,5$ см қашықтыққа жылжытып, экранды қозғалтып, тағы да биіктігі $H_2 = 10$ см кескін алды. Линзаның фокустық қашықтығын анықтаңдар.
4. Линзаның көмегімен жазық заттың $\Gamma_1 = 2$ есе үлкейтілген шын кескінін алады. Егер затты линзаға қарай $\Delta d = 1,5$ см-ге жылжытса, онда кескін $\Gamma_1 = 3$ есе үлкейтілген болады. Линзаның фокустық қашықтығын анықтаңдар.
- 5*. Жұқа шашыратқыш линзаға бас оптикалық өске параллель цилиндрлі жарық шоғы түзіледі. Шоқ диаметрі $d = 5$ см. Линзаның артында $l = 20$ см қашықтықта оның бас оптикалық өсіне перпендикуляр экран орналасқан. Экрандағы жарық шоғының диаметрі $D = 15$ см. Линзаның фокустық қашықтығын анықтаңдар.

Эксперименттік тапсырма

Күн сәулелерін ғана қолданып, жинағыш және шашыратқыш линзалардың фокустық қашықтығын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

«Оптикалық аспаптардағы линзалар жүйесі» тақырыбына PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар.

§ 26. Оптикалық аспаптар

Күтілетін нәтиже:

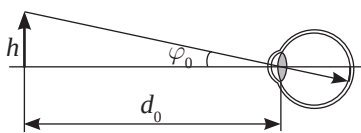
Осы параграфты игергенде:

- телескоп, микроскоп және лупадағы сәулелік жолын салып, түсіндіре аласыңдар.

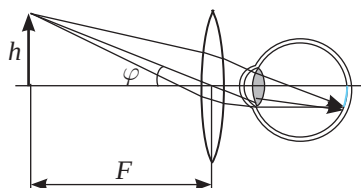


Естеріңе түсіріңдер!

Көздің торқабығында алынған кескін әрқашан шын, кішірейтілген, төңкерілген. Жинағыш линзаның рөлін көзбұршағы атқарады. Кескіннің айқындылығы көздің аккомодация – көзбұршағы беттерінің қисықтығын өзгерту қабілетімен қамтамасыз етіледі.



а)



ә)

182-сурет. Лупада көру бұрышының өзгеруі

I Оптикалық аспаптың бұрыштық ұлғайтуы

Лупаның, микроскоптың және телескоптың негізгі міндеті – қарастырылатын нысандардың көру бұрышын ұлғайту.

Оптикалық аспаптың бұрыштық ұлғайтуы – денені оптикалық аспаппен қарағандағы көру бұрышының тангенсінің ең жақсы көру қашықтығынан қарағандағы көру бұрышының тангенсіне қатынасы.

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_0}. \quad (1)$$

Оптикалық жүйенің айыру қабілеттілігі – бақыланатын нысанның бір-бірінен ерекшеленетін элементтері арасындағы қашықтық.

Оптикалық аспап және бақылаушының көзі бірыңғай оптикалық жүйені құрайды. Жүйенің оптикалық күші осы жүйеге кіретін аспаптардың оптикалық күштерінің қосындысымен анықталады.

II Көз оптикалық аспап ретінде

Қалыпты көз тыныштық күйінде алыстағы заттардың кескінін береді. Затты бақылаушы көзіне жақындатқанда, көзбұршағының қисықтығы артады, фокустық қашықтық кемиді, зат көрінетін бұрыш φ – көру бұрышы артады. Қалыпты көз үшін ең жақсы көру қашықтығы $d_0 = 25$ см. Ешқандай аспапсыз, жай көзбен қарағанда көру бұрышы ең жақсы көру қашықтығымен анықталады (182, а-сурет):

$$\varphi_0 = \operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{h}{d_0}. \quad (2)$$

Көздің аккомодация қабілеті шектеулі, сондықтан затты тікелей көзге жақындату мүмкін емес, мұндай жағдайда оптикалық аспаптар қолданылады.

III Лупа

Егер затты линзаның фокусына орналастырса $d = F$, онда фокус арқылы өткеннен кейін сәулелер

адам көзіне параллель шоқ түрінде түседі. Мұндай шарттарда қалыпты көз шоқты торқабықтағы нүктеге аккомодациясыз түсіреді, көз шаршамайды. Осы кезде торқабықтағы кескін және φ көру бұрышы артады, көру бұрышы мынаған тең болады (184, ә-сурет):

$$\varphi = \operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{F}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулаларды (1) формулаға қоямыз. Лупаның бұрыштық ұлғайтуының формуласы мына түрге келеді:

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi_0} = \frac{\varphi}{\varphi_0}$$

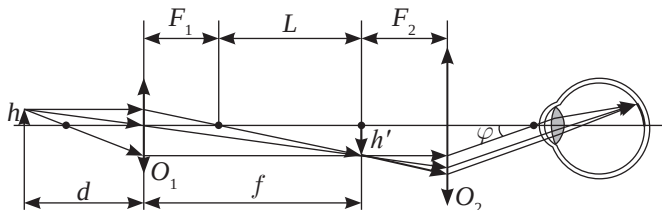
немесе

$$\gamma = \frac{d_0}{F}. \quad (4)$$

Лупаның бұрыштық ұлғайтуы ең жақсы көру қашықтығының линза фокусына қатынасымен анықталады.

IV Микроскоп

Микроскоптың оптикалық жүйесі O_1 объективтен және O_2 окулярдан (183-сурет) тұрады. Қалыпты көз үшін ең жақсы жағдай h' аралық кескін O_2 окулярдың алдыңғы фокалдік жазықтығында орналасқанда орындалады. Бұл жағдайда зат шексіздікке алыстайды, көз сәулелерді торқабыққа аккомодациясыз түсіреді.



183-сурет. Микроскоптағы сәулелер жолы

Белгілі формула бойынша бұрыштық ұлғайтуды анықтаймыз:

$$\gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0}, \quad (5)$$

мұндағы $\varphi_0 = \frac{h}{d_0}$ (6) – аспапсыз қараған жағдайдағы көздің көру бұрышы,

$\varphi = \frac{h'}{F_2}$ (7) – объектив кескіні окулярдың фокалдік жазықтығында орналасу шартында микроскоп арқылы қарағандағы көру бұрышы. (6) және (7) формулаларды (5) формулаға қойсақ, алатынымыз:

$$\gamma = \frac{h' d_0}{F_2 h}. \quad (8)$$

(8) формулада $\frac{h'}{h}$ қатынасы объективтің сызықтық ұлғайтуы, оны линзадан кескінге және затқа дейінгі қашықтықтардың қатынасы ретінде табамыз:

Жауабы қандай?

Неліктен сызықтық ұлғайтуы 40-тан артық линзалар практикада қолданылмайды?

Бұл қызық!

Оптикалық микроскоп элементтер арасындағы 0,20 мкм-ге дейінгі қашықтықтың құрылымын ажыратуға мүмкіндік береді, мұндай микроскоптың айыру қабілеттілігі шамамен 0,20 мкм немесе 200 нм. Микроскоптың шекті айыру қабілеттілігінің жарықтың толқындық қасиеттеріне тәуелді шегі бар, ол мәнге мың еселенген сызықтық ұлғаюда жету мүмкін болады.

$$\Gamma_{об} = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d} \approx \frac{F_1 + L}{F_1}, \quad (9)$$

мұндағы L – объектив пен окуляр фокустары арасындағы қашықтық.

Микроскоптарда объектив қысқафокусты болғандықтан, $F_1 \ll L$ болады да, (9) формула мына түрге келеді:

$$\Gamma_{об} = \frac{L}{F_1}. \quad (10)$$

(10) формуланы (8) формулаға қойсақ, алатынымыз:

$$\gamma = \frac{Ld_0}{F_1F_2}, \quad (11)$$

мұндағы d_0 – ең жақсы көру қашықтығы;

F_1, F_2 – объектив пен окулярдың фокустық қашықтықтары;

L – объектив пен окуляр фокустарының қашықтығы – микроскоп тубусының оптикалық ұзындығы.

(10) және (4) формулаларды ескерсек, (11) формуладан алатынымыз:

$$\gamma = \Gamma_{об} \cdot \Gamma_{ок}. \quad (12)$$

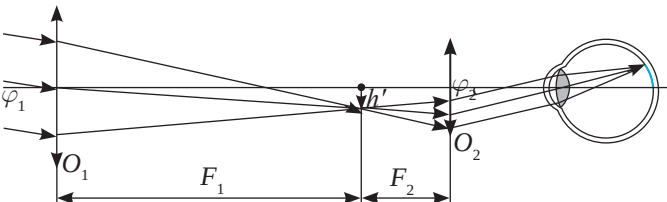
Сонымен қатар оптикалық микроскоптың сызықтық ұлғайтуы объектив пен окулярдың сызықтық ұлғайтуларының көбейтіндісімен де анықталады:

$$\Gamma = \Gamma_{об} \cdot \Gamma_{ок}.$$

V Телескоп

Телескоп – аспан денелерін бақылауға арналған көру түтігі. Линзалардан жасалған телескопты рефрактор деп атайды. Объективі ойыс айнаға алмастырылған телескопты рефлектор деп атайды.

Аспаптың объективі мен окуляры тубуста объективтің O_1 артқы фокусы окулярдың O_2 алдыңғы фокусымен сәйкес келетіндей орналасады. Фокустар сәйкес келгенде сәулелер окулярдан параллель шок түрінде шығады, бұл нысанды аккомодациясыз, яғни көз бұлшық еттеріне күш түсірмей бақылауға мүмкіндік береді (184-сурет). Объектив лупадағыдай окулярмен қаралатын алыстатылған h' заттың кішірейтілген кескінін береді.



184-сурет. Көру түтігінде сәулелердің таралу жолы



Бұл қызық!

Телескопта барлық жұлдыздар жарқырайтын нүктелер түрінде көрінеді, бірақ бұрыштық ұлғайту арқасында бір-бірінен алыстайды, бұл қос жұлдыздарды, үштік жұлдыздарды және жұлдыздар шоғырын анықтауға мүмкіндік береді. Объективінің диаметрі 12,5 см телескоп бір-бірінен 1" бұрыштық қашықтықта орналасқан екі жұлдызды ажырата алады, телескоптың жартыметрлік объективі бір-бірінен 25" бұрыштық қашықтықта орналасқан екі жұлдызды ажырата алады.



Жауабы қандай?

1. Неліктен оптикалық аспаптарда шексіз үлкен ұлғайтуға қолжеткізу мүмкін емес?
2. Неліктен микроскоп объективі қысқафокусты, ал көру түтігі объективі ұзынфокусты?

φ_1 бұрышын сәл ғана алыстатылған денеге жай көзбен қарағандағы көру бұрышына тең деп алуға болады. φ_1 және φ_2 бұрыштарын объектив кескінінің h' биіктігі арқылы өрнектейік:

$$\varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{h'}{F_1} \quad \text{және} \quad \varphi_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{h'}{F_2}.$$

Оптикалық аспаптың бұрыштық ұлғайтуы оптикалық аспап арқылы көру бұрышының тангенсінің жай көзбен қарағандағы көру бұрышының тангенсіне қатынасына тең:

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{h'}{F_2} \cdot \frac{F_1}{h'} \quad \text{немесе} \quad \gamma = \frac{F_1}{F_2}. \quad (13)$$

Көру түтігінің бұрыштық ұлғаюы объектив пен окулярдың фокустық қашықтықтарының қатынасына тең.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Бала көзілдірігін шешіп кітап оқиды. Ол кітапты көзінен $d = 16$ см қашықтықта ұстайды. Оның көзілдірігінің оптикалық күші қандай?

Берілгені: $d = 16$ см	ХБЖ 0,16 м	Шешуі: Жай көзбен қарағанда $D_{\text{көз}} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, (1)
$D_{\kappa} - ?$		мұндағы f – көзбұршағынан торқабыққа дейінгі қашықтық

Егер көзілдірік такса, онда $D_{\kappa} + D_{\text{көз}} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{f}$, (2)

мұндағы $d_0 = 25$ см – ең жақсы көру қашықтығы.

(1) және (2) теңдеулерді қатар шешіп, көзілдіріктің оптикалық күші үшін алаты-

нымыз: $D_{\kappa} = \frac{d - d_0}{dd_0}$.

$$D_{\kappa} = \frac{0,16 \text{ м} - 0,25 \text{ м}}{0,16 \text{ м} \cdot 0,25 \text{ м}} = -2,25 \text{ дптр}.$$

Жауабы: $D_{\kappa} = -2,25$ дптр.

Бақылау сұрақтары

1. Оптикалық жүйе дегеніміз не?
2. Бұрыштық ұлғайтудың сызықтық ұлғайтудан айырмашылығы неде?
3. Лупаның, микроскоптың, телескоптың бұрыштық ұлғайтуы неге тең?

★ Жаттығу

26

1. Лупа ретінде оптикалық күші +8 дптр линза қолданылған. Осы линзаның ұлғайтуын анықтаңдар.
2. Ұлғайтуы он екі еселенген және ұзындығы 26 см көру түтігін тұрғызу үшін қандай линзалар керек?

3. Микроскоп объективінің фокустық қашықтығы $F_{об} = 0,5$ см, ал микроскоп объективі мен окуляры арасындағы қашықтық $L = 16$ см. Микроскоптың ұлғайтуы $\Gamma = 200$. Окулярдың ұлғайтуын анықтаңдар.
4. Көру қабілеті қалыпты адам оптикалық күші $+5$ дптр көзілдірік арқылы терезеге қарап тұр. Егер адам нысанды анық көретін болса, нысан қандай қашықтықта орналасқан?
5. Егде жастағы адам үшін жақсы көру қашықтығы 60 см. Осы қашықтықтың 20 см-ге дейін қысқаруын қамтамасыз ететін линзаның оптикалық күшін анықтаңдар. Жауапты ХБЖ-да өрнектеп, ондық үлеске дейін дөңгелектер. Бұл жағдайда қандай линза қолданылады: жинағыш па әлде шашыратқыш па?
6. Оптикалық жүйе фокустық қашықтықтары 20 см және 10 см болатын екі жинағыш линзадан тұрады. Линзалардың арақашықтығы 30 см. Дене бірінші линзадан 30 см қашықтықта орналасқан. Дененің кескіні екінші линзадан қандай қашықтықта орналасқанын анықтаңдар. Сәулелердің линзалар жүйесіндегі жолын салыңдар.

Эксперименттік тапсырма

1. Көру түтігінің ұзындығын өздерің қалағандай арттырып, линзалардың оптикалық күштерін анықтаңдар.
2. Жасалған есептеулер нәтижесінде көру түтігін дайындаңдар.
3. Есеп шығару үлгісін қолданып, өздерің кітап оқу үшін қажетті көзілдіріктің оптикалық күшін анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Галилей мен Кеплердің көру түтіктерінің ұқсастықтары мен айырмашылықтары.
2. Телескоп түрлері.

Екі ортаның шекарасындағы көру эффектiлерi



Жауабы қандай?

1. Неліктен су қоймасының тереңдігі бізге шын мәніндегі тереңдігінен таяз болып көрінеді?
2. Неліктен найзамен балық аулауды үйренушілерге бастапқыда балыққа тигізу қиындық тудырады (185-сурет)?



1-тапсырма

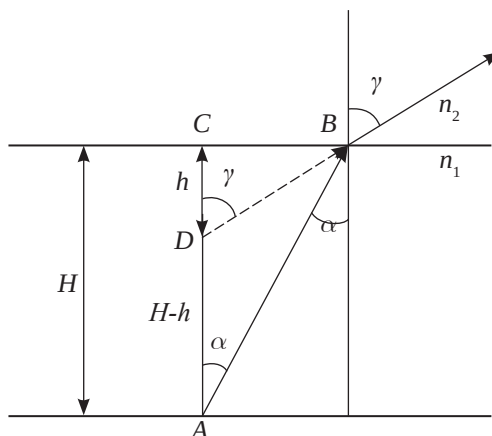
1. 186-суретті қараңдар. Суретте бейнеленген сәулелер жолын түсіндіріңдер.
2. Су қоймасының шын мәніндегі тереңдігі H оның болжам бойынша алынған h тереңдігінен неше есе артық екенін анықтаңдар.

Ұсыныс:

1. Салулар нәтижесінде алынған $\triangle ACB$ және $\triangle DCB$ үшбұрыштарының ортақ CB қабырғаларын H және h катеттері арқылы өрнектеңдер.
2. Алынған теңдеулердің оң жақ бөліктерін теңестіріңдер, тереңдіктердің $\frac{h}{H}$ қатынасын жазыңдар.
3. Су қоймасы түбіндегі құбылыс кіші сыну бұрышымен орындалады деп алып, $\frac{h}{H} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$ екенін дәлелдендер.



185-сурет. Найзамен балық аулау



186-сурет. Су қоймасының болжам бойынша алынған тереңдігі



Жауабы қандай?

- 1) су қоймасының болжам бойынша алынған тереңдігі шын мәнінен 1,33 есе кіші;
- 2) ұшып бара жатқан құс сүңгуір адам үшін су бетінен шын мәніндегі биіктігінен 1,33 есе артық биіктікке алыстатылғандай болып көрінеді деп тұжырымдауға бола ма?



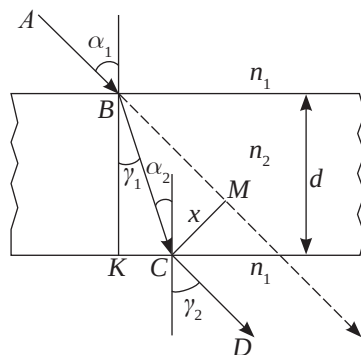
2-тапсырма

1. Мөлдір жазықпараллельді пластинаға түсетін AB сәулесі екі ортаның шекарасында екі рет сынып, өзінің таралу бағытын өзгертпейтінін дәлелдендер: $\alpha_1 = \gamma_2$ (187-сурет).
2. Пластина қалыңдығын арттырғанда сәуленің ығысуы артатынын дәлелдендер:

$$x = \frac{d \sin(\alpha_1 - \gamma_1)}{\cos \gamma_1}.$$

Ұсыныс:

1. Әрбір шекара үшін сыну заңын жазыңдар.
2. ΔBKC және ΔBCM тікбұрышты үшбұрыштарын қарастырыңдар. BC гипотенузасын пластинаның қалыңдығы және сәуленің ығысуы арқылы өрнек-теңдер.
3. Сәуленің x ығысуын пластина қалыңдығы арқылы өрнек-теңдер.
3. Жазықпараллельді пластинада сәуленің ығысуының қолданылуына мысал келтіріңдер. Сәуленің ығысуын практикада қолдануға байланысты ұсыныс айтыңдар.



187-сурет. Жазықпараллельді пластинадағы сәулелер жолы



Бұл қызық!

Көрінетін жарықты зерттеу кезінде сәулеленуді жинақтау үшін линзалар мен айналар пайдаланылады. Телескоп пен спектроскоптың пайда болуы адамға ғаламда болып жатқан таңғажайып және бай құбылыстар әлемін ашты. Микроскоптың пайда болуы биологияда үлкен серпіліс жасады. Ғылыми аспаптардың маңызды бөлігінің бірі — линза. Линзасыз микроскоп та, телескоп та, спектроскоп та, фотоаппарат та, проектор да болмас еді (188-сурет). XX ғасырда оптикалық зерттеулер негізінде негізгі физикалық теориялар: салыстырмалылық теориясы және кванттық физика пайда болып, қарқынды дамыды. Лазерлердің пайда болуы ғылым мен техниканың түрлі салаларында жаңа мүмкіндіктерді ашты. Оптиканың практикалық маңызы және оның ғылымның басқа салаларына әсері ерекше маңызға ие болды.



188-сурет. Оптикалық аспаптар

7-тараудың қорытындысы

Оптикалық аспаптар		Негізгі формулалар			
Жазық айна	$d = -f$	Кескін саны $n = \frac{360^{\circ}}{\alpha} - 1$			
Ойыс айна	$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}; \quad F = \frac{R}{2}$	Ұлғайту $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$ Оптикалық күш $D = \frac{1}{F}$			
Жинағыш линза	$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F};$ $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right);$ $D = (n_{21} - 1)\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right)$				
Дөңес айна, шашыратқыш линза	$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}$				
Аспаптардың оптикалық жүйесінің ұлғайтуы					
Оптикалық аспаптар		Бұрыштық		Сызықтық	
		$\gamma = \frac{tg \varphi}{tg \varphi_0}$		$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$	
Лупа		$\gamma = \frac{d_0}{F}$		$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$	
Микроскоп		$\gamma = \frac{Ld_0}{F_1F_2}$		$\Gamma = \Gamma_{ок} \cdot \Gamma_{об}$	
Телескоп		$\gamma = \frac{F_1}{F_2}$			
Құбылыс		Заңдар мен формулалар			
Сыну		$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}; \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}; \quad n = \frac{c}{v}; \quad n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$			
Шағылу, толық ішкі шағылу		$\angle \alpha = \angle \beta,$ $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_1}$			

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктердің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
φ	затқа оптикалық аспаппен қарау бұрышы	рад, °	f	линзадан кескінге дейінгі қашықтық	м
φ_0	затқа жай көзбен қарау бұрышы	рад, °	d	линзадан затқа дейінгі қашықтық	м
γ	бұрыштық ұлғайту		α	түсу бұрышы	рад, °

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
d_0	ең жақсы көру қашықтығы, 25 см	м	α_0	толық шағылудың шекті бұрышы	рад, °
F	линзаның фокусы	м	β	шағылу бұрышы	рад, °
L	микроскоп окуляры мен объективі фокустарының арақашықтығы	м	γ	сыну бұрышы	рад, °
Γ	сызықтық ұлғайту		n_1, n_2	абсолют сыну көрсеткіштері	
H	кескіннің биіктігі	м	n_{21}	салыстырмалы сыну көрсеткіші	
h	заттың биіктігі	м	v_1, v_2	жарықтың әртүрлі ортадағы жылдамдығы	м/с
R	айнаның, линзаның қисықтық радиусы	м	D	линзаның оптикалық күші	дптр

Заңдар

Шағылу заңы: түсу бұрышы шағылу бұрышына тең: $\angle\alpha = \angle\beta$. Түскен сәуле, шағылған сәуле және сәуленің екі ортаның шекарасына түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады.

Сыну заңы: екі орта үшін түсу бұрышының синусының сыну бұрышының синусына қатынасы тұрақты шама. Ол екінші ортаның бірінші ортаға қатысты салыстырмалы сыну көрсеткішіне тең.

Түскен сәуле, сынған сәуле және сәуленің екі ортаның шекарасына түсу нүктесіне тұрғызылған перпендикуляр бір жазықтықта жатады.

Глоссарий

Абсолют сыну көрсеткіші – жарықтың вакуумда таралу жылдамдығы берілген ортада таралу жылдамдығынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама.

Линзаның бас оптикалық өсі – линза беттерінің қисықтық центрлері арқылы өтетін түзу.

Линзаның оптикалық центрі – бас оптикалық өстің линза жазықтығымен қиылысу нүктесі.

Микроскоп тубусының оптикалық ұзындығы – объектив пен окуляр фокустарының қашықтығы.

Салыстырмалы сыну көрсеткіші – жарықтың бірінші ортадағы таралу жылдамдығы екінші ортадағы таралу жылдамдығынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама.

Линзаның қосымша оптикалық өсі – линзаның оптикалық центрі арқылы өтетін кез келген түзу.

Телескоп – аспан денелерін бақылауға арналған көру түтігі.

Сызықтық ұлғайту – кескін биіктігінің дене биіктігіне қатынасына тең физикалық шама.

Оптикалық аспаптың бұрыштық ұлғайтуы – денені оптикалық аспаппен қарағандағы көру бұрышының тангенсінің жақсы көру қашықтығынан қарағандағы көру бұрышының тангенсіне қатынасы.

САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

XX ғасырдың басында тұжырымдалған А.Эйнштейннің арнайы салыстырмалылық принципі ғалымдардың ғылыми көзқарасын түпкілікті өзгертті. Бұл теорияға сәйкес жарық жылдамдығы санақ жүйесін таңдауға тәуелді емес, әртүрлі санақ жүйелеріндегі уақыт пен кеңістік түрліше. Кеңістік пен уақыт туралы көзқарастардың өзгеруіне электрдинамиканың дамуы себеп болды.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

- Галилейдің салыстырмалылық принципі мен Эйнштейннің салыстырмалылық теориясын сәйкестендіруді;
- Эйнштейн постулаттары мен Лоренц түрлендірулерін есептер шығаруда қолдана отырып, релятивистік эффектін түсіндіруді;
- зарядталған бөлшектердің үдеткіштерінің жұмыс істеу принципін, оларда орын алатын релятивистік эффектін ескере отырып түсіндіруді үйренесіңдер.



§ 27. Салыстырмалылық теориясының постулаттары. Лоренц түрлендірулері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Галилейдің салыстырмалылық принципі мен Эйнштейннің салыстырмалылық теориясын сәйкестендіре аласыңдар;
- Эйнштейн постулаттары мен Лоренц түрлендірулерін есептер шығаруда қолдана отырып, релятивистік эффектілерді түсіндіре аласыңдар.

I Механикадағы салыстырмалылық принципі

Классикалық механикада салыстырмалылық принципі динамиканың үш негізгі заңын кез келген инерциялық санақ жүйесінде қолдануға мүмкіндік береді. Бір санақ жүйесінен екіншісіне өту кезінде денелердің жылдамдықтарын, орын ауыстыруларын және координаталарын анықтау үшін орын ауыстырулар мен жылдамдықтарды қосу формулалары мен Галилей түрлендірулері қолданылады. Дене жылдамдығының өзгеруі санақ жүйесін таңдауға тәуелді емес, оларда барлық механикалық құбылыстар бірдей өтеді.

II Жарық жылдамдығының шектілігі және шектеулі болуы

XIX ғасырдың екінші жартысында Максвелл электрдинамика заңдарын тұжырымдады.

Санақ жүйесін таңдаудың электромагниттік құбылыстардың өтуіне әсері туралы мәселені қарастырып, ғалымдар электрдинамика мен Галилейдің салыстырмалылық принципі арасындағы қайшылықты анықтады. Жылдамдықтарды қосу формуласына сәйкес жарық жылдамдығы тек бір санақ жүйесінде ғана $3 \cdot 10^8$ м/с-қа тең болады. Басқа санақ жүйелерінде жарық жылдамдығы бұл мәннен кем немесе артық және $\vec{c} + \vec{v}$ болуы керек, мұндағы $\vec{v}$ – қозғалатын санақ жүйесінің жылдамдығы. Мұндай қорытынды салыстырмалылық принципі электромагниттік құбылыстар үшін орындалмайтынын немесе Максвелл теориясы орындалмайтынын көрсетті.

III «Әлемдік эфир» электрдинамикадағы ерекше санақ жүйесі ретінде. Майкельсон және Морли тәжірибесі

XIX ғасырда ғалымдар электромагниттік тербелістер мен олармен байланысты процестер барлық кеңістікті толтыратын және барлық заттарға енетін эфирде – серпімді ортада жүзеге асатынына сенімді болды. Голланд физигі Х.Лоренц барлығына енетін «әлемдік эфир» – ерекше санақ жүйесі, оған қатысты Максвелл электрдинамикасының заңдары

1-тапсырма

Дене координаталары және уақыт үшін жылдамдықтар мен орын ауыстыруларды қосу формулаларын және Галилей түрлендірулерін жазыңдар.

Естеріңе түсіріңдер!

Максвелл теориялары қорытындыларының бірі – жарық жылдамдығының шектілігі және шектеулі болуы. Вакуумда

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

басқа орталарда

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}.$$

орындалады деп болжады. Вакуумдағы жарық жылдамдығы «әлемдік эфирге» қатысты барлық бағытта бірдей мәнге ие болады.

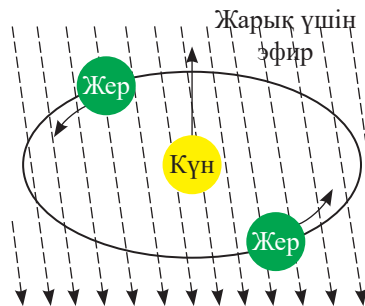
Егер «әлемдік эфирмен» байланысқан санақ жүйесінде жарық жылдамдығы $3 \cdot 10^8$ м/с болса, онда басқа санақ жүйелеріндегі жылдамдықтың өзгерісі кезінде «эфирлік жел» байқалуы керек. Ол таңдалған санақ жүйесінің эфирге қатысты қозғалысы әсерінен пайда болады. «Эфир желін» анықтауға арналған тәжірибені 1881 жылы америкалық ғалымдар А.Майкельсон және Э.Морли жасады. Тәжірибе барысында жарық жылдамдығының өте үлкен болуынан қиындық туындады. «Эфир желін» анықтау үшін жылдамдығы біршама үлкен санақ жүйесі қажет. Майкельсон мен Морли орбита радиусы үлкен болғандықтан, түзу сызықты орбитадан 3 мм-ге ығысып, 1 с ішінде кеңістікте 30 км жүріп өтетін Жерді санақ жүйесі ретінде алды (189-сурет).

Сынап бетінде қалқып жүретін жазық тақта – Майкельсон интерферометрінің көмегімен ғалымдар Жердің эфирге қатысты жылдамдығын анықтайды. Мұндай шарттар интерферометр Жердің қозғалыс бағыты бойынша 90° -қа бұрылған кезде оның иінінің ұзындығын сақтап қалу үшін қажет болды.



Жауабы қандай?

Майкельсон мен Морли тәжірибесінде Жерді инерциялық санақ жүйесі деп санауға бола ма?



189-сурет. «Әлемдік эфир» электромагниттік толқындардың санақ жүйесі ретінде

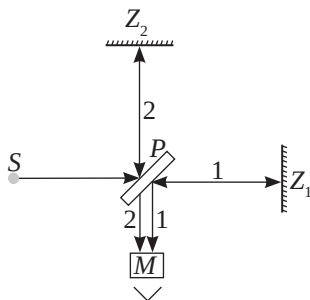


Естеріңізге түсіріңдер!

Интерферометрдің жұмыс істеу принципі

Тақтаға S жарық көзі орнатылған. Жарық көзі шығаратын сәуле оның таралу бағытына 45° жасай орналастырылған түссіз P пластина арқылы өтеді (190-сурет).

Пластина сәулені екіге бөледі: біріншісі екі рет сынып, Жердің қозғалыс бағыты бойынша таралады, Z_1 айнадан шағылып, пластинаға, одан микроскопқа қайта оралады. Екінші сәуле пластинадан шағылып, Жердің қозғалыс бағытына перпендикуляр бағытта таралады, Z_2 айнадан шағылып, M микроскопқа түседі. Пластинадан айнарға дейінгі қашықтық: $pZ_1 = pZ_2$.



190-сурет. Майкельсон интерферометріндегі сәулелер жолы



2-тапсырма

1. c – жарық жылдамдығы мен v – «әлемдік эфир» жылдамдығын классикалық қосу формулаларын қолданып, 1- және 2-жарық сәулелерінің таралу жылдамдықтарын анықтаңдар. Интерферометрдің иіндері $pZ_1 = pZ_2 = L$.
2. Екі бағытта таралу уақыттарының айырымы $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ екенін дәлелдендер.

Егер жарық жылдамдығы санақ жүйесі қозғалысының жылдамдығына тәуелді болса, онда сәулелердің пластинадан айналарға дейінгі таралу және кері қайту уақыты әртүрлі болуы керек. Ғалымдардың есептеулері бойынша жарықтың айналарға жету жылдамдығындағы айырмашылық 1 және 2-сәуленің таралу жолдарының айырымына алып келуі керек болатын. Себебі 1-сәуленің таралу уақыты 2-сәуленің таралу уақытынан көп. Есептеулер сәулелердің таралу жылдамдықтарының айырма-

шылығы $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ екенін көрсетті, мұндағы v – Жердің «әлемдік эфирге» қатысты жылдамдығы.

M бақылау нүктесіне жеткен сәтте 1- және 2-сәулелердегі $\vec{E}$ және $\vec{B}$ векторлары тербеліс фазалары бойынша әртүрлі болады. Демек, M нүктесінде интерференциялық көрініс пайда болуы керек. Аспапты 90° -қа бұрған кезде экрандағы интерференциялық көрініс ығысады, себебі сәулелердің таралу жолдарының айырымы таңбасы бойынша өзгереді. Екінші сәуленің таралу уақыты бірінші сәуленің таралу уақытынан көп болады. Майкельсон мен Морли тәжірибесі теріс нәтиже берді: олар интерференциялық көріністің ығысуын бақыламады. Ғалымдар жарықтың таралу жылдамдығы санақ жүйесін таңдауға тәуелді емес, «әлемдік эфир» жоқ деген қорытындыға келді.

IV Лоренц түрлендірулері

Майкельсон мен Морли тәжірибесі нәтижелерін зерттеп, Лоренц Жердің қозғалыс бағыты бойынша және сәуленің таралу бағыты бойынша орналасқан интерферометрдің иіні эфирмен әрекеттесу барысында қысқарады деген қорытындыға келді. Ол мынаған тең болады:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (1)$$

мұндағы $l_0 = pZ_1$ – интерферометрдің иіні; v – Жердің «әлемдік эфирге» қатысты жылдамдығы.

Мұндай шарттарда бірдей жылдамдықтармен таралатын екі сәуленің таралу уақыты бірдей болады. Осындай болжам және кинематика теңдеулері негізінде Лоренц дененің бір инерциялық жүйеден екіншісіне өтуі кезіндегі координатасын және қозғалыс уақытын есептеудің жалпылама формулаларын қорытып шығарды:

$$x_1 = \frac{x_2 + v \tau_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ немесе } x_2 = \frac{x_1 - v \tau_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad (2)$$

$$\tau_1 = \frac{\tau_2 + \frac{v}{c^2} x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ немесе } \tau_2 = \frac{\tau_1 - \frac{v}{c^2} x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (3)$$

мұндағы x_1, τ_1 – дене координатасы және қозғалмайтын санақ жүйесіндегі процестің ұзақтығы, x_2, τ_2 – дене координатасы және қозғалатын санақ жүйесіндегі процестің ұзақтығы; v – қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.



3-тапсырма

Лоренц алған формулалар сәйкестік принципін қанағаттандыратынын дәлелдеңдер. Қозғалатын санақ жүйесінің жылдамдығының аз мәнінде $v \ll c$ (2) және (3) формулалардан Галилей түрлендірулерінің формулаларын аламыз:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 + v\tau \\ \text{немесе } x_2 &= x_1 - v\tau; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\tau_1 = \tau_2. \quad (5)$$

V А.Эйнштейннің салыстырмалылық теориясының постулаттары

Майкельсон мен Морли тәжірибесі нәтижелерін А.Эйнштейн мүлдем басқаша тұжырымдады. Ол кеңістік пен уақыт туралы классикалық көзқарастан бас тартып, салыстырмалылық принципі және жарық жылдамдығының тұрақтылық принципі негізінде екі постулатты қорытып шығарды:

1. *Барлық физикалық құбылыстар әртүрлі инерциялық жүйелерде бірдей жүреді.*
2. *Вакуумдағы жарық жылдамдығы барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей. Ол жарық көзінің жылдамдығына да, бақылаушының жылдамдығына да тәуелді емес.*

Эйнштейн постулаттарына сәйкес кеңістік пен уақыт абсолютті емес. Олар бір санақ жүйесінен екінші санақ жүйесіне өткенде өзгереді. Бұл эффект дененің жарық жылдамдығымен шамалас жылдамдықпен қозғалысы кезінде бақыланады.

VI Релятивистік эффектiлер

Эйнштейннің салыстырмалылық теориясымен сипатталатын құбылыстарды релятивистік (лат. «*relatives*» – салыстырмалы) деп атайды. Мұндай эффектiлерге мыналар жатады:

1. Уақыттың баяулауы:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (6)$$

мұндағы τ_0 – процестің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты ұзақтығы, τ – процестің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты ұзақтығы.

2. Ұзындықтың қысқаруы:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (7)$$

мұндағы l_0 – қозғалатын санақ жүйесіндегі дененің ұзындығы, l – қозғалмайтын санақ жүйесіндегі дененің ұзындығы.

3. Жылдамдықтарды қосу:

$$v_1 = \frac{v_2 + v}{1 + \frac{v v_2}{c^2}} \text{ немесе } v_1 = \frac{v_2 - v}{1 - \frac{v v_2}{c^2}}, \quad (8)$$

мұндағы v_1 – дененің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы, v – қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы, v_2 – дененің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.



4-тапсырма

Интернет желісінен «уақыт», «кеңістік» ұғымдарының анықтамасын табыңдар. Ұғымдардың анықтамаларын, олардың авторларын және ақпарат көздерін жазыңдар. Анықтамаларды салыстырып, олардың ұқсастықтары мен айырмашылықтарын табыңдар. Алынған мәліметтер негізінде уақыт пен кеңістік туралы өз ойларыңды тұжырымдаңдар.



5-тапсырма

1. (2) және (3) Лоренц түрлендірулерін қолданып, релятивистік эффектiлер үшін уақыттарды (6), ұзындықтарды (7) және жылдамдықтарды қосудың формулаларын алыңдар.
2. Салыстырмалылықтың релятивистік теориясы формулалары сәйкестік принципіне қанағаттандыратынын дәлелдендер, дене жылдамдығының және қозғалатын санақ жүйесі жылдамдығының аз мәнінде (6), (7) және (8) формулалар мына түрге келеді: $l = l_0$; $\tau_1 = \tau_0$; $\vec{v}_1 = \vec{v} + \vec{v}_2$.



Жауабы қандай?

1. Уақыт дегеніміз не? Кеңістік дегеніміз не?
2. Не себепті физикада абсолют уақыт, салыстырмалы уақыт ұғымдары енгізіледі?
3. Қалай ойлайсыңдар, «кеңістіктің бұрмалануы» деген не?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Екі үдеткіш бір-біріне қарама-қарсы $v = 0,95c$ жылдамдықтармен қозғалатын бөлшектерді шығарады. Бөлшектердің бір-біріне жақындау жылдамдығын анықтаңдар.

Берілгені:

$$v_1 = v_2 = 0,95c$$

$v_{\text{салыст}} - ?$

Шешуі:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}; \quad v = \frac{0,95c + 0,95c}{1 + \frac{0,95c \cdot 0,95c}{c^2}} = 0,999c.$$

Жауабы: $v_{\text{салыст}} = 0,999c.$

Бақылау сұрақтары

1. Вакуумдағы жарық жылдамдығы неге тең?
2. Майкельсон мен Морли өз тәжірибелерінде қандай мақсатты көздеді?
3. Майкельсон мен Морли тәжірибесінен Х.Лоренц қандай қорытынды жасады?
4. Эйнштейннің салыстырмалылық теориясының постулаттарын тұжырымдаңдар.
5. Дене жарық жылдамдығына жуық жылдамдықпен қозғалғанда қандай релятивистік эффектілер байқалады?



Жаттығу

27

1. Егер Жерге қатысты $v = 0,99c$ жылдамдықпен қозғалатын ғарыш кемесінде $\Delta\tau = 20$ жыл өтсе, Жерде қанша уақыт өтеді?
2. Өзектің меншікті ұзындығы $l_0 = 1$ м. Егер ол бақылаушыға қатысты өзек бойымен бағытталған $v = 0,6c$ жылдамдықпен орын ауыстырса, бақылаушы үшін өзектің ұзындығы қандай болатынын анықтаңдар.
3. Жерге қатысты $225\,000$ км/с жылдамдықпен ұшатын фотон зымыранда электрондардың жылдамдығын зымыранның қозғалыс бағытына қатысты $240\,000$ км/с-қа дейін арттыратын үдеткіш орнатылған. Осы электрондар Жерге қатысты қандай жылдамдықпен қозғалады?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

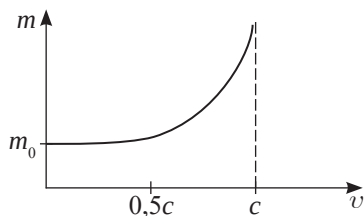
1. А.Эйнштейннің өмірі мен қызметі.
2. Егіздер парадоксы.
3. Төртөлшемді кеңістік.

§ 28. Энергия. Релятивистік динамикадағы импульс және масса. Материялық дене үшін энергия мен массаның байланыс заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- зарядталған бөлшектердің үдеткіштерінің жұмыс істеу принципін, оларда орын алатын релятивистік эффектін ескере отырып түсіндіре аласыңдар.



191-сурет. Қозғалыс жылдамдығының дене массасына тәуелділік графигі



Жауабы қандай?

Неліктен дене жарық жылдамдығына жуық жылдамдықпен қозғалғанда, масса артады?



Естеріңізге түсіріңдер!

Дененің ішкі энергиясы молекулалардың қозғалыс жылдамдығына тәуелді, механикалық энергия дененің қозғалыс жылдамдығына тәуелді. Дене және оның бөлшектерінің жылдамдығы көп болса, дене энергиясы да жоғары болады.

I Дене массасы мен импульсінің жылдамдыққа тәуелділігі

Дене күш әсерінен үдеумен қозғалады. Ньютонның екінші заңына сәйкес импульс пен жылдамдық уақыт өте келе артады:

$$\vec{F}t = \Delta \vec{p} = m\Delta \vec{v}. \quad (1)$$

Жылдамдық шекті және жарық жылдамдығынан жоғары бола алмайды, демек, $3 \cdot 10^8$ м/с-қа жеткенде күштің одан кейінгі әсері релятивистік эффектiгe, яғни массаның артуына алып келеді. Есептеулер дененің қозғалыс жылдамдығы жоғарылаған кезде массаның артуы үздіксіз жүретінін және жылдамдықтың жарық жылдамдығымен шамалас жоғары мәндерінде мына мәнге тең болатынын көрсетті:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

Релятивистік механика үшін импульстік түрдегі Ньютонның екінші заңы мына түрге келеді:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta m \vec{v}}{\Delta t}, \quad (3)$$

191-суретте дене массасының оның жылдамдығына тәуелділік графигі берілген. Жылдамдық жарық жылдамдығына дейін артқанда $v \rightarrow c$, дененің массасы шексіздікке ұмтылады: $m \rightarrow \infty$, үдеу нөлге дейін кемиді, $a = 0$, жылдамдық пен массаның өсуі тоқтайды, дене жарық жылдамдығымен түзу сызықты және бірқалыпты қозғалады.

Релятивистік механикада импульстің жылдамдыққа тәуелділігі мына түрге келеді:

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (4)$$

II Масса мен энергия арасындағы байланыс

Эйнштейннің арнайы салыстырмалылық теориясына сәйкес дене массасы оның қозғалыс жылдамдығына тәуелді, демек, энергия мен масса арасында байланыс бар.

Механикалық және жылу құбылыстарында денелердің және молекулалардың жылдамдықтары жарық

жылдамдығынан біршама аз, сондықтан релятивистік эффект байқалмайды. Есептеулер 1 кг ауа температурасын 100 К-ға арттырғанда масса өзгерісі 10^{-18} кг болатынын, массасы 1 кг суды 100 К-ге дейін қыздырғанда массасы 10^{-13} кг болатынын көрсетті.

III Эйнштейн формуласы

Арнайы салыстырмалылық принципі негізінде Эйнштейн масса мен энергия арасында байланыс орнатты:

$$m = \frac{E}{c^2}, \quad (5)$$

мұндағы m – дененің массасы.

(5) формуланың терең физикалық мағынасы бар: материяның бір түрінің екінші түрге – зат өріске және керісінше, өріс затқа айналуы мүмкін. Мұндай айналуларға Эйнштейн формуласына сәйкес массалары толығымен электромагниттік өрістің энергиясына айналатын элементар бөлшектердің өзара әрекеттесуі мысал бола алады. Екі фотон түзілетін бөлшек-антибөлшек жұбының өзара түрленуі осы реакцияға мысал бола алады. Мысалы, электрон мен позитронның өзара түрленуі кезінде екі гамма-кванты түзіледі, жұптың тыныштық энергиясы толығымен фотон энергиясына айналады:

$$e^- + e^+ = 2\gamma.$$

Тыныштық энергиясын арттыратын, демек, массаны да арттыратын мысалы, элементар бөлшектердің соқтығысуы сияқты кері процестер де жүреді. Мұндай реакцияларда массалары бастапқы бөлшектерден артық жаңа бөлшектер туындауы мүмкін. Бұл бөлшектерде «бастапқы масса» соқтығысудың кинетикалық энергиясы болып табылады.

Дене массасының жылдамдыққа тәуелділігін ескеріп, (5) формуланы мына түрде жазамыз:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (6)$$

бұдан қозғалмайтын дене

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (7)$$

тыныштық энергиясына ие болатыны шығады.

Эйнштейн формуласының орындалуы және тыныштық массасының болуы элементар бөлшектердің өзара әрекеттесуі және атом ядроларының түрленуі кезінде тәжірибе жүзінде расталды.



Тапсырма

Есептеулер жүргізіп, 1 кг ауа және су массасының температурасын 100 К-ға арттырғандағы масса өзгерісінің мәнін тексеріңдер. Алынған нәтижені жоғарыда көрсетілген нәтижелермен салыстырыңдар. Дене жылдамдығын жарық жылдамдығына жуық мәнге дейін арттырғанда, дененің массасы мен энергиясы бірден артады.



Бұл қызық!

Қазақстан Республикасындағы электр энергиясының жылдық өндірісіне (89,7 млрд кВт · сағ) тең энергия алу үшін массасы

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{89,7 \cdot 10^{12} \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2} \approx 3,6 \text{ кг}$$

заттың тыныштық энергиясы жеткілікті.



Жауабы қандай?

Қандай шарттар орындалғанда (6) формуладан (7) формула шығады? Тыныштық энергиясының дененің ішкі энергиясынан айырмашылығы неде?



Жауабы қандай?

Неліктен тыныштық энергиясын электр энергиясына түрлендіреді?

Ядролық реакцияларда энергия бөлінеді. Энергияның массаға түрлену коэффициентінің аз мәнінде

$$\frac{1}{c^2} = \frac{1}{9 \cdot 10^{16}} c^2 / m^2 \text{ ядролық массаның өзгерісі:}$$

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}. \quad (8)$$

IV Зарядталған бөлшектердің үдеткіштері

Зарядталған бөлшектердің үдеткіштері – электр өрісін қолданып, энергиясы жоғары зарядталған бөлшектер алуға арналған құрылғы. Бөлшектер магнит өрісі арқылы басқарылады. Бөлшектердің қозғалыс траекториясына қарай үдеткіштер циклдік және сызықтық, бөлшек түріне қарай электрондардың, мезондардың, протондардың үдеткіштері болып бөлінеді.

Сызықтық үдеткіштерде, циклотронда, фазотронда, синхротронда зарядталған бөлшектердің жылдамдықтарын жоғары жылдамдыққа дейін арттырып, олардың кедергілермен соқтығысуын тудырады. Соқтығысу нәтижесінде релятивистік эффектілерге сәйкес массасы үдемелі бөлшектердің тыныштық массасынан біршама артық жаңа бөлшектер түзіледі. Коллайдерлерде энергиясы жоғары бөлшектердің қарама-қарсы шоғырларда соқтығысуы орындалады. Өзара әрекеттесу нәтижесі компьютермен өңделеді (192-сурет). *Үдеткіштерді құрастырудың негізгі мақсаты – материяның, кеңістіктің және уақыттың құпиялары сақталған микроәлем бөлшектерін зерттеу.*

V Классикалық және релятивистік механикадағы кинетикалық энергия

Релятивистік механикада кинетикалық энергияны есептеудің $E = \frac{mv^2}{2}$ формуласын қолдану қате нәтиже береді. Оны тыныштық энергиясының, кинетикалық және потенциалдық энергиялардың қосындысына тең толық энергия арқылы өрнектейді:

$$E = E_0 + E_k + E_p. \quad (9)$$

Бөлшектердің басқа денелермен өзара әрекеттесу энергиясы, әрине, массасы аз, қозғалыс жылдамдығы жоғары кинетикалық энергиямен салыстырғанда өте аз, демек, потенциалдық энергияны ескермеуге болады. Толық энергияны есептеу формуласын (6) және тыныштық энергиясы (7) формуласын (9) формулаға қойсақ, алатынымыз:



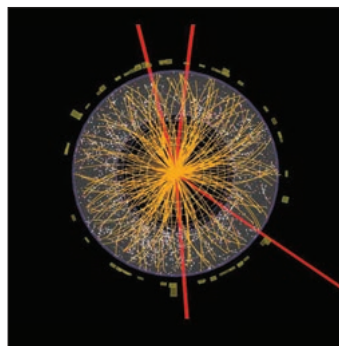
Жауабы қандай?

1. Неліктен микроәлемді қарастыру үшін үлкен қондырғылар – үдеткіштер қажет?
2. Адронды коллайдердің өлшемдері қандай?
3. Адронды коллайдердегі бөлшектердің максимал энергиясы мен ғарыш бөлшектері энергиясының еселік салыстыруын анықтаңдар.



Бұл қызық!

Егер атом ядросын анықтауға арналған Резерфордтың алғашқы тәжірибесі 1000 доллар тұрса, кварктар анықталған үдеткіштер ондаған миллион доллар тұрады. Теватронның құрылысы мен жұмыс істеуіне 1 млрд-тан артық, ал YAC үшін 10 миллиард доллар жұмсалған. Құрылыс жұмыстары мен зерттеулерге әлемнің әртүрлі елдерінен 6000-нан астам ғылыми қызметкер қатысты.



192-сурет. Хиггс бозонының екі электрон мен екі мюонға ыдырауы. 18.06.2012 ж. ЦЕРН-дағы ATLAS детекторы тіркеген, Мюон тректері қызыл, электрон тректері жасыл түстермен берілген.

$$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \quad (10)$$

немесе

$$E_k = (m - m_0) c^2. \quad (11)$$



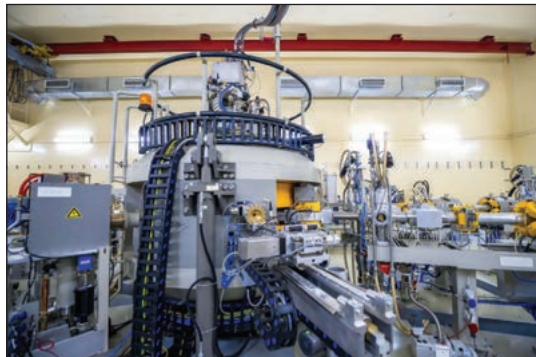
Есте сақтаңдар!

Жарық жылдамдығына жуық жылдамдықпен қозғалатын дененің кинетикалық энергиясын толық энергия мен тыныштық энергиясының айырымы ретінде анықтайды.



Назар аударыңдар!

Үдеткіштер тек микроәлемді зерттеуде ғана емес, адам қызметінің түрлі салаларында да қолданысқа ие болды. Қазақстандағы Ядролық физика институтында (ЯФИ) У-150М, С-30 (193-сурет) циклотрондарында өндіріс пен медицинаға арналған радиоизотоптар өндіріледі. УКП-2-1 ауыр ядролар үдеткіштерінде қатты дене үлгілері құрамына ядро-физикалық талдау жүргізіледі. Биологиялық үлгілер құрамында плутоний-239-ды зерттейтін өлшеу әдісі жасалған, бұл Семей полигонының адам ағзасына тигізетін әсерін зерттеуге мүмкіндік береді.



193-сурет. Қазақстан ЯФИ-ындағы С-30 циклотроны, Бельгияда жасалған

VI Релятивистік және классикалық механика

Галилейдің салыстырмалылық принципіне сүйеніп, кеңістік пен уақыт абсолют, олар кеңістікте орналасқан денелерге де, уақыт бойынша орындалатын процестерге де тәуелді емес деп тұжырымдаймыз. Жер бетіндегі барлық құбылыстар бір уақытта өтеді, олардың ұзақтығы барлық санақ жүйелері үшін бірдей. Кеңістік үшөлшемді және пішіні өзгермеген. Жылдамдық – салыстырмалы шама, ол бір санақ жүйесінен екіншісіне өткенде өзгереді.

Эйнштейннің салыстырмалылық туралы арнайы теориясы кеңістік пен уақыт туралы көзқарасты толығымен өзгертті. Оның теориясы жарық жылдамдығының тұрақтылығына негізделген. Жарық жылдамдығы – абсолют шама, санақ жүйесін таңдауға тәуелсіз. Кеңістік пен уақытты сипаттайтын шамалар салыстырмалы болу керек. Жарық жылдамдығына жуық жылдамдықпен қозғалатын дене үшін кеңістік пішіні өзгереді: бөлшектің қозғалыс бағыты бойынша қысқарады, уақыт баяулайды. Бір процесс әртүрлі санақ жүйелерінде әртүрлі уақыт аралығында өтеді.

Эйнштейн теориясы Галилей принципін жоққа шығармайды. Жылдамдықтардың аз мәнінде релятивистік механика формулалары классикалық механика формулаларына айналады. Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы сәйкестік принципі орындалатын жалпылама теория болып табылады.



Есте сақтаңдар!

Жылдамдықтары аз денелер үшін Галилейдің салыстырмалылық принципі қолданылады. Жарық жылдамдығымен шамалас жылдамдықпен қозғалатын денелер үшін Эйнштейннің арнайы салыстырмалылық теориясы қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. Дененің массасы мен энергиясы арасында қандай байланыс бар?
2. Дененің массасы мен энергиясын байланыстыратын Эйнштейн формуласының физикалық мағынасы қандай?
3. Галилейдің салыстырмалық принципі мен Эйнштейннің арнайы салыстырмалылық теориясының негізгі айырмашылығы неде?
4. Галилей принципі мен Эйнштейн теориясы үшін сәйкестік принципі орындалатынын қалай дәлелдеуге болады?



Жаттығу

28

1. Массасы $m_0 = 5m$ ғарыш кемесі траекторияның бірінші бөлігінде $v_1 = 8$ км/с жылдамдықпен, екінші бөлігінде $v_2 = 2,9 \cdot 10^8$ м/с жылдамдықпен қозғалады. Әрбір жылдамдық үшін ғарыш кемесінің релятивистік массасын анықтаңдар.
2. Күн қуаты $P = 3,9 \cdot 10^{26}$ Вт жарық ағынын шығарады. Күн массасы 3 есе азаятын уақыт аралығын анықтаңдар. Күннің сәулеленуін тұрақты, Күн массасын $2 \cdot 10^{30}$ кг-ға тең деп алыңдар.
3. $v = 0,75c$ жылдамдықпен қозғалатын электронның кинетикалық энергиясын классикалық және релятивистік механика формулалары бойынша анықтаңдар. Электронның тыныштық массасы $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
- 4*. Кинетикалық энергиясы: а) $E_1 = 1$ МэВ; ә) $E_2 = 1$ ГэВ протонның жылдамдығын анықтаңдар. Протонның массасы $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.
5. Жылдамдығы $v_1 = 0,75c$ электронның импульсін классикалық және релятивистік механика формулалары бойынша анықтаңдар. Электронның тыныштық массасы $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Зарядталған бөлшектердің үдеткіштерінің практикада қолданылуы.
2. ҚР-дағы зарядталған бөлшектердің үдеткіштері.

8-тараудың қорытындысы

Лоренц түрлендірулері

$$x_1 = \frac{x_2 + v\tau_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; x_2 = \frac{x_1 - v\tau_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \tau_1 = \frac{\tau_2 + \frac{v}{c^2}x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \tau_2 = \frac{\tau_1 - \frac{v}{c^2}x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

Релятивистік эффектілер

Ұзындықтың қысқаруы	Уақыттың баяулауы	Жылдамдықтарды қосу	Массаның артуы
$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$	$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$v_1 = \frac{v_2 + v}{1 + \frac{v v_2}{c^2}}$	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Релятивистік динамикадағы Ньютонның екінші заңы

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta m \vec{v}}{\Delta t}, \text{ мұндағы } \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Энергия мен массаның байланысы

Толық энергия	Тыныштық энергиясы	Кинетикалық энергия
$E = mc^2$	$E_0 = m_0 c^2$	$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктердің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
x	координата	м	F	күш	Н
v	қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы	м/с	m_0, m	дененің қозғалатын және қозғалмайтын санақ жүйелеріне қатысты массасы	кг
τ_0, τ	процестің қозғалатын және қозғалмайтын санақ жүйелеріне қатысты ұзақтығы	с	p_0, p	дененің қозғалатын және қозғалмайтын санақ жүйелеріне қатысты импульсі	кг · м/с
l_0, l	кесіндінің қозғалатын және қозғалмайтын санақ жүйелеріне қатысты ұзындығы	м	E_0, E	дененің қозғалатын және қозғалмайтын санақ жүйелеріне қатысты энергиясы	Дж
c	жарық жылдамдығы	м/с	E_k	кинетикалық энергия	Дж

А.Эйнштейннің салыстырмалылық теориясының постулаттары

1. Барлық физикалық құбылыстар әртүрлі инерциялық жүйелерде бірдей жүреді.
2. Вакуумдағы жарық жылдамдығы барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей. Ол жарық көзінің жылдамдығына да, бақылаушының жылдамдығына да тәуелді емес.

АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

Кванттық теория электрдинамикадағы қатты дененің жылулық сәулеленуін түсіндіру кезіндегі қиындықтар барысында туындады. Планк атомдар электрмагниттік энергияны квант үлестермен бөледі деген гипотеза ұсынды.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

- сәулеленудің көздері мен түрлерін жіктеуді және спектрлік аспаптардың жұмыс істеу принциптерін және олардың қолданылу салаларын сипаттауды;
- электрмагниттік сәулеленулерді олардың пайда болу табиғатына және заттармен әрекеттесуіне қарай ажыратуды;
- Стефан – Больцман, Вин заңдарын және Планк формуласын абсолют қара дененің жылулық сәулеленуін сипаттау және ультракүлгін апатты негіздеу үшін қолдануды;
- фотоэффект табиғатын түсіндіру және оның қолданылуына мысалдар келтіруді, фотоэффект заңын және Эйнштейн теңдеуін есеп шығаруда қолдануды;
- жарықтың кванттық теориясы негізінде жарық қысымының табиғатын түсіндіруді, фотосинтез және фотосурет процестерін мысалға келтіріп, жарықтың химиялық әсерін сипаттауды;
- компьютерлік және магниттік-резонанстық томографияны салыстыруды;
- электрмагниттік сәулеленудің корпускулалық-толқындық табиғатын дәлелдейтін мысалдар келтіруді және жарықтың корпускулалық-толқындық теориясын пайдаланып, табиғат заңдарының ғылыми даму тарихы туралы пікір білдіруді;
- атомның планетарлық моделін α -бөлшектің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесіне сүйене отырып негіздеуді және Бор постулаттарына сүйеніп, атомның орнықты күйінің шарттарын түсіндіруді;
- лазер құрылғысын және оның жұмыс істеу принципін түсіндіруді және голографияның даму кезеңдерін талқылауды;
- элементар бөлшектердің толқындық табиғатының пайда болуы мен практикада қолданылуына мысалдар келтіруді және де Бройль толқын ұзындығының формуласын есептер шығаруда қолдануды, де Бройль болжамын түсіндіруді үйренесіңдер.

§ 29. Сәулеленудің түрлері.

Спектрлер, спектрлік аспаптар, спектрлік талдау

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- сәулеленудің көздері мен түрлерін жіктеуді, спектрлік аспаптардың жұмыс істеу принциптерін және олардың қолданылу салаларын сипаттауды үйренесіңдер.



Назар аударыңдар!

Фотолюминесценция кезінде шығарылатын жарық толқыны жарқырауды қоздыратын жарық толқынына қарағанда ұзынырақ болып келеді.

- *фотолюминесценция*, люминофор көрінетін жарық (өздігінен жарқырау байқалады), ультракүлгін (көрінетін диапазонда флуоресценция байқалады) немесе инфрақызыл сәулелер (көрінетін диапазонда фотолюминесценттік жарқырау байқалады) арқылы қозады;
- *хемилюминесценция*, люминофор энергия бөлінуімен қатар жүретін химиялық реакциялар нәтижесінде қозады.

Биолюминесценция атауы козу түріне емес, жарық бөлетін нысандардың атауына байланысты қойылды. Жарықтану себебі алуан түрлі болуы мүмкін. Бактериялардың кейбір түрлері хемилюминесценция есебінен жарық бөледі, жеке топтар фотолюминесценцияға ие, олар ультракүлгін сәулелермен сәулелендіру кезінде жарық бөледі.



Бұл қызық!

Люминесценция құбылысының және алуан түрлі люминофорлардың практикада қолданысқа ие болған негізгі бағыттары:

- люминесценттік жарық көздері;
- сәулелену түрлерінің индикациясы: сұйықкристалды экрандар мен кинескоптар;
- металлургияда бұзбай бақылау әдістерінде люминесценциялайтын қоспалардың қолданылуы;
- қауіпсіздіктің фотолюминесцентті элементтерін жасап шығару;
- фотолюминесцентті сәндік бояйтын қоспаларды және композицияларды өндіру;
- жаңа дәлдікпен өлшеу құралдарын өндіру.

I Сәулелену түрлері. Жарық көздері

Заттар сыртқы көздерден энергия алып сәуле шығарады. Сәулелену заттың ішкі энергиясының өзгерісіне байланысты *жылулық сәулелену* және *люминесценция* деп бөлінеді. Люминесценция – салқын (қыздырылмай) жарық шығару. Жарықтану ұзақтығына сәйкес люминесценцияның барлық түрлері *флуоресценция* және *фосфоресценция* деп бөлінеді. *Флуоресценция* – атомдардың қозуы тоқтағаннан кейін 10^{-8} с аралығында лезде өшетін жарықтану. *Фосфоресценция* – біршама уақыт аралығына созылатын жарықтану. «Салқын жарық» шығара алатын заттар *люминофорлар* деп аталады.

Люминесценция түрлері люминофорлардың қозу әдісіне қарай ажыратылады:

- *катодтық люминесценция*, люминофор шоғырланған электрондардың соққыларының әсерінен қозады;
- *электрлюминесценция*, люминофор тұрақты және айнымалы электр өрісінің әсерінен қозады;



1-тапсырма

Сәулелену түрі, атомдардың қозу әдісі және жарық көздерінің мысалдары арасындағы сәйкестікті көрсетіңдер.

Сәулелену түрі	Қозу әдісі	Жарық көздерінің мысалдары
Жылулық сәулелену	Электр өрісінің энергиясы	Солтүстік поляр шұғыласы, жарнамалық жазбаларға арналған түтікшелер
Электрлюминесценция	Электрондар шоғырының соққылары	Күндізгі жарық шамдары, жарқыраушы бояулар, түнде көру аспаптары
Хемилюминесценция	Жылу энергиясы	Теледидидар экрандары, осциллографтар, компьютер мониторлары
Катодтық люминесценция	Ультрақұлгін және көрінетін сәулелермен сәулелендіру	Қараңғыда жарқырайтын қоңыз, шіріп жатқан ағаш, тереңде мекендейтін бактериялар, жәндіктер, балықтар
Фотолюминесценция	Химиялық реакциялар энергиясы	Күн, қыздыру шамы, жалын



2-тапсырма

194, а–ғ-суреттерді қараңдар. Әрбір жағдайдағы жарқырау себептерін түсіндіріңдер. Берілген люминесценция түрлерінен суретке сәйкес келетін атауды таңдаңдар: фосфоресценция, катодтық люминесценция, биолюминесценция, фотолюминесценция, хемилюминесценция, электрлюминесценция, радиолюминесценция.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

194-сурет. Люминесценция түрлері

II Түрлі көздердің сәулеленуін зерттеу

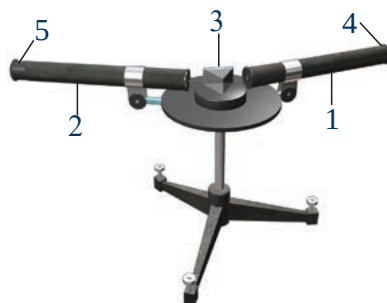
Жарық көздерінің ешбірі толқын ұзындығы қатаң түрде белгіленген монохроматты жарық бермейді. Жарықты призма көмегімен спектрге жіктеу, интерференция

және дифракция құбылыстарын бақылауға арналған тәжірибелер осы тұжырымдаманың дәлелдемесі болып табылады. Жарық жылдамдығы жарықтың толқын ұзындығының сәулелену жиілігіне көбейтіндісімен анықталатындықтан, жарық бөлетін энергия жарық шоғының құрамына кіретін барлық ұзындықтағы толқындарға немесе жиіліктерге таралады. Сәулеленулерді зерттеуде спектрлік аспаптар қолданылады.

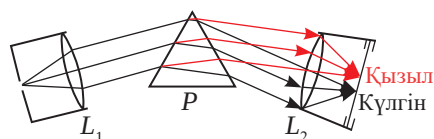
III Спектрлік аспаптар

Спектроскоптың негізгі элементтері: коллиматор (1), көру түтігі (2), окуляр (5), үшбұрышты призма (3) (195-сурет). Коллиматорда зерттеліп отырған сәулелену көзінен шыққан жарық өтетін саңылау (4) бар.

L_1 линзаның фокусында орналасқан коллиматорлық түтіктің саңылауынан жарық сәулелері алшақтанған шоқпен линзаға түседі де, сынады да, параллель шоқтар ретінде P призманың бүйіріне түседі (196-сурет). Призмада екі рет сынып, жарық шоғы әртүрлі түстегі параллель жарық шоқтарына ыдырайды. Көру түтікшесінің объективі L_2 параллель шоқтардың әрқайсысын фокалдік жазықтықтың жеке нүктесіне жинақтайды. Саңылаудың түрлі түстегі бейнелері спектрді құрайды (197-сурет). Спектрді көру түтігіндегі окуляр арқылы, лупа секілді бақылайды. Сурет алу үшін фотосезімтал пленканы немесе пластинаны фокалдік жазықтыққа орналастырады, аспап бұл жағдайда *спектрограф* деп аталады.



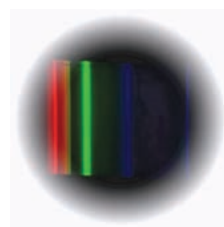
195-сурет. Спектроскоп



196-сурет. Спектроскоптағы сәулелердің жүру жолдары

Спектроскоп – күрделі жарықты жіктеуге және спектрлерді бақылауға арналған аспап.

Спектрограф – күрделі жарықты жіктеуге және спектрлерді суретке түсіруге арналған аспап.



197-сурет. Сәулелену спектрі



Өз тәжірибең

Қыздыру шамы қылының сәулелену спектрін призма және спектроскоп арқылы бақылаңдар. Бақыланып отырған спектрлерді салыстырыңдар. Спектроскоп арқылы бақыланып отырған спектрдің артықшылығы неде?

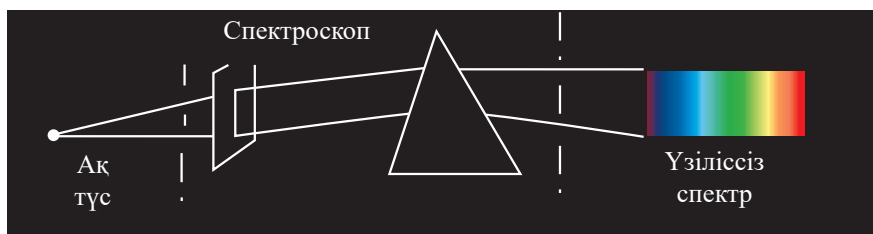
IV Спектр түрлері

Призмдан өткенде ақ түс қызылдан күлгінге дейінгі барлық кемпіркосақ түстерінен тұратын спектрге жіктеледі, олардың арасында бос орын жоқ: қызыл түс қызғылт түске, қызғылт сары түске және т.б. ұласады (198-сурет). Мұндай жолақты *үзіліссіз* немесе *тұтас спектр* деп атайды. Қызған қатты денелер, қыздырылған сұйықтар және қысылған газдар ақ түстің көзі болып табылады.

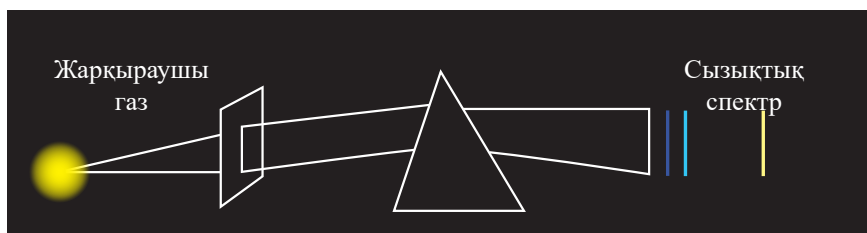
Төмен қысымда атомдық күйдегі қыздырылған газ бен түрлі химиялық элементтердің булары көрінерлік диапазонның электромагниттік толқындарын шығарып, жарықталады.

Сиретілген газ сәулеленуінің спектрі үзіліссіз спектрден өзгеше, онда тек бірнеше түрлі түсті сызықтар байқалады (199-сурет). Мысалы, натрийдің қыздырылған булары көрінерлік диапазонда бір-біріне қосылып кететін екі жіңішке сары сызық шығарады, ал сутек атомдары қызыл, жасыл, көк және күлгін түсті – төрт сызық шығарады. Зерттеулер барлық химиялық элементтердің сиретілген булары спектрінде осы элементке ғана тән жеке сызықтары бар сәуле шығаратынын көрсетті, сондықтан сиретілген атомарлық газдар мен булардың спектрін *сызықтық спектр* деп атайды. *Сызықтық спектрлер* – жеке спектрлік сызықтардан тұратын атомдардың ұшып шығуы мен жұтылуының оптикалық спектрлері.

Сиретілген газдар спектрлері, жұлдыздар атмосферасы спектрі, тұмандықтар спектрлері – *сызықтық спектрлер*.



198-сурет. Үзіліссіз спектр



199-сурет. Сызықтық спектр

Аустриялық ғалым И.Фраунгофер Күн спектрін спектроскоппен бақылағанда шын мәнінде ол үзіліссіз болып табылмайтынын байқады (200-сурет). Күн спектрін кейіннен «фраунгоферлер» деген атау алған қара сызықтар кесіп өтеді. Неміс ғалымдары Г.Кирхгоф пен



3-тапсырма

Қандай спектрді жолақ спектр деп атайтынын анықтаңдар. Қандай жарық көзі жолақ спектр береді? Жолақ спектрдің сызықтық спектрден қандай айырмашылығы бар?

Р.Бунзен Күн спектріндегі бұл сызықтарға түсініктеме берді. Олар тәжірибе жүзінде әртүрлі заттардың қыздырылған буларының атомдары шығаратын сызықтық спектрлер олардың салқын күйіндегі жұтылу спектрлерімен сәйкес келетінін анықтады. Күн сәулеленуі спектріндегі фраунгоферлік сызықтар Күн атмосферасының жұтылу спектрі болып табылады, себебі атмосфера температурасы Күннің температурасынан төмен.



200-сурет. Жұтылу спектрі

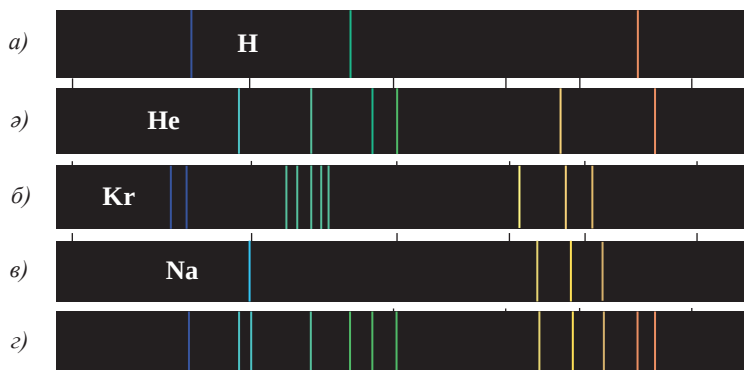
V Спектрлік талдау

Г.Кирхгоф және Р.Бунзен жаңалықтары Күн атмосферасының құрамын анықтауға мүмкіндік берді. 1859 жылы ғалымдар заттың химиялық құрамына спектрлік талдау жасау әдісін ойлап тапты. Берілген химиялық элементтің атомына тән спектрлік сызықтардың орналасуын білу сәулелену және жұтылу спектрлері бойынша зерттелетін заттың құрамын анықтауға мүмкіндік береді. Барлық белгілі элементтердің сәулелену спектрін фраунгоферлік сызықтары бар Күн спектрімен салыстыру Күн атмосферасында табылған элементтердің көпшілігі Жерде бар екенін көрсетті. Бірақ спектрде зерттеушілерге белгісіз сызықтар да болды, жаңа затты *гелий* (грек. *helios* – Күн) деп атады. Шамамен ширек ғасыр өткен соң бұл газ Жерден табылды. Спектрлік талдау әдісі зерделеу зертханаларында әлі күнге дейін қолданылады.



4-тапсырма

201, а–в-суреттерінде берілген газдардың сәулеленулерінің сызықтық спектрлерін қарастырыңдар. 201, а-суретте спектрі бейнеленген газ қоспаларының құрамын анықтаңдар.



201-сурет. Сутегі, гелий, криптон, натрий булары және газ қоспаларының спектрлері

Бақылау сұрақтары

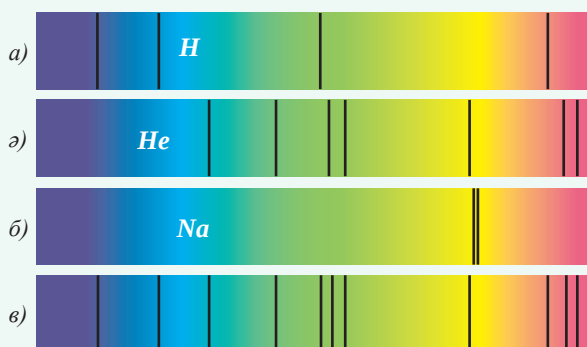
1. Сендерге сәулеленудің қандай түрлері белгілі?
2. Сәулелену түрлеріне тән жарық көздерін атаңдар.
3. Спектрлік аспаптар не үшін қажет?
4. Сендерге спектрлердің қандай түрлері белгілі? Әртүрлі спектрлердің сәулелену көздерін атаңдар.
5. Қандай спектрді сызықтық спектр деп атайды?
6. Спектрлік талдау әдісінің мәні неде?



Жаттығу

29

202-суретте көрсетілген жұтылу спектрі бойынша 202, в-суретте берілген газ қоспасының құрамын анықтаңдар.



202-сурет. Сутегінің, гелийдің, натрийдің және газ қоспасының жұтылу спектрлері

Эксперименттік тапсырма

Интернет желісіндегі видео деректерді пайдаланып, үй жағдайында алуға болатын люминофорлар құрамын зерттеңдер. Люминофорды қозған күйге қандай әдіспен алып келуге болатынын анықтаңдар. Люминофордың жарық шығаруын бақылаңдар. Видеолық есеп беруді дайындаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Люминесценция түрлері.
2. Люминесценцияның күнделікті өмірде және техникада қолданылуы.

§ 30. Инфрақызыл және ультракүлгін сәулелену. Рентген сәулелері. Электрмагниттік толқындар шкаласы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электрмагниттік сәулеленулерді олардың пайда болу табиғатына және заттармен әрекеттесуіне қарай ажыратуды үйренесіңдер.



1-тапсырма

Оқулық мәтінін қолдана отырып, толқын ұзындығының (жиілігінің) диапазоны, оны кім және қашан ашқаны, сәулеленудің пайда болу табиғаты, сәулелену көздері, заттармен өзара әрекеттесу параметрлеріне сәйкес инфрақызыл, ультракүлгін, рентген сәулеленулерінің салыстырмалы кестесін құрыңдар.



Бұл қызық!

Адам өміріндегі және табиғаттағы инфрақызыл (ИҚ) сәулелену.

1. ИҚ-лазерлер оптоалшықты байланыс жүйелерінің жарық көздері ретінде қолданылады.
2. Инфрақызыл сәулелену спектроскопияда органикалық қоспалардың құрамы мен құрылымын анықтауда қолданылады. Бұл технология заттардың молекуласының ішіндегі бүгілу мен созылуға тәуелді болатын белгілі бір жиіліктерді жұту қабілетіне негізделген.

I Инфрақызыл сәулелену

Инфрақызыл сәулелер – микротолқынды сәулелену мен көрінетін қызыл түсті жарық арасында орналасқан спектрлердің көрінбейтін бөлігіндегі электрмагниттік толқындар. Инфрақызыл сәулеленудің жиілік диапазоны $3 \cdot 10^{11}$ Гц-тен $4 \cdot 10^{14}$ Гц-ке дейінгі, толқын ұзындығы 2 мм-ден 740 нм-ге дейінгі аралықты қамтиды. Инфрақызыл сәулелену шартты түрде үш аймаққа бөлінеді: жақын: $\lambda = 0,74\text{--}2,5$ мкм; орташа: $\lambda = 2,5\text{--}50$ мкм; алыс: $\lambda = 50\text{--}2000$ мкм. Жақын аймақ көрінетін сәулеленумен шектеседі.

Инфрақызыл сәулелерді 1800 жылы ағылшын астрономы У.Гершель анықтаған. Ол призма көмегімен Күн сәулесін құраушы компоненттерге бөліп, термометр көмегімен спектрдің қызыл бөлігінде температураның көтерілуін байқады. Инфрақызыл сәулелену қыздыру шамдарының, Күннің, газразрядты шамдардың сәулеленуінің едәуір бөлігін құрайды, оны заттың қозған атомдары және иондары шығарады. Сәулеленуді адам денесі жылу ретінде қабылдайтындықтан, оны *жылулық сәулелену* деп атайды. Жұту кезінде зат бөлшектері қозғалысының энергиясы мен дене температурасы артады.

II Ультракүлгін сәулелену

Ультракүлгін сәулелену (УК-сәулелену) – көрінетін және рентгендік сәулеленулер арасындағы диапазонда орналасқан электрмагниттік толқындар. Ультракүлгін сәулеленудің толқын ұзындығы 10 нм-ден 400 нм-ге дейінгі, жиілік диапазоны $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц-тен $3 \cdot 10^{16}$ Гц-ке дейінгі аралықты қамтиды. Биологтар кейде өз жұмыстарындағы маңызды диапазондар ретінде мыналарды атап өтеді: жақын ультракүлгін, УК-А сәулелер (UVA, 315–400 нм); орташа ультракүлгін УК-В сәулелер (UVB, 280–315 нм); алыс ультракүлгін, УК-С сәулелер (UVC, 100–280 нм). Жер бетіне жететін Күн радиациясында едәуір дәрежеде жақын ультракүлгін УК-А бар, басқа диапазонды іс жүзінде толықтай атмосфера жұтады.

Ультракүлгін сәулеленуді неміс физигі В.Риттер анықтаған. Ол жасаған тәжірибеде көрінетін спектрдің күлгін бөлігінің сыртындағы көрінбейтін

сәулелену күміс хлоридінің ыдырау процесін тездетті. Ультракүлгін сәулелену көзіне Күн және жасанды көздер жатады. Жасанды көздерге лазерлер, алуан түрдегі және қолданылу мақсаты әртүрлі ультракүлгін люминесценттік шамдар (УКЛШ), мысалы, кварцтік, толық спектр шамдары, «жасанды солярый» жатады. Сәулелер заттың қозған атомдарының электрондарын шығарады.

Аса үлкен химиялық белсенділікке ие ультракүлгін сәулелену заттың химиялық құрамын өзгерте отырып жұтылады. УК-сәулелену әсерінен термопластиктер: оргәйнек, полиэтилен ыдырайды. Ультракүлгін сәулелену нәтижесінде микроағзалар жойылады, себебі олар өсіп-өну қабілетінен айырылады. УК сәулеленуді шыны жақсы жұтады.

III Рентгендік сәулелер

1895 жылы неміс физигі Вильгельм Рентген төмен қысым мен жоғары кернеу кезінде газразрядты түтікшенің электродтары арасындағы катод сәулелерінің қасиеттерін зерттеу барысында рентгендік сәулелерді анықтады. Ол түтікше жанындағы флуоресцентті экранның жарқырағанына назар аударды. Түтікше қағаздан, ағаштан, шыныдан, тіпті қалыңдығы 1,5 см алюминий пластинадан өте алатын сәулеленулердің көзі екені анықталды. Рентген газразрядты түтікше сәулеленудің жаңа түрінің көзі деген тұжырымдама жасады.

Зерттеулер рентгендік сәулелердің толқын ұзындықтары ультракүлгін және гамма сәулеленулер арасындағы 10^{-3} нм – 100 нм спектрлік аралықты қамтитынын, ал жиілігі $3 \cdot 10^{15}$ Гц-тен $3 \cdot 10^{10}$ Гц-ке дейінгі сәулеленуге сәйкес келетінін көрсетті. Толқын ұзындықтары шкаласында рентгендік сәулелердің төменгі және жоғарғы диапазонын анықтаудың белгіленген шегі жоқ, қатаң ультракүлгін сәулеленуді әлсіз рентгендік сәулелену ретінде қарастыруға болады. Әлсіз рентгендік сәулелену толқынының ұзындығын шартты түрде 0,2 нм-ден жоғары, ал қатаң рентген сәулелену толқынының ұзындығын 0,2 нм-ден төмен деп алады. Қатаң жоғары жиілікті рентгендік сәулелену фотондары жоғары өту қабілетіне ие болады.

Қатаң сәулелену обыр, ісік ауруына әкелетін толыққанды иондаушы радиация болып табылады. Сәулелену адам денесінің ұлпаларын құрайтын ақуыз молекулаларын, сондай-ақ геномның ДНҚ молекулаларын ыдыратады, олар мутагенді және канцерогенді белсенділікке ие. Сәулелердің өткіш қабілеттілігі өте жоғары. Басқа

Бұл қызық!

Адам өміріндегі және табиғаттағы ультракүлгін (УК) сәулелену

1. Құнды қағаздарды қолдан жасап шығарудан қорғау мақсатында оларды люминесцентті белгімен жабдықтайды, олар тек УК жарық түсіргенде көрінеді.
2. УК шамдар бөлмелерді (203-сурет), суды, ауаны және басқа да беттерді залалсыздандыруда қолданылады.
3. Картиналардың қалпына келтірілген бөліктері және қолдан көшірілген қолтаңбалар ультракүлгін сәуле түсіргенде қара дақтармен ерекшеленеді.
4. УК сәулеленуді биотехнологияда гендік мутация, жаңа өсімдіктердің селекциясын алуда қолданылады.



203-сурет. Аурухана палаталарына арналған кварц шамы

аспан денелерінде туындайтын рентгендік сәулелену толықтай атмосферада жұтылатындықтан, Жер бетіне жете алмайды.

Тежегіш рентгендік сәулелену рентген түтікшесінің электродтары арасындағы потенциалдар айырымымен анықталады. Өрістің электрондардың орын ауыстыруы кезінде атқаратын жұмысы қозғалыстағы электрондардың кинетикалық энергиясына айналады да, анодпен соқтығысқанда рентгендік сәулелену фотондарының энергиясына түрленеді:

$$A = E_k = E_\phi.$$

Рентгендік сәулелену фотондарының максимал жиілігі рентгендік түтікшедегі потенциалдар айырымымен анықталатын тежегіш электрондардың максимал кинетикалық энергиясына сәйкес келеді:

$$eU = \frac{m_e v_{\max}^2}{2} = h\nu_{\max}.$$



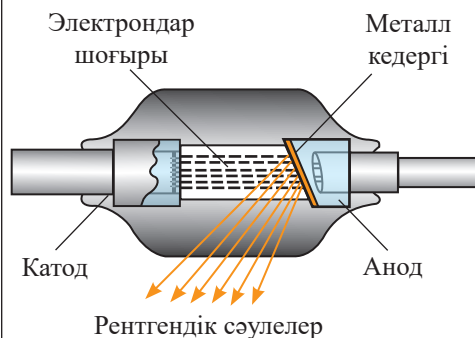
Жауабы қандай?

1. Тежегіш рентгендік сәулелену неге монохроматты болмайды?
2. Рентгендік сәулелену не себептен анод материалына тәуелді?



Естеріңізге түсіріңдер!

Рентгендік сәулелену көзі ішінде вакуумы бар анод пен катодтан тұратын түтікше болып табылады. Олардың арасындағы кернеу 10–100 кВ-ты құрайды. Электрондар катодтан ұшып шығып, анодпен соқтығысады. Осы кезде пайда болатын рентгендік сәулелену *тежегіш* деп аталады. Анод материалына тәуелді сипаттамалық сәулелену қатар жүреді (204-сурет).



204-сурет. Рентгендік түтікше



Бұл қызық!

Адам өміріндегі және табиғаттағы рентгендік сәулелену

1. Сәулелену медицинада флюорография, рентгенография көмегімен диагностика жасауда, сондай-ақ сәулелік терапияда қолданылады.
2. Әуежай мен теміржол вокзалдарында рентгендік сәулелер қолжүгі мен жүк ішін көру үшін пайдаланылады.
3. Рентгендік дефектоскопия әдісі бұйымдардағы, мысалы, рельстердегі немесе басқа құрылымдардағы дәнекерлеу қапсырмасындағы микрожарықшаларды анықтауға мүмкіндік береді.
4. Сәулеленудің дифракциялық шашырауы материалтануда, кристаллографияда, химияда, биохимиядағы заттың құрылымын анықтауда кең қолданысқа ие болды. Кристалдағы рентгендік сәулелердің шашырауының нәтижесінде пайда болған дифракциялық көріністер неміс физигі Макс фон Лауэнің құрметіне *лауэграммалар* деп (205-сурет), ал әдістің өзі *рентгенқұрылымдық талдау* деп аталды.

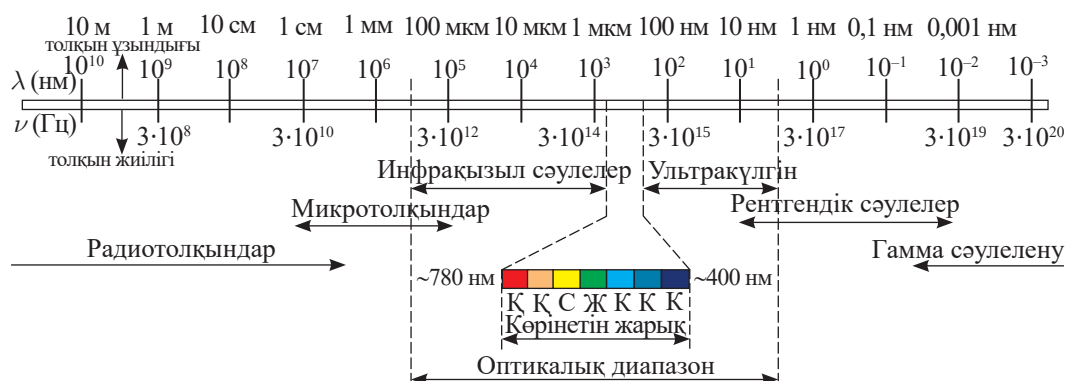


205-сурет. Берилл кристалы лауэграммасы

IV Электрмагниттік толқындар шкаласы

206-суретте түрлі сәулеленулердің жиілігі мен толқын ұзындықтары көрсетілген электрмагниттік толқындар шкаласы бейнеленген. Электрмагниттік толқындардың ұзындығы 10^3 м мен 10^{-10} м аралығындағы кең диапазонда өзгеріп отырады. Әдетте олар *төмен жиілікті сәулелену, радиосәулелену, инфрақызыл сәулелер, көрінетін жарық, ультракүлгін сәулелер, рентгендік сәулелер, γ -сәулелену* деп бөлінеді. Вакуумда кез келген ұзындықтағы толқынның электрмагниттік сәулеленуі 300000 км/с жылдамдықпен таралады. Сәулелену шкаласының жеке аймақтарының шекаралары шартты түрде бөлінген. Түрлі ұзындықтағы толқындардың сәулеленуі бір-бірінен өндіру тәсілімен және тіркеу әдісімен ерекшеленеді.

Қысқа толқынды сәулеленулер: рентгендік және γ -сәулелер әлсіз жұтылады. Оптикалық диапазон толқындары үшін мөлдір емес болатын зат осы сәулеленулер үшін мөлдір.



206-сурет. Электрмагниттік толқындар шкаласы

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Рентгендік сәулелену спектріндегі минимал толқын ұзындығы 1 нм. Рентгендік түтікше анодына түсетін электрондардың жылдамдығын анықтаңдар.

Берілгені: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг $\lambda = 1$ нм $v_e = ?$	ХБЖ 10^{-9} м	Шешуі: Энергияның сақталу заңы негізінде $E_k = E_\phi$ немесе $\frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda}$,
---	---------------------------	---

$$\text{бұдан } v = \sqrt{\frac{2hc}{m\lambda}}.$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^{-9} \text{ м}}} = 2,1 \cdot 10^7 \text{ м/с}.$$

Жауабы: $v_e = 2,1 \cdot 10^7$ м/с.

Бақылау сұрақтары

1. Толқын ұзындығының қандай диапазондарын инфрақызыл, ультракүлгін, рентгендік сәулелену деп атау қабылданған?
2. Инфрақызыл, ультракүлгін, рентгендік сәулеленулердің пайда болу себептерін атаңдар.
3. Берілген толқын ұзындығы аралығындағы рентгендік сәулеленуді қалай тудыруға болады?
4. Инфрақызыл, ультракүлгін, рентгендік сәулеленулер затпен қалай өзара әрекеттеседі?
5. Сәулелену түрлері практикада қандай қолданысқа ие болды?
6. Электрмагниттік сәулеленудің қандай түрлері бар? Олар қандай ортақ қасиеттерге ие? Олардың айырмашылықтары неде?



Жаттығу

30

1. Рентгендік түтікше электродтары арасындағы 2 кВ және 20 кВ кернеулер үшін рентгендік сәулеленудің толқын ұзындығының минимал мәндерін анықтаңдар. Электрон зарядының модулі $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, жарық жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.
2. Тежегіш сәулелену спектрінде толқын ұзындығы 0,015 нм сәулелер пайда болатын минимал кернеуді анықтаңдар.
3. Түтікшенің рентгендік спектріндегі қатаң сәулелердің жиіліктері $\nu = 10^{19}$ Гц болса, рентгендік түтікше қандай кернеумен жұмыс істейді? Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, электрон зарядының модулі $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Инфрақызыл сәулелердің техникада, өнеркәсіпте, ғылымда қолданылуы.
2. Инфрақызыл және ультракүлгін сәулелердегі әлем.
3. Инфрақызыл, ультракүлгін, рентгендік сәулелерінің медицинадағы рөлі.

§ 31. Жылулық сәулелену.

Стефан – Больцман және Вин заңдары.

Ультракүлгін апаты. Планк формуласы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Стефан – Больцман, Вин заңдарын және Планк формуласын абсолют қара дененің жылулық сәулеленуін сипаттау және ультракүлгін апатты негіздеу үшін қолдануды үйренесіңдер.

I Жылулық сәулелену – тепе-тең сәулелену

Жылулық сәулелену кезінде бөлшектердің ішкі хаосты жылулық қозғалысының энергиясы үздіксіз шығарылатын электромагниттік сәулелену энергиясына айналады.

Жылулық сәулелену – қыздырылған денелердің ішкі энергияларының есебінен шығарылатын электромагниттік сәулелену.

Егер сәулеленетін денені идеал шағылдыратын бетпен қоршаса, біршама уақыттан кейін бұл жүйеде жылулық тепе-теңдік орнайды. Дененің жұтқан жылу мөлшері қоршаған ортаға берілген жылу мөлшеріне тең болады.

Тепе-тең жылулық сәулелену деп дененің сәулеленуге жұмсалған энергия шығынының орны әрбір толқын ұзындығында дене жұтқан энергиямен толтырылатын сәулеленуді айтады. Сәулеленудің барлық түрлерінің ішінде тек жылулық сәулеленуге тепе-тең сәулелену тән.

Қалыпты жағдайларда, бөлме температурасында денелердің жылулық сәулеленуі толқын ұзындығының инфрақызыл диапазонында орындалады. Егер температура мындаған градусқа жетсе, денелер толқын ұзындығының көрінетін диапазонында сәулелене бастайды.

II Жылулық сәулеленуді сипаттайтын шамалар

Жылулық сәулелену энергетикалық жарқырау, спектрлік тығыздық (дененің сәулелену қабілеттілігі), дененің жұту қабілеттілігі, сәулелену ағыны сияқты шамалармен сипатталады.

Дененің энергетикалық жарқырауы R_d – температурасы T дене бетінің бірлік ауданы арқылы барлық бағытта барлық жиіліктер диапазонында таралатын W энергияның сәулелену уақытына қатынасына тең физикалық шама:

$$R_d = \frac{W}{S \cdot t}. \quad (1)$$

Дененің энергетикалық жарқырауының өлшем бірлігі: $[R_d] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$

Есте сақтаңдар!

Сфералық жарық көзі үшін сәулелену ауданы $S = 4\pi R^2$.

Естеріңе түсіріңдер!

Электромагниттік толқынның қарқындылығы

$$(\S 14): I = \frac{W}{S t}.$$

Энергетикалық жарқырау қызған дененің сәулелену қарқындылығын сипаттайды.

Энергетикалық жарқыраудың спектрлік тығыздығы немесе температурасы T дененің сәулелену қабілеттілігі r_d – $\Delta\nu$ жиіліктер интервалында алынған энергетикалық жарқыраудың осы жиіліктер интервалы шамасына қатынасына тең физикалық шама:

$$r_d = \frac{\Delta R_d}{\Delta\nu}. \quad (2)$$

Энергетикалық жарқыраудың спектрлік тығыздығы сәулелену жиілігі мен температураға тәуелді. Оның өлшем бірлігі $[r_d] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$.

Барлық жиіліктер диапазонындағы дененің сәулелену қабілеттілігінің қосындысы дененің энергетикалық жарқырауы болып табылады.

Дененің a_ν жұту қабілеттілігі – $\Delta\nu$ жиіліктер интервалында дененің жұтқан $\Delta\Phi'$ сәулелену ағынының осы интервалда денеге түскен $\Delta\Phi$ сәулелену ағынына қатынасына тең физикалық шама:

$$a_\nu = \frac{\Delta\Phi'}{\Delta\Phi} \quad (3)$$

Сәулелену ағыны Φ – сәулелену бағытына перпендикуляр ауданы S бет арқылы тасымалданатын электрмагниттік сәулеленудің W энергиясының оны тасымалдаудың t уақытына қатынасына тең физикалық шама:

$$\Phi = \frac{W}{t}. \quad (4)$$

(1) және (4) формулалардан сәулелену ағынының энергетикалық жарқыраумен байланысы мына қатынас арқылы шығады:

$$\Phi = R_d \cdot S. \quad (5)$$



Тапсырма

Егер Күн секунд сайын $3,83 \cdot 10^{26}$ Дж энергия шығаратын болса, оның энергетикалық жарқырауы қандай болатынын анықтаңдар. Күннің радиусы $6,96 \cdot 10^8$ м.

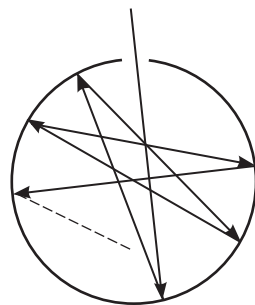
III Абсолют қара дене

Кез келген температурадағы барлық жиіліктер диапазонында сәулелені жұту қабілеттілігі $a_\nu = 1$ болатын дене *абсолют қара дене* деп аталады.

Толқын ұзындықтарының барлық диапазонында сәулелені жұту қабілеттілігі $a_\nu = \text{const} < 1$ дене *сұр дене* деп аталады.

Кішкентай саңылауы бар тұйық, мөлдір емес қуыс дене абсолют қара дененің моделі болып табылады. Саңылауға түскен сәулелену көптеген шағылулардың нәтижесінде оның сыртқа шығу ықтималдығы өте аз болғандықтан, ол толықтай жұтылады (207-сурет). Қуыста пайда болған және саңылауға түскен сәулелену қара дене бетіндегі саңылау өлшеміне тең аудан шығаратын сәулеленуге эквивалентті болып саналады.

Абсолют қара денені зерттеу Кирхгоф, Стефан – Больцман, Вин заңдарының ашылуына алып келді.



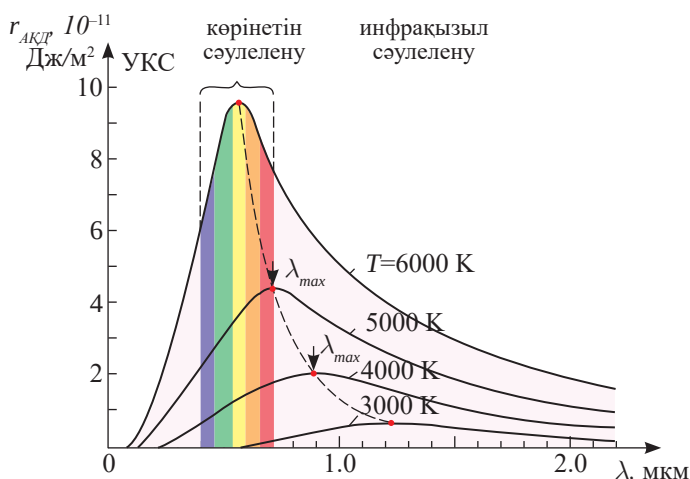
207-сурет. Абсолют қара дене моделі

IV Абсолют қара дененің сәулеленуі

Кирхгоф заңы. XIX ғ. ортасында Г.Кирхгоф жылулық сәулеленудің негізгі заңдарының бірін ашты, барлық денелердің сәулелену қабілеттілігінің жұту қабілеттілігіне қатынасы абсолют қара дененің сәулелену қабілеттілігіне тең, ол ν жиіліктің және T температураның функциясы болып табылады:

$$\frac{r}{a} = r_{\text{АҚД}}(\nu, T). \quad (6)$$

Қара дененің сәулелену қабілеттілігінің толқын ұзындығы мен дене температурасына тәуелділігі тәжірибе жүзінде анықталған. Қара дене спектрінде температураның бірнеше мәндерінде энергияның таралуын сипаттайтын қисықтар 208-суретте бейнеленген.



208-сурет. Абсолют қара дененің (АҚД) сәулелену қабілеттілігінің сәулеленудің толқын ұзындығына және дене температурасына тәуелділігі

Стефан – Больцман заңы. 1879 жылы аустриялық физик И.Стефан тәжірибелер нәтижесінде денелердің энергетикалық жарқырауы T температураның төртінші дәрежесіне пропорционал деген қорытындыға келді:

$$R_d = \sigma T^4. \quad (7)$$

1884 жылы Л.Больцман термодинамика заңдары негізінде теориялық түрде осындай қорытындыға келді. Ол И.Стефан тәжірибелік түрде алған нәтижені нақтылап негіздеді. Бұл заң және Стефан – Больцман заңы деп екі ғалым есімімен аталды және осы атау тұрақты шамаға да берілді. Ол мынаған тең:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}. \quad (8)$$

Стефан – Больцман заңы сәулелену спектрінің толық энергиясын анықтайды, алайда ол сәулелену спектріндегі энергияның таралуы туралы сұрақты қарастырмайды.

Вин заңы. 1896 жылы неміс физигі В.Вин абсолют қара дененің спектріндегі сәулелену максимумы температура жоғарылағанда жоғары жиіліктерге қарай ығысатынын анықтады:

$$\nu_{\text{max}} = b_1 \cdot T. \quad (9)$$

Жиілік пен толқын ұзындығының арасында $\nu = \frac{c}{\lambda}$ қатынасы болғандықтан, Виннің ығысу заңын мына түрде жазуға болады:

$$\lambda = \frac{b}{T}, \quad (10)$$

мұндағы $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – Вин тұрақтысы.

V Планк формуласы

Стефан – Больцман және Вин заңдары сәулелену қарқындылығының ультракүлгін диапазонында күрт төмендеуін түсіндіре алмады. Бұл құбылысты физиктер «ультракүлгін апаты» деп атады.

Неміс ғалымы Макс Планк жиілігі ν сәуле шығаратын және жұтатын резонаторларды қолданып, зат моделін жасады. Ол әр резонатор энергияның элементар үлестерінің толық саны болатын энергия мөлшеріне ғана ие деп болжады:

$$E = h\nu, \quad (11)$$

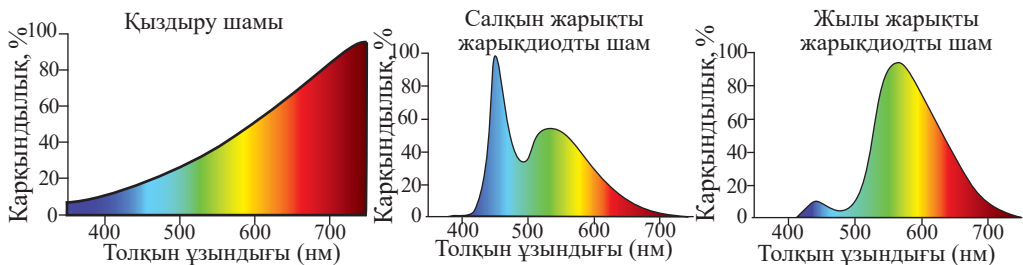
мұндағы $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – Планк тұрақтысы.

Планк гипотезасының мағынасы мынадай: электромагниттік энергияның атомдармен және молекулалармен сәулеленуі үздіксіз емес, дискретті – үлестер немесе Планк кейінірек атағандай «кванттар» түрінде жүреді. Сәулелену қарқындылығының төмендеуі заттағы ультракүлгін жиіліктегі резонаторлардың жоқтығымен түсіндірілді.

Бұл қызық!

Жылулық сәулелену заңдарының практикада қолданылуы

Планк формуласы және Вин заңы қыздыру шамдарының ПӘК-і неге өте аз екенін түсіндіреді. Вольфрам қыздыру қылының қызу температурасында сәулелену максимумы инфрақызыл сәулелену аймағында жатады, спектрдің көрінетін бөлігіне барлық сәулеленудің 5 %-іне жуығы тиесілі (209-сурет). Заманауи жарықдиодты шамда энергияның максимумы көрінетін сәулелену аймағында жатады. Жарықдиодты шамның жарқылы «салқын жарық» – люминесценцияға мысал болып табылады.



209-сурет. Қыздыру шамдары мен жарықдиодты шамдар үшін сәулелену қарқындылығының толқын ұзындығына тәуелділік графигі

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Күн 1 мин ішінде қандай энергия мөлшерін шығарады? Күннің сәулеленуін абсолют қара дененің сәулеленуіне тең деп алыңдар. Күн бетінің температурасын 5800 К, Күннің радиусын 695510 км деп алыңдар.

Берілгені: $t = 1$ мин $T = 5800$ К $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ $r_K = 695510$ км $W - ?$	ХБЖ 60 с $69551 \cdot 10^4$ м	Шешуі: $W = RSt$; $S = 4\pi r_K^2$; $R = \sigma T^4$; $W = \sigma \cdot T^4 4\pi r_K^2 t$. $W = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4 \cdot (5800 \text{ К})^4 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot$ $\cdot (69551 \cdot 10^4 \text{ м}) \cdot 60 \text{ с} \approx 2,34 \cdot 10^{28} \text{ Дж}$. Жауабы: $W = 2,34 \cdot 10^{28} \text{ Дж}$.
---	--	--

Бақылау сұрақтары

1. Жылулық сәулелену деп нені атайды?
2. Жылулық сәулеленуді сипаттайтын шамаларға анықтама беріңдер.
3. Қандай денені абсолют қара, сұр дене деп атайды?
4. Жылулық сәулеленуді қандай заңдар сипаттайды?
5. Планк гипотезасы неге негізделген? Энергия кванты деп нені атайды?

★ Жаттығу

31

1. Ауданы $S = 8 \text{ см}^2$ балқыту пешін абсолют қара дене деп санап, $t = 5$ мин уақыт ішінде бақылау терезесінен шығарылатын энергияны анықтаңдар. Пеш температурасы $T = 1000$ К. Стефан – Больцман тұрақтысы $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$.
2. Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауы $R_d = 459 \text{ Вт/м}^2$ болатын температураны анықтаңдар.
3. Абсолют қара дененің сәулелену қуаты 10 кВт. Энергетикалық жарқыраудың спектрлік тығыздығының максимумына сәйкес келетін толқын ұзындығы $7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ екені белгілі болса, сәулеленетін дене бетінің ауданын анықтаңдар. Вин тұрақтысы $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.
4. Ұзақ уақыт қараңғыда болып жаттыққан көз қалыптан тыс жағдайларда қарашыққа секундына 50 фотон түсіретін жарық ағынымен әрекет етуге қабілетті. Көз қабылдайтын минимал қуатты анықтаңдар. Толқын ұзындығын 500 нм деп алыңдар.

Шығармашылық тапсырма

«Пирометр мен тепловизордың құрылысы мен жұмыс істеу принципі» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 32. Фотоэффект. Фотоэффектіні қолдану. Фотондар

Күтілетін нәтиже:

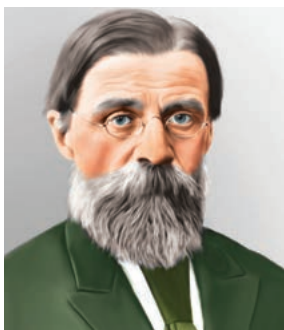
Осы параграфты игергенде:

- фотозффект табиғатын түсіндіруді және оның қолданылуына мысалдар келтіруді; фотозффект заңын және Эйнштейн теңдеуін есеп шығаруда қолдануды үйренесіңдер.



Естеріңе түсіріңдер!

Фотоэффект – жарық немесе басқа кез келген электромагниттік сәулелену әсерінен заттан электрондардың ұшып шығуы.



Александр Григорьевич Столетов (1839–1896) – орыс физигі. Сыртқы фотоэффектіні зерттеп, фотоэффектінің бірінші заңын ашты. Газдық разряд, критикалық күйді зерттеп, темірдің магниттелу қисығын алды.



1-тапсырма

Жарықты электромагниттік толқын ретінде қабылдап, яғни Максвелл теориясы негізінде фотоэффект жайлы тұжырымдарды түсіндіріңдер.

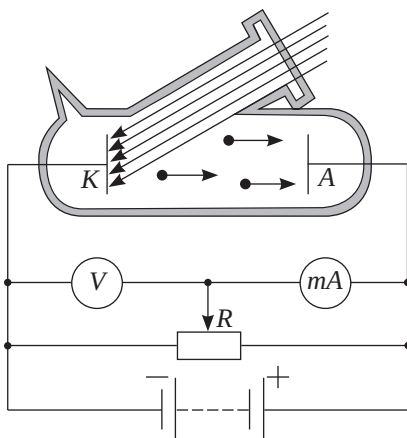
I Фотоэффектінің классикалық электрдинамика тұрғысынан қарастырылуы

Жарықтың толқындық теориясы негізінде мынадай тұжырым жасауға болады:

- кез келген ұзындықтағы жарық толқыны металдан электронды жұлып шығара алады;
- электронды металдан жұлып шығаруға белгілі бір уақыт қажет;
- жұлып алынған электрондар саны және олардың энергиясы жарық қарқындылығына пропорционал.

II Фотоэффектіні зерттеуге арналған заманауи қондырғы

Фотоэффектіні зерттеу үшін ауасы сорып шығарылған шыны баллонға орналастырылған екі электродтан тұратын заманауи қондырғы қолданылады (210-сурет). Электродтардың біріне кварцтық «терезе» арқылы жарық түседі. Қарапайым шыныға қарағанда кварц ультракүлгін сәулеленуді өткізеді. Электродтарға кернеу беріледі, оны R потенциометр көмегімен өзгертуге және V вольтметрмен өлшеуге болады.



210-сурет. Фотоэффектінің сыртқы сәулеленуіне арналған эксперименттік қондырғы

Жарық түсіріліп отырған K электрод катодқа батареяның теріс полюсін жалғайды. Жарық әсерінен катодтан ұшып шыққан электрондар электр өрісі арқылы анодқа қарай бағытталады, нәтижесінде электр тогы пайда болады. Ток күшінің мәні миллиамперметр арқылы өлшенеді.

III Столетовтің фотоэффект заңдары

Орыс ғалымы А.Г.Столетов және неміс ғалымы Ф.Ленард жүргізген зерттеулер фотоэффект заңдары классикалық түсініктерге сәйкес келмейтінін көрсетті.

211-суретте электродтар арасындағы кернеудің әртүрлі мәндерін өлшеу нәтижесінде алынған вольт-амперлік сипаттама бейнеленген.

Графиктен мынадай қорытынды жасауға болады:

1. Кернеу белгілі бір U_k мәніне жеткенде, фототок күші кернеуге тәуелсіз болады.

Ток күшінің максимал мәні I_k қанығу тогы деп аталады.

Қанығу тогының күші – бірлік уақыт ішінде фотоэлектрондар тасымалдайтын максимум зарядтар:

$$I_k = \frac{q_m}{t} = \frac{N|e|}{t} = n|e|, \quad (1)$$

мұндағы n – 1 с уақыт ішінде жарық түсірілген металл бетінен ұшып шығатын фотоэлектрондар саны, e – электрон заряды.

2. Кернеудің нөлдік мәні кезінде фототок күші нөлге тең емес.
3. Катодты ток көзінің оң полюсіне, анодты теріс полюсіне жалғап, электр өрісінің бағытын өзгертсе, фотоэлектрондардың жылдамдығы азаяды. Бұны миллиамперметр көрсеткіштерінен байқауға болады. Кідірткіш кернеу U_k деп аталатын кернеудің қандай да бір мәнінде фототок тоқтайды. Кинетикалық энергияның өзгерісі туралы теоремаға сәйкес электр өрісінің кідірткіш жұмысы фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясының өзгерісіне тең:

$$A = \Delta E_k$$

немесе

$$eU_k = \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (2)$$

U_k мәні белгілі болса, фотоэлектрондардың максимал кинетикалық энергиясын анықтауға болады.

Катодты жиіліктері бірдей және қарқындылықтары әртүрлі жарық ағындырымен жарықтандыру кезіндегі фотоэффектіні зерттеу вольт-амперлік сипаттамасы 212-суретте бейнеленген нәтижені берді.

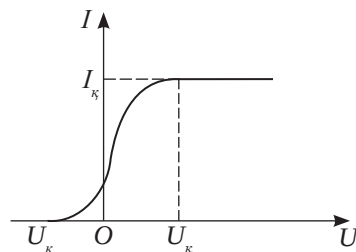
Түсірілген жарықтың қарқындылығы артқан сайын фототок күші артады.

Жапқыш кернеудің шамасы жарық қарқындылығына тәуелді емес, ол барлық ағындар үшін бір мәнге ие.



Жауабы қандай?

Неліктен баллондағы ауа сорып шығарылады?

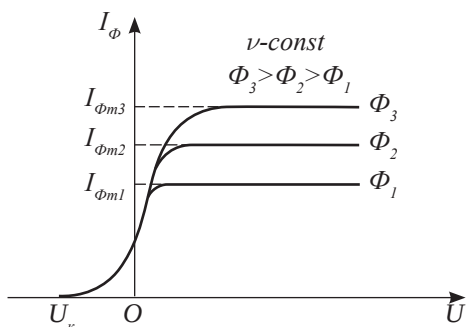


211-сурет. Фототок күшінің вакуумдық шамның электродтарындағы кернеуге тәуелділігі

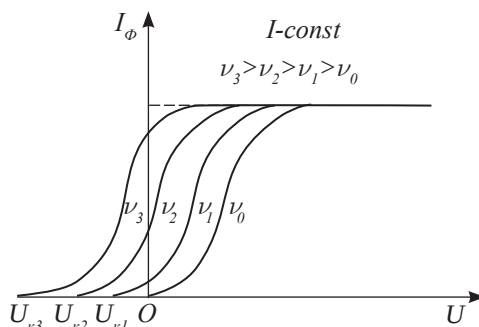


Жауабы қандай?

1. Қанығу фототогының күші неге тұрақты мәнге ие?
2. Неліктен кернеудің нөлдік мәнінде фототок күші нөлге тең емес?
3. Электр өрісінің бағыты өзгергенде неліктен фототок күші азаяды?
4. Қандай шарттарда фототок тоқтайды? Неліктен?



212-сурет. Әртүрлі жарық ағыны үшін фотоэффектінің вольт-амперлік сипаттамасы



213-сурет. Жиіліктері әртүрлі жарық сәулелері үшін фотоэффектінің вольт-амперлік сипаттамасы

Катодты қарқындылығы бірдей, жиілігі әртүрлі жарықпен жарықтандыру 213-суретте көрсетілген вольт-амперлік сипаттамаларды береді. Графиктерден кідірткіш кернеудің U_κ шамасы түсірілген жарықтың жиілігі артқан кезде, көтерілетінін, ал азайса, түсетінін көреміз. Қандай да бір ν_0 жиілікте кернеу мәні нөлге тең: $U_\kappa = 0$. Төмен жиіліктерде $\nu < \nu_0$ фотоэффект байқалмайды.

Фотоэффектінің қызыл шекарасы – түсірілген жарықтың фотоэффект құбылысы мүмкін болатын ν_0 минимал жиілік.

Жауабы қандай?

1. Сәулелену жиілігі бірдей, қарқындылығы әртүрлі жарықты қалай алуға болады?
2. Сәулелену жиілігі әртүрлі, қарқындылығы бірдей жарықты қалай алуға болады?

Тәжірибе мәліметтері негізінде Столетов фотоэффект заңдарын тұжырымдады:

1. Фототок күші жарық ағынының қарқындылығына тура пропорционал.
2. Жарық жұлып шығаратын электрондардың максимал энергиясы жарық жиілігімен бірге сызықты түрде артады және қарқындылыққа тәуелді емес.
3. Әр зат үшін фотоэффектінің қызыл шекарасы болады, яғни фотоэффект мүмкін болатын минимал жарық жиілігі ν_0 (максимал ұзындығы $\lambda_{\max}$) болады, егер $\nu < \nu_0$ болса, фотоэффект байқалмайды.

2-тапсырма

Столетов қорытындыларын классикалық физиканың қорытындыларымен (параграфтың I бөлімі) салыстырыңдар. Айырмашылықтары неде?

IV Фотоэффектінің кванттық теориясы

Фотоэффектінің теориялық негіздемесін 1905 жылы А.Эйнштейн берген болатын. Ол жарық Планк тұжырымдағандай кванттармен сәулеленіп қана қоймай, сонымен қатар үлестермен де таралады және жұтылады, яғни энергиясы $E = h\nu$ фотондар деп аталатын бөлшектер ағынынан тұрады деп болжады.

Фотоэффект құбылысының мәні жарық бөлшектері металл электрондарымен соқтығысып, оларға өз энергиясын және импульсін беріп, жойылып кетуіне

негізделген. Затқа түсірілген жарық кванттарының энергиясы электронның заттын оң зарядталған бөлшектерінің өзара тартылыс күшіне қарсы атқаратын жұмысынан артық болса, онда электрон заттан ұшып шығады. Осы кезде фотоэффектінің қызыл шекарасының мәні түсінікті болады: электрондар металдан ұшып шығу үшін кванттар энергиясы $E = h\nu_{\min}$ -дан кем болмауы керек. Бұл энергия электрондардың берілген металдан шығу жұмысына тең. Кванттардың энергиясы шығу жұмысынан көп болған жағдайда электрондардың максимал кинетикалық энергиясы фотондар энергиясы мен шығу жұмысының айырымына тең:

$$E_k = E_{\phi} - A_{\text{шығу}}. \quad (3)$$

Бұл – фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы. Әдетте ол мына түрде жазылады:

$$h\nu = A_{\text{шығу}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (4)$$



3-тапсырма

Фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы осы құбылысқа қолданылатын энергияның сақталу заңы болып табылатынын дәлелдеңдер.

Фототок күшінің жарық қарқындылығына тәуелділігін Эйнштейн бірлік уақыт ішінде ұшып шыққан электрондар саны жарық қарқындылығына пропорционал, өйткені қарқындылық бірлік уақыт ішінде жарық көзінен бөлінетін кванттар санымен анықталады деп түсіндірді. Қуатты шам көбірек квант бөліп шығарады, демек, мұндай шамнан жарық арқылы ұшып шыққан электрондар саны қуаты азырақ шамға қарағанда көбірек болады.

Ұшып шығатын электрондар энергиясы шам жарығының күшіне емес, оның жиілігі қандай жарық шығаратынына тәуелді. Фотон энергиясы және фотоэлектронның кинетикалық энергиясы осыған тәуелді.

V Фотондар, фотон энергиясы, массасы және импульсі

Фотон – жарық бөлшегі. Ол бөліктерге бөлінбейді: шығарылады, шағылады, сынады және бүтін квантпен жұтылады. *Оның тыныштық массасы жоқ, қозғалмайтын фотондар болмайды.*

Фотон энергиясы:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = \hbar\omega, \quad (5)$$

мұндағы $\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{6,28} = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – Планк тұрақтысы, ω – циклдiк жиілік.

Фотон массасы. Фотон массасы масса мен энергияның өзара байланыс заңына сүйеніп анықталады:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}. \quad (6)$$

Фотон массасын өлшеу мүмкін емес, оны электромагниттік өрістің энергиясы болатынына негіздеп, өрістік масса ретінде қарастыруға болады.

Фотон импульсі. Фотон – жарық бөлшегі, демек, оның импульсі мынаған тең:

$$p = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (7)$$

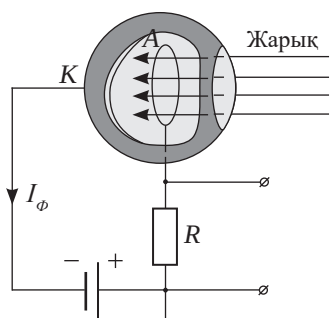
VI Фотоэффектінің техникада қолданылуы

Фотоэлементтер. Жұмыс істеу принципі фотоэффект құбылысына негізделген құрылғылар фотоэлементтер деп аталады. Фотоэлемент құрылғысы 214-суретте

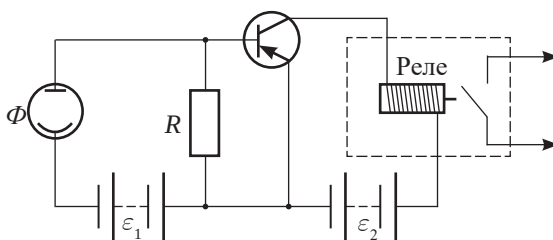
бейнеленген. Ауасы сорып шығарылған шыны баллонның ішкі беті K (катод) өте сезімтал, баллон ішіне жарық түсуіне арналған шағын мөлдір бөлігі бар қабатпен қапталған. Баллон центрінде A (анод) металл сақина орналасқан. Электродтардан фотоэлементті электр тізбегіне қосуға арналған өткізгіштер жасалған. Жарыққа сезімтал қабат ретінде шығу жұмысы аз сілтілік металдардан жасалған тозаңдалған қабаттар қолданылады.

Фотоэлементтер электр тізбегін жарық шоқтарының көмегімен автоматты түрде басқаруда қолданылады.

Фотореле. Фотоэлектрлік реле фотоэлементке түсетін жарық ағыны тоқтағанда жұмыс істей бастайды (215-сурет). Фотореле Φ фотоэлементтен, фототок күшейткіші ретінде қолданылатын жартылайөткізгіш триодтан, транзистор коллекторының тізбегіне қосылған электрмагниттік реледен тұрады. Кернеу фотоэлементке ε_1 ток көзінен, транзисторға ε_2 ток көзінен беріледі. Эмиттер мен база арасында R жүктемелік резистор қосылған.



214-сурет. Фотоэлемент құрылғысы



215-сурет. Фотореле сұлбасы

Фотоэлемент жарықтандырылған кезде, оның R резисторы бар тізбегінде әлсіз ток жүреді, транзистор потенциалы эмиттер базасының потенциалынан жоғары, коллекторлы тізбекте ток болмайды.

Фотоэлементке түсірілген жарық ағыны тоқтаған жағдайда оның тізбегіндегі ток бірден тоқтайды, эмиттер – база ауысуы негізгі тасымалдаушылар үшін ашылады да, коллектор тізбегіне жалғанған реле орамасы бойымен ток жүреді. Реле жұмыс жасап, оның контактілері атқарушы тізбекті тұйықтайды. Оның қызметтеріне әрекет ету аймағына адам қолы тап болған жағдайда престі тоқтату, метро турникетіндегі кедергіні жылжыту, көшедегі жарықты автоматты түрде қосу жатады.



4-тапсырма

Автоматты түрде іске қосылатын тізбектегі фотоэлементтің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Егер металдан жиілігі $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15}$ Гц жарық жұлып алатын электрондар $U_1 = 6,6$ В потенциалдар айырымымен, ал жиілігі $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15}$ Гц жарық жұлып алатын электрондар $U_2 = 16,5$ В потенциалдар айырымымен тежелетіні белгілі болса, h Планк тұрақтысын анықтаңдар.

Берілгені:

$$\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$U_1 = 6,6 \text{ В}$$

$$U_2 = 16,5 \text{ В}$$

$$h - ?$$

Шешуі:

Металдан жиіліктері сәйкесінше ν_1 және ν_2 жарық жұлып алатын электрондар үшін Эйнштейн теңдеуін жазайық:

$$h\nu_1 = A + eU_1 \text{ және } h\nu_2 = A + eU_2.$$

Екінші теңдеуден бірінші теңдеуді аламыз,

$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_2 - U_1), \text{ бұдан } h = \frac{e(U_2 - U_1)}{\nu_2 - \nu_1}.$$

$$\text{Есептеулер жүргізейік: } h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} (16,5 \text{ В} - 6,6 \text{ В})}{(4,6 - 2,2) \cdot 10^{15} \text{ Гц}} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

$$\text{Жауабы: } h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Бақылау сұрақтары

1. Фотоэффект деп нені айтады?
2. Столетов заңдары неге негізделген?
3. Эйнштейн фотоэффект құбылысын қалай түсіндірді?
4. Фотоэффектінің қызыл шекарасы дегеніміз не?
5. Фотондар қандай қасиеттерге ие?
6. Фотоэлементтер қандай қолданысқа ие болды?

**Жаттығу****32**

1. Энергиясы $E_\phi = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ болатын фотонның жиілігін анықтаңдар. Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.
2. Толқын ұзындығы $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ болатын фотонның импульсін, массасын, энергиясын анықтаңдар.
3. Фотоэлектрондардың максимал жылдамдығы $v = 3000 \text{ км/с}$ болу үшін вольфрам пластинаның бетін қандай жиіліктегі жарықпен сәулелендіру керек?
4. Палладийдің бетін сәулелендіретін жарық фотондарының импульсі $p = 5,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. Фотоэлектрондардың максимал жылдамдығын анықтаңдар. Палладий үшін шығу жұмысы $A = 2 \text{ эВ}$.
5. Калий фотоэлементін алдымен толқын ұзындығы $\lambda_1 = 124 \text{ нм}$, содан кейін толқын ұзындығы $\lambda_2 = 414 \text{ нм}$ болатын жарықпен жарықтандырады. Жапқыш потенциалдардың айырымдарының қатынасын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ішкі фотоэффект, ішкі фотоэффектінің қолданылуы.
2. Күн батареясының ПЭК-і, оның қолданылуының перспективалары.

§ 33. Жарық қысымы. Жарықтың химиялық әсері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жарықтың кванттық теориясы негізінде жарық қысымының табиғатын түсіндіруді,
- фотосинтез және фотосурет процестерін мысалға келтіріп, жарықтың химиялық әсерін сипаттауды үйренесіңдер.



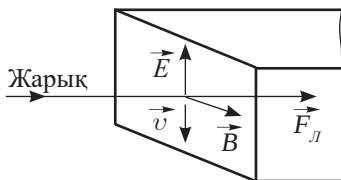
Жауабы қандай?

І шамасын қалай атайды?
Ол немен өлшенеді?



1-тапсырма

1. Жарықтың ақ бетке түсіретін қысымы $p = \frac{2I}{c}$, қара бетке түсіретін қысымы $p = \frac{I}{c}$ болатынын дәлелдендер. Дәлелдеу кезінде ақ беттің шағылу коэффициенті $\rho = 1$, қара беттің шағылу коэффициенті $\rho = 0$ деп алыңдар.
2. Энергияның тығыздығын және қысымының өлшем бірліктерін жазыңдар. Олардың тең екенін дәлелдендер.



216-сурет. Зат бөлшектеріне әсер ететін Лоренц күшінің бағыты

І Жарық қысымын кванттық теория тұрғысынан түсіндіру

Кванттық теория тұрғысынан алғанда жарық қысымы фотондардың дене бетіне соққысынан туындайды. 1 секунд ішінде N жарық бөлшектері ауданы 1 м^2 бетке перпендикуляр түседі деп алайық. Олардың бір бөлігі дене бетіне жұтылады және осы бетке

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad (1)$$

импульс береді. Беттен шағылған фотондар екі есе көп импульс береді:

$$p = \frac{2h\nu}{c}. \quad (2)$$

Бетке түсірілген жарықтың қысымы 1 с ішінде ауданы 1 м^2 дене бетіне түсетін барлық N фотондар беретін импульстерге тең болады. Егер ρ – жарықтың беттен шағылу коэффициенті болса, ρN – шағылған фотондар саны, ал $(1 - \rho)N$ – жұтылған фотондар саны. Демек, барлық бөлшектер тудырған жарық қысымы мынаған тең:

$$p = \frac{2h\nu}{c} \cdot \rho N + \frac{h\nu}{c} \cdot (1 - \rho)N = (1 + \rho) \frac{Nh\nu}{c}.$$

N – ауданы 1 м^2 бетке 1 секунд ішінде түсетін жарық бөлшектерінің саны болғандықтан:

$$Nh\nu = \frac{W}{\Delta t} = I.$$

Осылайша, жарықтың қысымы мынаған тең екені шығады:

$$p = (1 + \rho)w = (1 + \rho) \frac{I}{c}. \quad (3)$$



2-тапсырма

216-суретті қарастырыңдар: $\vec{E}$ және $\vec{B}$ – жарық толқынының бетіне түсірілген кернеулік және магнит индукциясы векторлары. Теріс зарядталған бөлшектердің кернеулік векторының әсерінен болатын қозғалысының бағыты $\vec{v}$ векторымен көрсетілген. Сол қол ережесін қолданып, Лоренц күшінің бағытын анықтаңдар. Алынған нәтижені 216-суретте көрсетілген Лоренц күшінің бағытымен салыстырыңдар.



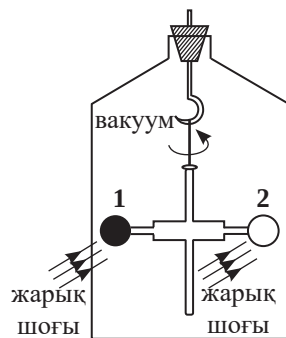
Бұл қызық!

Максвелл есептеулері бойынша Күн жарығы Жерде орналасқан қара пластинаға $p = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2$ қысым түсіреді. Жарықты шағылдыратын бетке түсірілетін қысым екі есе көп.

II Лебедев тәжірибесі

Орыс ғалымы П.Н.Лебедев 1900 жылы алғаш рет жарықтың қатты денелерге түсіретін қысымын, 1907–1910 жылдар аралығында жарықтың газдарға түсіретін қысымын өлшеді.

Лебедев сезімтал айналмалы таразы жасады, оның қозғалмалы бөлігі жіңішке жіпке ілінген жеңіл рама болды, оған металл фольгадан жасалған диаметрі 5 мм, қалыңдығы 0,01 мм кара және ақ дискілерден тұратын қанатшалар бекітілді. Ішінде жеңіл шыны жіпке рама ілінген ыдыстан ауа сорып шығарылған. Қанатшаларға түсірілген жарық ақ және кара дискілерге әртүрлі қысыммен әсер еткен, нәтижесінде рамаға аспа жібін бұратын айналудың моменті әсер етті (217-сурет). Жіптің бұралу бұрышы бойынша Лебедев жарықтың қысымын есептеді. Тәжірибелік және теориялық есептеулер бірдей нәтиже берді.



217-сурет. Лебедев тәжірибесіндегі айналмалы таразылардың қозғалмалы рамасы



Жауабы қандай?

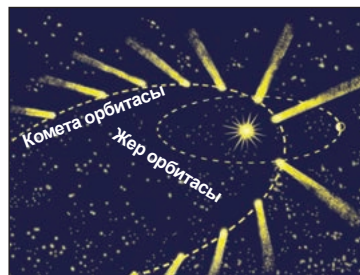
Лоренц күші жарық қысымының күші деп тұжырымдауға бола ма?



Бұл қызық!

Жарық қысымының бар екені туралы гипотезаны кометалар құйрығының Күнге қатысты өзгеріссіз бағытын түсіндіру барысында И.Кеплер айтқан болатын (218-сурет).

1891 жылы П.Лебедевтің «Сәулеленетін денелердің итеруші күштері туралы» еңбегі жарық көрді. Ол Күннің сәулеленуіне сүйеніп, кометаның құйрықтарының ауытқуын жарық қысымымен түсіндіруге болады деп тұжырымдады. Бірнеше миллион кельвин температурада электромагниттік сәулеленудің қысымы үлкен мәндерге ие болады.

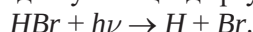


218-сурет. Күн жарығы қысымының әсерінен комета «құйрығының» пайда болуы

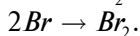
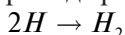
III Жарықтың химиялық әсері

Фотохимиялық реакциялардың жүру шарттары. Көрінетін жарықтың және ультракүлгін сәулелердің әсерінен жүретін химиялық процестер *фотохимиялық реакциялар* деп аталады. Химиялық өзара әрекеттесу бір фотон энергиясы молекуланың ыдырау энергиясынан $E_{\text{б}}$ аз болмайтын кезде ғана орындалады. Демек, химиялық белсенді сәулеленудің ең аз жиілігі мынаған

тең: $\nu_0 = \frac{E_{\text{б}}}{h}$, аз жиіліктегі сәулеленулер химиялық тұрғыдан белсенді емес. Осы типті реакцияларға мысал ретінде бромды сутектің ыдырауын көрсетуге болады:



Сутектің және бромның бос атомдары ыдырағаннан кейін молекулаларға бірігеді:

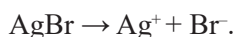


Өсімдіктегі көміртектің фотосинтезі, фотопластинаның сезімтал қабатындағы бромды күмістің бөлшектенуі, хлор мен сутектің HCl түзе отырып, жарықпен өзара әрекеттесуі фотохимиялық реакцияларға мысал бола алады.

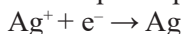
Фотосинтез. Өсімдіктердің жасыл жапырақтарындағы органикалық заттардың түзілу реакциясы Жердегі тіршіліктің барлығы үшін аса маңызды болып табылады. Олар бізге дем алуға қажетті оттегін және азық береді. Бұл процесс *фотосинтез* деп аталады, ол өсімдік жапырақтарында катализатор – хлорофилл көмегімен жарықты жұту барысында жүреді. Фотосинтез нәтижесінде Жер қойнауы және Жер бетінде таскөмір, мұнай, жанғыш газдар, тақтатас, шымтезек сияқты өнімдер жиналды, ал атмосфера оттегімен байытылды.

Фотосурет. Фотосурет сөзі грек тілінің «*фото*» – жарық, «*графо*» – бейнелеймін, жазамын сөздерінен пайда болған.

Фотоматериалдар (пленка, қағаз, пластина) жарыққа сезімтал эмульциялық қабатпен қапталған төсеніштен құралады. Ол желатинге бірқалыпты таралған күміс тұзы кристалдарының микроскопиялық ұсақ түйіршіктерінен тұрады. Фототүсірілім кезінде пленка жарық әсеріне ұшырайды. Жарық әсерінен эмульсия қабатында иондардың өте ұсақ бөлшектері пайда болады, олар жасырын суреттің (кескіннің) центрі болып табылады:



Пленкадағы сурет иондарды таза металдық күміске айналдыратын қалпына келтіргіш арқылы көрінеді:



Пленкада сурет пайда болады. Эмульсиялық қабаттан тұратын суретті реактивте бекіткенде химиялық реакциялардың нәтижесінде күміс тұздарының қалдықтары шайылады.

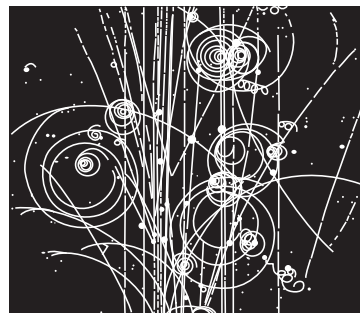
Фотосурет ғылымда және техникада кең қолданысқа ие болды. Жердің, Айдың және басқа планеталардың суреттері, минералдардың кристалдық торының, тірі жасушаның суреті алынды. Жиілігі секундына 10000 кадр болатын жоғары жылдамдықтағы фототүсірілім жылдам жүретін процестерді, мысалы, үдеткіштердегі элементар бөлшектердің қозғалысын зерттеуде кеңінен қолданылады (219-сурет) және, керісінше, баяу өтетін процестердің динамикасын, мысалы, кристалдардың өсуін, фототаспаға ұзақ процесті автоматты түрде тіркеу және ақпаратты «сығу» арқылы бақылауға мүмкіндік береді.

Фотосурет ғылым мен техникада қолданылуымен қатар, өнер түрі ретінде кең қолданысқа ие болды (220-сурет).



2-тапсырма

Алғаш рет фотосинтездің $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ теңдеуін 1840 жылы француз ғалымы Ж.Буссенго құрастырды. Фотосинтез орындалатын шарттарды атаңдар. Өсімдіктерде қандай процестер орындалады?



219-сурет. Элементар бөлшектердің қозғалыс траекториясының фотосуреті



220-сурет. Үлкен Алматы көлі. Іле Алатауы



Бұл қызық!

1727 жылы неміс химигі Шульце күміс тұздарының жарыққа сезімталдығын байқады. Тұздар жарықта қараяды, ал қараңғыда өзгермейді.

1777 жылы швед химигі Шелле жарықтың күміс хлоридіне әсерінің қарқындылығы толқын ұзындығына тәуелді екенін анықтады.

Бақылау сұрақтары

1. Кванттық теория тұрғысынан жарық қысымы қалай пайда болады?
2. Жарықтың толқындық теориясы тұрғысынан жарық қысымының пайда болуының себебі қандай күш болып табылады?
3. Лебедев тәжірибесінің мәні неде?
4. Фотохимиялық реакция қандай шарттар орындалғанда жүреді?
5. Фотосинтез деп қандай реакцияны айтады?
6. Фотосуретке түсіру процесі қандай құбылысқа негізделген?

★ Жаттығу

33

1. Үздіксіз әрекет ететін лазер монохроматты сәулеленуді тудырады. Лазер қуаты $P = 2$ Вт. Сәулеге перпендикуляр орналасқан ауданы $S = 1 \text{ см}^2$ пластинаға түсірілген жарықтың қысымын анықтаңдар. Пластина беті сәулеленуді толығымен жұтады.
2. Жиілігі $\nu = 10^{14} \text{ с}^{-1}$ кванттардың параллель шоғы қабырға бетіне $\alpha = 30^\circ$ бұрышпен түседі. Егер шоқтың көлденең қимасының бірлік ауданы арқылы 1 секунд ішінде $N_0 = 10^{15}$ кванттар өтетін болса және пластина беті сәулеленуді толықтай жұтып алса, жарықтың қабырғаға түсіретін қысымы қандай болатынын анықтаңдар. Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.
- 3*. Толқын ұзындығы $\lambda = 660 \text{ нм}$ болатын монохроматты жарық шоғы шағылу коэффициенті $\rho = 0,8$ бетке бірқалыпты түседі. $S = 1 \text{ см}^2$ беттің секунд сайын жұтатын фотондар санын анықтаңдар. Бетке түсірілген жарық қысымы $p = 1 \text{ мкПа}$.
4. Шар тәріздес Жер серігі Күн сәулесінің атмосферамен жұтылуын ескермеуге болатын биіктікте Жерді айнала қозғалады. Жер серігінің диаметрі $d = 40 \text{ м}$. Күн сәулесінің Жер серігіне түсіретін қысым күшін анықтаңдар, Күн тұрақтысы $1,4 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (бұл Күн бетіндегі 1 м^2 ауданнан 1 с ішінде бөлінетін энергия). Жер серігінің беті жарықты толығымен шағылдырады деп алыңдар.
5. Қуаты $P = 60 \text{ Вт}$ электр шамының қабырғаларына түсірілетін жарық қысымын анықтаңдар. Шам колбасы радиусы $R = 5 \text{ см}$ сфералық ыдыс болып табылады, оның қабырғаларынан түсірілген жарықтың 9 %-і шағылады. Шам қуатының барлығы сәулеленуге жұмсалады деп алыңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ғарыштық желкен.
2. Обскур камерасынан сандық фотоаппараттарға дейінгі тарих.
3. Фотосурет алу технологиясы.

§ 34. Рентгендік сәулелену

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- компьютерлік және магниттік-резонанстық томографияны салыстыруды үйренесіңдер.



Бұл қызық!

Нысанның ішкі құрылысын зерттеу әдісін 1972 жылы британ инженер-электригі Годфри Хаунсфилд және оңтүстік америкалық физик Аллан Кормак ұсынды. Олар осы әдіс үшін 1979 жылы Нобель сыйлығын иеленді.

I Компьютерлік рентгендік томография. Томографтар

Компьютерлік томография – рентгендік диагностика әдісі, ол тығыздығы әртүрлі ұлпалардың рентгендік сәулеленуінің әлсіреуін компьютерлік өңдеу және өлшеуге негізделген.

Алғашқы буын аппараттары 1973 жылы пайда болды, компьютерлік томограф цилиндрлік рамаға жалғанған арнайы рентген түтікшесінен тұрады. Рама ортасында орналасқан науқасқа рентгендік сәулелердің жіңішке шоғын түсіреді. Адам денесін 180 градусқа айналдыра алатын екі детектор раманың қарама-қарсы бетіне жалғанған. Детекторлар түрлі ұлпалардың жұту көрсеткіштерін қабылдап, жазып отырады. Алғашқы буын томографтарының қолданылуымен жазба рентгендік түтікше сканерленуші жазықтық бойымен сызықты орын ауыстыруы

барысында 160 рет жазылады. Содан соң рама 10° -қа бұрылады да, процедура қайталанатын. Рама 180° -қа бұрылғанша процедура жалғасады. Зерттеу барысында әр детектор 28 800 кадр жасайды. Ақпарат компьютерде өңделеді және арнайы компьютерлік бағдарлама көмегімен таңдалған қабаттың суреті алынады.

Компьютерлік томографтардың екінші буыны рентгендік сәулелердің бірнеше шоғырын және 30 шақты детекторға дейін қолданады. Бұл зерттеу процесін 18 секундқа дейін жылдамдатуға мүмкіндік береді.

Компьютерлік томографтардың үшінші буынында жаңа принцип қолданылады. Желпуіш түріндегі рентгендік сәулелердің кең шоғы зерттеліп отырған нысанды жауып тұрады, денеден өткен рентгендік сәулелерді бірнеше жүз детекторлар жазып алады. Зерттеуге жұмсалатын уақыт 5–6 секундқа дейін қысқарды.

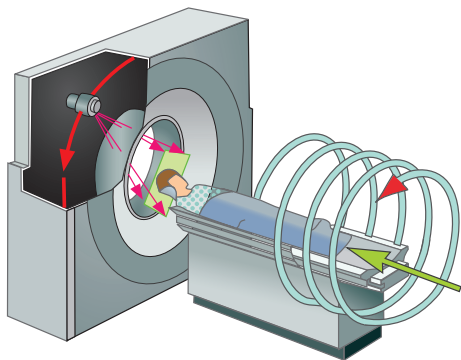
Төртінші буын 1088 люминесцентті датчиктерден тұрады, олар аппарат сақинасының бойында орналасады, тек рентгендік түтікше ғана айналады. Бұл әдістің арқасында айналу уақыты 0,7 секундқа дейін қысқарды. Үшінші буын томографтарымен салыстырғанда сурет сапасында айтарлықтай айырмашылықтар жоқ.

II Компьютерлік томографияның заманауи әдістері

1) *Спиральді компьютерлік томография (КТ).* Спиральді КТ клиникалық практикада 1988 жылдан бастап қолданылады, осы кезде Siemens Medical Solutions компаниясы алғашқы спиральді компьютерлік томографты ұсынды (221-сурет). Спиральді сканерлеу екі әрекеттің бір мезетте орындалуына – рентгендік түтікшенің науқас денесінің маңында үздіксіз айналуы және үстелдің сканерлеу өсі бойымен үздіксіз ілгерілемелі қозғалуына негізделеді. Бұл жағдайда рентгендік түтікшенің науқас жатқан үстелдің қозғалыс бағытына қатысты қозғалыс траекториясы спираль түрінде болады.

2) *Көпқабатты компьютерлік томография (КҚКТ).* КҚКТ-ға арналған томографтарды ең алғаш 1992 жылы Израильдің Elscint компаниясы ұсынды.

Томографтардың принциптік айырмашылығы: рентгендік сәулеленуді гентри шеңберінде екі немесе одан да көп қатарда орналасқан детекторлар бір мезетте қабылдайды. 1992 жылы алғашқы екі қатар детекторлары бар екіқималы, ал 1998 жылы сәйкесінше төрт қатарлы детекторлары бар төртқималы томографтар пайда болды (222-сурет).



221-сурет. *Спиральді компьютерлік томограф*



222-сурет. *Мультиқималы компьютерлік томограф*

Бесінші буындағы төртспиральді томографтар төртінші буынның қарапайым спиральді компьютерлік томографтарына қарағанда 8 есе жылдамдық. 2004–2005 жылдары 32-, 64- және 128-қималы көпқабатты, сондай-ақ екі рентгендік түтікшесі бар томографтар ұсынылды. 2007 жылы Toshiba компаниясы 320-қималы компьютерлік томографтар жасап шығарды, олар рентгендік компьютерлік томографияның даму тарихының жаңа белесі болып табылады. Олар тек суретті алуға ғана емес, ми мен жүректе жүретін физиологиялық процестерді бақылауға да мүмкіндік береді.

III МРТ-ның диагностика әдісі ретіндегі әрекет ету принципі және артықшылықтары

Магниттік-резонанстық томографтың сыртқы көрінісі компьютерлік томографқа ұқсайды. Зерттеу компьютерлік томография сияқты жүреді.

Диагностика негізінде сутек атомдарының сыртқы магнит өрісі әсерін сезіну қабілеттілігі жатыр: сутек ядросындағы

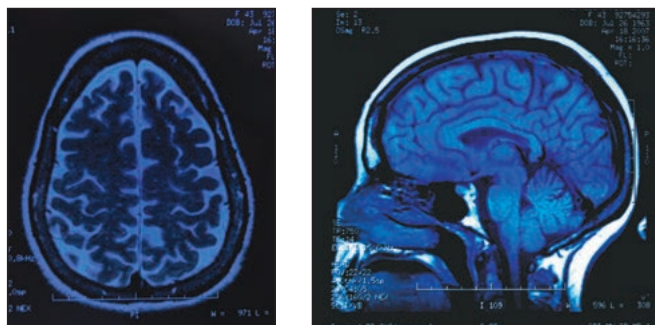
Маңызды ақпарат

Магниттік-резонанстық томографияның (МРТ) даму тарихы

1973 жылы америкалық ғалым Пол Лотербур магниттік-резонанстық томограф ойлап тапты.
1977 жылы 5 сағат бойы адам денесін алғашқы сканерлеу жүргізілді.
1978 жылы алғаш рет кеуде обырына шалдыққан адам денесінің сканері жасалды.
1980 жылы түсірілімге тек 5 минут уақыт жұмсап, адам ағзасының суреті алынды.
1986 жылы сурет сапасын жоғалтпастан, сканерлеу уақыты 5 секундқа дейін қысқартылды.
1988 жылы Думоулин МРТ-ангиография әдісін жетілдірді, ол рентгендік құралдарды пайдаланбай, қан ағысының суретін көрсетті.
1989 жылы қозғалыс және ойлау қабілетіне жауап беретін ми бөліктерін визуалдау үшін қолданылатын планарлы томография әдісі ұсынылды.

протондар айналу бағытын өзгертеді. Сыртқы магнит өрісі болмаған жағдайда протондар қайтадан бастапқы күйіне келеді. Құбылыс арнайы жүйе тіркеп отыратын энергия бөлінуімен қатар жүреді. Алынған мәліметтер компьютерлік бағдарлама арқылы өңделеді, нәтижесінде зерттеліп отырған ұлпалар бірнеше кималарда және әртүрлі жазықтарда жақсы көрінетін суреттер алынады. Магнит өрісінің әсері обыр жасушаларында ұзаққа созылатыны анықталған. Олардың құрамында су көп, сондықтан сутек атомдары да көп болады.

MPT сурет – адам денесі бөлетін радиосигналдардың компьютерлік көрінісі. 223-суретте MPT компьютерінде алынған көріністер берілген.



223-сурет. Мидың MPT суреті

MPT мүмкіндіктері бойынша компьютерлік томографиядан озық, себебі КТ-дағы секілді иондалған сәулеленудің орнына қауіпсіз электрмагниттік толқындарды қолдануға негізделген.

Қазіргі уақытта MPT медицинаның бөлек саласына айналды, онсыз диагностиканы елестету мүмкін емес. Ол тамырлардың, жүрек, мидың, ағзаның ішкі құрылысының қызметінің бұзылулары, омыртқаның өзгерісі, омыртқа арасындағы жарықтар, остеохондроз, сынулар, басқа да жарақаттар, қабыну сияқты аурулардың ауыр түрлері мен патологияларды бастапқы кезеңдерінде және инфекциялық процестерді анықтауға мүмкіндік береді. Одан бөлек томография адам мүшелерінің (органдарының) және ағза жасушаларының құрылысын визуалдауға, жұлындағы сұйық ағынын, қанның жылдамдығын өлшеуге, ұлпалардағы диффузия мөлшерін бағалауға, мүшелердің қызмет етуі кезінде ми қыртыстарының белсенділігін анықтауға мүмкіндік береді.



Есте сақтаңдар!

Магниттік-резонанстық томография – адамның ішкі мүшелерін және жасушаларының ядролық магниттік резонанс физикалық құбылысын қолдана отырып зерттеу әдісі. Әдіс кернеуі жоғары тұрақты магнит өрісіндегі қозған атом ядроларындағы құбылыстарды өлшеуге негізделген.

Әдіс кернеуі жоғары тұрақты магнит өрісіндегі қозған атомдардың электрмагниттік әсерлерін өлшеуге негізделген.



Жауабы қандай?

1. Неге MPT-ны рентген және флюорографияға қарағанда қысқа уақыт аралығында бірнеше рет тағайындауға болады?
2. Неге MPT диагностикасының дәлдігі басқа әдістерге қарағанда нақты болып келеді?

IV Магнит өрісінің қуаты және сурет сапасына әсер ететін факторлар

Заманауи томографтардың күшті магнит өрісінің қуатты көздері бар. Осындай көздер ретінде электромагниттер қолданылады, олар тудырған өрістің магнит индукциясы 1 Тл-дан 3 Тл-ға дейін жетеді. Тұрақты магнит өрісінің магнит индукциясы 0,7 Тл-ға жетеді.

Магнит индукциясы 1 Тл-дан төмен МРТ құрылғысында ішкі мүшелер және кіші жамбас мүшелерінің томографиясы сапалы түрде жасалмайды, өйткені бұл құрылғылардың қуаты өте төмен. Магнит индукциясы 1 Тл-дан кем төмен өрісті МРТ құрылғыларында қалыпты сападағы суреттер алынатын бас, омыртқа және буындарды зерттеу жүргізуге болады.

Тұрақты магниттер МРТ-ның туннельдік-жабық түрін ғана емес, сондай-ақ ашық түрін де алуға мүмкіндік береді, сонымен қатар қозғалыста, түрегеп тұрған күйде зерттеулер жүргізуге әрі зерттеу кезінде дәрігерлердің науқасты бақылауын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Науқастарды вертикаль күйде және отырғанда зерттеуге мүмкіндік беретін құрылғылар пайда болды.

МРТ сапасы өріс кернеулігіне ғана емес, алынған бейнені бағалайтын және дерттің бар болуын анықтай алатын маманға, зерттеу параметрлеріне, контрасты қолдануға да байланысты болады. МРТ кезіндегі контраст ретінде гадолиний қолданылады.

V Қазақстандағы МР және компьютерлік томография

Компьютерлік томография Қазақстанның көптеген медициналық орталықтарында қолданылады. Алматы қаласындағы Компьютерлік және магниттік-резонанстық томография орталығы ең заманауи құрылғылармен жабдықталған. Клиникада орнатылған Siemens компаниясының MAGNETOM Essenza магниттік-резонанстық (МР) томографы

Бұл қызық!

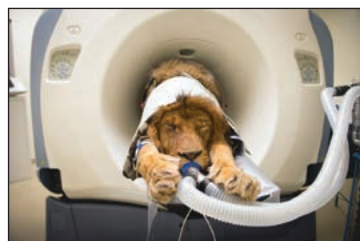
Жануарлар үшін МРТ жасау адамдарға қарағанда әлдеқайда қымбатырақ. Бұл жануарларға жалпы анестезия жасау қажеттілігіне байланысты (224-сурет). Бір зерттеу адам үшін 15 минут болса, жануарлар үшін 40–60 минут уақыт аралығында болады, МР-томографтарды оқи алатын дәрігерлер мен ветеринар томографтардың саны әзірше өте аз.

Есте сақтаңдар!

Клиникалық практикада пайдаланылатын құрылғылар үшін қуаты бойынша грациялау қолданады: төмен өрісті 0,1 Тл-дан 0,5 Тл-ға дейін; орташа өрісті 0,5 Тл-дан 0,9 Тл-ға дейін; жоғары өрісті 1 Тл-дан жоғары; аса жоғары өрісті 3,0 Тл және 7,0 Тл.

Тапсырма

Интернет желісін пайдаланып, сендердің аймақтарыңда қандай мекемелер МРТ және КТ құрылғыларымен жабдықталғанын анықтаңдар.



224-сурет. МРТ-дағы арыстан

Қазақстандағы жалғыз томограф болып табылады. Магниттік-резонанстық томография (МРТ) мүшелер мен айыру қабілеттілігі жоғары жүйелердің суреттерін алуға мүмкіндік береді. Диагностика орталығында сонымен қатар Siemens фирмасының SOMATOM Emotion 16 көп қималы компьютерлік томографы (КҚКТ) қолданылады. Компьютерлік томография сырқаттарды бастапқы кезеңде анықтауға мүмкіндік береді. КҚКТ барлық медицина салаларында: травматологияда, хирургияда, онкологияда, неврологияда, пульмонологияда, стоматологияда кең қолданысқа ие болды.

Бақылау сұрақтары

1. Рентгендік сәулеленуді қолданатын диагностика түрлерін атаңдар. Олардың ерекшеліктері неде?
2. Томографтың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
3. КТ-ның артықшылығы неде?
4. КТ-ның МРТ-дан айырмашылығы неде?
5. МРТ сапасына қандай параметрлер әсер етеді?
6. МРТ-ны неге диагностиканың қауіпсіз түрі деп есептейді?

★ Жаттығу

34

1. Магнит өрісінің магнит индукциясының минимал мәні 0,1 Тл, Жердің магнит өрісінің магнит индукциясының максимал мәні 65 мкТл.
 - а) МРТ-ның магнит өрісі Жердің магнит өрісінен неше есе көп?
 - ә) Күшті магнит өрісінің ұзақ әрекеті адам ағзасына қалай әсер ететінін анықтаңдар.
- 2*. Индукциясы 0,1 Тл өрісті МРТ-да тудыру үшін ток күші мен қуаттың болжамды мәндерін бағалаңдар. Оңайлату үшін магнит ұзындығы 1,5 м, диаметрі 1 м соленоид түрінде жасалған деп есептеңдер. Мыс сымның қимасын 100 мм^2 , қимадағы токтың тығыздығын $j = 2 \text{ А/мм}^2$ деп алыңдар. Мыстың меншікті кедергісі $0,056 \text{ Ом} \cdot \text{м/мм}^2$.

§ 35. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электромагниттік сәулеленудің корпускулалық-толқындық табиғатын дәлелдейтін мысалдар келтіруді;
- жарықтың корпускулалық-толқындық теориясын пайдаланып, табиғат заңдарының ғылыми даму тарихы туралы пікір білдіруді үйренесіңдер.



Тапсырма

1. Төменде көрсетілген құбылыстарды үш топқа бөліңдер:
 - 1) Жарық электромагниттік толқын ретінде көрінетін құбылыстар;
 - 2) Жарық – бөлшектер ағыны ретінде оңай түсіндірілетін құбылыстар;
 - 3) Жарық – бөлшектер ағыны, жарық – электромагниттік толқын деген кез келген көзқарас тұрғысынан оңай түсіндірілетін құбылыстар. Жарықтың шағылуы, сынуы, таралуы, поляризациясы, интерференциясы, жарықтың қысымы, дифракциясы, жұтылуы, фотосинтез, фотосуретке түсіру, дисперсия, тұтас және сызықтық спектрлерді бақылау, фотоэффект, люминесценция.
2. Неге олай бөлгендеріңді негіздеңдер.

I Жарықтың табиғаты

Жарықтың табиғаты туралы алғашқы көзқарастар XVII ғасырда айтылған. Ұзақ уақыт бойы ғалымдар арасында дау тудырған екі теория қарастырылды. Олардың бірі *жарық – корпускулалар ағынынан тұратын зат*, екіншісі *жарық – толқын* деп болжады. И.Ньютон механикалық толқындардың кедергіні орағытып өту және серпімді ортада таралу қасиеттеріне сүйеніп, жарықтың заттық теориясына тоқталды. И.Ньютонның қорытындысына көптеген ғалымдардың толқындар тек серпімді ортада таралады деген тұжырымдары түрткі болды. Күн және жұлдыздардан түскен жарық аспан денелері арасындағы үлкен қашықтықтарды артқа тастап, бос аралықтан өтеді. 1672 жылы жасалған Ньютон теориясына сәйкес жарық жарқырайтын дене шығаратын ұсақ бөлшектерден тұрады. Макроскопиялық бөлшектер секілді жарық бөлшектері өздерінен көлеңке қалдырып, кедергілерді орағытып өтпей, түзу сызықты қозғалады. Жарық бөлшектері де лақтырылған доп сияқты серпімді ортаны қажет етпейді. Өзінің «Оптика» кітабында И.Ньютон тәжірибелік зерттеулерге ерекше назар аударып, расталған фактілер мен күмәнді гипотезаларды ажыратуға талпынды.

Христиан Гюйгенс жарықтың толқындық теориясының жақтаушысы болды. Ол барлық кеңістікті толтыратын және барлық денелердің ішіне кіретін серпімді орта – эфир бар деп болжап, толқындардың интерференциясы мен дифракциясын ғана түсіндіріп қоймай, жарықтың таралуын, шағылуы мен сынуын толқындық теория тұрғысынан түсіндірді.

Оптиканың сол кездердегі белгілі заңдары екі теориямен де түсіндіріліп келді. Жарық бөлшектері кеңістікте қиылысқанда шашырамайтынын корпускулалық теорияға сүйеніп түсіндіру қиындық тудырды, бұл толқындық теория арқылы оңай түсіндірілді. Толқындық теорияның негізінде XIX ғасыр басында *жарық интерференциясы – жарық толқындарын қабаттастырғанда жарықтың күшеюі немесе әлсіреуі; дифракция – жарықтың*

кедергілерді орағытып өтуі, сондай-ақ жарықтың поляризациясы құбылыстары түсіндірілді.

XIX ғасырдың екінші жартысында Дж.Максвелл электрмагниттік толқындар теориясын ойлап тапты. Жарық толқынының жылдамдығының электрмагниттік толқындар жылдамдығымен сәйкес келуі жарық толқындары электрмагниттік толқындардың дербес түрі болып табылатынын растады. Толқындық теория корпускулалық теорияны жеңіп шықты деп айтуға болатын еді, алайда XX ғасырдың басында ғалымдар жарық бөлшектер ағыны сияқты сәуленетінін және жұтылатынын байқады.

II Комптон эффектісі – жарықтың кванттық табиғатын растайтын құбылыс

Сәулену жиілігінің азаюымен қатар жүретін электрмагниттік сәулелердің бос электронда шашырауын 1923 жылы А.Комптон ашты. Бұл процесте электрмагниттік сәулену жеке бөлшектер ағыны – корпускулаларға ұқсайды, классикалық электрдинамика тұрғысынан жиіліктің өзгеруі кезінде сәуленің шашырауы мүмкін емес.

Фотон тыныштықтағы электронда шашырап, оған энергиясының және импульсінің бір бөлігін беріп, қозғалыс бағытын өзгертеді, шашырау нәтижесінде электрон қозғала бастайды (225-сурет).

Фотонның шашыраудан кейінгі энергиясы мен жиілігі шашырауға дейінгі энергиясымен және жиілігімен салыстырғанда азырақ болады, сәйкесінше шашыраудан кейін фотонның толқын ұзындығы артады. Комптон толқын ұзындықтарының айырымы шашырап отырған заттың табиғатына да, түсетін сәулелердің толқын ұзындығына да емес, түсетін және шағылатын сәулелердің бағыттары арасындағы θ шашырау бұрышына ғана тәуелді екенін анықтады. Тәжірибе жүзінде анықталған бұл тәуелділік мына түрге ие:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_K \sin^2 \frac{\theta}{2} = \lambda_K (1 - \cos \theta), \quad (1)$$

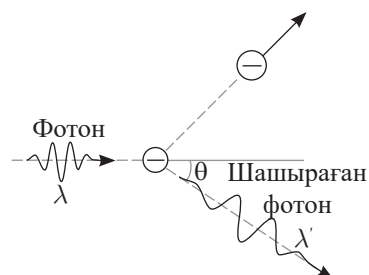
мұндағы λ – түсетін жарықтың толқын ұзындығы; λ' – шашыраған жарық толқынының ұзындығы; θ – фотонның электронда шашырау бұрышы; $\lambda_K = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м шашырау бөлшегі – электрон үшін комптондық толқын ұзындығы:

$$\lambda_K = \frac{h}{m_e c}. \quad (2)$$



Жауабы қандай?

Жарықты неге электрмагниттік толқын, сондай-ақ бөлшектер ағыны ретінде қарастырады?



225-сурет. Комптон эффектісі



Артур Комптон (1892–1962) – америкалық физик. 1922 жылы заттың электрондар әсерінен рентгендік сәулелену толқындарының ұзындықтарының өзгеру эффектісін теориялық тұрғыда түсіндірді. 1927 жылы Нобель сыйлығын иеленді. 20-дан астам шетелдік ғылыми қауымдастықтардың мүшесі.

III Жарықтың корпускулалық-толқындық теориясының біртұтастығы

Оптиканың дамуы электрмагниттік өріске тән үзіліссіздік қасиеттерін фотондарға тән дискреттілік қасиетіне қарама-қарсы қоюға болмайтынын көрсетті. Жарық екі түрлі корпускулалық-толқындық табиғатқа ие. Заманауи көзқарастарға сәйкес *жарық толқындық та, корпускулалық та қасиеттерге ие. Фотонның корпускулалық сипаттамалары: энергия, масса, импульс толқындық сипаттама жиілікпен өзара байланысқан:*

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}; \quad (3)$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}; \quad (4)$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (5)$$



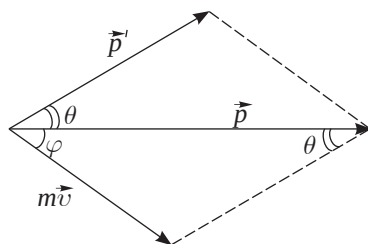
Жауабы қандай?

(3–5) формулалардың негізінде жарық электр-магниттік толқындардың да, бөлшектер ағынының да қасиеттеріне ие деп тұжырымдауға бола ма?

Жарық бір мезгілде корпускулалық-толқындық қасиеттерге ие бола отырып, олардың көрініс беруінде белгілі бір заңдылықтарды айқындайды. Осылай жарықтың толқындық қасиеттері оның таралуында, интерференциясында, дифракциясында, поляризациясында, ал корпускулалық қасиеттері затпен өзара әрекеттесу процестерінде байқалады. Толқын неғұрлым ұзын болса, фотонның импульсі және энергиясы соғұрлым аз болады және жарықтың кванттық қасиеттерінің де байқалуы қиындай түседі. Керісінше, толқын неғұрлым қысқа болса, энергия мен импульс көп болады және жарықтың толқындық қасиеттерін байқау қиындайды.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Энергиясы $E = 0,75$ МэВ фотон бос электронда $\theta = 60^\circ$ бұрышпен шашырайды (226-сурет). Электронның фотонмен соқтығысу жылдамдығы аз болғанын ескеріп, а) шашыраған фотонның энергиясын; ә) электронның фотонмен соқтығысқаннан кейінгі кинетикалық энергиясын; б) электронның қозғалыс бағытын анықтаңдар.



226-сурет. Фотонның шашырауы

Берілгені:

$$E = 0,75 \text{ МэВ}$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$E' - ?$$

$$E_k - ?$$

$$\varphi - ?$$

Шешуі:

а) Шашыраған электронның энергиясын

Комптон формуласын қолданып табамыз:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta).$$

Толқын ұзындықтарын сәйкес фотондардың энергиясы арқылы өрнектейміз:

$$\lambda' = \frac{hc}{E'}, \quad \lambda = \frac{hc}{E}. \text{ Берілген теңдеулер жүйесін шешіп, мынаны аламыз:}$$

$$E' = \frac{mc^2 E}{E(1 - \cos \theta) + mc^2} = 0,43 \text{ МэВ}.$$

ә) Фотонмен соқтығысқаннан кейінгі электронның кинетикалық энергиясын энергияның сақталу заңынан табамыз: $E_k = E - E' = 0,32$ МэВ.

б) Электронның қозғалыс бағытын импульстің сақталу заңынан табамыз:

$$\vec{p} = \vec{p}' + m\vec{v}.$$

Суреттен синустар теоремасын қолдануға болатынын көреміз:

$$\frac{p'}{\sin \varphi} = \frac{mv}{\sin \theta}, \quad \sin \varphi = \frac{p' \sin \theta}{mv}, \quad \text{бұдан } \varphi = \arcsin \left[\frac{E' \sin \theta}{c\sqrt{2m_e(E - E')}} \right] \approx 35^\circ.$$

Жауабы: а) $E' = 0,43$ МэВ;
ә) $E_k = 0,32$ МэВ;
б) $\varphi \approx 35^\circ$.

Бақылау сұрақтары

1. Элементар бөлшектердің ағынының толқындық қасиеттері қандай құбылыстарда байқалады?
2. Жарықтың кванттық табиғатын растайтын құбылыстарға мысал келтіріңдер.

★ Жаттығу

35

1. Графитті рентгендік сәулелермен сәулелендіргенде 45° бұрышпен шашыраған сәулелену толқынының ұзындығы $\lambda' = 10,7$ нм болды. Түсірілген сәулелердің толқын ұзындығын анықтаңдар.
2. Рентгендік сәулелердің толқын ұзындығы комптон шашырауынан кейін $\lambda_1 = 2$ пм-ден $\lambda_2 = 2,4$ пм-ге дейін ұзарды. Электрондардың берген энергиясын анықтаңдар.
3. $\lambda = 380$ нм толқын ұзындығы сәйкес келетін фотонның энергиясын, массасын, импульсін анықтаңдар. Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, жарық жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.
4. Энергиясы 1 МэВ фотонның толқын ұзындығын, массасын, импульсін анықтаңдар. Осы фотонның массасын электронның тыныштық массасымен салыстырыңдар.
5. Массасы 1) электронның; 2) протонның тыныштық массасына тең фотонның толқын ұзындығын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

1. «А.Комптон өмірбаяны» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.
2. «Жарықтың корпускулалық-толқындық дуализмі» кластерін құрастырыңдар.

§ 36. Альфа-бөлшектің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесі. Бор постулаттары. Франк және Герц тәжірибелері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- атомның планетарлық моделін α -бөлшектердің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесіне сүйене отырып негіздей аласыңдар;
- Бор постулаттарына сүйеніп, атомның орнықты күйінің шарттарын түсіндіре аласыңдар.

I α -бөлшектердің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесі

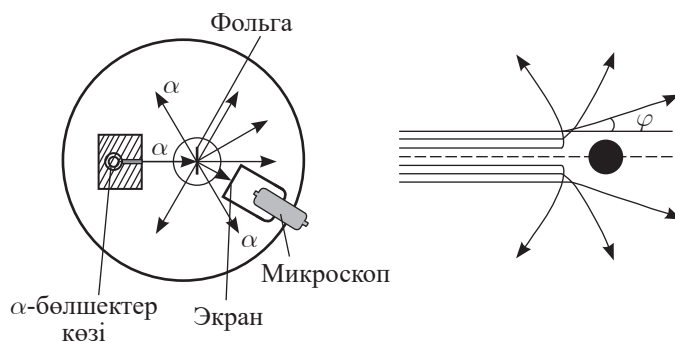
1909–1911 жылдары Э.Резерфорд және оның көмекшілері Э.Марсден мен Х.Гейгер атомның құрылысын зерттеу бойынша тәжірибелер жүргізді. Олар заряды мен массасы белгілі α -бөлшектердің ауыр элементтердің атомдарында бұрыштық шашырауын зерттеді.

Резерфорд тәжірибесінің сұлбасы 227-суретте көрсетілген. Қорғасын ыдысқа орналастырылған радиоактивті көзден α -бөлшектер жұқа алтын фольгаға қарай бағытталады. Атомдарда шашыраған бөлшектер мырыш сульфидінің кристалдарының қабатымен қапталған экранға түседі де, экран α -бөлшектердің соққысынан жарқырайды.



Жауабы қандай?

α -бөлшектерді шашыратуда неге алтын фольга қолданылды?



227-сурет. Резерфорд тәжірибесінің сұлбасы

Экрандағы жарқылдар микроскоп көмегімен бөлшектер шоғырының бастапқы бағытына әртүрлі φ бұрыштарда бақыланған. α -бөлшектердің басым бөлігі жұқа металл қабатынан ауытқымай өтетіні, ал бөлшектердің аздаған бөлігі 30° -тан артық бұрыштарға ауытқитыны анықталды. α -бөлшектердің кейбірі 180° -қа жуық бұрыштарға ауытқиды, бұл тек атомның барлық оң заряды ядроға шоғырланған жағдайда ғана мүмкін болады. Резерфорд α -бөлшектердің бастапқы кинетикалық энергиясын оның ядромен өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясына теңестіріп, атом ядросының радиусын анықтады, ол өз кезегінде тоқтау моменті мен қозғалыс бағытының өзгерісіне сәйкес келеді: $\Delta E_k = \Delta E_p$

немесе

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{q_\alpha q}{4\pi\epsilon_0 r_{\min}}, \quad (1)$$

мұндағы $q_\alpha = 2|e|$ – α -бөлшектің заряды, q – ядро заряды, $m = 7350m_e$ – α -бөлшектің массасы, $v = 10^7$ м/с – оның жылдамдығы.

Ядро радиусы ретінде қабылданған α -бөлшектің ядроға жақындауының ең аз қашықтығы 10^{-15} м-ге жуық екені анықталды, оның 10^{-10} м атом өлшемімен салыстырғанда айтарлықтай аз екені ғалымдарды таңқалдырды, алайда тәжірибе нәтижелері теориялық есептеулермен сәйкес келді.

II Резерфорд атомының моделі

Микробөлшектердің қозғалысы жайлы классикалық көзқарасқа сүйеніп, Резерфорд атомның планетарлық моделін ұсынды. Осы модельге сәйкес атом центрінде атомның барлық массасы шоғырланған оң зарядталған ядро орналасады. Кулондық күштердің әсерінен электрондар ядроны айнала қозғалады (228-сурет). Атом – бейтарап. *Егер электрон зарядын 1-ге тең деп қабылдасақ, онда ядро заряды осы элементтің Менделеев кестесіндегі реттік санына тең болады.*



2-тапсырма

Гелий атомы мен оттегі атомының планетарлық моделін бейнелеңдер.

Резерфорд моделі атомның құрылымын және заттың химиялық қасиеттерін түсіндіруде үлкен рөл атқарады. Алайда сызықтық спектрді түсіндіруде толықтай айқындылық болмады. Ядроны айнала үдеумен қозғалатын электрон сәуле шығарып, ядроға дейінгі қашықтық үздіксіз азайып, айналу жиілігі артуы керек. Осылайша спектр үзіліссіз болып, атом орнықсыз болуы керек. Шамамен 10^{-8} с уақыт аралығында электрон өзінің барлық энергиясын жұмсап, ядроға құлауы керек. Ал шын мәнінде атом орнықты, энергия шығара алады, оның сәулеленуіне сызықтық спектр тән. Резерфорд классикалық физика шеңберінде қалып, қарамақайшылықтардан құтыла алмады.

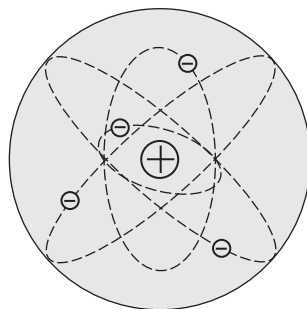
III Бор тұрақтысы. Бор постулаттары негізінде сызықтық спектрді түсіндіру

Дания физигі Нильс Бор Резерфордтың атомдық моделіне сүйеніп, сызықтық спектрлердің жұмбағын шешуге талпынды. Атомдарда энергия кез келген мөлшерде емес, белгілі бір үлестермен – кванттармен жұтылуының немесе шығарылуының дәлелі сызықтық спектрлер болып табылады. Демек, атом белгілі немесе дискретті энергетикалық күйлерде бола алады. Энергетикалық күйлердің дискреттілігі жайлы



1-тапсырма

1. (1) формуланы және α -бөлшекті сипаттайтын шамаларды қолданып, алтын ядросының өлшемін анықтаңдар.
2. Ядро өлшемі мен атом өлшемін еселік салыстырыңдар.



228-сурет. Резерфорд атомының моделі



Жауабы қандай?

1. Сендер бейнелеген атом ядроларының сыртында қанша электрондық қабат пайда болады?
2. Неліктен I топтың элементтері химиялық белсенді? VIII топтың элементтері неліктен «инертті» газдар деп аталған?
3. Неліктен Резерфорд атомның оң зарядын атом центріне орналастырған?
4. Электрон айналу кезінде неліктен энергия бөледі?
5. Резерфорд моделін қолдана отырып, неліктен атомдардың сәулеленуінің сызықтық спектрін түсіндіру мүмкін емес?
6. Резерфордтың атомдық моделін неге оның кемшілігіне (ол атомның орнықтылығын түсіндірмейді) қарамастан заманауи ғылымда қолданып келеді?

ұғымдарға сүйеніп және Резерфордтың атомдық моделін сақтай отырып, Н.Бор қозғалыстағы зарядталған бөлшектердің өзара әрекеттесуі жайлы классикалық түсініктерге қайшы келетін постулаттарды енгізді.

1-постулат. *Атомда орнықты стационар орбиталар бар, олардың бойымен қозғалғанда электрон сәуле шығармайды.*

Орбиталардың радиусын анықтау үшін Бор кванттау шартын енгізді: *электронның L механикалық импульсінің моменті $\frac{h}{2\pi}$ шамасына қалдықсыз бөлінеді.*

Импульс моменті I инерция моментінің ω бұрыштық жылдамдыққа көбейтіндісімен анықталады. Ядроны айнала қозғалатын электрон үшін инерция моменті мынаған тең: $I = mr^2$. Бұрыштық жылдамдық пен сызықтық жылдамдықтың байланысын ескере отырып, импульс моменті үшін алатынымыз: $L = mr^2 \cdot \frac{v}{r} = mvr$, онда кванттау шарты

мына түрге ие болады:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi}, \quad (2)$$

мұндағы m – электрон массасы, v – оның жылдамдығы, r – орбита радиусы, $n = 1, 2, 3, \dots$ – кванттық сан, h – Планк тұрақтысы. Кванттық саны $n = 1$ бірінші орбита атомның негізгі қозбаған күйіне сәйкес болады.

2-постулат. *Электронның энергиясы W_n стационар орбитадан энергиясы W_m басқа орбитаға өтуі кезінде энергия кванты жұтылады немесе шығарылады.*

Энергия квантының мәні энергияның сақталу заңымен анықталады:

$$h\nu = W_n - W_m, \quad (3)$$

мұндағы n, m орбиталардың кванттық сандары, $n > m$.

Сәулеленіп отырған электрмагниттік толқындардың жиілігі қатаң түрде анықталған нақты мәнге ие, ол атомның стационар күйлерінің энергияларының айырымына тәуелді:

$$\nu = \frac{W_n - W_m}{h}. \quad (4)$$

Атомның стационар m күйден n күйге өтуі кезінде электрон сәулелену кезіндегідей жиіліктегі энергия квантын жұтады.

Атомдар шығаратын электрмагниттік толқындардың жиілігі электрондардың атомдағы айналу жиілігімен емес, стационар күйлердің энергияларының айырымымен анықталады.



3-тапсырма

1. $\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ қозғалыстағы электронға қолданылатын Ньютонның екінші заңын және кванттау ережесін пайдаланып, сутек атомындағы электронның стационар орбиталарының радиусын есептеу формуласын алындар.
2. Бірінші стационар орбитаның радиусын анықтаңдар, алынған нәтижені анықтамалық әдебиетте көрсетілген ≈ 53 пм радиуспен салыстырыңдар.



Жауабы қандай?

Екінші орбитаның радиусы біріншіден, үшінші орбитаның радиусы біріншіден және т.б. неше есе артық?



4-тапсырма

Бор постулаттарына сүйене отырып, газдардың және атомарлық күйдегі химиялық элементтердің, булардың сызықтық спектрлері қалай анықталатынын түсіндіріңдер. Жұту спектрінің және атомның сәулелену спектрінің сызықтары неліктен сәйкес келеді?



Жауабы қандай?

1. Неліктен Н.Бор Резерфорд моделін нақтылап, постулаттар енгізді?
2. Сәулеленудің сызықтық спектрін неге электрондардың ядроны айналу жиілігімен түсіндіруге болады?

IV Сутек атомының сәулеленуінің спектрлік сериялары

Бор постулаттары және ол ұсынған атом моделі көптеген ғалымдар тәжірибе жүзінде алған сутек спектріндегі сәулелену сызықтарына толықтай сәйкес келеді.

1885 жылы швейцариялық физик И.Бальмер сутектің көрінетін спектрін зерттеу барысында спектрдің көрінетін бөлігінде сутекпен сәулеленетін толқындардың ұзындықтары үшін эмпирикалық заңдылықты анықтады:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4}, \quad (5)$$

мұндағы $\lambda_0 = 364,6$ нм; $n = 3, 4, 5, \dots$ – екіден көп мән қабылдайтын бүтін сандар. Швед физигі И.Ридберг бұл заңдылықты басқа түрге келтірді, ол арқылы атомның сәулеленуінің жиілігін анықтауға болады:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{4c}{\lambda_0} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

немесе
$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (6)$$

мұндағы тұрақты шама $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ Ридберг тұрақтысы деген атауға ие болды, ал (6) қатынас Бальмер формуласы деп аталады.

Бальмер сериясы көрінетін спектрдің ашық қызыл, көгілдір, көк және күлгін түсті төрт сызығынан тұрады. Олар электронның 3, 4, 5 және 6-стационар орбитадан кейінгілеріне өту кезіндегі атомның сәулеленуіне сәйкес келеді (229-сурет).

Сутек спектрінде тағы бірнеше сериялар бар. 1906 жылы америкалық физик Т.Лайман спектрдің ультракүлгін бөлігіндегі серияны ашты, ол үшін мына заңдылық орындалады:

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

мұндағы $n = 2, 3, 4, \dots$

Бұл – электронның қозған стационар орбитадан негізгі бірінші орбитаға өтуіне сәйкес келетін сәулеленулер сериясы. 1908 жылы неміс физигі Ф.Пашен ашқан спектрдің инфрақызыл бөлігіндегі серия үшін заңдылық мына түрге ие болды:

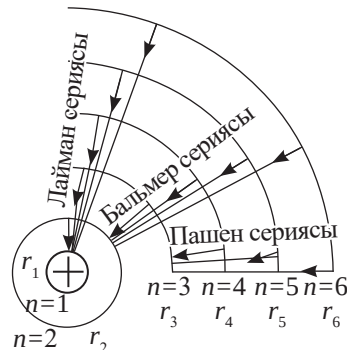
$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ мұндағы } n = 4, 5, 6, \dots$$

Ғалымдардың зерттеулерін жалпылап, И.Ридберг сутектің сәулеленуін сипаттау үшін мына формуланы ұсынды:

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (7)$$

мұндағы $m = 1, 2, 3, \dots$ – бүтін сандар қатары, ал n саны үшін мына шарт орындалады: $n = m + 1, m + 2, m + 3, \dots$

Зерттеулер біреуінен басқа барлық электрондарынан айырылған сутек тәрізді атомдар үшін (3) формула Ридберг тұрақтысын 4 есе, 9 есе және басқа сандарға арттырған кезде орындалатынын көрсетті.



229-сурет. Сутек атомының сәулелену сериялары



Есте сақтаңдар!

Сутек тәрізді атомдардың мысалы: иондалған гелий, екі рет иондалған литий және т.б.



5-тапсырма

Бальмер сериясындағы сутектің сәулелену жиілігін анықтаңдар.

V Франк және Герц тәжірибелері

Бор постулаттарына негіз болған атомның энергетикалық күйлерінің дискреттілігі жайлы түсініктер неміс физиктері Д.Франк пен Г.Герц тәжірибелері негізінде дәлелденген болатын.

Тәжірибеде сұлбасы 230-суретте көрсетілген қондырғы қолданылды. Баллонда қысымы 10^2 Па сынап булары бар. Қыздырылған K катод пен T тор арасындағы потенциалдар айырымы U_1 болсын, оны V вольтметрмен өлшеп, потенциометр Π көмегімен өзгертеді. T тор мен A анод арасындағы қарсы U_2 потенциалдар айырымы, шамамен, 0,5 В болады.

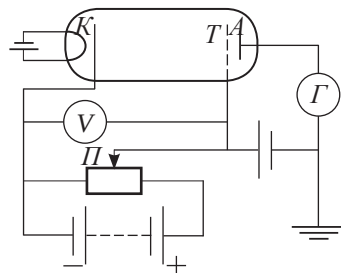
Катод кернеуі U_1 электр өрісімен үдетілетін электрондар шығарады. Электрондардың тордан ұшып шығуы кезіндегі кинетикалық энергиясы 0,5 эВ-тан көп болса, олар U_2 тежегіш кернеуді жеңіп шығады да, A анодқа жетіп, нәтижесінде жерге жалғанған гальванометрде ток жүре бастайды. Франк және Герц алған вольт-амперлік сипаттаманың графигі – I ток күшінің U_1 үдеткіш кернеуге тәуелділігі 231-суретте көрсетілген. U_1 кернеу артқанда, I ток күші де алдымен артады. Содан соң $U_1 = 4,9$ В болғанда, күрт кемиді. U_1 артқанда, I ток күші артады. Алайда $U_1 = 2 \cdot 4,9$ В = 9,8 В болғанда, қайтадан азаяды. I ток күшінің келесі азаюы $U_1 = 3 \cdot 4,9$ В = 14,7 В болғанда жүреді және осылай өзгеріп тұрады.

Электрон энергиясы 4,9 эВ-тан кем болғанда, сынап электрондары мен атомдарының арасында соқтығысулар пайда болады: соқтығысудан кейін электрондардың жылдамдығының сандық мәні өзгермейді. Нәтижесінде U_2 тежегіш потенциалдар айырымын жеңіп шығуға қажетті энергиясы бар электрондар T торға жақындайды. Сондықтан U_1 үдеткіш кернеудің артуы тізбектегі I ток күшінің артуымен қатар жүреді. U_1 мәні 4,9 В-қа жеткенде, тордың маңындағы электрондар 4,9 эВ кинетикалық энергияға ие болады. Бұл жағдайда атомдардың электрондармен соқтығысуы серпімсіз болады: электрон өзінің барлық энергиясын сынап атомына береді. Энергиясы мен жылдамдығын жоғалтқан электрон A электродқа жете алмайды. Тек сынап атомымен серпімсіз соқтығысуға ұшырамаған электрондар ғана тордағы тежегіш кернеуді жеңіп шығуға қабілетті. Нәтижесінде I ток күші күрт төмендейді, графикте бірінші максимум пайда болады.

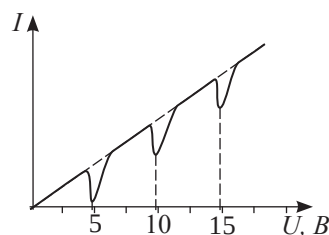
Сынаптың қозған атомдары бастапқы энергетикалық деңгейге қайтып барған кезде Бордың екінші постулатына сәйкес $h\nu = 4,9$ эВ энергия кванттарын шығаруы керек. Бұл сәулеленудің жиілігі:

$$\nu = \frac{4,9 \text{ эВ}}{h} = 1,18 \cdot 10^{15} \text{ Гц}.$$

Бұл сынап буларының сәулелену спектріндегі сәйкес сызықтың жиілігін спектроскоп арқылы өлшеу нәтижесіне сәйкес келеді.



230-сурет. Франк және Герц тәжірибесіндегі қондырғы сұлбасы



231-сурет. Вольт-амперлік сипаттама

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Сутек атомындағы электронның үшінші орбитадан екінші орбитаға өткен кездегі сәулеленуінің толқын ұзындығы электронның екінші орбитадан бірінші орбитаға өткен кездегі толқын ұзындығынан неше есе ұзын болады?

Берілгені: **Шешуі:**

$$n = 3$$

$$k = 2$$

$$m = 1$$

$$\nu_{nk} = \frac{c}{\lambda_{nk}} = R \cdot \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (1) \quad \nu_{km} = \frac{c}{\lambda_{km}} = R \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{k^2} \right); \quad (2)$$

(2) өрнекті (1) өрнекке бөліп, орбиталардың нөмірлерін қоямыз:

$$\frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} = \frac{R \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)}{R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)} = \frac{27}{5} = 5,4.$$

Жауабы: $\frac{\lambda_{32}}{\lambda_{21}} = 5,4.$

Бақылау сұрақтары

1. Резерфорд α -бөлшектерді шашырату бойынша тәжірибе нәтижесінде қандай қорытындыға келді?
2. Бордың атомдық моделі қандай постулаттарға негізделіп жасалған?
3. Бордың кванттау ережесінің мәні неде?
4. Бор енгізген постулаттар Резерфорд атомы моделінің қандай кемшіліктерін жойды?
5. Бор атом күйіндегі химиялық элементтердің сәулелену жиіліктерін қалай анықтады?
6. Франк пен Герц өз тәжірибелерінің негізінде қандай қорытындыға келді?

★ Жаттығу

36

1. $1,9 \cdot 10^7$ м/с жылдамдықпен ұшып келе жатқан α -бөлшек ядро центрінен өтетін түзу сызық бойымен қозғалып, алтын атомының ядросына қандай арақашықтыққа жақындай алатынын анықтаңдар. α -бөлшектің массасы $6,6 \cdot 10^{-27}$ кг, заряды $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл; алтын ядросының заряды $1,3 \cdot 10^{-17}$ Кл. $k = 9 \cdot 10^9$ Н · м²/Кл².
2. Сутек атомындағы электрондардың төртінші стационар орбитадан екіншіге өту кезінде атом энергиясы $4,04 \cdot 10^{-19}$ Дж фотон шығарады (сутек спектрінің жасыл сызығы). Спектрдің осы сызығының толқын ұзындығын анықтаңдар. Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.
3. Сынап буларын электрондармен сәулелендіру кезінде сынап атомының энергиясы 4,9 эВ-қа артады. Қозбаған күйге өту кезіндегі сынап атомдары шығаратын сәулеленудің толқын ұзындығын анықтаңдар.
4. Сутек атомы төртінші энергетикалық деңгейден біріншіге өтеді. Осы атомның сәулелену спектрінде қанша сызықты анықтауға болады? Спектр сызықтарына сәйкес келетін толқын ұзындықтарын анықтаңдар.

§ 37. Сызықты емес оптика туралы түсінік. Лазерлер

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- лазер құрылғысын және оның жұмыс істеу принципін түсіндіре аласыңдар;
- голографияның даму кезеңдерін талқылай аласыңдар.

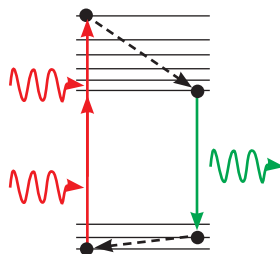
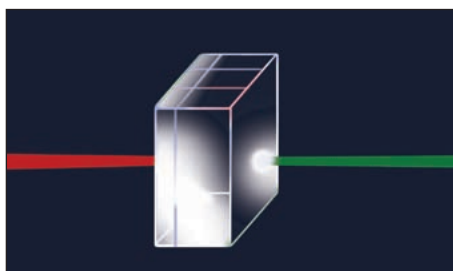
I Сызықты емес оптика

Когерентті сәулеленудің қуатты көздері – лазерлердің пайда болуына байланысты ғалымдар жаңа оптикалық эффекттерді анықтады. Қуаты 10^9 – 10^{10} Вт аралығындағы жарық өрісінде құбылыстардың сипаты айтарлықтай түрленеді, яғни ортаның оптикалық сипаттамалары: сыну көрсеткіші, жұтылу коэффициенті өзгереді. Олар электр өрісі E кернеулігінің функцияларына айналады. Егер жарық қарқындылығының аз мәнінде оның затпен өзара әрекеттесуін сипаттайтын шамалардың тәуелділігі сызықты болса, онда жарық ағынының қуатын күшейткенде сызықты тәуелділік бұзылады.

Сызықты емес оптика – қуатты жарық шоқтарының қатты денелерде, сұйықтарда және газдарда таралуын және олардың затпен өзара әрекеттесуін қарастыратын физикалық оптика бөлімі.

Зерттеулер қарқындылығы жоғары сәулеленудің қарқындылығы төмен сәулеленуге қарағанда затқа әсер етуінде айырмашылық тудыратын негізгі себеп көпфотонды процестер мен өздігінен әсер ету екенін көрсетті.

Көпфотонды жұтылу – молекула немесе атом электронының сыртқы сәулеленудің екі немесе бірнеше фотондарын жұту нәтижесінде бір стационар күйден басқасына өту процесі. Электрон күйлерінің арасындағы энергиялар айырымы осы жұтылған фотондардың энергияларының қосындысына тең. Осы кезде жиілігі жұтылған кванттар жиіліктерінің қосындысына $\nu = \nu_1 + \nu_2$ немесе жұтылған фотондардың жиіліктерінің айырымына $\nu = \nu_1 - \nu_2$ тең жиілікпен бір ғана квант сәулеленуі мүмкін (232-сурет).



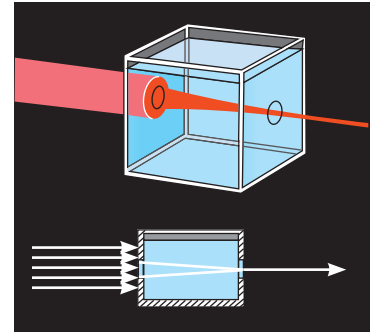
232-сурет. Көпфотонды жұтылумен сәулелену кезінде ниобат натрий кристалы жиілігінің өзгеруі

Толқындардың өздігінен әсер етуі – жарықтың немесе жарық шоғының өздігінен фокусталуының немесе фокусталмауының сызықты емес толқындық құбылысы. Жарықтың өздігінен фокусталуы – ортаның сыну коэффициентінің жарық толқынының кернеулігіне сызықты емес тәуелділігі салдарынан қуатты лазерлік шоқтың ортада таралуы кезінде өздігінен фокусталуы (233-сурет). Қатты жарық өрісінде

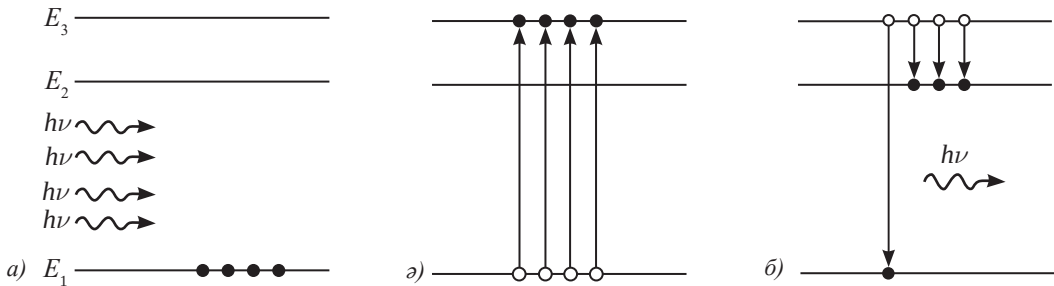
лазерлік сәулелену арқылы қыздыру есебінен ортаның сыну көрсеткіші өзгереді, бұл сәуленің фокусталуына алып келеді.

II Мәжбүрлі сәулелену

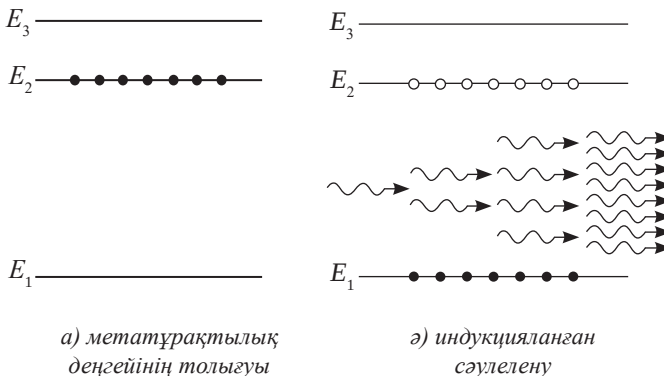
1939 жылы Кеңес Одағының физигі В.А.Фабрикант мәжбүрлі сәулелену құбылысын пайдалану негізінде жарықты күшейту әдісін ұсынды. Кейбір заттардың атомдары бірнеше секундқа дейін қозған стационар күйінде болуы мүмкін, бұл күй *метатұрақтылық* деп аталады. Мұндай затқа алюминий оксиді Al_2O_3 – лағыл (рубин) мысал бола алады, онда алюминий атомдарының бір бөлігі метатұрақтылық күйіндегі хром иондарымен алмастырылған. Кристалды сәулелендірген кезде хром иондары қозады және энергиясы E_3 стационар күйге ауысады (234, а, ә-суреттер). 10^{-8} с уақыт өткен соң қозған атомдардың көпшілігі өздігінен E_2 метатұрақтылық деңгейіне өтеді, онда олар «өмір сүру уақытынан» 100 000 есе артық уақыт ішінде қозған күйде болуы мүмкін (234, б-сурет). Осылайша, метатұрақтылық деңгейінің толығы орын алады, бұл процесс *толтыру* деп аталады (235, а-сурет).



233-сурет. Сәулелердің тоғысуы



234-сурет. Атомның қозған күйге ауысуы



а) метатұрақтылық деңгейінің толығы

ә) индукцияланған сәулелену

235-сурет.

E_3 деңгейінен E_2 деңгейіне өту сәулеленумен қатар жүрмейді; өйткені артық энергия кристалдық



Жауабы қандай?

1. Неге лазерлік жарық шоғы басқа жарық көздерінің қуатынан жоғары қуатқа ие болады?
2. 235, а, ә-суреттерді пайдаланып, лазерлік сәуле неліктен когерентті жарық шоғы болып табылатынын, барлық фотондардың жиілігі, фазасы, поляризациясы және қозғалыс бағыты бірдей болатынын түсіндіріңдер.

торға беріледі, нәтижесінде кристалл температурасы артады. E_2 деңгейінен E_1 деңгейіне өту мәжбүрлі немесе индукцияланған болып табылады (235 *ә-сурет*). Лағыл өзекті саңылау арқылы әлсіз жарық шоғымен жарықтандырғанда энергиясы метатұрақтылық және негізгі күйлердегі хром иондарының энергияларының айырымына тең фотондар осы иондардың E_2 күйден E_1 күйіне өтуін және энергиялары осындай фотондардың шығарылуын тудырады:

$$h\nu = E_2 - E_1.$$

III Лазерлік сәулеленудің қасиеттері

Лазерлік сәулелену жоғары монохроматтылық, когеренттілік, тар бағыттылық қасиеттеріне ие, жоғары қуатқа ие болуы мүмкін.

Үздіксіз режимде лазерлік сәулелену қуаты 10^5 – 10^6 Вт аралығында, импульстік режимде 10^{13} Вт болуы мүмкін, осы кезде шамамен 10^{16} Вт/см² қарқындылыққа қолжеткізуге болады. Қуат өте тар спектральді және уақыт аралықтарында шоғырланады. Лазерлік сәулелену импульсінің жинақталу уақыты 10^{-12} с-тан 10^{-13} с-қа дейін жетеді. Лазерлік сәулеленудің жоғары монохроматтылығы мен когеренттілігі сәуленің тар бағыттылығын анықтайды: сәулелер толқын ұзындығына тең кіші өлшемдегі дақтарға шоғырланады. Тар бағыттылықтың арқасында лазерлік жарық көздері *өте жоғары жарықтылыққа* ие болады. Лазерлік сәулеленудің қарқындылығы Күн сәулесінің толқын ағынының тығыздығынан ондаған мың есе артық болуы мүмкін. Аталған қасиеттер лазерлерді бірегей жарық көздері ретінде ерекшелейді және олардың көптеген салаларда қолданылуына мүмкіндік береді.



Есте сақтаңдар!

1916 жылы А.Эйнштейн сәулелену мәжбүрлі немесе когеренттіліктің жоғары дәрежесімен индукцияланған болуы мүмкін деп болжады. «Лазер» сөзі – ағылшын тіліндегі «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» сөз тіркесінің аббревиатурасы – *жарықтың мәжбүрлі сәулелену арқылы күшеюі* деген мағына білдіреді. Лазерлердің басқа жарық көздерінен басты айырмашылығы – когеренттіліктің жоғары дәрежесі болып табылуында.

IV Лазер түрлері және олардың ерекшеліктері

Лазерлердің жұмыс денесінің материалы және энергиямен толықтыру тәсілі бойынша жіктеуге болатын алуан түрлері бар.

Лазерлер – оптикалық диапазондағы когерентті сәулеленудің генераторлары мен күшейткіштері, олардың жұмыс істеуі кванттық жүйелердің: атомдардың, иондардың, молекулалардың индукцияланған сәулеленуіне негізделген.

Лазерлердің бірнеше түрімен танысайық.

Қатты денелі лазерлер. Алғашқы қатты белсенді орта лағыл – Cr^{+++} хром иондарының аздаған қоспасы бар Al_2O_3 корунд кристалы болды.

Сондай-ақ, Nd неодим қоспасы бар шыны, хром, неодим қоспасы бар $Y_2Al_5O_{12}$ алюмо-иттридті гранаты және сирек кездесетін өзек түріндегі элементтер кеңінен қолданылады. Қатты денелі лазерлерді толтыру үшін шамамен 10^{-3} с жарқырайтын импульстік шамды пайдаланады.

Газ лазерлері. Газ лазерлерінің белсенді ортасы төменгі қысымдағы (сынап бағанының жүздік үлесінен бірнеше миллиметрге дейін) газдар болып табылады, олар дәнекерленген электродтары бар шыны түтікті толтырып тұрады. Газ лазерлерін

жоғары жиілікті генератормен қоректенетін электр разряды арқылы толтырады. Сәулелену қатты денелі лазердегідей өтеді, бірақ газ лазерлері әдетте үзіліссіз сәулеленеді. Газдардың тығыздығы өте аз болғандықтан, белсенді зат массасы жоғары қарқынды сәулеленуге ие болуы үшін белсенді ортасы бар түтікше қажетінше ұзын болуы керек.

Сұйықтық лазерлері немесе бояғыштардағы лазерлер. Бұл лазерлердің белсенді ортасы ерітінділер түріндегі түрлі органикалық қосылыстар болып табылады. Белсенді заты бар өлшемдері кішкентай кюветтер 20 Вт-қа дейін өте қуатты сәулеленеді. Олар импульстік және үзіліссіз режимде жұмыс істейді, сұйықтық лазерлерін толтыру импульстік шамдар арқылы жүзеге асырылады. Бояғыштардың молекулаларының козу деңгейлерінің ені (көлденеңі, жалпақтығы) үлкен болады. Бояғыш ерітінділері бар кюветтерді ауыстырып, лазердің сәулеленуін өте кең ауқымда өзгертуге болады.

Жартылайөткізгішті лазерлер. Ең көп таралған лазерлік жартылайөткізгішті материал – GaAs галлий арсениді. Жартылайөткізгішті лазер тұрақты электр тогымен толтырылады, оның энергиясы 50 %-тен 100 %-ке дейін сәулеленуге айналады. Жартылайөткізгішті лазерлер қуатты лазерлік сәулелер шығарады.

V Голографияның физикалық принциптері

Голография (грек. «holos» – бүкіл және «grapho» – жазу) – когерентті сәуле көмегімен толқындық өрістерді жазудың, қайта шығарудың және түрлендірудің фотосуреттік әдісі.

Голографиялық әдіс екі кезеңнен тұрады: голограмманы жазу жарық толқындарының интерференциясы құбылысына негізделеді, ал бейнені оқу толқындардың дифракциясы құбылысына сүйенеді.

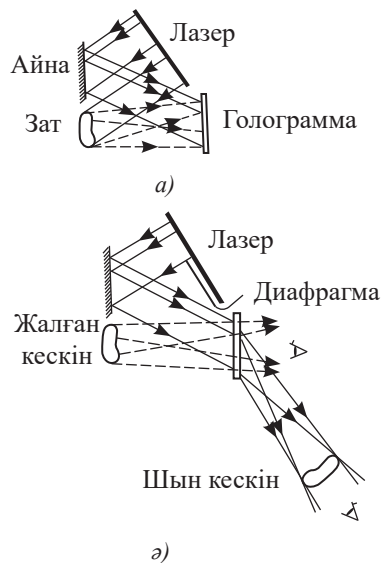
Голограммасы алынатын нысанға лазерден жарық түсіреді (236, а-сурет). Нысаннан шашыраған жарық толқыны немесе *нысандық жарық шоғы* фотопластинаға түседі. Осы пластинаға *тірек шоғы* – айнадан шағылған лазер жарығының бөлігі түседі. Фотопластиналық голограммада амплитудалық, фазалық екі жарық шоғын қабаттастыру нәтижесінде алынған ақпарат сақталады. Голограмманың сыртқы көрінісінің бірқалыпты жарықтандырылған фотопластинадан айырмашылығы болмайды.

Жарық түрінде шашыраған толқынды қалпына келтіру үшін нысанды алып, ал голограмманы түсірілім кезіндегі орнына орналастырады (236, ә-сурет). Егер лазерді қосса, онда бақылаушы терезе арқылы затты көргендей, голограмма арқылы



Тапсырма

Параграфтың IV бөліміндегі мәліметтерді пайдаланып, «Лазерлердің түрлері» салыстырмалы кестесін құрыңдар. Кестені лазерлерді қолдану саласы туралы ақпараттармен толықтырыңдар. Лазер құрылғысының қолданылу саласына тигізетін әсерінен лазердің әрбір түрінің артықшылығы неде екенін анықтаңдар.



236-сурет. Голограмма бейнесін қалыптастыру кезеңдері а) жазу, ә) оқу

нысаннан айырмашылығы жоқ көлемді жалған кескін көреді. Суретте заттың жақын және алыс бөліктерін көруге болады.

Заттың жалған кескінінен басқа, оның шын кескіні болады. Ол голограмманың жалған кескінінен басқа жақта орналасады. Егер фотопластина немесе күңгірт шыны шын кескін алынатын жазықтықта орналасса, онда оның екіөлшемді проекциясын алуға болады. Шын кескіннің бірқатар ерекше қасиеттері болады. Олардың ішіндегі ең қызығы – *жалған көшірме беруі* – кескінінің зат рельефіне кері болуы: дөңес орындары ойыс болып берілуі, «іші сыртына аударылған» кескін болады.



Жауабы қандай?

1. *Неге голографиялық әдіс заттың көлемді кескінін алуға мүмкіндік береді?*
2. *Неге голограмма алу үшін нысандық толқыннан басқа, тірек толқыны қажет?*
3. *Голограмманың шағын бөлігі арқылы қаралса, голографиялық кескіннің сапасы қалай өзгереді?*

VI Голограмманың негізгі қасиеттері

- 1) *Голограмманың кез келген фрагменті нысан туралы барлық ақпаратты сақтайды.* Егер пластинаны бөліктерге кесетін болса, онда олардың әрқайсысы қайтадан нысанның бүтін голограммасын бере алады. Бұл кеңістіктің кез келген нүктесінде электромагниттік өріс нысанның барлық көрінетін нүктелерінен келетін сәулеленудің жиынтығы екендігімен түсіндіріледі. Голограмма сурет немесе қарапайым фотосурет түрінде емес, терезенің арғы жағында тұрған нысан сияқты көрінеді.
- 2) *Егер голограммаларды жазу және қалпына келтіру үшін шашырайтын толқындар шебін қолданса, онда нысанның үлкейтілген немесе кішірейтілген кескінін алуға болады.*



Есте сақтаңдар!

1947 жылы ағылшын физигі Д.Габор «голограмма» терминін енгізді. Габор көлемді кескін алу идеясын айтып, оны жүзеге асыру әдісін түсіндірді. Когерентті толқындардың көзі болмағандықтан, кескіндердің сапасы нашар болды. 1962 жылы америкалық физиктер Э.Лейт және Ю.Упатниекс алғашқы лазерлік голограммаларды алды.



Назар аударыңдар!

Деректерді голографиялық сақтау

Голографиялық тасымалдағыштар идеясы – лазерлік сәуленің көмегімен ақпаратты үшөлшемді төсенішке жазу. Жаңа технология тек дискінің бетіне ғана емес, көлемі бойынша да жазба жүргізуге мүмкіндік береді. Мұндай төсеніш көлемі компакт дискіден артық болмайтын тасымалдағышта бірнеше гигабайт орнына бірнеше терабайт деректерді сақтайды. Голографиялық деректер өте жоғары жылдамдықпен шапшаң оқылады.

Голографиялық жазбаның артықшылықтары:

- жазудың жоғары тығыздығы және оқудың жоғары жылдамдығы;
- ақпараттарды параллель (бір биттен емес, тұтас беттермен) жазу;
- беттерді оқудың жоғары дәлдігі;
- деректерді қалпына келтіруде шуылдың төмен болуы;
- зақым келтірмей оқу;
- деректерді сақтаудың ұзақ мерзімі: 30–50 жыл және одан да ұзақ.

- 3) Бір фотопластинада бірнеше нысанды тізбектей тіркеуге болады, мысалы, 50 бет мәтін сыяды. Олардың барлығы бір мезгілде қалпына келтіріледі. Егер оларды қалпына келтіру кезінде бөлу қажет болса, онда әрбір нысан үшін тірек сәулесінің бағытын сәл өзгерту керек болады.

Бақылау сұрақтары

1. Сызықты емес оптиканың сызықтық оптикадан негізгі айырмашылығын атаңдар.
2. Лазер деп нені атайды? Лазерлердегі жарықты күшейту әдісін түсіндіріңдер.
3. Лазерлік сәуле қандай қасиеттерге ие?
4. Лазер түрлерін атаңдар. Лазерлерді қандай принцип бойынша жіктейді?
5. Голография деген не? Голограмма деп нені атайды?
6. Голографиядағы жазу және оны оқу әдісін түсіндіріңдер.
7. Голограмманың қандай қасиеттері бар?

★ Жаттығу

37

1. Импульстік режимде жұмыс істейтін лазер 1 кВт қуат тұтынады. Бір импульстің жинақталу уақыты – 5 мкс, 1 с ішінде шығатын импульстер саны 200-ге тең. Егер сәулеленуге тұтынылатын қуаттың 0,1 %-і ғана жұмсалса, сәулелену энергиясы мен бір импульстің қуаты қандай болатынын анықтаңдар.
2. Үздіксіз режимде жұмыс істейтін гелий неонды газ лазері қуатын 40 мВт-қа дейін арттырып, толқын ұзындығы 630 нм монохроматты жарық шығарады. Осы лазер 1 с ішінде қанша фотон шығарады? Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, жарық жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.
3. Қуаты $P = 2$ кВт лазер $t = 2$ с ішінде 300 жарық импульстерін шығарады. Әрбір импульстің жинақталу уақыты $\tau = 4$ мкс. Сәулеленуге тұтынылатын энергияның $\eta = 0,3$ %-і жұмсалады. P_1 қуатты және бір импульстің энергиясын E_1 анықтаңдар.
4. 100 Вт қуат тұтынатын лазер толқын ұзындығы 600 нм жарық толқынын шығарады. Егер оның ПӘК-і $\eta = 0,1$ % болса, онда лазер секундына қанша квант шығарады?
- 5*. Лазерлік сәулеленудің ауытқу бұрышы $\varphi = 1$ мрад. Жинақталу уақыты $t = 0,8$ мкс болатын бір импульсте лазер 800 мДж жарық энергиясын шығарады. Лазерден 8 м қашықтықтағы сәулелену ағынының тығыздығын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Голограмманы криминалистикада қолдану.
2. Голографиялық теледидар және оның дамуы.

§ 38. Бөлшектердің толқындық қасиеттері. Бор теориясының қиыншылығы, де Бройль толқындары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- элементар бөлшектердің толқындық табиғатының пайда болуы мен практикада қолданылуына мысалдар келтіре аласыңдар;
- де Бройль толқынының ұзындығының формуласын есептер шығаруда қолдана аласыңдар;
- де Бройль болжамын түсіндіре аласыңдар.

I Бөлшектердің толқындық қасиеттері, де Бройль толқындары

Француз ғалымы Луи де Бройль табиғаттағы симметрияны байқап, 1923 жылы корпускулалық-толқындық дуализмнің әмбебаптығы туралы гипотеза ұсынды. Ол тек фотондар ғана емес, сонымен қатар электрондар мен материяның кез келген басқа бөлшектері де корпускулалық қасиетпен қатар, толқындық қасиеттерге ие екенін айтты. Осы гипотеза бойынша әрбір микронысан бір жағынан корпускулалық сипаттамалар: энергия және импульспен, ал екінші жағынан толқындық сипаттамалар: толқын жиілігі және ұзындығымен анықталады. Соңғы импульсі бар барлық бөлшектер толқындық қасиеттерге ие, атап айтқанда, интерференция мен дифракцияға бейім. Луи де Бройль заттың қозғалатын бөлшектерімен байланысты λ толқын ұзындығының бөлшектің p импульсіне тәуелділігін анықтады:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv},$$

мұндағы m – бөлшектің массасы, v – оның жылдамдығы, h – Планк тұрақтысы.



1-тапсырма

1. Бос ұяшықтарға сөздер мен тіркестерді сәйкестендіріңдер: Э.Резерфорд, Н.Бор, 1903 жылы, 1913 жылы; атом өлшеміне тең оң зарядтың бұлтында теріс зарядталған электрондар айналады; планетарлық модель: барлық оң заряд және атомның барлық массасы атом ядросында шоғырланған, ядроның айналасында электрондар айналады; атомның орнықтылығын түсіндіру мүмкін емес; сәулеленудің сызықтық спектрі; тек сутекке ұқсас атомдарға қолданылады.
2. Бос ұяшықтарда сәйкес модельдерді көрсетіңдер.

Атом моделінің авторы	Жасаған жылы	Модельдің сипаттамасы	Модельдің кемшіліктері	Модельдің кескіні
Д.Томсон			Сызықтық спектрді және α -бөлшектер ағынымен өзара әрекеттесуді түсіндіру мүмкін емес	
	1911 жыл			
		Классикалық механиканың заңдылықтарына және кванттық постулаттарға негізделген модель		

Бұл толқындарды де Бройль толқындары деп атайды. Электрондар мен кристалдардағы бөлшектердің шашырауы және басқа да бөлшектердің заттар арқылы өтуін бақылауға арналған тәжірибелермен де Бройль формуласы эксперименттік түрде дәлелденді.



Жауабы қандай?

1. Бор атомының моделі негізінде атомдардың сәулеленуі энергияға, массаға, импульске ие бөлшектер ағыны деп тұжырымдауға бола ма?
2. Электрмагниттік толқынның бөлшектері қалай аталады? Олар қандай қасиеттерге ие?



2-тапсырма

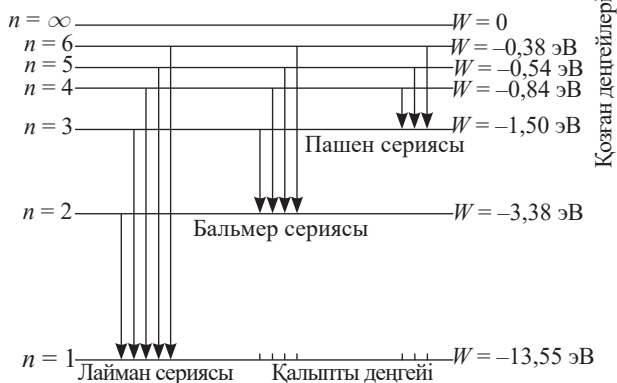
1. 237-суретті қараңдар. Онда сутегі атомының энергетикалық деңгейлері бейнеленген. Механиканың және электрдинамиканың классикалық формулалары арқылы Н.Бор орбиталар радиусы бойынша кванттау ережесін пайдаланып, энергетикалық деңгейлердің сандық мәндерін есептеген (§ 36). Атомдағы электронның W толық энергиясы электронның орбита бойымен ілгерілемелі қозғалысының W_k кинетикалық энергиясы мен ядромен өзара әрекеттесуінің W_p потенциалдық энергиясының қосындысына

тең: $W = W_k + W_p$. Кинетикалық энергия мынаған тең: $W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$. Өзара

әрекеттесудің потенциалдық энергиясы $W_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$, онда радиусы r орбитадағы

электронның толық энергиясы $W = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$ формуласы бойынша анықталады.

2. Ньютонның II заңын пайдаланып, электронның кинетикалық энергиясы $W_k = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$ екенін дәлелдендер.
3. Алғашқы үш стационар орбитадағы электрон энергиясын анықтаңдар. Алынған нәтижелерді суретте көрсетілген электрон энергияларының мәндерімен салыстырыңдар.
4. Бордың екінші постулаты негізінде электрон 3, 4, 5 және 6-қозған деңгейлерден екінші деңгейге өткен кездегі сәулелену энергиясын анықтаңдар. Алынған сәулелену энергиясының сандық мәндері Бальмер сериясының жиіліктеріне сәйкес келе ме?



237-сурет. Сутек атомының энергетикалық деңгейі

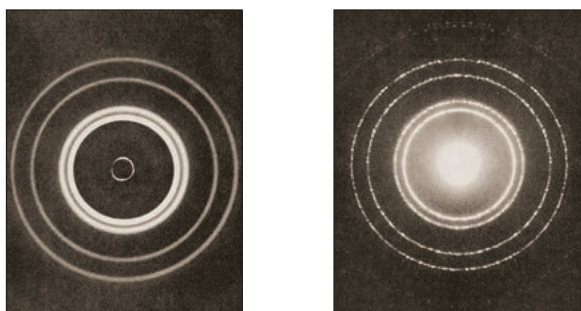


Жауабы қандай?

1. Н.Бор жасаған модель қандай атомдар үшін қолданылады?
2. Бор теориясы кванттық физиканы жартылай ғана түсіндіруінің себебі неде?
3. Бор теориясы қиындықтарының себептері қандай?

II Бөлшектердің толқындық қасиеттерін тәжірибе түрінде дәлелдеу

1927 жылы америкалық ғалымдар К.Дэвиссон мен Л.Джермер алғаш рет никель монокристалдарында электрондардың дифракциясын байқады. 1928 жылы ағылшын физигі Дж.Томсон және Кеңес Одағының физигі П.Тартаковский бір-біріне тәуелсіз жұқа поликристалл пленкасын пайдаланып, тәжірибелер жүргізді. 1937 жылы К.Дэвиссон физика бойынша Нобель сыйлығын иеленді. Рентгенография және электрография нәтижесінде алынған дифракциялық көріністерді салыстыру олардың ұқсас екенін көрсетті (238-сурет).



а)

ә)

238-сурет. а) рентгенограмма

ә) MgO ұнтағының электронограммасы

Электрондардың, протондардың, нейтрондардың әртүрлі заттардың кристалдары арқылы өтуін одан әрі зерттеу бөлшектердің толқындық қасиеттерін растады.

Бөлшектердің дифракциясы – зат молекулаларында (атомдарында) бөлшектердің шашырау процесі, осы кезде бөлшектерде толқындық қасиеттер байқалады.

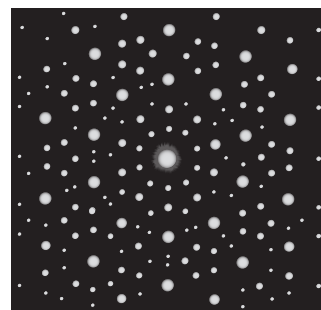
Бөлшектердің толқындық қасиеттері нысанмен өзара әрекеттесу нәтижесінде ауытқу ықтималдығы әртүрлі екендігінен байқалады: бөлшектердің дифракция максимумына сәйкес келетін аймаққа түсу ықтималдығы басым, дифракция минимумына сәйкес келетін аймаққа бөлшектердің түсу ықтималдығы аз болып келеді.

Электрондар шоқтығын материал арқылы өткізіп, оның құрылымына сәйкес келетін дифракциялық көріністі бақылауға болады. Электрондар мен нейтрондардың дифракциясы қатты денелердің атомдық құрылымын талдау әдістерінің бірі болып отыр.



Бұл қызық!

Израиль ғалымы Дэн Шехтман алған марганец пен алюминий қорытпасының дифракциялық көрінісі өте ерекше: ол зерттеген үлгі кристалдар үшін мүмкін емес деп саналған икосаэдрлік құрылымға ие (239-сурет). Мұндай құрылымдар квазикристалдар деп аталды. Оларды ашқаны үшін 2011 жылы Д.Шехтманға химия бойынша Нобель сыйлығы берілді.

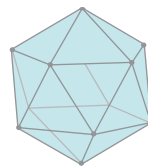


239-сурет. Алюминий мен марганец қорытпасының электронограммасы



Маңызды ақпарат

Икосаэдр – барлық жақтары теңқабырғалы үшбұрыштар болатын дұрыс жиырма жақты дөңес фигура.



ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Кинетикалық энергиясы 1 кэВ электронның де Бройль толқынының ұзындығын анықтаңдар.

Берілгені:

$$E_k = 1 \text{ кэВ}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$\lambda - ?$$

ХБЖ

$$1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$$

Шешуі:

Электронның жылдамдығын кинетикалық энергия арқылы өрнектеп, де Бройль толқынының ұзындығын есептеу формуласына қоямыз:

$$E_k = \frac{m_e v^2}{2}; \quad v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}; \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e E_k}}.$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}}} = 3,89 \cdot 10^{-11} \text{ м}.$$

Жауабы: $\lambda = 3,9 \cdot 10^{-11} \text{ м}$

Бақылау сұрақтары

1. Бор теориясының қиыншылығының мәні неде?
2. Луи де Бройль корпускулалық-толқындық дуализм негізінде қандай гипотезаны ұсынды?
3. Қандай толқындар де Бройль толқындары деп аталады?
4. Бройль толқынының ұзындығын қалай анықтауға болады?
5. Бройль гипотезасын растайтын мысалдар келтіріңдер.

★ Жаттығу

38

1. Протонның толқындық қасиеттерін сипаттайтын Бройль толқынының ұзындығын анықтаңдар. Протонның қозғалыс жылдамдығы 1 Мм/с. Планк тұрақтысы $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, протон массасы $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.
2. Бастапқы жылдамдығын ескермеуге болатын электрондардың потенциалдар айырымы $U = 51 \text{ В}$ болатын үдеткіштен өтті. Бройль толқынының ұзындығын анықтаңдар. Электрон массасы $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, электрон зарядының модулі $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.
3. Электрон индукциясы 8 мТл біртекті магнит өрісінде радиусы 0,5 см шеңбер бойымен қозғалады. Бройль толқынының ұзындығын анықтаңдар.
- 4*. Ені 1 мкм кішкене саңылауға жылдамдығы 3,65 Мм/с электрондар шоғыры жіберілді. Электрондардың толқындық қасиеттерін ескеріп, экрандағы саңылаудан 10 см қашықтықта орналасқан дифракциялық көріністен қарқындылықтың алғашқы екі максимумы арасындағы қашықтықты анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

«Кристаллография, рентгенография, электрондық микроскопия» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

Күн энергиясы

ПӘК-і 20% Күн батареялары шатырға көкжиекке 60° бұрыш жасай бекітілген, сонымен қатар панельдердің жазықтығы қатаң түрде оңтүстікке бағытталған.

22 маусымда талтүсте жергілікті жер ендігінде 1 сағат ішінде ауданы 1 м^2 панельде өндірілген электр энергиясы көлемін анықтаңдар. Ауданы 4 м^2 панельден алынатын энергия сендердің қажеттіліктерің үшін жеткілікті бола ма?

Есептеу барысында жаз мезгілінде сендердің отбасыларың тұтынған орташа айлық энергия шығынын пайдаланыңдар.

Есептеулерді орындандар:

1. Күн сәулесінің энергетикалық жарқырауының максимал спектрлік тығыздығы 500 нм толқын ұзындығына сәйкес келетінін ескеріп, Күннің энергетикалық жарқырауын;
2. Күн радиусы $6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$ деп алып, Күн шығаратын энергия ағынын;
3. Күннен Жерге дейінгі арақашықтықты $1,5 \text{ млн км}$, шағылу коэффициенті 0 деп алып, Жер бетінде Күн сәулесіне перпендикуляр орналасқан 1 м^2 аудан жұтқан Күн энергиясының ағынын;
4. Күн батареясының беті жұтқан Күн энергиясын және панельдің ПӘК-ін ескеріп, алынған электр энергиясын анықтаңдар.
5. Анықталған мәліметтерді отбасының көктем мезгілінде тұтынған электр энергиясымен салыстырыңдар.
6. Дәл осы шарттарда 22 желтоқсанда алынған энергия мөлшері неше есе өзгереді?
7. Панель алаңын үлкейтпей, оның жұмыс тиімділігін қалай жақсартуға болатынын ойластырыңдар.



9-тараудың қорытындысы

Жылулық сәулеленуді сипаттайтын шамалар			
Дененің энергетикалық жарқырауы $R_d = \frac{W}{S \cdot t}$	Дененің сәулелену қабілеттілігі $r_d = \frac{\Delta R_d}{\Delta \nu}$	Дененің жұту қабілеттілігі $a_\nu = \frac{\Delta \Phi'}{\Delta \Phi}$	Сәулелену ағыны $\Phi = \frac{W}{t}$ $\Phi = R_d \cdot S$
Абсолют қара дененің сәулелену заңдары			
Кирхгоф заңы $\frac{r}{a} = r_{AKT}(\nu, T)$	Стефан – Больцман заңы $R_d = \sigma T^4$; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Bm}{m^2 K^4}$	Вин заңы $\nu_{max} = b_1 \cdot T$; $\lambda = \frac{b}{T}$; $b = 2,89 \cdot 10^{-3} m \cdot K$	
Затпен өзара әрекеттесудің сәулеленуі			
Фотоэффект $h\nu = A_{шығы} + \frac{mv_{max}^2}{2}$; $eU_\kappa = \frac{mv_{max}^2}{2}$	Комптон эффектісі $\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_\kappa \sin^2 \frac{\theta}{2}$; $\Delta \lambda = \lambda_\kappa (1 - \cos \theta)$	Жарық қысымы $p = (1 + \rho)w = (1 + \rho) \frac{I}{c}$; $p = w = \frac{I}{c}$; $p = 2w = \frac{2I}{c}$	
Фотондар мен элементар бөлшектердің толқындық қасиеттері		Рентгендік сәулелену жиілігі	
$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$; $p = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$; $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = \hbar\omega$	де Бройль толқын ұзындығы $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$	$eU = \frac{m_e v_{max}^2}{2} = h\nu_{max}$	
Сызықтық спектрдің сәулелену жиілігі			
Сутек атомы үшін $\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	Сутек тәріздес атом үшін $\nu = RZ^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	Ридберг тұрақтысы $R = 3,29 \cdot 10^{15} c^{-1}$	
N-ші орбитаның радиусы			
Сутек атомы үшін $r = n^2 \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2}$	Сутек тәріздес атом үшін $r = n^2 \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2}$	Планк тұрақтысы $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$	
Сутек атомындағы электрон энергиясының орбита радиусына тәуелділігі			
Кинетикалық энергия $W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$	Потенциалдық энергия $W_p = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$	Толық энергия $W = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$	

Бордың кванттау ережесі	Бордың екінші постулаты	Иондану потенциалы
$mvr = n \frac{h}{2\pi}$	$\nu = \frac{W_n - W_m}{h}$	$\varphi_i = \frac{h\nu_{\max}}{e}$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктерінің ХБЖ–да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
R_d	энергетикалық жарқырауы	Вт/м ²	σ	Стефан – Больцман тұрақтысы	Вт/м ² · К ⁴
W	сәулелену энергиясы	Дж	T	сәулеленетін дене бетінің температурасы	К
S	сәулеленетін дене бетінің ауданы	м ²	b	Вин тұрақтысы	м · К
t	сәулелену уақыты	с	p	жарықтың қысымы	Па
r_d	энергетикалық жарқыраудың спектрлік тығыздығы	Дж/м ²	ρ	жарықтың шағылу коэффициенті	
a_n	дененің жұту қабілеттілігі		w	энергия тығыздығы	Дж/м ³
Φ	сәулелену ағыны	Вт	I	сәулелену қарқындылығы	Вт/м ²
h	Планк тұрақтысы 6,626 · 10 ⁻³⁴ Дж · с	Дж · с	λ'	шашыраған жарық толқынының ұзындығы	м
$A_{шығу}$	шығу жұмысы	Дж	λ	түскен жарық толқынының ұзындығы	м
m	электронның немесе β-бөлшектің массасы 9,1 · 10 ⁻³¹ кг	кг	λ_k	комптондық толқын ұзындығы 2,43 · 10 ⁻¹² м	м
$\nu_{\max}$	фотоэлектронның жылдамдығы	м/с	θ	фотонның шашырау бұрышы	рад, °
e	электрон заряды – 1,6 · 10 ⁻¹⁹ Кл	Кл	E	фотон энергиясы	Дж
U_k	кідірткіш кернеу	В	p	фотон импульсі	кг · м/с
c	жарық жылдамдығы 3 · 10 ⁸ м/с	м/с	ν	фотон жиілігі	Гц
m, n	атомдағы электрондар орбиталарының реттік нөмірлері		r	электрон орбитасының радиусы	м
z	атомдағы протондар саны		φ_i	атомның иондану потенциалы	В

Абсолют қара дененің сәулелену заңдары

Кирхгоф заңы: барлық денелердің сәулелену қабілеттілігінің жұту қабілеттілігіне қатынасы абсолют қара дененің сәулелену қабілеттілігіне тең, ол ν жиілік пен T температураның функциясы.

Стефан – Больцман заңы: денелердің энергетикалық жарқырауы T температураның төртінші дәрежесіне пропорционал.

Вин заңы: абсолют қара дененің спектріндегі сәулелену максимумы температура жоғарылағанда жоғары жиіліктерге қарай ығысады.

Бор постулаттары

Атомда орнықты стационар орбиталар бар, олардың бойымен қозғалғанда электрон сәуле шығармайды.

Электронның энергиясы W_n стационар орбитадан энергиясы W_m басқа орбитаға өтуі кезінде энергия кванты жұтылады немесе шығарылады.

Глоссарий

Абсолют қара дене – кез келген температурадағы барлық жиілік диапазонында жұтылу қабілеттілігі $a_\nu = 1$ болатын дене.

Голография – когерентті сәулелену көмегімен толқынды өрістерді жазудың, қайта шығарудың және түрлендірудің фотосуреттік әдісі.

Фотоэффектінің қызыл шекарасы – түсірілген жарықтың фотоэффект құбылысы мүмкін болатын ν_0 минимал жиілік .

Лазерлер – оптикалық диапазондағы когерентті сәулеленудің генераторлары мен күшейткіштері, олардың жұмыс істеуі кванттық жүйелердің: атомдардың, иондардың, молекулалардың индукцияланған сәулеленуіне негізделген.

Сызықтық спектрлер – жеке спектрлік сызықтардан тұратын атомдардың ұшып шығуы мен жұтылуының оптикалық спектрлері.

Сызықты емес оптика – қуатты жарық шоқтарының қатты денелерде, сұйықтарда және газдарда таралуын және олардың затпен өзара әрекеттесуін қарастыратын физикалық оптика бөлімі.

Дененің жұтылу қабілеттілігі – $\Delta\nu$ жиіліктер интервалында дененің жұтқан $\Delta\Phi$ сәулелену ағынының осы интервалда денеге түскен $\Delta\Phi'$ сәулелену ағынына қатынасына тең физикалық шама.

Энергетикалық жарқыраудың спектрлік тығыздығы немесе температурасы T дененің сәулелену қабілеттілігі – $\Delta\nu$ жиіліктер интервалында алынған энергетикалық жарқыраудың осы жиіліктер интервалы шамасына қатынасына тең физикалық шама.

Спектрограф – күрделі жарықты жіктеуге және спектрлерді суретке түсіруге арналған аспап.

Спектроскоп – күрделі жарықты жіктеуге және спектрлерді бақылауға арналған аспап.

Жылулық сәулелену – қыздырылған денелердің ішкі энергияларының есебінен шығарылатын электромагниттік сәулелену.

Фотоэффект – жарық немесе басқа кез келген электромагниттік сәулелену әсерінен заттан электрондардың ұшып шығуы.

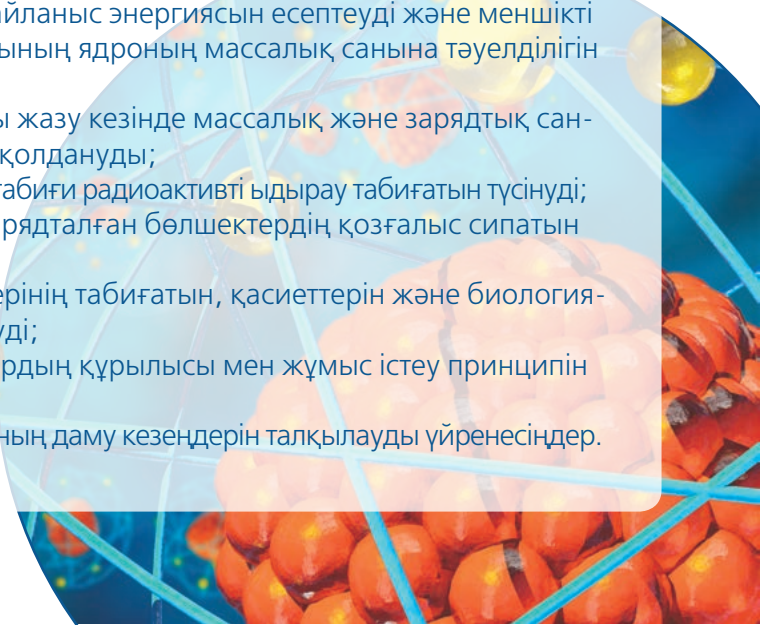
Дененің энергетикалық жарқырауы – температурасы T дене бетінің бірлік ауданы арқылы барлық бағытта барлық жиіліктер диапазонында таралатын энергияның сәулелену уақытына қатынасына тең физикалық шама.

Комптон эффектісі – сәулелену жиілігінің азаюымен қатар жүретін бос электронда электромагниттік сәулеленудің шашырауы.

АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

Беккерель табиғи радиоактивтілікті ашқаннан кейін және Резерфордтың атом ядросының өлшемдерін анықтауынан басталған атом ядроларының зерттеулері XX ғасырдың басынан бері қарай бірқатар жаңалықтарға қолжеткізді. Жасанды ядролық реакциялар нәтижесінде ядролардың бөлшектері: протондар мен нейтрондар анықталды, көптеген химиялық элементтердің радиоактивті изотоптары алынды, әртүрлі қасиеттері бар элементар бөлшектер табылды. Ядроларды және ядроішілік процестерді зерттеу ядролық энергияны практикада пайдалануға алып келді; жасанды радиоизотоптар адам қызметінің әртүрлі салаларында кеңінен қолданылды.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

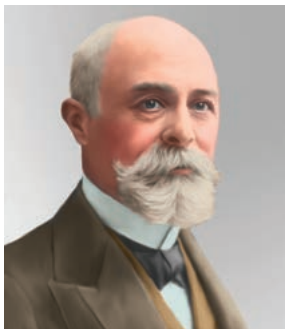
- радиоактивті ыдырау заңы негізінде аймақтың ядролық қалдықтармен зақымдануының ұзақ уақыт бойы сақталу себептерін түсіндіруді;
 - радиоактивті ыдыраудың формуласын есептер шығаруда қолдануды;
 - атом ядросының байланыс энергиясын есептеуді және меншікті байланыс энергиясының ядроның массалық санына тәуелділігін түсіндіруді;
 - ядролық реакцияны жазу кезінде массалық және зарядтық санның сақталу заңын қолдануды;
 - ядролық синтез бен табиғи радиоактивті ыдырау табиғатын түсінуді;
 - магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалыс сипатын түсіндіруді;
 - α , β және γ -сәулелерінің табиғатын, қасиеттерін және биологиялық әсерін түсіндіруді;
 - ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін сипаттауды;
 - ядролық энергетиканың даму кезеңдерін талқылауды үйренесіңдер.
- 

§ 39. Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- радиоактивті ыдырау заңы негізінде аймақтың ядролық қалдықтармен зақымдануының ұзақ уақыт бойы сақталуының себептерін түсіндіре аласыңдар;
- радиоактивті ыдыраудың формуласын есептер шығаруда қолдана аласыңдар.



Антуан Анри Беккерель (1852–1908) – француз физигі, радиоактивтілікті алғаш ашқандардың бірі, ядролық сәулеленудің спонтанды шығарылуын зерттеді. 1903 жылы физика бойынша Нобель сыйлығының лауреаты атанды.



1-тапсырма

1. Сол қол ережесін тұжырымдаңдар.
2. Бөлшектердің магнит өрісінде ауытқу бағыты бойынша α - және β -сәулелердің қандай зарядқа ие болатынын анықтаңдар (240-сурет).

I Табиғи радиоактивтілік

Табиғи радиоактивтілікті 1896 жылы француз физигі А.А.Беккерель ашты. Ол уран тұздары люминесценция тудыруға қабілетті, мөлдір емес заттардың қабаттары арқылы өтіп, газдарды иондауға, фотографиялық пластиналарды қара түске бояуға қабілетті көрінбейтін сәулелерді шығаратынын анықтады. П.Кюри мен М.Склодовская-Кюри жүргізген зерттеулер табиғи радиоактивтілік тек уранға ғана емес, сонымен қатар көптеген ауыр химиялық элементтерге, атап айтқанда, актинийге, торийге, полонийге және радийге тән екенін көрсетті. Соңғы екі элементті 1898 жылы Пьер және Мария Кюри ашты. Бұл элементтердің барлығы *радиоактивті*, ал олар шығаратын сәулелер – *радиоактивті сәулелер* деп аталды.

Табиғи радиоактивтілік – радиоактивті сәулелену арқылы ядролардың өздігінен басқа ядроларға айналуы.

II Радиоактивті сәулелердің қасиеттері

Альфа сәулелердің қасиеттері. Тәжірибелер нәтижелерінде радиоактивті элементтердің ядроларынан α -бөлшектер 14 000 км/с пен 20 000 км/с аралығындағы жылдамдықпен ұшып шығатыны, $+2e$ екі элементар оң зарядқа және 4 массалық санға ие екені анықталды, олар ${}^4_2\text{He}$ гелий атомы ядроларының ағыны болып табылады. Заттағы α -бөлшектердің тоқтағанға дейінгі жүріп өткен жолы *өткіш қабілеттілік*, ал жолда түзілген иондар жұбының саны *иондаушы қабілеттілік* деп аталады. Бөлшектің иондаушы қабілеттілігі неғұрлым көп болса, оның өту жолы соғұрлым аз болады. Қалыпты қысым кезінде ауадағы α -бөлшектердің өту жолы 3 см мен 9 см аралығында, ал иондаушы қабілеттілігі 100 000–250 000 жұп иондарды құрайды. α -сәулелер кәдімгі қағаз парағымен толық жұтылады.

Бета сәулелердің қасиеттері. β -сәулелер – β -бөлшектер деп аталатын шапшаң электрондар ағыны, олардың массасы α -бөлшектер массасынан 7350 есе аз. β -бөлшектердің орташа жылдамдығы

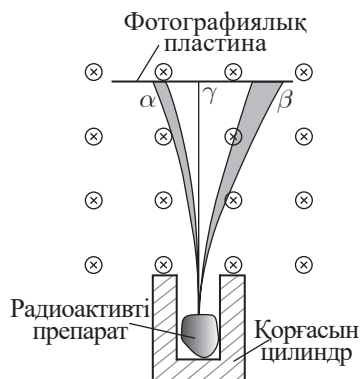
шамамен 160000 км/с . α -сәулеленуден айырмашылығы β -сәулеленуде барлық мүмкін мәндерге ие энергиялары бар электрондар болады. Бір радиоактивті элементтің ядросы β -бөлшектерді жылдамдығы нөлден жарық жылдамдығына дейінгі жылдамдықпен лақтырады. Энергиясы жоғары электронның жолы ауада 40 м-ді, алюминий пластинада 2 см-ді құрайды.

Гамма сәулелердің қасиеттері. γ -сәулелер – 10^{20} Гц өте жоғары жиіліктегі фотондар ағыны, бұл 10^{-12} м өте қысқа толқын ұзындығына сәйкес келеді. Олар электр және магнит өрістері әсерінен ауытқымайды, жарық жылдамдығымен таралады. γ -сәулелердің иондаушы қабілеттілігі жоғары емес; ауада, шамамен, 100 жұп иондары бар. γ -сәулелер – ең өткір сәулелердің бірі. Ең қатаң γ -сәулелер қалыңдығы 5 см қорғасын қабаты арқылы немесе қалыңдығы бірнеше жүздеген метр ауа қабаты арқылы өте алады; адам денесін тесіп өтеді.



Естеріңе түсіріңдер!

Радиоактивті сәулеленудің құрамы күрделі: оған альфа-, бета- және гамма-сәулелер деп аталатын сәулеленудің үш түрі жатады. 240-суретте магнит өрісінде радиоактивті сәулеленудің үш құраушыға жіктелуі бейнеленген.



240-сурет. Магнит өрісіндегі альфа-, бета-және гамма-сәулелер



Жауабы қандай?

1. β -сәулелену орбиталық электрондардың ағыны болып табыла ма?
2. α - және β -ыдыраулар кезінде радиоактивті элементтің ядросында қандай өзгерістер орындалады?
3. Неліктен өткіш қабілеттілігі төмен бөлшектер жоғары иондаушы қабілеттілікке ие болады?



2-тапсырма

α -, β - және γ -сәулелердің өткіш және иондаушы қабілеттіліктерін салыстырыңдар.



Назар аударыңдар!

1931 жылы ағылшын физигі П.Дирак электронның антибөлшектері – позитрон бар екенін теориялық тұрғыдан болжаған. Позитрон ашылған соң, позитрондық β -ыдырау зерттелді.



Есте сақтаңдар!

α - және β -ыдырау процестерінде массаның, зарядтың, энергияның сақталу заңдары орындалады.

III Радиоактивті ыдырау заңы

Радиоактивті ыдырау радиоактивті элемент атомдары санының біртіндеп азаюына алып келеді. Өте аз t уақыт ішінде ыдырайтын dN атомдар санының азаюы уақыт пен радиоактивті элемент атомдарының жалпы N санына пропорционал:

$$dN = -\lambda N \cdot dt, \quad (4)$$

мұндағы λ – берілген элементтің тұрақты ыдырауы деп аталатын пропорционалдық коэффициенті, ол – бірлік уақыт ішінде радиоактивті ыдырау

ықтималдығын сипаттайтын шама. Теріс таңбасы уақыт өте келе радиоактивті элемент атомдарының азаюын көрсетеді. Жазылған өрнектегі айнымалыларды өзара бөлеміз:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt. \quad (5)$$

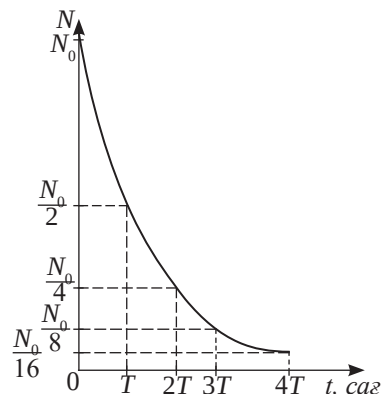
(5) теңдеуді уақыттың $t = 0$ -ден бастап t -ға дейінгі өзгеру аралығында және бөлшектер санының N_0 -ден бастап N -ға дейін өзгеру аралығында интегралдап, мына өрнекті аламыз:

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t,$$

бұдан шығатыны

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (6)$$

Алынған өрнек радиоактивті ыдырау заңы болып табылады, мұндағы N_0 – элемент атомдарының бастапқы уақыт мезетіндегі саны; N – элементтің t уақыт өткеннен кейін қалған атомдарының саны. Радиоактивті ыдырау заңының графигі 241-суретте көрсетілген.



241-сурет. Радиоактивті ыдырау заңының графигі



Естеріңе түсіріңдер!

Соддидің ығысу ережесі

α -ыдырау	Электрондық β -ыдырау	Позитрондық β -ыдырау
α-ыдырау кезінде түзілген элементтің массалық саны төрт бірлікке кеміп, Менделеевтің периодтық кестесінде екі нөмірге солға ығысады: ${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}.$ Мысалы: ${}^{210}_{84} \text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82} \text{Pb} + {}^4_2 \text{He}.$	Электрондық β-ыдырауда қайта алынған элемент массалық санын өзгертпей, Менделеевтің периодтық кестесінде кестенің соңына қарай бір нөмірге ығысады: ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \bar{\nu}.$ Мысалы: ${}^{210}_{83} \text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84} \text{Po} + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \bar{\nu}.$ Электрондық β-ыдырау нейтронның протонға айналуы нәтижесінде, электрон мен антинейтрино шығару арқылы жүреді: ${}_0^1 n \rightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \bar{\nu}.$	Позитрондық β-ыдырауда бастапқы ядроға қарағанда реттік нөмірі бір бірлікке аз ядро түзіледі, элемент Менделеев кестесінің басына қарай бір торға ығысады: ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1} e + {}^0_0 \nu.$ Мысалы: ${}^{11}_6 \text{C} \rightarrow {}^{11}_5 \text{B} + {}^0_{+1} e + {}^0_0 \nu.$ Позитрондық β-ыдырау протонның нейтронға айналуы нәтижесінде, позитронды және нейтриноны шығару арқылы жүреді: ${}_1^1 p \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_{+1} e + {}^0_0 \nu.$

IV Жартылай ыдырау периоды.

Радиоактивті атомның орташа өмір сүру уақыты

Жартылай ыдырау периоды T – бастапқы элемент атомдарының саны екі есе азаятын уақыт.

(6) теңдіктен $t = T$ болғанда төмендегі теңдік орындалатыны шығады:

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}.$$

Бұдан T жартылай ыдырау периодының λ тұрақты ыдыраумен өзара байланысы мына түрге келеді:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (7)$$

(7) теңдіктен λ тұрақты ыдырауды өрнектеп, оны (6) формулаға қойсақ, алатынымыз:

$$N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (8)$$

(8) формула жартылай ыдырау периодының мәні бойынша радиоактивті элементтің ыдырамаған атомдарының санын анықтауға мүмкіндік береді.

«Ядроның орташа өмір сүру уақыты» ұғымын енгіземіз, бұл – радиоактивті ядролардың саны $e = 2,7182$ есе азаятын уақыт.

Тұрақты ыдырауға кері пропорционал шама радиоактивті атомның орташа өмір сүру уақыты болып табылады:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (9)$$

Демек, $T = \tau \ln 2$, бұдан шығатыны:

$$\tau = \frac{T}{\ln 2} = 1,44T. \quad (10)$$

Атомның орташа өмір сүру уақыты жартылай ыдырау периодынан бір жарым есе көп.

T жартылай ыдырау периоды, τ радиоактивті атомның орташа өмір сүру уақытының және λ тұрақты ыдырау периодының мәндері әртүрлі радиоактивті элементтер үшін әртүрлі болады. Жартылай ыдырау периоды $T = 4,5 \cdot 10^9$ жыл болатын $^{238}_{92}\text{U}$ уран сияқты «ұзақ өмір сүретін» радиоактивті элементтермен қатар «қысқа өмір сүретін» элементтер де кездеседі. Мысалы, $^{214}_{84}\text{Po}$ полонийдің жартылай ыдырау периоды $T = 103$ жылға тең. $^{222}_{86}\text{Rn}$ радонның жартылай ыдырау периоды 3,8 тәулікке тең.

Ыдырау заңы кездейсоқ сипатқа ие, қашан және қай атомның ыдырайтынын болжау мүмкін емес. Белгілі бір уақыт аралығында әрбір атомның ыдырау ықтималдығы туралы ғана айтуға болады.

V Радиоактивті элементтің белсенділігі

Радиоактивті элементтің ядроларының ыдырау жылдамдығы осы элементтің A белсенділігі деп аталады:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right|. \quad (11)$$

(4) және (7) формулалардан шығатыны:

$$A = \lambda N$$

$$\text{немесе} \quad A = \frac{N \ln 2}{T}. \quad (12)$$

Осылайша, элементтің белсенділігі оның санына пропорционал және жартылай ыдырау периодына кері пропорционал.



Назар аударыңдар!

Белсенділікті өлшеу үшін халықаралық бірліктер жүйесінен тыс бірлігі 1 кюри – радийдің бір грамының белсенділігі қабылданды: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$ ыдыр/с.

Шамалар арасындағы байланыс:
 $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$,
 $1 \text{ Бк} \approx 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Белсенділіктің өлшем бірлігі – беккерель.

Бір беккерель бір секунд ішінде орташа есеппен бір радиоактивті ыдырау орындалатын белсенділік ретінде анықталады:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}.$$

VI Семей ядролық полигонындағы ядролық сынақтардың салдары

1949 жылдан бастап Семей полигонында 468 ядролық сынақ өткізілді. Полигон Қазақстан Республикасының тұңғыш Президенті Н.А.Назарбаевтың жарлығымен 1991 жылы 29 тамызда жабылды, бірақ полигон аумағындағы және оған жақын орналасқан өңірлердегі аумақтар ластанған. Ядролық және сутекті жарылғыш құрылғыларды сынауды тоқтату қоршаған ортаға залал келтіру процестері мүлдем тоқтады дегенді білдірмейді. Плутонийдің жартылай ыдырау периоды 25 мың жыл екенін ескерсек, ядролық полигонның зардабы миллион жылдай сезіледі. Алғашқы ядролық және сутекті жарылыс құрылғыларында заряд массасының 30–40 %-і жарылған. Зарядтың қалған бөлігінің (ал бұл, негізінен, тіршілікке зиянды плутоний изотопы) қоршаған ортаға шашырауы өте қауіпті. 300 шаршы километр аумақ мүлдем жарамсыз деп саналады. Шаған өзенінде ауыз судың нормативті мәндерінен 100 есе артық өте жоғары тритий концентрациясы табылды. Жасанды «атомдық көлдің» жағалауының сәулелену деңгейі радиоактивті қалдықтарға теңестіріледі. Осы көл 1965 жылы қуаты 140 килотонна термоядролық бомбаның жарылысы нәтижесінде пайда болды.

Әлемдегі көптеген ядролық полигондардың ішінде тек Семей ядролық полигоны ғана халық өмір сүретін және ауылшаруашылығы мақсатында пайдаланылатын полигон болып табылады. Радиацияға ұшыраған аймақтардағы әрбір жиырмасыншы бала жарымжан болып туылады. Сонымен қатар 1990 жылдың басынан бастап, сынақ жүргізілген «Балапан» алаңынан 10–20 километр қашықтықта «Қаражыра» көмір кені игеріледі, оның өнімі Ресей, Қазақстан және Қырғызстан электрстансылары мен кәсіпорындарына жеткізіледі.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

$^{14}_6\text{C}$ көміртегі изотопының ағаштан жасалған заттардағы белсенділігі осы изотоптың жаңа кесілген ағаштардағы белсенділігінің 4/5-ін құрайды. Заттардың жасын анықтаңдар.

Берілгені:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{4}{5}.$$

$$T = 5720 \text{ жыл}$$

$$t = ?$$

Шешуі:

Радиоактивті заттың белсенділігі бұл бірлік уақыт ішінде

$$\text{ыдыраған ядролар саны: } A = \frac{|\Delta N|}{\Delta t} = \lambda \cdot N.$$

$$\text{Бастапқы уақыт мезетінде } A_0 = \lambda \cdot N_0.$$

$$\text{Радиоактивті ыдырау заңы бойынша } N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

$$\text{демек: } \frac{A}{A_0} = \frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}.$$

$$\text{Осы өрнекті логарифмдеу арқылы мынаны табамыз: } \frac{t}{T} = \log_2 \frac{5}{4}.$$

Бұдан заттардың жасын анықтаймыз:

$$t = T(\log_2 5 - \log_2 4).$$

$$t = 5720(2,322 - 2) \approx 1800 \text{ жыл.}$$

Жауабы: $t \approx 1800$ жыл.

Бақылау сұрақтары

1. Табиғи радиоактивтілік деп нені айтады?
2. α -, β - және γ -сәулелердің негізгі қасиеттерін атаңдар.
3. Радиоактивті ыдырау заңын тұжырымдаңдар.
4. Жартылай ыдырау периоды деген не? Жартылай ыдырау периоды тұрақты ыдыраумен, орташа өмір сүру уақытының мәнімен және элементтің белсенділігімен қалай байланысады?
5. Элемент белсенділігінің физикалық мәні қандай?



Жаттығу

39

1. Төрт α -ыдыраудан және екі электрондық β -ыдыраудан кейін ${}_{90}^{232}\text{Th}$ торийден қандай изотоп түзіледі?
2. ${}_{92}^{235}\text{U}$ уран ядросының ${}_{83}^{211}\text{Bi}$ висмут ядросына айналуы кезінде шығарылатын α - және β -бөлшектердің санын анықтаңдар.
3. α -бөлшек тыныштық күйіндегі ${}_{86}^{220}\text{Rn}$ радон ядросынан $v_1 = 16$ Мм/с жылдамдықпен ұшырып шығарылады. Радон ядросы қандай ядроға айналды? Жұтылу нәтижесінде ол қандай жылдамдыққа ие болды?
4. Қандай да бір радиоактивті изотоптың жартылай ыдырау периоды T . $t = 3T$ уақыт ішінде ядролардың қанша бөлігі ыдырайды?
- 5*. ${}_{84}^{210}\text{Po}$ полоний ыдырағанда ${}_{82}^{207}\text{Pb}$ тұрақты қорғасынға айналады. $m = 1$ мг полоний $t = 69$ тәулік ішінде ыдырауы нәтижесінде түзілетін қорғасын массасын анықтаңдар. 210 полонийдің жартылай ыдырау периоды – 138 күн.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар:

1. Мария және Пьер Кюрилердің өмірі мен еңбек жолы.
2. «Невада–Семей» қозғалысы.
3. Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығының бұрынғы полигон аумағындағы ядролық сынақтардың салдарын зерттеу нәтижелері.

§ 40. Атом ядросы. Ядроның нуклондық моделі. Изотоптар. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- атом ядросының байланыс энергиясын есептей аласыңдар және меншікті байланыс энергиясының ядроның массалық санына тәуелділігін түсіндіре аласыңдар.



Естеріңе түсіріңдер!

1919 жылы Э.Резерфорд протонды ашты. Протон заряды $p = |e| = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл, тыныштық массасы $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг. 1932 жылы Дж.Чедвик нейтронды ашты. Нейтронның заряды жок. Нейтрон массасы: $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг.



Жауабы қандай?

1. Э.Резерфорд атомның қандай моделін ұсынды?
2. Резерфорд атомдағы массаны және зарядты қалай үлестірді?

I Атом ядросы. Ядроның нуклондық моделі

1932 жылы Кеңес Одағының ғалымы Д.Д.Иваненконың және оған тәуелсіз неміс ғалымы В.Гейзенбергтің тұжырымдаған гипотезасына сәйкес, барлық атом ядроларының құрамына элементар бөлшектердің екі түрі: p протондар және n нейтрондар кіреді. Осы бөлшектердің жалпы атауы – нуклондар.

Элементар зарядпен өрнектелген кез келген химиялық элементтің атом ядросының заряды оның Менделеев кестесіндегі реттік нөміріне тең. Ядро заряды протондар зарядынан пайда болғандықтан, элементтің атом ядросындағы N_p протондар саны осы элементтің Z атомдық нөміріне тең:

$$N_p = Z. \quad (1)$$

Ядролардың және элементар бөлшектердің массасын масс-спектрограф көмегімен жоғары дәлдікпен анықтауға болады. Атомдық физикада массаны м.а.б. – массаның атомдық бірлігі арқылы өрнектейді.

Массаның атомдық бірлігі ретінде ^{12}C көміртегі атомы массасының $\frac{1}{12}$ бөлігі қабылданды:

$$1 \text{ м.а.б.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Демек, $m_p = 1,00728$ м.а.б. және $m_n = 1,0086$ м.а.б. Осылайша,

$$m_p \approx m_n \approx 1 \text{ м.а.б.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.} \quad (2)$$

Ядроның массасы ядроға кіретін барлық нуклондардың массасынан құралатындықтан, N_p протондар мен N_n нейтрондар санының қосындысы атомның массалық санына, яғни массаның атомдық бірлігімен (м.а.б.) өрнектелген атом массасына жуық A бүтін санға тең болуы тиіс:

$$N_p + N_n = A$$

немесе (1) формуланы ескерсек,

$$Z + N_n = A. \quad (3)$$

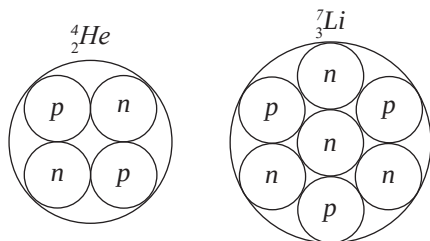
Демек, атом ядросындағы нейтрондар саны массалық сан мен элементтің атомдық нөмірінің айырымына тең:

$$N_n = A - Z. \quad (4)$$

Осылайша, химиялық элементтің массалық саны мен атомдық нөмірі бойынша протондар санын және осы элементтің атом ядросындағы нейтрондардың санын тікелей анықтауға болады.

Химиялық элементтердің атом ядросын ${}_Z^AX$ символымен белгілеу келісілген, мұндағы X – элементтің символы, A – массалық сан, Z – реттік нөмірі. Мысалы,

оттегі атомының ядросының белгіленуі – $^{16}_8\text{O}$, азот атомының белгіленуі – $^{14}_7\text{N}$. 242-суретте ^4_2He гелий және ^7_3Li литий атомдары ядроларының сұлбасы бейнеленген.



242-сурет. ^4_2He гелий және ^7_3Li литий атомдарының ядролары



1-тапсырма

1. Протон мен нейтрон массасын кг-нан м.а.б.-қа аударыңдар.
2. $^{14}_7\text{N}$ және $^{16}_8\text{O}$ атомдары ядроларын бейнелеңдер.

II Изотоптар

Изотоптар Менделеев кестесінде бір торда орналасады. Мысалы, сутегінің үш изотопы бар: ^1_1H протий – жеңіл сутегі, ^2_1H дейтерий – ауыр сутегі, ^3_1H тритий – аса ауыр сутегі. ^1_1H протий ядросы – массалық саны $A = 1$ болатын протон, бір протоннан тұрады; ^2_1H дейтерий ядросы – массалық саны $A = 2$ дейтрон, ол протон мен нейтроннан тұрады; ^3_1H тритий ядросы – тритонның массалық саны $A = 3$, протон мен екі нейтроннан тұрады. Оттегімен қосылыста дейтерий ауыр су D_2O , ал тритий аса ауыр су T_2O түзеді.

Изотоптар – ядроларындағы протондар саны бірдей, бірақ нейтрондар саны әртүрлі атомдар.

Бір химиялық элементтің барлық изотоптарының электрондық қабықшаларының құрылымы бірдей. Сондықтан осы элемент изотоптарының химиялық қасиеттері мен электрондық қабықшаның құрылымына негізделген физикалық қасиеттері де бірдей болады. Ядроның құрылымымен байланысты физикалық қасиеттері, мысалы, радиоактивтілік қасиеті айтарлықтай өзгеше болады.

Қазіргі кезде табиғатта кездесетін химиялық элементтердің көпшілігі изотоптардың қоспасы болып табылады. Жалпы табиғи сутектің 99,985 %-і протийден және 0,015 %-і дейтерийден тұрады.



2-тапсырма

1. Менделеев кестесінің бастапқы он элементі үшін изотоптар кестесін құрастырыңдар. Ақпарат көзін өздерің таңдаңдар.
2. Қандай элементтің изотопының саны көп?



Жауабы қандай?

Неге ядро протондары арасындағы кулондық күштер ядроның тұтастығын бұза алмайды?

III Ядролық күштер және олардың қасиеттері

Ядродағы нуклондарды ұстап тұратын ядролық күштер бірқатар қасиеттерге ие болады. 9-сынып курсынан олар өте қысқа қашықтықтарда әсер ететіні белгілі: ядроның ішінде ғана әсер етеді, кулондық күштерден шамамен жүздеген есе артық. Осы қасиеттері үшін ядролық күштер «қысқа қолды батырлар» деп аталады. Олар зарядтарға тәуелсіз және қанығу қасиетіне ие. Қанығу қасиеті тек көршілес

нуклондардың өзара әрекеттесуі кезінде ғана байқалады. Кулондық күштер мен гравитация күштерінен айырмашылығы – ядролық күштер центрлік күштерге жатпайды.

Ядролық күштердің табиғаты мен олардың қасиеттері әлі де жеткілікті зерттелмеген. Қазіргі кезде мойындалған жапондық физик Х.Юкава құрастырған ядролық күштердің мезондық немесе нуклондық алмасу теориясы болып саналады. Нуклондық алмасу күштері теориясына сәйкес, нуклондар бір-бірімен ерекше элементар бөлшектер – π -мезондармен алмасу арқылы әрекеттеседі.

IV Байланыс энергиясы. Атом ядросы массасының ақауы

Атом ядросындағы нуклондар ядролық күштермен тығыз байланысты. Бұл байланысты үзіп шығу үшін қандай да бір энергия мөлшерін жұмсау қажет, яғни жұмыс істеу керек.

Ядроның байланыс энергиясы – ядроны нуклондарға ыдыратуға қажетті энергия.



3-тапсырма

Х.Юкава ұсынған алмасу күштері теориясына сәйкес ядро моделін бейнелеңдер.

Энергияның сақталу заңына сәйкес ядродағы байланысқан нуклондардың энергиясы ыдыраған нуклондардың энергиясынан $E_{байл}$ байланыс энергиясы мәніне кем болуы тиіс. Эйнштейн теңдеуінен жүйе энергиясының өзгерісі жүйенің ΔM массасына пропорционал өзгертіні анықталады:

$$\Delta E = \Delta M c^2, \quad (5)$$

мұндағы c – вакуумдағы жарық жылдамдығы. Қарастырылып отырған жағдайда ΔE энергия ядроның $E_{байл}$ байланыс энергиясы болса, онда атом ядросының массасы ядроны құрайтын нуклондар массасының қосындысынан ядроның масса ақауы деп аталатын ΔM шамаға кем болуы тиіс:

$$\Delta M = (Z m_p + N_n m_n) - M_y, \quad (6)$$

мұндағы Z – протондар саны, N_n – нейтрондар саны, M_y – ядро массасы.

Масса ақауы – ядроны құрайтын нуклондардың тыныштық массаларының қосындысы мен атом ядросының тыныштық массасының айырмасына тең шама.

Қазіргі кезде атом ядроларының массалары масс-спектрограф арқылы жоғары дәлдікпен анықталған. Бұл кез келген ядроның масса ақауын және байланыс энергиясын анықтауға мүмкіндік береді. Килограммен өрнектелген масса ақауы бойынша байланыс энергиясын есептеу формуласы:

$$E_{байл} = c^2 [(Z m_p + N_n m_n) - M_y] \quad (7)$$

немесе $E_{байл} = c^2 [Z M({}_1^1H) + N_n m_n - M_a], \quad (8)$

мұндағы M_y – ядроның массасы, M_a – атомның массасы, $M({}_1^1H)$ – сутек атомының массасы.

Егер масса ақауы массаның атомдық бірлігімен өрнектелсе, онда (7, 8) теңдеулер басқа түрге келеді, оларды жазу үшін $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ екенін ескеріп, массасы 1 м.а.б. бөлшектің тыныштық энергиясын МэВ – мегаэлектронвольт арқылы өрнектейік:



4-тапсырма

(7–10) формулаларды салыстырыңдар. (7) және (8) формулалардың айырмашылығы неде? (7) және (9) формулалардың ше? (8) және (10) формулалардың ше?

$$E_1 = c^2 \cdot 1 \text{ м.а.б.} = \frac{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/ЭВ}} = 931,5 \text{ МэВ}.$$

Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясын есептеу формулаларын МэВ арқылы мына түрде жазамыз:

$$E_{\text{байл}} = (Zm_p + N_n m_n - M_{\text{я}}) \cdot 931,5 \text{ МэВ} \quad (9)$$

немесе

$$E_{\text{байл}} = [Z M({}_1^1\text{H}) + N_n m_n - M_a] \cdot 931,5 \text{ МэВ}. \quad (10)$$

V Ядролардың меншікті байланыс энергиясы

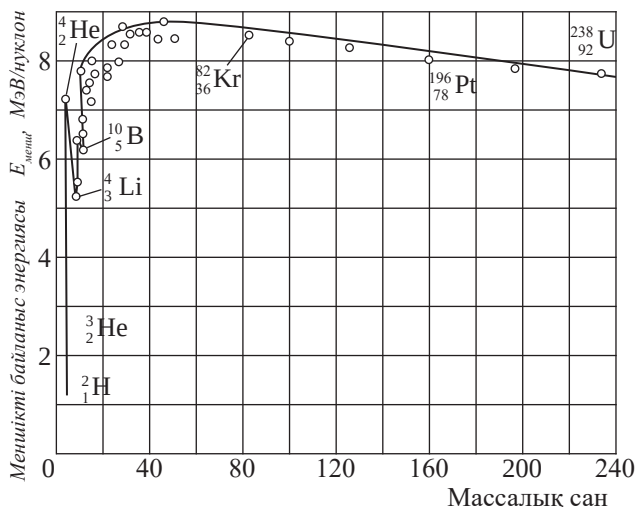
Бір нуклонға сәйкес келетін ядроның байланыс энергиясын $E_{\text{менш}}$ меншікті байланыс энергиясы деп атайды:

$$E_{\text{менш}} = \frac{E_{\text{байл}}}{A}. \quad (11)$$

Меншікті байланыс энергиясы атом ядроларының орнықтылығын сипаттайды: $E_{\text{менш}}$ неғұрлым көп болса, ядро соғұрлым орнықты. Ядролардың меншікті байланыс энергияларын есептеу нәтижелерінің графигі 243-суретте көрсетілген.

Ордината өсі бойына меншікті байланыс энергиясы, абсцисса өсі бойына A массалық сандар орналасқан.

Графиктен массалық сандары 30–100 аралығындағы ядроларда меншікті байланыс энергиясы максимал шамамен $8,65 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ болатынын байқаймыз. Ауыр және жеңіл ядроларда меншікті байланыс энергиясының мәні біршама аз, мысалы, уран үшін $7,8 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$; гелий үшін $7,2 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}} \cdot {}_2^4\text{He}$ сутек атомы ядросының меншікті байланыс энергиясы нөлге тең, себебі ол тек бір нуклоннан тұрады.



243-сурет. Ядроның меншікті байланыс энергиясының массалық санға тәуелділік графигі



Жауабы қандай?

1. Ядродағы байланысқан нуклондар энергиясы неге ыдыраған нуклондар энергиясынан аз?
2. Неге (9) және (10) формулаларды өлшем бірлігімен жазу қажет?
3. Атом массасының мәні белгілі болғанда ядро массасын қалай анықтауға болады?



5-тапсырма

243-суреттегі графикті пайдаланып, массалық саны 40, 160 және 200 м.а.б. болатын атомдардың байланыс энергиясын анықтаңдар.

Ауыр элементтердің ядроларының орнықтылығының төмен болуы оларда протондар санының көп болуымен байланысты. Бұл кулондық күштердің артуына әкеледі. Жеңіл ядроларда меншікті байланыс энергиясының кемуі және ядролардың орнықтылығының төмен болуы нуклондар санының аз болуына байланысты. Ядроның бетінде орналасқан нуклондардың меншікті байланыс энергиясы аз, өйткені олар саны жағынан аз нуклондармен өзара әрекеттеседі. Жеңіл ядроларда беттік нуклондарының үлесі олардың ядродағы жалпы санынан артық болып келеді.

Бақылау сұрақтары

1. Атом ядросы қандай бөлшектерден тұрады?
2. Изотоптар дегеніміз не? Олардың айырмашылығы неде?
3. Не себепті бір элемент изотоптарының химиялық қасиеттерінің бір-бірінен айырмашылығы болмайды?
4. Ядрода нуклондарды қандай күштер байланыстырады? Олар қандай қасиеттерге ие?
5. Байланыс энергиясын қалай анықтайды?
6. Масс ақауы деп нені атайды?
7. Атом ядроларының орнықтылығын сипаттайтын шаманы көрсетіңдер.
8. Атом физикасында ядролардың массасын, энергиясын, өлшемдерін өлшеу үшін қандай өлшем бірліктер қолданылады?



Жаттығу

40

1. ${}^7_3\text{Li}$, ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$ ядролардың құрамына кіретін нуклондар, протондар және нейтрондар санын анықтаңдар.
2. Алтынның массасы $m = 1$ мг кесегіндегі протондар мен нейтрондар санын анықтаңдар. Авогадро санын $6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ деп алыңдар.
3. ${}^7_3\text{Li}$ литий ядросы үшін масса ақауын массаның атомдық бірлігі және килограмм арқылы анықтаңдар.
4. ${}^2_1\text{H}$ дейтерий ядросы үшін масса ақауы мен байланыс энергиясын анықтаңдар.
5. Үш протоннан және екі нейтроннан тұратын атом ядросының байланыс энергиясы $E_{\text{байл}} = 26,3$ МэВ. Меншікті байланыс энергиясы мен ядроның массасын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Нейтронның ашылу тарихы.
2. Масс-спектрографтың құрылымы және жұмыс істеу принципі.
3. Ядролардың өлшемдерін анықтаудың заманауи әдістері.
4. Ядролық физикадағы Гейзенберг және Иваненко зерттеулері.

§ 41. Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтілік

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- ядролық реакцияны жазу кезінде массалық және зарядтық санның сақталу заңын қолдана аласыңдар.

I Ядролық реакция

Алғашқы ядролық реакцияны 1919 жылы Э.Резерфорд жүзеге асырды, нәтижесінде азот атомының ядроларынан оттект атомының ядролары алынды. Атқылаушы бөлшектер ретінде α -бөлшектер қолданылды. Одан әрі ғалымдар арнайы үдеткіштерде жоғары жылдамдық берілген басқа да зарядталған бөлшектерді қолдана бастады.

Ядролық реакция – элементар бөлшектердің немесе басқа атом ядроларының әсерінен атом ядроларының басқа ядроға айналу процесі.



Жауабы қандай?

1. Бір химиялық элементті екіншісіне қалай айналдыруға болады?
2. Химиялық реакция нәтижесінде бір элементті екіншісіне айналдыру мүмкін бе?

II Микробөлшектерді тіркеуге және бақылауға арналған аспаптар

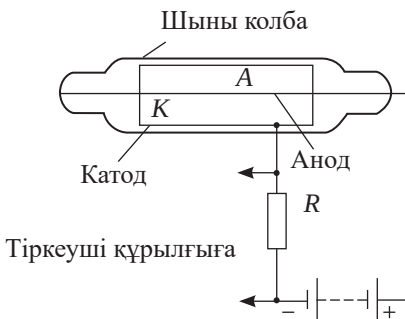
Ішкі ядролық процестерді бақылау және алынған бөлшектерді тіркеу үшін әртүрлі аспаптар қолданылады.

1) Гейгер – Мюллер санағышы (244-сурет). Гейгер – Мюллердің санағышы металл немесе оның қорытпаларынан жасалған шыны түтікшеден және цилиндр өсі бойымен тартылған жұқа металл жіптен тұрады (245-сурет). Жіп анод ретінде, түтікше катод ретінде қызмет етеді. Түтікше сиретілген аргонмен немесе неонмен толтырылады. Катод пен анод арасында жүзден бастап, мыңдаған вольтқа дейінгі кернеу пайда болады. Санағыштың жұмысы соққымен иондауға негізделген.

Радиоактивті изотоп шығаратын гамма-кванттар санағыштың қабырғаларына түскенде, қабырғадан электрондар ұшып шығады. Электр өрісі электрондарды соққымен иондау жүретін энергияға дейін үдетеді, иондық көшкін пайда болады, санағыш арқылы өтетін ток күрт артады. Бұл ретте R кедергіде тіркеуші құрылғыға берілетін ток



244-сурет. Гейгер – Мюллер санағышы



245-сурет. Гейгер санағышының жұмыс істеу сұлбасы

импульсі пайда болады. R кедергіде кернеудің түсуі анод пен катод арасындағы кернеудің күрт төмендеуіне алып келеді, осыдан разрядтың өшуі автоматты түрде орындалады.

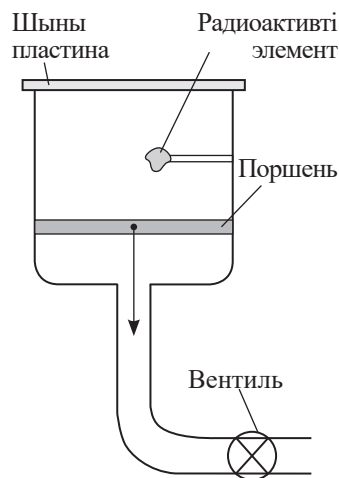
Гейгер – Мюллер санағышының кемшілігі – ол бөлшектерді анықтауға және олардың энергиясын есептеуге мүмкіндік бермейді.

2) Вильсон камерасы. Вильсон камерасы шыны қақпақпен тығыз жабылған цилиндрден және поршеньнен тұрады (246-сурет). Поршеньнің төменге жылдам қозғалуы кезінде поршень үстіндегі ауа көлемі күрт артады. Ауа адиабаталық ұлғаяды және салқындайды. Ауадағы су буының бөлшектері камераға түскенде оның зарядталған иондары қанығады және сұйыққа айналады. Су буының қозғалыс траекториясы бойында сұйық тамшыларынан тректер пайда болады. Қысым артқан кезде тамшылар буланады, камера қайтадан жұмысқа дайын болады.

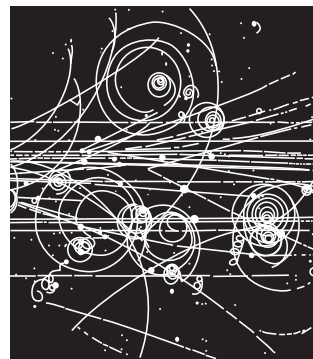
3) Көпіршікті камера. Көпіршікті камераның жұмыс істеуі принципі Вильсон камерасының жұмыс принципіне ұқсас. Көпіршікті камерада аса қыздырылған сұйықтың бөлшектерінің тректері бойында бу көпіршіктерінің пайда болу қасиеті қолданылады.

Камера – қайнау температурасы төмен сұйықпен, мысалы, сутекпен немесе гелиймен, фреонмен немесе пропанмен толтырылған және кеңею құрылғысы бар ыдыс. Аса қыздырылған күйге кеңею құрылғысы көмегімен сыртқы қысымды күрт кеміту арқылы қолжеткізіледі. Сұйық қайнайды, иондарда будың ұсақ көпіршіктері түзіледі. Тректерді суретке түсіргеннен кейін қысымды бастапқы мәніне дейін көтереді, көпіршіктер «жарылады» және камера қайтадан жұмысқа дайын болады. Көпіршікті камераның артықшылығы – сұйықты пайдалануы, бұл ядролық өзара әрекеттесудің ықтималдығын бірнеше есе арттырады.

Ғылымға 30 жыл қызмет еткен осы камералардың орнын энергиясы бұдан да көп және құбылыстарды үлкен дәлдікпен тіркей алатын электронды детекторлар басты.



246-сурет. Вильсон камерасы құрылғысының сұлбасы



247-сурет. Магнит өрісінде орналасқан Вильсон камерасының зарядталған бөлшектерінің тректері

Бұл қызық!

1924 жылы П.Л.Капица және Д.В.Скобельцин күшті магнит өрісінде орналасқан Вильсон камерасында бөлшектердің қасиеттерін олардың тректері бойынша зерттеу әдісін ұсынды. Зарядталған бөлшектердің тректері магнит өрісінің әсерінен ауытқиды (247-сурет). Қысықтық радиусы бойынша иондаушы бөлшектердің массасын, зарядын, жылдамдығын және энергиясын анықтауға болады.



Бұл қызық!

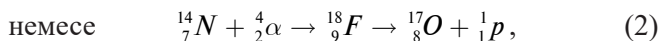
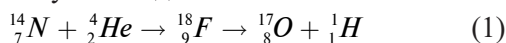
Соңғы көпіршікті камера 1971 жылы Еуропалық ядролық зерттеулер орталығында тұрғызылды және «Гаргамель» деп аталды. Ол ішіне 18 т фреон толтырылған диаметрі 1,85 м, ұзындығы 4,85 м цилиндр түрінде болды (248-сурет). Камералар көмегімен ашылған соңғы жаңалық – «бейтарап токтар» элементар бөлшектердің ерекше өзара әрекеттесуі.



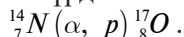
248-сурет. «Гаргамель» көпіршікті камерасы

III Алғашқы жасанды ядролық реакция. Протонның ашылуы

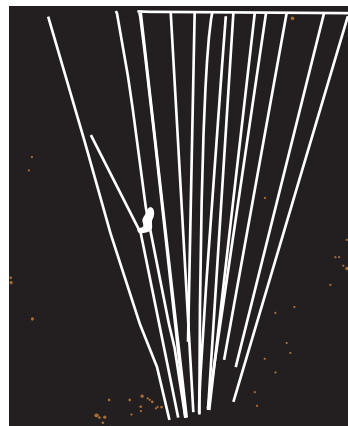
Э.Резерфорд Вильсон камерасында жүргізген алғашқы жасанды ядролық реакция нәтижесінде протонның ядроның құрамына кіретіні дәлелденді. Соқтығысу кезінде $^{14}_7N$ азот ядросы α -бөлшекті жұтады да, $^{18}_9F$ фтор изотопы ядросы түзіледі. Ол орнықсыз болғандықтан, бір протонның шапшаң ұшып шығуы нәтижесінде $^{17}_8O$ оттегі изотопының атом ядросына айналады. Резерфорд жүргізген реакцияны мына түрде жазуға болады:



реакцияның қысқаша түрде жазылуы:



249-суретте Вильсон камерасында азот атомы ядроларының бірінің түрлену процесі тіркелген фотосурет көрсетілген. Желпуіш тәрізді шашыраған жіптер α -бөлшектердің тректері болып табылады. Тректердің бірінің соңында өзіне тән тармақталу болады. Бұл нүктеде α -бөлшектер азот ядросымен соқтығысып, нәтижесінде оттегі изотопы ядросы мен протон түзілді.



249-сурет. Вильсон камерасындағы α -бөлшектердің тректері, α -бөлшектің азотпен соқтығысуы сол жақтағы екінші трек



1-тапсырма

Вильсон камерасында азот ядролары мен α -бөлшектердің соқтығысуларының аз болуының себептерін атаңдар (249-сурет).



Есте сақтаңдар!

Ядролық реакцияны мына түрде жазу қабылданған: $a + A \rightarrow B + b$ немесе $A(a, b)B$ түрінде неғұрлым қысқаша жазу әдісін пайдалануға болады, мұндағы A – бастапқы ядро, a – атқылаушы бөлшек, B – туынды ядро, b – ядродан ұшып шыққан бөлшек.

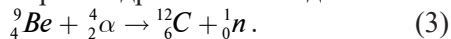


Жауабы қандай?

Ауыр ядролы химиялық элементтердің α -бөлшекпен соқтығысуы нәтижесінде ядролық реакцияларды жүзеге асыру не себепті қиындық тудырады?

IV Нейтронның ашылуы

Нейтрон 1932 жылы ағылшын физигі Д.Чедвик жүргізген тәжірибелер нәтижесінде ашылды. Бериллий пластинаны α -бөлшектермен атқылағанда ${}^9_4\text{Be}$ бериллий ядросы α -бөлшектерді жұтып, n нейтрон шығарып, ${}^{12}_6\text{C}$ көміртегі ядросына айналды:



Бериллийден ұшып шыққан нейтрондар азотпен толтырылған Вильсон камерасына түседі. Нейтрон ${}^{14}_7\text{N}$ азот ядросына түскенде ${}^{11}_5\text{B}$ бор ядросы және α -бөлшек түзіледі:



Нейтроннан камерада трек қалмайды, бірақ бор ядроларының және α -бөлшектің тректері бойынша бұл реакция массасы 1 м.а.б. бейтарап бөлшектің, яғни нейтронның әсерінен болатынын анықтауға болады.

Еркін нейтрон радиоактивті, ол β -бөлшек және антинейтрино шығара отырып, протонға айналады:



Тәжірибелік деректерге сәйкес, нейтронның жартылай ыдырау периоды 11,7 минутты құрайды.

V Жасанды радиоактивтілік

Көптеген ядролық реакциялардың өнімдері радиоактивті болып табылады; оларды *жасанды радиоактивті изотоптар* деп атайды. Жасанды радиоактивтілік құбылысын 1934 жылы француз физиктері Фредерик және Ирен Жолио-Кюри ашты. Табиғи радиоактивті заттар сияқты жасанды радиоактивті изотоптарға да α -, β -, γ -ыдыраулар тән болып келеді. Алайда нейтрондық және позитрондық ыдырауға ие жасанды радиоактивті изотоптар да бар.

${}^{27}_{13}\text{Al}$ алюминий ядросын Жолио-Кюри ашқан α -бөлшектермен атқылау реакциясы жасанды радиоактивті изотоптың позитрондық ыдырауына мысал бола алады. Бұл жағдайда ${}^{27}_{13}\text{Al}$ алюминий ядросы нейтрон шығарады және жартылай ыдырау периоды $T = 2,5$ мин болатын ${}^{30}_{15}\text{P}$ фосфор изотопының радиоактивті ядросына айналады. Бұл изотоп ${}^0_{+1}e$ позитрон шығарып, тұрақты ${}^{30}_{14}\text{Si}$ кремний изотопына айналады. Реакция мына тізбек бойынша жүреді:



VI Жасанды радиоактивтілікті қолдану. «Белгіленген атомдар»

Жасанды радиоактивті изотоптар ядролық реакторда тиісті химиялық элементтерді сәулелендіру жолымен алынады. Қазіргі кезде әрбір химиялық элемент үшін оның бірнеше изотопы алынды; олардың жалпы саны шамамен 3000-ға жуық. Олардың көбі адам қызметінің түрлі салаларында: ауылшаруашылығында, өнеркәсіпте, археологияда, медицинада, ғылымда «белгіленген атомдар» ретінде кеңінен қолданылады.



Жауабы қандай?

1. Қандай бөлшектің трегі қалыңырақ болады? Неліктен?
2. Қандай бөлшектің трегі ұзынырақ? Неліктен?
3. Неге Вильсон камера-сынан нейтрондардың тректері табылмады?



2-тапсырма

1. (1)–(7) реакцияларда массалық және зарядтық сандардың сақталу заңдарының орындалуын тексеріңдер.
2. Массалық және зарядтық сандардың сақталу заңдарын тұжырымдаңдар.

«Белгіленген атомдар» әдісі биологиялық немесе химиялық реакцияның негізгі элементін оның радиоизотоптарының бірімен алмастыру нәтижесінде осы процестің барысын бақылауға мүмкіндік береді. Мұндай алмастыру процестің өту барысына әсер етпейді, өйткені радиоизотоп химиялық қасиеттері бойынша ерекшеленбейді. Бірақ ол радиоактивті, оның қозғалысын Гейгер санағыштарын қолдана отырып, сәулелендіру арқылы бақылауға болады. Мысалы, сутектен тұратын кез келген қосылыс қарапайым сутекті тритиймен алмастыру арқылы белгіленуі мүмкін.



Жауабы қандай?

Неліктен медицинада және биологияда жартылай ыдырау периоды аз, ал археологияда жартылай ыдырау периоды үлкен радиоактивті изотоптар кеңінен қолданылады?

Бақылау сұрақтары

1. Қандай процесс ядролық реакция деп аталады?
2. Радиоактивті сәулеленудің бөлшектері қандай аспаптармен тіркеледі? Олар қалай құрылған? Олардың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
3. Протон мен нейтрон қандай ядролық реакциялардың нәтижесінде табылды? Бұл реакцияларды кім жасады?



Жаттығу

41

1. $^{27}_{13}\text{Al}$ алюминийдің изотопын α -бөлшектермен атқылағанда түзілетін $^{30}_{15}\text{P}$ фосфордың радиоактивті изотопы позитрон бөліп шығарып ыдырайды. Екі реакцияның теңдеулерін жазыңдар. Фосфор ыдырағанда қандай ядро түзіледі?
2. $^{10}_5\text{B}$ бор изотопын α -бөлшектермен атқылағанда азот-13 изотопы пайда болады. Осы кезде қандай бөлшек ұшып шығады? Азот-13 изотопы радиоактивті, ол позитрондық ыдырауға бейім. Реакция теңдеуін жазыңдар. Азот ыдырағанда қандай ядро түзіледі?
3. Ядролық реакциялар атқылаушы бөлшектердің түрі бойынша жіктеледі. Мына реакцияларда қандай атқылаушы бөлшектер қолданылғанын анықтандар:
 $^{14}_7\text{N} + ? \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ^1_1\text{H};$
 $^{14}_7\text{N} + ? \rightarrow ^{15}_8\text{O} + \gamma;$
 $^{14}_7\text{N} + ? \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^4_2\text{He}.$

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Медицинадағы «белгіленген атомдар» әдісі.
2. Археологиядағы радиокөміртекті әдіс.

§ 42. Ауыр ядролардың бөлінуі.

Тізбекті ядролық реакция. Критикалық масса

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- ядролық синтездің және табиғи радиоактивті ыдырау табиғатын түсіндіре аласыңдар.



1-тапсырма

1. ${}_{92}^{235}\text{U}$ атом ядросының екі жарықшаққа ыдырауы нәтижесінде бөлінетін энергияны анықтаңдар. Жарықшақтардың бірі – ${}_{36}^{82}\text{Kr}$.
2. Массасы 1 г уран-235 барлық ядросы ыдырағанда бөлінетін энергияны анықтаңдар. Жауапты ХБЖ-да жазыңдар.
3. Алынған нәтижені 1 кг отын жанғанда бөлінетін энергиямен салыстырыңдар. Отынның меншікті жану жылуын 15 МДж/кг деп алыңдар.



Назар аударыңдар!

Ауыр ядроның бөлінуі кезінде бөлінетін энергия шамамен 220 МэВ-ты құрайды, оның 80 %-і жарықшақтардың кинетикалық энергиясы түрінде; қалған 20 %-і радиоактивті сәулелену энергиясы және нейтрондардың кинетикалық энергиясы түрінде бөлінеді.

I Ауыр ядролардың бөлінуі – экзотермиялық ядролық реакциялар

Меншікті байланыс энергиясының ядродағы A нуклондар санына тәуелділік графигі (243-сурет, § 40) ядроның қандай түрленуінде энергия бөлінетінін, ал қандай түрленуде жұтылатынын анықтауға мүмкіндік береді. Ауыр ядро массалық сандары 100-ге жуық және одан сәл артық ядроларға ыдырағанда ядролық энергия бөлінеді. Бұған мына тұжырымдардың нәтижесінде көз жеткізуге болады. ${}_{92}^{238}\text{U}$ ($A_1 = 238$) уран ядросы массалық сандары $A_2 = 119$ болатын екі «жарықшаққа» ыдырайды. Уран ядросының меншікті байланыс энергиясы $E_{\text{менш}1} = 7,5$ МэВ/нуклон. Әрбір жаңа ядроның меншікті байланыс энергиясы мынаған тең: $E_{\text{менш}2} = 8,6$ МэВ/нуклон. Уран ядросын нуклондарға ыдырату үшін оның байланыс энергиясына тең энергия жұмсау қажет:

$$E_{\text{байл}1} = E_{\text{менш}1} \cdot A_1 = 7,5 \cdot 238 = 1785 \text{ (МэВ)}.$$

Массалық сандары 119-ға тең ыдыраған екі жаңа атом ядросының байланыс энергиясы мынаған тең:

$$E_{\text{байл}2} = 2E_{\text{менш}2} \cdot A_2 = 2 \cdot 8,6 \cdot 119 = 2046,8 \text{ (МэВ)}.$$

Демек, уран ядросының бөліну реакциясы нәтижесінде жаңа ядролардың байланыс энергиясы мен уран ядросының байланыс энергиясының айырымына тең ΔE ядролық энергия бөлінеді:

$$\Delta E = E_{\text{байл}2} - E_{\text{байл}1} = 2046,8 - 1785 = 261,8 \text{ (МэВ)}.$$

II Ядроның тамшылық моделі

Жолио-Кюри, О.Ганн, Ф.Штрассман, О.Фриш, Л.Мейтнер сияқты ғалымдар 1938–1939 жылдары нейтрондармен атқыланатын уран ядроларының бөліну механизмін белсенді зерттеуге кірісті. Уран ядроларының бөлінуі Н.Бор, Дж.Уиллер және Я.Френкель ұсынған ядроның тамшылық моделінің негізінде оңай түсіндіріледі. Осы теория негізінде атом ядросын сығылмаушылық, қанығу және нуклон бөлшектерінің «кебуі» сияқты сұйық қасиеттеріне ие ерекше ядролық материядан тұратын бірқалыпты зарядталған сфера

түріндегі тамшы деп елестетуге болады (250-сурет). Нуклондарды бір-біріне тартатын ядролық күштер 10^{-15} м-ге жуық өте аз қашықтықтарда байқалады, сондықтан әрбір нуклон ядродағы барлық нуклондармен емес, тек көршілес нуклондармен ғана өзара әрекеттеседі. Сұйық тамшысында да молекулааралық тартылыс күштері молекулалар

арасындағы қашықтықтан аспайтын қашықтықтарда әсер етеді. Әрбір нуклонның көршілерінің санын тұрақты деп санауға болады. Демек, ядролық күштермен түзілегін байланыс энергиясы ядродағы нуклондар санына, яғни массалық санға пропорционал болады: $E_{байл} \sim A$. Сұйық пен ядролық материя қасиеттерінің ұқсастығы мынадай құбылыстардан байқалады: тамшылардың ұсақ тамшыларға бөлінуі, ұсақ тамшылардың ірі тамшыларға бірігуі. Ядролық материя үшін «беттік керілу» ұғымы қолданылады.

«Ядролық тамшы» бетіндегі нуклондардың көршілерінің саны ядроның ішіндегі нуклондарға қарағанда аз, сондықтан олардың байланыс энергиясына қосатын үлесі аз. Бірақ көршілес нуклондар ядро бетіндегі нуклондардың санына пропорционал, яғни $E_{бет}$ беттік энергияға ие. Бұдан $E_{бет}$ беттік энергияның ядро бетінің ауданына пропорционал екені шығады:

$$E_{бет} \sim S_{бет} \sim R^2.$$

Сұйық тамшыларына ұқсас ядро бетіндегі молекулалар да центрге ұмтылады және беттік байланыс энергиясы арқылы беттік керілу күштерін тудырады.

III Ауыр ядролардың бөліну механизмі

Ядролық «тамшы» нейтронды жұтып, қозған күйге ауысады, периодты түрде созылмалы пішінге ие болып, тербеле бастайды (251-сурет). Берілген көлемде сфералық тамшы бетінің ауданы өте аз, демек, созылған тамшыда беттік энергия артады, ал ядролық байланыс энергиясы кемиді. Егер ядроның созылмалы күйінде кулондық тебу күштерінің шамасы ядролық күштерден артық болса, онда ядро жарықшақтарға бөлінеді. Элементтің реттік нөмірі өскенде электрстатикалық тебу энергиясы беттік энергияға қарағанда жылдам артады, сондықтан тек ауыр ядро ғана бөлінеді.

Ауыр ядроның бөліну процесі жүргенде басқа ядролардың бөлінуін тудыра алатын бірнеше нейтрон шығарылады, уран үшін әдетте 2–3 нейтрон ыдырайды. Дәл осы нейтрондар энергия бөлетін әрі басқарылатын тізбекті ядролық реакцияны жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Алынған нейтрондардың энергетикалық спектрі 1 эВ пен 10 МэВ аралығында болады. 1,5 МэВ энергияға ие нейтрондар *шапшаң нейтрондар* деп аталады. Энергиясы аз нейтрондар *баяу нейтрондар* деп аталады, ал энергиясы жылулық қозғалыс энергиясымен салыстырғанда өте аз нейтрондар *жылулық нейтрондар* деп аталады. Барлық ауыр элементтердің

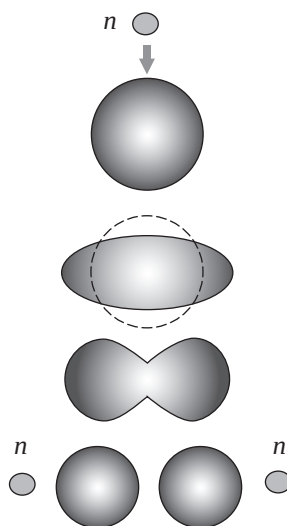


250-сурет. Ядроның тамшылық моделі



2-тапсырма

1. Сұйық молекулалары арасындағы және ядродағы нуклондар арасындағы өзара әрекеттесу күштері үшін салыстырмалы кесте құрыңдар.
2. Азот ядросының тамшылық моделін бейнелеңдер.
3. Созылмалы пішінде беттік керілу күшінің арту, ал ядролық күштердің азаю себебі неде?



251-сурет. Ауыр ядроның бөліну механизмі

ядролары нейтрондардың әсерінен екі жарықшаққа бөліну қасиетіне ие. Бөлінуі практикалық тұрғыдан маңызды материалдарға: ${}^{238}_{92}\text{U}$ уран, ${}^{235}_{92}\text{U}$ актиноуран, ${}^{233}_{92}\text{U}$ уранның жасанды изотопы және ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ плутоний жатады. ${}^{235}_{92}\text{U}$, ${}^{233}_{92}\text{U}$ және ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ ядролары шапшаң нейтрондардың да, баяу нейтрондардың да әсерінен бөлінеді, ал ${}^{238}_{92}\text{U}$ ядросы тек шапшаң нейтрондардың әсерінен ғана бөлінеді.

Ауыр ядролар бөлінгенде алынатын өнімдер әртүрлі болады: олардың массалық сандары 70-тен 160-қа дейінгі аралықта болады. Алайда көбінесе ядроның жарықшақтарының массалары 2 : 3 қатынасы түрінде бөлінеді. Мұндай бөлінуге уран-235 ядросының үш нейтрон шығара отырып, криптон және барий изотоптарына ыдырауы мысал бола алады: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{93}_{36}\text{Kr} + {}^{140}_{56}\text{Ba} + 3 {}^1_0\text{n}$.



Жауабы қандай?

1. Беттік күштер ядроға қалай әсер етеді?
2. Қандай күштердің әсері ядроны тербелмелі қозғалысқа келтіреді?

IV Ядролық реакцияның шығу энергиясы

Ядролық реакцияның шығу энергиясын бірнеше тәсілмен анықтауға болады. Шығу энергиясын ядролардағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы бойынша анықтау үлгісі параграфтың бірінші бөлігінде көрсетілген:

$$E_{\text{шығу}} = E_{\text{байл2}} - E_{\text{байл1}}, \quad (1)$$

мұндағы $E_{\text{байл2}}$ – ядролық реакцияның нәтижесінде алынған ядролардың байланыс энергиясы, $E_{\text{байл1}}$ – ядролық реакцияға түсетін ядролардың байланыс энергиясы.

Реакцияға түскен ядролардың m_1 массасының және реакцияның нәтижесінде алынған ядролардың m_2 массасының мәндері белгілі болған кезде шығу энергиясын Эйнштейн формуласы бойынша анықтайды:

$$E_{\text{шығу}} = (m_1 - m_2) \cdot c^2. \quad (2)$$

(2) формула ядролардың массалары килограммен өрнектелгенде қолданылады. Осы кезде шығу энергиясы Дж (джоульмен) есептеледі. Егер ядролардың массалары массаның атом бірлігімен көрсетілсе, онда аудару коэффициентін ескеріп, шығу энергиясы МэВ-пен (мегаэлектронвольт) мына формула бойынша анықталады:

$$E_{\text{шығу}} = (m_1 - m_2) \cdot 931,5 \text{ МэВ}. \quad (3)$$



3-тапсырма

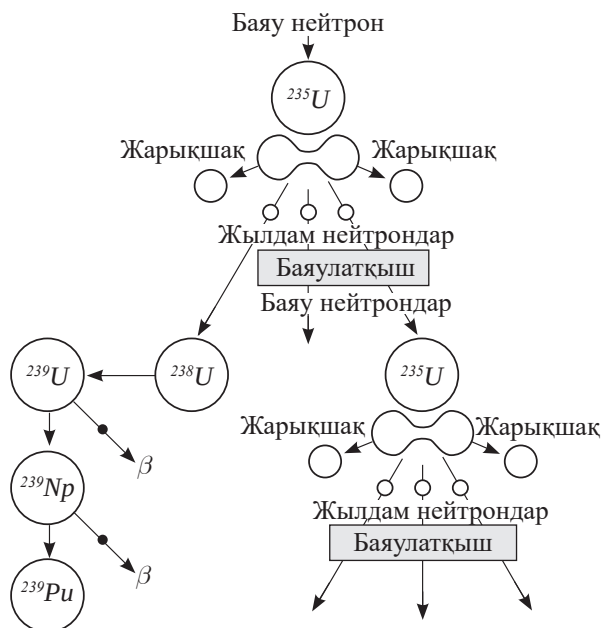
Ядролық реакция нәтижесінде алынған жарықшақтар массаларының ядро массасымен салыстырғанда $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг-ға азаюы 931,5 МэВ энергия бөлінуіне алып келетінін дәлелдендер.

V Тізбекті ядролық реакция

Ядролық энергияның үлкен мөлшерін алу үшін ядролардың құрамында «ядролық отын» бар едәуір бөлігі ыдырауы қажет. Сондықтан ядролық бөліну реакциясы өздігінен дамидын немесе тізбекті болуы тиіс: ядролардың әрбір бөлінуі кезінде элементтің ауыр ядроларын ыдырататын жаңа нейтрондар пайда болуы тиіс.

Ең қарапайым тізбекті реакция уран-235 ядросында баяу нейтрондар әсерінен жүзеге асырылады. Кездейсоқ жылулық нейтронның уран-235 ядросына түсуі оның бөлінуіне алып келеді (252-сурет). Осы кезде пайда болатын 2–3 нейтрон уранның 2–3 басқа ядроларына түсіп, олардың бөлінуін тудырады. Нәтижесінде уранның келесі 4–9 ядросының бөлінуін тудыруға қабілетті 4–9 нейтрон пайда болады. Уранның әрбір ядросының бөлінуі кезінде 2–3 нейтрон пайда болатынына қарамастан, олардың барлығы басқа ядролардың ыдырауын болдырмайды; нейтрондардың бір бөлігі бөлінбейтін ядроларға немесе

ядролық отын құрамындағы бөлінуі қиын қоспаларға жұтылады, нейтрондардың бір бөлігі оның ядроларына түспей, ядролық отын көлемінің бетінен ұшып кетуі мүмкін.



252-сурет. Уран-235 ядросының ыдырауы

VI Көбею коэффициенті және критикалық масса

Тізбекті реакцияның дамуы нейтрондардың k көбею коэффициентімен сипатталады.

Нейтрондардың көбею коэффициенті – реакция кезеңдерінің бірінде зат ядроларының бөлінуін тудыратын нейтрондар санының реакцияның алдыңғы кезеңінде ядролардың бөлінуін тудырған нейтрондар санына қатынасы:

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}.$$

Мысалы, 252-суретте бейнеленген тізбекті реакция нейтрондардың $k = 3$ көбеюіне сәйкес келеді. Көбею коэффициенті бөлінетін заттардың табиғатына және санына, сондай-ақ олардың көлемінің геометриялық пішініне байланысты.

Тізбекті реакция коэффициенті $k = 1$ болғанда бөлінетін заттың массасы осы заттың критикалық массасы деп аталады. Таза актиноуран үшін критикалық масса көлемі шар тәріздес пішінде шамамен 40 кг-ды құрайды. Егер ядролық отынның массасы критикалық массада аз болса, $k < 1$, онда бөліну реакциясы жүрмейді, ол өшеді. Егер ядролық отынның массасы критикалық массаға тең болса, $k = 1$, онда тізбекті реакция тұрақты қарқындылықпен жүреді; мұндай реакция ядролық реакторларда болады. Егер ядролық отынның массасы критикалық массада көп болса, $k > 1$, онда тізбекті реакция қарқынды, жарылыс түрінде жүреді.



Жауабы қандай?

1. Неліктен ауыр ядролардың бөліну реакциясы экзотермиялық?
2. Неліктен бір ядролық отын үшін критикалық масса әртүрлі болуы мүмкін?
3. Неге табиғи уран кенішінде тізбекті реакция орындалмайды?

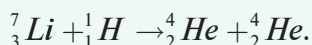
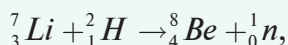
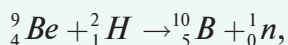
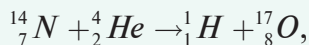
Бақылау сұрақтары

1. Қандай жағдайда ауыр ядролардың бөліну реакциясы орындалады?
2. Ядролық отын ретінде қандай ядролар қолданылады?
3. Ядролық реакциялардың шығу энергиясын есептеу әдістерін атаңдар.
4. Тізбекті реакцияның дамуын қандай шама сипаттайды?
5. Критикалық масса деп нені атайды?

★ Жаттығу

42

1. ^{235}U уран ядросының әрбір бөлінуі кезінде $E_{\text{шығу}} = 200$ МэВ энергия шығарылады деп есептеп, $m = 1$ кг уранның жануы кезінде бөлінетін энергияны анықтаңдар. Осы кезде бөлінетін жылу мөлшері тас көмірдің қандай m_1 массасы жанғанда алынады? Көмірдің меншікті жану жылуы $q = 3 \cdot 10^7$ Дж/кг.
2. ^{235}U уран ядросын бөлу кезінде $Q = 200$ МэВ энергия бөлінеді. Ураннан бөлінетін энергия тыныштық энергиясының қандай үлесін құрайды?
3. Атом электр стансысының ядролық реакторындағы ^{235}U ядролық отынның бір тәулік ішіндегі массалық шығынын анықтаңдар. Электр стансысының жылу қуаты $P = 10$ МВт; пайдалы әсер коэффициенті $\eta = 20$ %. Уранның бір ядросын бөлу кезінде бөлінетін энергия $Q = 200$ МэВ.
4. Реакциялар нәтижесінде жұтылған немесе бөлінген энергияны анықтаңдар:



- 5*. Меншікті байланыс энергиялары $E_{\text{менш}} = 8,3$ МэВ/нуклон ядролардың бөлінуі кезінде екі жарықшақ түзіледі. Бірінің массалық саны $A_1 = 140$ және меншікті байланыс энергиясы $E_{\text{менш}} = 8,5$ МэВ/нуклон, екіншісінің массалық саны $A_2 = 94$ және меншікті байланыс энергиясы $E_{\text{менш}} = 8,6$ МэВ/нуклон. Бастапқы ядролардың $m = 1$ г массасының ыдырауы кезінде бөлінетін жылу мөлшерін анықтаңдар. $m_p = m_n = 1,6724 \cdot 10^{-27}$ кг деп алыңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ядролық реакцияларды зерттеу тарихы.
2. Ядролық реакцияларды зерттеудегі Жолио-Кюри, П.Савич, О.Ганн, Ф.Штрассман, О.Фриш, Л.Мейтнер ғалымдардың жетістіктері.

§ 43. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- α -, β - және γ -сәулелерінің табиғатын, қасиеттерін және биологиялық әсерін түсіндіре аласыңдар.



Жауабы қандай?

Неге радиоактивті сәулелену адамдар мен тірі ағзалар үшін қауіп төндіреді?

I Сәулелену көздері

Жер шарының тұрғындары сәулеленудің негізгі бөлігін табиғи радиация көздерінен алады. Жердің радиациялық фоны ғарыштық сәулеленуден және жер қыртысына, ауаға, суға, адам денесіне және басқа да сыртқы орта нысандарына шашырайтын табиғи радионуклидтердің сәулеленуінен құралады. Адам ағзасының радиоактивті сәулеленуі сыртқы және ішкі болуы мүмкін. Сыртқы сәулеленуде жоғары өткіш қабілеттілігі бар сәулеленудің түрлері қауіп төндіреді. Ішкі сәулелену кезінде жартылай ыдырау периоды үлкен және жоғары иондаушы қабілеттілігі бар радиоактивті изотоптар аса қауіпті болып табылады.

Табиғи сәулеленуге сыртқы және ішкі сәулеленудің антропогендік көздері қосылды. Ядролық жарылыстар, ядролық энергетика кәсіпорындарының радионуклидтер шығаруы және өнеркәсіптің әртүрлі салаларында, ауылшаруашылығында, медицинада және ғылыми зерттеулерде иондаушы сәулелену көздерінің кеңінен қолданылуы жер шары тұрғындарының сәулеленуінің артуына алып келді. Жердің барынша радиациялық ластануы полигондардағы ядролық жарылыстардан және АЭС-тағы апаттардан кейін болады (253, 254-суреттер).



253-сурет. Семей ядролық полигоны



254-сурет. «Балапан» алаңындағы
«атом көлі»

Ядролық жарылыс болған аймақта ядролық зақымдану ошағы пайда болады. Радиоактивті бұлттың ауа ағындарымен орын ауыстыруы нәтижесінде аймақ радиоактивті зақымданады. Зақымданудың бастапқы кезеңіндегі ең қауіпті радионуклид – радиоактивті йод, одан кейін ұзақ мерзімді өмір сүретін радионуклидтер – цезий-137

және стронций-90. Жер бетіне түскен радионуклидтер α -, β -және γ -сәулелердің ұзақ мерзімді сәулелену көздеріне айналады.



Назар аударыңдар!

«Тәжірибелік алаң» – Семей сынақ полигонының (ССП) алғашқы сынақ алаңы. 1949–1962 жылдар аралығында мұнда атмосфералық ядролық жерүсті сынақтары өткізілді. «Тәжірибелік алаң» ауданы шамамен, 300 км². Алғашқы ядролық зарядтардың жетілдірілмегендігінен, бұл алаң барынша ластанған болып саналады, өйткені тізбекті реакцияға 64 кг уранның 700 г болатын бөлігі ғана түсті, қалған бөлігі радиоактивті шаңға айналды.

Ауданы 720 км² «Балапан» алаңы жерасты ядролық жарылыстарына арналды. Қазіргі уақытта жерасты газының кенеттен шығарылу қаупін тудыратын жану процестерінің жүруі байқалып отыр. Мысалы, ядролық сынақтан 17 жыл өткеннен кейін «Глубокая» ұңғымасында диаметрі 100 м-ден асатын, тереңдігі 30 м шұңқырдың қалыптасуына алып келген жарылыс болды.

II Сәулелену дозалары және олардың өлшем бірліктері

Сәулелену дозалары олардың қоршаған ортада шоғырлануы туралы деректер бойынша емес, адам денесіндегі радиоактивті заттардың мөлшері мен құрамы бойынша анықталады. Тіпті аз ғана радиоактивті ластану зиянды заттардың ағзаға енуіне жағдай жасайды. Сәулелендіру әсері жұтылған доза көлеміне, сәулеленген ұлпалар мен дене мүшелерінің көлеміне, сәулелену түріне байланысты болады. Сәулелену дозасының төмендеуі биологиялық әсерді азайтады, нәтижесінде ағзаны қайта қалпына келтіру мүмкіндігі пайда болады.

Жұтылған сәулелену дозасы – сәулеленетін дененің бірлік массасы жұтқан сәулелену энергиясына тең шама:

$$D = \frac{E}{m}.$$

Халықаралық бірліктер жүйесінде жұтылған сәулелену дозасының өлшем бірлігі ретінде 1 Гр (грей) қабылданды:

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

1 Гр доза – адамның табиғи немесе медициналық сәулелену кезінде қабылдайтын радиация дозасынан



Жауабы қандай?

1. *Неге сыртқы сәулелену кезінде өткіш қабілеттілігі жоғары бөлшектер, ішкі сәулелену кезінде иондаушы қабілеттілігі жоғары бөлшектер үлкен қауіп төндіреді?*
2. *Өткіш қабілеттілігі жоғары және иондаушы қабілеттілігі жоғары бөлшектерді атаңдар.*



Есте сақтаңдар!

1. ҚР-да ядролық сынақ жүргізілген аймақ ауданы 18500 км².
2. 1953 жылы термоядролық заряд жарылысы кезінде пайда болған ядролық саңырауқұлақтың диаметрі 30 км-ге жетті. Оны 59 елді мекеннің тұрғындары бақылады, жарылыс толқыны эпицентрден 200 км-де орналасқан ғимараттардың әйнектерін сындырды.
3. Полигонда 1949–1989 жылдар аралығында жалпы қуаты 38000 кВт болатын 616 снаряд жарылған.

әлдеқайда көп жұтылған радиация мөлшері. 10–20 Гр дозаны бір рет қабылдау адам өліміне алып келеді.

Практикада шамамен экспозициялық сәулелену дозасының өлшем бірлігі 1 Р (рентгенге) тең жүйеден тыс өлшем бірлігі 1 рад қолданылады:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ Р.}$$

Ұлпалардың және дене мүшелерінің түрлі иондаушы сәулеленулермен зақымдану дәрежесі әртүрлі болады. Осыған байланысты «сәулеленудің эквивалентті дозасы» ұғымы енгізілді. Оны иондаушы сәулелердің салыстырмалы биологиялық тиімділік коэффициенті арқылы есептейді. Мысалы, гамма-сәулелену және рентгендік сәулелер әсерінен зақымдану альфа-бөлшектермен сәулеленуден болатын зақымданудан 20 есе әлсіз. Сәулеленудің эквивалентті дозасын оның жұтылған сәулелену дозасы мен радиоактивті бөлшектердің салыстырмалы биологиялық тиімділік коэффициентінің (СБТК) көбейтіндісі түрінде анықтайды:

$$D_{\text{экв}} = k \cdot D.$$

Рентген сәулелері және гамма-сәулелері үшін СБТК бірге тең: $k = 1$, α -бөлшектер үшін $k = 20$. ХБЖ-да радиацияның эквивалентті дозасының өлшем бірлігі – 1 зиверт (Зв), ол 1 грейге тең, практикада жүйеден тыс өлшем бірлігі – рентгеннің биологиялық эквиваленті (бэр) қолданылады:

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ бэр.}$$

Радиоактивті сәулелену қарқындылығы бірлік уақыт ішінде жұтылған доза – сәулелену дозасының қуатымен сипатталады:

$$P = \frac{D}{t}; \quad P_{\text{экв}} = \frac{D_{\text{экв}}}{t}.$$

Жұтылған доза қуатының өлшем бірліктері – Гр/с, рад/с, ал сәулеленудің эквивалентті дозасы қуатының өлшем бірліктері – Зв/с, бэр/с.

Адамның сәулелену дозасын білу сәуле ауруын оның алғашқы кезеңдерінде болжауда және диагностикалауда, аурудың негізгі симптомдарының дамуына дейінгі терапиялық тактиканы анықтауда шешуші рөл атқарады.

III Радиациялық сәулеленудің тірі ағзаларға әсері

Радиоактивті сәулеленудің басты қауіптілігі – оның әсері адамның сезім мүшелерімен байқалмайды. Радиоактивті заттар ағзаға радиоактивті заттармен ластанған ауаны жұту кезінде, зақымдалған тамақ, су немесе тері арқылы, сондай-ақ ашық жараның зақымдануы арқылы түседі. Сыртқы сәулелену кезінде зиянсыз альфа-сәулелер ағза ішіне түскен кезде қауіпті.

Сәулемен зақымдану нәтижесінде дене мүшелерінің қызметтері өзгеріп, зат алмасу бұзылады. Радиоактивті сәулелену әсерінен ағзада қан түзуші мүшелер қызметі тежеледі, қанның қалыпты ұюы бұзылады және қылтамырлардың үзілуі артады; асқазан-ішек жолы қызметі бұзылады және ағза әлсіреп, инфекциялық ауруларға қарсылығы төмендейді.

Жұтылған сәулелену дозасының артуы ісіктердің даму қаупін арттырып, өмір сүру ұзақтығын қысқартуға және мүшелер қызметінің бұзылуына әкеледі. Кейінгі ұрпақтарда генетикалық өзгерістер: кемтарлық, мутациялар байқалуы мүмкін. Сәулеленудің аз мөлшерін алған адамдарда хромосомалық бұзылыстары бар қан жасушалары байқалады. Зерттеулер радиацияның төмен деңгейінде 1 Гр доза нәрсетелерде елеулі зардаптарға әкелетін 1000-нан 2000-ға дейінгі мутациялардың пайда болуын индукциялайтынын көрсетті.



Маңызды ақпарат

- Жіті зақымданулар аз ғана уақыт ішінде үлкен дозалармен сәулеленгенде пайда болады. Барлық мүшелер мен жүйелер: жілік майы түзетін қан жасушалары, лимфа жүйесі, асқазан-ішек жолдары, тері, бауыр, өкпе жасушалары зақымданады.
- Бірдей дозаларда созылмалы сәулелену тірі ағзаларға бір реттік сәулеленуге қарағанда әлсіз әсер етеді, бұл тұрақты жүріп отыратын радиациялық зақымдануларды қалпына келтіру процестеріне байланысты.
- Жақсы орындалған диспансерлеуде, мұқият онкологиялық тексеру және қан зерттеуі кезінде қатерлі ісіктің асқынған түрлерінің дамуын алдын алуға болады және науқастардың өмір сүру ұзақтығы қалыпты жағдайға жақындатуға болады.
- Жақсы ұйымдастырылған радиологиялық қызмет жағдайында созылмалы сәулелену байқалмайды. Радиация көздерін нашар бақылау, рентгенотерапиялық қондырғылармен жұмыс істеу кезіндегі жұмысшылардың қауіпсіздік техникасын бұзуы созылмалы сәулелену ауруларының пайда болуына алып келеді.

IV Жергілікті тұрғындарды радиоактивті сәулеленуден қорғау құралдары

Тұрғындарды радиациядан қорғауға мына іс-шаралар жатады:

- радиациялық қауіп туралы хабарлау;
- ұжымдық және жеке қорғаныс құралдарын пайдалану;
- радиоактивті заттармен зақымдалған аумақтағы тұрғындардың жүріс-тұрыс режимін қадағалау;
- азық-түлік өнімдері мен суды радиоактивті зақымданудан қорғау;
- жеке медициналық қорғаныс құралдарын пайдалану;
- аумақтың зақымдану деңгейін анықтау (256-сурет);
- тұрғындардың сәулеленуін дозиметрлік бақылау;
- азық-түлік өнімдері мен судың радиоактивті заттармен зақымдануына сараптама жүргізу.

АЭС-да және радиациялық белсенді препараттарды зерттеу зертханаларында жұмыс істейтін адамдар үшін де қорғану әдістері бар:

- оператор мен радиация көзі арасындағы қашықтықты арттыру;
- сәулелену алаңындағы жұмыс уақытын қысқарту;



Жауабы қандай?

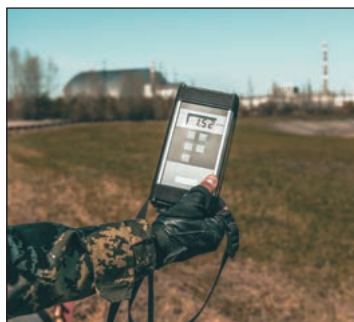
1. Неге «радиациялық қауіп» дабылы бойынша тұрғындар қорғаныс құрылыстарын паналауы тиіс?
2. Неліктен жергілікті жерде радиацияның деңгейі жоғары болған жағдайда халыққа алғашқы медициналық көмек көрсетуге болмайды?
3. Залалданған көздерден неге тамақ, су ішуге және жерге жатуға болмайды?
4. Неге радиациядан қорғау үшін газқағарлар мен респираторлар, қорғасын қоспасынан жасалған арнайы костюмдер қолданылады (255-сурет)?



255-сурет. Залалданған аумақтың радиациялық сәулеленуін зерттеу

- сәулелену көзін экрандау;
- қашықтан басқару;
- манипуляторлар мен роботтарды пайдалану;
- технологиялық процесті толық автоматтандыру;
- жеке қорғаныс құралдарын пайдалану және радиотехникалық қауіптілік белгісімен ескерту;
- сәулелену деңгейін және жұмысшылардың сәулелену дозаларын тұрақты бақылау.

Жұмыс жасау барысында радиация әсеріне ұшырайтын мамандар: ғарышкерлер, АЭС қызметкерлері, радиотерапиямен немесе радиоизотоптық диагностикамен айналысатын дәрігерлер дозиметрлерді қолданады. Дозиметр дегеніміз – радиацияның жиынтық дозасын анықтайтын құрылғы.



256-сурет. Рентген дозиметрі

V Адам ағзасы үшін табиғи радиацияның рөлі

Радиациялық сәулеленуді тек зиянды деп санауға болмайды. Қандай да бір дозаларға дейін сәулелену барлық тірі ағзалардың, оның ішінде адамның да өмір сүруі үшін қажетті шарт болып табылады. Зерттеулер нәтижелері ағзада сәулеленудің әсерінен түзілетін иондар болған кезде ғана метаболизм – зат пен энергия алмасу процестері қалыпты жүретінін дәлелдейді. Радиациялық сәулелену болмаған кезде сыртқы жағдайларға бейімделуге жауапты табиғи механизм жұмыс жасамайды.

Медицинада онкологиялық ауруларды емдеуде, атап айтқанда, қатерлі ісікті жоюда радиациялық терапия қолданылады. Қатерлі ісік жасушалары белсенді бөлінеді және тез өседі. Демек, радиациялық сәулеленудің зақымдаушы әсері оларға сау ұлпалардың жасушаларына қарағанда үлкен зиян келтіреді. Сәулелік терапияға арналған заманауи медициналық қондырғылар иондаушы сәулеленуді патологиялық ошаққа айналдыруға және сау ұлпалардың зақымдануын азайтуға мүмкіндік береді.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Массасы 60 кг адам 12 сағ бойы сәулеленуге ұшырайды. Егер жұтылған сәулелену дозасы 35 мГр болса, адамның осы уақыт ішінде жұтқан дозасының қуаты мен энергиясы қандай болатынын анықтаңдар.

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$m = 60 \text{ кг}$		Жұтылған сәулелену энергиясы $E = D \cdot m$. Сәулелену
$t = 12 \text{ сағ}$	$12 \cdot 3600 \text{ с}$	қуаты $P = \frac{D}{t}$.
$D = 35 \text{ мГр}$	$0,035 \text{ Гр}$	$E = 0,035 \text{ Гр} \cdot 60 \text{ кг} = 2,1 \text{ Дж};$
$E - ? P - ?$		
$P = \frac{0,035 \text{ Гр}}{43200 \text{ с}} = 0,81 \text{ мкГр/с}.$		

Жауабы: $E = 2,1 \text{ Дж}; P = 0,81 \text{ мкГр/с}.$

Бақылау сұрақтары

1. Қандай сәулелену көздерін білесіңдер?
2. Жұтылған сәулелену дозасы деп нені айтады? Оны қандай бірліктермен өлшейді?
3. Сәулелену дозасының сәулеленудің эквивалентті дозасынан айырмашылығы неде?
4. Сәулеленудің эквивалентті дозасын немен өлшейді?
5. Радиациялық сәулелену адам ағзасына қалай әсер етеді?
6. Ағзадағы соматикалық және генетикалық өзгерістер қалай байқалады?
7. Радиациялық зақымдалған аумақта халықтың әрекет ету тәртібінің қандай ережелері бар?



Жаттығу

43

1. Рентген қондырғысымен жұмыс істейтін қызметкердің 1 сағ ішінде жұтатын сәулелену дозасының орташа мөлшері 7 мкГр. Егер сәулеленудің шекті рұқсат етілген мөлшері жылына 50 мГр-ге тең болса, онда қызметкердің жылына 200 күн бойы күніне 6 сағат жұмыс істеуі қауіпті ме?
2. Массасы 60 кг адамның жұтқан радиоактивті сәулелену энергиясы 1 Дж-ге тең. Жұтылған сәулелену дозасын анықтандар. Егер сәулеленудің эквивалентті дозасы 0,051 Зв болса, онда адам сәулеленудің қандай түріне ұшырағанын анықтандар.
3. Зақымдалу аймағындағы радиоактивті изотоптардың гамма-сәулелену дозасының қуаты 200 мкГр/сағ. Егер апаттық жағдайда рұқсат етілген доза 25 мЗв болса, адам апат аймағында денсаулығына зиян келтірмей неше сағат жұмыс жасай алады?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

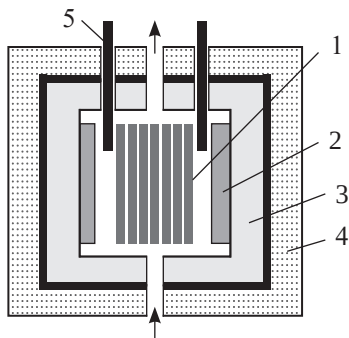
1. Чернобыль апатының зардаптары: радиоактивті зақымдалу ошағындағы флора мен фауна.
2. Қазақстан Республикасындағы сынақ алаңдары: «Тәжірибелік алаң», «Дегелең», «Балапан», «Сарыөзен», «Ақтанберлі», «4», «4А», «Атом» көлі, «Телкем-1», «Телкем-2» алаңы. Олардың қазіргі жағдайы және болашағы.
3. Радиометрлік аспаптардың түрлері, олардың қызметі және жұмыс істеу принципі.
4. Әлемдегі ең үлкен ядролық полигондар.

§ 44. Ядролық реактор. Ядролық энергетика. Термоядролық реакциялар

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін сипаттай аласыңдар;
- ядролық энергетиканың даму кезеңдерін талдай аласыңдар.



257-сурет. Ядролық реактор

Бұл қызық!

Шапшаң нейтронды реактор құру идеясын 1942 жылы Э.Ферми ұсынды. Алғашқы мұндай реактор 1951 жылы АҚШ-та пайда болды, ол бір мезгілде электр энергиясы мен жылуды бір құрылғыда өндіруге болатынын көрсетті.

I Баяу нейтронды ядролық реактор құрылғысы және оның жұмыс істеу принципі

Баяу нейтрондармен жұмыс істейтін алғашқы реактор 1942 жылы АҚШ-та, 1946 жылы КСРО-да іске қосылды. Реактордың негізгі бөлігі – белсенді аумақ (1), мұнда ауыр ядролардың бөлінуі орындалады және ядролық энергия бөлінеді (257-сурет). Әдетте ол реактордың қолданылу мақсатына байланысты көлемі бірнеше см³-тан м³-қа дейін жететін цилиндр пішінді болады. Белсенді аумақ баяулатқышқа (2) батырылған уран немесе плутонийлі жылу шығарғыш элементтердің (ЖШЭ) жиынтығынан құралады. Баяулатқыш ретінде графит немесе су, оның ішінде D₂O ауыр су да қолданылады. Реактордың белсенді аумағын бериллийден және нейтрондарды толық шашыратуға қабілетті материалдан жасалған шағылдырғыш (3) қоршай орналасады. Бұл қабат тізбекті реакцияның өту жылдамдығын арттырып, критикалық массаны төмендетіп, белсенді аумақтан ұшып шығатын нейтрондарды кері қайтарады. Шағылдырғыштың айналасында реактордың сыртқы бөлігіндегі сәулеленуді рұқсат етілген деңгейге дейін төмендету үшін бетоннан жасалған радиациялық биологиялық қорғаныс қабаты (4) құйылады. Ядролық реакция нәтижесінде бөлінетін энергия белсенді аумақтан жылу тасымалдағыштар газ, су немесе басқа да белсенді аумақ арқылы үнемі өткізіліп отыратын, ЖШЭ-ны шайып өтетін заттар көмегімен шығарылады.

Ядролық реактор – ауыр ядролардың бөлінуі басқарылатын тізбекті ядролық реакция жүзеге асырылатын қондырғы.

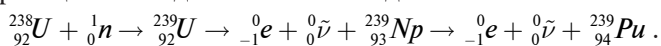
Ядролардың бөлінуінің тізбекті реакциясының өту жылдамдығын басқару үшін кадмийден немесе бордан жасалатын реттегіш өзектер (5) қолданылады. Оларды белсенді аумаққа енгізу тізбекті реакция жылдамдығын төмендетеді және қажет болған жағдайда реакцияны толығымен тоқтатады. Реттегіш өзектерді белсенді аумақтан шығарғанда нейтрондарды жұту азаяды, тізбекті реакция өзін-өзі ұстап тұратын деңгейге дейін жетуі мүмкін. Ядролық реакторлар атомдық энергетикада және зерттеулер жүргізу үшін пайдаланылады.

II Шапшаң нейтронды реактор жұмысының ерекшеліктері

Шапшаң нейтронды реактордың артықшылығы – табиғи урандағы негізгі изотопты – уран-238 пайдалану мүмкіндігі. Бұдан бөлек, реактор баяу нейтронды

ядролық реакторларға арналған элемент плутоний-239 өңдеуге мүмкіндік береді.

$^{238}_{92}\text{U}$ ядросы шапшаң нейтронды жұтып, γ -фотон шығарып, жартылай ыдырау периоды $T = 23$ мин болатын $^{239}_{92}\text{U}$ радиоактивті изотопының ядросына айналады. Өз кезегінде бұл ядро β -бөлшекті шығарып, жартылай ыдырау периоды $T = 23$ күн болатын трансуран элемент $^{239}_{93}\text{Np}$ нептуний ядросына айналады. Нептуний ядросы β -бөлшекті шығарып, трансуран элемент $^{239}_{94}\text{Pu}$ плутоний ядросына айналады. Сипатталған реакция төмендегі тізбекпен өтеді:



$^{239}_{94}\text{Pu}$ плутоний баяу нейтрондардың әсерінен $^{235}_{92}\text{U}$ уран ядроларына ұқсас бөлінеді, бөлу кезінде α -, β - және γ -сәулелер шығарады. Жартылай ыдырау периоды $T = 24100$ жыл болуының арқасында реакторда плутоний көп мөлшерде жиналады.

Шапшаң нейтронды ядролық реакторлар жасанды-радиоактивті изотоптарды дайындау үшін пайдаланылады. Сәулеленуге тиіс заттар реактордың қорғаныс корпусында жасалған арнайы арналарға салынады. Олар ядролық отынның толығына мүмкіндік береді.

Шапшаң реакторлардың артықшылығына отынның жануының үлкен дәрежесін, ал кемшіліктеріне – қарапайым жылутасымалдағыш – суды пайдалану мүмкіндігі болмағандықтан, қымбат болатынын, сондай-ақ құрылғының күрделілігін жатқызуға болады. Энергетикаға ядролық шапшаң реакторларды жаппай енгізу басталған жоқ. 1980 жылдан кейін бүкіл әлемде шапшаң нейтрондармен жұмыс істейтін өнеркәсіптік реакторлар 3 елде ғана орнатылды: Францияда Superphenix, Жапонияда Monju және Ресейдегі Белояр АЭС-і БН-600. Баяу нейтронды өнеркәсіптік реакторлар экономикалық жағынан неғұрлым тиімді.



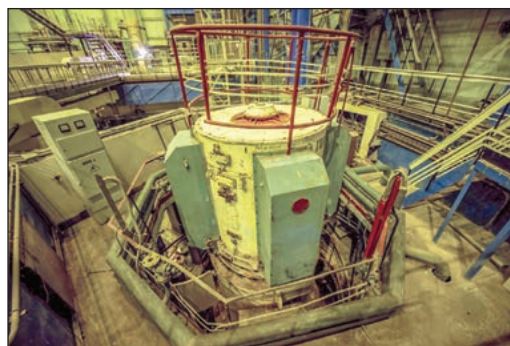
Назар аударындар!

Шапшаң нейтронды реакторларды енгізу уранды пайдалану тиімділігін алпыс есе арттырады. Шапшаң реакторлар жылу нейтрондары реакторларында бөлінбейтін ауыр элементтердің изотоптарын пайдалануға мүмкіндік береді. Табиғатта қорлары айтарлықтай көп ^{238}U , ^{232}Th және жылу нейтрондарындағы реакторлар үшін негізгі жанармай – ^{235}U изотоп құрамын отын ретінде қатыстыруға болады. Оның ішінде ^{235}U элементін байытудан кейін қалған «үйінді уранды» қайта қолдану мүмкіндігі іске асырылады.



Бұл қызық!

1970 жылдары КСРО-да натрийлі жылутасымалдағышы бар БН-350, БН-600, БН-800 салыстырмалы қуатты энергетикалық реакторлары салынды. Төңіз суын тұщыландыру үшін 1972 жылы Ақтау қаласында орнатылған БН-350 реакторы өнеркәсіптік тәжірибе жинақтауға мүмкіндік берді және натрий жылутасымалдағышының технологиясын игеру, отын жинақтарын және басқа да элементтерді физикалық зерттеу және сынау үшін эксперименттік база болды (258-сурет). 2010 жылы ядролық реактор пайдалану мерзімінің аяқталуына байланысты тоқтатылды.

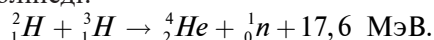


258-сурет. БН-350 шапшаң нейтронды реактор, Ақтау қ.

III Синтездеу термоядролық реакциясы және оны жүзеге асыру шарттары

Жеңіл ядроларды синтездеу реакцияларында ядролық энергия бөлінеді.

Дейтерий мен тритий ядроларын синтездеу реакциясында гелий ядросында $E_1 = 17,6$ МэВ энергия бөлінеді:



Егер мольдік массаның орташа мәні $2,5 \cdot 10^{-3}$ кг/моль болатын осы дейтерийдің тритиймен қоспасы реакциясының 1 кг құрамында барлық ядролар ыдыраса, онда төмендегідей энергия бөлінеді:

$$E = \frac{N}{2} E_1 = \frac{m}{M} \cdot \frac{N_A}{2} \cdot E_1.$$

$$E \approx \frac{1 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{0,0025 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 2} \cdot 17,6 \cdot 10^6 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ} \approx 3,6 \cdot 10^{14} \text{ Дж}.$$

Ол 1 кг уран-235 ыдырағанда бөлінетін энергиядан төрт есе артық:

$$E \approx \frac{1 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{0,235 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}} \cdot 200 \cdot 10^6 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ} = 0,8 \cdot 10^{14} \text{ Дж}.$$

Екі ядроны бір ядроға біріктіру үшін кулондық күшті жеңіп шығып, оларды 10^{-13} см-ге жуық қашықтыққа жақындату қажет. Сол кезде оларды одан әрі біріктіруге ядролық күштер жұмсалады. Бұл синтездеу реакциясын жүзеге асырудың қажетті шарты болып табылады.

Есептеулер гелийде дейтерий мен тритийді синтездеу реакциясын жүзеге асыру үшін дейтрондар мен тритондар 0,01 МэВ кинетикалық энергияға ие болуы тиіс екендігін көрсетеді. Бұл атомдардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы 0,01 МэВ мәніне жақындай түсетін қоспаның жоғары температурасында жүзеге асады. Мұндай температура ондаған миллион кельвинмен өлшенеді. Бөлшектердің жылулық қозғалысының W орташа кинетикалық энергиясын есептеу формуласын пайдаланып:

$$\langle W \rangle = \frac{3}{2} \cdot kT,$$

мұндағы k – Больцман тұрақтысы. Қоспаның температурасын анықтаймыз:

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{W}{k} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,01 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23}} \text{ К} = 77000000 \text{ К}.$$

Синтездеу реакциясы ондаған миллион кельвин температурада ғана жүре алады, осыған байланысты ол термоядролық реакция деп аталды. Бұл температурада қоспа плазмалық күйде болды, ол ядролардан және бос электрондардан тұрады.

Термоядролық реакция – жүздеген миллион кельвин температурада жеңіл ядролардың бірігу реакциясы.

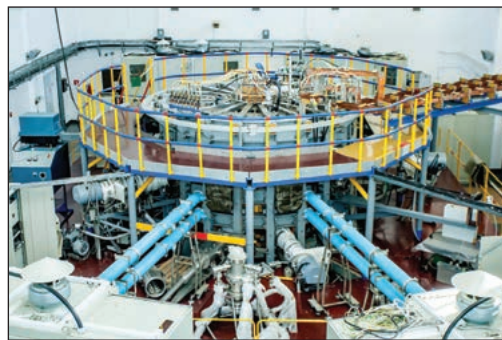
IV Термоядролық реакторлар

Басқарылатын термоядролық реакцияны жүзеге асыруда үлкен қиындықтар кездеседі. Плазманың он миллион кельвинге дейін қызуының реттелуін қамтамасыз етіп, оның ыдыс қабырғаларымен жанасуын болдырмау қажет. Технологияны іске асыру тәсілдерінің бірі плазмалық тор нысанындағы магнит өрісі ұстап тұратын

және отын ретінде тритий мен дейтерийді пайдаланатын «Токамак» реакторын пайдалану болып табылады.

Токамак (магнитті шарғылары бар тортәрізді камера) – басқарылатын термоядролық синтездеу өтуі үшін қажетті жағдайларға жету мақсатымен плазманы магнит өрісінде ұстап тұруға арналған тортәрізді (тороидалды) қондырғы.

Алғашқы Токамак 1956 жылы Мәскеудегі И.В.Курчатов атындағы Атом энергиясы институтында салынған. Қазіргі уақытта Токамак басқарылатын термоядролық синтездеуді жүзеге асыру үшін ең перспективалы құрылғы болып саналады. Әлемде барлығы 300-ге жуық Токамак салынған, оның ішіне біздің еліміздегі Қазақстандық Материалтану Токамагы (ҚМТ) – эксперименттік термоядролық қондырғы да кіреді. Ол материалдарды зерттеу және сынау үшін Курчатов қаласында 2010 жылы қыркүйекте іске қосылды (259-сурет). Қазіргі кезде Токамактардағы плазманы ұстап қалу рекорды – 30 секунд. Ол 2013 жылы Қытайда қойылды.



259-сурет. Қазақстандық Материалтану Токамагы

V Ядролық энергетиканың болашағы

Ядролық энергетика деп өндірістік масштабта жүзеге асырылатын ядролық энергияның басқа: механикалық, электрлік және өндірістік әрі тұрмыстық қажеттіліктер үшін пайдаланылатын энергия түрлеріне түрлендіруін айтамыз. Атом электр стансыларын пайдалану органикалық отын – көмір, мұнай, газ кен орындарынан алыс және гидроресурстарға кедей аудандарда қолдану үшін тиімді.

Көптеген зерттеушілер синтездеу энергиясын болашақта энергияның негізгі көзі ретінде қарастырады. Электр энергиясын өндіру үшін термоядролық реакторларды пайдалануды қолдайтын тараптар олардың артықшылығына мынадай дәлелдер келтіреді:

1. Сутек – Жер мен ғарышта ең көп таралған элемент, оның қоры таусылмайды.
2. Отынды әлемдегі кез келген теңіз суынан өндіруге болады, бұл отын ресурстарын бір немесе бірнеше ел монополияландыруына мүмкіндік бермейді.
3. Жану өнімдерінің болмауы.
4. Ядролық қаруды өндіру үшін қолданылатын материалдарды пайдаланудың қажеті жоқ.
5. Ядролық реакторлармен салыстырғанда жартылай ыдырау периоды қысқа радиоактивті қалдықтар шығарылады.
6. Аз отын шығыны: оймақтай дейтерий 20 тонна көмірге баламалы энергия өндіреді. Орташа көлемді көл кез келген елді жүздеген жылдық энергиямен қамтамасыз ете алады.

7. Синтездеу реакциясы жаһандық жылырудың басты себептерінің бірі болып табылатын көмірқышқылын атмосфераға шығармайды.
8. Жаңартылатын энергия көздері электрстансыларынан айырмашылығы термоядролық реакторларды кез келген жерде, оның ішінде көлікте де орнатуға болады. Су қоймаларын су басу, құстардың жел электрстансыларының қалақтарымен зақымдануы сияқты қоршаған ортаға қандай да бір мөлшерде зиян келтірмейді.
9. Астероидтар белдеуі мен планеталардың күңгірт жақтарында Күн батареялары тиімсіз болғандықтан, ғарышта термоядролық реакторларды пайдалану қажет.

Бақылау сұрақтары

1. Ядролық реакторлар не үшін құрылды? Олар қалай құрылған?
2. Реакторда ядролық реакцияны өшіру қалай жүзеге асырылады?
3. Қандай реакциялар термоядролық деп аталады?
4. Жеңіл ядроларды синтездеу ядролық реакциялары қандай жағдайда жүреді?
5. Ядролық энергияны қалай қолданады?
6. Ядролық энергетиканың даму болашағы қандай?



Жаттығу

44

1. ${}^2_1\text{H} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + \gamma$ ядролық реакциясы кезінде сәулеленетін γ -кванттың энергиясын анықтаңдар.
2. Сутегі бомбасының жарылысы кезінде ${}^2_1\text{H}$ дейтерий мен ${}^3_1\text{H}$ тритийден ${}^4_2\text{He}$ гелий ядросы түзілетін термоядролық реакция жүреді. Ядролық реакцияны жазып, оның энергетикалық шығынын анықтаңдар.
- 3*. Термоядролық ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p}$ реакциясы кезінде $E = 18,4$ МэВ энергия бөлінеді. ${}^3_2\text{He}$ ядросының масса ақауы ${}^2_1\text{H}$ ядросының масса ақауынан $\Delta m = 0,006$ м.а.б. мәнге артық болса, ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}^1_1\text{p}$ реакциясында бөлінетін энергияны анықтаңдар.
4. Мынадай термоядролық реакцияларда бөлінетін энергияны анықтаңдар.
 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H}$; ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.
- 5*. Егер бөлшек 19,121 МэВ энергияға ие болатын болса, ${}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma$ термоядролық реакция нәтижесінде түзілетін γ -сәулеленудің жиілігі қандай болатынын анықтаңдар. Планк тұрақтысы $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптар бойынша хабарлама дайындаңдар:

1. Жұлдыздар қойнауындағы синтездеудің термоядролық реакциялары.
2. Суасты атомдық кемелердің құрылу тарихы.
3. Қазақстандағы ядролық энергетиканың даму болашағы.
4. ИТЭР – Халықаралық эксперименттік термоядролық реактор.

Қазақстандағы атомдық энергетикаға көзқарас

Қолдаушылар пікірі	Қарсы пікірлер
Қазақстанда уранның үлкен қоры бар. Уран өндіру шамамен 22 мың тоннаны, барлық өндірілетін энергия ресурстарының 62%-ін құрайды. Қазақстанда уран таблеткалары мен жылу шығарғыш элементтердің (ЖШЭ) өндірісі игерілді, бұл елімізді ядролық отынмен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. АЭС-ы бар, уран өндіретін және ядролық отын өндіретін елдер тек көмір немесе газ энергетикасына негізделген елдерге қарағанда неғұрлым дамыған болып саналады. Ескі электрстансылардағы жабдықтардың 75 %-і тозған. Атмосфераның ластануы күрт төмендейді. Көмір тасымалдау қысқарады. Қазақстанның атом электрстансысын пайдалану тәжірибесі бар. 1972–1999 жылдары Ақтау маңында шапшаң нейтрондармен жұмыс істейтін реактор болды. Қазақстан бойынша электр энергиясын тұтыну көрсеткіші жыл сайын артуда.	АЭС-тардағы ірі радиациялық апаттардың орын алу ықтималдығы. Қазақстанда электр энергиясы тапшылығының болмауы. Құрылыстың қымбат болуы, АЭС-тың 1 ГВт белгіленген қуатының құны 5–5,5 миллиард долларды құрайды. Көмір генерациясының 1 ГВт құны шамамен бір миллиард долларды, ал газ генерациясы шамамен 900 миллион долларды құрайды. Энергетика министрлігінің болжамы бойынша тозған жабдықтарды ауыстыру үшін 4,3 ГВт жаңа қуаттарды енгізу қажет. Қуаты 1 ГВт АЭС құрылысы тозған энергия блоктарын толығымен алмастыра алмайды. Көмір генерациясына 5 миллиард доллар бөлу тиімді. Көмір сату және көмір өндірушілерді жұмысқа орналастыру туралы мәселе туындайды. Көмірді ядролық отынмен алмастыру мұқият ойластырылған жоспарды талап етеді.



Тапсырма

Атомдық энергетиканы қолдануға байланысты келтірілген дәлелдерді зерделеп, «Қазақстандағы өнеркәсіптік АЭС» тақырыбына эссе жазыңдар.



Бұл қызық!

Алатау реакторының базасында іргелі ядролық физикалық және материалтану зерттеулері мен реактор сынақтары, медицина әрі өнеркәсіпке арналған радиоизотоптар өндірісі, гамма-дереккөздері, кремнийді нейтронды легирлеу, сондай-ақ нейтронды белсендіруге талдау жүргізіледі (260-сурет).



260-сурет. Алатау зерттеу реакторы, Қазақстан

10-тараудың қорытындысы

Ығысу ережесі	Масса ақауы
${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \bar{\nu}$;	$\Delta M = (Z m_p + N_n m_n) - M_x$;
${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1} e + {}^0_0 \nu$;	$\Delta M = [Z M({}^1_1 H) + N_n m_n] - M_a$
${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 He$	Ядродағы нуклондар саны $Z + N_n = A$

Байланыс энергиясы, меншікті байланыс энергиясы

$$E_{байл} = c^2 [(Z m_p + N_n m_n) - M_x];$$

$$E_{байл} = c^2 [Z M({}^1_1 H) + N_n m_n - M_a];$$

$$E_{байл} = (Z m_p + N_n m_n - M_x) \cdot 931,5 \text{ МэВ};$$

$$E_{байл} = [Z M({}^1_1 H) + N_n m_n - M_a] \cdot 931,5 \text{ МэВ};$$

$$E_{мени} = \frac{E_{байл}}{A}$$

Сәулелену дозасы	Радиоактивті ыдырау заңы	Шығу энергиясы
$D = \frac{E}{m}$;	$N = N_0 e^{-\lambda t}$;	$E_{шығу} = E_{байл2} - E_{байл1}$;
$D_{экв} = k \cdot D$	$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$	$E_{шығу} = (m_1 - m_2) \cdot c^2$;
		$E_{шығу} = (m_1 - m_2) \cdot 931,5 \text{ МэВ}$
Жартылай ыдырау периоды	Орташа өмір сүру уақыты	Радиоактивті препараттың белсенділігі
$T = \frac{0,693}{\lambda}$	$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1,44T$	$A = \left \frac{dN}{dt} \right $; $A = \lambda N$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктердің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
ΔM	массалар ақауы	кг	A	нуклондар саны	
Z	протондар саны		N_n	нейтрондар саны	
m_p	протон массасы	кг	$E_{байл}$	байланыс энергиясы	Дж
m_n	нейтрон массасы	кг	$E_{мени}$	меншікті байланыс энергиясы	Дж
M_x, M_a	ядро массасы, атом массасы	кг	A	радиоактивті препараттың белсенділігі	с ⁻¹
D	жұтылған сәулелену дозасы	Гр	N	ыдырамаған бөлшектер саны	

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
$D_{экв}$	сәулеленудің эквивалентті дозасы	1 Зв	N_0	бөлшектер саны	
E	сәулелену энергиясы	Дж	λ	ыдырау тұрақтысы	c^{-1}
k	биологиялық тиімділік коэффициенті		$E_{шығу}$	шығу энергиясы	Дж
T	ыдырау периоды	с	m_1	ядролардың реакцияға дейінгі массасы	кг
t	ыдырау уақыты	с	m_2	ядролардың реакциядан кейінгі массасы	кг

Глоссарий

Радиоактивті элементтің белсенділігі – оның ядроларының ыдырау жылдамдығы.

Жұтылған сәулелену дозасы – сәулеленетін дене массасының бірлігінде жұтылған сәуле шығару энергиясына тең шама.

Табиғи радиоактивтілік – радиоактивті сәуле шығару арқылы бір ядролардың өздігінен басқа ядроларға айналуы.

Изотоптар – ядросы протондардың бірдей санынан, бірақ нейтрондардың әртүрлі санынан тұратын атомдар.

Жартылай ыдырау периоды – бастапқы элемент атомдарының саны екі есе кему уақыты.

Термоядролық реакция – жүздеген миллион кельвин температурада жеңіл ядролардың бірігу реакциясы.

Токамак (магнитті шарғылары бар тортәрізді камера) – басқарылатын термоядролық синтездеу өтуі үшін қажетті жағдайларға жету мақсатында плазманы магнит өрісінде ұстап тұруға арналған тортәрізді (тороидалды) қондырғы.

Меншікті байланыс энергиясы – бір нуклонға сәйкес келетін ядроның байланыс энергиясы.

Ядроның байланыс энергиясы – ядроны нуклонға ыдырату үшін қажетті энергия.

Ядролық реакция – шапшаң элементар бөлшектердің немесе ядроларының әсеріне негізделген атом ядроларының басқа ядроларға айналу процесі.

Ядролық реактор – тізбекті ядролық реакция жүзеге асырылатын ауыр ядролардың бөлінуін басқаратын қондырғы.

НАНОТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

Қандай да бір қасиеттерге ие наноматериалдарды құрастыру мен дайындауда жетістікке жету технологияның даму деңгейіне байланысты. Ол қажетті құрылым мен өлшемге ие наноқұрылымдарды атомдық дәлдікпен алуға мүмкіндік береді. Осыған дейін белгілі құбылыстар негізінде жаңа кванттық құрылғылар және опто- және наноэлектроникаға, өлшеуіш техникаларға, ақпараттық технологиялардың жаңа буынына, байланыс құралдарына арналған көптеген мүмкіндіктерге ие жүйелер құрастырылуда. Қазіргі кезде нанотехнологиялар мен наноматериалдар саласының даму перспективалары физика, химия, биология, электроника, медицина және басқа ғылымдардың бірқатар бағыттарын қамтиды. Көптеген болжамдар бойынша атом энергиясының ашылуы, лазер мен транзистордың жасалуы XX ғасырдың келбетін анықтағаны сияқты, нанотехнологиялардың дамуы XXI ғасырдың негізгі көрсеткіштерінің бірі болмақ.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

- наноматериалдардың физикалық қасиеттерін және оларды алу тәсілдерін түсіндіруді;
- нанотехнологияларды қолдану салаларын талқылауды үйренесіңдер.

§ 45. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері, өзекті мәселелер және даму кезеңдері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты оқығанда:

- наноматериалдардың физикалық қасиеттерін және оларды алу тәсілдерін түсіндіре аласыңдар;
- нанотехнологияларды қолдану салаларын тапқылай аласыңдар.

Бұл қызық!

2010 жылы МФТИ түлектері А.Гейм мен К.Новоселов «екіөлшемді графен материалын зерттеудегі жаңашылдығы үшін» Нобель сыйлығын алды. Қазіргі уақытта Андрей Гейм шетелде нанотехнологиялық орталықтың директоры қызметін атқарады, Константин Новоселов – Британдық Манчестер университетінің профессоры (261-сурет).



261-сурет. А.Гейм, К.Новоселов – Нобель сыйлығының иегерлері

I Нанотехнологиялар (НТ)

Нанотехнологиялар – заттардан белгілі бір қасиеттерді алу мақсатында атомдық немесе молекулалық деңгейде өтетін манипуляциялау әдістерінің жиынтығы.

Нанотехнологияның міндеті: белгілі бір құрылымы және қасиеттері бар наноматериалдарды алу; наноматериалдардың құрылымы мен қасиеттерін ескеріп, белгілі бір мақсатта қолдану; наноматериалдарды алу барысында да, оларды қолдану кезінде де құрылымы мен қасиеттерін зерттеуді жалғастыру.

Нанотехнологиялардың негізгі салалары – наноматериалдар, нанокұралдар, наноэлектроника, микроэлектрмеханикалық жүйелер және нанобиотехнологиялар.

II Наноматериалдар.

Наноматериалдардың физикалық қасиеттері

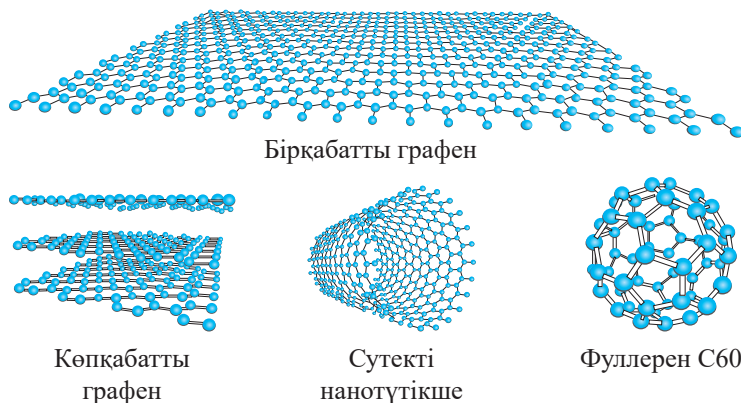
Наноматериалдар – геометриялық өлшемдері бір өлшеуде де 100 нм-ден аспайтын, нано өлшемдерінің салдарынан сапалы жаңа қасиеттерге ие болатын материалдар.

Бірөлшемді (1D) және екіөлшемді (2D) наноматериалдар бар. Бірөлшемді наноматериалдар деп көміртекті нанотүтікшелерді және наноталшықтарды, наноөзектерді, наноөткізгіштерді атайды. Бірөлшемді нысандар – диаметрі бірнеше нанометрге тең болатын, ұзындығы бірнеше микрон цилиндрлер. Екіөлшемді наноматериалдар – төсеніштің бетіндегі қалыңдығы бірнеше нанометр қабат немесе пленка. Екіөлшемді материалдың қалыңдығы нанометр өлшемінде болуы тиіс.

Наноматериалдар үлкен өлшемнен наномасштабты кіші өлшемге ауысқанда олардың механикалық, жылулық және химиялық қасиеттері өзгереді. Бұл процестер аз уақыт аралығында өтеді, материалдар өте қатты немесе асқын қатты болуы мүмкін және заттың түсі, электрөткізгіштігі, жылуөткізгіштігі өзгереді.

Манчестер университетінің физиктері А.Гейм мен К.Новоселов ұсынған және зерттеген графен – болашағы зор наноматериалдардың бірі.

Графен – көміртегі атомдарынан жасалған өте жұқа қабат, қалыңдығы – бір атом. Атомдар қабырғалары ортақ алтыбұрыштардан тұратын гексагональды құрылымды құрайды (262-сурет). Графен мыстың электрөткізгіштігінен асатын жоғары электрөткізгіштікке ие. Болатпен салыстырғанда графен жүз есе берік, үзілу беріктігі 42 Н/м. Ауданы бір шаршы метр және қалыңдығы бір атомды құрайтын графен парағы массасы 4 килограмм затты ұстап тұруға қабілетті. Ол 0,77 мг массаға ие болар еді. Графенді қағаз майлық сияқты бүгуге, бұрауға, созуға болады. Қағаз майлық қолда тез жыртылады, графен беріктігін сақтайды. Практикада графен – мөлдір материал, ол көрінетін спектрдің 2 %-тен артығын жұтпайды. Оның тығыздығы соншалық, гелий және сутек сияқты жеңіл газдардың өзі графен қабаты арқылы өтпейді.



262-сурет. Нанотүтікшелер және наноматериалдар

III Наноматериалдарды алу тәсілдері

Наноматериалдар өндірісінде екі негізгі тәсіл бар: үлкен өлшемдері бар материалдарды наноөлшемге дейін ұсақтау немесе оларды атомдар мен молекулалардан өсіру арқылы наноматериалдар алу.

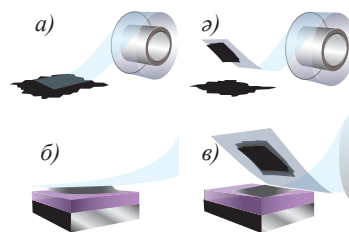
Наноматериалдарды алу әдістері механикалық, физикалық, химиялық және биологиялық болып бөлінеді. Осы топтау негізінде наноматериалдарды синтездеу процесінің табиғаты жатыр. Наноматериалдарды алудың механикалық әдістері үлкен деформациялаушы жүктемелердің: үйкеліс, қысым, нығыздау, тербеліс әсерлеріне негізделген. Наноматериалдарды алудың физикалық әдістері физикалық түрленулерге: булану, конденсация, күрт салқындату немесе қыздыру, балқытпаның тозаңдануына негізделеді. Химиялық әдістерге негізгі ыдырау кезеңдері электролиз, қалпына келтіру, жылулық ыдырау болып табылатын әдістер жатады. Наноматериалдарды алудың биологиялық әдістері ақуызда болатын биохимиялық процестерді қолдануға негізделген.

Екіөлшемді графенді әзірлеу кезінде К.Новоселов және А.Гейм тотыққан SiO_2 кремнийінің төсенішінде «қабаттарын аршу» немесе «қабыршақтау» әдісін қолданды. Осылайша, олар екіөлшемді пленканы тұрақтандыру мәселесін шешеді. «Қабаттарын аршу» әдісі қабатталған материалдармен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Графеннің ашылуы бірегей қасиеттері бар жаңа екіөлшемді материалдардың тұтас класын жасауға мүмкіндік береді: BN , MoS_2 , NbSe_2 – екіөлшемді кристалдар.



Өз тәжірибен

263-суретке қараңдар. Жабысқақ таспа мен графит өзекті пайдаланып, графен алыңдар. Графиттің жұқа қабаты – қалыңдығы бір атом графен алу үшін жабысқақ таспаның графит жағылған ұшын екінші ұшымен бірнеше рет беттестіреді. Соңында алынған көгілдір түске ие болған жұқа қабатты шыны бетіне жапсырыңдар. Алынған қабатпен зерттеулер жүргізуге болады.



263-сурет. Жабысқақ таспа көмегімен графен алу



Жауабы қандай?

Графен алғанда ғалымдарға не үшін тотыққан кремний төсеніші қажет болды?

IV Нанотехнология қолданылатын салалар

Нанотехнологиялар үлкен маңызға ие және өнеркәсіптің барлық салаларында, атап айтқанда электроника, энергетика, медицина, құрылыс, автокөлік жасау салаларында қолданылуы мүмкін.

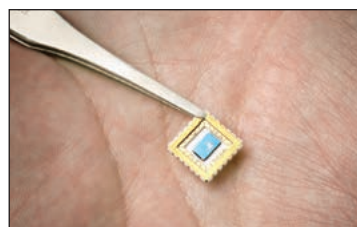
Электроника. Нанотехнологиялық процестің дамуы компьютерлік техникада микропроцессорлар үшін транзисторларды дайындау кезінде олардың көлемін 90 нм-ден 14 нм-ге дейін кішірейтуге мүмкіндік берді. Мұндай өлшемде кремнийдің бір сантиметрінде миллиард транзисторды орналастыруға болады. Нанoeлектрониканың дамуы арқасында есте сақтау құрылғыларының элементар ұяшығы кішірейді. Наноматериалдарды пайдалану бірегей иілгіш, ылғал және соққыға төзімді қасиеттері бар құрылғыларды жасауға мүмкіндік береді, олардың пайдалы әсер коэффициенті жоғары және қызмет ету мерзімі ұзақмерзімді болады. Ғалымдар графенді транзисторлар қазіргі заманғы кремний техникасына қарағанда шапшаң жұмыс істейтін болады деп болжайды (264-сурет). Графен түрлі салаларда таптырмайтын материал ретінде қолданылады, себебі ол бірегей физика-химиялық қасиеттерге ие, ал оның базасында сенсорлық экрандар, икемді электрондық аспаптар жасауға болады (265-сурет). Микроэлектрониканың болашағы – графен. Электрондық сұлбалардың элементтерін графен негізінде жасайтын болады, компьютерлерде өңделетін ақпараттың көлемі гигагерцтен терагерцке дейін артады.

Энергетика. Нанотехнологиялар негізінде спектрдің инфрақызыл бөлігінде энергияны жұтатын күн элементтері әзірленді. Кішкентай шаршы шиыршықтар түріндегі металл наноантенналар пластмасса төсенішке салынады. Мұндай құрылымның ПӘК-і 80 %-ке жетеді, стандартты күн батареяларының ПӘК-і тек 20 % болады. Жерге сіңірілген Күн энергиясының бір бөлігі тәулік өткеннен кейін



Тапсырма

Ғалымдар төсеніштен графен қабатын қалай бөлгенін анықтаңдар.



264-сурет. А.Гейм алақанындағы графенді транзистор



265-сурет. Графенді иілгіш экраны бар Samsung телефоны

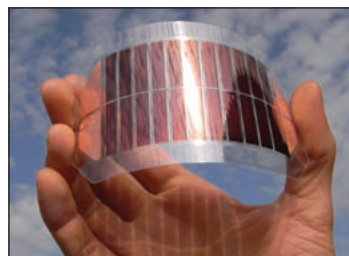
бірнеше сағат қарқынды түрде сәулеленеді; наноантенналар осы инфрақызыл сәулеленуге сезімтал және қарапайым күн батареяларына қарағанда ұзақ әрекет етеді. Графеннен жасалған күн батареялары кремний батареяларымен салыстырғанда тиімдірек, қалыңдығы қағаз парағындай болады (266-сурет).

Энергия жинағыштарды дайындауда үлкен перспективалар пайда болды. Кремний наноталшықтары, сондай-ақ графен негізінде жасалған зарядтау құрылғыларының сыйымдылығы бірнеше есе артты. Зарядтау уақыты 16 с-тан аспайтын графенді аккумулятор автокөліктің 1000 км-ді қайта зарядтаусыз жүріп өтуіне мүмкіндік береді. Нанокөмпазиттердің иондық өткізгіштігі арқылы шағын икемді батареяларды жасауға қолжеткізілді. Көпшілік назары қайтадан ионисторларға – суперконденсаторларға аударылды, нанотехнологиялар арқасында олар қарапайым аккумуляторларды алмастырады (267-сурет). Суперконденсатордың артықшылығы бар: зарядтау үшін санаулы секунд қана қажет, конденсатор сыйымдылығы батарея сыйымдылығынан бірнеше есе артық.

Медицина. Электрониканың жетістіктерімен биологиялық және медициналық білімнің үйлестірілуі нанотехнологиялар мен наноматериалдарды пайдаланып, адамның немесе жануардың денсаулығын бақылау үшін микроэлектронды құрылғылар (чиптер) жасауға мүмкіндік береді.

Келешекте нанобөлшектер ағзаның зақымданған бөлігіне дәрі-дәрмек жеткізу құралы ретінде пайдаланылады. Болашақта графен медицина саласында кеңінен, әсіресе супер төзімді импланттар дайындауда қолданылады.

Құрылыс. Әктас ұнтағы мен графен негізіндегі бояу материалдары ғимараттардың қасбеттерінің қорғаныш қасиеттерін арттырады, оларды атмосфералық әсерлерден, температуралардың кез келген өзгерісінен қорғауға мүмкіндік береді. Экстремалды жағдайларда құрылыстың тозуы мейлінше аз болады. Беріктігі жағынан бірегей құрылымдар, тростар, кабельдер және ғимараттардың арқалық элементтері



266-сурет. Графенді күн элементтері



267-сурет. Ионистор – сыйымдылығы 3000 Ф суперконденсатор



Бұл қызық!

Sunvault Energy компаниясы сыйымдылығы 10 мың фарад болатын әлемдегі ең ірі графенді суперконденсатор жасап шығарды. Графенді суперконденсаторлар – энергия жинақтау саласындағы революциялық серпіліс. Арзан күн панельдерімен бірге графенді конденсаторлар миллиондаған адамның электрмен жабдықтау желілерінен энергетикалық тәуелсіз болуына мүмкіндік береді.



Назар аударыңдар!

Графен оксиді ластанған судан радиоактивті заттарды тез жояды. Графен оксидінің ұпшалары табиғи және жасанды радиоизотоптармен тез байланысады және оларды қатты заттарға айналдыра отырып, конденсациялайды.

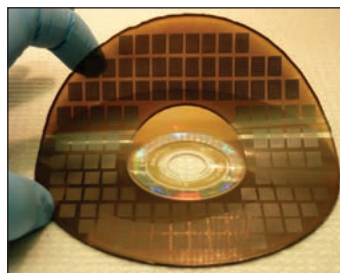
Графенді суды сүзу, теңіз суын тұщыту үшін пайдалануға болады.

классикалық құрылыс материалдарымен үйлесе отырып, өте әдемі құрылыстар салуға мүмкіндік береді.



Бұл қызық!

Sunvault компаниясында қарапайым CD-дискіге графит жүзіп жүрген сұйық құйылды. Содан кейін диск DVD-жетекке салынды. Диск арнайы бағдарлама бойынша лазермен күйдіріліп, жұқа графен қабаты алынды (268-сурет). Фирма графенді энергия жинағыштарын 3D-баспада әдеттегі баспалық тәсілмен дайындауға қолжеткізуді көздеп отыр.



268-сурет. Графен өндірісі CD-дискіде

Бақылау сұрақтары

1. Нанотехнологиялар дегеніміз не?
2. Нанотехнологиялардың негізгі міндеті қандай?
3. Қандай материалдар «наноматериалдар» деп аталды?
4. Наноматериалдарды қандай жолмен алуға болады?
5. Графен дегеніміз не?
6. Наноматериалдардың практикада қолданылуына мысал келтіріңдер.



Жаттығу

45

1. Интернет желісінің материалдарын пайдаланып, графеннің «төлқұжатын» құрастырып, оның қасиеттері мен қолданылу саласын көрсетіндер. Қасиеттері бойынша графенге қандай материалдар жақын?
2. Графеннің физикалық қасиеттері кестеде берілген. Қажетті мәліметтерді пайдаланып, диаметрі 1 нм, ұзындығы 1 мкм нанотүтікшенің массасын анықтаңдар. Түтікшені сындыру үшін қажет күшті бағалаңдар.

Тор тұрақтысы	0,246 нм
Беттік тығыздығы	0,77 мг/м ²
Юнг модулі	1 ТПа
Жылу өткізгіштігі	$5,1 \cdot 10^3$ Вт/(м · К)
Оптикалық өтімділік	0,977

Шығармашылық тапсырма

1. Тақырыптардың біріне PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар:
 - 1) Медицинадағы нанотехнологиялар.
 - 2) Наноматериалдарды алудың физикалық, химиялық және биологиялық әдістері.
 - 3) Нанотүтікшелердің қасиеттері және оларды қолдану.
2. «Үйде графенді қалай алуға болады?» атты шеберлік сағатына дайындалу.

Графенді сүзгімен суды тазалау және тұщыту

Суды тез тазалайтын сүзгілерді жасау үшін бірқатар ғалымдар графенді пайдалануды көздейді. Графенді мембрананың артықшылығы – қалыңдығы 0,3 нм-ге жуық, бұл суды тазарту процесін жеделдетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ол теңіз суын тұщытуға мүмкіндік береді. Осылайша, графен сүзгісі – теңіз саяхаттары мен сапарларда өте қажет құрал болады.

Бірақ мұндай жоғары технологиялық мембраналарды кеңінен қолдану кезінде жұқа материал бүлінуі, пайда болған саңылаулар арқылы ластану орын алуы мүмкін. Массачусетс технологиялық институтының инженерлері химиялық тұндыру нәтижесінде оларды полимерлермен толтырып, үзілуді қалпына келтіру тәсілін тапты, бірақ бұл әдіс әзірше мембрананың жай-күйі және тазалау процесіне тұрақты бақылау жүргізілетін зертханалық жағдайда ғана тиімді.

Сент-Луистегі Вашингтон университетінің инженерлері целлюлоза мен графен оксидінен тұратын биопленка жасап шығарды. Лас немесе тұздалған су қоймаларына жапқан кезде пленка сүзгі өзіне суды сіңіреді, одан кейін Күн сәулесінің әсерінен жоғарғы қабатта су буланады, сүзгіште – пленканың төменгі қабатында тұз бен қоспалар қалады. Биопленка арқылы бактерияларды жою үшін инженерлер графеннен да басқа нанокұрылымды материалдардың қоспасын қолдану керек деген шешімге келді. Кез келген ластанған көзден қауіпсіз ауыз су өндіру үшін пленка сапасын жақсарту жұмысы жалғасуда (269-сурет).



269-сурет. Графенді биопленка арқылы суды тазалау және тұщыту



Жауабы қандай?

Графенді мембраналарды өндіру процесі барынша қарапайым болған жағдайда суды тазарту және тұщыту технологиясы қалай өзгеруі мүмкін?



Бұл қызық!

1974 жылы жапон физигі Н.Танигучи «нанотехнология» терминін енгізді.
1981 жылы неміс физиктері Г.Бинниг пен Г.Рорер сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ) жасады, ол атомдық деңгейде заттың көшірмесін жасауға мүмкіндік берді.
1985 жылы фуллерен қосылыстарының жаңа класын ашқаны үшін америкалық химик Р.Керл, британдық химик Х.Крото және 1986 жылы америкалық физик Р.Смолли Нобель сыйлығын алды.
1986 жылы сканерлейтін атомдық-күштік микроскоптың шығуы зерттелетін материалдардың түрлерін кеңейтті.
1988 жылы француз және неміс ғалымдары А.Ферт және П.Грюнберг алып магниттік кедергі эффектісін ашты, содан бастап магниттік нано пленкалар және наносымдар магнитті жазба құрылғыларын жасау үшін пайдаланылды.
1991 жылы жапон зерттеушісі С.Иидзума көміртекті нанотүтікшелерді ашты.
1998 жылы голландиялық физик С.Деккер нанотүтікшелер негізінде алғашқы транзистор құрды.
2004 жылы С.Деккер көміртекті нанотүтікшелерді ДНҚ-мен біріктіріп, бионанотехнологияларды дамыту бастамасына негіз салды.
2004 жылы ресей физиктері: нидерланд азаматы А.К.Гейм және британ азаматы К.С.Новоселов «графен» атты жаңа материал ашты, оның қасиеттерін зерттегендері үшін олар 2010 жылы Нобель сыйлығын алды.

11-тараудың қорытындысы

Глоссарий

Графен – көміртегі атомдарынан жасалған өте жұқа қабат, қалыңдығы бір атом.

Нанотехнологиялар (НТ) – заттардан белгілі бір қасиеттерді алу мақсатында атомдық немесе молекулалық деңгейде өтетін манипуляциялау әдістерінің жиынтығы.

Наноматериалдар – геометриялық өлшемдері бір өлшеуде де 100 нм аспайтын, наноөлшемдердің салдарынан сапалы жаңа қасиеттерге ие болатын материалдар.

Бірөлшемді наноматериалдар – көміртекті нанотүтікшелер және наноталшықтар, нано-өзектер, наноөткізгіштер.

Бірөлшемді нысандар – диаметрі бірнеше нанометрге тең болатын, ұзындығы бірнеше микрон цилиндрлер.

Екіөлшемді наноматериалдар – төсеніштің бетіндегі қалыңдығы бірнеше нанометр қабат немесе пленка.

КОСМОЛОГИЯ

Ғалымдардың болжамы бойынша Әлем 14 миллиард жыл бұрын Үлкен жарылыстан кейін пайда болды. Біздің Әлем туралы біліміміз жыл өткен сайын толыға түсуде. Жерүсті және ғарыштық телескоптар Әлемнің құпиясын шешуге мүмкіндік беретін сигналдарды: жұлдыздардың жарылысын, асқын үлкен қара құрдымдар мен газдың асқын жылдам ағынын тіркейді. XX ғасырдың басынан бері телескоптар көмегімен біздің Галактикадан тыс әлемді танып-білуге болады. Әлемді толықтай танып-білу мүмкін емес, оның жасы миллиард жүз жылдан асады және көптеген галактикалармен толтырылған.

Космология – астрономияның Әлемнің қасиеттері мен даму кезеңдерін қарастыратын бөлімі.

Тарауды оқып білу арқылы сендер:

- жұлдыздардың басты спектрлік класын сипаттауды;
- көрінерлік және абсолют жұлдыздық шама ұғымдарын ажыратуды;
- көрінерлік және абсолют шамаларды анықтау үшін формулаларды қолдануды;
- Күннің сәулеленуін сипаттау үшін Стефан – Больцман және Вин заңдарын қолдануды;
- жұлдыздар эволюциясын түсіндіру үшін Герцшпрунг – Рассел диаграммасын қолдануды;
- қара құрдымдар, нейтронды жұлдыздар және асқынжаңа жұлдыздардың қасиеттерін сипаттауды;
- арақашықтықты анықтау үшін «қарапайым май шамдар» әдісін пайдалануды сипаттауды;
- Әлемнің үдемелі кеңеюі мен қараңғы энергия туралы пікірталасты және берілген астрономиялық бақылауларға сүйене отырып, Әлемнің үдемелі кеңеюі туралы болжамды талқылауды;
- Хаббл заңын қолданып, Әлемнің жасын бағалауды;
- микротолқынды фондық сәулелену туралы ақпаратты қолданып, Үлкен жарылыс теориясын түсіндіруді үйренесіңдер.

§ 46. Жұлдыздар әлемі. Жұлдызға дейінгі қашықтық. Айнымалы жұлдыздар

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жұлдыздардың басты спектрлік класын сипаттай аласыңдар;
- көрінерлік және абсолют жұлдыздық шама ұғымдарын ажырата аласыңдар;
- көрінерлік және абсолют жұлдыздық шамаларды анықтау үшін формулаларды қолдана аласыңдар.



Жауабы қандай?

1. Ертеректе жұлдыздардың орналасуы туралы қандай түсініктер болды?
2. Жұлдызды дұрыс сипаттау үшін неге оған дейінгі қашықтықты білу керек?

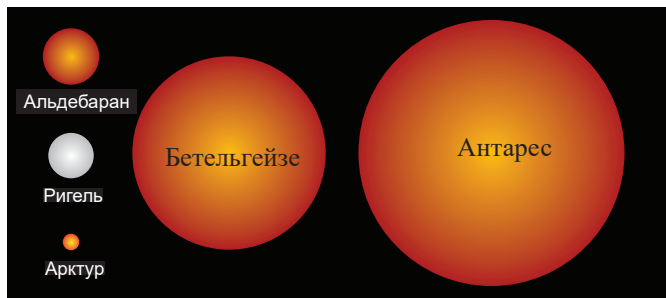


1-тапсырма

1. Интернет немесе анықтамалық әдебиетті пайдаланып, өлшемі мен массасы бойынша Антарестің Күннен неше есе үлкен екенін анықтаңдар.
2. Антарес Күннен қандай қашықтықта орналасқан?

I Жұлдыздар әлемі

XIX ғасырдың орта тұсында телескоптардың қуатының артуына байланысты жаңа жұлдыздар көптеп ашыла бастады. 6-жұлдыздық шамаға дейінгі жұлдыздар саны 6000-дай, 11-жұлдыздық шамаға дейінгілер миллиондай, ал 24-жұлдыздық шамаға дейінгілер 2 миллиардқа жуық. XIX ғасырда ғалымдар жұлдыздардың шынайы жарықтылығы Күнмен бірдей, ал байқалатын жарықтылығы олардың қашықтығына байланысты деп санады. Бұл болжамдар қате тұжырымдарға алып келді, өйткені көптеген жұлдыздардың жарқырауы шын мәнінде Күннің жарқырауынан айтарлықтай асып түсті (270-сурет). Жұлдыздарды негізгі сипаттамалары: қашықтығы, жарқырауы, түсі, өлшемдері, массасы, жасы, құрылымы бойынша зерттеу мен жіктеу оларға дейінгі қашықтықты анықтау мәселесін шешудің алғашқы қадамы болды.



270-сурет. Жұлдыздардың массасы мен өлшемі әртүрлі болады

II Жылдық параллакс және жұлдыздарға дейінгі қашықтық

Жұлдыздың жылдық параллакс p дегеніміз – аспан жұлдызынан орбита радиусына перпендикуляр бағытта Жер орбитасының орташа радиусы ($a = 1$ а.б.) көрінетін бұрыш.

Жұлдызға дейінгі қашықтық неғұрлым аз болса, оның параллакс мәні де аз. Егер жұлдыз эклиптика полюстерінде орналасса, онда оның параллакстық ығысуы бір жыл ішінде кішкентай эллипс немесе шеңбер бойымен жүреді (271-сурет). Параллакс белгілі болғанда жұлдызға дейінгі қашықтық мына формуламен анықталады:

$$D = \frac{a}{\sin p},$$

мұндағы a – Жер орбитасының үлкен жарты өсі, D – жұлдызға дейінгі қашықтық. Кіші бұрыштарда p шамасы бұрыштық секундпен өрнектелсе, онда параллакс синусы мынаған тең:

$$\sin p = \frac{p}{206265''},$$

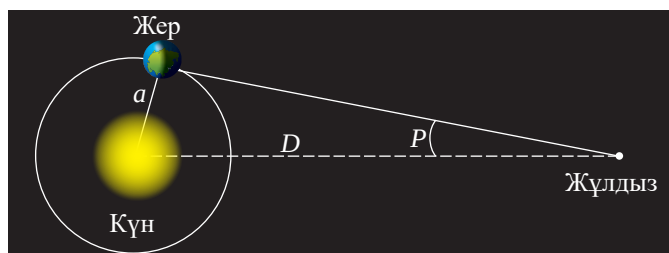
бұдан, $a = 1$ а.б. деп алып, жұлдызға дейінгі қашықтықты табамыз:

$$D = \frac{206265''}{p} \text{ а.б.}$$

Мысалы, α -Центавр жұлдызына дейінгі қашықтық:

$$D = \frac{206265''}{0,75''} \text{ а.б.} = 270000 \text{ а.б.}$$

Жарық бұл қашықтықты 4 жыл ішінде өтеді, ал Күннен Жерге дейін жарық сәулесі 8 мин-та, ал Айға дейін 1 с-та жетеді.



271-сурет. Жұлдыздардың жылдық параллаксы

Жарықтың бір жыл ішінде өтетін қашықтығын жарық жылы деп атайды.

Бұл бірлік парсекпен (пк) қатар жұлдызға дейінгі қашықтықты өлшеу үшін қолданылады.

Парсек – жұлдыздан орбита радиусына перпендикуляр бағытта Жер орбитасының орташа радиусы $1''$ (бір секунд) бұрышпен көрінетін қашықтық.

Парсекпен берілген қашықтық секундтық доғамен өрнектелген жылдық параллакстың кері шамасына тең. Мысалы, α -Центавр жұлдызына

дейінгі қашықтық $0,75'' = \left(\frac{3''}{4}\right)$ немесе $4/3$ пк.

1 парсек = 3,26 жарық жылы = 206 265 а.б. = $3 \cdot 10^{13}$ км.

Жылдық параллаксты өлшеу арқылы қашықтығы 100 пк-тен немесе 300 жарық жылынан аспайтын жұлдыздарға дейінгі қашықтықтарды дәл анықтауға болады.

Бұл қызық!

Вега жұлдызының бір жылдық параллаксын өлшеуді алғаш рет 1837 жылы орыс академигі В.Я.Струве жүзеге асырды. Кейінірек тағы екі жұлдыздың параллаксы анықталды, олардың бірі α -Центавр болды. Бұл жұлдыз бізге жақынырақ болып шықты, оның жылдық параллаксы $p = 0,75''$. Мұндай бұрышпен 280 м қашықтықтағы қалыңдығы 1 мм сымды құралсыз көруге болады.

2-тапсырма

- 1 рад бұрыштың мәнін бұрыштық секунд арқылы өрнектендер.
- Жарық α -Центаврдан Күнге дейінгі қашықтықты 4 жыл ішінде өтетінін дәлелдендер.
- Өлшем бірліктерінің қатынасының дұрыстығын дәлелдендер:
1 пк = 3,26 жарық жылы =
= 206 265 а.б. = $3 \cdot 10^{13}$ км.

Жауабы қандай?

1. Неге жұлдыздардың параллакстық ығысуын бақылау қиын?
2. Неліктен алыс жұлдыздардың жылдық параллаксын өлшеу мүмкін емес?

III Жұлдыздардың негізгі сипаттамалары. Көрінерлік және абсолют жұлдыздық шамалар. Жұлдыздың жарқырауы

Жұлдыздардың көрінетін жарықтылығы оларға дейінгі қашықтық бойынша ғана емес, олардың жарқырауларының әртүрлілігімен де ерекшеленеді.

Жұлдыздың жарқырауы L дегеніміз – бірлік уақыт ішінде жұлдыз бетінен шығарылатын энергия.

Жұлдыздың жарқырауы – жарық энергиясының сәулелену қуаты.

Жарқырау Вт немесе Күн жарқырауы бірлігімен өлшенеді. Күн жарқырауы $3,86 \cdot 10^{26}$ Вт.

Егер екі жұлдыздың жарқырауы бірдей болса, онда бізден алыс орналасқан жұлдыздың көрінерлік жарықтылығы аз болады. Егер қандай да бір стандартты қашықтық үшін жұлдыздық шама деп аталатын жұлдыздардың көрінерлік жарықтылығын есептегенде ғана жұлдыздарды жарқырауы бойынша салыстыруға болады. Осы қашықтық 10 пк-ке тең деп алынды.

Жерден 10 пк қашықтықтағы жұлдыздың көрінерлік жұлдыздық шамасы M абсолют жұлдыздық шама деген атауға ие болды.

1-шамадағы жұлдыздардың жарықтылығы 6-шамадағы жұлдыздардың жарықтылығынан 100 есе артық деп санау қабылданды, онда бір жұлдыздық шамаға айырмашылығы бар жұлдыздардың көрінерлік жарықтылығы бір-бірінен $\sqrt[3]{100} \approx 2,512$ есе өзгеше. Екі жұлдыздың көрінерлік жарықтылықтарының олардың көрінерлік жұлдыздық шамаларының қатынасымен байланысы:

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{m_2 - m_1}. \quad (1)$$

Мұндағы m_1 және m_2 – көрінерлік жұлдыздық шамалар.

(1) формуланы пайдаланып, жұлдыз D және 10 парсекке тең $D_0 = 10$ пк қашықтықта орналасқан деп алып, оның жарықтылығы үшін мына қатынасты жазамыз:

$$\frac{I}{I_0} = 2,512^{M - m}, \quad (2)$$

мұндағы M – абсолют жұлдыздық шама, m – көрінерлік жұлдыздық шама.

Жұлдыздардың жарықтылығы немесе сәулелену қарқындылығы оған дейінгі қашықтық квадратына кері пропорционал, сондықтан мына қатынас орындалады:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{D_0^2}{D^2}. \quad (3)$$

(2) және (3) теңдеулерді бірге шеше отырып, жұлдызға дейінгі қашықтық пен оның параллакс арқылы абсолют және көрінерлік жұлдыздық шамалар арасындағы байланыс формулаларын табамыз:

$$M = m + 5 - 5 \lg D \quad (4)$$



Жауабы қандай?

Неге астрономияда абсолют жұлдыздық шама ұғымы енгізілді?



3-тапсырма

1. Күннің абсолют жұлдыздық шамасы 5-ке тең екенін дәлелдеңдер. Көрінерлік жұлдыздық шаманы $m = -26,6$ деп алыңдар.
2. Алтын балық жұлдызының S жарқырауын Вт-пен анықтаңдар.

немесе

$$M = m + 5 + 5 \lg p. \quad (5)$$

Күн үшін $M = 5$, демек, 10 пк қашықтықта Күн 5-жұлдыздық шамадағы жұлдыз ретінде көрінер еді. Абсолют жұлдыздық шамасының мәні бойынша Күннің жарқырауы бірлігіндегі жұлдыздың жарқырауын есептеуге болады:

$$L = 2,512^{5-M}. \quad (6)$$

Зерттеулер жұлдыздардың жарқырауы бойынша бір-бірінен ондаған миллиард есе ерекшеленетінін көрсетеді. Жұлдыздық шамаларда бұл айырмашылық 26 бірлікке жетеді.

Жарқырауы өте жоғары жұлдыздардың абсолют шамалары теріс және $M = -9$ мәніне дейін жетеді. Мұндай жұлдыздар *алыптар* және *асқыналыптар* деп аталады. Алтын балық жұлдызының сәулеленуі Күннің сәулеленуінен 500 000 есе күшті, оның жарқырауы $L = 500\,000$ Күн жарқырауына тең. Ең аз сәулелену қуаты абсолют жұлдыздық шамалары $M = +17$ болатын ергежейлі жұлдыздарға тән және олардың жарқырауы $L = 0,000013$ Күн жарқырауына тең болады.

IV Жұлдыздардың түстері, спектрлері және температуралары

Жұлдыздардың түстері әртүрлі. Бұл сәулелену спектрінде энергияның таралуы арқылы жұлдыздардың температурасын анықтауға мүмкіндік береді. Салыстырмалы салқын жұлдыздарда спектрдің қызыл аймағында сәулелену басым. Беткі температурасы 3000 К-ге жуық M класты салқын қызыл жұлдыздардың спектрінде қарапайым екіатомды молекулалардың жұтылу жолақтары, көбінесе титан оксиді көрінеді. Басқа қызыл жұлдыздардың спектрінде көміртек немесе цирконий оксиді басым. Антарес, Бетельгейзе – M класының қызыл жұлдыздары.

G класты сары жұлдыздардың спектріндегі жұлдыздардың беткі температурасы 6000 К, оған Күн де жатады, металдардың: темір, кальций, натрий және т.б. спектрінің жұқа сызықтары басым. Түсі және температурасы бойынша Күнге ұқсайтын жұлдыз Арбакеш шоқжұлдызындағы жарқыраған Капелла болып табылады.

Сүмбіле (Сириус), Вега және Денеб сияқты A класты ақ жұлдыздардың спектрінде сутегі сызықтары өте күшті. Ал иондалған металдардың сызықтары әлсіз. Мұндай жұлдыздардың беткі температурасы, шамамен 10 000 К-ге жуық.

Температурасы, шамамен, 30 000 К ең ыстық, көгілдір жұлдыздардың спектрінде бейтарап және иондалған гелий сызықтары көрінеді.

Көптеген жұлдыздардың температурасы 3000 К-нен 30 000 К-ге дейінгі аралықта болады. Температурасы 100 000 К-ге жуық жұлдыздар саны аз.

Жұлдыздар спектрлерінің бір-бірінен айырмашылығы өте көп. Спектр бойынша жұлдыз атмосферасының химиялық құрамы мен температурасын анықтауға болады. Сәулеленудің спектрлерін зерттеу барлық жұлдыздардың атмосфераларындағы басым элементтер сутегі мен гелий екенін көрсетті. Жұлдызды спектрлердің айырмашылығы олардың химиялық құрамының әртүрлілігімен емес, жұлдызды атмосфералардағы температура мен басқа да физикалық шарттардың айырмашылығымен түсіндіріледі. Бір химиялық элементтің атомдары мен иондарының жұтылу сызықтарының қарқындылығын салыстыру жолымен олардың салыстырмалы санын теориялық тұрғыдан анықтайды. Жұлдыз спектрлерінің күңгірт сызықтары бойынша атмосфералардың температурасын анықтауға болады.



Жауабы қандай?

1. Неліктен жұлдыздар спектрі әртүрлі?
2. Жұлдыздардың сәулеленуі бойынша нені анықтауға болады?

V Айнымалы-қос жұлдыздар. Жұлдыздардың массалары мен өлшемдері

Егер қос жұлдыз үшін әрбір жұлдыздың орбитасын және оның айналу периодын анықтай алсақ, онда Кеплер заңдары мен сақталу заңдарын пайдалана отырып, жұлдыздардың массаларын есептеуге болады.

Ең көп зерттелген жүйелер – спектралды-қос жұлдыздар. Оларды айнымалы-қос жұлдыздар немесе β Персейдің типтік өкілінің атауы бойынша Алгольдер деп атайды. Қос жұлдыз ортақ массалар центрін айнала қозғалған кезде бір-бірін кезекпен жауып, тұтылады да, олардың жалтырауы өзгереді. Уақыт өте келе жалтыраудың қисықтық өзгеруін талдау жұлдыздардың өлшемдері мен жарықтылығын, орбитаның өлшемдерін, оның пішінін және көру сәулесінің көлбеулігін, сондай-ақ жұлдыздардың массасын анықтауға мүмкіндік береді. Ал осы уақытқа дейін дара жұлдыздың массасын анықтаудың тікелей әдісі жоқ, әдетте, нысанды түсі бірдей және осы спектралды кластағы жұлдыздармен салыстырып, жуықтап бағалайды.

Жұлдыз радиустарын өлшеу кезінде біраз қиындықтар туындады. 1890 жылы америкалық физик-экспериментатор А.Майкельсон астрономиялық мақсаттар үшін интерферометрді пайдалануды ұсынды. Ол нүктелік көзден түсетін жарық екі саңылаудан өтіп, экранда интерференциялық көрініс тудырады деп тұжырымдады. Егер нүктелік көз бұрыштық өлшемге ие болса, онда саңылаулар арасындағы белгілі бір қашықтықта интерференциялық көрініс бұзылады. Саңылаулар арақашықтығы мен жарық толқынының ұзындығы арқылы жұлдыздың бұрыштық диаметрі анықталады. Содан кейін жұлдызға дейінгі қашықтықтың мәні белгілі болғанда тригонометрия ережесін қолдана отырып, оның радиусын табуға болады.

Тұтылатын қос жұлдыз үшін тағы бір мүмкіндік бар. Егер құраушылардың орбиталық жылдамдықтарын анықтау мүмкін болса, онда радиус тұтылудың ұзақтығы бойынша анықталады. Әдістің ыңғайлылығы: алдын ала жұлдызға дейінгі қашықтықты анықтамай-ақ жұлдыздардың радиустарын өлшеуге болады.

VI Цефеидтер – айнымалы жұлдыздар. Алыс жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтау әдістері

Цефеидтер атауы типтік өкілі δ Цефей жұлдызына байланысты шыққан. Цефеидтер он минуттан бірнеше ондаған тәулікке дейінгі периодта жалтыраудың 1,5-жұлдыздық шамадан аспайтын өзгеру амплитудаларымен сипатталады. Жұлдызға дейінгі қашықтықты анықтау үшін пульсация периоды мен жұлдыз жарқырауы арасындағы тәуелділік пайдаланылады. δ Цефейдің жалтырауының өзгеру периоды 5,37 тәулікті құрайды, жалтыраудың өзгеру амплитудасы 3,7-ден 4,6-жұлдыздық шамаға дейін ауытқиды. Жарқыраудың өзгеру периоды тікелей бақылаумен анықталады. Цефеидтердің P тәулікпен берілген



Жауабы қандай?

Неге спектралды-қос жұлдыздар ең көп зерттелген?



4-тапсырма

1. Параграфтың V және VI бөлігін оқып, айнымалы жұлдыздардың түрлерін атаңдар. Оларды неге айнымалы деп атайды, жұлдыздарда қандай процестер жүреді?
2. Айнымалыға жатқызуға болатын жұлдыздардың басқа түрлері бар ма? Бұл жұлдыздардың жарқырауының өзгеру себебі қандай?
3. Параграфтың VI бөлігінде көрсетілген деректер бойынша Суон Ливитт Генриеттаның формуласын пайдаланып, δ Цефейге дейінгі қашықтықты анықтаңдар.

жалтырауының өзгеру периоды мен M абсолют жұлдыздық шама арасындағы тәуелділік мына түрге ие:

$$\langle M \rangle = a \cdot \lg P + b,$$

мұндағы $\langle M \rangle$ – цефеидтердің орташа абсолют жұлдыздық шамасы, a және b мәндері спектрлік диапазонға тәуелді, мысалы, спектрдің көрінерлік аймағында $a = -2,87$ және $b = -1,01$.

2400-ден астам айнымалы жұлдыздарды ашқан Гарвард түлегі америкалық астроном Генриетта Суон Ливитт цефеидтердің M абсолют жұлдыздық шамасы мен P периодын байланыстыратын формула қорытып шығарды:

$$M = -2,78 \cdot \lg P - 1,35. \quad (7)$$

Жалтыраудың өзгеру периоды бойынша абсолют жұлдыздық шаманы анықтағаннан кейін, (4) формула бойынша цефеидтерге дейінгі қашықтықты анықтауға болады.

Бақылау сұрақтары

1. Жылдық параллакс деп нені атайды?
2. Жылдық параллакс бойынша жұлдызға дейінгі қашықтықты қалай анықтайды?
3. Қашықтықты өлшеу үшін астрономияда қандай шамалар қолданылады?
4. Цефеидтер деп аталған жұлдыздардың ерекшелігі неде? Астрономдар цефеидтер бойынша нені анықтайды?
5. Жұлдыздардың шынайы жарқырауын қалай анықтайды?



Жаттығу

46

1. Сүмбіленің көрінерлік жарықтылығы Альдебаран жұлдызының көрінерлік жарықтылығынан неше есе артық екенін анықтаңдар. Күннің жарықтылығы Сүмбіле жұлдызының жарықтылығынан артық па? Сүмбіле жұлдызының көрінерлік жұлдыздық шамасы $m = -1,46$, Альдебаран жұлдызы үшін $m = -0,641$, Күн үшін $m = -26,7$.
2. Бірінші жұлдыздың сәулелену қарқындылығы екінші жұлдыздың сәулелену қарқындылығынан 16 есе артық. Олардың жұлдыздық шамаларының айырымы неге тең?
3. Веганың параллакс $0,11''$. Оның жарығы Жерге қанша уақытта жетеді?
4. Вега екі есе жақын болуы үшін Лира шоқжұлдызына қарай 30 км/с жылдамдықпен қанша жыл ұшу қажет болады?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар:

1. Жұлдыздың түзілуі, дамуы мен өшуі. Ақ ергежейлілер мен қара құрдым құпиялары.
2. Жұлдыздардың энергиясы.
3. Жаңа және асқынжаңа жұлдыздар – айнымалы жұлдыздар.
4. Пульсарлар.

§ 47. Күн – Жер байланыстары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Күннің сәулеленуін сипаттау үшін Стефан – Больцман және Вин заңдарын қолдана аласыңдар.



Жауабы қандай?

1. Жұлдыздар мен планеталардың айырмашылығы неде?
2. Жұлдыз шығаратын энергия көзі деп нені айтады?
3. Неліктен жұлдыздардың түстері әртүрлі?
4. Неге Күн белсенділігі кезінде Жерде магниттік дауыл болады?



1-тапсырма

Интернет материалдарын пайдаланып, Күннің «төлқұжатын» құрастырыңдар, онда Күннің массасы, радиусы, көлемі, орташа тығыздығы жазылсын. Күннің құрылысы мен химиялық құрамын және оның атмосферасын бейнелеңдер.



2-тапсырма

1. Вин заңы негізінде Күннің беткі температурасын анықтаңдар.
2. $T = 6000 \text{ K}$, $r = 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ деп алып, Күннің жарқырауын анықтаңдар.
3. Күн сәулесі энергиясының Жер бетінің 1 м^2 ауданы жұтатын үлесін анықтаңдар.

I Күн – планетарлық жүйенің жұлдызы, оның химиялық құрамы

Күн жүйесінің жалғыз жұлдызы – Күн. Күннің айналасында осы жүйенің басқа нысандары: планеталар және олардың серіктері, астероидтар, метеориттер, кометалар және ғарыштық тозаң айналып жүреді. Күн массасы барлық Күн жүйесінің жиынтық массасының 99,866 %-ін құрайды. Күн 73 % сутектен, 25 % гелийден және 2 % басқа элементтерден: темір, никель, оттегі, азот, кремний, күкірт, магний, көміртек, неон, кальций және хромнан тұрады.

II Күннің сәулеленуі

Күннің сәулеленуі жиілік диапазоны радиотолқындардан бастап γ -сәулелерге дейінгі аралықты қамтитын, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ жылдамдықпен таралатын электромагниттік толқын түрінде болады. Спектрдің көрінерлік бөлігіндегі сәулелену барлық сәулеленудің 48 %-ін құрайды. Инфрақызыл диапазонда Күн шамамен 45 % энергия шығарады, радиотолқындар мен жоғары жиілікті (ультракүлгін, рентгендік және гамма-сәулелер) диапазонына сәулеленудің тек 7 %-і сәйкес келеді. Сәулеленудің максимумы 480 нм толқын ұзындығы мен сары-жасыл түске сәйкес келеді.

Жарқырау – әртүрлі типті жұлдыздарды өзара салыстыруға мүмкіндік беретін маңызды жұлдыздық сипаттамалардың бірі. Жұлдыз бетінің бірлігінен сәулелену қуатының белгілі мәніндегі жарқырау мына формула бойынша анықталады:

$$L = R \cdot S,$$

мұндағы L – жұлдыздың жарқырауы, R – беттік аудан бірлігінен шығарылатын сәулелену қуаты, S – Күн бетінің ауданы. Стефан – Больцман заңын және шар беті ауданының формуласын пайдаланып, алатынымыз:

$$L = \sigma T^4 \cdot 4\pi r^2,$$

мұндағы r – жұлдыз радиусы, T – оның фотосферасының температурасы, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}^4}$ – Стефан – Больцман тұрақтысы.

Жарқырау – сәулелену көзінің қуаты.

II Күн белсенділігі

Барлық жиіліктердің сәулелену қуаты Күн белсенділігіне тәуелді, оның циклілігі 11 жылды

құрайды. Циклдерге 1761 жылы сәулелену қарқындылығы максимумынан бастап байқалған нөмірлер тіркелген. 272-суретте Мәскеу Энергетикалық тиімділік мәселелері институтының ғылыми-зерттеу зертханасының Күн белсенділігінің XX–XXIII аралығындағы төрт циклінің бақылау нәтижелері ұсынылған. Күн белсенділігінің сандық көрсеткіші Вольф саны болып табылады, ол жұлдыз бетіндегі Күн дақтарының санымен байланысты.



272-сурет. Күн белсенділігінің 11 жылдық 4 циклі

Алматыдағы Тянь-Шань астрономиялық обсерваториясының «Орбита» радиополигонында 12 м серіктік байланыс жүйесі орнатылды, ол Күннің радиосәулеленуін және оның белсенділігін тіркейді (273-сурет). Барлық алынған мәліметтер магниттік дауыл орын алатындығы туралы ескерту үшін «Қазгидромет» немесе «Роскосмосқа» жіберіледі. Әдетте магниттік дауылдар адамдардың денсаулығы мен көңіл күйіне әсер етеді. Олар артериялық гипертониямен және гипотониямен, жүрек талмасы ауруларымен ауыратын адамдар үшін қауіпті.

Бұл қызық!

Қазақстанда астрофизикалық зерттеулердің басталуы 1941 жылы 21 қыркүйекте бақыланған толық Күн тұтылуымен байланысты болды. Алматы қаласына Мәскеу және Ленинград обсерваторияларынан 7 экспедиция келді. Осы жылы Алматыда бақылаулар үшін әкелінген астрономиялық және физикалық жабдықтар базасында астрономия, физика және геофизика ҒЗИ ұйымдастыру туралы шешім қабылданды. Институтты құру мен дамытуға Қазақ КСР ҒА тұңғыш президенті және көрнекті ғалым Қ.Сәтпаев қолдау көрсетті.

Жауабы қандай?

Вин заңы бойынша есептелген Күн температура-сының және термоядролық реакция болатын температура-ның айтарлықтай айырмашылығын қалай түсіндіруге болады?

3-тапсырма

Күннің «төлқұжатын» жұлдыздың әрбір қабатының және оның атмосферасының физикалық сипаттамаларымен толықтырыңдар: температураны, қысымды және жылу беру тәсілін көрсетіндер.

Бұл қызық!

Күн сәулесі Жерге

$$t = \frac{l}{c} = \frac{150000000 \text{ км}}{300000 \frac{\text{км}}{\text{с}}} = 500 \text{ с} \approx 8,3 \text{ мин}$$

уақыт ішінде жетеді. Термоядролық реакциялар энергиясының Күннің барлық қабаттарынан оның беткі қабатына өтуі үшін, шамамен, 1 миллион жыл қажет.



273-сурет. Тянь-Шань обсерваториясындағы радиотелескоп, Алматы қ.

IV Күн – Жер байланыстары

Күн – жылу мен жарық көзі. Оларсыз біздің планетамызда тіршіліктің пайда болуы және өмір сүруі мүмкін емес болар еді. Күн сәулесі және Жер өсінің эклиптика жазықтығына көлбеулігі Жердегі климатты және жыл мезгілдерінің ауысуын анықтайды. Жер Күн сәулесінен жарықталудың қажетті деңгейімен Жер бетіндегі орташа температураны қамтамасыз ететін жарық пен жылуды ғана алмайды, ультракүлгін және рентгендік сәулелердің, Күн желінің, ғарыш сәулелерінің әсеріне ұшырайды.

Күн мен Жерде болып жатқан көптеген құбылыстардың үйлесімдігі олар өзара байланысты деген ойға алып келді. Өткен ғасырдың 60-жылдарының басында автоматты планетааралық стансы көмегімен тікелей өлшеу арқылы Күн желінің бар екені тәжірибе жүзінде дәлелденді.

Күн желі (ағылш. Solar wind) – 300–1200 км/с жылдамдықпен Күн тәжінен қоршаған ғарыштық кеңістікке таралатын, көбіне гелий-сутекті плазмадан тұратын иондалған бөлшектердің ағыны және планетааралық ортаның негізгі құрамдас бөліктерінің бірі.



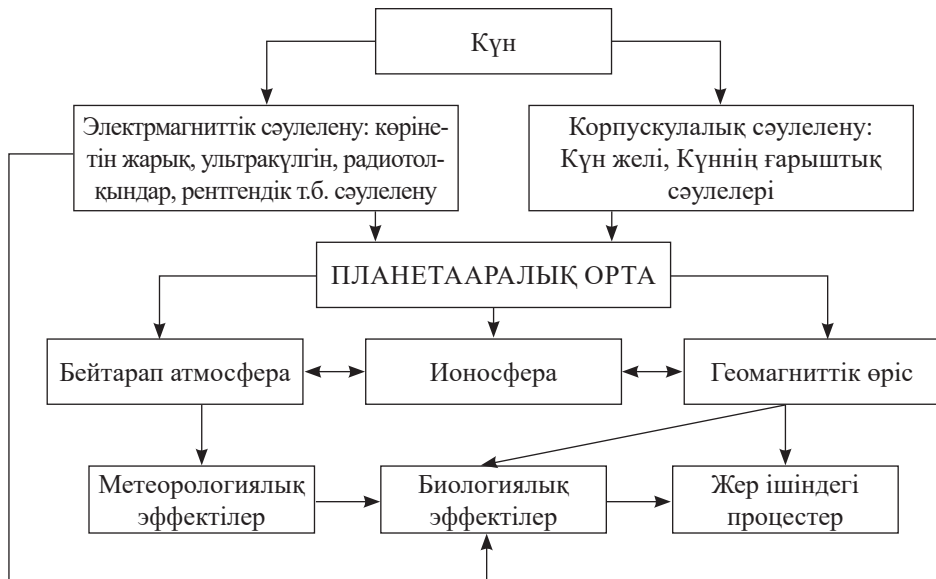
Бұл қызық!

Күн – Жер байланыстары туралы түсінік біртіндеп, жеке болжамдар мен ашылулар негізінде қалыптасты. Сонымен, XIX ғасыр соңында норвегиялық физик В.О.Биркеланд Күн толқындық сәулеленумен қатар бөлшектер де шығарады деп болжады. 1915 жылы Ресей биофизигі А.Л.Чижевский Күндегі дақтар санының артуымен Жердегі кейбір індеттердің дамуы арасындағы циклдік байланысқа назар аударды.



4-тапсырма

1. Күннің жарқылынан кейін бөлшектер ағынының Жер бетіне жету уақытын анықтаңдар.
2. Күн – Жер байланысындағы оқиғалардың тізбектілігін түсіндіріңдер (274-сурет).



274-сурет. Күн – Жер байланысындағы оқиғалардың тізбектілігі

Бөлшектер ағыны планетааралық кеңістікте, магнитосферада, ионосферада, бей-тарап атмосферада, Жер биосферасында, гидросферасында өзгерістер тудырады. Бұл құбылыстарды зерттеу Күн – Жер байланыстары мәселесінің мәнін құрайды.

Күн – Жер байланыстары – гелио- және геофизикалық процестер арасындағы тікелей немесе жанама физикалық байланыс жүйесі.

Күн мен геомагниттік ауытқушылық деңгейі және Жер биосферасындағы бір-қатар процестер, мысалы: эпидемия, жүрек-қан тамырлары сырқаты арасындағы байланыс статистикалық түрде белгіленген. Болжам бойынша мұндай байланыстың себебі ғарыш сәулелерінің әсерінен Жердің электрмагниттік өрісінің төмен жиілікті тербелістері болып табылады. Бұл сүтқоректілерге табиғи кернеулік пен жиіліктің электрмагниттік өрістерінің әсерін зерттеу бойынша зертханалық эксперименттермен расталады.

V Күн – Жер байланыстарын заманауи зерттеу

Күн – Жер байланыстарын зерттеудің жаңа әдісі – магнитосферадағы және ионосферадағы Күн белсенділігінен туындаған әсерлерді модельдеу бойынша жүргізілген белсенді эксперименттер. Магнитосфера және ионосфера күйін диагностикалау үшін зымыран бортынан шығарылатын электрондар шоғыры, натрий немесе барий бұлты пайдаланылады. Ионосфераға қысқа толқынды диапазонның радиотолқындары тікелей әсер етеді. Электрондар шоғырының



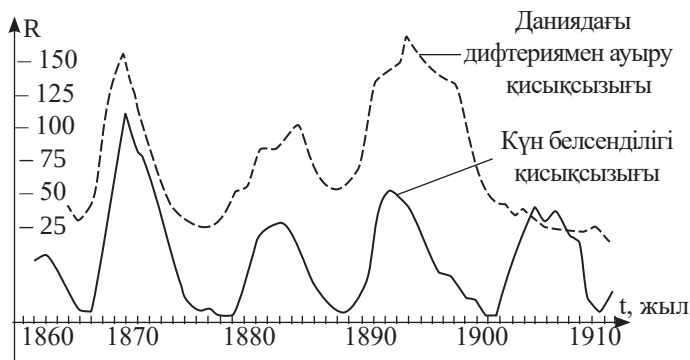
5-тапсырма

Магнитосфера күйінің радиобайланыс, көлік, метеорология және климатология, ауылшаруашылығы, биология және медицина саласындағы процестер мен технологияларға әсерін растайтын мысалдар келтіріңдер.



Бұл қызық!

Эпидемиологтар дифтерия індеті, шамамен, әрбір 10 жылдан кейін пайда болатынын анықтады. Әрбір эпидемияның ұзақтығы бірнеше жылға тең. Эпидемиялар арасындағы ашық аралық 6–7 жыл. Дифтерия ауруына шалдығу Күн белсенділігі фазасында немесе оған қарсы фазада өзгереді. Дифтерияға шалдығу қисықтары Күн белсенділігінің қисықтары сияқты максимумдар мен минимумдар санын сақтайды (275-сурет).



275-сурет. Дифтерия індетінің Күн белсенділігімен байланысы

параметрлерін, радиотолқындардың қуаты мен жиілігін бақылау берілген биіктіктегі физикалық процестер туралы, магнитосфера мен ионосфераның өзара әрекеттесуінің механизмі туралы, төмен жиілікті сәулеленуді генерациялау шарттары туралы, жалпы Күн – Жер байланыстарының механизмі туралы нақты тұжырым жасауға мүмкіндік береді.

Белсенді эксперименттер қолданбалы маңызға ие. Жердің жасанды радиациялық белдеуін құру, ионосфера қасиеттерінің өзгеруі және берілген ауданда төмен жиілікті сәулеленуді генерациялау мүмкіндігі дәлелденді. Күн – Жер байланыстарын зерттеу – іргелі ғылыми мәселе ғана емес, үлкен болжамдық маңызға ие. Магнитосфера және Жердің басқа да қабаттары күйінің болжамы ғарышкерлік, радиобайланыс, транспорт, метеорология және климатология, ауылшаруашылығы, биология және медицина саласындағы практикалық міндеттерді шешу үшін өте қажет.

Бақылау сұрақтары

1. Күнде орындалатын процестер Жерге қалай әсер етеді?
2. Күн желі деп нені айтады? Оның Күн сәулеленуінен айырмашылығы неде?
3. Күн – Жер байланыстарын зерттеу бойынша жүргізілген қандай зерттеулер Жердің ионосферасы қасиеттерінің өзгеруі мүмкін екенін көрсетті?

★ Жаттығу

47

Кестеде берілген α -Центавр жүйесі құраушыларының сипаттамаларының мәндері бойынша:

- 1) жұлдыз бетінің температурасын;
- 2) ең жоғары қарқындылығы бар сәулелену толқынының ұзындығын;
- 3) жұлдыздарға дейінгі қашықтықты километрмен;
- 4) жұлдыздардың белсенділік уақытында шығарылған бөлшектер ағынының Күн жүйесіне жететін уақытын анықтаңдар.

Жылдамдықты Күннен шығатын бөлшектер жылдамдығының максимал мәніне тең деп алыңдар.

α -Центавр жүйесі құраушыларының сипаттамалары	α -Центавр A	α -Центавр B	Центавр проксимасы
Жарқырауы (Күн жүйесінде)	1,519	0,5	$6 \cdot 10^{-5}$
Диаметрі (Күн жүйесінде)	1,227	0,865	0,14
Жұлдызға дейінгі қашықтық, жарық жылымен	4,36	4,36	4,22

§ 48. Жұлдыздардың планеталық жүйелері.

Жер тобындағы планеталар және алып планеталар.

Күн жүйесінің шағын денелері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жұлдыздар эволюциясын түсіндіру үшін Герцшпрунг – Рассел диаграммасын қолдана аласыңдар;
- қара құрдымдар, нейтронды жұлдыздар және асқынжаңа жұлдыздардың қасиеттерін сипаттай аласыңдар.



Жауабы қандай?

1. Астрономиядағы қандай жүйе планеталық деп аталады?
2. Күн жүйесін планеталық жүйеге жатқызуға бола ма?
3. Планеталық жүйеде қанша жұлдыз болуы мүмкін?

I Жұлдыздардың планеталық жүйелері және оларды іздеу тәсілдері

Планеталық жүйе – орталық жұлдыздан және түрлі астрономиялық нысандардан: планеталар мен олардың серіктерінен, ергежейлі планеталар мен олардың серіктерінен, астероидтар мен метеориттерден, кометалар мен ғарыш тозаңдарынан құралған жүйе.

Планеталық жүйелерді іздеудің бірнеше жолы бар.

Астрометриялық әдіс. Жұлдызды айналатын планета өзінің гравитациясымен ол түзу сызықты қозғалыстан біресе бір жаққа, біресе екінші жаққа тербелетіндей әсер етеді. Тербелістер орындалатын интервал планетаның айналу периодына тең. Жұлдыздың массасы белгілі болса, Кеплердің үшінші заңы арқылы одан планетаға дейінгі қашықтықты анықтауға болады. Тербеліс амплитудасы бойынша бүкіләлемдік тартылыс заңын қолданып, планетаның массасын есептейді.

Оптикалық әдіс. Бұл – спектрдің инфрақызыл бөлігімен планеталардың сәулеленуін бақылау әдісі. 1995 жылы Хаббл ғарыштық телескопы көмегімен Күннен 19 жарық жылына тең қашықтықта орналасқан Геркулес шоқжұлдызындағы Глиза 623 жұлдызының маңында әлсіз сәулелену көзінің анық суреті алынды. Глиза 623В атауына ие болған жұлдыз

серігінің массасы Юпитер массасынан 40 есе артық. Жұлдыз серігінің спектрінде метан сызықтары табылды, олар Күн жүйесінің үлкен планеталарының спектрінде байқалады және жұлдыздарға тән емес.

Жұлдыздар жалтырауының өзгеруі бойынша. Планета жарық ағынын азайтып, жұлдыздың көрінерлік дискісі бойымен өтеді.

Жұлдыз жылдамдығының өзгеруі бойынша. Спектрлік бақылаудың заманауи техникасы жұлдыз жылдамдығы өзгерісін 20–30 м/с дейінгі дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Планетаның тарту күші жұлдыз жылдамдығының периодты түрде өзгеруін тудырады. Планета неғұрлым үлкен немесе жұлдызға жақын болса, соғұрлым бұл өзгерістердің амплитудасы жоғары болады.

II Планеталық жүйелер

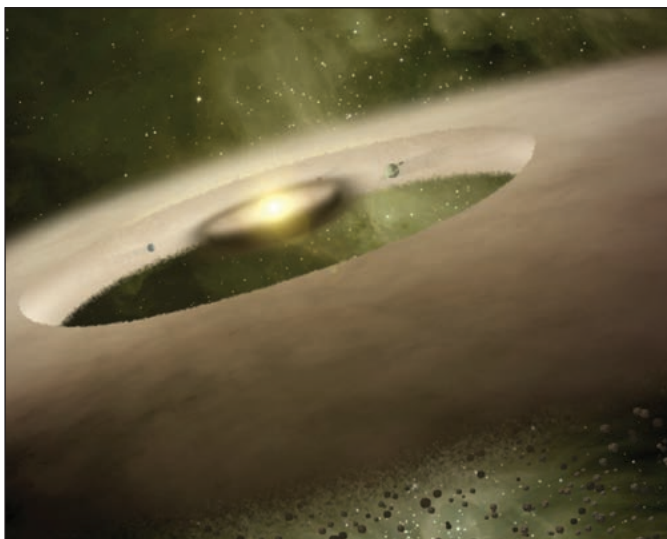
Соңғы екі онжылдықта бірқатар планеталық жүйелер табылды.

PSR 1257+12 – пульсар, оның планеталық жүйесі – Күн жүйесінен тыс табылған алғашқы жүйелердің бірі. 1991 жылы поляк радиоастрономы Александр Вольщан өзі 1990 жылы ашқан пульсар импульстерінің келіп түсуі жиілігінің периодты түрде

өзгергенін байқады. Канадалық астроном Дейл Фрейл де басқа радиотелескоп көмегімен осы құбылысты бақылаған. 1992 жылы олар бірлесіп зерттеу нәтижелерін жариялады, онда бақыланған жиіліктің периодты түрде өзгеруі массалары Жер массасынан төрт есе артық екі планетаның әсер етуімен түсіндірілді.

Андромеда Иpsilon – Андромеда шоқжұлдызындағы Күн тәріздес бас тізбектегі жұлдыз, оның көппланеталық жүйесі табылған. Қазіргі уақытта төрт планета белгілі. Олардың бірі – ыстық Юпитер тәріздес, қалған екеуі – газдық алыптар. Төртінші планета 2010 жылы ашылған, ол алғашқы үш планетадан айтарлықтай алыста орналасқан.

UX Торпақ – Күн жүйесінен шамамен 450 жарық жылына тең қашықтықта орналасқан планеталық жүйе. Астрономдар Spitzer орбиталық телескопының көмегімен осы жұлдыз айналасындағы газ-тозаң дискісін зерттеді. Өте қалың және тығыз тозаң дискі *UX Торпақ* жұлдызына өте жақын орналасқан, одан кейін 0,2-ден 0,56 а.б.-ке дейін үзіліс байқалады, одан әрі қайтадан қалың және тығыз диск кездеседі (276-сурет). Астрономдар бұл планеталық жүйенің қалыптасуының бастапқы таңғажайып жағдайының көрінісі деген қорытындыға келді.



276-сурет. *UX Торпақ* планеталық жүйесі



Жауабы қандай?

1. Неге көк және қызыл алыптарда планеталар табылған жоқ? Ақ ергежейлілерде ше?
2. Күннің ақ ергежейліге айналуы кезінде Күн жүйесінің планеталары қандай өзгеріске ұшырайды?
3. Күн өшкенге дейін эволюциясының қандай кезеңдерінен өтеді?

III Герцшпрунг – Рассел диаграммасы

Герцшпрунг – Рассел диаграммасындағы бас тізбек жұлдыздарында планеталық жүйелер табылды.

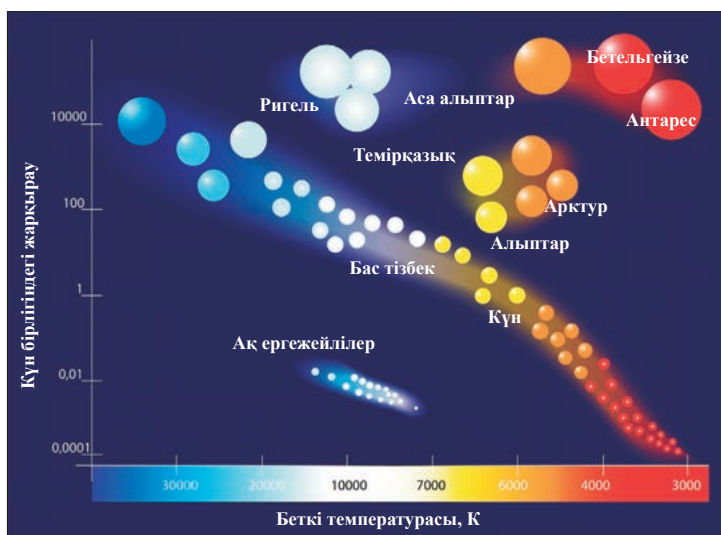
Дания астрономы Э.Герцшпрунг 1905 жылы абсолют жұлдыздық шама мен жұлдыздардың спектрлік класы арасындағы тәуелділікті анықтады. Жұлдыздардың жарқырауының олардың температурасына тәуелділігі графигінде жұлдыздар *бас тізбек деп* аталған тар жолақта орналасты, оның оң жақ ұшында – жарықтылығы мен температурасы аз жеңіл жұлдыздар, ал сол жақ ұшында температурасы мен жарықтылығы жоғары көлемді жұлдыздар орналасқан (277-сурет).



1-тапсырма

Герцшпрунг – Рассел диаграммасын қарастырыңдар. Жұлдыздардың жарқырауы олардың температурасына қалай тәуелді екенін анықтаңдар. Неге бір спектрлік класс жұлдыздарының жарқырауы әртүрлі болады?

Диаграмма жұлдыздың эволюциясымен қалай байланысады: түзілуі, өмір сүруі және оның өшуі?



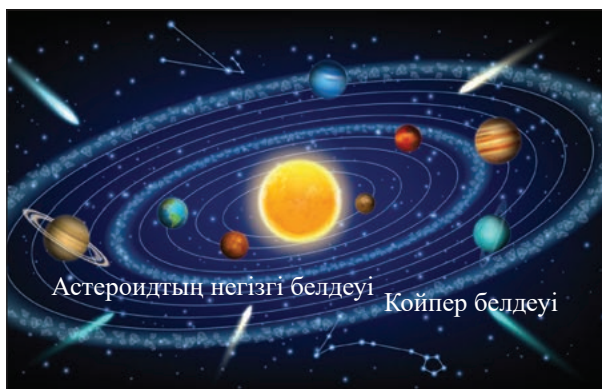
277-сурет. Герцшпрунг – Рассел диаграммасы

Герцшпрунгтың өте маңызды нәтижесі – жұлдыздарды жарқырау кластары бойынша ергежейлі мен алыптарға бөлуі. Бір спектрлік кластағы жұлдыздардың жарқырауының бір-бірінен айырмашылығы мың есе болуы мүмкін. Беткі температурасы бірдей болғанда, оны тек радиустарының өте үлкен айырмашылығымен түсіндіруге болады. Герцшпрунг идеясын АҚШ-тағы Принстон университеті обсерваториясының директоры Генри Норрис Рассел дамытты, ол «спектр – абсолют жұлдыздық шама» диаграммасын зерттеді. Кейіннен бұл диаграмма *Герцшпрунг – Рассел диаграммасы* деп аталды.

Диаграмма жұлдыздардың орналасуы олардың күйі туралы ақпаратты жазудың көрнекі әрі ыңғайлы жолы ғана емес, Рассел диаграммда эволюциялық бірізділік бар деп болжады. Жұлдыз диаграмманың жоғарғы бөлігінде қызыл алыптар аймағынан бас тізбектегі көгілдір асқыналыптардың класына қарай қозғалып, гравитация әсерінен сығыла отырып, қызады. Содан кейін ол диагональ бағытта бас тізбекпен түсіп, қазір сары ергежейлі – Күн тұрған фазадан өтіп, қызыл ергежейлілер фазасына түсіп, ақ ергежейлілерге – көрінбейтін, жанып кеткен нысанға айналады. Бұл диаграмма жұлдыздық эволюция моделін жасаудың алғашқы талпыныстарының бірі болды.

IV Күн жүйесінің құрылысы

Күн жүйесіне Күннен басқа, планеталар және олардың серіктері, шағын аспан денелері: астероидтар, кометалар, метеорлар кіреді. Планеталар арасындағы кеңістік сиретілген газбен толтырылған. Оны электромагниттік және гравитациялық өрістер тесіп өтеді. Табиғатта абсолютті бос кеңістік жоқ. Күннен арақашықтығының өсу реті бойынша Жер тобының планеталары, одан кейін алып планеталар орналасқан. Марс пен Юпитердің орбиталары арасында және Нептун орбитасының артынан астероидтар белдеуін қалыптастыратын, көптеген шағын планеталар кездеседі (278-сурет). Кометалар Койпер белдеуінің арғы жағында, Оорт бұлтынан шығатын өте созылыққы эллипс бойымен Күнді айнала қозғалады, сондықтан олардың Күнді айналу периоды кейде мыңдаған жылды құрайды (279-сурет).



278-сурет. Күн жүйесі планеталары мен астероидтардың белдеулері



279-сурет. Кометалар орбитасы және Оорт бұлтты

V Жер тобының планеталары

Жер тобының планеталары алып планеталардан көлемдері мен массаларының аз болуымен, үлкен тығыздықпен, баяу айналуларымен, әлдеқайда сиретілген атмосфера-ларымен, серіктерінің саны аз болуымен немесе олардың болмауымен ерекшеленеді.

Меркурий – Күнге жақын планета, Айдан біршама үлкен (280-сурет). Бұл планетадағы күндік тәуліктері шамамен 176 жер тәулігіне тең. Ол екі Меркурий жылына тең, өйткені Меркурий 88 жер тәулігінде Күнді бір рет айналып шығады. Меркурийдің көрінерлік жұлдыздық шамасы –1,9-дан 5,5-ке дейін ауытқиды. Планетаның табиғи серіктері табылмады. Меркурийдің орташа тығыздығы $5,43 \text{ г/см}^3$. 2009 жылы ғалымдар «Маринер-10» және «Мессенджер» аппараттарының суреттері арқылы Меркурийдің алғашқы толық картасын құрастырды. Меркурийдің беті кратерлерге толы, фотосуреттерде оны Айдың бетінен ажырату қиын. Олар шағылдырғыш қабілеттілігі және беткі қабаттың жылуөткізгіштігімен де ұқсас. Меркурий ай «теңіздеріне» ұқсас ойпаттардың санының аздығымен ерекшеленеді. Ай «теңіздерінің» ең үлкенінің диаметрі, шамамен, 1300 км. Меркурийде атмосфера мүлдем жоқ, күндізгі жартышар 400°C -ден астам температураға дейін қызады.

Шолпан. Радиолокациялық бақылау арқылы Шолпан өз өсінен басқа планеталардың айналу бағытына қарама-қарсы бағытта айналатыны анықталды. Шолпандағы күн тәуліктері 117 жер тәулігін құрайды. Шолпан бетінде тау жоталары мен кратерлер табылды. Шолпанның беткі жыныстарындағы радиоактивті калий, уран және торий құрамын талдау олардың Жердегі базальт қабатының жыныстарымен ұқсастығын көрсетті. Шолпан өсінің орбита жазықтығымен көлбеулік бұрышы тікбұрышқа жақын, солтүстік және оңтүстік жартышар әрдайым Күнмен бірдей жарықтандырылады. Планета бетіндегі температура $470\text{--}480^\circ\text{C}$ -ге жетеді және тәулік уақытына байланысты емес. Шолпан атмосферасының төменгі қабаттарында және бетінде температураның жоғары болуы «парникті эффектiге» байланысты. Беткі қабаттан көтерілгенде температура төмендейді, ал стратосферада аяз болады. Шолпан ақ бұлттардың тұтас жамылғысымен қоршалған (281-сурет). Атмосфералық қысым Жер атмосферасының қысымынан шамамен 100 есе артық, Шолпан атмосферасының 97%-і көмірқышқыл газынан тұрады.

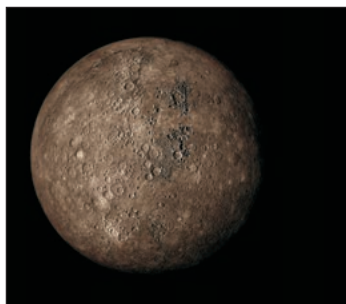


2-тапсырма

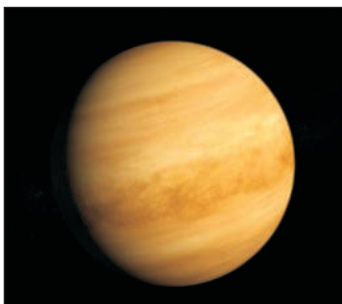
Жер тобы планеталарының физикалық сипаттамаларының салыстырмалы кестесін құрыңдар.

Азот және инертті газдар бірнеше процентті, оттегі – шамамен 0,1 %-ті құрайды. Шолпан атмосферасында найзағай разрядтары тіркелді. Магнит өрісі табылған жоқ.

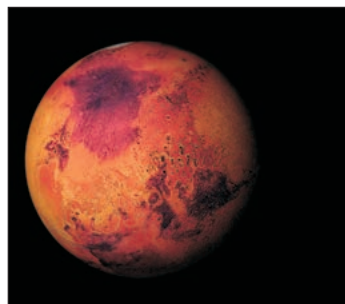
Марс. Марстың екі табиғи серігі бар: Фобос және Деймос. Марстағы жыл ұзақтығы Жермен салыстырғанда екі есе ұзақ. Планетаның айналу өсі орбита жазықтығына көлбеуленген, Жердегі сияқты жыл мезгілінің өзгеруі байқалады. Температура қыста полюсте -153°C және жазда талтүсте экваторда $+20^{\circ}\text{C}$ аралығында ауытқиды. Орташа температура -50°C . Мұндай жағдайларда көмірқышқыл газы қатады, ол полюстерде жақсы көрінетін ақ жабынды құрайды. 2008 жылы «Феникс» НАСА ғарыш аппараты мұз күйіндегі суды анықтаған. Марс атмосферасында кейде сирек ақ бұлттар мен тұман бақыланады, олар көбінесе полярлық қалпақшалардың үстінде кездеседі. Планета атмосферасы өте сиретілген, оның қысымы Жердегіден 100 есе аз. Негізінен, көмірқышқыл газынан, оттегіден және су буынан тұрады. Ай мен Меркурий сияқты Марста да кратерлер көп. Марста бірнеше үлкен өшіп қалған жанартаулар мен каньондар табылды. Каньондар көлемі және пішінімен құрғаған өзендердің арнасына ұқсайды. Марс бетіндегі жыныстар Жер және Ай жыныстарына ұқсас, оның түсінің қызылдығы темір оксидтерінің гидраттарының болуымен түсіндіріледі (282-сурет). Марста кейде күшті шаңды дауылдар байқалады. Шаңды дауылдарды зерттеу Марста секундына ондаған метр жылдамдықпен соғатын күшті жел болуы мүмкін деген қорытындыға алып келді. Марстың магнит өрісі Жер бетіндегіден әлдеқайда әлсіз.



280-сурет. Меркурий



281-сурет. Шолпан



282-сурет. Марс

VI Алып планеталар

Бұл топтың ең үлкен планетасы – Юпитер, ол – ең жақсы зерттелген планета (283, а-сурет). Юпитер өсінің орбита жазықтығымен көлбеулік бұрышы тікбұрышқа жақын болғандықтан, жарықталу маусымға байланысты өзгермейді. Алыптар планеталар ішінде Уранның өстік айналуы басқа планеталардың айналу бағытына қарама-қарсы жүреді. Оның өсінің орбита жазықтығымен көлбеулік бұрышы 8° , ол «бүйір жағымен» айналады. Барлық алып планеталардың өстері маңында айналу өте жылдам жүреді. Планета тығыздығы аз болғандықтан, жылдам өстік айналу нәтижесінде олар айтарлықтай қысылыңқы болады. Планеталардың жылдам айналуы салдарынан тығыз атмосферада көшіп жүретін бұлттар экваторға параллель жолақтармен созылып жатады. Бұлттардың жолақтары Юпитерде тіпті әлсіз телескоппен де көрінеді. Планеталар полюстерге неғұрлым жақын болса, соғұрлым баяу айналады. Экваторда Юпитердің айналу периоды – 9 сағат 50 мин, ал орташа ендіктерде бірнеше минутқа артық болады. Сатурн экваторындағы аймақтардың айналу периоды – 10 сағ 14 мин, Уранда – 10 сағ 49 мин, Нептунда – 16 сағ.

Алып планеталар Күннен алыс болғандықтан, олардың температуралары өте төмен: Юпитерде -145°C , Сатурнда -180°C , Уранда -224°C , Нептунда -218°C болады. Уран – ең суық планета. Оның центріндегі температура басқа алып планеталарға қарағанда төмен. Планетаның ядроларында температура бірнеше мың градусқа жетуі мүмкін: Юпитерде $24\,000^{\circ}\text{C}$, Сатурнда $11\,700^{\circ}\text{C}$, Уранда 4737°C , Нептунда 7000°C болады. Сатурн жылуды өзі өндіреді. Ол Күннен 2,5 есе көп энергия шығарады.

Спектрлік бақылаулар алып планеталар атмосферасында молекулалық сутек пен CH_4 метан бар екенін көрсетті. Газ атмосферасының тығыздығы, шамамен, $0,1\text{ г/см}^3$ құрайды. Алып планеталардың атмосферасының орташа тығыздығының аз болуы массаларының атмосфераның мөлдір емес қабатымен анықталатын көрінерлік көлемдерге бөлінуімен түсіндіріледі. Сондықтан Юпитердің орташа тығыздығы $1,3\text{ г/см}^3$, Уранның орташа тығыздығы $1,5\text{ г/см}^3$, Нептунда: $1,7\text{ г/см}^3$, Сатурнда: $0,7\text{ г/см}^3$. Алып планеталардың басқа планеталардан ерекшелігі – тығыздығының аз болуы және сутектің мол болуы.

Күн жүйесінің барлық газдық алып планеталарының серіктері мен сақиналары бар екені анықталды (283-сурет). XVII ғасырда телескоптардың пайда болуы Сатурн сақиналары жүйесінің ашылуына мүмкіндік берді. Уран, Юпитер және Нептун сақиналары өткен ғасырдың 1977, 1979 және 1989 жылдары аспан денелерін зерттеудің заманауи әдістерінің көмегімен ашылды. Алып планеталардың сақиналары – экваторлық жазықтықта планетаның маңында айналатын шаң мен мұздан жасалған тегіс шоғырланған түзілімдер жүйесін білдіреді. Сатурн сақиналарының ені жүздеген километрге жетеді, ал басқа планеталар сақиналарының ені әлдеқайда аз. Сақинадағы бөлшектердің өлшемдері 1 см-ден 1 м-ге дейін жетеді.

Барлық алып планеталарда қуатты магнит өрістері байқалады.

VII Күн жүйесінің шағын денелері

Күн жүйесінің шағын денелері ұғымын 2006 жылы Халықаралық астрономиялық одақ (ХАО) Күн жүйесінің планеталарға, ергежейлі планеталарға, серіктерге жатпайтын нысандарын сипаттау үшін енгізді.

Астероидтар. Алғашқы астероид 1801 жылы ашылды, оны Церера деп атады. Көп ұзамай Паллада, Веста және Юнона деп аталатын астероидтар



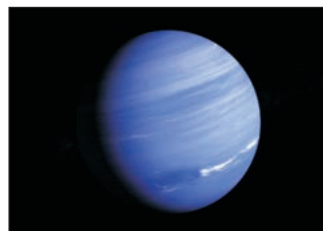
а) Юпитер



ә) Сатурн

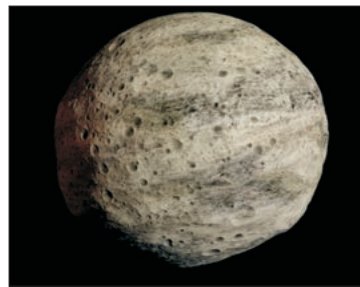


б) Уран



в) Нептун

283-сурет. Алып планеталар



284-сурет. Веста астероиды

табылды (284-сурет). 2014 жылы 16 қаңтарда деректер базасына 632 567 нысан тіркелді, олардың 385 184-і үшін орбиталар нақты анықталған, олардың 18 241-інің атаулары ресми бекітілген. *Астероид – Күнді айнала орбита бойымен қозғалатын Күн жүйесіндегі шағын аспан денесі.* Астероидтардың массалары мен өлшемдері планеталардан айтарлықтай кіші, дұрыс емес пішінге ие. Олардың атмосферасы болмайды, бірақ серіктері болуы мүмкін. Диаметрі 30 м-ден асатын денелер – астероидтар, ал одан кіші өлшемдегі денелер *метеороидтар* деп аталады. Церера – ең ірі астероид, көлемі шамамен 975×90 км, 2006 жылғы 24 тамыздан бастап *ергежейлі планета* мәртебесін алды. Белгілі астероидтардың ең кішісінің диаметрі тек бірнеше километрді құрайды. Кейбір астероидтардың орбиталары өте үлкен эксцентриситеттерге ие, соның салдарынан перигелийде олар Күнге Жермен салыстырғанда жақынырақ барады. Икар Күнге Меркурийден гөрі жақын барады.

Кометалар. Болжам бойынша ұзақпериодты кометалар Жерге кометалық ядролардың саны көп Оорт бұлтынан ұшып келеді. Комета ауаға ұшып кететін заттардан: су, метан және басқа да мұздардан тұрады, Күнге қарай ұшқанда олар буланады. Кометаның ядросы – «кома» деп аталатын тұман қабықшамен қапталған қатты бөлшектер мен мұздан тұратын дене. Диаметрі бірнеше километр болатын ядро маңында көлденеңінен 80 мың км-ге созылған кома болады. Күн сәулелері ағындары комадан газ бөлшектерін ығыстырып шығарады. Газ бөлшектері бірнеше миллион километрге жететін түтінді құйрық түрінде кометаның артынан созылып отырады (285-сурет). Кометалардың массасы өте аз, шамамен, Жер массасынан миллиард есе кем, ал олардың құйрықтарындағы заттардың тығыздығы нөлге тең. 1910 жылы мамыр айында Жер Галлей кометасының құйрығының ішінен өтті, бірақ біздің планетамыздың қозғалысында ешқандай өзгерістер болған жоқ.

Метеориттер және метеороидтар. Орбитада ұшып жүретін өлшемдері бірнеше метр, Жер атмосферасына түсетін ғарыш денесі *метеорлық дене* немесе *метеороид* деп аталады. Олар астероидтардан кіші болады. Метеорлық денелердің Жер атмосферасы арқылы өтуі кезінде пайда болатын құбылыстар *метеор*, ерекше жарқырайтын метеорлар *болид* деп аталады.

Жер бетіне құлаған ғарыштық қатты дене *метеорит* деп аталады. Ірі метеорит құлаған жерде *кратер* пайда болуы мүмкін. Табылған метеориттердің көпшілігінің массалары бірнеше грамнан бірнеше килограмм аралығында болады. Болжам бойынша Жерге тәулігіне 5–6 тонна немесе жылына 2 мың тонна метеорит құлайды.

Метеорлар жылдың белгілі бір мезгілінде, аспанның белгілі бір жағында пайда болатын метеорлық ағындарға топтастырылады. Леонидтер мен Персеидтер сияқты метеор ағындары кеңінен танымал (286-сурет). Барлық метеор ағындары кометалардың Күн жүйесінің ішкі бөлігіне өтуі кезіндегі еру процесінен кесектердің бұзылуы нәтижесінде түзіледі.



3-тапсырма

Күн жүйесі планеталарының ұқсастығы мен айырмашылықтарын көрсете отырып, салыстырмалы T-диаграммасын құрастырыңдар.



285-сурет. Галлей кометасы



286-сурет. Персеидтер

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Бір юпитерлік жыл қанша юпитерлік тәуліктен тұратынын анықтаңдар.

Берілгені:

$$T_{\text{тәул}} = 0,414 \cdot T_{\text{тәул.Ж}}$$

$$T_{\text{жыл}} = 12T_{\text{Жер жылы}}$$

$N - ?$

Шешуі:

Юпитерлік тәулік пен жыл ұзақтығын сағат арқылы өрнектейміз: $T_{\text{тәул}} = 0,414 \cdot 24 \text{ сағ} = 9,936 \text{ сағ};$

$$T_{\text{жыл}} = 11,86 \cdot 365 \cdot 24 \text{ сағ} = 103892,6 \text{ сағ};$$

Юпитерлік тәуліктер саны:

$$N = \frac{T_{\text{жыл}}}{T_{\text{тәул}}} = \frac{103892,6}{9,936} = 10456 \text{ тәул.}$$

Жауабы: 10456 тәулік.

Бақылау сұрақтары

1. Планета жүйесі дегеніміз не?
2. Астрономияда планеталық жүйелерді анықтаудың қандай әдістері қолданылады?
3. Неге планеталық жүйелерді табу қиын?
4. Күн жүйесінің құрамына қандай нысандар кіреді?
5. Жер тобы планеталарының, алып планеталардың ерекшеліктері қандай?
6. Күн жүйесінің шағын денелерінің құрамына не кіреді?
7. ХАО шешімі бойынша ергежейлі планеталар мәртебесін қандай астероидтар алады?
8. Комета неден тұрады?
9. Метеориттер, метеороидтер, метеорлар, болидтер дегеніміз не?

★ Жаттығу

48

1. Күн сәулесінің Күн жүйесі планеталарына жететін уақытын анықтаңдар. Планеталарға дейінгі қашықтықты анықтамалық әдебиеттен алыңдар.
2. Сатурнның 1 м^2 бетімен салыстырғанда Жердегі 1 м^2 бет жұтатын Күн энергиясы неше есе артық екенін анықтаңдар.
3. Бір марстық жылда қанша Жер жылы бар екенін анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Күн жүйесін зерттейтін ғарыштық аппараттар.
2. Күн жүйесінің планеталарын заманауи зерттеу (планеталардың бірін таңдау бойынша).
3. Планеталардың серіктері (планеталардың бірін таңдау бойынша).

§ 49. Біздің Галактика. Басқа галактикалардың ашылуы. Квazarлар

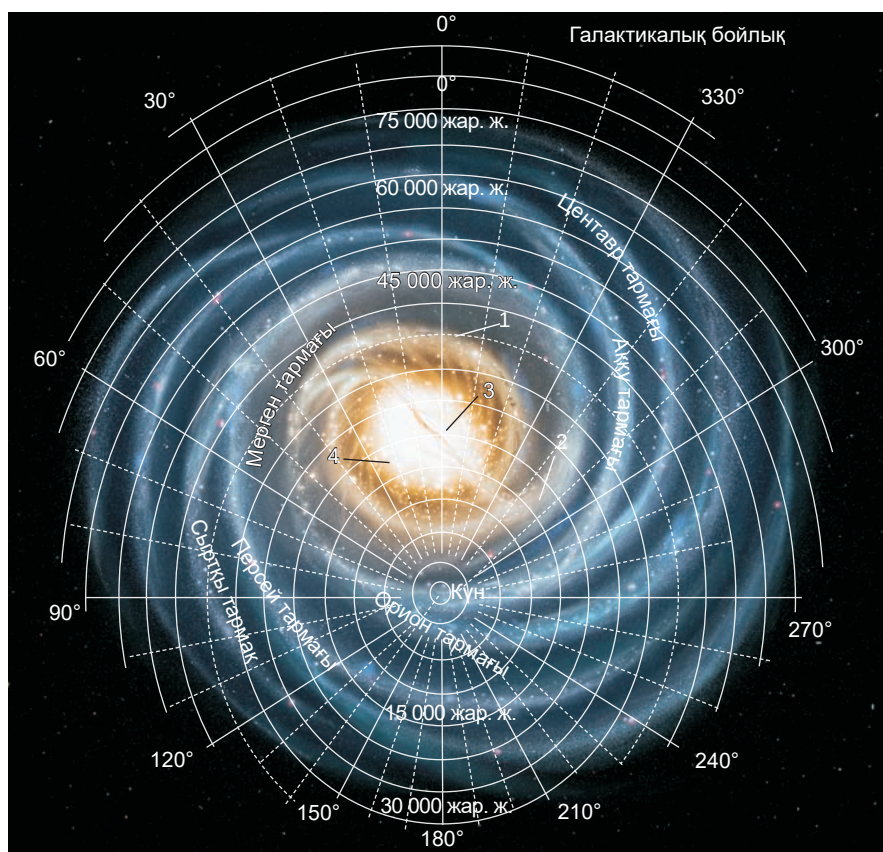
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты оқығаннан кейін:

- арақашықтықты анықтау үшін «қарапайым май шамдар» әдісін қолдануды сипаттай аласыңдар.
- галактикалар мен квазарлар түрлерінің құрылысын сипаттай аласыңдар.

I Біздің Галактика

Аспандағы жұлдыздардың барлығы спираль түріндегі «Құсжолы» жұлдызды жүйесін құрайды. Біздің Галактиканың ортасында қара құрдым бар, оның айналасында төрт тармақ жұлдыз шоғырлары созылып жатыр. Жұлдызаралық ғарыштық кеңістік шаңмен, газбен және қараңғы материямен толтырылған (287-сурет).



287-сурет. Құсжолының спираль бойымен созылған тармақтары: 1 – Алыс Үшкілопарсек тармағы, 2 – Жақын Үшкілопарсек тармағы, 3 – Бөгет, 4 – Ұзын бөгет



Жауабы қандай?

1. Неліктен біздің Галактика «Құсжолы» деп аталды?
2. Галактика неден тұрады?
3. Қандай галактикаларды білесіңдер? Олар Құсжолынан қаншалықты алыс?

Галактика (грек. *galaξiās* – сүт тектес қойнау) – жұлдыздардан және жұлдыз шоғырларынан, жұлдызаралық газ бен тозаңнан және қараңғы материядан тұратын гравитациялық байланысқан жүйе.

Күн жүйесі *галактикалық* деп аталатын Құсжолы жазықтығына жақын орналасқан. Галактика осы жазықтықтың бойымен 100000 жарық жылына созылады. Галактика Күн жүйесіне перпендикуляр бағытта, шамамен, 1000 жарық жылына тең қашықтыққа созылған.



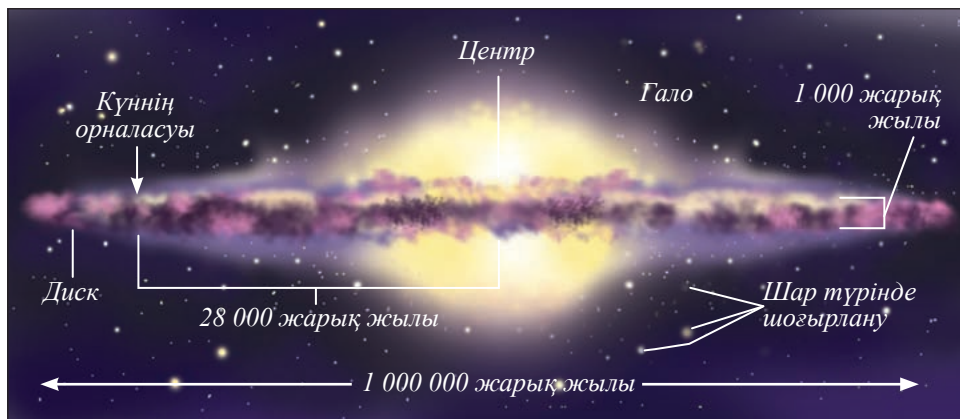
1-тапсырма

«Құсжолы» галактикасына сипаттама берiңдер. Оның негiзгi бөлiктерiн бейнелеңдер.

Галактика екі негізгі ішкі жүйеден: гало және жұлдызды дискіден тұрады (288-сурет).

Гало центрінде заттардың тығыздығы жоғары, ал центрден алыстағанда төмендейді. Галактика центрінен бірнеше мың жарық жылы қашықтықтағы гало центріндегі ең тығыз орта *балдж* деп аталады, оның ішінде ядро орналасқан.

Диск ішіндегі жұлдыздар Галактика центрінің маңында оны айнала шеңбер траектория бойымен қозғалады. Жұлдыздық дискіде спираль бойымен созылған тармақтар арасында Күн орналасқан, ол Галактика ядросынан – 8 кпк, шамамен, 28 000 жарық жылы қашықтықта орналасқан (288-сурет).



288-сурет. Біздің Галактика құрылысы. Күннің Галактикада орналасуы

Күн орналасқан аймақта жұлдызаралық заттар өте көп, олар жарықты жұтады және жұлдыздық дискіні кейбір бағыттарда, әсіресе, ядро бағытында көрінетін спектр үшін көмкеріп тастайды.

Ядрода жұлдыздар өте көп шоғырланған: әрбір куб парсекте мыңдаған жұлдыз бар. Егер біз Галактика ядросына жақын орналасқан жұлдыздың маңындағы планетада тұрсақ, онда аспанда жарықтылығын Аймен салыстыруға болатын ондаған жұлдыз көрінер еді. Галактика центрінде ірі қара құрдым бар деп болжанады.

Галактика массасы 200 миллиард Күн массасына тең деп бағаланады. Тоzaң мен газдарға байланысты шамамен $2 \cdot 10^9$ жұлдызды ғана бақылауға болады. Галактика өлшемдері алыс қашықтықтан көрінетін жұлдыздардың – цефеидтер мен ыстық асқыналыштардың орналасуы бойынша анықталады. Біздің Галактикамыз – Құсжолының диаметрі 100 000 жарық жылына тең, яғни шамамен 30 кпк деп қабылданған.

Диск және оны қоршаған гало тәжбен көмкерілген. Қазіргі уақытта Галактика тәжінің мөлшері диск өлшемінен 10 есе көп деп саналады.

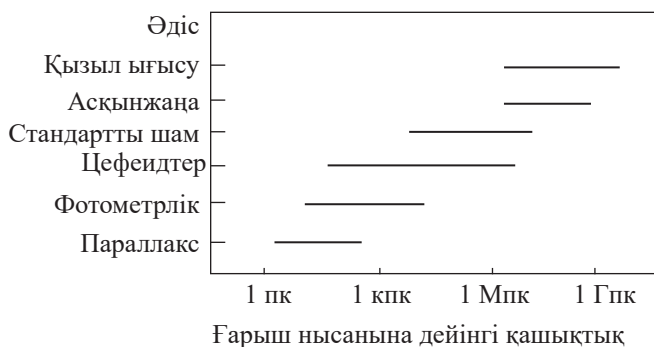
Галактиканың барлық жұлдыздары оның центрін айнала қозғалады. Диск галомен салыстырғанда айтарлықтай жылдам айналады. Дискінің айналу жылдамдығы центрден әртүрлі қашықтықта түрліше болып келеді. Күн жүйесі Галактика центрінің маңында 250 км/с жылдамдықпен, шамамен, 200 млн жыл ішінде толық бір айналым жасайды.

Дискіде спиральді тармақтар бар. Жас жұлдыздар мен олардың түзілу ошақтары осы тармақтардың бойында орналасқан. Галактика эволюциясының алғашқы кезеңдерінде пайда болған нысандар: жасы 12 млрд жылдан асатын шар тәріздес жұлдыздар шоғыры галоны құрайды. Әдетте галоның жасы Галактика жасы ретінде қабылданады.

Біздің Галактикамыз өзі сияқты 40 галактикадан тұратын жергілікті топқа кіреді. Олардың ішіндегі ең ірілері – біздің Галактикамыз (Құсжолы) және одан ірілеу әрі тіпті қараңғыда құралсыз көруге болатын Андромеда тұмандығы болып саналады.

II Қашықтықты «стандартты шам» әдісімен анықтау

Астрономияда ғарыш нысанының қашықтығын Күн жүйесінен алыстығына байланысты анықтаудың әртүрлі әдістері қолданылады (289-сурет). «Цефеидтер», «стандартты шам», «асқынжаңа» әдістері өзара ұқсас, сәулелену көздеріне дейінгі қашықтық олардың жарқырауы мен көрінерлік жұлдыздық шамалары бойынша анықталады (§ 46 Цефеидтер). Стандартты шам ретінде нысанды таңдау өлшенетін қашықтыққа тікелей байланысты.



Жауабы қандай?

Неге стандартты шам ретінде сәулелену спектрінде сутегі сызықтары болмайтын жұлдыздарды пайдаланады?

289-сурет. Ғарыш нысандарына дейінгі қашықтықты анықтау әдісінің олардың алыстығына тәуелділігі

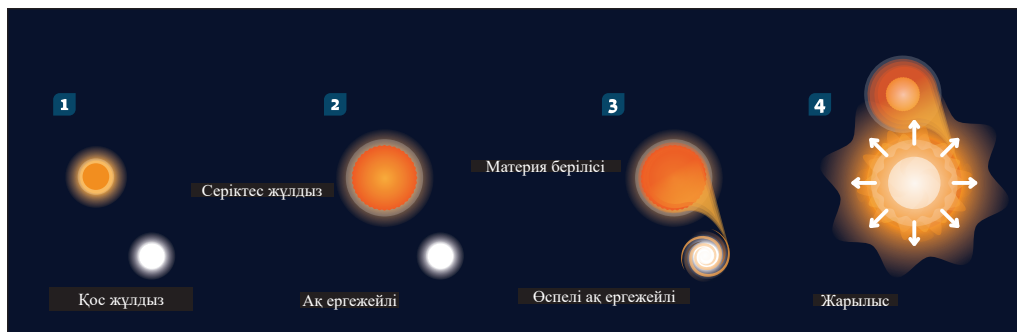
Астрономиядағы стандартты шамдар – жарқырауы анықталған ғарыш нысандары. Қазіргі кезде стандартты шамдар ретінде Ia типті асқынжаңа жұлдыздар қолданылады, олардың сәулелену спектрінде сутегі сызықтары жоқ, өйткені олардың жарқырау шамалары бірдей болады. Галактикалардың жарқырауы бойынша оларға дейінгі қашықтықты анықтау үлкен қателіктер береді. Асқынжаңа жұлдыздардың жарқырауын галактиканың жарқырауымен салыстыруға болады.



2-тапсырма

290-суретті қарастырып, ақ ергежейлінің жарылыс механизмін түсіндіріңдер.

Асқынжаңа жұлдыздар – жарылыстар болатын жұлдыздар, олардың екі түрі бар. I түрі – жарылатын ақ ергежейлілер (290-сурет), II түрі – ядролық отынның жануына байланысты қызыл алып сатысына өтіп, одан кейін жарылыс нәтижесінде ақ ергежейліге айналатын жұлдыздар.



290-сурет. Ақ ергежейлілердің I түрінің жарылысы

III Басқа галактикалардың ашылуы

1785 жылы Уильям Гершель Құсжолының өлшемі мен пішінін, Күннің галактикадағы орнын анықтауға тырысты, ол 1795 жылы NGC 1514 планетарлық тұмандығын бақылап, оның ортасында тұманды затпен қоршалған жалғыз жұлдызды байқады. NGC 1514 тұмандығын алғашқы тұмандықтан орталық жұлдыз түзілетін эволюцияның соңғы кезеңінің мысалы ретінде қарастырады. XVIII ғасырдың соңында Шарль Мессье 109 жарық тұмандықтан тұратын каталог құрастырды. XIX ғасырдың ортасында Джон Гершель тағы 5000 тұманды нысанды ашты. Ол тұмандықтар Құсжолы жүйесіне ұқсас алыс жұлдыздық жүйелер болуы мүмкін деп болжады. Осы тұмандықтардың табиғаты туралы пікірталастар каталог жарияланған сәттен бастап 1924 жылға дейін жалғасты.

1936 жылы Хаббл галактиканың жіктелуін құрастырды, ол қазіргі уақытта да пайдаланылады, оны «Хаббл тізбектілігі» деп атайды. Ешқандай құралсыз аспанда тек үш галактиканы көруге болады: солтүстік жартышардағы Андромеда тұмандығы, оңтүстік жартышардағы Үлкен және Кіші Магеллан бұлттары. Галактикалардың жеке жұлдыздар жүйесі түріндегі суретін көрсету XX ғасырдың басына дейін мүмкін болмады. 1990 жылдардың басында жеке жұлдыздары байқалған 30-ға жуық галактика тіркелді. «Хаббл» ғарыштық телескопы ұшырылғаннан кейін және 10 метрлік жерүсті телескоптары іске қосылғаннан кейін тіркелген галактикалардың саны күрт артуда.

Галактикалар әртүрлі болады. Олардың ішінде эллипстік, дискілі-спиральды, бөгеті бар галактика, линза тәрізді, ергежейлі, дұрыс емес галактикалар бар.

Эллипстік галактика (E) – дискілі құрамдас бөлігі жоқ немесе ондағы жұлдыздар шоғыры әлсіз галактика (291, а-сурет).

Спиральды галактика (S) – спиральды тармақтары бар галактика. Кейде сақиналы тармақтар болуы мүмкін (291, ә-сурет).

Линза тәрізді галактика (S0) – нақты спиральды өрнек болмағанымен, құрылымы бойынша спиральды галактикадан айырмашылығы жоқ галактика. Бұл жұлдыздар аралығында газдардың аз болуымен, демек, жұлдыздың түзілу қарқынының төмендігімен түсіндіріледі (291, б-сурет).

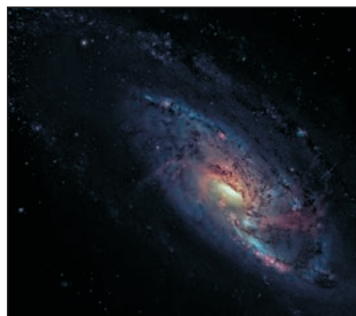
Дұрыс емес галактика (Irr) – оларға түйдектелген құрылым тән. Әдетте, оларда жұлдызаралық газдар өте көп, галактика массасының 50 %-ін құрайды (291, *в-сурет*).

Әлемдегі галактикалардың көпшілігі өзара тар-тылыс күшімен байланысқан ондаған галактика-лардан тұратын топтарға жинақталған. Осы топтарда ең ірі, басым галактика болады, ол өзіне көрші, ұсақ галактика немесе жұлдызаралық газдарды тар-тады. Топтар мен жекелеген галактикалар жүздеген галактикалардан тұратын шоғырларға біріктірілген. Сондай-ақ мыңдаған галактикалардың асқын шоғыр-лануы белгілі. Бұл деңгейде Әлемде асқын шоғыр-ланған галактикалардың ұзақ тізбектері құралады. Ең ірі тізбектер қабырғалар деп аталады, олардың ең үлкені – Слоунның Ұлы қабырғасы.

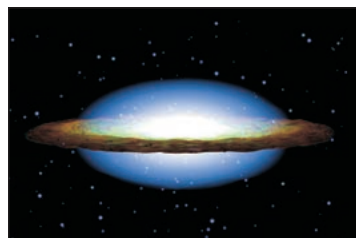
Тізбектер арасында галактикалары мүлдем жоқ алып аймақтар – войдтар бар. Олар Әлемнің ұяшықты құрылымының элементтері болып табылады.



а)



ә)



б)



в)



Жауабы қандай?

1. Неліктен спиральды галактикада тармақтар пайда болды?
2. Неге Құсжолының өлшемдері мен массасы дәл анықталған деп тұжырымдауға болмайды?
3. Неліктен жаңа және асқынжаңа жұлдыздар галактика тармақтарында пайда болады?

IV Квazarлар

Квazar (*ағыл. quasar QUASi stellAR radio source* – «квази жұлдызды радиокөздері») – жарқырауының жоғары мәнімен және өте шағын бұрыштық өлшеммен ерекшеленетін Әлем нысандарының түрі. Оларды байқағаннан кейін бірнеше жыл бойы «нүктелік көздерден» – жұлдыздардан ажырата алмады. Квazarды алғаш рет 1962 жылы 5 тамызда астроном М.Шмидт анықтады. Соңғы 50 жылда 5000-нан астам квazar табылды. Олардың спектрлерінің қызыл ұшында сызықтардың ығысуы байқалады. Бұл Доплер заңдары бойынша квazarлар Жерден аса жоғары жылдамдықпен алыстайды дегенді білдіреді.

Квazarлар – белсенді нысандар, олардың белсенділігі бірнеше миллион жылға созылады. Көптеген жағдайларда квazarлардың сәулеленуі өзі орналасқан галактиканы көмкеріп тастайтындай күшті болады. Оптикалық, инфрақызыл, ультракүлгін және рентгендік сәулеленуден басқа, магнит өрістерінде

291-сурет. Галактика түрлері

қозғалып, квазар радиосәулеленуін құрайтын шапшаң элементар бөлшектер ағынын – ғарыш сәулелерін шығарады. Бұл сәулелердің ағындары квазардан оның қарама-қарсы жақтарында екі «радиобұлт» түзіп, екі түрлі бағытта таралатын ағын түрінде шығады (292-сурет).

Оның бақыланатын қасиеттерін сипаттайтын ең ықтимал модель мынадай болуы мүмкін: айналмалы газ дискінің центрінде ірі тұтас нысан – қара құрдым орналасады. Оның орталық ыстық бөлігі – электромагниттік сәулелену және тек диск өсінің бойымен таралатын шапшаң ғарыштық бөлшектердің көзі болып табылады. Осы теория – қазіргі уақыттағы ең танымал теория. Оған сәйкес, квазар энергиясы қара құрдымның гравитациялық өрісі есебінен қалыптасады. Қара құрдымның тартылыс күші оған жақын ұшатын жұлдыздарды, бүкіл галактикаларды да бұзуы мүмкін. Осы кезде пайда болған газдар қара құрдым маңында оны қоршайтын диск түзеді және уақыт өте келе оған тартылады. Дискінің центрлік бөлігінің сығылуы мен жылдам айналуына байланысты, газ қызады және қуатты сәуле шығарады. Дискідегі заттар қара құрдымға жұтылады, бұл кезде оның массасы артып, квазардан тар бағытталған газ ағындары және ғарыштық сәулелер түрінде ішінара ұшып кетеді. Квазардың бұл моделі мұқият зерттелуде, бірақ ол бақыланған барлық қасиеттерді түсіндіре алмайды. Квазардың қалыптасуы мен эволюциясы әлі де толық зерттелмеген.



292-сурет. Квазар



3-тапсырма

1. Параграфта берілген квазарлар туралы ақпаратты кластер түрінде жүйелеңдер. Интернет желісі және қосымша әдебиеттер материалдарымен толықтырыңдар.
2. Квазар моделін ұсыныңдар. Сендердің модельдеріңнің астрофизиктер ұсынған үлгіден айырмашылығы неде?

Бақылау сұрақтары

1. Галактика деп нені айтады?
2. Біздің Галактиканың құрылымы қандай? Оны қалай атайды?
3. Галактика өлшемін қалай анықтайды?
4. Галактиканың қандай түрлері бар?
5. Квазар деп нені айтады? Олардың қасиеттері қандай?
6. Астрофизиктер квазардың қандай моделін ұсынады?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Галактиканы зерттеу тарихы. Хаббл тізбектілігі.
2. Галактикалардың қозғалысы, өзара әрекеттесуі және соқтығысуы. Слоунның Ұлы қабырғасы.
3. Квазар – Әлемді жою нысаны.

§ 50. Үлкен жарылыс теориясы.

Қызыл ығысу және галактикаға дейінгі қашықтықты анықтау, Әлемнің үдемелі кеңеюі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Әлемнің үдемелі кеңеюі мен қараңғы энергия туралы пікірталасты және берілген астрономиялық бақылауларға сүйене отырып, Әлемнің үдемелі кеңеюі туралы болжамды талқылай аласыңдар.

I Үлкен жарылыс

Үлкен жарылыстар тұжырымдамасы 1920 жылдары Хаббл заңының ашылуына байланысты пайда болды. Бұл заң бақылаулардың нәтижелерін сипаттайды, оған сәйкес Әлем кеңейеді және галактикалар бір-бірінен алыстайды. Бастапқы сәтте, миллиардтаған жыл бұрын, Әлемнің өте тығыз күйде болғанын елестету қиын емес. Әлемнің мұндай дамуы екі маңызды фактімен: ғарыштық микротолқынды әсерлермен және жеңіл элементтердің көп болумен расталады.

Ғарыштық микротолқынды әсер. 1964 жылы америкалық физиктер Арно Пензиас пен Роберт

Уилсон Әлемнің реликтілік деп аталатын микротолқынды жиілік диапазонында электромагниттік сәулеленумен толтырылғанын анықтады. Одан кейінгі өлшеулер сәулеленудің -270°C (3 K) температурадағы нысандарға тән екенін көрсетті. Реликтілік сәулелену пештегі сөніп қалған көмірдің ыстығына ұқсас.

Арно Пензиас пен Роберт Уилсонның жаңалығы Әлемнің кеңею фактісін түсіндіріп, ғарыштық микротолқынды әсердің бар екенін түсіндіре алмайтын көптеген модельдердің ішінен Үлкен жарылыс теориясы таңдалуына негіз болды.

Жеңіл элементтердің көп болуы. Ертеде Әлем өте ыстық болды, жоғары температура мен қысымда жеңіл ядролардың синтезделу реакциялары орындалды. Алғашқы үш минутта пайда болған барынша көлемі үлкен ядролар бір-бірімен соқтығысу кезінде ыдырады. Ертедегі Әлемнің тарихына бұл кезең «жеңіл элементтер ядроларының пайда болуына мүмкіндік терезесі» ретінде енді. Алайда бұл кезең ұзаққа созылмады. Үлкен жарылыстан кейін алғашқы үш минуттың ішінде бөлшектер бір-бірінен алысқа ұшты, сондықтан олардың арасындағы қақтығыстар өте сирек болды, «ядролардың синтезделу терезесі» жабылды. Осы қысқа уақыт ішінде протондар мен нейтрондардың соқтығысуы нәтижесінде дейтерий, гелий-3, гелий-4 және литий-7 пайда болды. Олардан ауыр элементтер кейінірек – жұлдыздардың қалыптасуы кезінде пайда болды.

Үлкен жарылыс теориясы ертедегі Әлемнің температурасын, жеңіл элементтердің әртүрлі ядролары сандарының қатынасын анықтауға мүмкіндік берді. Есептеулерді жеңіл элементтердің нақты бақыланатын қатынасымен салыстыру арқылы үлкен жарылыстар гипотезасы дәлелденді.

II Әлемнің үдемелі кеңеюі. Хаббл заңы

Америкалық астроном Эдвин Хаббл 1929 жылы Маунт-Вилсон обсерваториясының 100 дюймдік (254 см) телескопы көмегімен галактикалар спектрлерінің қызыл ығысуын өлшеді. Ол спектрлердің қызыл ығысуы және галактикалардың алыстау жылдамдығы бақыланатын галактикаға дейінгі қашықтыққа тура пропорционал екенін анықтады. Қызыл ығысу шамасы сәулелену жиілігі өзгерісінің бастапқы жиілікке қатынасымен өлшенеді:

$$z = \frac{\nu - \nu_0}{\nu_0}. \quad (1)$$

Бақыланатын галактикаға дейінгі қашықтық алыс және оның сәулелік жылдамдығы жоғары болған сайын сәулелену жиілігінің өзгерісі де үлкен болады (293-сурет). Қызыл ығысу бойынша Хаббл заңына сүйене отырып, үлкен қашықтықта алыстап бара жатқан нысанға дейінгі қашықтықты анықтауға болады:

$$cz = H_0 D, \quad (2)$$

мұндағы c – электромагниттік толқындардың жылдамдығы, z – қызыл ығысу, H_0 – Хаббл тұрақтысы, D – аспан денесіне дейінгі қашықтық. Қызыл ығысудың аз мәндерінде $cz = v$, мұндағы v – сәулелік жылдамдық. Бұл жағдайда Хаббл заңы мына түрге өзгереді:

$$v = H_0 D. \quad (3)$$

Біздің Галактикадан алыстайтын галактикалардың v жылдамдығы оларға дейінгі D қашықтыққа тура пропорционал.

Хаббл параметрі уақытқа тәуелді: ертедегі Әлемнің кеңеюі қазіргіден әлдеқайда жылдам болды және сәйкесінше, Хаббл тұрақтысы мәнінің шамасы әлдеқайда көп болды. Хаббл тұрақтысының мәні уақыт өте келе өзгеріп отырады: 2012 жылға дейін Әлемдегі ең алыс нысандарға дейінгі қашықтықтар

$$H_0 = 73,8 \pm 2,4 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$$

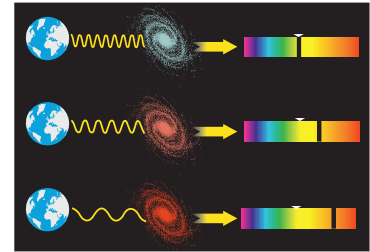
$$\text{немесе} \quad H_0 \approx 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}. \quad (4)$$

мәнімен анықталды. 2013 жылдан бастап, «Планк» ғарыштық телескопын пайдаланып жүргізілген картографиялық жұмыстардан кейін $H_0 = 63,15 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ мәні алынды.

Осылайша, Хаббл заңы бақыланатын нысан Жерден қаншалықты алыс орналасса, ол соншалықты жоғары жылдамдықпен алыстайтынын, Әлем үдемелі кеңейетінін көрсетті.

Хаббл тұрақтысына кері шама $\frac{1}{H_0} = \frac{D}{v}$ – бақыланатын нысан D қашықтықты жүріп өтетін уақытты білдіреді.

Хаббл заңынан барлық бақыланатын Әлемнің материясы $\frac{1}{H_0}$ жыл бұрын бір нүктеде жинақталғаны шығады. Жарылыс Әлемнің дамуының басталуына жол ашты.



293-сурет. Сызықтардың спектрдің қызыл ұшына ығысуы



1-тапсырма

70 км/с · Мпк Хаббл тұрақтысын ХБЖ-да жазыңдар. Оны (4) өрнектегі мәнмен салыстырыңдар.



Жауабы қандай?

Біз Әлемнің кеңею центрі біздің Галактика деп санай аламыз ба? Себебін түсіндіріңдер.



Назар аударыңдар!

- 10–15 млн жарық жылынан кіші қашықтықты анықтауда Хаббл заңы үлкен өлшеу қателігін береді.
- Ғарыш нысаны біздің Галактикадан алыс қашықтықта орналасқан сайын, бақылаушыдан алыстау жылдамдығы соғұрлым көп болады.
- Жарық жылдамдығының шекті мәні бар болғандықтан, ол мән біз қазіргі уақытта бақылай алатын Әлемнің шегі Әлемнің соңғы жасына сәйкес келеді. Сонымен қатар Әлемнің бақыланатын ең алыс бөліктері оның эволюциясының ертерек кезеңдеріне сай келеді.

III Әлемдегі қараңғы материя мен қараңғы энергия

1998 жылы Әлемнің үдемелі кеңеюі Ia типті асқынжаңа жұлдыздарды бақылау кезінде ашылды. Осы еңбектері үшін 2011 жылы С.Перлмуттер, Брайан П.Шмидт пен А.Рисс физика бойынша Нобель сыйлығын алды. Ia типті асқынжаңа жұлдыздарды бақылау кеңею қарқынын анықтауға және оның уақытқа тәуелділігін бақылауға мүмкіндік береді. Өте алыс қашықтықтағы асқынжаңа жұлдыздар Әлем эволюциясының алғашқы кезеңдерінде – бірнеше млрд жыл бұрын жарылған. Бұл Әлемнің үдемелі кеңейіп отырғанын анықтауға мүмкіндік берді. Тартылыс күші үдемелі кеңеюді баяулатып, бір күні бүкіл Әлемнің кеңею процесін тоқтатуы мүмкін. Үдемелі кеңеюге қандай бір күш әсер ететіні анықталды. Сонымен қатар Әлем кең болған сайын, «осы күштің» әсері де көп болады. Ғалымдар оны қараңғы энергия деп атады.

Космологиядағы қараңғы энергия – Әлемнің үдемелі кеңеюін түсіндіру үшін оның математикалық моделіне енгізілген энергияның гипотезалық түрі.

Қараңғы энергияның белгілі қасиеттері Эйнштейннің салыстырмалылық теориясында енгізілген космологиялық тұрақты шамамен сәйкес келеді. Тұрақты шама – гравитацияға қарама-қарсы әрекет ететін және кеңістікті өзгерістерден сақтайтын тебілу күші.

Галактикалар шоғырларындағы гравитациялық күштерді өлшеу галактикалардағы қараңғы материяның массасын және оның Әлемдегі жалпы массасын анықтауға мүмкіндік берді. Материяның 80 %-і Әлемнің кеңею қарқынын түсіндіру үшін жетпейтіні анықталды. Болжам бойынша бұның себебі: Әлемдегі материяның жаңа түрі – «қараңғы материяның» бар болуы (294-сурет). Қараңғы материя Жер жағдайында ашылмаған, затпен әлсіз әрекеттесетін, бірақ гравитациялық әрекеттесуге қатысатын элементар бөлшектерден тұрады деп болжанады.

IV Әлемнің үдемелі кеңеюі және кеңістіктің қисықтығы

Әлемнің кеңеюі процесінде кеңістіктің қисықтығы азаяды. Бірақ Әлемнің бақыланатын кеңеюі көрінетін қисықтықпен қамтамасыз етілуі үшін ертеректегі кеңістіктің қисықтығы радиусының мәніне түзетулер енгізу қажет: Үлкен жарылыстан бір секунд өткеннен кейін ол Әлемнің көрінерлік бөлігі радиусынан миллиардтаған есе көп.

Мұндай түзетулерсіз, бүгінгі күні қисықтықтың мәні біршама көп болар еді. Бұл мәселені шешу Әлемнің эволюциясының инфляциялық кезеңі туралы көзқарасқа алып келді. Алексей Старобинский және Алан Гут бір-біріне тәуелсіз ұсынған және Андрей Линденің, Андреас Альбрехт пен Пол Стейнхардттың жұмыстарында қалыптасқан инфляциялық теория бойынша: Әлем өзінің эволюциясының ең ерте кезеңінде өте жылдам, экспоненциалды кеңейді немесе ұлғайды, инфляцияға ұшырады (295-сурет). Инфляциялық кезең секундтың аз ғана үлесіне созылса да, осы уақыт ішінде Әлем ондаған немесе жүздеген есе созылып, кеңістіктің қисықтығы нөлдік мәнге дейін



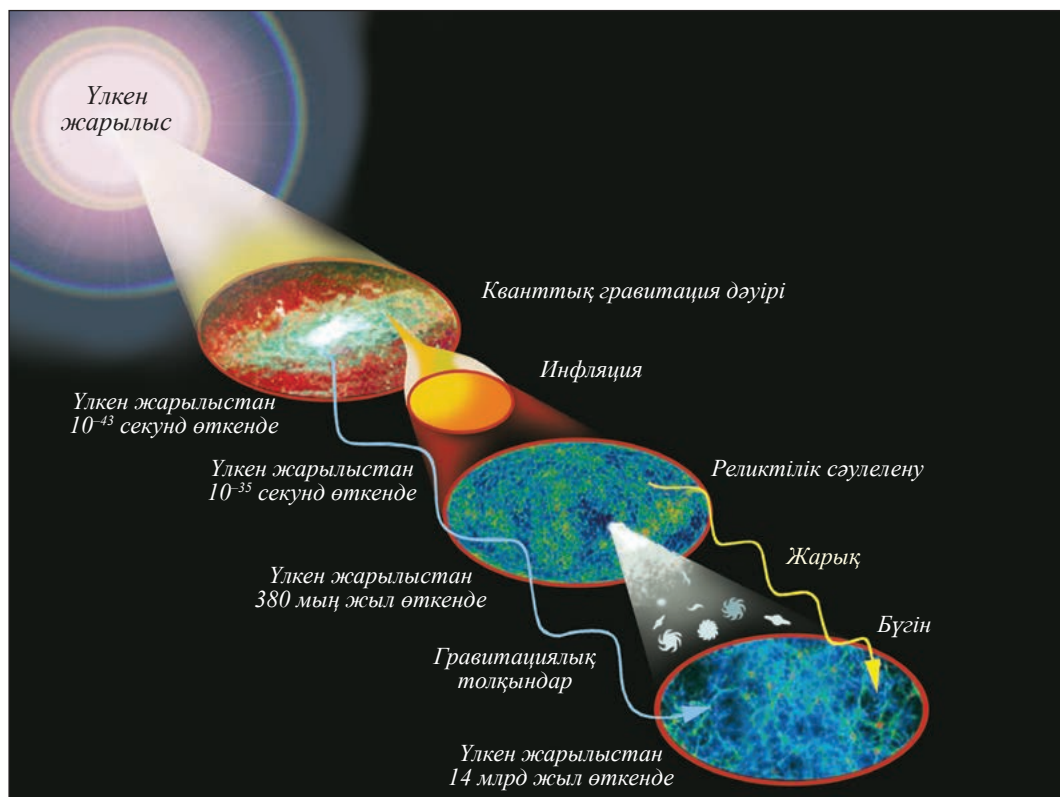
Бұл қызық!

Қазіргі кезде бірнеше зерттеушілер тобы, оның ішінде CERN де (зерттеуде үлкен адронды коллайдер қолданады) зертханалық жағдайда зерттеу үшін қараңғы материя бөлшектерін жасау жұмыстарымен айналысуда.



294-сурет. CI 0024+17 галактикалар шоғырындағы қараңғы материяның бұлдыр сақинасы

төмендейді. Кеңістік евклидтік болды. Әлемнің үшөлшемді кеңістігі қисықтығының өте аз шама екені реликтілік сәулелену картасын зерттеу арқылы дәлелденді.



295-сурет. Кеңістіктің қисықтығын зерттеу Әлемнің дамуындағы инфляциялық кезеңнің болуы туралы қорытындыға алып келді

Қазіргі кезде қараңғы материя көзқарасын жақтаушы ғалымдар көбеюде. Олар Әлемнің үдемелі кеңеюін түсіндіргенде кеңістіктің шамамен 80 %-ін алып жатқан қараңғы материя бар деген болжамға жиі сүйенеді. Әлемнің алғашқы сәттерінің космологиялық инфляциясына ұқсас кеңістік қисықтығының үдемелі кеңеюі қараңғы энергияға әсер етпейді.



Есте сақтаңдар!

Ia типті асқынжаңа жұлдыздар – серіктес-жұлдыз затымен қоректенетін ақ ергежейлілер Чандрасекар шегіне жетіп жарылады және нейтронды жұлдыздарға айналады. Барлық ақ ергежейлілер үшін Чандрасекар шегі бірдей мән қабылдайды, ақ ергежейлілер бір-біріне ұқсас, сондықтан да ондағы жарылыстар да бірдей болады. Басқаша айтқанда, Ia типті асқынжаңа жұлдыздар «стандартты шам» болып табылады, сондықтан оларды қолданып: абсолют жарқырауды біле отырып, көрінетін жарықтылықты өлшеп, олардың әрқайсысына дейінгі қашықтықты анықтауға болады. Сонымен қатар Доплердің эффектісі – қызыл ығысу арқылы асқынжаңа жұлдыздардың бізден алыстау жылдамдығын анықтауға болады.



Жауабы қандай?

1. Қандай шардың қисықтығы үлкен: радиусы үлкеннің бе немесе кішісінің бе?
2. Шексіз радиусы бар шардың шексіз кіші бөлігінде Евклид геометриясын қолдануға және декарттық координаттар жүйесін пайдалануға бола ма? Өз жауаптарыңды түсіндіріңдер.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІСІ

Бақылаушыдан алыстап бара жатқан галактиканың сәулелену спектріндегі қызыл ығысу 0,003. Галактиканың біздің Галактикамыздан алыстау жылдамдығын және оған дейінгі қашықтықты анықтандар.

Берілгені:

$$z = 0,003$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$H_0 = 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$$

$$v = ? \quad D = ?$$

Шешуі:

Қызыл ығысудың аз мәндерінде галактика жылдамдығы мынаған тең: $v = c \cdot z$; $v = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 0,003 = 9 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

Галактикаға дейінгі қашықтық: $D = \frac{v}{H_0}$;

$$D = \frac{9 \cdot 10^5 \text{ м/с}}{2,3 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}} = 3,9 \cdot 10^{23} \text{ м}.$$

Жауабы: $v = 9 \cdot 10^5 \text{ м/с}$; $D = 3,9 \cdot 10^{23} \text{ м}$.

Бақылау сұрақтары

1. Үлкен жарылыс тұжырымдамасының мәні неде? Ол қандай заңмен байланысты?
2. Әлемнің үдемелі кеңеюі тұжырымдамасын қандай фактілер растайды?
3. Хаббл заңының мәні неде?
4. «Қараңғы энергия» дегеніміз не?
5. Қараңғы материя қандай қасиетке ие?



Жаттығу

50

1. Біздің Галактикадан 8000 км/с жылдамдықпен алыстайтын галактикаға дейінгі қашықтықты анықтандар.
2. Осы Галактиканың сәулелену спектрінде қызыл ығысу қандай мәнге ие?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне PowerPoint-та хабарлама дайындаңдар:

1. Қараңғы материя мен қараңғы энергияны зерттеудегі заманауи жетістіктер.
2. Э.П.Хабблдың өмірі мен қызметі.
3. Реликтілік сәулеленуді зерттеу нәтижелері.

§ 51. Әлемнің эволюциясының негізгі кезеңдері. Әлемнің модельдері. Әлемдегі өмір және Әлем туралы ойлар. Ғарышты игеру және адамзаттың ғарыштық келешегі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- Хаббл заңын қолданып, Әлемнің жасын бағалай аласыңдар;
- микротолқынды фондық сәулелену туралы ақпаратты қолданып, Үлкен жарылыс теориясын түсіндіре аласыңдар.



Бұл қызық!

Хаббл заңы Жерден бақылау негізінде галактикалардың арасындағы, оның ішінде біздің Галактикадан алыс қашықтықты ескеріп шығарылды. Хабблдың кеңею заңы Әлемде бір кездері зат өте үлкен тығыздықтарда болғанын көрсетеді. Өте үлкен тығыздықтардан қазіргі тығыздыққа дейінгі уақыт аралығы шартты түрде Әлемнің жасы деп аталады.

Әлем жасы

$$t_0 = \frac{1}{H_0} \approx 13 \cdot 10^9 \text{ жыл}$$

шамасымен анықталады.

I Әлемнің эволюциясы

Үлкен жарылыстың жалпылама теориясы бойынша мамандар Әлемнің эволюциясын төрт негізгі кезеңге бөледі.

1. *Адронды дәуір.* Әлемнің пайда болуының алғашқы кезеңінде өте жоғары температура мен тығыздықта материя элементар бөлшектерден, ең алдымен, адрондардан тұрды. Бұл кезең секундтың он мыңнан бір үлесіне созылды, бірақ осы кезде бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесу аса қарқынды болды.

2. *Лептон дәуірі.* Бұл кезеңде электрондардың, позитрондардың және нейтриноның қарқынды түзілуін қамтамасыз ететін температура өте жоғары болды, дәл осы кезде арнайы атауға ие болған нейтринді теңіз пайда болды, оның нәтижесінде реликтілік сәулелену басталды.

3. *Фотонды дәуір.* Фотонды дәуір аяқталып, Әлемнің температурасы белгілі бір мәнге дейін төмендеп, антизаттан заттар бөлінгенде, Үлкен жарылыстың кең фазасы аяқталады. Адронды, лептонды және фотонды дәуірлер Әлем жасының шамамен отыз мыңнан бір бөлігін құрайды.

4. *Жұлдызды дәуір.* Қазіргі уақытта жалғасып жатқан Әлемнің тіршілігінің негізгі кезеңі. Бұл кезеңде Әлем кеңейді, заттардан жұлдыздар, планеталар, жұлдыздық жүйелер, галактикалар қалыптасты.

Кеңістік қисықтығының соңғы зерттеулеріне сәйкес (§ 50) адронды және лептон дәуірін қамтитын инфляция кезеңі енгізілді. Хаббл тұрақтысы мәніне түзетулер енгізілді, ол Әлемнің ең алыс нысандарына дейінгі қашықтықты анықтаумен қатар, оның жасын да анықтауға мүмкіндік береді.

II Әлемнің классикалық модельдері

Әлемнің ғарыштық модельдерінің негізінде белгілі бір дүниетанымдық алғышарттар жатыр, ал модельдердің өздерінің дүниетанымдық маңызы зор.

Классикалық ғылымдағы Әлемнің стационар күйі туралы теорияға сүйенсек, Әлем әрдайым қазіргідей болған. Астрономия статикалық болды: планеталар мен кометалардың қозғалысы зерттелді, жұлдыздар мен ғарыш нысандары сипатталды, бірақ Әлемнің эволюциясы туралы мәселе қарастырылмады.

Классикалық Ньютон космологиясы мына постулаттардан құрылды:

1. Космология Әлемді өз-өзінен тіршілік етеді деп таниды.
2. Әлемнің кеңістігі мен уақыты абсолютті, олар материялық нысандар мен процесстерге тәуелді емес.
3. Кеңістік пен уақыт шексіз.
4. Кеңістік пен уақыт біртекті және изотропты.
5. Әлем тұрақты, эволюцияға ұшырамайды. Қандай да бір ғарыштық жүйелер өзгеруі мүмкін, бірақ жалпы Әлем өзгермейді.

Классикалық космологияда Әлемнің шексіздігі туралы постулатқа байланысты пайда болған екі қарама-қайшылық бар:

1. *Гравитациялық*: егер Әлем шексіз және ондағы аспан денелерінің саны шексіз болса, онда тартылыс күшінің әсерінен коллапстық жағдай орын алып, Әлемнің тіршілігі мәңгі болмауы тиіс.
2. *Фотометрлік*: егер аспан денелерінің саны шексіз болса, онда аспан шексіз жарық болуы керек, бірақ ол байқалмайды.

Ньютондық космология шеңберінде шешілмейтін бұл қайшылықтарды эволюцияға ұшырайтын Әлем және оның кеңеюі туралы түсініктер енгізілген *қазіргі заманғы космология* шешеді.

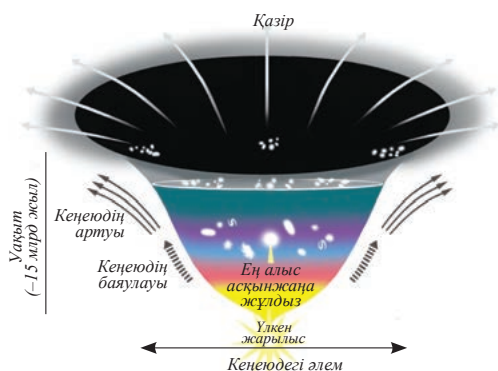
III Әлемнің заманауи модельдері

Қазіргі заманғы релятивистік космология Әлем моделін А.Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы негізінде құрастырады. 1917 жылы А.Эйнштейн алғашқылардың бірі болып Әлем моделін ұсынды. Ол әлемдік кеңістік біртекті және изотропты, материя орта есеппен біркелкі таралған, материялардың гравитациялық тартылуы әмбебап ғарыштық тебілумен толықтырылады деп болжады. Эйнштейн моделі сол кездегі барлық белгілі фактілерге сәйкес құрылды.

1917 жылы нидерландтық астроном Виллем де Ситтер басқа модель ұсынды, оған сәйкес Әлемдегі материяның пайда болуы оларды бір-бірінен алыстатуға және бүкіл жүйені ыдыратуға ұмтылатын материялар арасындағы ғарыштық тебілу күштерінің бір мезетте пайда болуымен қатар жүреді. Ситтер кеңею процесі өте үлкен қашықтықта ғана байқалады деп тұжырымдады.

Кейінгі зерттеулер ғалымдардың Әлемнің құрылысы мен дамуы туралы көзқарастарын өзгертті. 1922 жылы ресейлік математик және геофизик А.А.Фридман қазіргі кезде қабылданған Әлемнің пайда болуы мен эволюциясының космологиялық мәселесінің шешімін ұсынды.

А.А.Фридман теңдеулерінің шешімі үш мүмкіндікті қарастырды. Егер Әлемдегі зат пен сәулеленудің орташа тығыздығы қандай да бір критикалық шамаға тең болса, әлемдік кеңістік евклидтік кеңістік болып табылады және Әлем бастапқы нүктелік күйінен шексіз кеңейеді. Егер тығыздық критикалық шамадан аз болса, кеңістік Лобачевский геометриясымен түсіндіріледі және шексіз кеңейеді. Кеңістік тығыздығы критикалық шамадан артық болса, Әлемнің кеңістігі римандық болып табылады, қандай да бір кезеңде Әлемнің кеңеюі бастапқы нүктелік күйге дейін сығылуға ауысады. Қазіргі мәліметтер бойынша, Әлемдегі материяның орташа тығыздығы критикалық шамадан аз, сондықтан Лобачевский моделі – шексіз кеңейетін Әлем ең ықтимал болып саналады. Орташа тығыздық шамасы үлкен мәнге ие және Әлемнің үдемелі кеңеюіне ықпал ететін материяның кейбір түрлерінің бар екені жоққа шығарылмайды. Бұл – қараңғы материя мен қараңғы энергия (296-сурет). Осыған байланысты Әлемнің соңы немесе шексіздігі туралы қорытынды жасау әлі ертерек.



296-сурет. Қараңғы энергия әсерінен
Әлемнің үдемелі кеңеюі



1-тапсырма

Евклид кеңістігінің
Лобачевский геометриясын-
дағы кеңістіктен айырма-
шылығы туралы біліңдер.



2-тапсырма

Әлемде саналы тіршілік
бар және оған қарама-қар-
сы 2 фактор жазыңдар.
Сыныптастарыңмен
талқылаңдар.

IV Әлемдегі өмір мен Әлем туралы ойлар

Соңғы 20 жылда астрономдар зерттеулері адамзаттың Әлем құпияларын зерттеуін айтарлықтай ілгерілетті. Алыс галактикаларда тіршілік нысандары болуы мүмкін. Олардың қандай бейнеде екенін, қандай жағдайларда тіршілік ететінін және қалай пайда болғанын тек қана болжауға болады. Қазіргі заманғы ғылым ол туралы нақты деректер бере алмайды: әзірге ондай технологиялар жоқ. Бірақ ғарышта тіршілік нысандары бар деп сенімді түрде айтуға болады. Бұл – түрлі, ғылымға белгісіз өте кіші бактериялар, жасушалар мен мик-роағзалар болуы мүмкін. Олар белгілі планеталардың көп бөлігінде табылған.

1990 жылы 24 сәуірде іске қосылған «Хаббл» ғарыш телескопы осы күнге дейін алыс галактикаларды суретке түсіреді. Оның көмегімен Әлемде Күсжолы галактикасына ұқсас галактикалардың бар екені белгілі болды. Сонымен қатар шаң-тозаң мен газдан тұратын басқа да үлкен галактикалар бар, олардың ішінде қара құрдымдар бар.

Барлық ғарыш нысандары бірдей материалдардан: газ, шаң-тозаңнан, өлі жұл-дыздар мен планеталардың қалдықтарынан тұрады. Бізді қоршаған материя атом-дардан, көміртегі қосылыстарынан және басқа элементтерден тұрады. Бірақ егер ғарышта бактериялар, микрoағзалар, вирустар және басқа да тіршілік иелері бар болса, онда неге Әлемде басқа да тіршілік пен ақыл иелері жоқ.

Адамзат тарихында басқа әлемдермен байланыс туралы гипотезалар бар. Олар фрескаларды, хаттарды, сондай-ақ ежелгі өркениет қалаларының салыну технология-ларын зерттеумен байланысты. Мысырдың жұмбақ пирамидалары, Майя құрылысы, Атлантиданың өмір сүру кезеңіне жататын құрылыстар, осының барлығы Жерден тыс өркениеттің көмегімен құрылды. Мысалы, Майя тайпа-лары ежелде пирамиданың орналасуын дұрыс есептеп, ғарыштық құбылыстарды бақылау үшін күнтізбелерді аса дәлдікпен жасап, жұлдызнамаларды есептей алған. Ол кезде адамзатта астрономия, жұлдыздардың орна-ласуы жайлы қазіргідей білім болған жоқ.

Қуатты радиостансылар мен телескоптардың көмегімен ғарышты бақылайтын ғалым астрономдар Әлемнің алыс бұрышынан сигналдар алады. Де-генмен Әлемде саналы тіршіліктің бар екені туралы бірде-бір ғылыми дәлел жоқ. Бірақ ғылым мен адам өзінің гипотезасын растауға үміттенеді.



3-тапсырма

Интернет желісінің ма-
териалдарын зерделеп,
сұрақтарға жауап беріңдер:

1. Қандай елдерде ғарыш-айлақтары салынған?
2. ҚР ғарышкерлері қандай зерттеулерге қатысты?
3. Қазақстан Республикасы Ұлттық ғарыш агенттігінің даму перспективалары қандай?



Ғарышты игеру

1957 жылы 4 қазанда адамзат ғарыштық кеңістікті игеру дәуіріне кірді. Р-7 зымырантасығышы орбитаға Жердің салмағы 83,6 кг алғашқы жасанды серігін жеткізді. Оның көмегімен алғаш рет атмосфера тығыздығын өлшеу жүргізілді, ионосферада радиосигналдарды тарату бойынша деректер алынды. Бұл ұшуда алғаш рет зымырантасығыштар мен жасанды серіктерді жобалау негізіне алынған теориялық есептеулер мен техникалық шешімдердің дұрыстығы тексеріліп, расталды.

1960 жылы 19 тамызда бортында Белка және Стрелка атты иттер бар «Восток» типті кеме ұшырылды. Бір жылдан кейін Ю.Гагарин ғарышқа ұшты.

1961 жылы 12 ақпанда Байқоңыр ғарышайлағынан «Молния» зымыранын ұшыру жүзеге асырылды, ол «Венера-1» стансысын Шолпан планетасының ұшу траекториясына шығарды. Осы ұшу барысында алғаш рет 1 400 000 км қашықтықтағы стансымен екіжақты байланыс жүзеге асырылды.

1962 жылы 23 сәуірде Канаверал мүйісі ғарышайлағынан «Atlas-Agena» зымырантасығышын ұшыру жүзеге асырылды, ол Жер маңындағы орбитаға америкалық «Ranger-4» ғарыш кемесін шығарды. Автоматты стансы 26 сәуірде Айдың бетіне жетті.

1962 жылы 1 қарашада «Марс-1» кеңестік автоматты стансысы (АС) іске қосылды. Стансы бортында ғылыми аспаптар кешені орнатылды. 1963 жылы 19 маусымда стансы Марс планетасының тұсынан ұшып өтіп, гелиоцентрлік орбитаға шығып, Күннің жасанды серігіне айналды.

1963 жылы 16 маусымда бірінші ғарышкер әйел В.В.Терешкова Жер айналасында ұшу сапарына шықты.

1965 жылы 18 наурызда – адамның ашық ғарышқа алғаш шығуын ғарышкер А.А.Леонов іске асырды, оның ашық ғарышта болу ұзақтығы 10 минутты құрады.

1969 жылы 16 шілдеде Канаверал мүйісі ғарышайлағынан «Saturn-5» зымырантасығышын ұшыру жүзеге асырылды, ол «Columbia»/ «Apollo-11» ғарыш кемесін Жер маңындағы орбитаға шығарды. Жер айналасында 1,5 айналым жасап, кеме Айдың бетіне жол тартты. 1969 жылы 20 шілдеде Айдың бетіндегі Тыныштық теңізіне Нил Армстронг және Эдвин Олдрин қонды. Ай бетіне бірінші болып Нил Армстронг түсті.

1970 жылдың 10 қарашасында «Протон-К» зымырантасығышы Айға ұшудың траекториясына бортында «Луноход-1» өздігінен жүру аппараты бар «Луна-17» автоматты планетааралық стансысын шығарды. Ол 17 қарашада Айға қонды.

1971 жылдың 14 қарашасында «Mariner-9» автоматтандырылған планетааралық стансысы Марс айналасында орбитаға шығарылды және ол әлемдегі бірінші Марстың жасанды серігі болды. Ол 7329 фотосуреттермен қоса, көптеген жаңа деректер берді.

1975 жылдың 17 шілдесінде «Союз-19» кеңестік басқарылатын ғарыш кемесі мен америкалық «Apollo CM-111» басқарылатын ғарыш кемесі түйісті.

1977 жылы 20 тамызда «Вояджер-2» іске қосылды. Ол Юпитерге 1979 жылы 9 шілдеде, Сатурнға 1981 жылы 25 тамызда, Уранға 1986 жылы 24 қаңтарда, ал Нептунға 1989 жылы 24 тамызда жетті.

1988 жылы 15 қарашада «Энергия-Буран» зымырантасығышын ұшыру жүзеге асырылды, ол Жер маңы орбитасына кеңестік көп дүркінді «Буран» стансысын шығарды. «Буран» көпсатылы кемесі әлемде алғаш рет Жерге автоматты түрде отырғызуды жүзеге асырды.

1989 жылы 18 қазанда Atlantis шаттлы «Galileo» Юпитерді зерттеу радиозондын іске қосты. Юпитерге жеткен соң 1994 жылы «Galileo» оның атмосферасын зерттеді. Юпитердің серіктері – Каллисто, Европа және Ганимедтің фотосуреттерін жіберді, оларда мұхиттардың бар екенін көрсетті, яғни тіршіліктің болуы да ғажап емес.

1990 жылы 5 сәуірде «Дискавери» шаттлы Жер орбитасына «Хаббл» телескопын шығарды. 2000 жылдың наурыз айындағы деректер бойынша, телескоптың көмегімен 330 мыңнан астам бақылау жүргізіліп, 25 мыңнан астам астрономиялық нысандар зерттелді.

1996 жылы 4 желтоқсанда АҚШ Марс планетасына «Mars Pathfinder» ғарыш кемесі ұшырды. Ғарыш кемесі 1997 жылы 4 шілдеде Марстың бетіне қонды. Ол «Sojourner» өздігінен жүру аппаратын жеткізді.

1997 жылы 15 қазанда Канаверал мүйісі ғарышайлағынан «Titan-401B» зымырантасығышы Сатурнға ұшуға арналған «Cassini» америкалық планетааралық стансысын алып ұшты. 2005 жылы 14 қаңтарда ғарышты игеру тарихындағы ең маңызды оқиғалардың бірі болды, бірде-бір аппарат Жерден осындай алыс қашықтыққа қонған емес еді.

2003 жылы 10 маусымда АҚШ «Spirit» ғарыш аппаратын іске қосты. Марсқа қону 2004 жылдың 4 қаңтарында Гусев кратері маңында өтті. Ұшудың негізгі міндеті Марс бетін зерттеу болатын.

2005 жылдың 4 шілдесінде 372 килограмдық «Deep Impact» америкалық ғарыш зонды сағатына 37 мың километр жылдамдықпен «Tempel I» кометасына соғылды. Қоршаған кеңістікке соқтығысу нәтижесінде шамамен 5,5 мың тонна су мен көміртегі қосылыстары және одан да көп шаңдар шығарылды.



4-тапсырма

Ғарыштық ұшулардың хронологиясын зерттей отырып, аспан нысандарын зерттеудің негізгі бағыттарын көрсетіндер. Зымырандардың әрбір ұшырылуы қандай негізгі мақсатты көздегенін жазыңдар.

Бақылау сұрақтары

1. Үлкен жарылыс теориясының шеңберінде мамандар Әлем эволюциясын қандай кезеңдерге бөлді?
2. Ньютондық классикалық космология қандай постулаттарға негізделген?
3. Әлемнің заманауи модельдерінің авторларын атаңдар. Бұл модельдердің мәні неде?
4. Жердің алғашқы жасанды серігі қашан іске қосылды?
5. Ғарыш кеңістігіне алғаш рет кім ұшты?
6. Ғарышкерлер қандай аспан денелеріне жетті?
7. Ай мен Марсқа арналған өздігінен жүру аппараттары қандай мақсатпен жасалды?
8. Юпитер планетасының серіктеріне зондтар қандай мақсатта жіберілді?
9. Ғарышкерлер ғарыштық ұшуларды жүзеге асыруда қандай жетістіктерге қолжеткізді?

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар:

1. Әлемнің құрылысындағы «Желі теориясы».
2. Әлемнің тамшылық моделі.
3. Адамзаттың ғарыштық келешегі.
4. Саналы тіршілікті іздеу нәтижелері туралы.

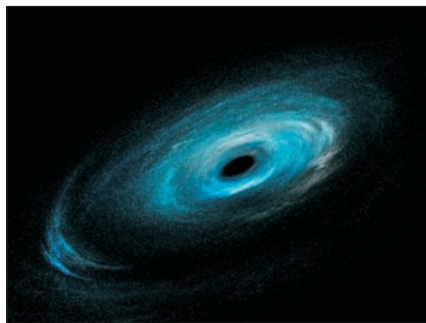
Ғарыштық телескоптар

Хаббл телескопы

«Хаббл» телескопы – NASA-ның Үлкен зертханалары қатарына кіретін NASA мен Еуропа ғарыш агенттігінің бірлескен жобасы. «Хаббл» телескопын орбитаға 1990 жылы 24 сәуірде «Discovery» ғарыш кемесі шығарды. Орбитаның биіктігі шамамен 569 км, айналу периоды 96–97 мин, орбиталық жылдамдығы, шамамен, 7500 м/с.

Ғарыш кеңістігінде телескоп орнату арқылы Жер атмосферасы мөлдір емес диапазондарда, ең алдымен инфрақызыл диапазонда электромагниттік сәулеленуді тіркеуге болады. «Хаббл» арқылы алынған ақпараттар бортық жинақтаушы құрылғыларда сақталады, содан кейін геостационар орбитада орналасқан TDRSS коммуникациялық жасанды серіктер жүйесі арқылы Годдард ғарыштық ұшулар орталығына жіберіледі. «Хаббл» телескопы көмегімен 15 жыл ішінде аспан денелерінің – жұлдыздардың, тұмандықтардың, галактикалардың, планеталардың 1,022 млн суреті алынды (297-сурет). Оның бақылау процесі кезінде ай сайын тіркейтін ақпараттар ағыны 480 Гб-ты құрады. Телескоп жұмыс істеген барлық уақыт ішінде жинақталған ақпарат көлемі 50 терабайт. 3900 астроном оны бақылау үшін қолдануға мүмкіндік алды, ғылыми басылымдарда 4000-ға жуық мақалалар жарияланды.

«Хаббл» бағдарламасы ресми түрде 2021 жылдың 30 маусымына дейін ұзартылды, одан кейін оны «Джеймс Уэбб» ғарыштық телескопы алмастырады.



297-сурет. Хаббл телескопының түсірген суреті. Қара құрдым

Планк телескопы

Планк – Еуропа ғарыш агенттігінің астрономиялық жасанды серігі, ғарыштық микротолқынды фон – реликтілік сәулеленудің вариациясын зерттеу үшін құрастырылған. Оны орбитаға 2009 жылы 14 мамырда «Ариан-5» зымырантасығышы шығарды. 2009 жылдың қыркүйегінен 2010 жылдың қарашасына дейінгі аралықта «Планк» өзінің зерттеу жұмысының негізгі бөлімін аяқтап, қосымша бөлімін орындауды бастады. Еуропа ғарыш агенттігінің ғарыштық ұшуларды басқару орталығы 2013 жылдың 23 қазанында телескопты өшіру үшін соңғы команданы жіберді. Өшіру жұмыстарының алдында «Планк» компьютерінің басқару жүйесі толығымен бұғатталды.



Тапсырма

Интернет желісі ақпараттарын қолданып анықтаңдар.

1. Ғарыштық кеңістікті зерттеу үшін қандай ұйымдар орбитаға телескоп жіберді?
2. Олардың зерттеу мақсаттары мен жетістіктері қандай?

12-тараудың қорытындысы

Жұлдызға дейінгі қашықтық	
1 парсек = 3,26 жарық жылы = 206 265 а.б. = $3 \cdot 10^{13}$ км	
$D = \frac{a}{\sin p}$	$D = \frac{206265''}{p} \text{ а.б.}$
Жұлдыздық шамалар және жұлдыздарға дейінгі қашықтық	
$M = m + 5 - 5 \lg D$	$M = m + 5 + 5 \lg p$
Жұлдыздың жарқырауы	
$L = R \cdot S$	$L = \sigma T^4 \cdot 4\pi r^2$
Хаббл заңы	
$cz = H_0 D$; қызыл ығысу $z = \frac{\nu - \nu_0}{\nu_0}$	$v = H_0 D$, $H_0 \approx 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$
Жұлдыздардың сәулелену қарқындылығы және жұлдыздық шамалар	
$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{m_2 - m_1}$	$\frac{I}{I_0} = 2,512^{M - m}$

Физикалық шамалар мен өлшем бірліктердің ХБЖ-да белгіленуі

Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ	Белгіленуі	Физикалық шама	ХБЖ
I_0	жұлдыздың 10 пк қашықтықтағы сәулелену қарқындылығы	Вт/м ²	R	беттік аудан бірлігінен шығарылатын сәулелену қуаты	Вт/м ²
I	сәулелену қарқындылығы	Вт/м ²	M	абсолют жұлдыздық шама	
S	жұлдыз бетінің ауданы	м ²	m	көрінерлік жұлдыздық шама	
L	жұлдыздың жарықтылығы	Вт	T	фотосфера температурасы	К
D	жұлдыздарға дейінгі қашықтық	м	z	қызыл ығысу	
a	Жер орбитасының үлкен жарты осі, 1 а.б. ≈ 150 млн.км	м	ν_0, ν	тыныштықтағы және алыстап бара жатқан жарық көзінің жиілігі	Гц
p	параллакс	1''	v	сәулелік жылдамдық	м/с

Глоссарий

Абсолют жұлдыздық шама M – Жерден 10 пк қашықтықтағы жұлдыздың көрінерлік жұлдыздық шамасы.

Галактика – жұлдыздардан және жұлдыз шоғырларынан, жұлдызаралық газ бен тозаңнан және қараңғы материядан тұратын гравитациялық байланысқан жүйе.

Космология – Әлемнің қасиеттері мен эволюциясын зерттейтін астрономия бөлімі.

Жұлдыздың жылдық параллаксы – аспан жұлдызынан орбита радиусына перпендикуляр бағытта Жер орбитасының орташа радиусы ($a = 1$ а.б.) көрінетін бұрыш.

Парсек – жұлдыздан орбита радиусына перпендикуляр бағытта Жер орбитасының орташа радиусы 1'' (бір секунд) бұрышпен көрінетін қашықтық.

Жұлдыздың жарқырауы L дегеніміз – бірлік уақыт ішінде жұлдыз бетінен шығарылатын энергия.

Жарық жылы – жарықтың бір жыл ішінде өтетін қашықтығы.

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР ЖӘНЕ КЕСТЕЛЕР

- Зертханалық жұмыстарда оларды жүргізу мақсаты, қажетті құрал-жабдықтар көрсетілген. Жұмыс барысы суреттер, кестелер және есептеу формулалары арқылы түсіндірілген.

1-қосымша. Зертханалық жұмыстар

1-зертханалық жұмыс

Трансформатор орамдарының санын анықтау

Жұмыстың мақсаты: екі вольтметр әдісімен трансформатордың орамаларындағы орам санын анықтау.

Құрал-жабдықтар: ток көзі, трансформатор, қимасы $0,75 \text{ мм}^2$ – 1 мм^2 сым, айнымалы кернеуді өлшеуге арналған екі вольтметр (мультиметрлер – электр тізбегіндегі ток күшін, кернеуді немесе кедергіні өлшеуге арналған аспаптар).

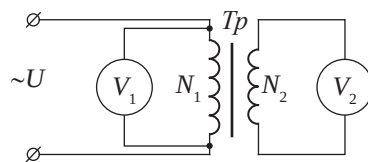
Қысқаша теория:

Трансформатордың бос жүрісінде екінші реттік орама жүктелмеген, бірінші реттік орамадан номиналды токтың бірнеше процентіне тең магниттелу тогы өтеді. Бұл жағдайда трансформатордың шығысындағы кернеулер олардың ЭҚК-ларына тең деп алуға болады. Сонда ЭҚК мен кернеудің қатынасы трансформатор орамаларындағы орамдар санының қатынасына тең:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (1)$$

1-суретте трансформатор орамаларындағы кернеуді анықтауға арналған тізбек сұлбасы берілген, мұндағы Tr – трансформатор, N_1 – бірінші реттік орамадағы орамдар саны, N_2 – екінші реттік орамадағы орамдар саны, V_1 , V_2 – вольтметрлер. Өлшеулерді дәлдік класы 0,3 және 0,2 болатын аспаптармен жүргізу қажет. Аспаптардың көрсеткіштері шкаланың ортаңғы бөлігінде болуы тиіс. Шкаланың шекті мәндерін пайдалануға болмайды, бұл үлкен қателікке әкелуі мүмкін. Бірінші реттік орамадағы орамдар санын анықтау үшін шарғының екінші реттік орамасының үстінен уақытша орама, яғни қандай да бір орам санын орау қажет.

Бірінші реттік және уақытша орамаға жалғанған вольтметр көрсеткіштерін анықтағаннан кейін бірінші реттік орамадағы орамдар санын есептеуге болады, содан кейін тасымалдау коэффициентінің мәні бойынша екінші реттік орамадағы орамдар санын анықтауға болады.



1-сурет

Жұмыстың орындалу реті

1-тапсырма. Бірінші реттік орамадағы орамдар санын анықтау

1. Трансформатордың екінші реттік орамасына сымның 10 орамын ораңдар.
2. Тиісті жұмыс режимін және өлшенетін шамалардың аралықтарын көрсету арқылы вольтметрлерді немесе мультиметрлерді орамаларға жалғандар.
3. Айнымалы ток көзінен бірінші реттік орамаға кернеу беріңдер. Кернеу номиналды шаманың 10–20 %-ін құрауы тиіс.
4. Вольтметр көрсеткіштерін кестеге жазыңдар.
5. Бірінші реттік орамадағы орамдардың санын есептендер, оны 1-кестеге енгізіңдер.

Өлшенді			Есептелді
Уақытша орамадағы орамдар саны N_2	Уақытша орамадағы кернеу U_2, B	Бірінші реттік орамадағы кернеу U_1, B	Бірінші реттік орамадағы орамдардың жуық саны $N_{1жуық}$

2-тапсырма. Екінші реттік орамадағы орамдар санын анықтау

1. Екінші вольтметрді трансформатордың уақытша орамасынан екінші реттік орамасына ауыстырыңдар.
2. Вольтметр көрсеткіштерін алып, 2-кестеге енгізіңдер.
3. Екінші реттік орамадағы орамдар санын есептендер.

Өлшенді			Есептелді
Бірінші реттік орамадағы кернеу U_1, B	Екінші реттік орамадағы кернеу U_2, B	Бірінші реттік орамадағы орамдардың жуық саны $N_{1жуық}$	Екінші реттік орамадағы орамдардың жуық саны $N_{2жуық}$

3-тапсырма. Өлшеулер мен есептеулер қателігін бағалау, нәтижелерді қателікті ескеріп жазу

1. Кернеуді өлшеудің $\Delta_v = \Delta_a + \Delta_{сан}$ абсолют қателігін анықтаңдар, мұндағы $\Delta_a = \frac{\text{өлшеу шегі} \cdot \gamma}{100}$ – аспаптық қателік, γ – аспаптың дәлдік класы (панельде көрсетілген), $\Delta_{сан} = \frac{c}{2}$ – санақ қателігі, c – аспаптың бөлік құны.
2. N_2 орамдар саны қателіксіз анықталғандықтан, бірінші реттік орамадағы орамдар санын есептеудің салыстырмалы қателігін $\varepsilon_{N_1} = \frac{\Delta U_1}{U_1} + \frac{\Delta U_2}{U_2}$ формуласы бойынша анықтаңдар.
3. Орамдар санын анықтау кезінде абсолют қателікті мына формула бойынша есептеңдер: $\Delta N_1 = N_{1жуық} \cdot \varepsilon_{N_1}$
4. Екінші реттік орамадағы орамдар санын есептеудегі қателікті дәл осылай анықтаңдар. Есептеулерді орындай отырып, бірінші реттік орамадағы орамдардың санын анықтаудың қателігін ескеріңдер.

5. Қателіктерді ескеріп, трансформатордың орамаларындағы орамдар санының мәнін жазыңдар: $\varepsilon_{N_1} = \dots \%$ болғанда $N_1 = N_{1.жұмық} \pm \Delta N_1$. $\varepsilon_{N_2} = \dots \%$ болғанда $N_2 = N_{2.жұмық} \pm \Delta N_2$.

2-зертханалық жұмыс

Ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтау

Жұмыстың мақсаты: тұрғын толқынның түйіндерін анықтау, олардың арасындағы қашықтықты өлшеу, ауадағы дыбыс толқынының жылдамдығын есептеу.

Қажетті құрал-жабдықтар: биіктігі 40 см суы және жалғану түтігі бар екі шыны ыдыс, жиілігі 1 кГц-тен асатын дыбыс толқындарының генераторы, микрофон, өлшеу таспасы, маркер.

Ескерту: Генераторды 1-ден 20000 Гц-ке дейінгі жиіліктегі «дыбыстық толқындардың қарапайым генераторы» программасы орнатылған микрофоны бар ұялы телефонмен алмастыруға болады.

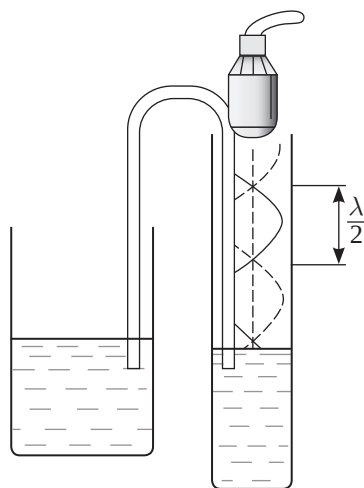
Қысқаша теория:

Дыбыс жылдамдығын тұрғын толқын әдісімен анықтау дегеніміз тұрғын толқында шоқтықтардың немесе түйіндердің орналасуын анықтау және олардың арасындағы қашықтықты өлшеу болып табылады. 2-суретте ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтайтын қондырғы бейнеленген. Ол қатынас ыдыстардан тұрады. Дыбыс көзі – ыдыстардың бірінен жоғары орналасқан динамик. Оған дыбыстық жиілік генераторынан сигнал беріледі. Генератор электр сигналының жиілігін реттеуге мүмкіндік береді.

Екінші ыдыстың тік жоғары орын ауыстыруы кезінде бірінші ыдыстағы сұйық деңгейі өзгертін болады, бұл ондағы ауа бағанасының биіктігін өзгертуге әкеледі. Дыбыс қаттылығы өзгереді: күшейеді, содан кейін толық жойылғанға дейін әлсірейді, содан соң ең жоғары дыбыс деңгейіне дейін қайта күшейеді. Екі түйін арасындағы қашықтықты өлшеу үшін ыдыста дыбыстың жоғалуы кезіндегі сұйық деңгейін белгілеу жеткілікті. Егер сызғыш бойымен белгіленген осы биіктіктер h_1 және h_2 болса, онда

$$(h_2 - h_1) = \frac{\lambda}{2},$$

ауадағы дыбыс жылдамдығы: $v = 2\nu (h_2 - h_1)$.



2-сурет. Ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтайтын қондырғы

Жұмыстың орындалу реті

1. 2-суретте бейнеленген қондырғыны жинаңдар.
2. Дыбыстық тербелістер генераторын іске қосыңдар.
3. Дыбыс жиілігін 2 кГц-ке ауыстырыңдар.
4. Екінші ыдысты баяу қозғалта отырып, бірінші ыдыста дыбыстың жоғалуы кезіндегі сұйықтың екі деңгейін анықтаңдар. Бұл деңгейлерді дыбыстың қабырғасына маркермен белгілеңдер.
5. Ыдысты жоғары тік жылжытып, дыбыс жоғалатын барлық деңгейлерді белгілеңдер.

6. Барлық алынған белгілер арасындағы қашықтықты өлшендер.
7. $\Delta h = \frac{\lambda}{2}$ екенін ескеріп, дыбыс толқынының жылдамдығын есептендер, нәтижелерді 3-кестеге енгізіңдер.

3-кесте

Тәжірибе нөмірі	Дыбыстық сигнал жиілігі ν , Гц	Көршілес екі минимум арасындағы қашықтық l , м	Дыбыс толқынының ұзындығы λ , м	Дыбыс жылдамдығы v , м/с
	2000			
	3000			

8. Абсолют және салыстырмалы қателіктерді статистикалық әдіспен анықтаңдар.
9. Қателікті ескере отырып, жауапты жазыңдар.
10. 3 кГц дыбыс жиілігінде өлшеуді қайталаңдар.
11. 2 кГц және 3 кГц жиіліктердегі өлшеу нәтижелерін кестеде берілген бөлме температурасындағы (20 °C) дыбыс жылдамдығының 343,1 м/с мәнімен салыстырыңдар.
12. Жиілікті арттыру өлшеу дәлдігіне қалай әсер етті?

3-зертханалық жұмыс

Дифракциялық тордың көмегімен жарықтың толқын ұзындығын анықтау

Жұмыстың мақсаты: дифракциялық тордың көмегімен жарық толқынының ұзындығын анықтау.

Қажетті құрал-жабдықтар: периоды $\frac{1}{100}$ мм немесе $\frac{1}{50}$ мм дифракциялық тор,

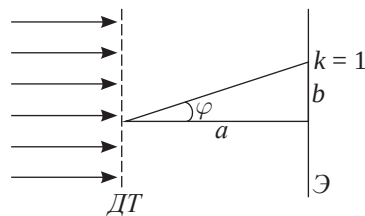
штатив, дифракциялық торды бекіткіш және өлшеуіш сызғышы бар үстел, жарық көзі, миллиметрлік шкаласы бар жіңішке вертикаль саңылаулы қара экран.

Қысқаша теория:

3-суретте қондырғының сұлбасы берілген: ДТ – дифракциялық тор; Э – экран; a – дифракциялық тордан экранға дейінгі қашықтық; b – центрдегі дақтан бірінші ретті максимумға дейінгі қашықтық. λ толқын ұзындығын дифракциялық тордың максимум шартынан анықтаймыз:

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

мұндағы d – тор периоды, k – спектр реті, φ – сәйкес түс жарығының максимумы бақыланатын бұрыш. Бірінші және екінші ретті максимумдар бақыланатын бұрыштар 5°-тан аспайтындықтан, бұрыштардың синустарын тангенстерге алмастыруға болады. 3-суреттен көретініміз:



3-сурет. Дифракциялық тордағы сәулелердің таралу жолдары

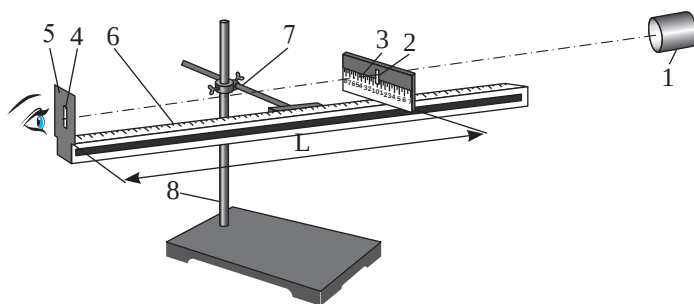
$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{a}$. Мұндағы a арақашықтығы – тордан экранға дейінгі аралық, сызғышпен

өлшенеді, b арақашықтығы – саңылаудан таңдалған спектр сызығына дейінгі аралық, экран шкаласымен өлшенеді. Толқын ұзындығын анықтау үшін қолданылатын формула мына түрге келеді: $\lambda = \frac{d b}{k a}$.

Тапсырма. Қызыл жарықтың максимал толқын ұзындығын және күлгін жарықтың минимал толқын ұзындығын анықтау

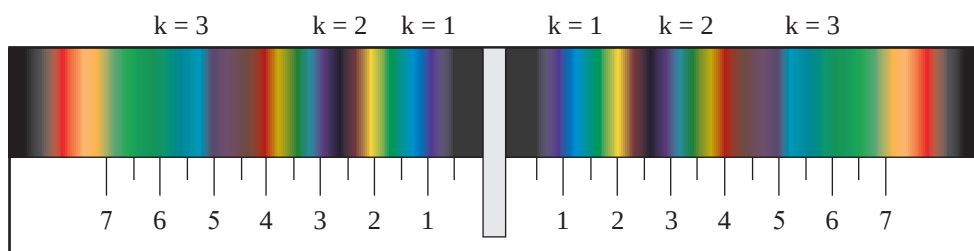
Жұмыстың орындалу реті

1. 4-суретте көрсетілген қондырғыны жинаңдар. Штатив (8) қыстырғышына (7) көтергіш үстелді (6) бекітіндер, бекіткішке (5) дифракциялық торды (4) орнаттыңдар, тордан 50 см қашықтықта экранды (3) қойыңдар.



4-сурет. Толқын ұзындығын анықтауға арналған қондырғы

2. Қондырғыдан қандай да бір қашықтықта (1) қыздыру қылы бар жарық көзін орналастырыңдар (май шам алауын қолдануға болады). Жарық сәулелері экран саңылауы (2) арқылы дифракциялық торға түсуі керек.
3. Бекітілген торды дифракциялық спектрлер вертикаль түсетіндей етіп орналастырыңдар (5-сурет).



5-сурет. Дифракциялық спектрлер

4. Саңылаудан бірінші және екінші ретті жарықтандыру максимумына дейінгі қашықтықты өлшеңдер. Нәтижелерді 4-кестеге енгізіңдер.
5. Қызыл түсті жарық толқынының максимал ұзындығын анықтаңдар. Нәтижелерді 4-кестеге енгізіңдер.
6. Күлгін түсті жарық толқынының минимал ұзындығын анықтаңдар.

Спектр реті	Тордың периоды $d, м$	Тордан экранға дейінгі қашықтық $a, м$	Саңылаудан жарықтандыру максимумы шекарасына дейінгі қашықтық $b, м$		Толқын ұзындығы $\lambda, м$	
			қызыл түсті жарықтың	күлгін түсті жарықтың	қызыл түсті жарықтың, λ_{max}	күлгін түсті жарықтың, λ_{min}
Сол жақтағы 1						
Оң жақтағы 1						
Сол жақтағы 2						
Оң жақтағы 2						

7. 1 және 2-ретті спектрлер үшін қызыл және күлгін түстер толқындарын өлшеудің салыстырмалы қателігін анықтаңдар.

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a}{a},$$

мұндағы $\Delta b = \Delta_{сан} + \Delta_a$, $\Delta a = \Delta_{сан} + \Delta_a - a$ және b кесінділерін өлшеудің абсолют қателіктері.

8. Абсолют қателіктерді мына формуламен есептендер: $\Delta \lambda = \lambda_{\kappa} \cdot \varepsilon_{\lambda}$, $\Delta \lambda = \lambda_{\kappa} \cdot \varepsilon_{\lambda}$.
 9. Алынған нәтижелерді салыстырыңдар. Қай өлшеуде қателік аз?
 10. Толқын ұзындықтарының мәнін қателікті ескеріп жазыңдар.
 11. Орындалған жұмыс бойынша қорытынды жасаңдар.

Бақылау сұрақтары

- Неліктен күлгін түстің сәулелеріне қарағанда қызыл түстің сәулелері жарықтандырудың центрлік максимумынан алысырақ орналасады?
- Неліктен спектр ретін арттырғанда спектр шекаралары байқалмайды?

4-зертханалық жұмыс

Жарықтың интерференциясын,

дифракциясын және поляризациясын бақылау

Жұмыстың мақсаты: жарықтың интерференциясы, дифракциясы және поляризациясы құбылыстарын талдау арқылы жарықтың электромагниттік табиғатын тәжірибе жүзінде дәлелдеу.

Құрал-жабдықтар: Шыны пластиналар – 2 дана; қыздыру қылы түзу шам, штангенциркуль (қара қатты қағазбен және жүзбен (лезвие) алмастыруға болады), дифракциялық тор, поляризатор, анализатор, фотоэлемент, гальванометр. Құбылыстарды зерттеуді қажетті құралдар бар оптикалық орынықта жүргізу ұсынылады.

Қысқаша теория:

Жарықтың толқындық қасиеттері интерференция, дифракция, поляризация сияқты құбылыстарда бақыланады. Интерференция – когерентті толқындарды кеңістікте жарықтандыру максимумы мен минимумдарына жіктеу арқылы қабаттастыру.

Интерференциялық көрініс когерентті сәулелердің таралу жолдарының айырымына тәуелді және түстерге боялуы да ерекше. Дифракция – толқындардың кедергілерді орағытып өтуі нәтижесіндегі қабаттасуы, осы кезде белгілі бір тәртіппен орналасқан күлгін түстен қызыл түске дейінгі спектрлер бақыланады. Поляризацияланған жарық толқынында тербеліс тек поляризация жазықтығында орындалады, оны жарық қарқындылығын кеміту арқылы анализатор көмегімен анықтауға болады.

1-тапсырма. Жарық интерференциясын анықтау

Жұмыстың орындалу реті

1. Екі шыны пластинаны жақсылап сүртіндер. Оларды беттестіріп, саусақтарыңмен қысыңдар.
2. Пластиналарға қою фонда шағылған жарықпен қараңдар. Пластиналарды оларда ашық түсті жарқылдар пайда болмайтындай етіп орналастырыңдар.
3. Пластиналар тығыз жанасатын жерлерде, жарық толқыны ұзындығымен шамалас арақашықтықтарда түрлі түсті тұйық сызықтар пайда болады. Оларды бейнелендер.
4. Алынған интерференциялық көріністердің пластиналар арасындағы ауа қабатының қалыңдығына тәуелділігіне байланысты пішіндері мен орналасуларындағы өзгерістерді сипаттаңдар. Ауа қабатының қалыңдығын пластиналарды қатты қысу арқылы өзгертіндер.
5. Пластина бетіне көру бұрышын өзгертіп қарау арқылы интерференцияны бақылаңдар. Осы құбылысты сипаттаңдар.
6. Тесіп өтетін жарықтағы интерференциялық көріністі бақылаңдар. Алынған көріністерде қандай түстер бақыланады?

2-тапсырма. Жарық дифракциясын бақылау

Жұмыстың орындалу реті

1. Штангенциркульдің сырғытпасын губкалар арасында ені 0,5 мм саңылау пайда болғанша жылжытыңдар (қара қағазда өткір жүзбен (лезвие) қалыңдығы 0,5 мм саңылау кесіндер).
2. Саңылауды вертикаль орналастырып, көзге жақындатыңдар.
3. Саңылау арқылы вертикаль орналасқан жарқырайтын шам қылына қараңдар, жіптің екі жағындағы түрлі түсті жолақтарды (дифракциялық спектрлерді) бақылаңдар, оларды бейнелендер.
4. Саңылау енін 0,5 мм-ден 0,8 мм-ге дейін өзгертіп, жіңішкерек саңылауларға өткенде дифракциялық жолақтар ажырап, ендері артып, әртүрлі спектрлер түзілетініне көз жеткізіндер. Ең кең саңылау арқылы қарағанда жолақтар өте жіңішке және бір-біріне жақын орналасады.
5. Қорытынды жасаңдар.
6. Дифракциялық торды қолданып, бақылауды қайталаңдар. Саңылау арқылы және дифракциялық тор арқылы алынған дифракциялық көріністердің айырмашылығы неде?

3-тапсырма. Интерференциялық және дифракциялық көріністерді салыстыру

Жұмыстың орындалу реті

1. Жұқа ауа пленкасындағы интерференциялық көрініс пен саңылаудан алынған дифракциялық көріністің салыстырмалы кестесін (5-кесте) құрыңдар.

Салыстыру параметрлері	Интерференциялық көрініс	Дифракциялық көрініс
Спектрдің барлық түстерінің болуы		
Түстердің орналасу реті		
Көріністің қабат (саңылау) қалыңдығына тәуелділігі		
Тек осы құбылысқа тән ерекшеліктер		

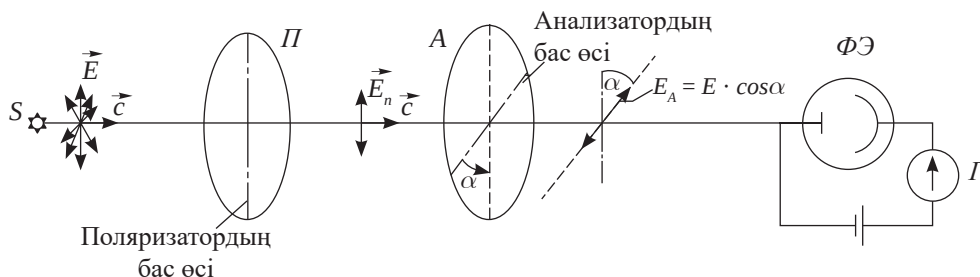
Ескерту: Кестені өздерің қалаған бақылау параметрлерімен толықтыруға болады.

- Интерференциялық және дифракциялық көріністердің ұқсастықтары мен айырмашылықтары туралы қорытынды жасап, оны жарықтың толқындық теориясы негізінде түсіндіріңдер.

4-тапсырма. Жарық поляризациясын бақылау

Тәжірибелік қондырғының сипаттамасы

Тәжірибелік қондырғы S жарық көзінен, Π және A (поляризатор және анализатор) екі поляризатордан; G гальванометрі бар $\Phi Э$ фотоэлементтен тұрады (6-сурет).



6-сурет. Жарық поляризациясын бақылауға арналған тәжірибелік қондырғы

S көзінен түскен жарық Π поляризатордан өткен соң, жазық поляризацияланған болады. Егер Π және A бас өстері параллель болса, $\Phi Э$ -ге түсетін жарық қарқындылығы максимал, егер перпендикуляр болса, онда жарық қарқындылығы нөлге тең. Басқа жағдайларда қарқындылық аралық мәндерге ие. G гальванометр мен $\Phi Э$ -дегі ток күші мәндерінен жарық қарқындылығын байқауға болады. Өлшеулерді қараңғыланған бөлмеде жүргізген дұрыс.

Жұмыстың орындалу реті

- G гальванометрді $\Phi Э$ тізбегіне жалғап, оның тілшесін нөлге қойыңдар.
- Жарық көзін қосыңдар.
- A анализатордың айналуы арқылы гальванометр көрсеткішінің максимал мәнін алыңдар. Ол аспаптың өлшеу шегінен аспауы керек.
- Анализаторды 90° -қа бұрып, гальванометр көрсеткішін анықтаңдар. Алынған ток күшінің мәнін келесі өлшеулердегі гальванометр көрсеткішінен азайтып отыру керек. Себебі олар $\Phi Э$ -ні жарықтандыратын басқа жарық көздерінен алынған. Жақсы қараңғыланған бөлмеде гальванометр көрсеткіші нөлге тең болады.

5. Әрбір өлшеу кезінде анализатор өсінің көлбеулік бұрышын 15° -қа өзгертіп, ток күшін өлшеңдер. 0° -тан 360° -қа дейін толық бір айналым үшін орындап, нәтижелерді 6-кестеге енгізіңдер.

6-кесте

№ тәжірибе	α	$\cos\alpha$	$\cos^2\alpha$	I

6. Кесте мәліметтері бойынша I фототок күшінің α бұрылу бұрышының квадратына тәуелділік графигін тұрғызыңдар.
7. Сұраққа жауап беріп, қорытынды жасаңдар: Жарық қарқындылығы (фототок күші) A және B өстері арасындағы бұрылу бұрышына тәуелді ме?

Тапсырма

Интернет желісінен Малюс заңы туралы мәліметтерді табыңдар. Алынған нәтижелер заңмен сәйкес келе ме?

Бақылау сұрақтары

1. Жарық интерференциясы деген не? Жарық дифракциясы деген ше?
2. Қандай толқындарды когерентті деп атайды?
3. Оптикалық таралу жолдарының айырымы деген не?
4. Қандай жағдайда жарықтандырудың максимумы мен минимумы бақыланады?
5. Қандай жарық табиғи деп аталады? Қандай жарық поляризацияланған деп аталады?
6. Анализатор, поляризатор деген не?

5-зертханалық жұмыс

Шынының сыну көрсеткішін анықтау

Жұмыс мақсаты: тәжірибе жүзінде шынының сыну көрсеткішін анықтау және тәжірибенің жасалуын жақсарту жолдарын ұсыну.

Құрал-жабдықтар: шыны жазық параллель пластина, 4 дана ағылшын түйреуіші, ақ қағаз, транспортир.

Қысқаша теория:

Шынының сыну көрсеткішін анықтау үшін Снеллиус заңын қолданамыз:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Бірінші орта ауа үшін $n_1 = 1$ екенін ескере отырып және бұрыштардың синусын сәйкес бөліктердің қатынасына алмастырып, мынаны аламыз:

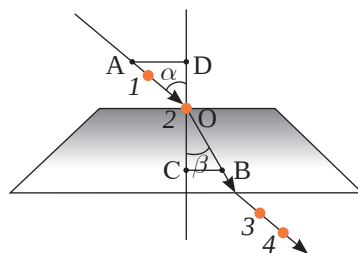
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{AD \cdot OB}{AO \cdot CB} = n_2.$$

Егер салу кезінде $AO = OB$ шарты орындалса, онда $n = \frac{AD}{CB}$.

Тапсырма. Сәуленің түсу бұрыштарының әртүрлі мәндерінде шынының сыну көрсеткішін анықтау

Жұмыстың орындалу реті

1. Қағаз бетіне жазық параллель пластинаны қойып, оны айналдырып сызыңдар.
2. Қағазға 1- және 2-түйреуіштерді қолданыңдар. (2) пластинаға тақап, екіншісін өз қалауыңмен қадандар (7-суретті қараңдар).
3. Түзу сызықты таралуы қасиетіне сәйкес, сәуле пластинада екі рет сынғаннан кейін таралатын түзу сызықты анықтаңдар. Ол үшін 3- және 4-түйреуіштерді пластина алдына олардың әрқайсысы бақылаушының көзіне жақын орналасқан түйреуіш артынан көрінбейтіндей етіп қадандар.
4. Қағаз бетінен түйреуіштерді де, пластинаны да алып тастаңдар. 1- және 2-нүктелерден пластинаға түсетін сәулені жүргізіңдер. 3- және 4-нүктелерден пластинадан шыққан сәулені жүргізіңдер. Түсу нүктесін сәуленің пластинадан шығу нүктесімен салыстырыңдар. Алынған сызық – шыныда сынған сәуле.
5. Түскен және сынған сәулелерде O сәуленің түсу нүктесінен бірдей қашықтықта AO және OB кесінділерін белгілеңдер. OB кесіндісі бірінші сынған сәуледе жатады. A және B нүктелерінен сәуленің O түсу нүктесі арқылы өтетін түзуге перпендикулярлар түсіріңдер.
6. Түсу нүктелері әртүрлі екі тәжірибеде AD және CB кесінділерін өлшеп, сыну көрсеткіштерін анықтаңдар. Нәтижелерді 7-кестеге енгізіңдер.



7-сурет. Жазық параллель пластинадағы сәулелердің жүру жолдарын салу

7-кесте

№ тәжірибе	Өлшенді		Есептелді
	$AD, \text{ мм}$	$CB, \text{ мм}$	$n_{\text{жүйе}} = \frac{AD}{CB}$
1			
2			

Екі тәжірибе үшін сыну көрсеткіштерінің жанама өлшеулерінің салыстырмалы қателіктерін мына формуламен анықтаңдар: $\varepsilon_n = \frac{\Delta AD}{AD} + \frac{\Delta CB}{CB}$

мұндағы $\Delta = \Delta_{\text{сан}} + \Delta_a - AD$ және CB кесінділерін өлшеудің абсолют қателігі.

$\Delta_{\text{сан}}$ – санақ қателігі, Δ_a – аспаптық қателік.

$\Delta_{\text{сан}}$ және Δ_a өлшеуіш аспап – сызғыштың сызықтарының жартысына тең деп алуға болады, сонда:

$$\Delta = \frac{c}{2} + \frac{c}{2} = c = 1 \text{ мм}, \quad \varepsilon_n = \frac{1}{AD} + \frac{1}{CB}.$$

7. Сыну көрсеткішін есептеудегі абсолют қателікті анықтаңдар:

$$\Delta n = n \cdot \varepsilon_n$$

8. Екі тәжірибе үшін сыну көрсеткішін өлшеу нәтижелерін мына түрде жазыңдар:

$$\varepsilon_n = \dots \% \text{ болғанда } n = n_{\text{жүйе}} \pm \Delta n.$$

9. Жасалған жұмыс жайлы қойылған мақсатқа сәйкес қорытынды жасаңдар. Тәжірибе жасауды жақсарту, өлшемдердің нақтылығын арттыру туралы ұсыныстар жасаңдар.

6–зертханалық жұмыс

Сәулеленудің сызықтық және тұтас спектрлерін бақылау

Жұмыс мақсаты: Сәулеленудің тұтас және сызықтық спектрлерін салыстыру. Спектралды түтікшені толтыратын газды сәулелену спектрлерінің сызығымен сәйкестендіру. Спектр сызығы енінің призманың сыну бұрышына тәуелділігін есептеп табу.

Құрал-жабдықтар: Проекциялық құрылғы, сутекті, неонды немесе гелийлі спектрлік түтікше, жоғары вольтты индуктор, қуат көзі, штатив, байланыс сымдары, люминесцентті шам (бұл құрылғылар барлық сынып үшін ортақ болып табылады), жақтары қиғашталған шыны пластина (әрқайсысына жеке беріледі).

Қысқаша теория:

Қызған денелер сәуле шығарады, алайда олардың сәулеленулерінің жиілік диапазондары әртүрлі болуы мүмкін. Сондықтан спектрлер тұтас, сызықтық, жолақты бола алады. Спектр түріне қарап жанатын түтікшеде қандай газ бар екенін анықтауға болады. Спектрлерді бақылауда призмалар немесе дифракциялық торларды қолданады. Призманың сыну бұрышы сәуленің бастапқы бағытынан ауытқуын және спектр енін анықтайды.

1-тапсырма. Тұтас спектрді бақылау

Жұмыстың орындалу реті:

1. Шыны пластинаны көз алдына горизонталь етіп орналастырыңдар. 45° бұрышты құрайтын жақтардан экрандағы ашық вертикаль сызықты – проекциялық аппараттың қозғалмалы саңылауының кескінін бақылаңдар.
2. Алынған тұтас спектрдің негізгі түстерін атаңдар және оларды бақыланып отырған реті бойынша жазыңдар.
3. Тәжірибені қайталаңдар. Сызықты 60° бұрыш жасайтын жақтар арқылы бақылаңдар. Айырмашылықтарды спектрлер түрінде жазыңдар.

2-тапсырма. Сәулеленудің сызықтық спектрін бақылау

Жұмыстың орындалу реті:

1. Люминесцентті шамның спектрін қарастырыңдар, сынап буларының спектріне қатысты сары, жасыл, күлгін сызықтарды табыңдар.
2. Шыны призманың жақтары арқылы жанатын спектрлі түтікшелердің сызықтық спектрлерін қарастырыңдар. Түс кестесіне бақыланып отырған спектрлердің неғұрлым жарқын сызықтарын жазыңдар, спектр енінің призманың сыну бұрышына қалай тәуелді екенін көрсетіндер.

8-кесте

Тәжірибе №	Спектр түрі	Спектрдегі сызықтар	Сәулелену көзі (түтікшедегі газ)	Спектр енінің призманың сыну бұрышына тәуелділігі	
				45°	60°
1	Сәулеленудің сызықтық спектрі				
2					
3					
4					

9-кестеде берілген түрлі газдардың сәулеленулерінің спектр сызықтарын сендер жазып алған спектр сызықтарымен салыстырыңдар.

Газ спектрлеріндегі сызықтардың көрінетін түстері	
Сутек	Күлгін, көк, жасыл, қызыл.
Гелий	Көк, көгілдір, жасыл, қызғылт сары, қызыл.
Неон	Жасыл сызықтар, сары, көптеген қызғылт сары және қызыл түстер. Қызыл сызықтардың басымдығы.
Криптон	Көк және көгілдір сызықтардың басымдығы, жалғыз сызықтар: жасыл, сары, қызғылт сары.
Аргон	Күлгін және көк сызықтар; жалғыз сызықтар: көгілдір, жасыл, сары, қызғылт.

Сендер бақылап отырған түтікшелердің әрқайсысы қандай газбен толтырылғанын анықтаңдар.

Өздерің қарастырған спектрлерді салыстырып, қорытынды жазыңдар.

Бақылау сұрақтары

1. Спектрлік талдау әдісімен газдардың құрамын қалай анықтайды?
2. Призманың сынған бұрышы бақыланып отырған спектрдің сапасына қалай әсер етеді?
3. Жұтылу спектрі қай кезде пайда болады және оның тұтас, сызықтық спектрлерден қандай айырмашылығы бар?

7-зертханалық жұмыс

Дайын фотосурет бойынша зарядталған бөлшектердің тректерін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: зарядталған бөлшектердің магнит өрісіндегі қозғалысын түсіндіру. Вильсон камерасында зарядталған бөлшектер қозғалысының фотосуреттерін сипаттау дағдыларын қалыптастыру.

Құрал-жабдықтар: зарядталған бөлшектер тректерінің фотосуреттері, мөлдір қағаз, сызғыш.

Қысқаша теория:

Вильсон камерасы – қаныққан бұмен толтырылған герметикалық жабық ыдыс. Камераға ұшып кірген зарядталған бөлшектерден түзілетін иондар конденсация центрі болады. Сұйық тамшылары ұшып өткен бөлшектердің іздерін – тректі көрсетеді, ол бөлшектер туралы ақпарат береді. Егер Вильсон камерасы магнит өрісіне орналастырылса, онда қозғалатын зарядталған бөлшектерге Лоренц күші әсер етеді:

$$F_L = q \cdot v \cdot B \quad (1)$$

Ол центрге тартқыш күш болып табылады:

$$F_L = \frac{mv^2}{r} \quad (2)$$

(1) және (2) формулалардан бөлшектердің тректерінің сызығының қисықтық радиусын табамыз:

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \quad (3)$$

Классикалық механикаға сәйкес бөлшектердің кинетикалық энергиясы мынаған

тең:

$$E = \frac{B^2 \cdot r^2 \cdot q^2}{2m} \quad (4)$$

(3) және (4) формулалардан зарядталған бөлшектердің тректері туралы қорытынды шығады:

- трек бу атомдарының көп санын иондауға қабілетті заряды көп бөлшекте болады;
- егер бөлшектердің зарядтары бірдей болса, онда жылдамдығы аз зарядтың іздері қалың болады;
- қозғалыс соңында бастапқы деңгейге қарағанда бөлшектердің іздері қалың, себебі бөлшектердің жылдамдығы ортаның атомдарын иондауға энергия жұмсауы есебінен азаяды;
- тректің ұзындығы зарядталған бөлшектердің бастапқы энергиясына және қоршаған ортаның тығыздығына байланысты: бөлшектердің энергиясы көп және ортаның тығыздығы аз болса, трек ұзынырақ;
- бөлшектер магнит өрісінде қозғалғанда трек қисық болып шығады, трек қисықтығының радиусы массаға, зарядқа, бөлшектердің жылдамдығына және магнит өрісінің индукциясының модуліне байланысты: бөлшектердің массасы мен жылдамдығы көп және оның заряды мен магнит өрісінің индукциясының модулі аз болған сайын трек қисықтау болады;
- тректің қисықтық радиусының өзгеруі бойынша бөлшектердің қозғалыс бағытын және оның жылдамдығының өзгерісін анықтауға болады: қозғалыс басталғанда және жылдамдық көп болса, тректің қисықтық радиусы үлкен болады.

Трек қисығының радиусын өлшеп, магниттік индукция векторының белгілі мәнде- рінде бөлшектер зарядының массаға қатынасын және бөлшектердің қозғалыс жылдам- дығын есептеуге болады: $\frac{q}{m} = \frac{v}{r \cdot B}$.

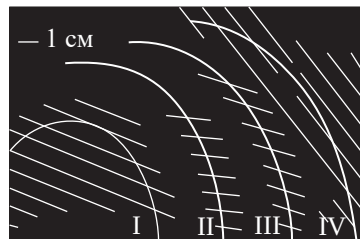
Бұл қатынас нәтижені кестелік шамалардың қатынасымен салыстыру кезінде бөлшек- терді сәйкестендіруге мүмкіндік береді. Мысалы, протон үшін: $\frac{q_p}{m_p} \approx 0,96 \cdot 10^8$ Кл/кг;

гелий ядросы үшін: $\frac{q_{He}}{m_{He}} \approx 0,48 \cdot 10^8$ Кл/кг; электрон үшін: $\frac{q_e}{m_e} \approx 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

1-тапсырма. Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалыс сипатын түсіндіру

Жұмыстың орындалу реті

1. 8-суреттегі перпендикуляр бағытталған индукциясы $B = 2,17$ Тл магнит өрісінде қозғалатын жеңіл элементтердің ядроларының соңғы 22 см траекториясы бейнеленген фотосуретті қараңдар. Барлық ядролардың бастапқы жылдамдығы бірдей және магнит өрісінің сызықтарына перпендикуляр.
2. Бөлшектердің траекториялары неге шеңбердің доғасы болып табылатынын түсіндіріңдер.
3. Түрлі ядролардың траекторияларының қисықтығының әртүрлі болуының себебі неде?
4. Неге әрбір траекторияның қисықтығы бөлшектердің бастапқы қозғалысынан соңына қарай өзгереді?
5. Түрлі ядролардың трек қалыңдықтарының әртүрлі болуы неге байланысты екенін түсіндіріңдер. Неге әрбір бөлшектің трегі бастапқыға қарағанда қозғалыс соңында қалың?



8-сурет. Жазық параллель пластинадағы сәулелердің жүру жолдарын салу

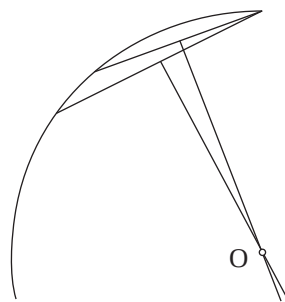
2-тапсырма. Трек бойынша бөлшектер энергиясының өзгеруін анықтау
Жұмыстың орындалу реті

1. Бастапқы қозғалыста және оның соңында I бөлшектер трегінің қисықтық радиустарын өлшендер. Радиусты анықтау тәсілі: фотосуретке мөлдір парақты беттестіріп, I тректі бастырып сызындар. 9-суретте көрсетілгендей, екі хорданы сызып, осы хорда центріне түсетін перпендикулярлар салындар. Перпендикулярлардың қиылысу нүктесінде шеңбердің центрі жатыр, оның радиусын сызғышпен өлшендер.
2. Формула бойынша қозғалыстағы бөлшектердің энергиясы қалай өзгергенін анықтаңдар. I бөлшектер протон деп сәйкестендірілген:

$$\Delta E = \frac{B^2 \cdot q^2}{2m} \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad (5)$$

мұндағы ΔE – энергияның өзгерісі, Дж; B – магнит индукциясы, Тл; q – протон заряды, Кл; m – протон массасы, кг; r_2, r_1 – тректің қисықтық радиусы, м.

3. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазындар.



9-сурет. Траекторияның қисықтық радиусын анықтау

3-тапсырма. Фотосуреттің үшінші трегі бойынша бөлшектерді сәйкестендіру
Жұмыстың орындалу реті

1. III бөлшектің бастапқы қозғалыстағы қисықтық радиусын өлшендер. (6) формула бойынша III бөлшектер үшін зарядтың массаға қатынасын есептендер:

$$\frac{q_3}{m_3} = \frac{q_1}{m_1} \cdot \frac{r_I}{r_{III}} \quad (6)$$

2. Нәтижесін 10-кестеге жазындар.
3. Осы қатынас бойынша қандай бөлшектер із қалдырғанын анықтаңдар.

10-кесте

I бөлшектің бастапқы қозғалысындағы трек қисығының радиусы $r_1, \text{ м}$	I бөлшектің қозғалыс соңындағы трек қисығының радиусы $r_2, \text{ м}$	Протон заряды $q_1, \text{ Кл}$	Протон массасы $m_1, \text{ кг}$
		$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,67 \cdot 10^{-27}$
Магниттік индукция модулі $B, \text{ Тл}$	Бөлшек энергиясының өзгеруі $\Delta E, \text{ Дж}$	III бөлшектің бастапқы қозғалысындағы трек қисығының радиусы $r_3, \text{ м}$	III бөлшектің зарядының массаға қатынасы $q_3/m_3, \text{ Кл/кг}$
2,17			

Орындалған жұмыс бойынша қорытынды жасандар.

Қорытынды бөлшектің іздері бойынша нені анықтауға болатынын, I бөлшектің ΔE энергиясының өзгеруін қандай бөлшектер Вильсон камерасында трек қалдырғанын жазындар.

2-қосымша. Кестелер.

1-кесте. Тригонометриялық функциялардың кестелік мәндері

Бұрыштың градустың шамасы	Синус	Косинус	Тангенс	Бұрыштың градустың шамасы	Синус	Косинус	Тангенс
0	0,000	1,000	0,000	46	0,719	0,695	1,036
1	0,017	1,000	0,017	47	0,731	0,682	1,072
2	0,035	0,999	0,035	48	0,743	0,669	1,111
3	0,052	0,999	0,052	49	0,755	0,656	1,150
4	0,070	0,998	0,070	50	0,766	0,643	1,192
5	0,087	0,996	0,087	51	0,777	0,629	1,235
6	0,105	0,995	0,105	52	0,788	0,616	1,280
7	0,122	0,993	0,123	53	0,799	0,602	1,327
8	0,139	0,990	0,141	54	0,809	0,588	1,376
9	0,156	0,988	0,158	55	0,819	0,574	1,428
10	0,174	0,985	0,176	56	0,829	0,559	1,483
11	0,191	0,982	0,194	57	0,839	0,545	1,540
12	0,208	0,978	0,213	58	0,848	0,530	1,600
13	0,225	0,974	0,231	59	0,857	0,515	1,664
14	0,242	0,970	0,249	60	0,866	0,500	1,732
15	0,259	0,966	0,268	61	0,875	0,485	1,804
16	0,276	0,961	0,287	62	0,883	0,469	1,881
17	0,292	0,956	0,306	63	0,891	0,454	1,963
18	0,309	0,951	0,335	64	0,899	0,438	2,050
19	0,326	0,946	0,344	65	0,906	0,423	2,145
20	0,342	0,940	0,364	66	0,914	0,407	2,246
21	0,358	0,934	0,384	67	0,921	0,391	2,356
22	0,375	0,927	0,404	68	0,927	0,375	2,475
23	0,391	0,921	0,424	69	0,934	0,358	2,605
24	0,407	0,914	0,445	70	0,940	0,342	2,747
25	0,423	0,906	0,466	71	0,946	0,326	2,904
26	0,438	0,899	0,488	72	0,951	0,309	3,078
27	0,454	0,891	0,510	73	0,956	0,292	3,271
28	0,469	0,883	0,532	74	0,961	0,276	3,487
29	0,485	0,875	0,554	75	0,966	0,259	3,732
30	0,500	0,866	0,577	76	0,970	0,242	4,011
31	0,515	0,857	0,601	77	0,974	0,225	4,331
32	0,530	0,848	0,625	78	0,978	0,208	4,705
33	0,545	0,839	0,649	79	0,982	0,191	5,145
34	0,559	0,829	0,675	80	0,985	0,174	5,671
35	0,574	0,819	0,700	81	0,988	0,156	6,314
36	0,588	0,809	0,727	82	0,990	0,139	7,115
37	0,602	0,799	0,754	83	0,993	0,122	8,144
38	0,616	0,788	0,781	84	0,995	0,105	9,514
39	0,629	0,777	0,810	85	0,996	0,087	11,430
40	0,643	0,766	0,839	86	0,998	0,070	14,301

Бұрыштың градустың шамасы	Синус	Косинус	Тангенс	Бұрыштың градустың шамасы	Синус	Косинус	Тангенс
41	0,656	0,755	0,869	87	0,999	0,052	19,081
42	0,669	0,743	0,900	88	0,999	0,035	28,636
43	0,682	0,731	0,933	89	1,000	0,017	57,290
44	0,695	0,719	0,966	90	1,000	0,000	
45	0,707	0,707	1,000				

2-кесте. Халықаралық бірліктер жүйесінің дәрежелік көрсеткіштері

Көрсеткіш	Еселік		Көрсеткіш	Еселік	
	Оқылуы	Белгіленуі		Оқылуы	Белгіленуі
10^{18}	экса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	пета	П	10^{-2}	сантис	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^9	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^3	кило	к	10^{-12}	пико	п
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	ф
10^1	дека	да	10^{-18}	атто	а

3-кесте. Физикалық тұрақтылар

Физикалық тұрақты	Белгіленуі	Тұрақтының мәні
Вакуумдағы жарық жылдамдығы	c	$\approx 3 \cdot 10^8$ м/с
Элементар заряд (электрон заряды)	e	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Электронның тыныштық массасы	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Протонның тыныштық массасы	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Больцман тұрақтысы	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Универсал газ тұрақтысы	R	$8,31$ Дж/(моль · К)
Гравитациялық тұрақты	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Н · м ² /кг
Планк тұрақтысы	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Идеал газдың қалыпты жағдайдағы мольдік көлемі ($t = 0$ °С, $p = 101,325$ кПа)	V_m	$2,24 \cdot 10^{-2}$ м ³ /моль
Авогадро тұрақтысы	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Абсолют нөлдік температура	T_o	0 К = $-273,15$ °С
Қалыпты атмосфералық қысым	$P_{атм}$	101325 Па
Ауаның қалыпты жағдайдағы тығыздығы	$\rho_{ауа}$	$1,293$ кг/м ³ , $0,001293$ г/см ³

4-кесте. Заттардың абсолют сыну көрсеткіштері

Зат	Сыну көрсеткіші	Зат	Сыну көрсеткіші
Алмаз	2,42	Мұз	1,31
Су (20 °С болғанда)	1,33	Плексиглас (органикалық мөлдір шыны)	1,5
Глицерин	1,47	Скипидар	1,47

Зат	Сыну көрсеткіші	Зат	Сыну көрсеткіші
Тас тұзы	1,54	Этил спирті	1,36
Кварц	1,54	Лағыл	1,76
Балқарағай майы (20 °C)	1,52	Шыны түрлері	1,47-ден 2,04-ке дейін

5-кесте. Электрондардың металдардан шығу жұмысы

Зат	$A_{\text{шығу}}^{\text{эВ}}$	Зат	$A_{\text{шығу}}^{\text{эВ}}$	Зат	$A_{\text{шығу}}^{\text{эВ}}$
Алюминий	4,25	Қорғасын	4,0	Кадмий	3,80
Вольфрам	4,54	Күміс	4,3	Калий	2,20
Алтын	3,30	Мырыш	4,24	Литий	2,38
Мыс	4,40	Болат	4,3	Натрий	2,35
Қалайы	4,38	Барий	2,49	Рубидий	2,16
Сынап	4,52	Германий	4,76	Цезий	1,81

6-кесте. Салыстырмалы биологиялық тиімділік коэффициенттері (СБТК)

Сәулелену түрлері	СБТК, k	Сәулелену түрлері	СБТК, k
Рентген және γ -сәулелену	1	Шапшаң нейтрондар	10
β -сәулелену	1	Протондар	10
Жылу (баяу) нейтрондар	3	α -сәулелену	20

7-кесте. Химиялық элементтер мен элементар бөлшектер изотоптарының атом массалары

Элементар бөлшектер	Элементар бөлшектің массасы, м.а.б.		
${}^0_{-1}e$	0,00055		
1_1p	1,00728		
1_0n	1,00866		
Изотоп	Атом массасы, м.а.б.	Изотоп	Атом массасы, м.а.б.
1_1H	1,00783	${}^{11}_6C$	11,00788
2_1H	2,01410	${}^{12}_6C$	12,00000
3_1H	3,01543	${}^{13}_6C$	13,00335
3_2He	3,01605	${}^{14}_6C$	13,99961
4_2He	4,00260	${}^{14}_7N$	14,00307
6_3Li	6,01512	${}^{15}_7N$	15,00010
7_3Li	7,01600	${}^{16}_8O$	15,99491
8_3Li	8,02065	${}^{17}_8O$	16,99913
6_4Be	6,01738	${}^{17}_9F$	16,99676

Изотоп	Атом массасы, м.а.б.	Изотоп	Атом массасы, м.а.б.
${}^7_4\text{Be}$	7,01457	${}^{27}_{13}\text{Al}$	27,98154
${}^8_4\text{Be}$	8,02168	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,04418
${}^9_4\text{Be}$	9,01219	${}^{238}_{92}\text{U}$	238,05113
${}^9_5\text{B}$	9,01038	${}^{239}_{93}\text{Np}$	239,05320
${}^{10}_5\text{B}$	10,01294	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	239,05242
${}^{11}_5\text{B}$	11,00930		

8-кесте. Радиоактивті элементтердің жартылай ыдырау периоды

Изотоп	Жартылай ыдырау периоды	Қауіпсіз период
Сутегі-3	12,3 жыл	123 жыл
Вольфрам-181	145 күн	1450 күн
Вольфрам-185	74,5 күн	745 күн
Вольфрам-187	24 сағат	10 тәулік
Йод-131	8 тәулік	80 тәулік
Криптон-94	1,4 с	14 с
Кобальт-60	5,2 жыл	52 жыл
Қалайы-115	9,4 күн	94 күн
Радон-222	3,8 тәулік	38 тәулік
Рений-187	70 млрд жыл	700 млрд жыл
Хлор-38	37,7 мин	0,628 сағат
Көміртек-14	5730 жыл	57300 жыл
Уран-235	4,5 млрд жыл	45 млрд жыл

9-кесте. Күн, Жер және Ай туралы мәлімет

Шамалар	Күн	Жер	Ай
Радиус, м	$7 \cdot 10^8$	$6,4 \cdot 10^6$	$1,74 \cdot 10^6$
Масса, кг	$2 \cdot 10^{30}$	$6 \cdot 10^{24}$	$7,35 \cdot 10^{22}$
Аспан денелері арасындағы қашықтық, м			
Күн мен Жер арасындағы			$1,5 \cdot 10^{11}$
Жер мен Ай арасындағы			$3,84 \cdot 10^8$

10-кесте.

Грек әліпбиі					Латын әліпбиі				
Α α	альфа	Ι ι	йота	Ρ ρ	ро	A a	а	J j	жи
Β β	бета	Κ κ	каппа	Σ σ	сигма	S s	эс	T t	тэ
Γ γ	гамма	Λ λ	лямбда	Τ τ	тау	B b	бе	K k	ка
Δ δ	дельта	Μ μ	мю	Υ υ	ипсилон	C c	це	L l	эль
Ε ε	эпсилон	Ν ν	ню	Φ φ	фи	U u	у	D d	де
Ζ ζ	дзета	Ξ ξ	кси	Χ χ	хи	M m	эм	V v	вэ
Η η	эта	Ο ο	омикрон	Ψ ψ	пси	E e	э	N n	эн
Θ θ	тета	Π π	пи	Ω ω	омега	W w	дубль-вэ	F f	эф
						G g	же	O o	о
						H h	аш	X x	икс
						I i	и	P p	пэ
						Q q	ку	Y y	игрек
						R r	эр	Z z	зет

Д.И. МЕНДЕЛЕЕВ ЖАСАҒАН ХИМИЯЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ПЕРИОДТЫҚ ЖҮЙЕСІ

Элементтің таңбалықуы

Атомдық нөмірі

Атомдық массасы

Электрондардың энергетикалық деңгейлерге таратылуы

Элемент аты

орналасуы

— s-элементтер

— p-элементтер

— d-элементтер

— f-элементтер

I энергетикалық деңгей

II энергетикалық деңгей

III энергетикалық деңгей

IV энергетикалық деңгей

V энергетикалық деңгей

VI энергетикалық деңгей

VII энергетикалық деңгей

Q

9

F

7

18,998

фтор

Жай заттар тізбегін элементтердің — бейметалдардың реттік нөмірі торда жазылған.

Mo

42

95,94

молибден

Оксидтері мен гидроксидтері — қасиет көрсететін элементтердің реттік нөмірі белгіленген.

Na

11

22,990

натрий

Жай заттар тізбегін элементтердің — бейметалдардың реттік нөмірі таңбалармен белгіленген.

период\тар	Э	Л	Е	М	И	Н	Т	Т	В	Р	Д	І	Н	Т	О	П	Т	А	Р	Ы
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII												
1	1 H 1,008												(H)						2 He 4,003	К
2	3 Li 6,941	4 Be 9,012		5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,00	8 O 15,999	9 F 18,998											10 Ne 20,179	К
3	11 Na 22,990	12 Mg 24,305		13 Al 26,981	14 Si 28,085	15 P 30,974	16 S 32,064	17 Cl 35,453											18 Ar 39,948	К
4	19 K 39,098	20 Ca 40,08	21 Sc 44,956	22 Ti 47,90	23 V 50,941	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,847	27 Co 58,933	28 Ni 58,70										К
5	29 Cu 63,546	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904												36 Kr 83,80	К
6	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,22	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc 98,906	44 Ru 101,07	45 Rh 102,905	46 Pd 106,42										К
7	47 Ag 107,868	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,69	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,904												54 Xe 131,30	К
8	55 Cs 132,905	56 Ba 137,33	57 La 138,905	58 Ce 140,12	59 Pr 140,908	60 Nd 144,24	61 Pm [145]	62 Sm 150,4	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,925	66 Dy 162,50	67 Ho 164,930	68 Er 167,26	69 Tm 168,934	70 Yb 173,04	71 Lu 174,967			К
9	79 Au 196,966	80 Hg 200,59	81 Tl 204,37	82 Pb 207,2	83 Bi 208,980	84 Po [209]	85 At [210]												86 Rn [222]	К
10	87 Fr [223]	88 Ra 226,025	89 Ac [227]	90 Th 232,038	91 Pa 231,036	92 U 238,029	93 Np 237,048	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [254]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 (No) [255]	103 (Lr) [256]			К
жоғары оксидтер	R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	R ₂ O ₅	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄												
ұшқыш сутектік қосылыстар				RH ₄	RH ₃	H ₂ R	HR													
8	Ce 140,12	Pr 140,908	Nd 144,24	Pm [145]	Sm 150,4	Eu 151,96	Gd 157,25	Tb 158,925	Dy 162,50	Ho 164,930	Er 167,26	Tm 168,934	Yb 173,04	Lu 174,967						К
9	Th 232,038	Pa 231,036	U 238,029	Np 237,048	Pu [244]	Am [243]	Cm [247]	Bk [247]	Cf [251]	Es [254]	Fm [257]	Md [258]	(No) [255]	(Lr) [256]						К

Жаттығулардың жауаптары

1-жәтп. 1. 0,05 м. 2. 1,6 м/с². 3. 0,1 м; 4. 1 м.

5. $v = 2,5 \cos \pi(2t - 1/2)$; $v_1 = 0$.

2-жәтп. 1. $25 \cdot 10^{-6}$ Гн. 2. 2 есе. 3. 4 есе арттыру керек. 4. $1,9 \cdot 10^{-4}$ с.

3-жәтп. 1. 0,018 Дж. 2. $5 \cdot 10^{-8}$ Дж. 3. 2,25 Н/м. 4. 4 мА.

5. $q = 8 \cdot 10^{-6} \cos 10^5 \pi t$; $u = 20 \cos 10^5 \pi t$;

$i = -2,5 \sin 10^5 \pi t$; 20 В; 2,5 А; 25 мкГн; 6. $U_{\max} = 100$ В; $\omega = 500$ рад/с; $T = 4\pi$ мс; $v = 1/4\pi$ кГц; $q_{\max} = 10^{-4}$ Кл; $L = 4$ Гн; $I_{\max} = 0,05$ А; $q = 10^{-4} \cos 500t$;

$i = 0,05 \cos(500t + \pi/2)$.

4-жәтп. 1. $\Phi = 4 \cdot 10^{-3} \cos 16\pi t$; $e = 0,2 \sin 16\pi t$.

2. $\varepsilon_m = 50$ В; $T = 0,4$ с; $\nu = 2,5$ Гц; $e = 50 \cos 5\pi t$.

3. $6,25$ с⁻¹.

5-жәтп. 1. $I_0 = 8,5$ А; $\varphi = 0,661$ рад; $\nu = 50$ Гц.

2. $U_m = 5,18$ В; $\omega = 314$ рад/с; $\nu = 50$ Гц;

$u = 5,18 \sin(314t + \pi/3)$.

3. $I = 2,8$ А; $\varphi_0 = \pi/6$ рад; $T = 0,02$ с; $i_1 = -2$ А; $i_2 = 2$ А.

4. $U = 308 \cos 100\pi t$; $U = 127 \cos 120\pi t$.

6-жәтп. 1. 4,5 А; $u = 25,6 \sin 314t$ 2. $2,89 \cdot 10^{-5}$ Ф.

3. ≈ 11 Ом. 4. $i = 22,5 \sin 100\pi t$;

$\varphi_m = \frac{\pi}{2}$. 5. 0,25 Гн.

7-жәтп. 1. 5 Ом; 2. 111,3 Ом; 89° .

3. $Z = \frac{RX_L X_C}{\sqrt{X_L^2 X_C^2 + R^2 (X_L - X_C)^2}}$. 4. 50 В.

8-жәтп. 1. 1,2 кВт; 2,18 МДж. 2. а) 5 Ом; б) 0,6.

3. а) $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; ә) 5 мГн; б) 1; в) 640 Вт. 4. 505 Вт.

9-жәтп. 1. 0,04 Гн. 2. 10 кГц; 44,7 В; 44,7 В. 3. 133 мкФ; 590 В; 590 В. 4. 1,6 МГц; 100; 0,14 А; 0,1 Вт; 140 В; 140 В.

10-жәтп. 1. $e = 1256 \sin 100 \pi t$; $\varepsilon_g \approx 890,8$ В.

2. $U = 10$ В. 3. 110 В; 40 А; 98 %. 4. 1,25 МВт. 5. 189 км.

11-жәтп. 1. 19 %, 0,6 %, 0 %, 0,02 %.

12-жәтп. 1. 0,60 м; 0,3 м/с.

13-жәтп. 1. 0,3 м. 2. Толық әлсіреу. 3. $\frac{\lambda}{4}$. 4. $\frac{\pi}{3}$, 60° .

14-жәтп. 1. 15 м; $5 \cdot 10^{-8}$ с. 7,5 м. 2. 1 км. 3. 200 м.

4. 1 км. 5. $2,6 \cdot 10^{-6}$ Тл; 767 В/м.

15-жәтп. 1. $11,5$ МГц $\leq v \leq 12,5$ МГц. 2. ≈ 113 м.

3. $2,8 \cdot 10^{-9}$ Ф. 4. 2350 м. 5. 16 МГц $\leq v \leq 22,2$ МГц.

16-жәтп. УЖЖ, дециметрлік, 0,33 м, 0,35 м, 0,14.

17-жәтп. 5455 теңге, шектеусіз.

18-жәтп. 1. $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с. 2. 528 с⁻¹.

19-жәтп. 1. $v = 2,257 \cdot 10^8$ м/с; $v = 2,232 \cdot 10^8$ м/с;

$\Delta v = 2,5 \cdot 10^6$ м/с. 2. 2,4 мм. 3. 147,5 мм; 295 мм.

20-жәтп. 1. 20° . 2. 100. 3. 550 нм. 4. 3. 5. 19 мм.

21-жәтп. 2. Жарық поляризаторлардан өтеді. 3. $\sqrt{2}$.

4. 45° .

22-жәтп. 2. а) $\alpha = 30^\circ$; ә) $\alpha = 60^\circ$. 3. 3 м.

23-жәтп. 1. 1,5 м/с, 3 м/с. 2. 53,6 см. 3. 80 см.

4. 24 см.

24-жәтп. 1. 38° . 2. 60° . 3. 0,87 м. 4. 7,3 м.

25-жәтп. 2. 12,5 см. 3. $F = 9$ см. 4. 9 см.

5. $F = \frac{dl}{D-d} = 10$ см.

26-жәтп. 1. 2. $F_1 = 0,24$ м; $F_2 = 0,02$ м. 3. 6,25.

4. 11 см. 5. 3,3 дптр; жинағыш. 6. 7,5 см.

27-жәтп. 1. 142 жыл. 2. 0,8 м. 3. $2,9 \cdot 10^8$ м/с.

28-жәтп. 1. 5т, 65т. 2. $9,7 \cdot 10^{12}$ жыл.

3. $2,3 \cdot 10^{-14}$ Дж; $4,2 \cdot 10^{-14}$ Дж; 4. $9,9 \cdot 10^6$ м/с;

$2,2 \cdot 10^8$ м/с. 5. $2 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с; $3,1 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с.

29-жәтп. 1. Н және He.

30-жәтп. 1. 0,06 нм; 2. 80 кВ. 3. 41 кВ.

31-жәтп. 1. 13,6 кДж. 2. 300 К. 3. $\approx 6 \cdot 10^{-4}$ м².

4. $2 \cdot 10^{-17}$ Вт.

32-жәтп. 1. $4,8 \cdot 10^{14}$ Гц. 2. $4,4 \cdot 10^{-36}$ кг;

$1,32 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с; $4 \cdot 10^{-19}$ Дж. 3. $7,27 \cdot 10^{15}$ Гц.

4. $1,73 \cdot 10^6$ м/с. 5. 9,76.

33-жәтп. 1. $6,7 \cdot 10^{-5}$ Па. 2. $1,9 \cdot 10^{-13}$ Па.

3. $1,1 \cdot 10^{16}$. 4. $7 \cdot 10^{-6}$ Па. 5. $7,43 \cdot 10^{-9}$ Н.

34-жәтп. 1. 1538. 2. 200 А, 42 кВт.

35-жәтп. 1. 10 пм. 2. 0,1 МэВ. 3. 3,27 эВ;

$5,8 \cdot 10^{-36}$ кг; $1,74 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с. 4. 1,24 пм; $1,8 \cdot 10^{-30}$ кг;

$5,3 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с; 2. 5. 2,42 пм; 1,32 фм.

36-жәтп. 1. $3,1 \cdot 10^{-14}$ м. 2. $\approx 5 \cdot 10^{-7}$ м.

3. $2,54 \cdot 10^{-7}$ м. 4. 6; $9,7 \cdot 10^{-8}$ м; 10^{-7} м; $1,2 \cdot 10^{-7}$ м;

$4,86 \cdot 10^{-7}$ м; $6,7 \cdot 10^{-7}$ м; $1,88 \cdot 10^{-6}$ м.

37-жәтп. 1. 5 мДж; 1 кВт. 2. $1,3 \cdot 10^{17}$. 3. 10 кВт,

0,04 Дж. 4. $3 \cdot 10^{17}$. 5. $2 \cdot 10^{10}$ Вт/м².

38-жәтп. 1. 0,396 пм. 2. 172 пм. 3. 0,1 нм. 4. 20 мкм.

39-жәтп. 1. $^{216}_{84}\text{Po}$; 2. 6α -бөлшек; 3β -бөлшек.

3. $^{216}_{84}\text{Po}$, 0,38 Мм/с. 4. 0,875. 5. $2,9 \cdot 10^{-7}$ кг.

40-жәтп. 1. $A = 7$, $Z = 3$, $N = 4$; $A = 17$, $Z = 8$, $N = 9$;

$A = 235$, $Z = 92$, $N = 143$; 2. $2,4 \cdot 10^{20}$; $3,6 \cdot 10^{20}$.

3. 0,042131 м.а.б.; $6,99 \cdot 10^{-29}$ кг. 4. 0,0024 м.а.б.;

2,24 МэВ.

5. $E_{\text{мени}} = 5,26$ МэВ/нуклон; 5,046 м.а.б.

41-жәтп. 1. $^{30}_{14}\text{Si}$ 2. нейтрон, 1_0n , $^{13}_8\text{O}$.

3. ^4_2He , ^1_1p , 1_0n .

42-жәтп. 1. $8,2 \cdot 10^{10}$ кДж; $2,7 \cdot 10^6$ кг. 2. 0,00091.

3. тәулігіне 53 г. 4. 6,1 МэВ; 944 МэВ; 939,3 МэВ;

17,4 МэВ. 5. $2,31 \cdot 10^{10}$ Дж.

43-жәтп. 1. 8,4 мГр, жоқ. 2. 0,017 Гр, жылулық

нейтрондар. 3. 125 сағ.

44-жәтп. 1. 6,83 МэВ. 2. ≈ 17 МэВ. 3. 24 МэВ.

4. 4,6 МэВ, 3,25 МэВ; 5. $3 \cdot 10^{19}$ Гц.

45-жәтп. 6. 10^{-31} кг; 2,32 мкН

46-жәтп. 1. 2,1; 1,25; 10^{10} . 2. ≈ 3 . 3. $\approx 29,3$ жарық

жылы. 4. $1,48 \cdot 10^5$ жыл.

47-жәтп. 1. 5785 К; 5215 К; 4294 К; 500 нм; 554 нм;

673 нм; $4,1 \cdot 10^{16}$ м; $4 \cdot 10^{16}$ м; 1091 жыл; 1057 жыл.

48-жәтп. 1. ≈ 3 мин 52 с; ≈ 6 мин 3 с; ≈ 8 мин 27 с;

≈ 13 мин 50 с; ≈ 45 мин 20 с; ≈ 1 сағ 23 мин 43 с;

≈ 2 сағ 46 мин 53 с; ≈ 4 сағ 12 мин 3 с. 2. $\approx 28,8$.

3. $\approx 1,88$ жер жылы.

50-жәтп. 1. $3,48 \cdot 10^{24}$ м. 2. 0,027.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математикалық бағытындағы 10-11-сыныптары үшін «Физика» пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасы. Ы.Алтынсарин атындағы ҰБА, 2017.
2. Қазақша-орысша. Орысша-қазақша терминологиялық сөздік. Физика және астрономия. – Алматы: «Қазақпарат» баспа корпорациясы, 2014. – 388 б.
3. Орысша-қазақша сөздік. А.Байтұрсынов атындағы Тіл білімі институты, – Алматы. Дайк-пресс – 2015.
4. Ванеев А.А., Дубицкая З.Г., Ярунина Е.Ф. Преподавание физики в 10 классе средней школы. – М.: Просвещение, 1978.
5. Вертельник В.И., Позднеева Э.В. и др. Физика. Тренинговые задания: в 2 ч. – Томск. Том. политехн. университет, 2006. – ч. 1. – 170 с.
6. Волькенштейн В.С. Сбор. задач по общему курсу физики – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1976. – 464 с.
7. Гладкова Р.А., Добронравов В.Е., Жданов Л.С., Цодиков Ф.С. Сбор. задач и вопросов по физике для средних специальных учебных заведений. – 2-е изд. исправл. – М.: Наука, 1974.
8. Головин О.В., Чистяков Н.И., Шварц В., Хардон Агиляр И. Радиосвязь/Под ред. проф. О.В.Головина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 288 с.
9. Грабовский Р.И. Курс физики: Учеб. пособие. 11-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2009. – 608 .
10. Закиров З.Г., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р. Системы сотовой связи стандарта GSM: Современное состояние, переход к сетям третьего поколения – М.: Эко-Трендз, 2004. – 264 с.
11. Зубов В.Г., Шальнов В.П. Задачи по физике. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1975. – 280 с.
12. Кабардин О.Ф. Физика: Справ. материалы: Учеб. пособие для учащихся. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.
13. Курс общей физики. Оптика и атомная физика. Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. Пед. ин-тов/Е.М. Гершензон, Н.Н. Малов, В.С. Эткин. – М.: Просвещение, 1981. – 240 с.
14. Малов Н.Н. Основы теории колебаний. Пособ. для учителей. – М.: Просвещение, 1971, 198 с.
15. Методика преподавания физики в средней школе. Молекуляр. физика. Электродинамика: Пособ. для учителя/С.Я. Шамаш, Э.Е. Эвенчик, В.А. Орлов и др.; Под ред. С.Я. Шамаша. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1987. – 256 с.
16. Методика преподавания физики в средней школе. Электродинамика нестационарных явлений. Квантовая физика: Пособ. для учителя/А.Т. Глазунов, И.И. Нурминский, А.А. Пинский. Под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 1989. – 270 с.
17. Методика факультативных занятий по физике: Пособие для учителей/ О.Ф. Кабардин, С.И. Кабардина, В.А. Орлов и др. – М.: Просвещение, 1980. – 191 с.
18. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. Учеб. для 11 класса общеобразоват. учреждений. – М.: Просвещение, 1995.
19. 2013–2014 оқу жылында Қазақстан Республикасының жалпы орта білім беретін ұйымдарында ғылым негіздерін оқытудың ерекшеліктері туралы. Әдістемелік нұсқау хат. – Астана: Ы.Алтынсарин атындағы ҰБА, 2013. – 118 б.
20. Орехов В.П., Усова А.В., Турышев И.К. и др. Методика преподавания физики в 8–10 классах средней школы. – М.: Просвещение, 1980.

21. Парфентьева Н.А. Задачи по физике. Для поступающих в вузы. – М.: Классике Стиль, 2005. – 480 с.
22. Практикум по физике в средней школе: Дидакт. материал/В.А. Буров, Ю.И. Дик, Б.С. Зво-
рыкин и др. – М.: Просвещение, 1987.
23. Рымкевич А.П., Рымкевич П.А. Сборник задач по физике. – М.: Просвещение, 1984.
24. Сборник задач по физике: Для 10–11 кл. общеобразовательных учреждений/Сост.
Г.Н. Степанова. М.: Просвещение, 2001.
25. Сборник задач по физике. 10–11 классы: пособ. для учащихся общеобразоват. учреж-
дений: базовый и профильн. уровни/Н.А. Парфентьева.– 3-е изд. – М.: Просвещение,
2010. – 206 с.
26. Сборник задач по физике: Учеб. пособие/Баканина Л.П., Белонучкин В.Е., Козел С.М.,
Мазанько И.П.: Под ред. Козела С.М. – М.: Наука. Главная редакция физико-математичес-
кой литературы, 1983. – 288 с.
27. Тарасов Л.В., Тарасова А.Н. Вопросы и задачи по физике (Анализ характерных ошибок
поступающих во втузы): Учеб. пособие. – 4-е изд., стереотип. – М.: Высш. ш. 1990. – 256 с.
28. Физика. Пер. с англ. А.С.Ахматова и др. – М.: Наука, 1965.
29. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: Дидакт. материал:
9–11 кл./ Ю.И. Дик, О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов и др. – М.: Просвещение, 1993.
30. Физика в задачах для поступающих в вузы/Турчина Н.В. – М.: ООО «Издательство
Оникс»; ООО «Издательство «Мир и образование», 2008. – 768 с.
31. Элементарный учебник физики. Учеб. пособие. В 3 т./под ред. Г.С. Ландсберга, Т. 3. Коле-
бания. Волны. оптика. Строение атома – 8-е изд. М.: Наука, 1973. – 640 с.
32. Эллиот Л., Уилкокс У. Физика. Пер. с англ. под редакцией проф. А.И. Китайгородского. –
М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1975.
33. Шахмаев Н.М. и др. Физика. Учеб. для 11 класса средних школ. – М.: Просвещение, 1991.

Иллюстрациялық материалдар сілтемелері

- | | |
|---|--|
| 1. 9-сypem. etoretro.ru; fishki.net | 19. 193-сypem. zen.yandex.by |
| 2. 25-сypem. profit.kz; poligraftorg.ru | 20. 205-сypem. school-collection.iv-edu.ru |
| 3. 37-сypem. electroinfo.net | 21. 224-сypem. catersnews.com |
| 4. 42-сypem. laserstar.net | 22. 238-сypem. rkc.org |
| 5. 61-сypem. v-tehnology.ru | 23. 248-сypem. ural.org |
| 6. 69-сypem. metalloporu.ru | 24. 253-сypem. yandex.kz |
| 7. 75-сypem. zen.yandex.ru | 25. 254-сypem. ammo1.livejournal.com |
| 8. 76-сypem. astana.gov.kz | 26. 258-сypem. bezrao.ru |
| 9. 97-сypem. habr.com | 27. 259-сypem. factum.kz |
| 10. 119-сypem. wifi.kz | 28. 260-сypem. vse.kz |
| 11. 120-сypem. aqmola.gov.kz | 29. 261-сypem. leht.postimees.ee |
| 12. 121-сypem. rstradehouse.com | 30. 264-сypem. rusrep.ru |
| 13. 135-сypem. robraz.ru; rostec.ru | 31. 266-сypem. alcimed.com |
| 14. 147-сypem. slezakbis.pl | 32. 268-сypem. naked-science.ru |
| 15. 154, а-сypem. wheninmanila.com | 33. 276-сypem. wiki-org.ru |
| 16. 154, б-сypem. ww2.ru | 34. 291, а-сypem. astronnet.ru |
| 17. 185-сypem. sanalbasin.com | 35. 294-сypem. qwrt.ru |
| 18. 192-сypem. ru.ikscience.com | |

Мазмұны

Алғы сөз.....	4
1-ТАРАУ. Механикалық тербелістер	5
§ 1. Гармоникалық тербелістердің теңдеулері мен графиктері.....	6
2-ТАРАУ. Электрмагниттік тербелістер	13
§ 2. Еркін және еріксіз электрмагниттік тербелістер.....	14
§ 3. Механикалық тербелістер мен электрмагниттік тербелістер арасындағы ұқсастықтар.....	19
3-ТАРАУ. Айнымалы ток	27
§ 4. Айнымалы ток генераторы.....	28
§ 5. Еріксіз электрмагниттік тербелістер. Айнымалы ток.....	32
§ 6. Айнымалы ток тізбегіндегі активті және реактивті кедергілер.....	36
§ 7. Активті және реактивті кедергілерден тұратын тізбектей жалғанған айнымалы ток тізбегіне арналған Ом заңы.....	41
§ 8. Айнымалы ток тізбегіндегі қуат.....	46
§ 9. Электр тізбегіндегі кернеу резонансы.....	51
§ 10. Электр энергиясын өндіру, тасымалдау және қолдану. Трансформатор.....	55
§ 11. Қазақстандағы және дүниежүзіндегі электр энергиясын өндіру және қолдану.....	60
4-ТАРАУ. Толқындық қозғалыс	71
§ 12. Серпімді механикалық толқындар. Кума және тұрғын толқындардың теңдеуі.....	72
§ 13. Механикалық толқындардың таралуы. Механикалық толқындардың интерференциясы мен дифракциясы. Гюйгенс принципі.....	77
5-ТАРАУ. Электрмагниттік толқындар	85
§ 14. Электрмагниттік толқындардың жұтылуы мен шығарылуы.....	86
§ 15. Радиобайланыс. Детекторлы радиоқабылдағыш.....	91
§ 16. Аналогты-сандық түрлендіргіш. Байланыс арналары.....	95
§ 17. Байланыс құралдары.....	100
6-ТАРАУ. Толқындық оптика	107
§ 18. Жарықтың электрмагниттік табиғаты. Жарықтың жылдамдығы.....	108
§ 19. Жарықтың дисперсиясы. Жарықтың интерференциясы.....	112
§ 20. Жарықтың дифракциясы. Дифракциялық тор.....	118
§ 21. Жарықтың поляризациясы.....	123
7-ТАРАУ. Геометриялық оптика	131
§ 22. Гюйгенс принципі. Жарықтың шағылу заңы.....	132
§ 23. Жазық және сфералық айналар.....	136
§ 24. Жарықтың сыну заңы. Толық ішкі шағылу.....	141
§ 25. Линзалар жүйесінде кескін салу. Жұқа линза формуласы.....	146
§ 26. Оптикалық аспаптар.....	152
8-ТАРАУ. Салыстырмалылық теориясының элементтері	161
§ 27. Салыстырмалылық теориясының постулаттары. Лоренц түрлендірулері.....	162
§ 28. Энергия. Релятивистік динамикадағы импульс және масса. Материялық дене үшін энергия мен массаның байланыс заңы.....	167

9-ТАРАУ. Атомдық және кванттық физика	173
§ 29. Сәулеленудің түрлері. Спектрлер, спектрлік аспаптар, спектрлік талдау	174
§ 30. Инфрақызыл және ультракүлгін сәулелену. Рентген сәулелері. Электрмагниттік толқындар шкаласы	180
§ 31. Жылулық сәулелену. Стефан – Больцман және Вин заңдары. Ультракүлгін апаты. Планк формуласы	185
§ 32. Фотоэффект. Фотоэффектіні қолдану. Фотондар	190
§ 33. Жарық қысымы. Жарықтың химиялық әсері	196
§ 34. Рентгендік сәулелену	200
§ 35. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы	205
§ 36. Альфа-бөлшектің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесі. Бор постулаттары. Франк және Герц тәжірибелері	209
§ 37. Сызықты емес оптика туралы түсінік. Лазерлер	215
§ 38. Бөлшектердің толқындық қасиеттері. Бор теориясының қиыншылығы, де Бройль толқындары	221
10-ТАРАУ. Атом ядросының физикасы	229
§ 39. Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңы	230
§ 40. Атом ядросы. Ядроның нуклондық моделі. Изотоптар. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы	236
§ 41. Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтілік	241
§ 42. Ауыр ядролардың бөлінуі. Тізбекті ядролық реакция. Критикалық масса	246
§ 43. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану	251
§ 44. Ядролық реактор. Ядролық энергетика. Термоядролық реакциялар	257
11-ТАРАУ. Нанотехнологиялар және наноматериалдар	265
§ 45. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері, өзекті мәселелер және даму кезеңдері	266
12-ТАРАУ. Космология	273
§ 46. Жұлдыздар әлемі. Жұлдызға дейінгі қашықтық. Айнымалы жұлдыздар	274
§ 47. Күн – Жер байланыстары	280
§ 48. Жұлдыздардың планеталық жүйелері. Жер тобындағы планеталар және алып планеталар. Күн жүйесінің шағын денелері	285
§ 49. Біздің Галактика. Басқа галактикалардың ашылуы. Квазарлар	293
§ 50. Үлкен жарылыс теориясы. Қызыл ығысу және галактикаға дейінгі қашықтықты анықтау, Әлемнің үдемелі кеңеюі	299
§ 51. Әлемнің эволюциясының негізгі кезеңдері. Әлемнің модельдері. Әлемдегі өмір және Әлем туралы ойлар. Ғарышты игеру және адамзаттың ғарыштық келешегі	304
Қосымшалар. Зертханалық жұмыстар және кестелер	311
1-қосымша. Зертханалық жұмыстар	312
2-қосымша. Кестелер	326
Жаттығулардың жауаптары	331
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	332



Электрондық нұсқа



Назар аудар

Электронды қосымша жүктелген CD қолжетімсіз болған жағдайда, қосымшаны *arman-pv.kz* сайтынан тауып, өз компьютеріңе жүктеп алуыңа болады

Оқу басылымы

**Назифа Анваровна Закирова
Руслан Рауфович Аширов**

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің 11-сыныбының жаратылыстану-математикалық бағытына арналған оқулық

Суретшілері А. Айтжанов, Е. Мищенко / **Бас редакторы** К. Карасева
Редакторлары Ж. Кулдарова, Т. Базарханова / **Техникалық редакторы** В. Бондарев
Көркемдеуші редакторы Е. Мельникова / **Бильд редакторы** Ш. Есенкулова
Суретші-бейнелерші О. Подопрігора / **Мұқабаның дизайны** В. Бондарев, О. Подопрігора
Беттегендер Л. Костина, С. Сулейменова, Т. Макарова, Г. Илишева

Сатып алу үшін мына мекенжайларға хабарласыңыздар:

Нұр-Сұлтан қ., 4 м/а, 2 үй, 55 пәтер.

Тел.: 8 (7172) 92-50-50, 92-50-54. E-mail: astana@arman-pv.kz

Алматы қ., Ақсай-1А м/а, 28Б үй.

Тел.: 8 (727) 316-06-30, 316-06-31. E-mail: info@arman-pv.kz

«Арман-ПВ» кітап дүкені

Алматы қ., Алтынсарин к/сі, 87 үй. Тел.: 8 (727) 303-94-43.

Теруге 05.08.19 берілді. Басуға 26.06.20 қол қойылды. Пішімі 70 x 100 $\frac{1}{16}$. Қағазы офсеттік.
Қаріп түрі «Times New Roman». Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 27,09. Таралымы 44000 дана.

Артикул 811-007-002к-20