

# ФИЗИКА

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

Екі бөлімді

2-бөлім

11

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі ұсынған



Алматы «Атамұра» 2020

ӘОЖ 373.167.1

КБЖ 22.3я72







Ф 49

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

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

*Р. Башарұлының жалпы редакциялауымен*

### Шартты белгілер:

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

**Ф 49** **Физика:** Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сыныпқа арналған оқулық. Екі бөлімді. 2-бөлім/ Р. Башарұлы, Қ. Шүнкеев, Л. Мясникова, Н. Жантурина, А. Бармина, З. Аймағанбетова. – Алматы: Атамұра, 2020. – 208 бет.

ISBN 978-601-331-765-6

2-бөлім. –2020. – 208 б.

ISBN 978-601-331-767-0

ISBN 978-601-331-767-0 (2-бөлім)  
ISBN 978-601-331-765-6

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



## АЛҒЫ СӨЗ

### ***Қымбатты оқушылар!***

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

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

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

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

Алдағы алар белестерің көп болсын әрі сәтті болсын!




*Авторлар*

# 7-тарау



## САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

## ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  Эйнштейннің салыстырмалылық принципі Галилейдің салыстырмалылық принципімен салыстыру;
-  Эйнштейн постулаттары мен Лоренц түрлендірулерін есептер шығарғанда қолданып, релятивистік эффектілерді түсіндіру;
-  зарядталған бөлшектердің үдеткіштерінде орын алатын релятивистік эффектілерді ескеріп, олардың жұмыс істеу принципі түсіндіру.

## Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

| Қ а з а қ ш а             | О р ы с ш а               | А ғ ы л ш ы н ш а        |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| салыстырмалылық принципі  | принцип относительности   | relativity principle     |
| Максвелл заңдары          | законы Максвелла          | Maxwell laws             |
| релятивистік заң          | релятивистский закон      | relativistic law         |
| Эйнштейн формуласы        | формула Эйнштейна         | Einstein formula         |
| Эйнштейн постулаттары     | постулаты Эйнштейна       | Einstein postulates      |
| тыныштық энергиясы        | энергия покоя             | rest energy              |
| тыныштық массасы          | масса покоя               | rest mass                |
| Майкельсон интерферометрі | интерферометр Майкельсона | Michelson interferometer |

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «салыстырмалылық принципі», «Максвелл заңдары», «релятивистік заң», «Эйнштейн формуласы», «Эйнштейн постулаттары», «тыныштық энергиясы», «тыныштық массасы», «Майкельсон интерферометрі».

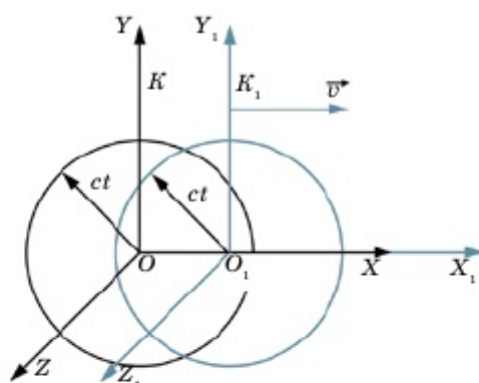


## § 7.1

## Салыстырмалылық теориясының постулаттары

1. XIX ғасырдың екінші жартысында Максвелл электрдинамиканың негізгі заңдарын қорытып шығарғаннан кейін, «механикалық құбылыстар үшін салыстырмалылық принципі электрмагниттік құбылыстарға да қолдануға бола ма?» деген сұрақ туындады. Бұл сұраққа жауап беру үшін электрдинамиканың заңдары бір инерциялық санақ жүйесінен екіншісіне ауысқанда өзгеретінін немесе Ньютон заңдары сияқты өзгермейтінін анықтау қажет болды.

Галилейдің түрлендірулері және одан туындайтын Галилейдің салыстырмалылық принципі бойынша барлық инерциялық санақ жүйелерінде Ньютонның механика заңдары өзгеріссіз сақталады. Жүргізілген тарихи эксперименттік зерттеулер (Майкельсон мен Морлидің, Трутон мен Ноблдің тәжірибелері) электрдинамика заңдарының да барлық инерциялық жүйелерде бірдей сақталатынын көрсетті. Сонымен қатар жарық жылдамдығының ( $c = 300\,000$  км/с) барлық инерциялық санақ жүйелерінде олардың қозғалыс жылдамдықтарына тәуелсіз өзгермей сақталатынын да эксперимент дәлелдеді. Ал бұл соңғы жағдай Галилей түрлендірулеріне қайшы келетін еді. Бұған көз жеткізу үшін екі инерциялық  $K$  және  $K_1$  жүйелерін қарастырайық (7.1.1-сурет).



7.1.1-сурет. Қозғалмайтын  $K$  инерциялық жүйесімен салыстырғандағы  $K_1$  инерциялық жүйесінің қозғалысы

$K_1$  жүйесі  $K$  жүйесімен салыстырғанда  $v$  жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады.  $K$  жүйесінде материялық нүкте (дене)  $v_0$  жылдамдықпен қозғалсын. Олай болса, Галилей түрлендірулеріне сәйкес дененің  $K_1$  жүйесіндегі  $v'$  жылдамдығы және  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  координаталары былай жазылады:

$$v' = v_0 + v; \quad x' = x + vt; \quad y' = y; \quad z' = z;$$

$t' = t$  (уақыт абсолюттік шама)

(7.1)

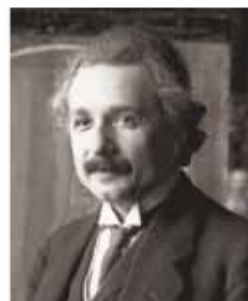
Галилей түрлендіруі бойынша  $K$  жүйесінде  $v_0 = c$  жылдамдығымен қозғалған жарық  $K_1$  жүйесінде оның  $OX$  осі бойымен қозғалыс бағытына қарай  $v' = c + v$  немесе  $v' = c - v$  жылдамдығымен қозғалуы керек. Бұдан Галилей түрлендіруі бойынша жарық тек бір ғана инерциялық жүйеде  $c$  жылдамдығымен, басқа инерциялық жүйелерде басқа жылдамдықпен қозғалуға тиіс. Бұл электрдинамика заңдарына да, эксперименттік нәтижелерге де қайшы келеді. XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басында ғалымдар осы күрделі қайшылықтан шығу жолын іздеді.

«Жарықтың жылдамдығы барлық инерциялық санақ жүйелерінде тұрақты сақталу үшін не істеу керек?» деген сұраққа Эйнштейн кеңістік пен уақыттың абсолюттік өзгермейтіндігі туралы классикалық көзқарасты түбегейлі өзгерту керек деген ұсыныс жасады. Бұл ұсыныстар Эйнштейннің салыстырмалылық постулаттары деген атпен физика тарихына енді.

**2. Салыстырмалылық теориясының постулаттары.** Жердің эфирге қатысты қозғалысын анықтамақ болған Майкельсонның тәжірибесін және тағы басқа тәжірибелердің теріс нәтижелерін түсіндіру үшін әртүрлі гипотезалар ұсынылды. Осы гипотезалардың көмегімен ерекше санақ жүйесін іздеудегі сәтсіздікті түсіндіруге тырысты (өйткені мұндай ерекше санақ жүйесі шындығында да бар деп есептелді).

Эйнштейн бұл мәселеге мүлде басқаша қарады. Ол ерекше санақ жүйесін іздестірудегі сәтсіздіктерді түсіндіру үшін қаптаған гипотезаларды ұсынудың қажеті жоқ деп шешті. Механикалық қана емес, электрдинамикалық процестер үшін де барлық инерциялық санақ жүйелерінің тең құқылығы табиғат заңы деп қабылдады. Тыныштық пен тұзусызықты бірқалыпты қозғалыстың арасында айырмашылық жоқ деген пайымдауларға сүйеніп, Эйнштейн классикалық механика заңдарына да, яғни Галилейдің механикалық процестер барлық инерциялық санақ денелерінде бірдей өтеді дейтін пайымдауына да қайшы келмейтін **бірінші салыстырмалылық постулатын** былайша тұжырымдады: *табиғаттағы барлық процестер инерциялық санақ жүйелерінің бәрінде де бірдей өтеді.*

Бұл физика заңдары барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей өрнектеліп жазылады деген тұжырым болып табылады. Демек, классикалық механиканың



Альберт Эйнштейн (1879—1955) кеңістік пен уақыт туралы жаңа ілім — салыстырмалылықтың арнайы теориясын ұсынды. Осы теорияны инерциялық емес санақ жүйесі жағдайына жинақтай келе, ол тартылыстың заманауи теориясы — салыстырмалылықтың жалпы теориясын жасап шығарды. Жарық бөлшектері – фотондар жөніндегі түсінікті ең алғаш Эйнштейн енгізген. Эйнштейннің бромдық қозғалыс теориясына арналған еңбектері зат құрылысының молекула-кинетикалық теориясының түбегейлі жеңіп шығуына әкелді.

салыстырмалылық принципі табиғаттағы барлық процестерді, соның ішінде электрмагниттік процестерді де қамтиды.

Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы тек салыстырмалылық постулатына ғана емес, сонымен қатар **екінші постулатқа** да негізделеді. Ол былайша тұжырымдалады: *жарықтың вакуумдағы жылдамдығы барлық инерциялық санақ жүйесі үшін бірдей. Ол жарық көзінің жылдамдығына да, жарық қабылдағыштың жылдамдығына да тәуелді емес.*

Сөйтіп, жарық жылдамдығы Эйнштейн теориясында айрықша орын алды. Оның үстіне салыстырмалылық теориясы постулаттарынан туындайтындай, вакуумдағы жарық жылдамдығы табиғатта өзара әрекеттердің берілуінің мүмкін болатын ең үлкен жылдамдығы болып табылады.

Салыстырмалылық теориясының постулаттарын жоғарыдағыдай тұжырымдау үшін үлкен ғылыми батылдық керек болған еді, өйткені олар кеңістік пен уақыт жөніндегі қалыптасқан түсініктерге қарама-қайшы келді.

Шынында да, бір-бірімен салыстырғанда  $\vec{v}$  жылдамдықпен қозғалатын  $K$  және  $K_1$  инерциялық санақ жүйелері координаталарының бас нүктесі дәлме-дәл келген уақыт мезетінде қысқамерзімді жарқыл пайда болсын делік.  $t$  уақыт ішінде жүйелер бір-бірімен салыстырғанда  $vt$  қашықтыққа ығысады. Олай болса классикалық Гюйгенс теориясы бойынша  $O$  және  $O_1$  центрлерінен тараған жарық шебінің радиустары әртүрлі болуға тиіс еді, алайда Эйнштейннің салыстырмалылық теориясында екі жүйеде де толқын шептерінің радиустары бірдей ( $R = ct$ ) сфералық бет болып табылады (7.1.1-сурет).

Туындаған қайшылықтар салыстырмалылық теориясының ішкі қайшылығы емес, кеңістік те, уақыт та өзгермейтін абсолют ұғым дейтін классикалық түсініктердің салдары болып табылады. Ақиқатына келгенде аса үлкен жылдамдықтарда кеңістіктің де, уақыттың да өлшемдері өзгереді. Олай болса классикалық заңдардың барлығы да тек жылдамдығы өте аз процестер (қозғалыстар) үшін ғана орындалады да, жылдамдығы жарық жылдамдығына жуық процестерді түсіндіргенде қайшылықтарға ұшырап, жарамсыз болып қала береді.



### Сұрақтар

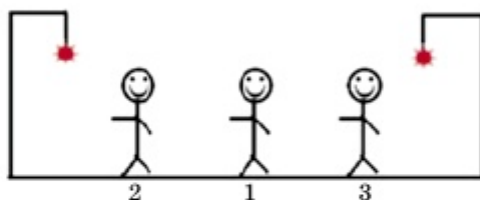


1. Салыстырмалылық теориясы нені түсіндіреді?
2. Салыстырмалылық принципі тек механикалық процестер үшін ғана орынды ма, жоқ әлде басқа құбылыстар үшін де орындала ма?
3. Электрмагниттік процестер барлық инерциялық санақ жүйелерінде бірдей өте ме? Электрмагниттік толқындардың вакуумдағы таралу жылдамдығы қандай?
4. Галилейдің салыстырмалылық принципінің электрдинамикамен қайшылығы неде?
5. Майкельсон–Морли тәжірибесінің негізгі идеясы және қорытындысы қандай?
6. Салыстырмалылық теориясының постулаттары қалай тұжырымдалады?
7. Салыстырмалылық теорияның қазіргі заманғы физика ғылымындағы орны қандай?



**Тапсырма (теориялық талдау)**

Ортада тұрған бақылаушы екі шамның бір мезгілде жанғанын көрді (7.1.2-сурет). Шетте тұрған бақылаушылар үшін екі шамның жану оқиғалары бір мезгілде өте ме?



7.1.2-сурет

Талдауларыңды реферат түрінде жазбаша жасаңдар.

**§ 7.2****Лоренц түрлендірулері**

1. XX ғасыр басталғанша уақыттың абсолюттігі ешқандай күмән туғызбады: Жерде бір мезгілде өтетін екі оқиға ғарышта да нақ сондай мезгілде өтеді деп есептелді. Салыстырмалылық теориясы бұндай көзқарастың дұрыс емес екендігін көрсетіп, материя мен оның қозғалысына мүлде тәуелсіз, қашаннан да белгілі бір қарқынмен өтіп отыратын *абсолюттік уақыт* жөніндегі классикалық түсінікті түбегейлі өзгертті.

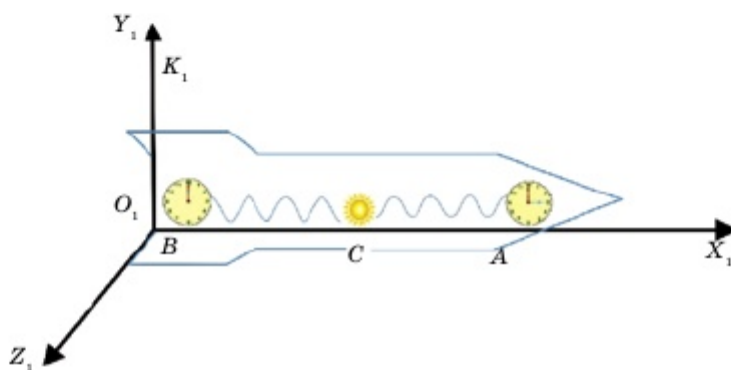
*Кеңістік пен уақыттың абсолюттігі жөніндегі классикалық түсініктердің сәтсіздікке ұшырау себебі кеңістіктің бір нүктесінен екіншісіне өзара әсер мен хабар лезде таралады деген ұйғарымнан туындаған еді. Өзара әсердің шекті жылдамдықпен таралуы қалыптасқан түсініктерді терең өзгертуді қажет етеді.*

Егер хабар лезде таралса, яғни кеңістіктің барлық нүктелеріне бірдей уақытта жетеді деп санасақ, онда кеңістіктің *A* және *B* нүктелеріндегі оқиғалар бір мезгілде өтеді деп ұйғарудың абсолюттік мағынасы болады. *A* және *B* нүктелеріне сағаттарды қойып, оларды лездік хабардың жәрдемімен синхронды етуге (түзету) болады. Егер хабар, мысалы, *A* нүктесінен 0 сағ 45 минутта жіберілген кезде *B* нүктесіндегі сағат дәл сол уақыт мезетін көрсетіп тұрса, онда бұл сағаттар бірдей уақытты көрсетеді, яғни олар синхронды жүреді. Егер де ондай дәлдік болмаса, онда артта қалған сағаттың уақыт көрсетуін алға жылжытып, оларды синхрондайды (дәлдейді).

Тек  $A$  және  $B$  нүктелеріне синхронды сағаттарды орналастыру арқылы ғана ол нүктелердегі кез келген оқиғалардың бір мезгілде болған-болмағанын анықтауға болады. Ал хабардың таралу жылдамдығы шексіз үлкен болмаса, бір-бірінен алыс тұрған сағаттарды қалай синхрондайды?

Мұндай жағдайда сағатты синхрондау үшін жарықты, болмаса басқа электромагниттік толқынды пайдалануға болады, өйткені электромагниттік толқынның вакуумдағы таралу жылдамдығы мүлтіксіз анықталған, өрі тұрақты шама.

Сағаттарды синхрондағанда ешқандай есептеуді керек етпейтін қарапайым тәсілді қарастырайық. Айталық, ғарышкер ғарыш кемесінің қарама-қарсы екі жағына қойылған  $A$  және  $B$  сағаттарының (7.2.1-сурет) бірдей жүріп тұрғандығын білгісі келсін.

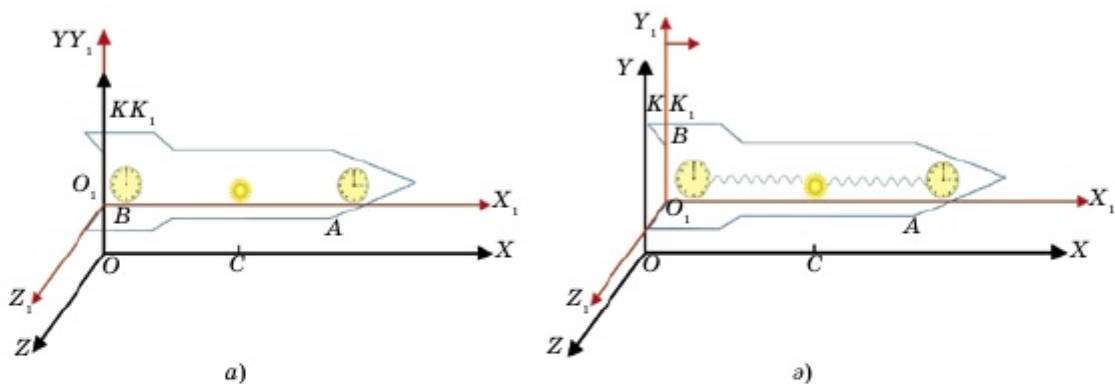


7.2.1-сурет. Ғарыш кемесіндегі сағаттар

Бұл үшін ғарышкер ғарыш кемесімен салыстырғанда қозғалмайтын және оның дәл ортасына қойылған жарық көзі арқылы жарқыл шығарады. Жарық сағаттардың екеуіне де бірдей уақытта келіп жетеді. Егер осы мезетте сағаттардың көрсетуі бірдей болса, онда бұл сағаттардың синхронды жүріп тұрғанын білдіреді.

Бұл тек кемеге байланысты  $K_1$  санақ жүйесімен салыстырғанда ғана орындалады. Кеменің өзі салыстырмалы қозғалыста болатын  $K$  санақ жүйесінде жағдай басқаша өтеді. Кеменің тұмсық жағына орналасқан  $A$  сағатқа жарық жетуі үшін кеменің ұзындығының жартысынан көп қашықтықты жүріп өтуі керек (7.2.2,  $a$  және  $ә$ -суреттер). Ал кеменің артқы жағындағы  $B$  сағаты сол уақыт ішінде жарқыл шыққан орынға жақындап, жарық сигналының жолы кеме ұзындығының жартысынан кіші болады. 7.2.2,  $a$ -суретте  $X$  пен  $X_1$  координаталары жарқыл шыққан мезетте бірдей екендігі, ал 7.2.2,  $ә$ -суретте сигнал  $B$  сағатқа жеткен кездегі санақ жүйесінің орны көрсетілген. Сондықтан  $K$  жүйесіндегі бақылаушы сигнал екі сағатқа бір мезгілде жетпейді деген дұрыс қорытындыға келеді.





7.2.2-сурет. Екі инерциялық жүйедегі бірмезгілдіктің салыстырмалылығы

$K_1$  жүйесіндегі  $A$  және  $B$  нүктелерінде бір мезгілде болатын кез келген екі оқиға  $K$  жүйесінде бір мезгілде болмайды. Бірақ салыстырмалылық принципі бойынша  $K$  және  $K_1$  жүйелері тең құқылы. Бұл жүйелердің біреуін ерекше бөліп көрсетуге болмайды. Ендеше, біз **кеңістікпен бөлінген оқиғалардың бірмезгілділігі салыстырмалы** деген қорытынды шығаруға мәжбүр боламыз. *Бірмезгілдіктің салыстырмалылығының себебі хабарлардың таралу жылдамдығының лезде емес, шекті болуына байланысты екенін көріп отырмыз.*

7.1-параграфта сөз болған сфералық жарық сигналдарына байланысты парадокстың шешуі бірмезгілдіктің салыстырмалылығы арқылы түсіндіріледі.  $K$  жүйесімен салыстырғанда тыныштықта тұрған бақылаушы үшін центрі  $O$  болатын сфералық беттің нүктелеріне жарық бір мезгілде жетеді, ал  $K_1$  жүйесімен байланысты бақылаушының пікірі бойынша, жарық бұл нүктелерге уақыттың өртүрлі мезеттерінде жетеді. Керісінше қарастырсақ та, осындай оқиғаның дұрыстығына көз жеткіземіз:  $K_1$  жүйесіндегі бақылаушы үшін центрі  $O_1$  болатын сфера бетінің нүктелеріне жарық бір мезгілде жетсе,  $K$  жүйесіндегі бақылаушы үшін уақыттың өртүрлі мезетінде жетеді. Ендеше, **оқиғалардың бірмезгілдігі — салыстырмалы ұғым.**

Осыдан шын мәнісінде ешқандай парадокс жоқ екені шығады. Оқиғалардың бірмезгілділігі — салыстырмалы. Мұны көрнекті түрде көрсету, «сезіну» мүмкіндігі бізде жоқ, өйткені жарықтың жылдамдығы біздердің қозғалыс жылдамдығымыздан өлдеқайда үлкен.

**2. Салыстырмалылық теориясының постулаттарынан туындайтын негізгі салдарлар.** Салыстырмалылық теориясының постулаттарынан кеңістік пен уақыттың қасиеттеріне қатысты бірқатар маңызды салдарлар туындайды. Төменде көрсетілген салдарлар *Лоренцтің математикалық түрлендірулерін* физикалық құбылыстарға қолданудың нәтижесінде алынған.

**Арақашықтықтардың салыстырмалылығы туралы ұғым.** Кеңістік және оның ішіндегі дененің өлшемдері абсолюттік шама емес, олар дененің берілген санақ жүйесіне қатысты қозғалыс жылдамдығына тәуелді өзгеріп отырады деген ұғарымнан туындайды. Расында да, егер  $K$  санақ жүйесінде тыныштықта тұрған

стерженнің ұзындығын  $l_0$  арқылы белгілесек, онда  $K_1$  санақ жүйесіне қатысты  $\bar{v}$  жылдамдықпен қозғалған стерженнің  $l$  ұзындығы мына формуламен анықталады:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (7.2)$$

Бұдан  $l < l_0$  екенін көреміз. Қозғалыстағы санақ жүйелеріндегі *денелер өлшемдерінің релятивистік қысқаруы* деген түсінік, міне, осыдан туындаған.

*Уақыт аралықтарының салыстырмалылығы жылдамдықтың өзгеруіне қарай әртүрлі санақ жүйелерінде уақыт аралығы да өзгеріп отырады деген пайымдауға негізделген.* Инерциялық  $K$  жүйесінің бір ғана нүктесінде өтетін екі оқиғаның арасындағы интервал  $\tau_0$  болсын. Мәселен, осы оқиғалар әрбір секундтың өткенін білдіретін метрономның қатарынан екі рет соғу аралығы болуы мүмкін. Сонда  $K$  жүйесіне қатысты  $\bar{v}$  жылдамдықпен қозғалатын  $K_1$  санақ жүйесіндегі осы оқиғалардың арасындағы уақыт аралығы былай өрнектеледі:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.3)$$

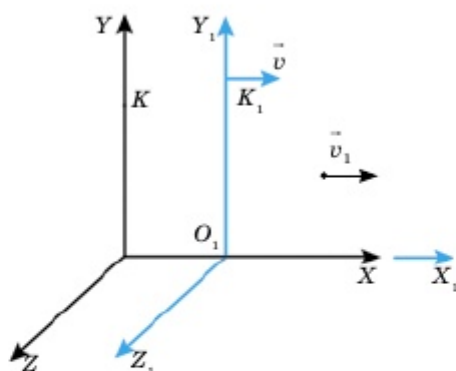
Бұдан  $\tau > \tau_0$  екені көрініп тұр; бұл – қозғалыстағы санақ жүйелерінде уақыттың баяулауының *релятивистік эффектісі*.

Егер  $v \ll c$  болса, (7.2) және (7.3) формулаларындағы  $\frac{v^2}{c^2}$  шамасын ескермеуге болады. Сонда  $l \approx l_0$  және  $\tau \approx \tau_0$ . Бұл уақыттың абсолюттігіне негізделген Галилей түрлендірулеріне (7.1) ұқсас түрлендіру болып табылады. Ендеше,  $v \ll c$  жылдамдықпен қозғалатын денелер үшін Галилей түрлендірулері күшінде қалады.

**3. Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы.** Кеңістік пен уақыт туралы жаңа релятивистік ұғымдарға жылдамдықтарды қосудың жаңа заңы сәйкес келеді. Үлкен жылдамдықтарды қосқанда классикалық Галилей түрлендірулері қолданылмайды, өйткені ол вакуумдағы жарық жылдамдығының барлық санақ жүйелерінде тұрақтылығына қарама-қайшы келеді.

Егер пойыз  $\bar{v}$  жылдамдықпен қозғалса және вагонның ішінде пойыз қозғалысының бағытымен жарық толқыны таралса, онда оның Жермен салыстырғандағы жылдамдығы да Эйнштейннің 2-постулаты бойынша  $\bar{c}$  мәнінде қалуға тиіс, ал классикалық заң бойынша ол  $\bar{v} + \bar{c}$ . Жылдамдықтарды қосудың жаңа заңына сәйкес  $\bar{c}$ -нің мәні барлық санақ жүйелерінде тұрақты сақталады.

Жылдамдықтарды қосудың заңын дербес жағдай үшін жазайық. Бұл жағдайда дене  $K_1$  санақ жүйесінің  $X_1$  осі бойымен қозғалады.  $K_1$ -де  $K$  санақ жүйесімен салыстырғанда  $\bar{v}$  жылдамдықпен қозғалады. Мұнда қозғалыстың өн бойында  $X$  пен  $X_1$  координаталар осьтері бір-бірімен беттеседі де, ал  $Y$  және  $Y_1$ ,  $Z$  және  $Z_1$  бір-біріне параллель болып қала береді (7.2.3-сурет).



7.2.3-сурет. Екі санақ жүйесіндегі жылдамдықтар

Дененің  $K_1$ -мен салыстырғандағы жылдамдығын  $v_1$ , ал сол дененің  $K$ -мен салыстырғандағы жылдамдығы  $v_2$  деп белгілейік. Сонда **жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы** мына түрде жазылады:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}. \quad (7.4)$$

Егер  $v \ll c$  және  $v_1 \ll c$  болса, онда бөлшектің бөліміндегі  $\frac{v_1 v}{c^2}$  мүшесін елемеуге болады да, жоғарыдағы формуланың орнына қозғалыстарды қосудың Галилейлік классикалық заңы (7.1) шығады:

$$v_2 = v_1 + v.$$

Ендеше,  $v \ll c$  жылдамдығымен қозғалатын денелер үшін Галилейдің жылдамдықтарды қосу заңы да күшінде қалады.

**4. Лоренц түрлендірулеріне негізделген жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңының тамаша қасиеті** сол, кез келген  $v_1$  және  $v$  (өріне,  $c$ -дан үлкен емес) жылдамдықтар үшін қорытқы  $v_1$  жылдамдық  $c$ -дан артық болмайды. Шынында да, салыстырмалылық теориясының екінші постулаты бойынша  $v_1 = c$  болғанда,  $v_2$  жылдамдық та  $c$ -ға тең болады:

$$v_2 = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c \left( \frac{c + v}{c + v} \right) = c.$$

Сонымен, Лоренц түрлендірулері үлкен жылдамдықтарда өтетін оқиғаларды шынайы суреттеумен қатар, жарық жылдамдығының барлық инерциалық жүйелерде өзгеріссіз сақталатынын да дәлелдеуге мүмкіндік береді.

Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы дұрыс, бірақ көрнекі емес. Жермен қатысты  $c$  жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен келе жатқан үлкен ғарыштық зымыранды көз алдарыңа елестетіп көріңдер. Одан кіші зымыран бөлініп шығып, үлкен зымыранға қатысты  $c$  жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен ұша алады. Алайда кіші зымыранның Жерге қатысты жылдамдығы үлкен зымыранның жылдамдығындай болып шығады.



### Сұрақтар

1. Кеңістік пен уақыттың абсолюттігі жөніндегі классикалық түсінік не себептен сәтсіз болып шықты? Кеңістік пен уақыттың абсолюттігінен бас тарту қандай эксперименттік нәтижеге негізделген?
2. Салыстырмалылық теориясынан қандай салдарлар туындайды? Қандай формулалармен өрнектеледі? Физикалық мағыналары нені білдіреді?
3. Галилей мен Эйнштейннің салыстырмалылық принциптерінің (постулаттарының) ұқсастығы мен айырмашылығы қандай?
4. Эйнштейннің салыстырмалылық теориясындағы Лоренц түрлендірулерінің рөлі қандай?



### Тапсырма (теориялық талдау)



1. Қозғалыстағы дененің шекті өлшемдері 2 есе кемуі үшін жылдамдығы қандай болуы керек?
2. Ғарыш кемесіндегі сағат Жердегіге қарағанда 4 есе баяу жүру үшін ол Жерге қатысты қандай жылдамдықпен қозғалуы керек?



### ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ

**1-есеп.** Қозғалатын дененің қандай жылдамдығында оның ұзындығының релятивистік қысқаруы 25% құрайды?

**Берілгені:**

$$\frac{l_0 - l}{l_0} = 1 - \frac{l}{l_0} = 0,25$$

$$v = ?$$

**Шешуі:**

Релятивистік қысқару мына формуламен өрнектеледі:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (1)$$

Есептің шарты бойынша  $\frac{l_0 - l}{l_0} = 1 - \frac{l}{l_0} = 0,25$ ,

$$\text{бұдан } l = 0,75l_0. \quad (2)$$

(2) формуланы (1)-ге қойып, мынаны аламыз:  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,75$ ,

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = 0,5625; \quad v = \sqrt{c^2(1 - 0,5625)} = 1,98 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

*Жауабы:*  $v = 1,98 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$

**2-есеп.** Кейбір  $K$  инерциялық санақ жүйесінде  $A$  бөлшегі тыныштықта тұр, ал  $B$  бөлшегі одан  $0,2 \text{ с}$  жылдамдықпен қашықтап барады. Екі бөлшек басқа  $K_1$  инерциялық жүйеге қатысты модульдері бойынша бірдей жылдамдықпен, бірақ қарама-қарсы бағытта алыстау үшін  $K$  жүйеге қатысты  $K_1$  жүйесі қандай жылдамдықпен қозғалуы керек?



**Берілгені:**

$$\begin{array}{l} v = 0,2 c \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \\ v_0 = ? \end{array}$$

**Шешуі:**

Есептің шарты бойынша:

$$\frac{-v_1 + v_0}{1 + \frac{v_1 v_0}{c^2}} = 0, \text{ бұдан } v_1 = v_0. \quad (1)$$

Жылдамдықтарды релятивистік қосу мына формуламен өрнектеледі:

$$v = \frac{v_1 + v_0}{1 + \frac{v_1 v_0}{c^2}}. \quad (2)$$

(1) формуланы ескерсек, (2) формула мына түрге келеді:  $v = \frac{2v_0}{1 + \frac{v_0^2}{c^2}}$ . (3)(3) формуладан  $v_0$  жылдамдықты табамыз:

$$v + \frac{v}{c^2} v_0^2 = 2v_0; \quad \frac{v}{c^2} v_0^2 - 2v_0 + v = 0.$$

$$\text{Бұдан } v_0 = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\frac{v}{c^2}} \text{ немесе } v_0 = \frac{c^2}{v} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right).$$

$$\text{Есептің шартын ескерсек, } v_0 = \frac{c^2}{0,2c} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{0,04c^2}{c^2}} \right) = 0,1 c \text{ м/с.}$$

Есептеулер жүргізіп жылдамдықтың мәнін табамыз:

$$v_0 = 0,1 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 3 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$$

*Жауабы:*  $v_0 = 3 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$ **Өз бетінше шығаруға арналған есептер****А**

- 7.2.1. Қозғалыстағы дененің бойлық өлшемі 2 есе кему үшін ол қандай  $v$  жылдамдықпен қозғалу керек? (*Жауабы:*  $2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ )
- 7.2.2. Арақашықтықтары 10 м болатын екі бөлшек бір-біріне қарай 0,6 с жылдамдықпен ұшып келеді. Олар қанша уақыттан кейін соқтығысады? (*Жауабы:*  $3,77 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ )
- 7.2.3. Жердегі бақылаушыға қатысты екі бөлшек бір-бірінен 0,8 с жылдамдықпен алшақтайды. Бөлшектердің салыстырмалы жылдамдығы қандай? (*Жауабы:* 0,976 с)

**В**

- 7.2.4. Уақыттың бір мезетінде бір-бірінен 1 км қашықтықта орналасқан екі бөлшек бір-біріне қарай 0,4 с және 0,6 с жылдамдықпен қозғалады. Олар

- қанша  $t$  уақыттан кейін соқтығысады? (Жауабы: 4 мкс)
- 7.2.5. Егер бөлшектің жылдамдығы бір санақ жүйесімен салыстырғанда  $0,5$  с, ал басқа инерциялық санақ жүйесімен салыстырғанда  $0,3$  с болса, онда бір инерциялық санақ жүйесінің  $v_0$  жылдамдығы екіншімен салыстырғанда неге тең? Бұл есепте  $c$  — вакуумдағы жарық жылдамдығы.  
(Жауабы:  $7 \cdot 10^7$  м/с)
- 7.2.6. Жермен салыстырғанда  $0,8$  с жылдамдықпен қозғалған ғарыш кемесінде 21 жыл өтсе, Жерде қанша уақыт өтеді? (Жауабы: 35 жыл)

### С

- 7.2.7. Инерциялық санақ жүйесінде бір түзудің бойымен бір бағытта үш бөлшек қозғалып келеді. Бірінші бөлшектің екінші бөлшекпен салыстырғандағы жылдамдығы  $v_{12} = 0,2$  с, ал екіншінің үшіншімен салыстырғандағы жылдамдығы  $v_{23} = 0,5$  с. Үшінші бөлшектің осы санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы  $v_3 = 0,7$  с. Бірінші бөлшектің  $v_1$  жылдамдығы мен екінші бөлшектің  $v_2$  жылдамдығы өздері қозғалып келе жатқан санақ жүйесіне қатысты қандай болады? (Жауабы: 0,89 с, 0,93 с)
- 7.2.8. Жұлдызды кеме  $0,8$  с жылдамдықпен ғарышкердің сағатымен есептегенде 10 жыл саяхаттады. Кеме Жерге оралғаннан кейін Жердегі адамдар ғарышкерден қанша жасқа үлкен болады? (Жауабы: 6,7 жыл)
- 7.2.9. Ғарыш кемесі  $0,75$  с салыстырмалы жылдамдықпен Жерден алшақтайды, содан кейін одан кемеге қатысты  $0,75$  с жылдамдықпен зымыран (жерден бағытталған) қозғала бастайды. Жерге қатысты зымыранның жылдамдығы қандай? (Жауабы: 0,96 с)
- 7.2.10. Қозғалмайтын санақ жүйесі ретінде қарастырылған Жермен салыстырғанда ғарыш кемесіндегі уақыт жердегі бақылаушының есебі бойынша 2 есе баяуласа, ғарыш кемесі қандай жылдамдықпен қозғалады?  
(Жауабы:  $2,6 \cdot 10^8$  м/с)

## § 7.3

### Релятивистік динамикадағы энергия, импульс және масса

1. Ньютон механикасының заңдары үлкен жылдамдықтар кезінде кеңістік және уақыт жөніндегі жаңа түсініктермен үйлеспейтінін Ньютонның екінші заңын мысалға алып көрсетуге болады:

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}. \quad (7.5)$$

Ньютонаң екінші заңына (7.5) сәйкес тұрақты күш денеге мейлінше ұзақ уақыт әрекет ете отырып, оған үлкен жылдамдық бере алады. Алайда эксперименттік зерттеулер көрсеткендей, вакуумдағы жарық жылдамдығы шекті жылдамдық болып табылады және ешбір жағдайда дене вакуумдағы жарық жылдамдығынан артық жылдамдықпен қозғала алмайды. Сондықтан туындаған қайшылықтан шығу үшін Ньютонаң екінші заңына өзгеріс енгізу қажет. Ол үшін динамиканың екінші заңының Ньютон пайдаланған жазылу түріне көшейік:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad (7.6)$$

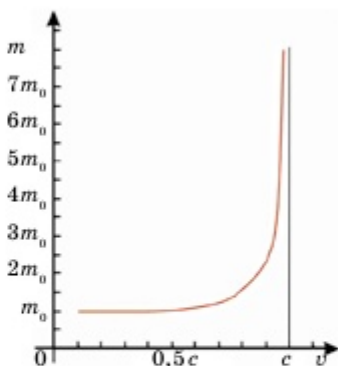
мұндағы  $\vec{p} = m\vec{v}$  — дененің импульсі.

Ньютон теңдеулерінде дененің массасы оның жылдамдығына тәуелсіз тұрақты шама деп қарастырылады, алайда дененің жылдамдығы артқанда, эксперименттік зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, оның массасы тұрақты болып қалмай өсіп отырады.

**2. Массаның жылдамдыққа тәуелділігін импульстің сақталу заңы кеңістік пен уақыт туралы жаңа түсініктерде де орындалады деген ұйғарымнан шығарып алуға болады.** Күрделі математикалық есептеулерге жүгінбей-ақ, бірден соңғы нәтижесін ғана келтірейік. Егер тыныштықтағы дененің массасы  $m_0$  деп белгілесек, онда  $\vec{v}$  жылдамдықпен қозғалатын дененің релятивистік массасы  $m$  мына формуламен анықталады:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.7)$$

7.3.1-суретте дененің массасының оның жылдамдығына тәуелділік графигі берілген. Суреттен дененің қозғалыс жылдамдығы  $v$  жарықтың жылдамдығына неғұрлым жуықтаған сайын, соғұрлым массаның да артатынын көруге болады.



7.3.1-сурет. Дене массасының оның жылдамдығына тәуелділік графигі

Жарық жылдамдығынан өте аз жылдамдықтарда ( $v \ll c$ )  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  өрнегінің

сан мәнінің 1-ден айырмашылығын елемеуге болады. Мәселен, қазіргі ғарыштық зымырандардың жылдамдығы  $v \approx 10$  км/с болғанда мына шаманы аламыз:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,99999999944 \approx 1.$$

Қозғалыстың осындай аз жылдамдықтары үшін жылдамдықтың өсуіне байланысты массаның артуын сезіну мүмкін емес.

**3. Зарядталған бөлшектердің қазіргі үдеткіштерінде элементар бөлшектердің жылдамдықтарын орасан зор шамаға жеткізуге болады. Егер бөлшектің жылдамдығы жарық жылдамдығынан небәрі 90 км/с аз болса, онда оның массасы 40 есе артады.** Электрондар үшін қуатты үдеткіштер олардың жылдамдығын жарықтың жылдамдығынан небәрі 35—50 м/с шамасында ғана кем болатын аса үлкен жылдамдыққа жеткізе алады. Бұл жағдайда электронның массасы 2000 есеге жуық артады. Мұндай электрон шеңбер бойымен қозғалу үшін оған магнит өрісінің тарапынан әрекет ететін күш массаның жылдамдыққа тәуелділігін ескермеген кездегіден 2000 есе артық болуға тиіс. Шапшаң бөлшектердің траекториясын есептеу үшін Ньютон механикасы заңдарын пайдалану үлкен қателіктерге ұрындыратыны, міне, осыдан көрінеді. Сондықтан үлкен жылдамдықтарда дененің (бөлшектің) импульсін есептеу үшін оның массасының (7.7) формуласына сәйкес үнемі өзгеріп отыратындығы ескеріледі.

(7.7) формуланы ескергендегі дененің релятивистік импульсі мынаған тең:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.8)$$

Релятивистік динамиканың негізгі заңы (7.6) формуласы түрінде жазылады:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}. \quad (7.9)$$

Алайда дененің импульсі классикалық механикадағыдай  $m_0\vec{v}$  көбейтіндісімен емес, (7.8) формуласымен анықталады.

**Осылайша, Ньютон заңдары ашылғаннан бері екі жарым ғасыр бойы өзгеріссіз деп есептеліп келген масса шын мәнінде жылдамдыққа тәуелді өзгереді.**

Қозғалыс жылдамдығы артқан сайын, дененің инерттілік қасиеттерін анықтайтын масса артады. Жылдамдық  $v \rightarrow c$  болғанда дененің массасы (7.7) теңдеуіне сәйкес шексіз артады:  $m \rightarrow \infty$ ; сондықтан үдеу нөлге ұмтылады да, күш қаншалықты ұзақ әрекет еткенмен, жылдамдық іс жүзінде артпайды.

Ньютон механикасының заңдарын жарық жылдамдығынан өте аз жылдамдықтарда орындалатын релятивистік механиканың дербес жағдайы деп қарастыруға болады.



4. Қозғалыстың релятивистік теңдеуінде массаның жылдамдыққа тәуелділігі ескерілген. Оны элементар бөлшектердің үдеткіштерін және басқа релятивистік аспаптардың конструкциясын жасаған кезде қолданады.

*Зарядталған бөлшектердің үдеткіштері деп электр және магнит өрістерінің әсерімен энергиясы жоғары зарядталған бөлшектер (электрондар, протондар және т.б.) ағынын туғызатын, әрі оларды басқаратын қондырғыларды айтады.*

Үдеткіштер жұмыстарының негізіне зарядталған бөлшектердің электр және магнит өрістерімен өзара әрекеті алынған. Электр өрісі бөлшектердің энергияларын арттырып, тікелей жұмыс жасайды. Магнит өрісі бөлшектермен жұмыс жасамайды, алайда Лоренц күшін туғыза отырып, бөлшектердің энергиясын өзгертпей, олардың алдын ала есептелген орбиталар бойымен бұрып қозғалуын қамтамасыз етеді.

Үдеткіштерді *үздіксіз* және *импульстік* деп бір-бірінен ажыратады; үздіксіз үдеткіштерден бөлшектер уақыт бойынша бірқалыпты шығып тұрады, ал импульстік үдеткіштерде жекелеген үлес — импульс түрінде шығады. Бөлшектердің траекториялары мен үдету механизмдеріне қарай үдеткіштер *сызықтық* (траекториялары – түзу сызық), *циклдік* және *индукциялық* (траекториялары шеңбер немесе спираль) деп бөлінеді де, оларға сөйкес былай аталады: 1) *сызықтық үдеткіш*; 2) *сызықтық резонанстық үдеткіш*; 3) *циклотрон*; 4) *фазотрон*; 5) *синхротрон*; 6) *синхрофазотрон*; 7) *бетатрон*.

Фазотрондар мен синхротрондарда және синхрофазотронда бөлшектер релятивистік жылдамдыққа дейін үдетіледі.



### Сұрақтар

1. Ньютон механикасының негізгі заңынан дененің қозғалыс жылдамдығы туралы қандай қорытынды туындайды? Бұндай қорытынды эксперименттік зерттеулердің нәтижелеріне сөйкес келе ме?
2. Массаның жылдамдыққа тәуелділігінің графигі мен аналитикалық формуласы қалай сипатталып өрнектеледі?
3. Дененің релятивистік массасы оның қозғалыс жылдамдығы өссе қалай өзгереді? Қыздыру кезінде дененің релятивистік массасы қалай өзгереді?
4. Ньютондық және релятивистік механикадағы импульстің сақталу заңының мағынасы қалай сипатталады? Қандай формулалармен өрнектеледі?
5. Үдеткіштер деп қандай қондырғыларды айтады? Олардың жұмыс істеу принципі қандай процестерге негізделген?



### Тапсырма (теориялық талдау)

1. Тыныштықта тұрған электрон массасына қарағанда қозғалыстағы электрон массасы төрт есе өсуі үшін оның жылдамдығы қандай болуы керек?
2. Қандай жылдамдықта дененің релятивистік массасы 2 есе өседі?
3. Тығыздығы бес есе артуы үшін дене қандай жылдамдыққа ие болуы керек?

## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Зымыран тыныштықтағы бақылаушыға қатысты  $0,99 c$  жылдамдықпен қозғалады ( $c$  — вакуумдағы жарық жылдамдығы). Егер зымыранмен бірге қозғалатын сағат бойынша бір жыл өтсе, қозғалмайтын бақылаушының сағаты бойынша қанша уақыт өтеді? Қозғалмайтын бақылаушы үшін зымырандағы денелердің сызықтық өлшемдері қозғалыс барысында қалай өзгереді? Бұл бақылаушы үшін зымырандағы заттың тығыздығы қалай өзгереді?

**Берілгені:**

$$v = 0,99 c$$

$$\tau_0 = 1 \text{ жыл}$$

$$\tau = ?$$

$$l = ?$$

$$\rho = ?$$

**Шешуі:**

Қозғалмайтын бақылаушының сағаты бойынша өткен уақытты мына формула бойынша табамыз:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (1)$$

Денелердің өлшемдерін (қозғалыс сызығының бойындағы) мына қатынастан табамыз:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (1)$$

Қозғалмайтын бақылаушы үшін зымырандағы заттың тығыздығы:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ мұндағы } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ және } V = lS.$$

$$V = l_0 S \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

$$\rho = \frac{m_0}{l_0 S \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{V_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{\rho_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Қозғалмайтын бақылаушының уақыты:

$$\tau = \frac{1,00}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,99 c}{c}\right)^2}} \approx 7,1 \text{ жыл}.$$

Қозғалыс сызығының бойындағы дененің ұзындығын анықтаймыз:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{0,99 c}{c}\right)^2} \approx 0,14 l_0 \text{ м}.$$

Қозғалмайтын бақылаушы үшін зымырандағы заттың тығыздығы:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \left(\frac{0,99c}{c}\right)^2} = \frac{\rho_0}{0,0199} \approx 50,25 \rho_0 \text{ кг/м}^2.$$

Жауабы:  $\tau \approx 7,1$  жыл;  $l \approx 0,14 l_0$  м;  $\rho \approx 50,25 \rho_0$  кг/м<sup>2</sup>.



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

#### А

- 7.3.1. Жердегі бақылаушы үшін 1 м стерженнің 0,6 с жылдамдықпен қозғалғандағы ұзындығы қандай? (Жауабы: 0,8 м)
- 7.3.2. Егер жылдамдығы 0,8 с болса, қозғалыстағы дене массасының тыныштықтағы массасына қатынасы қандай? (Жауабы: 1,67 есе үлкен)
- 7.3.3. Жердегі бақылаушымен салыстырғанда қозғалмайтын сызғыштың ұзындығы 2 м. Егер осы сызғыш 0,5 с жылдамдықпен қозғалатын болса, оның ұзындығы қандай болар еді? (Жауабы: 1,73 м)

#### В

- 7.3.4. Бөлшектің тыныштық массасы 1 г. Бақылаушы үшін: а)  $v_1 = 0,1$  с; ә)  $v_2 = 0,9$  с жылдамдықпен қозғалатын бөлшектің массасын анықтаңдар. (Жауабы: 1 г; 2,29 г)
- 7.3.5. 0,96 с жылдамдықпен қозғалатын зымыранда ұшу уақыты 1 жыл деп тіркелді. Жердегі бақылаушының есебі бойынша қанша уақыт өтті? (Жауабы: 3,57 жыл)
- 7.3.6. Бақылаушы үшін дененің бойлық өлшемі 3 есе қысқарса, ол қандай жылдамдықпен қозғалған? Қозғалғанға дейін дене бақылаушымен салыстырғанда тыныштықта болды. (Жауабы:  $2,8 \cdot 10^8$  м/с)
- 7.3.7. Жермен салыстырғанда 0,4 с жылдамдықпен қозғалған жұлдызаралық кеме Жер уақытымен 25 жыл ұшты. Кемедегі уақыт аралығы қандай? (Жауабы: 23 жыл)

#### С

- 7.3.8. Егер тұрақсыз бөлшектің жылдамдығы 0,99 с болса, оның өмір сүру уақыты неше есе өседі? (Жауабы: 7,1 есе)
- 7.3.9. Тұрақсыз элементар бөлшектердің біреуінің меншікті орташа өмір сүру уақыты 2,2 мкс (бұл уақыт осы бөлшектің тыныш тұрған санақ жүйесінде өлшенген). Осындай бөлшектердің шоғы 0,95 с жылдамдықпен қозғалады. Соқтығыспаған жағдайда олардың  $l$  орташа жүгіру жолы қандай? (Жауабы: 2 км)

## § 7.4

## Материялық денелер үшін масса мен энергияның өзара байланыс заңы

1. Ядролық физика мен элементар бөлшектер физикасында басты рөл атқаратын салыстырмалылық теориясының ең маңызды салдарына тоқталайық. Ол — энергия мен масса арасындағы әмбебап байланыс.

Энергия мен массаның арасындағы байланыс энергияның сақталу заңы мен дене массасының оның жылдамдығына тәуелділігінен шығады. Мұны қарапайым мысалдан көруге болады. Ыдыстағы газды қыздырғанда оған белгілі бір энергия беріледі. Молекулалардың бейберекет жылулық қозғалысы температураға тәуелді және газды қыздырған сайын арта береді. Молекуланың қозғалыс жылдамдығының артуы (7.7) формулаға сәйкес барлық молекулалар массасының артатынын көрсетеді. Олай болса, ыдыстағы газдың массасы оның ішкі энергиясы өссе артады. Бұдан газдың массасы мен энергиясының арасында байланыстың бар екенін аңғарамыз. Міне, осы байланысты Эйнштейн нақты формуламен өрнектеді.

**Эйнштейн формуласы.** Эйнштейн салыстырмалылық теориясын пайдаланып, қарапайымдылығына қоса тамаша жалпылығымен де ерекшеленетін энергия мен масса арасындағы байланыс формуласын анықтады:

$$E = mc^2. \quad (7.10)$$

*Дененің немесе денелер жүйесінің энергиясы олардың массасын жарық жылдамдығының квадратына көбейткенге тең.* (7.10) формуланы (7.7) өрнегін ескеріп, мына түрде жаза аламыз:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.10')$$

Егер жүйенің энергиясы  $\Delta E$  шамасына өзгерсе, оның массасы да  $\Delta m$  шамасына өзгереді:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}. \quad (7.11)$$

Бірақ  $\frac{1}{c^2}$  коэффициенті өте аз болғандықтан, массаның елеулі өзгерісі тек энергияның орасан зор өзгерісі кезінде ғана байқалады. Химиялық реакцияларда немесе денелерді қыздырғанда энергияның өзгерісі аз болатыны соншалықты, тіпті массаның сәйкес өзгерісін тәжірибеде байқау мүмкін емес. Ыстық шәйнектің суық шәйнекке қарағанда массасы артық, бірақ тіпті ең сезгіш таразылардың жәрдемімен де бұл айырманы аңғара алмаймыз. Тек атом ядролары мен элементар бөлшектердің түрленуі кезінде ғана энергияның өзгерісі мол болатындықтан, оған байланысты массаның өзгерісін де байқауға болады.



2. (7.10) формуласына сәйкес жылдамдығы нөлге тең ( $v = 0$ ) дененің де энергиясы болады. Жылдамдығы нөлге тең дененің энергиясы *тыныштық энергиясы* деп аталады да  $E_0$  таңбасымен белгіленеді:

$$E_0 = m_0 c^2, \quad (7.12)$$

мұндағы  $m_0$  — *тыныштық масса* деп аталады,  $c$  — жарық жылдамдығы.

Тыныштық массасы жоқ ( $m_0 = 0$ ) элементар бөлшектер түрленіп, басқа бөлшектерге айналған кезде олардың тыныштық энергиясы түгелімен жаңадан пайда болған бөлшектердің кинетикалық энергиясына айналады. Ядролық физикада анықталған бұл дерек тыныштық энергиясының бар болуының ең айқын эксперименттік дәлелі болып табылады.

Физикада терең мағыналы, бірақ өте қарапайым жазылатын екі «ұлы формула» ғана бар. Олардың бірі — Эйнштейн формуласы:  $E = mc^2$ , екіншісі — Планк формуласы:  $E = h\nu$ . Соңғысымен келесі тарауда танысамыз.



### Сұрақтар

1. Масса мен энергияның өзара байланысы қандай аналитикалық формуламен өрнектеледі? Оның физикалық мәні неде? Оны эксперименттік растаудың мысалдарын келтіріңдер.
2. Қандай энергия тыныштық энергиясы деп аталады?
3. Тыныштық массасы нөлге тең бөлшектің энергиясы бола ма?
4. Тыныштық массасы нөлге тең қозғалыстағы бөлшектің массасы бола ма? Оны қалай анықтайды?



### Тапсырма (теориялық талдау)



1. 10 кг судың массасы мұзға айналған кезде қаншаға кемиді?
2. Бөлшектердің қандай қозғалыс жылдамдығы кезінде оның кинетикалық энергиясы тыныштық энергиясына тең болады?

### ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Электрон  $0,80$  с жылдамдықпен қозғалады. Электронның тыныштық массасы  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Мыналарды: 1) электронның тыныштық энергиясын; электронның массасын; электронның толық энергиясын; электронның кинетикалық энергиясын анықтаңдар.

**Берілгені:**

$$m_0 \approx 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$v = 0,8 c$$

$$E_0 = ?$$

$$m = ?$$

$$E = ?$$

$$E_k = ?$$

**Шешуі:**

1. Электронның тыныштық энергиясын мына формуламен анықтаймыз:

$$E_0 = m_0 c^2;$$

$$E_0 \approx 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 \approx 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж.}$$

$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$  екенін ескеріп, электрон энергиясын электронвольт арқылы көрсетеміз:

$$E_0 \approx \frac{8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} \approx 5,12 \cdot 10^5 \text{ эВ} \approx 0,51 \text{ МэВ.}$$

2. Қозғалыстағы электронның массасын мына қатынастан табамыз:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

$$m = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,8c}{c}\right)^2}} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{0,60} \approx 1,52 \cdot 10^{-30} \text{ кг}.$$

3. Электронның жалпы энергиясын мына формуладан табамыз:

$$E = mc^2;$$

$$E \approx 1,52 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 \approx 13,7 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

4.  $E = E_0 + E_k$  мына формуладан электронның кинетикалық энергиясын табамыз:

$$E_k = E - E_0.$$

$$E_k \approx 13,7 \cdot 10^{-14} \text{ Дж} - 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж} \approx 5,5 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$

$$\text{Жауабы: } E_0 \approx 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж немесе } E_0 \approx 0,51 \text{ МэВ};$$

$$m \approx 1,52 \cdot 10^{-30} \text{ кг}; E \approx 13,7 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}; E_k \approx 5,5 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}.$$



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

#### А

- 7.4.1. Кинетикалық энергиясы  $0,25 mc^2$  бөлшектің  $v$  жылдамдығы қандай?  
(Жауабы:  $1,8 \cdot 10^8$  м/с)
- 7.4.2. Импульстерінің абсолюттік шамалары бірдей екі массасыз бөлшектің қарама-қарсы қозғалған кездегі жиынтық массасы  $m$ . Әрбір бөлшектің энергиясы неге тең? (Жауабы:  $0,5 mc^2$ )
- 7.4.3. Энергияның  $4,19$  Дж-ге тең өзгерісі массаның қандай өзгерісіне сәйкес келеді? (Жауабы:  $4,66 \cdot 10^{-17}$  кг)

#### В

- 7.4.4. Күн кеңістікке әр секунд сайын жуықтап  $3,75 \cdot 10^{26}$  Дж сәулелік энергия шығарады. Күннің массасы әр секунд сайын қандай шамаға кемиді?  
(Жауабы:  $4,2 \cdot 10^9$  кг)
- 7.4.5. Қатаңдығы  $10$  кН/м серіппені  $3$  см-ге созғанда оның массасы қандай шамаға артады? (Жауабы:  $5 \cdot 10^{-17}$  кг)

#### С

- 7.4.6. Массасы  $m_1$  тыныштықтағы бөлшек энергиясы  $E$  болатын массасы нөлге тең бөлшекті жұтып алады. Пайда болған бөлшектің  $m_2$  массасы неге тең? (Жауабы:  $\sqrt{m_1 \left( m_1 + \frac{2E}{c^2} \right)}$ )

- 7.4.7. Инерциялық санақ жүйесінде тыныштықта тұрған массасы  $m$  релятивистік бөлшек өздігінен массасы  $m_1$  және  $m_2$  екі бөлшекке ыдырайды. Пайда болған бөлшектердің  $E_1$  және  $E_2$  энергияларын анықтаңдар.

$$(Жауабы: E_1 = \frac{c^2 (m^2 + m_1^2 - m_2^2)}{2m}; E_2 = \frac{c^2 (m^2 - m_1^2 + m_2^2)}{2m})$$

- 7.4.8. Протонның релятивистік массасы электронның релятивистік массасынан неше есе үлкен? Екі бөлшектің де кинетикалық энергиялары 1 ГэВ.

(Жауабы:  $\approx 1,94$  есе)

## VII ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- Эйнштейннің салыстырмалылық теориясының постулаттары:

1) табиғаттағы барлық процестер кез келген инерциялық санақ жүйелерінде бірдей өтеді;

2) жарықтың вакуумдағы жылдамдығы барлық инерциялық санақ жүйелері үшін бірдей; ол жарық көзінің жылдамдығына да, жарық қабылдағыштың жылдамдығына да тәуелді емес.

- Дененің жылдамдығы мен массасының өзара тәуелділігі:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

мұндағы  $m_0$  — тыныштықтағы дененің массасы.

- Дененің релятивистік импульсі:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

• Релятивистік динамиканың негізгі заңы мен Ньютонның екінші заңының жалпылама жазылу формулалары бірдей:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}.$$

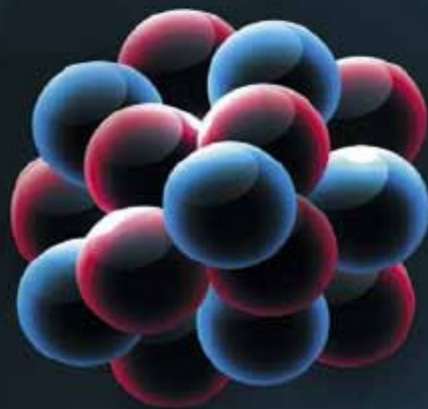
- Дененің массасы мен энергиясының өзара байланыс формуласы:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

•  $E_0 = m_0 c^2$  өрнегі тыныштық энергиясы деп,  $m_0$  — тыныштық массасы деп аталады.



# 8-тарау



## АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА



## ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  сәуле шығару көздері мен түрлерін жіктеу;
-  спектрлік аппараттардың жұмыс істеу принципін және олардың қолданылуын сипаттау;
-  электрмагниттік сәуле шығаруды олардың пайда болу табиғатына және заттармен өзара әрекеттесуіне қарай ажырату;
-  Стефан–Больцман, Вин заңдарын және Планк формуласын ультракүлгін апаратын негіздеу және абсолют қара дененің жылулық сәуле шығаруын сипаттау үшін қолдану;
-  фотоэффектінің табиғатын түсіндіру және оны қолдануға мысалдар келтіру;
-  фотоэффектінің заңдары мен Эйнштейн теңдеуін есеп шығаруда қолдану;
-  жарықтың кванттық теориясы негізінде жарық қысымының табиғатын түсіндіру;
-  фотосинтез бен фотографиядағы процестер мысалында жарықтың химиялық әсерін сипаттау;
-  компьютерлік және магниттік-резонанстық томографияны салыстыру;
-  электрмагниттік сәуле шығарудың корпускулярлы-толқындық табиғатының көрінісін дәлелдеуге мысалдар келтіру;
-  жарықтың қасиеттерін зерделеу мысалында табиғат заңдарын танып-білудің барысы туралы пікір айту;
-  альфа-бөлшектердің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесіне сүйеніп, атомның планетарлық моделін негіздеу;
-  Бор постулаттарының көмегімен атомның орнықты күйінің шарттарын түсіндіру;
-  сутек атомының энергетикалық құрылымына негіздеп сызықтық спектрлердің табиғатын түсіндіру;
-  лазердің жұмыс істеу принципін және құрылғысын түсіндіру;
-  голографияның даму барысын талқылау;
-  элементар бөлшектердің толқындық табиғатының пайда болуымен практикада қолданылуына мысалдар келтіру;
-  де Бройль толқын ұзындығының формуласын есептер шығаруда қолдану;
-  де Бройль болжамын түсіндіру.

## Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

| Қ а з а қ ш а                        | О р ы с ш а                      | А ғ ы л ш ы н ш а                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| сәуле шығару                         | излучение                        | emission, radiation                |
| люминесценция                        | люминесценция                    | luminescence                       |
| жылулық сәуле шығару                 | тепловое излучение               | thermal radiation                  |
| электрмагниттік толқындардың шкаласы | шкала электромагнитных волн      | the scale of electromagnetic waves |
| инфрақызыл сәуле шығару              | инфракрасное излучение           | infrared radiation                 |
| ультракүлгін сәуле шығару            | ультрафиолетовое излучение       | ultraviolet radiation              |
| спектроскопия                        | спектроскопия                    | spectroscopy                       |
| сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы  | спектральная плотность излучения | spectral radiation density         |
| спектрлік талдау                     | спектральный анализ              | spectral analysis                  |
| үздіксіз спектр                      | сплошной спектр                  | continuous spectrum                |
| сызықтық спектр                      | линейчатый спектр                | line spectrum                      |
| жолақ спектр                         | полосатый спектр                 | band spectrum                      |
| жұтылу спектрі                       | спектр поглощения                | absorption spectrum                |
| ультракүлгін апаты                   | ультрафиолетовая катастрофа      | ultraviolet catastrophe            |
| абсолют қара дене                    | абсолютно черное тело            | absolute black body                |
| фотон                                | фотон                            | photon                             |
| корпускулалы-толқындық дуализм       | корпускулярно-волновой дуализм   | wave-corpuscle dualism             |
| фотозэффект                          | фотозэффект                      | photoeffect                        |

|                 |                   |                 |
|-----------------|-------------------|-----------------|
| фотозлемент     | фотозлемент       | photocell       |
| күн батареялары | солнечные батареи | solar batteries |
| лазер           | лазер             | laser           |

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «сәуле шығару», «люминесценция», «жылулық сәуле шығару», «электрмагниттік толқындардың шкаласы», «инфрақызыл сәуле шығару», «ультракүлгін сәуле шығару», «спектроскопия», «сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы», «спектрлік талдау», «үздіксіз спектр», «сызықтық спектр», «жолақ спектр», «жұтылу спектрі», «ультракүлгін апаты», «абсолют қара дене», «фотон», «корпускулалы-толқындық дуализм», «фотоэффект», «фотозлемент», «күн батареялары», «лазер».

## § 8.1

### Сәуле шығару түрлері

1. Күнделікті өмірде сәуле шығару (қысқаша сәулелену) түсінігімен кездесеміз. Бұл термин денсаулыққа зиян келтіретін қауіп-қатер ретінде де жиі қабылданады. Алайда бұның бәрі сәулеленулердің энергиясы мен түрлеріне байланысты болады.

**Сәулелену деп энергияның электрмагниттік толқын және бөлшектер түрінде шығарылуы мен таралу процесін айтады.**

Сәуле шығарудың негізгі көзі — атом. Атом сәуле шығару үшін оған белгілі бір энергия беру қажет. Сәуле шығарғанда атом энергияны жоғалтады; заттың атомдары үздіксіз сәуле шығару үшін оған сырттан энергия беріп тұруды қамтамасыз ету керек.

Әдетте, атомдар сәулелену кезінде электрмагниттік толқындар шығарады, мұндай толқындар зарядталған бөлшектер үдемелі қозғалған кезде пайда болады. Заряды бар бөлшектер заттардың атомдарының құрамдас бөлігі болып табылады.

Сәулеленуді оны шығаратын көзі және энергиясы бойынша топтайды. Сәулеленулерді жылулық сәулелену және жылулық емес сәулелену деп топтастыру тарихи қалыптасқан. Олардың барлығы да электрмагниттік сәулелену болып табылады. Электрмагниттік сәулелену жиіліктеріне қарай  $E = h\nu$  энергиялары өртүрлі болып келетін бірнеше түрге бөлінеді. Олар осы оқулықтың 4-тарауында қарастырылған радиотолқындардан бастап гамма-сәулелеріне дейінгі аралықты қамтитын электрмагниттік толқындар шкаласын түзеді.



**Шығу көздеріне қарай** электрмагниттік сәулеленулерді *табиғи және жасанды* деп бөледі.

**Табиғи көздерге** мыналар жатады:

- Жердің электр және магнит өрістері;
- атмосферадағы электр көздері (найзағай) және Күннен, галактикадан тарайтын радиотолқындар мен электрмагниттік сәулелер.

**Жасанды (антропогендік) көздерге** мыналар жатады:

- антенналық жүйелер;
- аса жоғары жиілікті (АЖЖ) генераторлар;
- конденсаторлар;
- лазер қондырғылары;
- микротолқынды пештер;
- компьютерлердің және басқа экрандық аспаптардың мониторлары.

**2. Шығу көздері бойынша** кең тараған сәулеленуге *жылулық сәулелену* жатады.

**Жылулық сәулелену деп зат бөлшектерінің (молекулаларының, атомдарының, иондарының және электрондарының) хаостық (жылулық) қозғалыстары мен өзара әрекеттесулерінен туындаған ішкі энергиясы есебінен заттың шығаратын электрмагниттік сәулесін айтады.**

Дене температурасы жоғары болған сайын бөлшектер шапшаң қозғала бастайды. Шапшаң қозғалатын атомдардың (немесе молекулалардың) соқтығысуы кезінде олардың кинетикалық энергиясының бір бөлігі атомдарды қоздыруға шығындалады; қозған атом сәуле шығарып, қозбаған күйіне қайта оралады.

Мысалы, Күн және электр шамының қылсымы (8.1.1-сурет) сәуле шығарудың жылулық көздері болып табылады. Шамның қылсымы жарықтың өте қолайлы, бірақ үнемсіз көзіне жатады. Шамның қылсымы электр тогымен шығарылатын энергияның тек 12% ғана жарық энергиясына айналдырады. Жылулық сәуле шығару көздеріне от жалыны да жатады (8.1.1,б-сурет).



8.1.1-сурет. Жылулық сәулелену көздері: а) Күн; ә) электр шамы; б) оттың жалыны

**3. Жылулық емес** сәулелендіруге люминесценцияның барлық түрлері жатады. **Люминесценция деп заттың қосымша энергияны жұтқаннан кейін жылулық емес сәуле шығаруын айтады.**

Люминесценция көзінің табиғатына қарай оны түрге бөледі.

**Электрлюминесценция.** Атомдар сәуле шығару үшін қажетті энергияны жылулық емес көздерден алуы мүмкін. Мысалы, газдағы разряд кезінде электр өрісі электрондарға үлкен кинетикалық энергия береді. Шапшаң қозғалған электрондар атомдармен серпімсіз соқтығысулар жасау барысында олардың кинетикалық энергиясының біраз бөлігі атомдарды қоздыруға жұмсалады. Қозған атомдар артық энергиясын жарық толқындары ретінде шығарады. Нәтижесінде газдағы разряд жарық сәулесін шығарумен қосарласа жүреді. Бұл құбылыс *электрлюминесценция* деп аталады.

Электрлюминесценцияның маңызды көріністерінің бірі — *солтүстік шұғыла*. Күннен шығатын зарядталған бөлшектердің ағындары Жердің магнит өрісімен қармалады. Олар Жердің магниттік полюстерінің маңында атмосфераның жоғарғы қабаттарының атомдарын қоздырады; сөйтіп, қозған атомдар шұғылалы жарқыл шығарады. Электрлюминесценция құбылысын жарнама түтікшелерінде қолданады.

**Катодолюминесценция.** Катод пен анодқа күшті кернеу берген кезде катодтан шығатын электрондармен атқылау барысында қатты денелердің жарық шығаруы *катодолюминесценция* деп аталады.

**Хемилюминесценция.** Энергия бөлінуімен жүретін кейбір химиялық реакцияларда энергияның бір бөлігі жарық шығаруға жұмсалады. Жарық шығару көзі салқын күйінде қалады (қоршаған ортаның температурасымен бірдей). Бұл құбылыс *хемилюминесценция* деп аталады. Мысалы, жарқырауық қоңыздың жарқырауы хемилюминесценция құбылысымен түсіндіріледі. Жарқырау қасиетімен басқа да тірі ағзалар ерекшеленеді: бактериялар, жәндіктер, үлкен тереңдікте мекендейтін балықтар (8.1.2-сурет). Қараңғыда химиялық реактивтер де жарық шығарады (8.1.3-сурет).

**Фотолюминесценция.** Затқа түсетін жарықтың бір бөлігі шағылады, басқа бөлігі жұтылады. Жұтылатын жарықтың энергиясы көп жағдайда тек денелердің



8.1.2-сурет.  
Теңіз жәндіктері



8.1.3-сурет.  
Химиялық реактивтер



Вавилов Сергей Иванович (1891–1951) — Кеңес Одағының физигі, мемлекет және қоғам қайраткері, 1945–1951 жылдардағы КСРО ҒА президенті. Негізгі еңбектері физикалық оптикаға, соның ішінде люминесценцияға арналған. Оның басшылығымен күндізгі жарық шамдарын жасақтау технологиясы және заттардың химиялық құрамының люминесцентті талдау әдісі дамытылды.

қызуына жұмсалады. Бірақ кейбір денелер оларға тікелей түсетін сәуле әсерінен өздері жарық шығара бастайды. Бұл *фотолюминесценция* құбылысы деп аталады. Жарық заттың атомдарын қоздырады (олардың ішкі энергиясын арттырады), сөйтіп, атомдар жарық шығара бастайды. Мысалы, шырша ойыншықтарының бетін жабатын бояулар оларды сәулелендірген соң, жарық шығара бастайды. Фотолюминесценцияның қолданылуын кеңес физигі С.И. Вавилов зерттеген. Фотолюминесценция кезінде шығарылатын жарықтың толқын ұзындығы оны қоздыратын жарықпен салыстырғанда ұзынырақ болады. Оны эксперимент жүзінде бақылауға болады. Егер флюоресценция деп аталатын органикалық бояғыш қосылған сұйыққа күлгін жарық шоғын бағыттасақ, ол сұйық жасыл-сары жарық шығара бастайды. Шығарылған сәуленің толқын ұзындығы түскен күлгін сәуленің толқын ұзындығынан артық болып келеді.



### Қосымша деректер

Біздің көзіміз көретін жарық электрмагниттік спектрдің бір бөлігі болып табылады. Қыздыру шамдарына қарағанда жарықдиодты шамдар тек көрінетін жарықты ғана шығарады. Міне, сондықтан жарықдиодты шамдар экономикалық жағынан тиімді саналады.



### Сұрақтар

1. Сәуле шығару деп қандай процесті айтады? Сәуле шығарудың негізгі шарттары қандай?
2. Сәуле шығару (сәулелену) қандай белгілері бойынша топтастырылады? Мысалдар келтіріңдер.
3. Қандай сәулеленулер жылулық сәуле шығару деп аталады? Олардың көздері қандай және қалай сипатталады?
4. Люминесценция деп қандай процесті айтады? Люминесценция түрлерімен ондағы процестер қалай түсіндіріледі?
5. Фотолюминесценция кезінде шығарылатын жарықтың толқын ұзындығы сол жарқырауды туғызатын жарықтың толқын ұзындығынан артық болатынын қалай түсіндіруге болады?



### Тапсырма (теориялық талдау)

1. Катодолюминесценцияның пайда болу механизмін түсіндіріңдер.
2. «Люминесценцияны техникада пайдалану» тақырыбына презентация жасаңдар.
3. Мына тақырыптар бойынша қысқаша хабарламалар даярлаңдар: 1) Сәулеленулердің табиғи көздері — Жердің магнит өрісі, атмосферадағы электр құбылыстары және Күннің радиосәулеленулері; 2) Галактиканың радиосәулеленулері; 3) Жоғары жиілікті трансформаторлар мен конденсаторлар; 4) Микротолқынды сәулелену және компьютерлердің мониторлары.  
Ұсыныс: сынып оқушылары төрт топқа бөлінеді: Әр топтан бір оқушы баяндама жасайды. Мүғалім және оның ассистенттері үздік баяндаманы анықтайды.

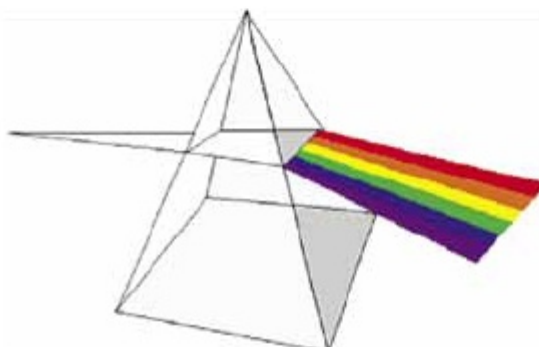


## § 8.2

## Спектрлер. Спектрлік аппараттар

1. Жарық электрмагниттік толқындар шкаласында белгілі бір толқын ұзындықтары (жиіліктері) аралығын алып жатқан көрінетін электрмагниттік сәулелену екендігі белгілі. Жарық жекелеген монохроматты сәулелерден тұратын күрделі электрмагниттік сәулелену болып табылды. Алайда Ньютонға дейін жарықтың нақты бір толқын ұзындығына немесе жиілігіне сәйкес келетін жекелеген сәулелерден тұратынын көрсететін аспапты ешкім ойлап тапқан жоқ.

Оптикалық спектрлерді зерттеуді Исаак Ньютон бастады. Ол 1704 жылы шыққан өзінің «Оптика» атты еңбегінде призма арқылы өткен ақ жарықтың құрамдас түстерге жіктеліп, олардың әртүрлі сынатындығы жайлы тәжірибелерінің нәтижелерін жариялады, сөйтіп, алғаш рет күн сәулесінің спектрлерін алды. Жарықтың әртүрлі түстерге жіктелуі Роджер Бэкон XIII ғасырда айтқандай, призманың қасиетіне байланысты емес екенін, жарықтың өз қасиетінен туындайтынын сипаттап, табиғатын түсіндірді. Ақ жарық призмадан өткен кезде оны құрайтын сәулелерге жіктеледі (8.2.1-сурет). Осылайша, Ньютон *оптикалық спектроскопияның* негізін қалады. «Оптикада» ол қазіргі күнге дейін қолданылатын жарықты жіктеудің барлық үш әдісін — сынуды, интерференцияны және дифракцияны сипаттап жазды. Оның ойлап тапқан коллиматоры, саңылауы және линзасы бар призмасы ең бірінші *спектроскоп* болатын. Оның жәрдемімен күн сәулесінің спектрі алынған еді (8.2.1-сурет).



8.2.1-сурет. Ақ жарықтың жіктелуі

**Спектр деп күрделі электрмагниттік толқынның жекелеген гармоникалық (яғни монохроматты) сәулелерге жіктелген жиынтығын айтады.**

2. Жарық толқынының өзімен бірге таситын энергиясы толқын ұзындықтарына немесе жиіліктеріне қарай кеңістікте үлестіріледі. Бұл энергияны сипаттау үшін *сәулелену қарқындылығы* және *сәулелену ағынының спектрлік тығыздығы* деп аталатын шамалар енгізіледі.

**Сәулелену қарқындылығы деп бірлік уақытта бірлік беттен перпендикуляр бағытта өтетін және бірлік денелік бұрышқа келетін сәулелену энергиясының толық ағынын айтады.**

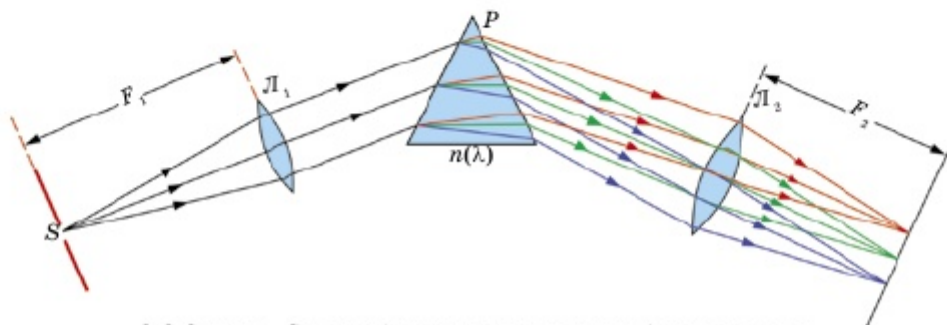
**Сәулелену ағынының спектрлік тығыздығы деп берілген толқынның ұзындығы  $\lambda$  (немесе жиілігі  $\nu$ ) кіретін шексіз аз спектрлік аралықта алынған сәулелену қарқындылығының осы аралықтың  $d\lambda$  (немесе  $d\nu$ ) шамасына (еніне) қатынасын айтады.**

Сәулелену ағынының спектрлік тығыздығы эксперимент жүзінде анықталады. Әуелі призма арқылы жарық көзінен шыққан сәуле спектрін алып, оның белгілі бір аралыққа келетін энергиясын анықтау керек. Оны көзбен анықтау өте қиын, сондықтан абсолют қара дененің сәулені жұту қасиетін пайдаланған жөн. Сәулелену денені қыздырады, ал дененің температурасы арқылы энергияны есептеу қиын емес.

3. Спектрлерді зерттеу үшін оларды жіктеп, нақты бөлетін және бір-біріне қабаттастыруға жол бермейтін аппараттар қажет.

Мұндай спектрлік аппараттарда көп жағдайда *дифракциялық тор* немесе *призма* қолданылады. 8.2.2-суретте осындай аппараттың сұлбасы көрсетілген.

Призmanın әрекеті дисперсия құбылысына, яғни заттың  $n$  сыну көрсеткішінің жарықтың  $\lambda$  толқын ұзындығына тәуелділігіне негізделген.



8.2.2-сурет. Спектрлік аппараттағы сәуленің жүру жолы

Зерттелетін сәуле түсетін  $S$  саңылауы  $L_1$  линзаның  $F_1$  фокалдық жазықтығында орналасқан. Аспаптың бұл бөлігі *коллиматор* деп аталады. Линзадан шыққан жарықтың параллель шоғы  $P$  призмаға түседі.

$L_2$  линзаның фокалдық  $F_2$  жазықтығында сәулелер тоғысатын экран немесе фотоластинка орналасқан. Нәтижесінде экранда әртүрлі толқын ұзындықтарына сәйкес түсті жолақтар — спектр пайда болады. Призмаларды жасайтын барлық мөлдір заттардың (шыны, кварц) көрінетін жарық аймағында  $n$  сыну көрсеткіші  $\lambda$  толқын ұзындығы артқан сайын кемиді; сондықтан призма көк, күлгін сәулелерді бастапқы бағытынан көбірек ауытқытып, белгілі бір бұрышпен сындырады. Ал қызыл түсті сәуленің ауытқуы басқаларына қарағанда аз болады. Сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына монотонды кемімелі тәуелділігі  $n(\lambda)$  *қалыпты дисперсия* деп аталады.

### Сұрақтар

1. Неліктен ақ жарық призмадан өтіп спектрге бөлінеді? Бұл құбылыстың негізінде қандай физикалық құбылыс жатыр? Спектр деп нені айтады?
2. Қандай шама сәулелену қарқындылығы деп аталады? Сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы деп қандай шаманы айтады?
3. Спектрлік аппараттардың жұмысы қандай құбылысқа негізделген? Қандай тәуелділікті қалыпты дисперсия деп атайды?



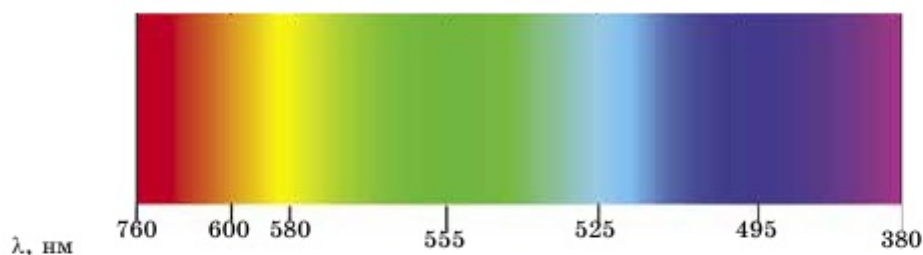
**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

«Спектрлік аспаптар» тақырыбына реферат дайындаңдар. Спектрлік аспаптардың түрін, олардың негізгі қолдану аймағын, құрылымын және жұмыс істеу принципін ашып жазыңдар.

**§ 8.3****Спектрлік талдау**

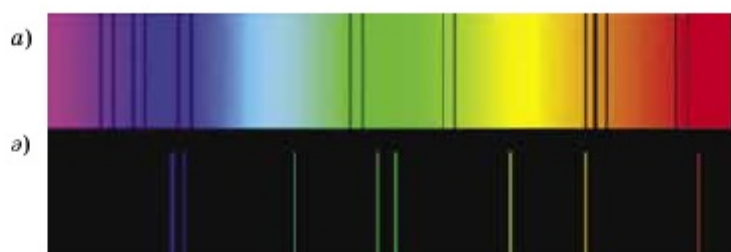
1. Өртүрлі заттардың атомдарының сәуле шығаруының спектрлік құрамы алуан түрлі болып келеді. Дегенмен барлық спектрлерді бір-бірінен ерекшеленетін үш түрге бөледі: *үздіксіз* (тұтас), сызықтық және жолақ спектрлер.

**Үздіксіз (тұтас) спектрлер.** Сәуле шығарудың үздіксіз спектрінде (8.3.1-сурет) барлық ұзындықтағы толқын көрініс табады. Спектрде үзілулер жоқ және спектрограф экранында бір түстен екінші түске жайлап өтетін тұтас түрлі түсті жолақты көруге болады. Үздіксіз спектрлерді *қатты* немесе *сұйық күйдегі денелер* және *қатты сығылған газдар* береді. Үздіксіз спектрді жоғары температуралы *плазма* да береді.



8.3.1-сурет. Үздіксіз спектрлер

**Сызықтық спектрлер** *жұтылу және сәуле шығару спектрлеріне бөлінеді.* Сәуле шығарудың сызықтық спектрлері (8.3.2, а-сурет) жарықтылығы әртүрлі сызықтар жиыны болып келеді, олар қараңғы жолақтармен бөлінген. *Газ тәрізден атомдық* (молекулалық емес) күйдегі заттардың бәрі сызықтық спектрді береді. Сызықтық спектрлердің табиғаты әр заттың тек өздеріне ғана тән атомдарының энергетикалық деңгейлеріне сәйкес келетін стационарлық күйлерінің болуымен түсіндіріледі. Әдетте, сызықтық спектрлерді бақылау үшін зат буының ыстық жалында жарқырауы немесе зерттелетін газбен толтырылған түтікшедегі газ разрядының жарық шығаруы қолданылады.



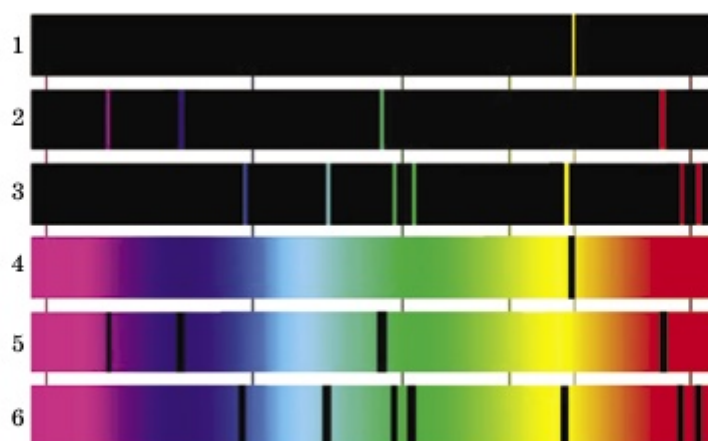
8.3.2-сурет. Сызықтық спектрлер: а) жұтылу спектрі; ә) сәуле шығару спектрі

**Жолақ спектрлер.** Жолақ спектрлер қараңғы аралықтармен бөлінген жеке жолақтардан тұрады (8.3.3-сурет). Жолақ спектрлердің негізгі көзі атомдар емес, бір-бірімен байланыспаған немесе әлсіз байланысқан *молекулалар* болып табылады.



8.3.3-сурет. Жолақ спектрлер

**Жұтылу спектрлері.** Егер ақ жарықты өз жарығын шығармайтын салқын газ арқылы өткізсек, онда тұтас спектрде жұтылған сәулелерге сәйкес келетін қараңғы сызықтар пайда болады. Салқын газ қатты қызған күйінде өз сәулесін шығаратын аймақта нақ сондай өзіне түскен сәулелерді белсенді жұта бастайды. Міне, осылайша жұтылу сызықтық спектрлері пайда болады (8.3.2, а-сурет және 8.3.4-сурет, төменгі үш қатар).



8.3.4-сурет. Атомдардың жарық шығару спектрлері: 1-натрий; 2-сутек; 3-гелий.  
Атомдардың жарық жұту спектрлері: 4-натрий; 5-сутегі; 6-гелий

**2. Сызықтық спектрлер** тікелей атомның құрылымымен байланысты болғандықтан, оларды зерттеу **спектрлік талдау әдісінің негізіне алынады**. Сондықтан сызықтық спектрлер бойынша заттың қандай химиялық элементтен тұратынын анықтауға болады. Кез келген химиялық элементтің атомдары басқа элементтердің спектріне ұқсамайтын тек өзіне ғана тән спектр шығарады.

**Спектрлік талдау деп заттың химиялық құрамын оның спектрі бойынша анықтау әдісін айтады.**

Спектрлік талдау арқылы күрделі заттың құрамындағы элементтерді дөп басып анықтауға болады. Әмбебап болғандықтан спектрлік талдау металлургияда, машина жасауда, атомдық өндірісте зат құрамын бақылаудың негізгі әдісі болып табылады.

Астрофизикада спектрлік талдау тек жұлдыздардың, газ бұлттарының және тағы басқа объектілердің химиялық құрамын анықтаумен шектелмейді, сонымен қатар олардың спектрлері бойынша басқа да параметрлерін, мысалы, температура, қысым, қозғалыс жылдамдығы және магнит индукциясы секілді физикалық сипаттамаларын да анықтайды.

Астрофизикадан басқа, спектрлік талдау криминалистикада қылмыс орнындағы айғақтарды зерттеу үшін қолданылады.

Медицинада спектрлік талдауды қолданудың аймағы өте кең. Оны диагностика мақсаттарында және адам ағзасындағы бөгде заттарды анықтау үшін қолданады.



### Сұрақтар

1. Үздіксіз, сызықтық және жолақ спектрлердің бір-бірінен айырмашылығы неде? Қандай заттар үздіксіз, сызықтық және жолақ спектрлерді береді?
2. Жұтылу спектрлері дегеніміз не? Жұтылу спектрдің қай аймағында байқалады?
3. Спектрлік талдаудың негізгі қызметі қандай? Оның негізіне қай спектр алынады? Неге?
4. Спектрлік талдау қайда қолданылады?
5. Шам жалыны, алау жалыны, электр плитка спиралі, электр доғасының жалыны, неон шамы және күндізгі жарық шамы көздерінен қандай спектр алынады?



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

1. Спектрлік талдаудың металлургияда, машина жасауда, атомдық индустрияда, криминалистикада және астрофизикада қолданылуы тақырыбына презентация дайындаңдар.
2. Аргон, неон және криптонның шығару және жұтылу спектрлерін салыңдар. Олардың бір-бірінен айырмашылығын талдаңдар. Аргон, неон және криптонның шығару спектрлері сутек және гелий спектрлерінен ерекшелене ме?



## § 8.4

## Инфрақызыл және ультракүлгін сәуле шығару

1. 1800 жылы ағылшын ғалымы В. Гершель күн спектрінің көрінбейтін бөлігінде термометр температурасының артатынын байқады. Кейінірек Кеңес Одағының физигі Глаголева–Аркадьева *инфрақызыл толқындардың* бар екенін дәлелдеді.

**Инфрақызыл (ИҚ) сәуле** адам көзіне көрінбейді. Оны барлық сұйық және қатты денелер шығарады. Сондықтан да инфрақызыл сәуле шығаруды **жылулық** деп атайды.

**Инфрақызыл сәуле  $3 \cdot 10^{11}$  Гц –  $3,75 \cdot 10^{14}$  Гц (800 нм – 1 мм) аралығындағы электрмагниттік сәулелену екені белгілі болды.**

Инфрақызыл сәуле табиғи сәуле шығарудың түріне жатады. Әр адам күнделікті өмірде оның әсеріне ұшырайды. Оны артық энергиясы бар атомдар мен иондар шығарады. Нөлден жоғары температурасы бар әр дене инфрақызыл сәуле көзі болып саналады. Күн — ол ИҚ сәуленің табиғи көзі. Күн энергиясының қомақты бөлігі біздің планетамызға ИҚ сәулелер ретінде келеді. Пәтердегі қыздыру батареялары да инфрақызыл сәулелерін шығарады.

ИҚ сәуле шығару аймағындағы толқындардың ұзындығы қыздыру температурасына тәуелді өзгереді. Қарқындылығы жоғары қысқа толқындар ең жоғары температурада байқалады. Инфрақызыл сәулелердің қамтитын аймағына мына толқындар кіреді:

*Қысқа толқындар — температурасы 800°C-тан жоғары.*

*Орташа толқындар — 600°C-қа дейін.*

*Ұзын толқындар – 300°C-қа дейін.*

Инфрақызыл сәулелерді көптеген салаларда қолданады. Мысалы:

- әскер ісінде зымырандардағы, оқтұмсықтардағы түнгі көру аспаптары инфрақызыл сәуленің қасиеттерін пайдаланады;
- термографияда инфрақызыл сәуле қатты қыздырылған немесе қатты салқындатылған орынды зерттеу және аспан денелерін табу үшін қолданады;
- тұрмыста интерьерге арналған нәрселерді және қабырғаларды жылытуға арналған инфрақызыл жылытқыштар жұмысында пайдаланады;
- қашықтықтан басқаруда қазіргі таңдағы теледидар, пеш, салқындатқышқа (кондиционер) арналған пульттер инфрақызыл сәулемен жұмыс істейді;
- медицинада инфрақызыл сәулелер әртүрлі ауруларды емдеуде қолданылады.

2. **Ультракүлгін сәуле.** Ультракүлгін сәулелері туралы алғашқы дерек тарихта XIII ғасырда Шри Мадхачарай атты ғалымның еңбегінде кездеседі. Ол Бхутакаши атты жергілікті мекеннің атмосферасын сипаттағанда адам көзіне көрінбейтін күлгін сәулелер жайында сөз қозғайды.

1801 жылы ғалымдар тобы тәжірибелер барысында жарық әсерінің бірнеше құрамдас бөліктерін: тотықтандыратын, жылу беретін (инфрақызыл), жарықтандыратын (көзге көрінетін жарық) және қалпына келтіретін (ультракүлгін) қасиеттерін анықтады. 1842 жылы ультракүлгін сәуле шығаруды ресми түрде неміс физигі Иоганн Вильгельм Риттер ашты. Бұл сәуле жарық қоспаларының құрамына кіретін және қалпына келтіретін элемент ретінде танылды.

**Ультракүлгін (УҚ) сәуле деп жиіліктері (толқын ұзындықтары)  $8 \cdot 10^{14}$  Гц —  $3 \cdot 10^{16}$  Гц (10 — 375 нм) аралықтарында жататын электромагниттік сәуле шығаруды айтады.**

Ультракүлгін сәуле жоғары химиялық активтілігімен ерекшеленеді. Ультракүлгін сәулелерге өте сезімтал химиялық зат – фотоэмульсия. Егер спектрді қараңғы бөлмеде фотоқағазға проекциялап, оны айқындағаннан кейін көзге көрінетін спектр аймағына қарағанда, спектрдің күлгін шетіне қарай көбірек қарайып кететіні байқалады.

Ультракүлгін сәулелер көрінбесе де, олар адамның көз торына және терісіне қатты әсер етеді. Ультракүлгін сәулеленуден сақтану қажет. Бірақ аз мөлшерлерде ультракүлгін сәулесінің пайдасы да бар.

**Ультракүлгін сәуле шығарудың қасиеттеріне химиялық активтілігі, өткіштік қабілеті, көзге көрінбеу, микроағзаларды жою, адам ағзасына пайдалы әсері (аз мөлшерлерде) және адам ағзасына кері әсері (көп мөлшерлерде) жатады.**

Ультракүлгін сәуле шығарудың табиғи көздері – Күн, жұлдыздар, тұмандықтар және басқа да ғарыш объектілері. Ультракүлгін сәулесінің тек ұзын толқынды бөлігі ғана ( $\lambda > 290$  нм) Жер бетіне келіп жетеді. Толқын ұзындығы қысқа ультракүлгін сәулесі Жер бетінен 30–200 км қашықтықтағы озон, оттегі атомдары мен молекулаларында және басқа да иондарда жұтылады. Бұл атмосфералық процестерде үлкен рөл атқарады. Жер атмосферасында жұтылған 91,2–20 нм аралығында ультракүлгін сәулелерінің басқа толқын ұзындықтарындағы құрамдас бөліктері Жерге жетпей, жұлдызаралық сутек атомдарында іс жүзінде толықтай жұтылады деп айтуға болады.

УҚ сәулені маталарды ағартқанда, нақты заттар синтезінде, D дәруменін алуда, лакталған былғары өндіргенде және әртүрлі өндірістік әрекеттерде қолданады.

Көзге көрінетін жарық әсерінен қызғылт болатын заттардың люминесценциясы көп жағдайда қызғылт болып қала береді, алайда Холлидің қызғылт ұнтағы (шөптер мен табиғи бояғыштардың негізінде жасалған бояу) ультракүлгін жарық әсерінен сарғылт түсті сәуле шығарады.

Ультракүлгін аймақтарында сәуле шығару, жұтылу және шағылу спектрлерін зерттеу атомдардың, иондардың, молекулалардың және қатты денелердің электрондық құрылымын анықтауға мүмкіндік береді. Күннің, жұлдыздардың және алыстағы басқа объектілердің ультракүлгін спектрлері олардың ыстық

қойнауларында болып жатқан физикалық процестер туралы ақпарат береді. **Фотоэлектрондық спектроскопия** ультракүлгін сәуле әсерінен болатын фотоэффект құбылысына негізделген. Ультракүлгін сәуле молекулалардағы химиялық байланыстарды үзуі мүмкін, соның арқасында өртүрлі химиялық реакциялар (тотығу, қалпына келу, ыдырау, полимеризация) орын алады.

Ультракүлгін сәуле шығару әсерінен туындайтын люминесценция құбылысы люминесцентті шамдар, жарқырайтын бояулар жасағанда, люминесценттік талдауда және люминесценттік дефектоскопияда қолданылады. Ультракүлгін сәуле криминалистикада бояғыштардың бірдейлігін, құжаттардың дұрыстығын анықтауда және тағы басқа жағдайларда қолданылады. Өнертануда ультракүлгін сәуле суреттердегі көзге көрінбейтін реставрацияларды анықтауға мүмкіндік береді. Көптеген заттардың ультракүлгін сәулені таңдап жұту қабілеті атмосферадағы зиянды қалдықтарды табуға және **ультракүлгіндік микроскопияда** қолданады.

### Қосымша деректер



Ультракүлгін, инфрақызыл және рентген сәулелері ертедегі қылқалам шеберлерінің полотнода (кенепке) салған, бірақ кейінгі кездерде басқа суреттермен жабылып қалған көркем туындыларын анықтауда жиі қолданылады. Бұл әдіс жоғалған полотноларды табуға жәрдемдеседі, қылқалам шеберінің көркем туындыны жасау процесінің кезеңдерін бақылауға мүмкіндік береді, сонымен қатар өртүрлі көзбояушылық туындылардың дәлелдемесінің ғылыми негізі болып табылады. Мысалы, аты шулы көзбояушы Ханс ван Меегереннің көпжылғы алаяқтық әрекетін әшкерелеуде рентгендік талдау игі көмек жасады. Бұл алаяқтар өйгілі қылқалам шеберлерінің бағалана қоймаған полотноларындағы суреттерінің үстіне өз туындыларын салып, олардың туындыдағы қолтаңбаларын пайдаланған.



### Сұрақтар

1. Инфрақызыл сәуле шығару көздеріне не жатады? Мысалдар келтіріңдер.
2. Неліктен жарықтың жылулық құрамын инфрақызыл, ал қалпына келтіргіш құрамдас бөлігін ультракүлгін деп атайды?
3. Инфрақызыл сәулелері қайда қолданылады?
4. Ультракүлгін сәуле шығарудың негізгі қасиеттері қандай?
5. Ультракүлгін сәулелерді қай жерде пайдаланады?
6. Жарық шамының спектрінде ультракүлгін сәуленің болуы мүмкін бе?
7. Шыны инфрақызыл сәуле үшін мөлдір емес. Неліктен күн сәулесі терезе өйнегі арқылы өтіп қыздырады?



### Тапсырма (теориялық талдаулар)

1. Фотография принципін ультракүлгін сәуле шығару негізінде түсіндіріңдер.
2. «Ультракүлгін сәуле шығару арқылы пайда болатын люминесценцияны қолдану» тақырыбына презентация дайындаңдар.



## § 8.5

## Жылулық сәуле шығару

1. Сәуле шығарудың барлық түрінің табиғаты туралы деректерді олардың кез келген түрін зерттеу жолымен алуға болады. Десек те, біз қызған дененің сәуле шығаруына ерекше көңіл бөлеміз, өйткені осы бағыттағы зерттеу нәтижелері физиканың дамуы үшін аса маңызды рөл атқарады.

Жылулық сәуле шығару түсінігін алғаш рет химик Карл Вильгельм Шеелемен (1742–1786) енгізіп, бірінші экспериментті Марк Огюст Пикте (1752–1825) жүргізді. Пьер Прево (1751–1839) Пиктенің жүргізген эксперименттеріне сүйеніп, мынадай қорытынды жасады: әр дене қоршаған ортаға тәуелсіз сәуле шығарады. Денеге берілген жылу мөлшері оның ортадан алатын жылу мөлшері мен өзі шығаратын жылу мөлшерінің айырымы болып табылады. XIX ғасырдың бірінші жартысында спектрлердің тек бірегейлігі туралы айтылып, жылулық сәулелену мен жарықтың сәуле шығаруын жиі шатастыратын еді.

Густав Роберт Кирхгоф (1824–1887) жылулық сәуле шығарудың механизмін түсіндіруде маңызды үлес қосты. Оның жасаған қорытындылары бойынша температурасы тұрақты, сәулелерді өткізбейтін тұйықталған бос кеңістікте «қара дененің» әмбебап сәуле шығаруы қалыптасады. Ондай сәуле шығару «қара денені» қоршаған қабырғаның табиғатына емес, тек өзінің температурасына ғана тәуелді. Кез келген дененің жұтқан сәулесі мен сыну көрсеткіші белгілі болса, сәуле шығару қарқындылығын сол «қара дененің» сәуле шығаруына негіздеп анықтауға болады (1859).

Жылулық сәулеленуді зерттеудегі бетбұрысты кезең 1898 жылы басталды. Сол жылы Люммер мен Принсгейм және басқа зерттеушілер эксперимент жүзінде абсолют қара дененің сәуле шығару қабілетінің берілген температурадағы жиілікке тәуелділік қисығын ( $r_{\nu, T}$ ) алған еді. Бұл қисық (46-беттегі 8.6.1-суретте көрсетілгендей) өркеш тәрізді максимумы бар график түрінде бейнеленді. Графиктен жиіліктің үлкен мәндерінде (толқын ұзындығының кіші мәндерінде) қисықтың максимумнен төмен қарай күрт құлдыайтындығы анық көрініп тұр. Ал сәуле шығарудың классикалық теориясы бойынша бұл қисық жиіліктің квадратына пропорционал өсіп, тек жоғарылай беруі керек еді. Бұл қайшылық ғалымдарды туындаған проблеманың шешу жолдарын табуға жұмылдырды.

Барлық денелердің белгілі бір дәрежеде электрмагниттік толқындарды шығаратыны қазіргі кезде белгілі болды. Жеткілікті жоғары температураға дейін қызған денелер көзге жарқырап көрінетін сәулелер шығарады, ал қалыпты температураларда көрінбейтін инфрақызыл сәуленің көздері болып табылады. Заманауи зерттеулердің нәтижелеріне сүйеніп, жылулық сәуле шығарудың қысқаша анықтамасын беріп, қасиеттерін көрсете аламыз.

**Жылулық сәуле шығару деп әр заттың ішкі энергиясы есебінен электр-магниттік сәулелік толқындарды шығаруын айтады.**

Жылулық сәуле шығару қасиеттеріне мыналар жатады:

- *үздіксіз спектр;*
- *спектрдің максимум нүктесі температураға тәуелді;*
- *температура жоғары болса, қысқа толқынды электрмагниттік сәуле (көрінетін жарық, ультракүлгін) шығарады;*
- *температура төмен болса, ұзын толқынды сәулелер, олардың ішінде басым бөлігі инфрақызыл сәулелер шығарады;*
- *тепе-теңдік орнауы мүмкін, яғни уақыт бірлігінде дене қанша энергия жұтса, сонша энергия шығарады: егер жұтқан энергиямен салыстырғанда шығарған энергия көбірек болса, онда дене салқындайды, керісінше жағдайда қызады.*

**2. Жылулық сәулеленудің қандай шамалармен сипатталатынын қарастырайық.** Жылулық сәулеленудің қарқындылығы энергия ағынының  $W$  шама-сымен сипатталады; бұл шама бірлік уақыттағы энергия, яғни *қуат* болғандықтан *ватпен* өлшенеді.

**Энергетикалық жарықтылық деп қызған дененің барлық бағытта, барлық толқын ұзындығында (жиілікте) беттің бірлік ауданынан шығаратын энергия ағынын айтады:**

$$R = \frac{W}{S}, \quad (8.1)$$

мұндағы  $S$  — сәуле шығаратын беттің ауданы.

Жылулық сәулеленудің сандық сипаттамасы қызметін *энергетикалық жарықтылықтың спектрлік тығыздығы*  $R_{\nu,T}$ , яғни *жиіліктердің бірлік ені аралығында дененің бірлік ауданнан шығаратын сәуле қуаты* алынады.

Энергетикалық жарықтылықтың спектрлік тығыздығы арқылы *интегральдік энергетикалық жарықтылықты* (қысқаша дененің энергетикалық жарықтылығын) барлық жиіліктердегі қосындылары бойынша есептеуге болады:

$$R_T = R_{\nu,T} \nu. \quad (8.2)$$

Денелердің өздеріне түсетін сәулелерді жұту қабілеті  $A_{\nu,T}$  таңбасымен белгіленетін *спектрлік жұту қабілеті* арқылы сипатталады. Бұл шама  $\nu$  және  $\nu + d\nu$  жиіліктері аралығында дененің бірлік ауданына бірлік уақытта келіп түскен энергияның қанша бөлігінің жұтылатынын көрсетеді. *Спектрлік жұту қабілеті* — *өлшемсіз шама*.

**3. Кез келген дененің жылулық сәулеленуінің сандық сипаттамасын қара дене деп аталатын денемен және оның тепе-теңдік сәулеленуімен салыстыру арқылы анықтайды.**

Егер айналық беттен жасалған тұйық қуысқа әртүрлі температураға дейін қыздырылған бірнеше дене орналасса, онда тәжірибе көрсеткендей, мұндай жүйе уақыт өте жылулық тепе-теңдік күйіне жетеді және барлық денелер бірдей температураға ие болады. Денелердің вакуумдағы энергия алмасу процесі тек

сәулелік энергияны шығару немесе жұту арқылы өтеді, ал заттық ортада энергия (жылу) алмасудың үш түрі де (жылуөткізгіштік, конвекция және сәулелік) орын алады. Төпе-теңдік жағдайында әр дененің сәуле шығару және жұту процестері барысында олар энергия алмасып, бірін-бірі теңгереді, сөйтіп, денелер арасындағы кеңістіктегі сәуле шығару энергиясының тығыздығы тек барлық денелерге ортақ қалыптасқан температураға ғана тәуелді болады. *Мұндай сәулелену Кирхгофтың қорытындыларына сәйкес төпе-теңдік немесе «қара» сәулелену деп аталады.*

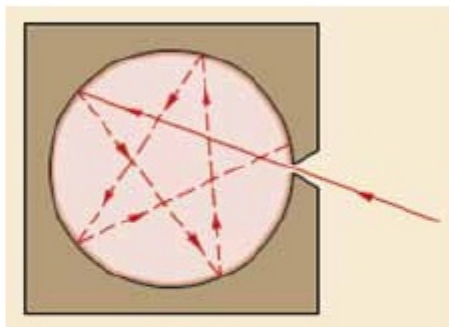
**Төпе-теңдік немесе «қара» сәулелену деп белгілі температураға ие денелермен термодинамикалық төпе-теңдік күйде болатын сәуле шығаруын айтады.**

Егер қуысқа орналасқан денелердің жұтқан сәулелері мен шығарған сәулелерінің арасында термодинамикалық төпе-теңдік орнаса, онда қуысқа тар саңылау арқылы қарағанда денелер көрінбейді, тек біртекті жарықталу байқалады.

**Абсолют қара дене деп өзіне түсетін бүкіл энергияны жұтып алуға қабілетті денені айтады.**

Берілген температурада сәулелену арқылы жылулық төпе-теңдікте болатын абсолют қара дененің жылулық сәулеленуінің спектрлік құрамы оны қоршаған төпе-теңдік сәулеленудің спектрлік құрамымен бірдей болуы керек. Кері жағдайда абсолют қара дене мен оны қоршаған сәулелену арасында төпе-теңдік орнауы мүмкін емес.

Табиғатта абсолют қара дене болмайды. Мұндай дененің моделі ретінде кішкене саңылауы бар тұйықталған қуысты атауға болады (8.5.1-сурет). Саңылау арқылы қуысқа түсетін жарық көптеген шағылулардан кейін толықтай қабырғаларда жұтылады да, сырттан бұл саңылау мүлдем қара болып көрінеді. Егер қуыс белгілі  $T$  температураға дейін қызса және іште жылулық төпе-теңдік орнаса, саңылаудан шығып жатқан қуыстың өз сәулесі абсолют қара дененің сәулеленуі болып табылады.



8.5.1-сурет. Абсолют қара дене моделі

Осылайша, жылулық сәуле шығаруды зерттейтін бүкіл эксперименттерде абсолют қара дененің моделі жасалады.



Температура артқан сайын қуыстан шығып жатқан сәуленің энергиясы арта түседі және оның спектрлік құрамы да өзгереді.

4. Р. Кирхгоф, термодинамиканың екінші заңына сүйеніп және денелердің оқшауланған жүйесінде сәуле шығарудың тепе-теңдік шарттарын талдап, *энергетикалық жарықтылықтың спектрлік тығыздығы* және денелердің *спектрлік жұту қабілеті* арасында сандық байланыс орнатты. Бұл байланыс **Кирхгоф заңы** деген атаумен былай тұжырымдалады:

*Энергетикалық жарықтылықтың спектрлік тығыздығының спектрлік жұту қабілетіне қатынасы дененің табиғатына тәуелді емес; бұл қатынас барлық денелер үшін жиіліктің (немесе толқын ұзындығының) және температураның әмбебап функциясы болып табылады:*

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T}. \quad (8.3)$$

Кирхгофтың  $r_{\nu,T}$  әмбебап функциясы *қара дененің энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығы* болып табылады.

(8.3) формуласынан:

$$R_{\nu,T} = A_{\nu,T} \cdot r_{\nu,T}. \quad (8.4)$$

*немесе абсолют қара дене ( $A_{\nu,T} = 1$ ) үшін мына теңдікті аламыз:*

$$R_e = r_{\nu,T} \cdot \nu. \quad (8.5)$$

## Сұрақтар

1. Қандай құбылыс жылулық сәуле шығару деп аталады? Жылулық сәуле шығарудың қасиеттері қандай? Неге оған ғалымдар ерекше көңіл аударады?
2. Жылулық сәулелену қандай шамалармен сипатталады? Олар қалай тұжырымдалады және қандай формулалармен өрнектеледі?
3. Қандай сәуле шығаруды теңгерілген немесе «қара» сәуле шығару деп атайды? Абсолют қара дене деп қандай идеал модельді айтады? Табиғатта абсолют қара дененің шартын қанағаттандыратын денелер бар ма?
4. Кирхгоф заңы қалай тұжырымдалады? Абсолют қара дененің энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығы қандай шамаға тең?

## § 8.6

### Стефан–Больцман және Вин заңдары. Ультрақұлгін апаты

1. Қара дененің энергетикалық жарықтылығының  $r_{\nu,T}$  әмбебап спектрлік тығыздығының жиілік пен температураға нақты тәуелділігін табу жылулық сәуле шығару теориясының маңызды мәселесі болып табылады. Бұл мәселені

шешуге, жоғарыда айтқанымыздай, көптеген ғалымдар атсалысты. Солардың қатарында австриялық физиктер И. Стефан және Л. Больцман болды. Олар термодинамикалық әдісті қолданып (1884),  $R_p$  энергетикалық жарықтылығының  $T$  температураға тәуелділігін тауып, мәселені жартылай шешті. Оның нәтижесі **Стефан–Больцман заңы** деген атаумен былай тұжырымдалады: *қара дененің энергетикалық жарықтылығы оның термодинамикалық температурасының төртінші дәрежесіне тура пропорционал:*

$$R_p = \sigma T^4, \quad (8.6)$$

мұндағы  $\sigma$  — Стефан–Больцман тұрақтысы, оның мәні  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>).

Стефан–Больцман заңы  $R_p$ -нің температураға тәуелділігін ғана анықтайды да, қара дененің жиілікке тәуелді сәуле шығаруының спектрлік құрамы туралы мәлімет бермейді.

Қара дененің энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығының жиілікке тәуелділігі тұрақты температура жағдайында эксперимент жүзінде алынды.

Эксперименттен алынған  $r_{\lambda,T}$  функциясының  $\lambda$  толқын ұзындығына ( $\nu$  жиілікке) тәуелділік қисықтарының орналасуларына қарап (8.6.1, *a*-сурет), берілген әртүрлі температураларда қара дененің спектріндегі энергияның толқын ұзындығына (жиілікке) тәуелді үлестірілуі

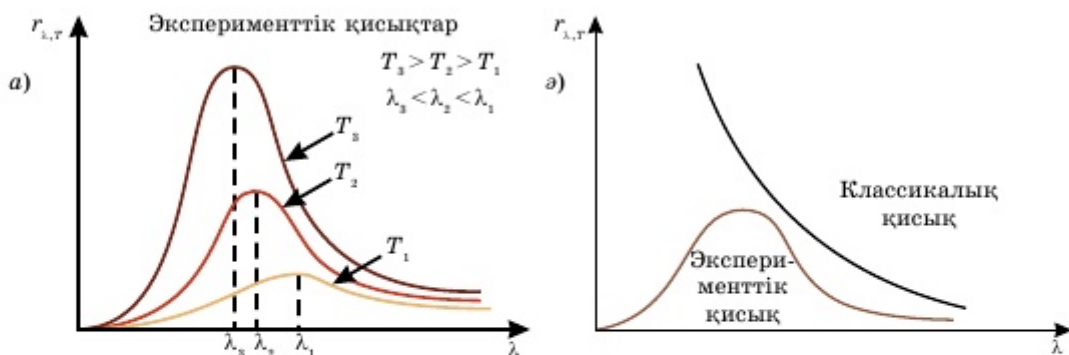
біркелкі емес деген қорытынды жасай аламыз. Барлық қисықтардың максимумдері температура артқан сайын қысқа толқынды аймаққа қарай ығысатыны анық көрініп тұр. Абсцисса осімен және  $r_{\lambda,T}$ -дің  $\lambda$ -ға тәуелділік қисығымен шектелген аудан қара дененің  $R_p$  энергетикалық жарықтылығын анықтайды. Оның шамасы Стефан–Больцман заңына сәйкес температураның төртінші дәрежесіне пропорционал.



Людви́г Больцман (1844–1906) — австриялық физик-теоретик, статистикалық механика және молекула-кинетикалық теорияның негізін қалаушысы. Больцманның жұмысы газдардың кинетикалық теориясына, термодинамика және сәулелену теориясына, оптикаға, математикаға, механикаға, серпімділік теориясына және т.б. арналған.



Йозеф Стефан (1835–1893) — австриялық-словендік физик және математик. Физиканың әртүрлі салалар – газдардың кинетикалық теориясы, жылулық сәуле шығару теориясы, оптика, акустика, электрмагнетизм және т.б. еңбектерімен танымал.



8.6.1-сурет. а) Қара дененің эксперименттен алынған  $r_{\lambda, T}$  тәуелділік қисықтары; ә) қара дененің эксперименттен алынған  $r_{\lambda, T}$  қисығы мен классикалық теория бойынша салынған қисық



Вильгельм Вин (1864–1928) — неміс физигі, жылулық сәулеленуді басқаратын заңдарды ашқаны үшін Нобель сыйлығының 1911 жылғы иегері.

2. Неміс физигі В. Вин термо және электрдинамика заңдарына сүйеніп,  $r_{\lambda, T}$  функциясының максимумына сәйкес келетін  $\lambda_{\max}$  толқын ұзындығының  $T$  температураға тәуелділігін тағайындады. Бұл байланыс **Виннің ығысу заңы** деп аталып, былай тұжырымдалады: *қара дененің энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығының  $r_{\lambda, T}$  максимал мәніне сәйкес келетін толқын ұзындығы  $\lambda_{\max}$  оның термодинамикалық температурасына кері пропорционал:*

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \tag{8.7}$$

мұндағы  $b$  — Вин тұрақтысы; оның эксперименттік мәні  $2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ .

**Виннің ығысу заңы**  $r_{\lambda, T}$  функциясы қисығындағы максимумның орны температура өскен сайын қысқа толқынды аймаққа қарай ығысатынын көрсетеді. Жоғарыдағы графикке (8.6.1, а-сурет) Кирхгоф функциясының ( $r_{\lambda, T}$ ) максимум күйі, Виннің ығысу заңына сәйкес, температура өскен сайын үлкен жиіліктер аймағына қарай ығысады. Ендеше, қыздырылған денелердің температурасы төмендеген сайын олардың спектрінде ұзын толқынды сәулеленудің басым болатындығын түсіндіруге болады (мысалы, қатты қызған металл суыған сайын ақ түстен бірте-бірте қызылға ауысуы). Қисықтың қамтитын ауданы (8.7) өрнегіне сәйкес берілген температурада абсолют қара дененің энергетикалық жарықтылығының мәнін береді. Энергетикалық жарықтылықтың температура өскен сайын күшті өсетіні де көрініп тұр, бұл Стефан–Больцман заңына да сәйкес келеді. Виннің алған теориялық нәтижелері эксперименттегі нәтижелермен толық үйлеседі.

3. Көптеген ғалымдар ұзақ жылдар бойы абсолют қара дененің энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығын теорияда анықтау жұмыстарын



жүргізді. Жарықтылықтың спектрлік тығыздығының ( $r_{\nu,T}$ ) берілген температурадағы жиілікке тәуелділігін теорияда анықтаудың алғашқы қадамын ағылшын ғалымдары Д. Релей мен Д. Джинс жасады. Олар жылулық сәулеленуге энергияның еркіндік дәрежелері бойынша бірқалыпты бөлінетіндігі туралы классикалық физиканың заңына статистикалық физика әдістерін қолданып, қара дененің энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығы үшін **Релей–Джинс формуласы** деп аталатын мына өрнекті алды:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT. \quad (8.8)$$

(8.8) мәнін (8.5) өрнегіне қойып, мына формуланы алуға болады:

$$R_\nu = \frac{2\pi\nu^3}{c^2} kT. \quad (8.9)$$

Термодинамикалық амалдарға сүйеніп, қара дене сәулесінің спектрлік тығыздығы үшін соңғы формулаға ұқсас өрнекті Вин бұрынырақ алған болатын. **Вин заңы** деп аталатын бұл формула былайша жазылады:

$$r_{\nu,T} = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right). \quad (8.10)$$

Бұл формулалар, 8.6.1, ә-суретіндегі графиктен көрініп тұрғандай, эксперименттік қисықпен тек төменгі жиіліктерде (ұзын толқындар аймағында) ғана сәйкес келеді де, ал жоғары жиіліктерде (қысқа толқындар аймағында) қайшылық туындайды. Өйткені бұл аймақта толқын ұзындығы қысқарып, жиілік өскен сайын эксперименттік қисық максимумнан күрт төмен құлдылайды, ал классикалық теория бойынша салынған қисық жоғары қарай шарықтап өсе береді. Жылулық сәулеленулерді эксперименттік және теориялық зерттеулерден туындаған мұндай қарама-қайшылық *«ультракүлгін апаты»* деген атау алды.

**Ультракүлгін апаты деп тәжірибеде (экспериментте) алынған ақиқат нәтижелер мен жиілік артқан сайын кез келген дененің энергетикалық жарықтылығы шексіз өсе береді дейтін классикалық физикадағы қате көзқарастың арасындағы аса терең қайшылықты айтады.**

Релей–Джинс формуласы (8.8) мен Вин формуласы (8.10) бойынша салынған қисықтың экспериментте алынған қисыққа мүлдем қайшы келуі классикалық физика түсінігінен өзгеше басқа бір заңдылықтың бар екенін аңғартады. «Ультракүлгін апатын» жоюдың мұндай жаңа заңдылығын М.Планк 1900 жылы ғылыми гипотеза түрінде ұсынды. Осы гипотезадан бастап **микроәлемнің кванттық теориясы** деп аталатын физиканың заманауи теориясы дами бастады.



### Сұрақтар

1. Стефан–Больцман заңы бойынша қара дененің энергетикалық жарқырауы неге тең? Бұл заңның физикалық мағынасы нені білдіреді?
2. Қара дененің экспериментте алынған спектріндегі энергия қалай үлестіріледі?
3. Сәулелік энергияның спектрлік тығыздығының толқын ұзындығына тәуелділігінің эксперименттік қисығының ерекшеліктері қандай?
4. Вин заңы қалай тұжырымдалады? Оның физикалық мағынасы нені білдіреді?



5. Релей–Джинс формуласы бойынша сәулелік энергияның спектрлік тығыздығының жиілікке тәуелділігі қалай өрнектеледі? «Ультракүлгін апаты» қалай туындады? Ол қалай тұжырымдалады?

### ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ

**1-есеп.** Күн сәулесі спектрлік құрамы бойынша максимумы 0,48 мкм толқын ұзындығына сәйкес келетін абсолют қара дененің сәуле шығару қабілетіне жақын. Осындай сәуле шығару арқылы әр секунд сайын Күннің жоғалтатын массасын табыңдар. Күн массасы 1% кемитін уақытты бағалаңдар.

| <i>Берілгені:</i>            | <i>ХБЖ</i>                     | <i>Шешуі:</i>  |
|------------------------------|--------------------------------|--|
| $\lambda = 0,48 \text{ мкм}$ | $0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ | 1 секундта Күн жоғалтатын массаны табайық. Эйнштейн формуласы бойынша, Күннің сәуле шығару энергиясы $W = \Delta mc^2$ , мұнда $\Delta m$ — сәулелену арқылы жоғалтатын Күн массасы. Күннің энергетикалық жарықтылығы $R_e = \frac{W}{tS}$ , осыдан $W = R_e tS$ . |
| $t = 1 \text{ с}$            |                                |  |
| $\Delta M = 0,01 M_K$        |                                |  |
| $t_1 = ?$                    |                                |  |
| $\Delta m = ?$               |                                |  |

Сонда  $\Delta m = \frac{W}{c^2} = \frac{R_e tS}{c^2}$ . Стефан–Больцман заңы бойынша  $R_e = \sigma T^4$ . Сондықтан  $\Delta m = \frac{\sigma T^4 tS}{c^2}$ , Виннің ығысу заңы бойынша  $T = \frac{b}{\lambda}$ . Осыны ескеріп,  $\Delta m = \frac{\sigma b^4 tS}{\lambda^4 c^2}$ . Күн бетінің ауданы  $S = 4\pi R^2$  болғандықтан, мұндағы  $R = 6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$ , өрнек келесі түрге келеді:

$$\Delta m = \frac{\sigma b^4 t 4\pi R^2}{\lambda^4 c^2} \approx 5 \cdot 10^9 \text{ кг.}$$

Күн массасының ( $M_K = 1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ ) 1% кемитін уақытты бағалайық. Ол үшін Күннің энергетикалық жарықтылығын есеп шартына сәйкес мына түрде

жазамыз:  $R_e = \frac{W}{t_1 \cdot S} = \frac{\Delta M c^2}{t_1 S}$ , осы сияқты  $t = \frac{\Delta m c^2}{R_e S} \Rightarrow R_e S = \frac{\Delta m c^2}{t}$ ,

бұдан:  $t_1 = \frac{\Delta M c^2}{R_e S} = \frac{\Delta M t}{\Delta m} = \frac{0,01 M_K t}{\Delta m} \approx 1,2 \cdot 10^{11} \text{ жыл.}$

*Жауабы:*  $\Delta m = 5 \cdot 10^9 \text{ кг, } t = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ жыл.}$

**2-есеп.** Абсолют қара дененің спектрінде сәуле шығару максимумы 0,4 мкм-ден 0,6 мкм-ге ығысты. Сәуле көзінің 1 см<sup>2</sup> бетінен шығатын жылулық сәулелердің қуаты қаншаға өзгереді?

| <i>Берілгені:</i>                                   | <i>ХБЖ</i>            | <i>Шешуі:</i>  |
|---|-----------------------|--|
| $S = 1 \text{ см}^2$                                | $10^{-4} \text{ м}^2$ | Энергия агыны $\Phi$ (жылулық сәуле шығару қуаты) дененің энергетикалық жарықтылығының өлшенетін беттің ауданына көбейтінді ретінде анықталады, яғни $\Phi = R_e S$ , мұндағы $S$ – бет ауданы, $R_e$ – энергетикалық жарықтылық (сәуле шығару қабілеті немесе сәуле шығарғыштық). |
| $\lambda_{1\text{max}} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ |                       |  |
| $\lambda_{2\text{max}} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ |                       |  |
| $\Delta \Phi = ?$                                   |                       |  |

Дененің сәуле шығарғыштығы Стефан–Больцман заңымен анықталады:

$$R_c = \sigma T^4.$$

Осыдан  $T_1$  және  $T_2$  температураларындағы сәуле шығару қуатын анықтайық:

$$\Phi_1 = S\sigma T_1^4, \quad \Phi_2 = S\sigma T_2^4.$$

Қуаттың өзгерісін келесі өрнектен аламыз:

$$\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = S\sigma(T_1^4 - T_2^4).$$

Қуаттың өзгерісін анықтау үшін  $T_1$  және  $T_2$  мәндері керек, ал оларды Виннің ығысу заңын пайдаланып табамыз:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

$$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

$$T_1 = \frac{b}{\lambda_{1\max}}, \quad T_2 = \frac{b}{\lambda_{2\max}}.$$

$T_1$  және  $T_2$  өрнектерін қойып, жылулық сәуленің қуатының өзгерісін табамыз:

$$\Delta\Phi = S\sigma b^4 \left( \frac{1}{\lambda_{1\max}^4} - \frac{1}{\lambda_{2\max}^4} \right) = 10^{-4} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 2,89^4 \cdot 10^{-12} \left( \frac{1}{(4 \cdot 10^{-7})^4} - \frac{1}{(6 \cdot 10^{-7})^4} \right) \approx 1,24 \cdot 10^4 \text{ Вт}.$$

*Жауабы:*  $\Delta\Phi = 1,24 \cdot 10^4 \text{ Вт}.$



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шешу кезінде Стефан–Больцман тұрақтысы  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ ; Вин тұрақтысы  $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ; Күн радиусы  $R_k = 7 \cdot 10^8 \text{ м}$  болатынын ескеріңдер.

#### А

8.6.1. Күн спектрін зерттеу  $\lambda_{\max} = 500 \text{ нм}$  толқын ұзындығына энергетикалық жарықтылықтың спектрлік тығыздығының максимумы сәйкес келетінін көрсетті. Күнді абсолют қара дене деп алып, келесі шамаларды анықтаңдар:

- 1) Күннің энергетикалық жарықтылығын;
- 2) Күннің шығаратын энергия ағынын.

*(Жауабы: 63 МВт/м<sup>2</sup>; 3,89 · 10<sup>26</sup> Вт)*

8.6.2. Егер абсолют қара дененің сәуле шығару энергиясының максимумы көрінетін жарықтың қызыл шеғарасынан ( $\lambda_{1\max} = 780 \text{ нм}$ ) күлгінге ( $\lambda_{2\max} = 390 \text{ нм}$ ) ауысса, абсолют қара дененің сәуле шығару ағыны қалай және неше есе өзгереді? *(Жауабы: 16 есе артады)*

#### В

8.6.3. Абсолют қара дененің температурасы екі есе артқанда, дененің сәуле шығару қабілетінің максимумына сәйкес келетін толқын ұзындығы 400 нм шамасына ығысты. Дененің бастапқы және соңғы температурасын табыңдар.

*(Жауабы: 3612,5 К; 7225 К)*



- 8.6.4. Егер электр шамы қылының температурасы 2650 К, шам бетінің ауданы 47 мм<sup>2</sup>, ал сол температурадағы шам қылының энергетикалық жарықтылығының абсолют қара дененің жарықтылығына қатынасы 0,31 болса, электр шамының қуаты қандай болар еді? (Жауабы: 40,74 Вт)
- 8.6.5. Балқытатын пештің бақылайтын терезесінен шығатын энергия ағыны 34 Вт. Саңылау ауданы 6 см<sup>2</sup> деп алып, пеш температурасын анықтаңдар. (Жауабы: 1000 К)
- 8.6.6. 600 К температурада көмірдің жылулық сәулелену коэффициентін 0,8 деп алып, келесі шамаларды табыңдар: 1) көмірдің энергетикалық жарықтылығын  $R_e$ ; 2) ауданы 5 см<sup>2</sup> көмірдің 10 минутта шығаратын  $E$  энергиясын. (Жауабы: 5,9 кВт · м<sup>-2</sup>; 1,76 кДж)
- 8.6.7.  $t = 0^\circ \text{C}$  температурада абсолют қара дененің энергетикалық жарықтылығының  $(r_{\lambda,T})_{\max}$  спектрлік тығыздығының максимумы қандай  $\lambda_m$  толқын ұзындығына сәйкес келеді? (Жауабы:  $1,06 \cdot 10^{-6}$  м)
- 8.6.8. Күннің жоғарғы қабаттарының температурасы 5,3 кК. Күнді абсолют қара дене деп алып, оның  $(r_{\lambda,T})_{\max}$  энергетикалық жарықтылығының спектрлік тығыздығына сәйкес келетін  $\lambda_m$  толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 545 нм)

### С

- 8.6.9. Күннің шығаратын сәулелік энергиясының 10% -ын атмосфера жұтады деп есептеп, ауданы 0,5 га горизонталь Жер телімінің Күннен алатын сәулесінің  $N$  қуатын анықтаңдар. Күннің көтерілу биіктігі  $30^\circ$ . Күннің сәуле шығаруын абсолют қара дененің сәуле шығаруына жуық деп қарастырыңдар. Күн бетіндегі температура 5762 К. (Жауабы:  $3,33 \cdot 10^6$  Вт)
- 8.6.10. Күн мен Жердің арақашықтығындай қашықтықта күн сәулесіне перпендикуляр орналасқан бірлік ауданға бірлік уақытта келіп түскен күннің сәулелік энергиясының мөлшерін, яғни  $k$  – күн тұрақтысын анықтаңдар. Сәуле шығаруды абсолют қара дененің сәуле шығаруына жақын деп есептеңдер. (Күн радиусы мен Жерден Күнге дейінгі қашықтықты кестеден алыңдар). (Жауабы:  $1,36$  кВт/м<sup>2</sup>)

## § 8.7

### Планк формуласы. Фотондар

1. XX ғасырдағы физикадағы ұлы жаңалықтар Планктің энергия кванттары туралы гипотезасынан бастау алады. Әр ғылыми гипотезаның нақты бір проблеманы шешу мақсатында туындайтыны белгілі. Осындай зор проблемалардың бірі ультракүлгін апатына байланысты жылулық сәуле шығару спектріндегі энергия үлестірулерін түсіндіру мәселесі болатын. Тіпті Максвеллдің электрмагнетизм заңдары да жарықтың электрмагниттік толқындық табиғатын ашып, оның вакуумдағы жылдамдығын өте дәл анықтай алса да, не себепті  $r_{\lambda,T}$  функциясының

эксперименттік қисығы жарық сәулелерінің қысқа толқын ұзындығы аймағында күрт төмен құлдылайды (8.6.1-сурет) деген сұраққа жауап бере алмады. Бұл сұраққа түбегейлі жауапты М. Планк тапты.

1900 ж. 14 желтоқсанында *Макс Планк* Берлин физикалық қауымының отырысындағы баяндамасында зат жарықты үздіксіз шығарады дейтін классикалық физика ұғымына мүлде қарсы гипотеза ұсынды. **Планк гипотезасы** деп аталатын бұл гипотеза былай тұжырымдалады: **зат жылулық сәулелену энергиясын үздіксіз шығармайды, тек белгілі бір үлес түрінде бөліп-бөліп шығарады.** Электрмагниттік толқындар (солардың бірі жарық сәулелері) тасымалдайтын ең кіші бір үлес энергияны Планк **квант** деп атап, оны мына формуламен анықтауға болатынын көрсетті:

$$E = h\nu, \quad (8.11)$$

мұндағы  $h$  — Планк тұрақтысы, мәні —  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, Ғаламдағы ең іргелі тұрақтылардың бірі болып табылады.

2. Планк өз гипотезасын ұсынғаннан кейін алдыңғы параграфта сөз болған  $r_{\nu,T}$  функциясы түрінің де қандай болатынын тапты:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{e^{\frac{\Delta\varepsilon}{kT}} - 1}, \quad (8.12)$$

мұндағы  $\Delta\varepsilon$  — энергияның дискретті бір порциясы;  $\nu$  — сәулелену жиілігі;  $c$  және  $k$  — сәйкесінше жарық жылдамдығы және Больцман тұрақтысы;  $T$  — сәулелену көзінің (осциллятордың) температурасы.

Планктың батыл болжамы (гипотезасы) бойынша осциллятордың энергиясы дискретті порция:  $\Delta\varepsilon$ ,  $2\Delta\varepsilon$ ,  $3\Delta\varepsilon$ , ... түрінде өзгереді, яғни  $\Delta\varepsilon$  шамасы нөлге тең бола алмайды, өйткені энергия үздіксіз өзгермейді, тек порциямен өзгереді.

Егер энергия классикалық физикада айтылғандай үздіксіз өзгерсе,  $\Delta\varepsilon$  энергия айырымы дискретті (үзілісті) болмай нөлге ұмтылар еді ( $\Delta\varepsilon \rightarrow 0$ ). Мұндай жағдайда жоғарыда Планк ұсынған функцияның екінші көбейткіші  $kT$  шамасын қабылдайды:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{e^{\frac{\Delta\varepsilon}{kT}} - 1} = kT.$$

Олай болса, (8.12) формуласы  $\Delta\varepsilon \rightarrow 0$  шарты орындалғанда Рэлей–Джинс формуласына (8.8) айналады.

Егер энергия тек дискретті  $\Delta\varepsilon = h\nu$  шама түрінде ғана өзгерсе, онда (8.12) өрнегі мына түрге келеді:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}. \quad (8.13)$$



**Макс Планк** (1858–1947) – неміс физик-теоретигі, кванттық физиканың негізін қалаушысы. Физикадан Нобель сыйлығының лауреаты (1918), Пруссияның Ғылым академиясының (1894), шетелдік ғылыми қауымдардың, ғылым академияларының мүшесі.

Бұл өрнек **Планк формуласы** немесе **Планк заңы** деген атау алды.

Планк формуласы бойынша салынған  $r_{\lambda,T}$  тәуелділік графигінің қисығы эксперименттік қисықпен (8.6.1, ә-сурет) дәлме-дәл келеді.

Міне, осылайша эксперимент жүзінде де, теория жүзінде де сәулелену энергиясының, классикалық физикада айтылғандай, үздіксіз өзгере алмайтындығы, тек дискретті үлес түрінде ғана өзгере алатыны дәлелденді. Энергияның ең кіші үлесі бір квантқа тең:  $E = h\nu$ .

Жиіліктердің аз аймағында  $\frac{h\nu}{kT} \ll 1$  Планк формуласы Рэлей–Джинс формуласына ауысады. Бұл төменгі жиіліктерде Планк формуласының классикалық теорияға қайшы келмейтінін білдіреді.

3. Жарықтың екіжақтылық дуализм деп аталатын қасиеті классикалық физикадан да белгілі: бірде жарық өзін бөлшек ретінде танытса, екіншіде электромагниттік толқындық қасиетімен көрінеді.

**Фотон деп бір квант энергияны таситын жарық бөлшегін айтады. Оның тыныштық массасы және электр заряды жоқ, бірақ электромагниттік әсерді тасымалдайтын электромагниттік өрістің кванты элементар бөлшек болып табылады.**

Фотонның энергиясы  $E = h\nu$ , ал екінші жағынан, бұл энергия  $E = mc^2$  формуласымен анықталатындықтан, қозғалыстағы фотонның массасын мына өрнекпен анықтайды:  $m = \frac{h\nu}{c^2}$ .

Қысқаша айтсақ, фотон төменде көрсетілген қасиеттерімен ерекшеленеді:

- **Фотонның тыныштық массасы жоқ.**

- **Қозғалыстағы фотонның массасы:  $m = \frac{h\nu}{c^2}$ .**

- **Фотонның жылдамдығы жарық жылдамдығына тең.**

- **Фотонның импульсі:  $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ .**

- **Фотон импульсінің бағыты жарық сәулесінің бағытымен сәйкес келеді.**

Энергия артқан сайын жиілік те өсе береді және жарықтың корпускулалық қасиеті анық білінеді.



### Сұрақтар

1. Қара дене сәулеленуінің спектрлік тығыздығының жиілікке (толқын ұзындығына) тәуелділігі бойынша алынған эксперименттік қисығын классикалық теория не себепті түсіндіре алмады?
2. Планк гипотезасы қалай тұжырымдалады? Сәуле шығару кванты дегеніміз не? Ол қандай формуламен өрнектеледі?
3. Планктың көрсетуі бойынша қара дененің спектрлік тығыздығын сипаттайтын  $r_{\nu,T}$  функциясының түрі қалай жазылады? Бұл функция үшін Планк





формуласы қалай жазылады? Қандай шарт орындалғанда Планк формуласы Рэлей–Джинс формуласына айналады?

4. Фотон дегеніміз не? Ол қандай қасиеттерімен ерекшеленеді?



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шешу кезінде Планк тұрақтысы  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с; жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с; электрон заряды  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл болатынын ескеріңдер.

#### А

- 8.7.1. Қызыл жарық фотонының  $2,7 \cdot 10^{-19}$  Дж энергиясын және күлгін жарықтың фотонының  $5 \cdot 10^{-19}$  Дж энергиясын электронвольт арқылы жазыңдар. (Жауабы: 1,7 эВ; 3,1 эВ)
- 8.7.2. Энергиясы  $5 \cdot 10^{-19}$  Дж фотонға сәйкес келетін жарық толқынының ұзындығы қандай? (Жауабы:  $\approx 400$  нм)
- 8.7.3. Энергиясы 3 эВ электромагниттік толқынның ұзындығы қандай? Осы сәуле шығаруды электромагниттік толқындардың қандай түріне жатқызуға болады? (Жауабы: 414 нм; көрінетін жарық)

#### В

- 8.7.4. Қуаты 100 Вт шам жарығының орташа толқын ұзындығы 600 нм, шамның жарық беру мүмкіндігі 3,3% деп есептеп, 1 секундта қанша фотон шығаратынын табыңдар. (Жауабы:  $10^{19}$ )
- 8.7.5. Көз торының сары жарыққа ( $\lambda = 600$  нм) сезгіштігі  $1,7 \cdot 10^{-18}$  Вт. Жарықты сезіну үшін көз торына секунд сайын қанша фотон түсу керек? (Жауабы: 5 фотон)
- 8.7.6. Қуаты 100 Вт жарық көзі 4 с ішінде  $5 \cdot 10^{22}$  квант шығарады. Сәулеленудің орташа толқын ұзындығын анықтаңдар. (Жауабы: 25 мкм)

#### С

- 8.7.7. Өрқайсысының қуаты 100 Вт екі сәуле шығару көзі жиіліктері  $\nu_1 = 3,9 \cdot 10^{14}$  Гц және  $\nu_2 = 25 \cdot 10^{18}$  Гц біртекті сәуле шығарады. Көздердің өрқайсысы шығаратын фотонның энергиясы қандай? 1 секундта әр сәулелік көзден қанша фотон шығады? Қандай сәуле шығаруда толқындық қасиеттер, қайсысында кванттық қасиеттер басым болып келеді? (Жауабы: 1,62 эВ, 1,01 МэВ;  $3,9 \cdot 10^{20}$ ;  $6 \cdot 10^{15}$ )
- 8.7.8. Металл бетіне толқын ұзындығы 0,36 мкм, қуаты 5 мкВт сәулелер ағыны түседі. Егер түскен барлық фотондардың 1/20 бөлігі металдан электрондарды жұлып шығарса, қанығу фотогының күші қандай болады? (Жауабы: 72,4 нА)

## § 8.8

## Фотоэффект. Фотоэффектіні қолдану



Александр Григорьевич Столетов (1839–1896) — орыс физигі, Мәскеу университетінің құрметті профессоры. Сыртқы фотоэффект құбылысын зерттеп, оның бірінші заңын ашқан (1888–1890).

жарықтың әсерінен электрондардың мырыш табақшасы бетінен босап шығатынын көрсетеді. Егер табақшаны оң зарядтаса, электрметрдің көрсетуі өзгермейді.

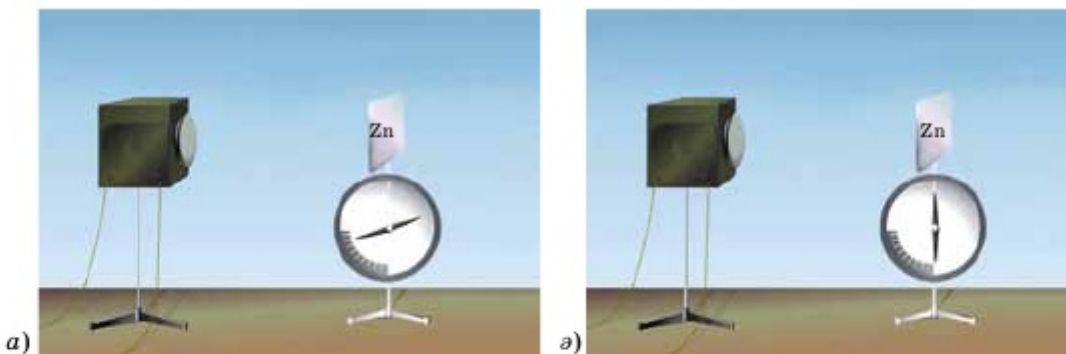
1. Қара дененің жылулық сәуле шығару мәселесін тамаша шешіп берген Планк гипотезасы кванттық теорияның қалыптасуына елеулі үлес қосқан фотоэффект құбылысын түсіндіруге де зор үлесін қосты.

1887 жылы Г. Герц ұшқындық разряд аралығына ультракүлгін сәулесімен әсер еткен кезде разрядтың күшеюін бақылап, фотоэффект құбылысын ашты.

Фотоэффектінің ең бірінші іргелі зерттеулерін орыс ғалымы А.Г. Столетов жүргізді.

**Фотоэффект деп жарық фотондарының әрекетінен катодтан электрондарды жұлып шығу құбылысын айтады.**

Расында да, егер электрметрге жалғанған мырыш табақшасын теріс зарядтап (8.8.1, а-сурет), оны электр доғасымен жарықтандырсақ, онда электрметрдің теріс заряды тез жоғалып разрядталады (8.8.1, ә-сурет). Бұл түскен



8.8.1-сурет. Теріс зарядталған табақша электр доғасымен жарықтандырғанда электрондарын тез жоғалтады

Жоғарыда сипатталған құбылысты былай түсіндіруге болады: табақша оң зарядталған жағдайда да жарық шоғы әсерінен электрондар босап шыға алады, алайда табақшаға кері оралуға мәжбүр болады, өйткені табақшаның оң зарядтары теріс зарядты электрондарды өздеріне қарай тартып алып отырады. Ал табақша теріс зарядталған кезде электрондар табақша бетіне қайта оралмайды, өйткені теріс аттас зарядтар бірін-бірі тебеді, сөйтіп, табақша разрядталады.

Егер жарық шоғы жолына шыны қойсақ, онда табақша бетінен электрондардың шығу құбылысы тоқтап қалады. Өйткені табақша ультракүлгін сәулесін жұтып алады да, басқа ұзын толқынды сәулелерді өткізіп жібереді. Ендеше, электрондардың табақша бетінен босап шығуына ультракүлгін сәулелену басты рөл атқарады.

2. 8.8.2-суретте фотоэффектіні бақылауға және зерттеуге арналған қондырғының сұлбасы көрсетілген.

Вакуумдық түтікшедегі екі электрод ( $K$  катод және  $A$  анод)  $R$  потенциометр арқылы батареяға қосылған; потенциометр берілетін кернеудің тек мәнін ғана өзгертіп қоймай, таңбасын да өзгертуге мүмкіндік береді (8.8.2-сурет). Катодқа монохроматты жарықпен әсер еткен жағдайда (кварц терезесі арқылы) пайда болатын ток тізбекке қосылған миллиамперметрмен өлшенеді. Столетов катодты толқын ұзындығы әртүрлі жарықпен сәулелендіріп, *осы уақытқа дейін өзектілігін жоймаған төмендегі заңдылықтарды ашты:*

1) *катодтан электрондарды жұлып шығару үшін ультракүлгін сәулесінің әсері ең тиімді болып табылады;*

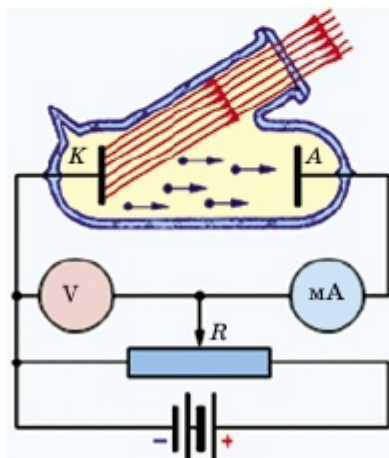
2) *жарық әсерінен зат тек теріс электрондарын жоғалтады;*

3) *жарық әсерінен пайда болатын ток күші оның қарқындылығына тура пропорционал болады.*

3. 8.8.2-суретте келтірілген сұлба арқылы фототок және қанығу тогын да өлшейді. Фототок мәні анод пен катод арасындағы кернеуге тәуелді анықталды. Фототок артқан сайын катодтан анодқа жететін электрондар саны артады. **Қанығу фототогы** деп аталатын фототоктың мәні барлық электрондар анодқа жеткен кездегі  $U$  кернеу мәнімен анықталады.

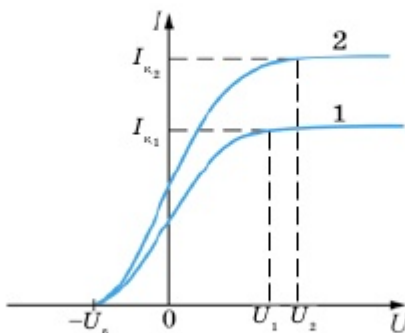
**Қанығу фототогы** — *бұл токтың максимал мәні*. Кернеуді әрі қарай арттырған кезде де, токтың максимал мәнінің өзгермейтіндігін 8.8.3-суреттегі **вольтамперлік сипаттама** деп аталатын фототоктың кернеуге тәуелділік қисығынан көруге болады.

Суреттен көрініп тұрғандай,  $U = 0$  кезінде фототок нөлге айналмайды, ток жүре береді. Сондықтан жарық арқылы катодтан босап шыққан электрондардың кейбірі бастапқы  $v$  жылдамдықтарын жоғалтпай, қозғалысын жалғастыра береді, яғни кинетикалық энергиясы нөлге тең болмағандықтан, анодқа дейін сыртқы өріссіз де жете алады. Фототок нөлге



8.8.2-сурет.

Фотоэффект құбылысын бақылауға арналған қондырғы



8.8.3-сурет. Фотоэлементтің вольтамперлік сипаттамасы



тең болуы үшін  $U_0$  бөгеуші потенциалын қолдану қажет.  $U = U_0$  болғанда ұшып шыққан электрондардың  $v_{\max}$  максимал жылдамдыққа ие болғандары бөгеуші потенциалдан өтіп анодқа жете алмайды. Мұндай жағдай ең жылдам қозғалатын электрондардың кинетикалық энергиясы электр өрісінің потенциалдар айырымы  $U_0$  болатын аралықтағы жұмысына тең болғанда туындайды, ендеше:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_0, \quad (8.14)$$

демек, бөгеуші  $U_0$  потенциалын өлшеп, фотоэлектрондардың жылдамдығының және кинетикалық энергиясының максимал мәнін анықтауға болады.

Өртүрлі материалдардың вольтамперлік сипаттамаларын өлшеп (беттің таза-лығы маңызды, сондықтан өлшеулер вакуумда және таза беттерде жасалынады), катодқа түсетін өртүрлі жиіліктегі сәулелер мен катод жарықтылығының өртүрлі мәнінде алынған мәліметтерді қорытындылай отырып, **фотоэффектінің маңызды үш заңы** анықталды:

1. *Түсетін жарықтың қандай да бір жиілігінде бірлік уақытта катодтан босап шығатын фотоэлектрондар саны жарықтың қарқындылығына пропорционал.*

2. *Фотоэлектрондардың максимал жылдамдығы түсетін жарықтың қарқындылығына тәуелді емес, тек оның жиілігімен анықталады.*

3. *Әр зат үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы бар, яғни фотоэффект құбылысы байқалатын жарықтың ең кіші жиілігі (немесе ұлкен толқын ұзындығы) болады; түсетін жарықтың жиілігі қызыл шегара жиілігінен төмен болса, фотоэффект байқалмайды.*

Электронды заттан жұлып шығару үшін фотон оған жеткілікті мөлшерде энергия беруі қажет.

Энергияның сақталу заңы бойынша катодқа түскен фотонның энергиясы ( $h\nu$ ) катодтан электрондардың шығу жұмысына ( $A_{\text{шығу}}$ ) және шыққан электрондарға

кинетикалық энергия  $\left(\frac{mv_{\max}^2}{2}\right)$  беру үшін жұмсалады:

$$h\nu = A_{\text{шығу}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (8.15)$$

(8.15) теңдеуі **фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуі** деп аталады.

Эйнштейн теңдеуі фотоэффектінің жоғарыда келтірілген соңғы екі заңын түсіндіруге мүмкіндік береді. (8.15) теңдеуінен фотоэлектронның максимал кинетикалық энергиясы түсетін сәулениң  $\nu$  жиілігі артқан сайын артады, ал жарық қарқындылығының (фотондар санының) оған қатысы жоқ, себебі  $A$  жұмыс та,  $\nu$  жиілік те жарықтың қарқындылығына тәуелді емес (фотоэффектінің 2-заңы). Жарық жиілігі кеміген сайын фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы да кеми береді (әр металл үшін  $A = \text{const}$ ), сөйтіп, белгілі бір жеткілікті аз  $\nu = \nu_0$  жиілікте фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы нөлге теңеседі де, фотоэффект құбылысы тоқтап қалады (фотоэффектінің 3-заңы). Олай болса, жоғарыда айтқандарға сүйеніп, (8.15) өрнегінен **фотоэффектінің қызыл шегарасына сәйкес келетін жиілікті** табамыз:

$$\nu_0 = \frac{A_{\text{шығу}}}{h}. \quad (8.16)$$

Белгілі металл үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы тек электронның шығу жұмысына, яғни заттың химиялық табиғатына және оның бетінің күйіне ғана тәуелді.

(8.15) өрнегін (8.14) және (8.16)-ті пайдаланып, мына түрде де жазуға болады:

$$eU_0 = h(\nu - \nu_0). \quad (8.17)$$

**4. Фотоэффект құбылысын қолдану.** Ғылым және техниканың әртүрлі салаларында қолданыс тапқан көптеген фотоэлектронды құрылғылардың жұмыс істеу принциптері фотоэффект құбылысына негізделген. Қазіргі таңда фотоэффект негізінде жұмыс істейтін және сәуле шығару энергиясын электр энергиясына айналдыратын құрылғыларды қолданбайтын өндіріс саласын табу мүмкін емес.

Сыртқы фотоэффект құбылысы негізінде жұмыс істейтін ең қарапайым фотоэлемент — ол **вакуумдық фотоэлемент** (8.8.4-сурет). Оның негізгі бөлігін ішкі беті фотокатод ретінде қарастырылатын фотосезгіш қабатпен жабылған (сәулелену жолындағы терезеден басқасы), ауасы сорылған шыны баллон құрайды. Анод ретінде баллон ортасында орналасқан сақина немесе тор қолданылады. Фотоэлемент қанығу тоғын қамтамасыз ете алатындай ЭҚК-і бар батарея тізбегіне қосылады. Фотокатод материалын таңдау спектрдің жұмыс аймағымен анықталады: көрінетін жарықты және инфрақызыл сәулені тіркеу үшін оттекті-цезий, ал ультракүлгін және көрінетін жарықтың қысқа толқынды бөлігі үшін сурьманды-цезий катодтары қолданылады.

Жарық элементтің катодына түскенде тізбекте релені қосатын электр тогы пайда болады; жарық түспегенде реле ажыратылады. Фотоэлементтің релемен қосылған автоматты қондырғысы метрода қолданылады. Осындай автоматтар көптеген орындарда қолданыс тапты. Олар қауіпті апаттардың алдын алып, сақтандыру жұмыстарын да атқарады. Мысалы, қуатты престермен жұмыс істейтін зауыттарда адам қолы қауіпті аймаққа түскен жағдайда фотоэлемент қуатты престі тоқтатады. Фотоэлемент арқылы пленкаға жазылған дыбыс жаңғыртылады.

Көп қолданылатын фотоэлементтердің бір түрі — **жартылай өткізгішті фотоэлементтер** немесе **фотокедергілер (фоторезисторлар)** болып табылады. Олар вакуумды фотоэлементтермен салыстырғанда көбірек интегралды сезгіштікке ие. Оларды жасақтау үшін PbS, CdS, PbSe және тағы басқа жартылай өткізгіштер қолданылады.

Жартылай өткізгішті фотоэлементтердің жұмыс істеу принципін қарастырайық. Жартылай өткізгіштің құрылымы тұрақты. Атомдар арасындағы ковалентті байланыс орнықты болып келеді. Егер квант энергиясы электрон және атом арасындағы байланысты үзу үшін жеткілікті болса, онда электрон босап шығады. Оның орнында оң зарядты кемтік пайда болады. Кемтік заряды электрон зарядына модуль бойынша тең. Егер жартылай өткізгішке потенциалдар айырымын берсек, электр тогы жүре бастайды.

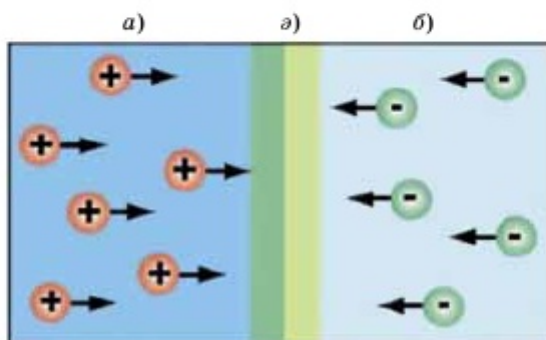


8.8.4-сурет. Вакуумдық фотоэлемент

Таза жартылай өткізгіштердің төмен өткізгіштігін қоспа қосу арқылы, демек, оң және теріс зарядталған бөлшектердің санын арттыру арқылы жоғарылатады. Қоспалардың табиғатына қарай жартылай өткізгіштер екі түрге бөлінеді:

- электрондардың артық саны пайда болуына ықпал ететін қоспалар *n-типті жартылай өткізгіштерді* құрайды;
- кемтіктердің артық санын туғызатын қоспалар *p-типті жартылай өткізгіштерді* жасауда қолданылады.

Егер *n*-типті және *p*-типті материалдарды қосса, онда шегарада зарядтардың қайта бөлінуі орын алады: кемтіктер *n*-аймаққа, ал электрондар *p*-аймаққа қозғалады (8.8.5-сурет); бұл процесс *p – n ауысу* деп аталатын шегарада зарядтардың қос қабаты пайда болып, олардың арасында туындаған электр өрісі әр зарядтың өрі қарай қайыра бөлінуіне кедергі жасағанша жалғаса береді.



8.8.5-сурет. Жартылай өткізгішті фотоэлемент:  
а) *p*-типті материал; б) *p-n* ауысу; б) *n*-типті материал

Егер жартылай өткізгішті фотоэлемент қосылған тізбек тұйықталса, тізбекте *жарық шоғының қарқындылығына, жартылай өткізгіштің ауданына және жарықтың әсер ету уақытына* пропорционал электр тогы пайда болады.

Жартылай өткізгішті фотоэлементтерді қолданудың бірнеше артықшылықтары бар.

Вакуумдық фотоэлементтердің және фотоэлектронды көбейткіштердің фотокатодтары 1,1 мкм-ден аспайтын қызыл шегараға ие, ол фотокедергілерді қолданған жағдайда өлшеулерді спектрдің алыс инфрақызыл (3 ÷ 4 мкм), рентген және гамма сәулелер аймағында жүргізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар олардың көлемдері де шағын, әрі қоректендіретін кернеуі де төмен. Фотокедергілердің кемшілігі инерциялылығында, сондықтан да олар тез өзгертін жарық шоғын тіркеу үшін жарамсыз.

Кремнийлік және вентильді фотоэлементтер тікелей күн энергиясын электр энергиясына айналдыратын күн батареяларын жасау үшін қолданылады. Қазіргі таңда күн батареялары энергияның баламалы көздері болып есептеледі және өмірдің көптеген салаларында: космонавтикада, ұшақ жасауда, ғимаратты энергиямен қамтамасыздандыруда, ұялы телефондарды зарядтауда, автомобильдер, бағдаршамдар, бау-бақша және саяжай үшін қолданылады.



5. Қазіргі таңда Қазақстанда кремний негізінде фотоэлектрлік модульдерін шығарумен ҚР, 2012 жылы ашылған Astana Solars компаниясы айналысады. Өндірістің көптеген салаларын қамтумен қатар, күн батареялары шаруа қожалықтарында да кеңінен қолданылуда (8.8.6-сурет). Батареялармен ауылдық жердегі үйлерді жарықтандыруға және қосымша жерсеріктік антенналарын алып, 50 телеарналарға дейін қарауға мүмкіндік туды.



8.8.6-сурет. Күн батареялары шаруа қожалықтарында кең қолданыс табуда

**Күн батареясының жұмыс істеу принципін қарастырайық.** Күн энергиясы тізбектей қосылған фотоэлементтерде электр энергиясына түрленеді. Фотоэлементтің негізін кремний (шақпақтас) құрайды. Кремнийдің қоспалары табиғатта кең тараған. Олардың ішінде кремний тотығы — кәдімгі баршаға белгілі құм. Пластина түрінде алынған таза кремнийдің бір беті бор элементімен, екінші беті фосформен қапталады. Күн батареясының фотоэлементіне жарық түскенде оның бетін фотондар атқылап, кремний мен фосфордың шегарасындағы артық электрондарды босатып шығарады; босаған электрондар бормен шегаралас беттегі оң зарядты «кемтіктерге» қарай қозғалады. Осылайша, электрондардың реттеліп бағытталған қозғалысы электр тогын туғызады. Фотоэлементке металл жолақтары түйістіріледі, олар арқылы ток тұтынушыларға жеткізіледі. Міне, осылайша кремний фотоэлементі жұмыс істеп, күн энергиясын электр энергиясына тікелей айналдырады.

### ? Сұрақтар

1. Қандай құбылыс фотоэффект деп аталады? Фотоэффектіні бақылауға арналған қондырғының сұлбасын салып түсіндіріңдер.
2. Столетов ашқан фотоэффект заңдылықтары қалай тұжырымдалады?
3. Қанығу фототогі деген не? Фотоэлементтің вольтамперлік сипаттамасының қисығын салып түсіндіріңдер.
4. Фотоэффектінің негізгі заңдылықтары қалай тұжырымдалады?
5. Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуі (формуласы) қалай жазылады? Фотоэффектінің қызыл шегарасын қалай анықтайды?

6. Фотоэффектіні қайда пайдаланады?
7. Фотоэлементтің қандай түрлері мен типтері бар? Олардың бір-бірінен айырмашылығы неде?
8. Күн батареяларының жұмыс істеу принциптерін қалай түсіндіруге болады?

### ЕСЕПТЕР ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ

**1-есеп.** Фотондардың ағыны металдан максимал кинетикалық энергиясы 10 эВ болатын фотоэлектрондарды жұлып шығарады. Фотондардың энергиясы фотоэлектрондардың шығу жұмысынан 3 есе артық. Фотондардың энергиясы қандай?

|                              |
|------------------------------|
| <b>Берілгені:</b>            |
| $E_k = 10 \text{ эВ}$        |
| $E_\phi = 3 A_{\text{шығу}}$ |
| $E_\phi = ?$                 |

**Шешуі:**  
 Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін жазайық:

$$E_\phi = A_{\text{шығу}} + E_k.$$

$$E_\phi = 3A_{\text{шығу}} \text{ екенін ескерсек, } A_{\text{шығу}} = \frac{E_\phi}{3}.$$

$$E_\phi = \frac{E_\phi}{3} + E_k, \quad \frac{2E_\phi}{3} = E_k, \quad E_\phi = \frac{3E_k}{2} = 15 \text{ эВ.}$$

*Жауабы:*  $E_\phi = 15 \text{ эВ.}$

**2-есеп.** Цезий толқын ұзындығы 340 нм монохроматты жарықпен сәулеленді. Фототок тоқтап қалатын ең кіші кернеуді анықтаңдар. Цезий үшін қызыл шеғара 658 нм.

|   |
|---|
| <b>Берілгені:</b>                       |
| $\lambda = 340 \text{ нм}$              |
| $\lambda_{\text{max}} = 658 \text{ нм}$ |
| $U_m = ?$                               |

|                                |
|--------------------------------|
| <b>ХБЖ</b>                     |
| $3,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  |
| $6,58 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ |

**Шешуі:**  
 Бөгеуші кернеуді келесі шарттан табуға болады:

$$eU_0 = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad (1)$$

мұндағы  $e$  – электрон заряды.

Эйнштейн теңдеуі бойынша

$$h\nu = A + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad (2)$$

мұндағы шығу жұмысы

$$A = h\nu_0. \quad (3)$$

$\nu = \frac{c}{\lambda}$  қолданып,

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}; \quad A = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}.$$

Соңғы теңдіктерден фотоэлектрондардың максимал кинетикалық энергиясын табамыз:

$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = hc \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{max}}} \right) = hc \frac{\lambda_{\text{max}} - \lambda}{\lambda_{\text{max}} \lambda}.$$

(4) және (1) формулаларын ескеріп, келесіні аламыз:

$$eU_6 = hc \frac{\lambda_{\max} - \lambda}{\lambda_{\max} \lambda},$$

Осыдан тежегіш кернеу

$$U_6 = hc \frac{\lambda_{\max} - \lambda}{e \lambda_{\max} \lambda} = 1,76 \text{ В.}$$

Жауабы:  $U_6 = 1,76 \text{ В.}$

### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

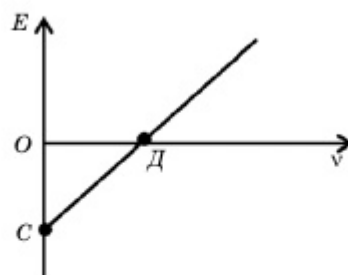
Берілген есептерді шешу кезінде Планк тұрақтысы  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ; жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ; электрон заряды  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ; электрон массасы  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  болатынын ескеріңдер.

#### А

- 8.8.1. Барий тотығын жиілігі 1 ПГц жарықпен сәулелендірген кезде шыққан электрондардың ең үлкен кинетикалық энергиясын табыңдар. Электрондардың барий тотығынан шығу жұмысы  $A_{\text{бар}} = 1,008 \text{ эВ}$ . (Жауабы: 3,136 эВ)
- 8.8.2. Толқын ұзындығы 400 нм жарықпен жарықтандырған кезде цезийден ұшып шыққан электронның ең үлкен жылдамдығын табыңдар. Электрондардың цезийден шығу жұмысы  $A_{\text{цс}} = 2,08 \text{ эВ}$ . (Жауабы: 600 км/с)

#### В

- 8.8.3. Бір металл үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы  $6,2 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ . Толқын ұзындығы 330 нм жарықпен металды жарықтандырған кезде фотоэлектрондар үшін тежелу кернеуін табыңдар. (Жауабы: 1,76 В)
- 8.8.4. 8.8.7-суретте фотоэлектрондардың  $E$  кинетикалық энергиясының жұтылған жарықтың жиілігіне тәуелділігі көрсетілген. 1) Фотоэффектінің шегаралық жиілігі графиктегі қандай нүктеге сәйкес келеді? 2) График бойынша  $A$  шығу жұмысын және  $h$  Планк тұрақтысын қалай анықтауға болады? (Жауабы: 1)  $D$  нүктесі; 2) шығу жұмысы Планк тұрақтысының  $D$  нүктесіндегі жиіліктің көбейтіндісіне тең. Планк тұрақтысын анықтау үшін графиктегі кез келген нүктені алу керек. Осы нүктенің абсциссасы жиілікке, ал ордината энергияға сәйкес келеді. Энергияны жиілікке бөліп Планк тұрақтысын аламыз). Жауаптардың дұрыстығын дәлелдендер.
- 8.8.5. Металл толқын ұзындығы 40 нм монохроматты жарықпен жарықтандырылды. Фототок тоқтайтын кернеуді 28,9 В деп алып, металл үшін фотоэффектінің қызыл шегарасын табыңдар. (Жауабы: 571 нм)



8.8.7-сурет.  
 $E(\nu)$  тәуелділік графигі



- 8.8.6. Рентген түтікшесі 50 кВ кернеумен жұмыс істейді. Оның шығаратын сәулесінің ең кіші толқын ұзындығы қандай? (Жауабы:  $2,5 \cdot 10^{-11}$  м)
- 8.8.7. Фотоэлементтің катодына электрондардың шығу жұмысынан 3 есе артық энергиясы бар монохроматты сәуле ағыны түседі. Оның толқын ұзындығы 141 нм. Катодтан ұшып шыққан электрондар бөгеуші электр өрісіне тап болады. Бөгеуші потенциалдар айырымын табыңдар. (Жауабы: 17,6 В)

## C

- 8.8.8. Энергиясы 3 эВ фотондар шығу жұмысы 2,48 эВ болатын металдан фотоэлектрондарды жұлып шығарады. Электронның ұшып шыққан кездегі осы металдың бетіне берілетін ең үлкен импульсін табыңдар.  
(Жауабы:  $3,89 \cdot 10^{-25}$  кг · м/с)
- 8.8.9. Фотоэлемент катоды толқын ұзындығы 0,5 мм қуаты 1 Вт жарықпен жарықтанады. Фотоэлементтің қанығу тогының күші 4 мА. Катодтан жұлып шыққан фотондардың 1 электронға қанша саны сәйкес келеді?  
(Жауабы: 100 фотон)
- 8.8.10. Кальциймен жабылған фотокатод ( $A_{\text{шығу}} = 4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж) толқын ұзындығы 300 нм жарықпен сәулелендіріледі. Катодтан ыршып шыққан электрондар индукциясы  $8,3 \cdot 10^{-4}$  Тл біртекті магнит өрісіне оның индукция сызықтарына перпендикуляр бағытта енеді. Электрондар қозғалатын шеңбердің максимал радиусы неге тең? Жауабын мм арқылы өрнектеңдер.  
(Жауабы: 4,77 мм)
- 8.8.11. Катод бетінен толқын ұзындығы  $2,5 \cdot 10^{-7}$  м жарықтың әрекетінен жұлып шыққан фотоэлектрондар индукциялық күш сызықтары катодтың жалпақ бетіне параллель болатын индукциясы  $3 \cdot 10^{-4}$  Тл магнит өрісіне енеді. Катод бетіне перпендикуляр бағытта шыққан электрондар радиусы 2 см жарты шеңбер бойымен қозғалады. Фотоэффектінің қызыл шегарасына сәйкес келетін толқын ұзындығын табыңдар. (Жауабы: 688 нм)

## § 8.9

## Жарық қысымы

1. Жарық қысымының бар екенін Иоганн Кеплер Күннің маңайынан өткен кезде кометалардың құйрықтарының пайда болуы арқылы, ал Максвелл жарықтың электрмагниттік теориясы бойынша толқынның электр өрісі әсерінен денелердегі электрондар тербелістер жасайды деп болжаған еді. Шынында да, мұндай жағдайда айнымалы электр өрісінің кернеулігі бойымен бағытталған электр тогы пайда болады. Реттеле қозғалатын электрондарға айнымалы магнит өрісі тарапынан толқынның таралу бағыты бойымен Лоренц күші әрекет етеді. Міне, осы күш **жарық қысымының күші** болып табылады. Екінші жағынан, кванттық

теорияға сәйкес әр фотон белгілі бетпен соқтығысқанда өз импульсін беріп, қысым түсіреді. Міне, осылайша классикалық физика да, кванттық физика да жарық қысымының пайда болуын түсіндіреді.

П.Н. Лебедевтің және одан кейінгі зерттеушілердің экспериментте алған жарық қысымы туралы нәтижелері Максвеллдің есептеп шығарған шамасына толық сәйкес келді. Бұл жарықтың электромагниттік теориясының тағы бір айқын дәлелі болды. Максвеллдің есептеп шығарған шамасы да, экспериментте анықталған нәтижелер де жарық қысымының өте аз шама екенін көрсетті ( $p = 4,3 \cdot 10^{-6} \frac{H}{M^2}$ ).

Жарық қысымы қалыпты жағдайда аз болғанымен, басқа жағдайларда оның әсері аса маңызды болуы мүмкін. Жұлдыздардың қойнауында бірнеше ондаған миллион Кельвин температурасында электромагниттік сәулелер қысымы өте үлкен мәнге ие болып, орасан зор гравитациялық тартылысқа қарсы тұра алады; осының арқасында жұлдыздардың миллиардтаған жылдар бойы қолапқа ұшырамай, өмір сүруі қамтамасыз етіледі. Сөйтіп, жұлдыз ішіндегі процестерде жарық қысымының күштері гравитациялық күштермен қатар маңызды рөл атқарады. Жарық қысымының әсерімен Күнге жақындаған кометалардың құйрықтарының пайда болуы түсіндіріледі.

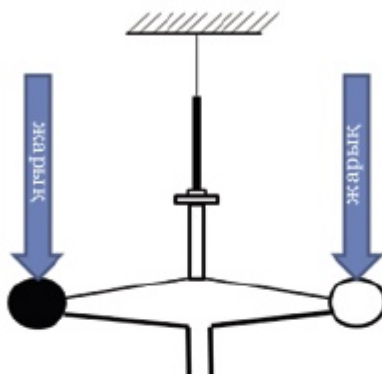
2. Жарық қысымын 1901 жылы орыс ғалымы П.Н. Лебедев алғаш рет эксперимент жүзінде анықтады. Ол өз тәжірибелерінде жарық қысымының *жарық қарқындылығына және дененің шағылдырушы қасиетіне* тәуелді болатынын тағайындады.

Лебедевтің тәжірибелерінде екі жағында қара және айналы беті бар екі жапырақша жапсырылған өте сезімтал ұршық қолданылды; мұндай құрылғы ауасы сорылған шыны ыдыстың ішінде орналастырылып, жіңішке шыны жіпке ілінді (8.9.1-сурет). Жарық жапырақшаларға айналатын иіннің бір жағынан түседі. Жіптің бұрылу бұрышы бойынша қысымды анықтауға болады.

Лебедев өте нәзік эксперимент жүргізгенде асқан шеберлікпен көптеген қиындықтарды жеңе білді. Туындаған қиыншылықтардың біразын айта кетейік. Мысалы: қысымды нақты анықтау мәселесі ыдыстан бүкіл ауаны сорып алу қиыншылығын туғызды. Эксперимент барысында қанатшалардың және ыдыс қабырғаларының әртүрлі қызуынан ауа қозғалысы пайда болады. Қанатшаларды абсолютті тік қалыпта ілу де қиынға соқты.



**Пётр Николаевич Лебедев (1866–1912)** – Максвеллдің жарық қысымының бар болуы туралы қорытындысын бірінші рет тәжірибеде дәлелдеген орыстың физик-экспериментаторы. Ресейдегі алғашқы ғылыми физика мектебінің қалаушысы, Мәскеу университетінің профессоры.



8.9.1-сурет. Лебедев тәжірибесінің сұлбасы

Ауаның қызған ағындары жоғары көтеріліп, қанатшаларға әсер етеді, ал ол қосымша айналдыру моментінің пайда болуына әкеледі.

Жіптің бұралуына қанатшалардың жақтарының біртекті қызбауы да әсер етеді. Жарық көзіне жақын жағы қарсы жағымен салыстырғанда көбірек қызады. Көбірек қызған жақтан шағылатын молекулалардың қанатшаға беретін импульсі да артық болады. Міне, осылардың барлығы жарық қысымын өте дәл анықтауға кесірін тигізді.

3. Бетке перпендикуляр түсетін монохроматты сәуле (жиілігі  $\nu$ ) ағынының әсерінен пайда болатын жарық қысымын кванттық теория тұрғысынан есептейік. Бірлік уақытта дененің бірлік ауданына  $N$  фотон түссе, онда жарықтың шағылу коэффициенті  $\rho$  болғанда дене бетінен  $\rho N$  фотон шағылады да,  $(1 - \rho)N$  фотон жұтылады. Әр жұтылған фотон бетке  $p_\gamma = \frac{h\nu}{c}$  импульсін береді, ал әр шағылған фотонның беретін импульсі  $2p_\gamma = \frac{2h\nu}{c}$  шамасына тең (шағылғанда фотон импульсі  $-p_\gamma$ -ға өзгереді). Жарықтың бетке әрекет ететін қысымы 1 секунд ішінде шағылған  $\rho N$  және жұтылған  $(1 - \rho)N$  фотондардың беретін қосынды импульсіне тең:

$$p = \frac{2h\nu}{c} \rho N + \frac{h\nu}{c} (1 - \rho)N = (1 + \rho) \frac{h\nu}{c} N, \quad (8.18)$$

мұндағы  $\rho$  – жарықтың шағылу коэффициенті: айналық бет үшін  $\rho = 1$ ; күңгірт бет үшін  $\rho = 0$ .

$E = Nh\nu$  бұл бетке бірлік уақытта берілетін барлық фотондар импульсі, ал  $w = \frac{E}{c}$  — сәуле шығару энергиясының көлемдік тығыздығы. Осыларды ескерсек,

$$p = \frac{E}{c} (1 + \rho) = w(1 + \rho). \quad (8.19)$$

Кванттық көзқарас бойынша қорытылған (8.19) формула Максвеллдің электрмагниттік (толқындық) теориясынан алынған өрнекпен сәйкес келеді. Сонымен, жарық қысымы кванттық теориямен де, электрмагниттік теориямен де сәтті түсіндіріледі.



### Сұрақтар

1. Толқындық теория негізінде және астрономиялық бақылауларға сүйеніп, жарық қысымының пайда болуын қалай түсіндіруге болады? Жұлдыздардың тұрақтылығына жарық қысымы әсер ете ала ма?
2. Лебедев тәжірибесінің физикалық мағынасы қалай түсіндіріледі? Қиыншылықтары қандай болды?
3. Кванттық теория тұрғысынан жарық қысымы қалай анықталады?



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

Мына сұрақтарға жазбаша жауап даярлаңдар:

1. Идеал шағылдыратын айна; толық жұтатын бет жағдайларында жарық қысымы неге тең? Екі жағдайда да жарық бетке тік түседі.
2. Идеал шағылдыратын немесе идеал жұтатын беттердің қайсысында жарық қысымы аз болады?



## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Қуаты 150 Вт электр шамының қабырғаларына түсетін жарық қысымын анықтаңдар. Тұтынатын бүкіл қуат сәуле шығаруға жұмсалады және шам қабырғалары түсетін жарықтың 15%-ын шағылдырады. Шамның колбасы — радиусы 4 см сфералық бет.

|                      |            |   |
|----------------------|------------|---|
| <b>Берілгені:</b>    | <b>ХБЖ</b> | <b>Шешуі:</b>   |
| $P = 150 \text{ Вт}$ | 0,04 м     | Жарық бетке тік түскен кездегі қысым:   |
| $\rho = 0,15$        |            | $p = \frac{E_c}{c}(1 + \rho),$  |
| $R = 4 \text{ см}$   |            | мұндағы $E_c$ — бірлік уақытта шам бетінің бірлік ауданына түсетін бүкіл фотондар энергиясы (жарық энергиясының мөлшері). |
| $p = ?$              |            |   |

Шам қуаты (бірлік уақытта шамның толық бетінің ауданына келетін жарық энергиясы) белгілі болғандықтан,

$$E_c = \frac{P}{S},$$

мұндағы  $S = 4\pi R^2$  — шамның толық бетінің ауданы. Онда

$$p = \frac{P}{4\pi R^2 c}(1 + \rho) = 2,86 \cdot 10^{-5} \text{ Па.}$$

*Жауабы:*  $p = 2,86 \cdot 10^{-5} \text{ Па.}$



## Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шешу кезінде Планк тұрақтысы  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ; жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  болатынын ескеріңдер.

## А

8.9.1. Ауданы  $150 \text{ см}^2$  бетке әр минут сайын 81 Дж жарық энергиясы перпендикуляр түседі. Идеал шағылдыратын жазық бетке, күңгірт жазық бетке түсетін жарық қысымын анықтаңдар. (*Жауабы:*  $6 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$ ;  $3 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$ )

8.9.2. Ауданы  $10 \text{ см}^2$  күңгірт бетке 5 минутта энергиясы 12 Дж монохроматты жарық тік түседі. Беттің сәулеленуін (бірлік ауданға түсетін энергияны); бетке түсетін жарық қысымын табыңдар.

(*Жауабы:*  $12 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2$ ;  $1,33 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$ )

8.9.3. Қуаты 100 Вт электр шамы жарығының шыны бетіне түсіретін қысымы  $0,12 \text{ мкПа}$ . Тұтынатын бүкіл қуат сәуле шығаруға кетеді, ал шамның беті оған түсетін жарықтың 10%-ын шағылдырады деп есептеп, шам бетінің радиусын табыңдар (шам бетін сфера деп есептеңдер).

(*Жауабы:*  $0,493 \text{ м}$ )

## В

8.9.4. Бетке перпендикуляр түсетін монохромат жарықтың қысымы  $1,1 \text{ мкПа}$ . Осы беттің  $1 \text{ м}^2$  ауданына әр секунд сайын түсетін фотон санын анықтаңдар. Түсетін жарықтың толқын ұзындығы  $663 \text{ нм}$ , беттің шағылу коэффициенті  $0,1$ . (*Жауабы:*  $10^{21}$ )

- 8.9.5. Монохроматты сәуле ағынындағы фотонның энергиясы  $4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж. Осы сәуленің судағы толқын ұзындығы қандай? Судың сыну көрсеткіші  $4/3$ .  
(Жауабы: 339 нм)
- 8.9.6. Ауадан шыныға өткен жарықтың түсу бұрышы  $45^\circ$ , ал сыну бұрышы  $30^\circ$ . Жарықтың шыныдағы толқын ұзындығы 0,33 мкм. Фотонның энергиясын анықтаңдар. (Жауабы: 2,66 эВ)
- 8.9.7. Толқын ұзындығы 0,5 мкм жарық айналық бетке  $30^\circ$  бұрыш жасап түседі. Бет бір фотонды шағылдырса, ол қандай импульс алады?  
(Жауабы:  $2,3 \cdot 10^{-27}$  кг · м/с)
- 8.9.8. Әр минут сайын ауданы  $100 \text{ см}^2$  бетке 63 Дж жарық энергиясы тік түседі. Егер бет түскен сәулелерді толық жұтса, жарық қысымы қандай болады?  
(Жауабы:  $3,5 \cdot 10^{-7}$  Па)

## C

- 8.9.9. Қуаты 15 Вт, ұзақтығы 0,1 с лазер сәулесі оның жолына перпендикуляр қойылған массасы 1 мг толық шағылдырғыш фольга қиындысына түседі. Қиындының жарықты шағылдырғаннан кейінгі жылдамдығын табыңдар.  
(Жауабы: 0,01 мм/с)
- 8.9.10. Қуаты 100 Вт болатын жарық көзі бетке перпендикуляр түсетін параллель жарық шоғын шығарады. Егер бетке түскен жарықтың 50% -ы шағылып, 50% -ы жұтылса, жарық шоғы бетке қандай қысым түсіреді?  
(Жауабы:  $5 \cdot 10^{-7}$  Н)

## § 8.10

## Жарықтың химиялық әсері

1. Жеке молекулалар жарық энергиясын дискретті бөлік квант түрінде жұтады; жұтылған бір квант  $h\nu$  энергиясының едәуір химиялық әсері бар. Мысалы, көрінетін және ультракүлгін сәулелерінің осындай энергиясы молекулалардың ыдырауына жеткілікті. Осыдан-ақ жарықтың химиялық әсері айқын көрінеді.

Жарықтың химиялық әсері **фотохимия заңдарында** көрініс тапты:

- Жұтылатын фотон тек бір ғана молекуланы түрлендіруге жұмсалады.
- Фотон энергиясы молекулалық байланысты жоюға жеткілікті болса, яғни диссоциация энергиясынан кем болмаса, фотохимиялық реакцияның орын алуы мүмкін.

Молекулалардың кез келген түрленуі химиялық процесс болып табылады. Көп жағдайда молекулалар жарық әсерінен ыдырағаннан кейін химиялық түрленулердің тізбегі басталады. Жарықтың химиялық әсеріне күн сәулесінен мата түсінің оңуы және дененің күнге күйі жатады.

Жарықтың әсерінен ең маңызды химиялық реакциялар көптеген ағаштар мен шөптердің жасыл жапырақтарында, қарағай мен самырсын инелерінде,

көптеген микроағзаларда Жердегі тіршілік үшін қажетті процестер жүреді. Олар бізге тек тамақты ғана емес, дем алу үшін оттекті де өндіреді.

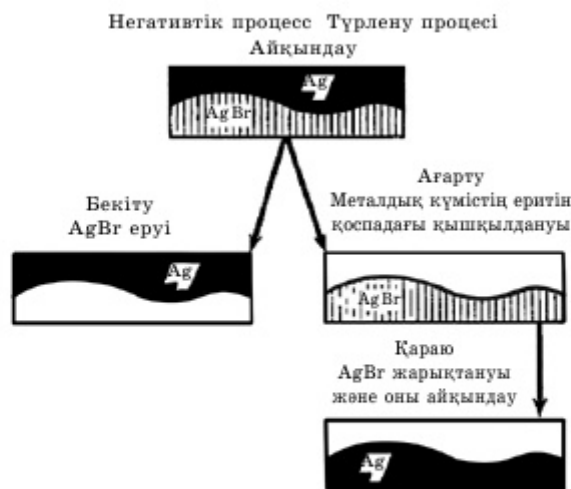
Жапырақтар ауадан көмірқышқыл газын өзіне сіңіреді де, оның молекулаларын құрамдас бөліктерге: көміртек пен оттекке ыдыратады.

Бұл процестің күн спектрінің қызыл сәулесінің хлорофилл молекулаларына тигізген әсерінен болатынын орыс биологі К. А. Тимирязев анықтады. Көміртек тізбегіне өсімдіктер жерден тамыр арқылы алған элементтерін қосып, ақуыздардың, майлар мен көмірсулардың молекулаларын құрастырады.

Мұның бәрі күн сәулесінің энергиясы есебінен жүзеге асады. Оның үстіне мұнда энергияның өзі ғана емес, қандай формада алынатыны да маңызды. Фотосинтез (бұл процесс осылай аталады) белгілі бір спектрлік бөліктің әсерінен жүреді.

Фотосинтез механизмі әлі соңына дейін анықталған жоқ. Ашыла қалған жағдайда адамзат үшін жаңа дәуірдің басталуы мүмкін. Ақуыздар мен басқа да күрделі органикалық заттарды көк аспан астындағы ашық зауыттарда шығарып ала беруге болар еді.

2. Жарықтың химиялық әсері **фотографияда** қолданылады (*цифрлық емес*). Сезімтал фотопластина қабаты желатинмен араласқан күміс бромидінің (AgBr) кішкентай кристалдарынан тұрады. Қара қағаздан немесе фольгадан қиып алған жолақпен жарыққа сезімтал қағаздың бетін жартылай жауып, оған күн сәулесін немесе қуатты жарық көзін бағыттасақ, жарықтанған фотоқағаздың бөлігі қарайып, жабылған бөлігі ағарған күйінде көрінеді. Қағаздың қараюын оны айқындағыш ерітіндіге малып, алдын ала ылғалдандыру арқылы жеделдетуге болады. Қара-ақ фотоматериалдағы негативті және позитивті фотосуреттерді алу процестерінің сұлбасы 8.10.1-суретте көрсетілген.



8.10.1-сурет. Фотосуреттерді алу процесінің сұлбасы



**Сұрақтар**

1. Жарықтың химиялық әсерін қалай түсіндіруге болады? Фотохимия заңдары жарықтың қандай қасиетіне негізделеді және қалай тұжырымдалады?
2. Фотосинтез реакцияларының тізбегінде қандай физикалық-химиялық өзгерістер орын алады? Фотосинтез неліктен жердегі тіршілік негізі болып саналады? Жапыраққа инфрақызыл сәуле түнде де түседі, бірақ неге фотосинтез түнде пайда болмайды?
3. Ақ-қара фотосуреттердің негізіне қандай физикалық-химиялық процестер алынған?

**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

Фотосурет өнерінің ашылу тарихы жайлы және фототехнологияның даму эволюциясы туралы презентация дайындаңдар.

**§ 8.11****Рентгендік сәуле**

1. Рентген сәулелерінің ашылуы 1895 жылы жүзеге асты, неміс физигі В. Рентген электр өрісінде үдетілген электрондармен металл объектіні атқылау кезінде жаңа сәуле түрін тапты, оны X-сәулелер деп атады. Артынан бұл сәулеге «рентген сәулелері» деген атау берілді.

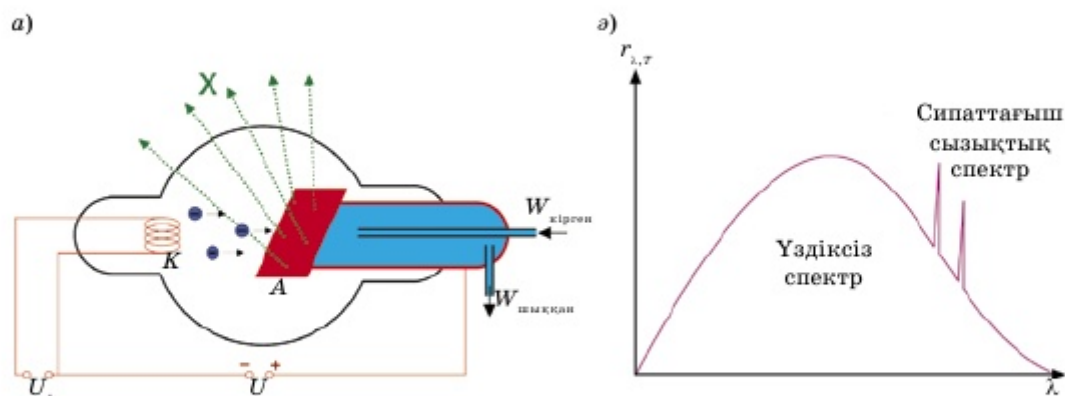
**Рентген сәулелері үдетілген электрондар кенет тежелгенде немесе зат атомдарының электрондық қабаттарындағы жоғары энергетикалық ауысулар кезінде пайда болады.**

Рентген сәулесін туғызатын осы шарттардың екеуі де **рентгендік түтіктер** деп аталатын қондырғыларда жүзеге асады (8.11.1, а-сурет). Мұндай вакуумдық түтіктердің негізгі құрылымдық элементтері — металл анод және катод. Рентген түтіктерінде катод арқылы шыққан электрондар анод пен катодтың арасындағы потенциалдар айырымында үдей қозғалып, анодпен соқтығысады да, кенеттен тежеледі. Тежелу кезінде рентген сәулесі пайда болады.

Үдетілген электрон анодқа соқтығысып тежелу кезінде **үздіксіз (тұтас) спектрлі рентген сәулесі** тарайды. Толқын ұзындықтары қысқалау мұндай рентген сәулелерін **тежелу** немесе **қатаң рентген сәулелері** деп атайды (8.11.1 ә-сурет).

Сонымен бірге үдей қозғалған электрондар анодтың атомдарымен соқтығысып, олардың электрондық қабаттарында жоғары энергетикалық ауысулар туғызады, нәтижесінде анод атомдарына ғана тән **сызықтық рентген сәулелері** де тарайды. Рентген сәулелерінің ұзын толқынды бөлігінде орналасқан сызықтық спектрлер анодтың материалына тәуелді болғандықтан, **сипаттағыш** немесе **жұмсақ рентген сәулелері** деп аталады.

Рентген сәулелері — көзге көрінбейді және кедергілерден тоқтаусыз өтетін қысқа толқындар.



8.11.1-сурет. а) рентгендік түтік: X — рентген сәулесі; K — катод; A — анод;  $U_k$  — катодтың кернеуі;  $U_a$  — үдемелі кернеу;  $W_{шыққан}$  — сумен салқындату жүйесі;  $W_{шыққан}$  — салқындатылған суды шығару; б) рентген сәулелерінің спектрлері

Рентген сәулелері толқын ұзындықтары  $10^{-12}$  —  $10^{-8}$  м аралықта жататын электромагниттік толқындар болып табылады.

Рентген сәулелері толқын ұзындықтарына қарай заттарда әртүрлі жұтылады. Толқын ұзындықтары  $\lambda < 2 \cdot 10^{-10}$  м болатын қатаң сәулелер аз жұтылады, толқын ұзындықтары  $\lambda > 2 \cdot 10^{-10}$  м болатын жұмсақ сәулелер күшті жұтылады.

2. Рентген сәулелерінің толқындық сипаты барлық толқындарға тән құбылыс дифракция арқылы көрінеді. Дифракциялық кескінді байқау үшін саңылаудан өтетін сәуленің толқын ұзындығы мен саңылаудың ені шамалас болуы керек. Бұл шарт, неміс физигі М. Лауэнің болжағанындай, қатты дененің кристалдық торының периоды рентген сәулесінің толқын ұзындығымен пара-пар болғандықтан, рентген сәулесін кристалл арқылы өткізіп, оның дифракциясын алуға мүмкіндік туады. Шынымен де, екі диафрагмамен бөлінген рентген сәулесін монокристалға бағыттағанда, экранда орталық дақ және оның айналасында белгілі ретпен орналасқан бөлек дақтар бейнесіндегі дифракциялық кескін байқалды. Ал поликристалдар арқылы алынатын дифракциялық кескін — симметриялы түрде орналасқан концентрлі сақина түрінде орналасты.

Рентген сәулесінің пайда болуы диагностикада нағыз төңкеріс туғызды: дәрігерлер ішкі ағзаның кескінін көруге, оның жағдайын сипаттауға мүмкіндік алды. Дегенмен бұл әдістің кейбір кемшіліктері де бар: атап айтқанда, екіөлшемді рентген кейбір органдардың кескінін басқалардың «үстіне» қабаттастырып көрсетуі мүмкін, нәтижесінде диагноздың дұрыстығы тек рентгенограмманы оқитын дәрігердің біліктілік деңгейіне тәуелді болады. Сонымен қатар зерттеудің сипатына байланысты рентгенограммада кейбір ауруларды, мысалы, қабынуды көру мүмкін емес.

3. Осының бәрі диагностиканың жаңа түрлерін дамытуға ықпал етті, олардың арасында *компьютерлік және магнитті-резонанстық томография* ерекше орын алады. *Томография* айрықша әдіс ретінде объектінің әр қабатын жеке-жеке зерттеуді және оның үшөлшемді кескінін қалыптастыруды қамтамасыз етеді.

*Компьютерлік томография* — рентген сәулесі арқылы жасалатын жан-жақты тексеріс. Қарапайым рентгенде сәуле дене арқылы өтіп пленкаға немесе пластинаға түседі де, екіөлшемді кескін береді, ал компьютерлік томографияда кескін көлемді болып шығады. Аппараттағы рентген сәулесінің көзі — сақина тәріздес контур, оның ортасында науқасқа арналған үстел орналасқан. Сонымен, компьютерлік томографияда әртүрлі нүктелерден әртүрлі бұрыштармен алынған ағзалардың кескіні пайда болады. Компьютер арқылы бүкіл кескіндер өңделіп, ағзаның үшөлшемді кескіні алынады.

*Магнитті-резонанстық томографияда* кескін алу үшін рентген сәулесі қажет емес. Томографияның бұл түрі ядролық магнитті-резонанстық құбылысқа, яғни күшті электромагниттік өріс әрекетінен адам ағзасындағы сансыз мол сутек атомдары протондарының кеңістікте бағытын өзгерту қасиетіне негізделген. Магнитті-резонанстық томографияны рентгендегі сияқты радиация деңгейі артады-ау деп қауіптенбей жиі жасай беруге болады.

Компьютерлік және магнитті-резонанстық томографиялық зерттеулер қажетті ағзаның жасушаларының құрамы мен құрылымын тексеріп, олардың қабынуын жылдам анықтау арқылы дұрыс емдеуді тағайындауға мүмкіндік береді. Диагностиканың бұл екі түрі де адам денесінің кез келген жүйесін зерттеп зерделеу үшін қолданылады. Өйтсе де, әр әдісті қолданудың 8.11-кестеде көрсетілгендей, өзіндік тиімділігі мен артықшылығы бар.

#### 8.11.1-кесте

#### *Компьютерлік және магнитті-резонанстық томографияларды адам ағзаларын зерттеуге қолдану*

| Компьютерлік томография  | Магнитті-резонанстық томография   |
|--|---|
| КТ мына ағзаларды зерттегенде ең үлкен диагностикалық дәлдікті береді: <ul style="list-style-type: none"> <li>• сүйек құрылымдары;</li> <li>• қантамырлары мен ми қантамырлары;</li> <li>• зәр шығару жолдары;</li> <li>• өкпе;</li> <li>• көкірек қуысы ағзалары;</li> <li>• лор-ағзалары;</li> <li>• іш қуысындағы ағзалар;</li> <li>• ішкі жарақат алған ағзаларды;</li> <li>• жаңадан пайда болған ісіктерді.</li> </ul> | МРТ-тексеру мына ағзаларды зерттегенде айрықша мол ақпараттар береді: <ul style="list-style-type: none"> <li>• жұмсақ тіндер;</li> <li>• бас миы;</li> <li>• омыртқа жұлыны;</li> <li>• жамбас кіші қуысы;</li> <li>• омыртқа және омыртқааралық дискілер;</li> <li>• буындар, байланыс сіңірлері;</li> <li>• кеңірдек, қолқа, өңеш;</li> <li>• сұйығы мол басқа да ағзалар.</li> </ul> |



**Қосымша деректер**

1901 жылы X-сәулесін ашқаны үшін В. Рентгенге Нобель сыйлығы берілді. Ол осы сыйлықты алған алғашқы физик.

**Сұрақтар**

1. Рентген сәулелерінің пайда болу механизмі қандай? Рентген сәулелері қандай түрлерге бөлінеді?
2. Рентген сәулесінің негізгі қасиеттері қандай? Рентген түтіктерінің жұмыс істеу принциптері қандай құбылысқа негізделген?
3. Компьютерлік және магнитті-резонанстық томографияның артықшылықтары мен ерекшеліктері қандай?

**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

Мына сұрақтың жауабын зерделеп, пайымдауларыңды презентацияда талқылаңдар. Дәнекерлеу тігісінің сапасын анықтау үшін неліктен рентген пленкасын бұйымның сыртына орналастырып, қарсы жағынан рентген сәулесін пайдаланады? Пленканы айқындаған соң одан тігіс сапасын қалай анықтайды?

**§ 8.12****Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы**

1. XVIII ғасырдың басынан бастап жарықтың табиғатын зерттеу белсенді түрде қолға алына бастады. Ол уақытта жарықтың екі балама теориясы, яғни корпускулалық және толқындық теориялары қолданыс тапты. «Жарық толқын ба, әлде бөлшектер ағыны ма?» деген сұрақ туындады. XIX ғасырда Юнг, Френел мен Максвеллдің жұмыстарынан кейін жарықтың дифракциясы, интерференциясы мен поляризациясы теорияда да, экспериментте де толық дәлелденді, сөйтіп, жарық бөлшек емес, электрмагниттік толқын деген қорытынды жасалды. Алайда XX ғ. басында Планк пен Эйнштейннің, Комптон мен басқа да ғалымдардың еңбектері арқасында жарық бөлшектер ағыны деген көзқарас орныға бастады. Бұндай көзқарасқа қара дене, фотоэффект, Комптон эффектісіне байланысты зерттеу нәтижелері, яғни жарықтың белгілі бір энергиясы мен импульсі бар релятивистік бөлшектердің (фотондардың) ағыны екені негіз болды.

Кейінгі кездегі зерттеулер жарықтың корпускулалық-толқындық екіжақтылығы оның ажырамас біртұтас іргелі қасиеті екенін түбегейлі дәлелдеді. Жарықтың үздіксіз толқындық қасиеттері де, дискретті бөлшектік (кванттық) қасиеттері де оның ортақ қасиеттері болып табылады.

*Осылайша, жарықтың екіжақты сипаты, яғни бір-бірінен бөлуге болмайтын корпускулалық-толқындық қасиетке ие екендігі тағайындалды. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығын қысқаша «дуализм» деп атайды.*

Алғаш рет жарықтың бөлуге болмайтын екіжақтылық қасиеті туралы абсолют қара дененің бірлік көлемдегі энергия флукуациясын және жарық қысымының флукуациясын зерттеу кезінде Эйнштейн айтқан болатын. Бұл екі шама бір-біріне пропорционал, сондықтан олардың флукуациялары да ұқсас формулалар арқылы өрнектеледі. Абсолют қара дененің сәуле шығаруы мен статистикалық физика әдістерін пайдаланып, Эйнштейн қысым ауытқуының (флукуациясының) және энергия тығыздығының шамаларын есептеуге арналған екі мүшенің қосындысынан тұратын формуланы қорытып шығарды. Алғашқы «кванттық мүше» арқылы жарық дискретті бөлшектерді фотондар ағыны ретінде қарастырады. Екінші, «толқындық мүше» таралатын электрмагниттік толқындағы флукуацияларды сипаттайды. Бұл екі мүшенің қосындысы энергия мен жарық қысымының ауытқуының дұрыс мәндерін береді. Бірақ *жоғары жиіліктерде кванттық мүше негізгі рөлді атқарса, төменгі жиіліктерде толқындық мүше басымдық алады.*

Салыстырмалы түрде ұзақ уақыт аралығында (микроөлемдік масштабта) қуатты жарық ағыны әрекетінің орташа нәтижесін тіркей алсақ, біз үзіліссіз толқындық процесті байқаймыз. Жарық ағынының дискреттілігі мұндай жағдайда маңызды рөл атқармайды. Бұл жағдай гидродинамикада сұйықтың молекулалардан немесе атомдардан тұратынын елемей, үздіксіз орта ретінде қарастыратын жағдайға ұқсайды.

Егер сәулелердің микробөлшектермен, мысалы, жеке атомдармен, молекулалармен немесе электрондармен өзара әрекеттесуін қарастырсақ, онда сәуленің дискретті (яғни фотондық) құрылымы анық көрінеді, жеке фотон заттың бір бөлшегімен өзара әрекеттеседі. Бұл жерде броундық бөлшектердің жекелеген молекулалармен өзара әрекеттесуіне ұқсас жарықтың бөлшектік қасиетін көреміз.

Осылайша, **электрмагниттік сәуле бір-бірін өзара толықтыратын үздіксіз (толқындық) және дискретті (фотондық) қасиеттердің таңғажайып біртұтас бірлігін паш етеді.**

**2. Электрмагниттік сәулелердің корпускулалық қасиеттерін (энергиясы мен импульсін) толқындық қасиеттерімен (жиілігімен немесе толқын ұзындығымен) байланыстыратын негізгі теңдеулерге мыналар жатады:**

$$\varepsilon_{\gamma} = h\nu, \quad (8.20)$$

$$p_{\gamma} = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (8.21)$$

Бұл теңдеулер (формулалар) фотонның бөлшек ретіндегі энергиясы мен импульсінің толқын жиілігімен немесе толқын ұзындығымен байланыстырады.

Жарық толқынының электрмагниттік өріске тән үздіксіздік қасиеттерін оның фотонға тән дискреттік қасиеттеріне қарама-қарсы қоюға болмайды. Жарық корпускулалық және толқындық қасиеттерді қатарынан бір уақытта иелене отырып, оларды белгілі бір заңдылықтар арқылы жеке-жеке бөлшектеп көрсете алады. Мысалы, *жарықтың толқындық қасиеттері оның таралу заңдарында, интерференция, дифракция, поляризациясында көрініс табады, ал корпускулалық қасиеттері жарықтың затпен өзара әрекеттесу процестерінде айқын көрінеді.*

Жоғарыдағы формулалардан айқын көрінетіндей, толқын неғұрлым ұзын болған сайын фотонның энергиясы мен импульсі соғұрлым аз болады да, жарықтың кванттық қасиетін байқау қиынға соғады (фотоэффектінің қызыл шегарасы осымен байланысты). Керісінше, толқын неғұрлым қысқа болған сайын фотон энергиясы мен импульсі артып, жарықтың толқындық қасиетін байқау қиынға соғады. Мысалы, рентген сәулесінің толқындық қасиеті, яғни дифракциясы тек кристалды дифракциялық тор ретінде пайдаланғанда ғана байқалды, ал жарықтың толқындық қасиеттері оған қарағанда ертеден белгілі болды, өйткені жарықтың толқындары рентген сәулелерінен мыңдаған есе ұзын.

Төмендегі 8.12.1-кестеде жарықтың толқындық немесе корпускулалық қасиеттерін айқын басымдылықпен көрсететін құбылыстар келтірілген.

8.12.1-кесте

**Жарықтың толқындық және корпускулалық қасиеттерін сипаттайтын құбылыстар**

| Құбылыстар    | Толқындық теория | Корпускулалық теория |
|---------------|------------------|----------------------|
| Дифракция     | +                | -                    |
| Шағылу        | +                | +                    |
| Сыну          | +                | +                    |
| Интерференция | +                | -                    |
| Фотоэффект    | -                | +                    |

**Сұрақтар**

1. Жарықтың толқындық теориясының негізгі ұстанымдары мен тұжырымдары қандай?
2. Жарықтың корпускулалық теориясының негізгі ұстанымдары мен тұжырымдары қандай?
3. Неліктен жарықтың екіжақты корпускулалық-толқындық табиғаты туралы көзқарас пайда болды? Жарық дуализмі нені білдіреді?
4. Жарықтың толқындық және кванттық табиғатының бірлігін растайтын формулалар қалай жазылады?

**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

Жарықтың қасиеттерін зерттеу мысалында табиғат заңдарын ғылыми танып-білудің тарихи жолы туралы баяндама дайындаңдар.

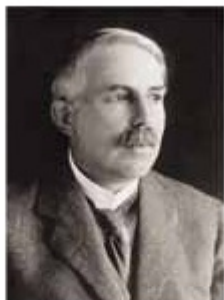


## § 8.13

## Атом моделі. Резерфорд тәжірибесі

1. Атомның бөлінбейтін ең кішкентай бөлшек ретіндегі түсінігі («атомос» – бөлінбейтін) антикалық дәуірде басталды (Демокрит, Эпикур, Лукреций). XVIII ғасырдың басында атомистік теория танымал бола бастады, себебі А. Лавуазье, М.В. Ломоносов және Д. Дальтон еңбектерінде атомдардың бар екендігі дәлелденді.

Атомистік теорияны дамытуда Д.И. Менделеевтің 1869 жылы алғаш рет атомдардың табиғатының бірегейлігіне сүйеніп жасаған элементтердің периодтық жүйесі маңызды рөл атқарды. XIX ғасырдың соңында электрон кез келген заттың негізгі құрамдарының бірі болып табылатындығы тәжірибе жүзінде дәлелденді. Міне, осындай нәтижелер, сондай-ақ көптеген эксперименттік деректер «XX ғасырдың басында атомның құрылымдық моделі қандай болу керек?» деген сұрақты туғызды. Жинақталған мәліметтер бойынша атом моделін сипаттап көрсетудің ең алғашқы қадамын Дж.Томсон (1903) жасады. Бұл модельге сәйкес атомның оң заряды оның шар тәріздес көлемін түгел қамтып біркелкі орналасады. Оң зарядталған шар ішінде бытырай орналасқан электрондар тепе-теңдік күй төңірегінде тербеліп тұрады. Оң және теріс зарядтар бір-біріне тең. Сондықтан да атом электрлік бейтарап күйін сақтайды. Бірнеше жылдан кейін бұл көзқарас жоққа шығарылды.



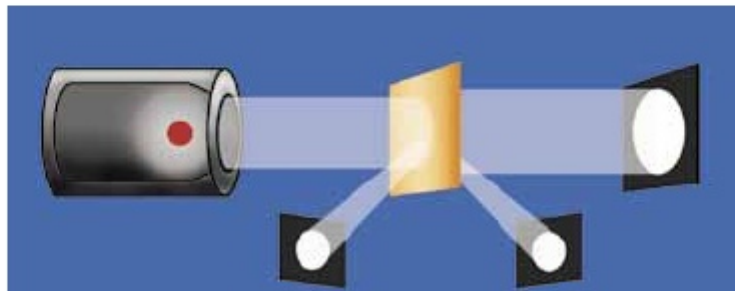
Эрнест Резерфорд (1871–1937) — жаңазеландиялық британ физигі. Ядролық физиканың «әкесі» ретінде танымал. 1908 жылы химия бойынша Нобель сыйлығының иегері атанды. 1911 жылы атомның планетарлық моделін жасады.

Эрнест Резерфорд (1871–1937) — жаңазеландиялық британ физигі. Ядролық физиканың «әкесі» ретінде танымал. 1908 жылы химия бойынша Нобель сыйлығының иегері атанды. 1911 жылы атомның планетарлық моделін жасады.

2. 1906 жылы Эрнест Резерфорд ауыр элементтерді  $\alpha$ -бөлшектермен атқылауды ұсынды. Сол уақытта радийдің радиоактивтік ыдырауы кезінде  $\alpha$ -бөлшектердің шығатыны белгілі болған еді. Бұл бөлшектердің массасы электронның массасынан мыңдаған есе ауыр, ал заряды электрон зарядының модулінен екі есе үлкен оң зарядқа ие екендігі белгілі болатын. Альфа-бөлшектер өте жоғары жылдамдықпен қозғалады (шамамен 20 000 км/с). Электрондардың мұндай бөлшектердің траекториясын айтарлықтай өзгерте алмайтыны анық. Сондықтан альфа-бөлшектерінің шашырауын (яғни қозғалыс бағытын өзгертуін) тек атомның оң зарядталған бөлігі ғана жүзеге асыруы мүмкін болатын. Міне, осы жайттарды ескеріп, Томсон ұсынған атомның құрылымын экспериментте тексеру мақсатында Резерфорд өзінің шәкірттері Гейгер мен Марсенге  $\alpha$ -бөлшектерін пайдаланып, тәжірибе жүргізуді тапсырды. Олардың алғашқы жасаған тәжірибелерінде қолданған қондырғы радий орналастырылған тар саңылауы бар қорғасын

цилиндрден тұрады (8.13.1-сурет). Одан кейін алтын фольга, ал оның артында экран орналасты. Экранды микроскоппен бақылауға болады. Бұл қондырғы ауасы сорып алынған арнайы құрылғыда орналасты.

Радийдің ыдырауы кезінде пайда болған  $\alpha$ -бөлшектері фольга арқылы өткенде шашырайтынын байқауға болады. Әрбір бөлшек экранға түскенде жарқыл туғызады, оны микроскоп арқылы көруге болады (ондай жарқыл *сцинтилляция* деп аталды). Фольганы алып тастағанда, экранда пайда болған сцинтилляция жарқылы бір ғана дөңгелек дақ құрайтыны байқалды. Ал фольганы орнына қойса, дақтың ауданы артты. Бұл фольга арқылы өтетін  $\alpha$ -бөлшектердің шашырайтынын (өз бағытынан ауытқитынын) көрсетеді.



8.13.1-сурет. Альфа-бөлшектердің шашырауын зерттеген Резерфорд тәжірибесінің сұлбасы

3. Резерфорд алғашқы тәжірибелердің нәтижелерімен танысқаннан кейін бастапқы қондырғыны сәл өзгертіп,  $\alpha$ -бөлшектердің одан да үлкенірек бұрыштарға шашырай алатынын анықтағысы келді. Ол үшін фольганы сцинтилляциялық экрандармен қоршап, тәжірибені қайталады. Тәжірибеде кейбір бөлшектердің  $90^\circ$ -тан үлкен бұрыштарға ауытқуы (8.13.1-сурет) Резерфордты қатты таңғалдырды. Яғни бөлшектердің кейбірі кері бағытқа тебілді. Шындығында, мұндай нәтижені алдын ала болжау өте қиынға соққан болатын, себебі Томсон моделі бойынша атомның барлық бөлігіне таралған оң зарядтың электр өрісі  $\alpha$ -бөлшекті кері тебуге, есептеулердің көрсеткеніндей, шамалары жетпейтін еді. Еске сала кетейік, тебіліс күшін Кулон заңынан анықтауға болады:

$$F_{\max} = k \frac{q_\alpha q}{R^2}.$$

Бұл формулада  $k$  — пропорционалдық коэффициенті,  $q_\alpha$  — бөлшектің заряды,  $q$  — атомның оң заряды және  $R$  — оның радиусы.

Томсон моделіне сәйкес зарядталған шардың кернеулігі шардың ортасына жақындағанда кемиді және шардың бетінде барынша үлкен болады. Алайда эксперимент нәтижелері Резерфордқа басқаша ой салды: **оң заряд атомның барлық көлемінде біркелкі бөлінбеген, тек оның орталық бөлігінде ғана шоғырланған**. Осыған байланысты **атом ядросы** деген ұғым енгізілді. Атом ядросына  $\alpha$ -бөлшектер неғұрлым жақындаған сайын, олардың ауытқуы соғұрлым үлкейе береді.

**Атом ядросы — бұл атомның бүкіл массасы мен оң заряды шоғырланған өте шағын микроскопиялық дене.**

Резерфорд өртүрлі бұрыштарға шашыраған бөлшектердің санын есептеп және алынған мәліметтер негізінде ядро өлшемін анықтады. Ядро диаметрі шамамен  $10^{-14} - 10^{-15}$  м, атомның диаметрі шамамен  $10^{-10}$  м болатыны анықталды. Осыдан атом ядросының өлшемі атомның өлшемінен ондаған, тіпті жүздеген мың есе аз екендігі туралы қорытынды жасауға болады. Кейінірек, Менделеев кестесінен білуге болатын ядроның заряды да есептелді. Менделеев кестесіндегі кез келген химиялық элементтің атом ядросының зарядын мына формуламен анықтайды:  $q_d = Z \cdot e$ , мұндағы  $Z$  — химиялық элементтің Менделеев кестесіндегі орналасу ретін көрсететін сан,  $e$  — электрон зарядының абсолют шамасы.

Эрнест Резерфорд эксперименттік зерттеулер негізінде 1911 жылы **атомның планетарлық моделін** жасады. Бұл модельге сәйкес, **атомның центрінде оң зарядталған ядро орналасқан, оның төңірегінде теріс зарядталған электрондар айнала қозғалады.**

Атомдағы электрондардың саны да Менделеев кестесіндегі элементтің реттік санымен анықталады. Әрине, электрондар атомның ішінде тыныштықта тұра алмайды. Күннің төңірегінде планета айналғандай, олар үнемі ядро төңірегінде қозғалады (сол себепті Резерфорд моделі **атомның планетарлық моделі** деп аталады).



8.13.2-сурет. Сутек атомы

Ең қарапайым атом сутек атомы: оның ядросының төңірегінде тек бір ғана электрон айналады (8.13.2-сурет). Осыдан **сутек атомы ядросының электрон зарядының абсолют шамасы тең болатын оң заряды бар деген тұжырым жасауға болады.** Резерфорд барлық атомдардың ядролары сутек атомының ядросынан тұрады деп болжады. Бұл болжам кез келген химиялық элементтің ядросының массасы сутек ядросының массасына еселеніп отыратындығына негізделді. Сондықтан сутек ядросы **элементар бөлшек** ретінде қарастырылды, оны **протон** деп атады.



### Сұрақтар

1. Томсон моделі бойынша атомның құрылымы қалай сипатталады?
2. Резерфорд және оның шәкірттерінің тәжірибелері қандай нәтиже берді? Жауаптарыңды тәжірибе сұлбасын салып түсіндіріңдер.
3. Атомның және атом ядросының өлшемдері қандай, олар қалай бағаланып анықталады? Неліктен Резерфорд ұсынған атомның моделі планетарлық модель деп аталды?



## § 8.14

**Сутек атомының сызықтық спектрі.**  
**Бор постулаттары. Франк–Герц тәжірибесі**

1. Атомдардың сәуле шығаруының ең маңызды сипаттамаларының бірі — олардың спектрлері болып табылады; атомның спектрлері жеке спектрлік сызықтардан немесе жақын орналасқан сызықтардың серияларынан тұрады. Өрбір элемент атомының тек өзіне ғана тән спектрі болады.

Ең көп зерттелген спектр сутек атомының (8.14.1-сурет) спектрі болатын. Тәжірибеде анықталған сутек атомының спектрі сызықтар түрінде орналасқан бірнеше сериялардан тұрады. Өр серияның жиілігі 8.14.1-кестеде көрсетілген формулалармен анықталады; формулалардағы  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  — *Ридберг тұрақтысы* деп аталады.

8.14.1-кесте

*Сутек атомы спектрінің сериялары*

| Спектр аумағы | Формула  | Серия атауы     |
|---------------|--|-----------------|
| Ультракүлгін  | $\nu = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 2, 3, 4, \dots$ | Лайман сериясы  |
| Көрінетін     | $\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 3, 4, 5, \dots$ | Бальмер сериясы |
| Инфрақызыл    | $\nu = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 4, 5, 6, \dots$ | Пашен сериясы   |
|               | $\nu = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 5, 6, 7, \dots$ | Брэккет сериясы |
|               | $\nu = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 6, 7, 8, \dots$ | Пфунд сериясы   |
|               | $\nu = R \left( \frac{1}{6^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 7, 8, 9, \dots$ | Хэмфри сериясы  |

Сутек атомының спектріне көрсетілген барлық эксперименттік сериялар жалпылама түрде *Бальмер формуласымен* сипатталады:

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (8.22)$$

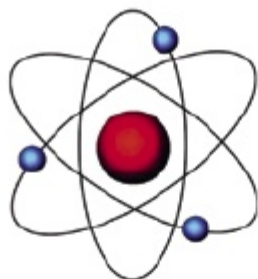
мұндағы  $m$  *серияны анықтайды* және тұрақты бір мәнді қабылдайды ( $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ );  $n$  бүтін мәндерді қабылдайды ( $n = m + 1, m + 2, m + 3, \dots$ ) және берілген *серияның жеке сызықтарын анықтайды*.  $n$  артқан сайын сериялар

бір-біріне жақындайды (8.14.1-сурет);  $n = \infty$  шарты серия шегарасын анықтайды, оған үлкен жиіліктер жағынан *тұтас спектр* жалғасады.



8.14.1-сурет. Сутек атомының спектрі

2. Классикалық теория планетарлық модель негізінде атомның *тұрақты күйін* сақтап, ұзақ өмір сүру себебін түсіндіре алмады. Электрондар өте жоғары жылдамдықпен белгілі орбиталарда қозғалады (8.14.2-сурет).



8.14.2-сурет.

Электрондар атом ядросын айнала қозғалады

Кез келген қисықсызықты қозғалыс үдемелі қозғалыс болғандықтан, классикалық көзқарас бойынша электрондар ядроны айналған кезде жиілігі айналу жиілігіне тең болатын электромагниттік толқындар шығаруға тиіс. Олай болса, электрондар электромагниттік толқындар шығару барысында энергиясын жоғалтып, жылдамдықтарының төмендеуіне байланысты ядроға жақындай береді. Егер Ньютонның классикалық механикасына негізделген тиісті есептеулер жасасақ, 0,01 мкс уақыт ішінде электрон ядроға құлайтын болады. Мұндай жағдайда атом өмір сүруін тоқтатады. Алайда мұндай құбылыстың орын алмайтыны айқын. Көптеген атомдар тұрақты және шексіз өмір сүре береді. Сонымен қатар қалыпты жағдайдағы атомдардың электромагниттік толқындарды шығармайтыны да белгілі. Осының бәрі *классикалық механика теориясын атомдық құбылыстарға қолдануға болмайтынын білдіреді*.

Атомдық құбылыстарды сипаттауға, оның тұрақтылығын түсіндіріп, сәулелерді шығару немесе жұту механизмін айқындауға ХХ ғасырдың бірінші ширегінде дами бастаған *кванттық физика* теориялары ғана жарамды болып шықты.

3. Атомның тұрақтылығы мен сәуле шығару (жүту) механизмін түсіндіруде алғашқы қадамды 1913 жылы Нильс Бор жасады. Бор теориясы Резерфордтың ұсынған атомның планетарлық моделіне және Планктың атомның сәулелерді дискретті үлес (квант) түрінде шығаратыны (немесе жұтатыны) туралы пайымдауларына сүйенеді. Атомның кванттық теориясын дамытуға қосқан оның үлесі үш

постулат түрінде тұжырымдалды; бұл постулаттар микроөлем туралы кванттық физиканың қалыптасуында елеулі рөл атқарады.

**Бордың бірінші постулаты (немесе стационар күй постулаты): атомның ерекше стационарлық күйі болады, мұндай күйде атом сәуле шығармайды, сонда да атомның электрондары үдемелі қозғалады.**

**Екінші постулат бойынша стационарлық орбиталарға тек мына шартқа сәйкес келетін орбиталар ғана жатады: орбитадағы электрон импульсінің**

**моменті  $mvr$  бүтін санға еселенген  $\frac{h}{2\pi}$  шамасына тең болуы керек, яғни:**

$$mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi}, \quad (8.23)$$

мұндағы  $h$  — Планк тұрақтысы,  $n$  — **кванттық сан** деп аталатын бүтін сан.

**Бордың үшінші постулаты (немесе жиіліктер постулаты): атом энергиясы үлкен стационар күйден энергиясы кіші стационар күйге ауысқанда сәуле шығарады. Шығарылатын фотонның энергиясы стационарлық күйлердің энергияларының айырымына тең.**

Бұл постулат тек көзге көрінетін жарыққа ғана қатысты емес, атом инфрақызыл және ультракүлгін спектр аумақтарында да энергия шығара алады. Бордың үшінші постулаты төмендегі формула түрінде жазылады:

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n, \quad (8.24)$$

мұндағы  $E_k$  және  $E_n$  — атомның  $k$  және  $n$  стационарлық күйлеріндегі энергиялары;  $\nu_{kn}$  — атомның  $k$  күйден  $n$  күйге ауысқан кездегі шығаратын сәулесінің жиілігі;  $h$  — Планк тұрақтысы.

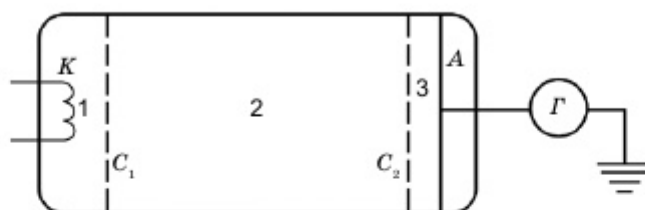
(8.24) өрнегінен сәулеленудің (атомның шығаратын сәулесінің) жиілігін табатын формуланы аламыз:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}. \quad (8.25)$$

Осылайша, Бордың бірінші постулаты атомдар ерекше стационарлық күйде электрмагниттік толқындарды шығармай-ақ мейлінше ұзақ уақыт тұра алуының мүмкін екендігін көрсетеді. Яғни *әрбір электрондық орбита белгілі бір энергетикалық деңгейге сәйкес келеді*. Электрмагниттік сәуле шығару ( $h\nu_{kn} = E_k - E_n$ ) тек электрондар бір энергетикалық күйден (бір орбитадан) екінші күйге (екінші орбитаға) ауысқанда ғана орын алады (8.14.1-сурет). Атом энергияны жұтқанда кері процесс орын алады: ол төменгі энергетикалық деңгейден жоғары энергетикалық деңгейге (күйге) ауысады. Атомдық физикада энергия эВ (электронвольт) арқылы өлшенетінін естеріңіздер.

**4. 1913 жылы Дж. Франк және Г. Герц энергияның дискретті шығарылуы немесе жұтылуы туралы Бор постулаттарының да, Планк гипотезасының да дұрыстығын эксперимент жүзінде дәлелдеді. Олардың жүргізген тәжірибесінің сұлбасы 8.14.3-суретте көрсетілген. Hg (сынап) буы толтырылған вакуумдық түтікшенің  $K$  катодына және  $C_1$  торына электрондарды үдететін  $U$  потенциал айырымы беріледі де, вольтамперлік сипаттамасы алынады.  $C_2$  торы мен  $A$  анодқа тежегіш потенциал айырымы беріледі.**

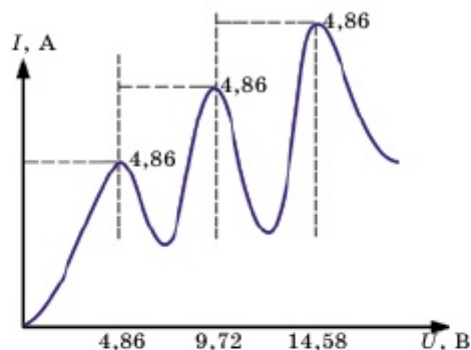




8.14.3-сурет. Франк және Герц тәжірибесінің сұлбасы

1-аймақта үдетілген электрондар 2-аймақтағы Hg сынап буының атомдарымен соқтығысады. Егер соқтығысқаннан кейінгі электрондардың энергиясы 3-аймақтағы тежегіш потенциал үшін жеткілікті болса, онда олар  $A$  анодқа түседі. Демек,  $\Gamma$  гальванометрінің көрсетуі соққы барысында электрондар энергиясының жоғалуына тәуелді өзгеріп отырады.

Тәжірибеде үдететін кернеуді 4,86 вольтқа дейін арттырғанда  $I$  тоқтың баяу өсуі байқалды, яғни  $E < 4,86$  эВ энергиялы электрондар Hg атомымен серпімді соқтығысып, атомдардың ішкі энергиясы өзгеріссіз қалады (8.14.4-сурет).  $U = 4,86$  В (және оған еселенген 9,72 В, 14,58 В) мәндерінде тоқтың кенет төмендеп кеткенін байқауға болады. Бұдан мынадай қорытынды туындайды: кернеу (потенциалдар айырымы)  $U_1 = 4,86$  В,  $U_2 = 2U_1 = 9,72$  В және  $U_3 = 3U_1 = 14,58$  В шамаларына жеткен сайын электрондардың сынап атомдарымен соқтығысуы серпімсіз өтеді де, олар біраз энергияларын жоғалтады (сынап атомдарында жұтылады). Нәтижесінде жылдамдығы төмендеген электрондар анодқа жете алмайды, яғни ток күші төмендейді.



8.14.4-сурет. Франк және Герц тәжірибелеріндегі электрондық тоқтың вольтамперлік сипаттамасы

Расында да, тәжірибеден потенциалдар айырымы нөлден 4,86 вольтқа дейін өскенде анодтағы ток баяу артады (бұл электрондардың энергиялары атомдарда *жұтылмайтын* серпімді соқтығуға сәйкес келеді); бұдан әрі кернеу өскенде анодтағы ток максимум арқылы өтіп, лезде кемиді (бұл электрондардың серпімсіз соқтығысып, біраз энергияларының атомдарда *жұтылуына* сәйкес келеді); одан кейін кернеудің мәні 4,86 В шамасына өскен сайын тоқтың бірде өсіп, бірде кемуі жалғаса береді (8.14.4-сурет).

Осылайша, Франк–Герц тәжірибесі атом жұтқан энергияның спектрі үздіксіз емес, дискретті және Hg атомында жұтылатын энергияның ең төменгі дискретті үлесі (порциясы) жуықтап 4,86 эВ болатынын көрсетті. Кернеудің мәні белгілі шамадан асқанда ( $U > 4,86$  В) пайда болатын Hg булары жарқылының экспериментте анықталған толқын ұзындығының мәні  $\lambda = 253,7$  нм, Бордың екінші постулаты бойынша есептелген мәнге сәйкес болып шықты:

$$E_1 - E_0 = \frac{h}{\lambda},$$

мұндағы  $E_0$  және  $E_1$  — негізгі және қозған деңгейлерінің энергиясы.

8.14.4-суреттен көрініп тұрғандай, Франк–Герц тәжірибесінде сынап атомдарының көршілес энергетикалық деңгейлерінің айырымы  $E_1 - E_0 = 4,86$  эВ.

### ? Сұрақтар

1. Сутек атомының спектрлік сызықтары қандай сериялармен сипатталады? Сутектің спектрлік сызықтарының жалпылама формуласы қалай жазылады?
2. Жалпылама Бальмер формуласында  $n$  және  $m$  сандарының физикалық мағынасы қандай?
3. Неліктен сутек атомының әртүрлі спектрлік сызықтарының ішінде бірінші болып Бальмер сериясы зерттелді?
4. Классикалық теория атомның планетарлық моделінің негізінде сәуле шығаруды түсіндіре алмайды. Оның себебі неде?
5. Бор постулаттарының мағынасы нені білдіреді? Бұл постулаттар қалай тұжырымдалады?
6.  $E_n$  мен  $E_m$  — сәуле шығарғанға (жұтқанға) дейінгі және кейінгі стационар күйіндегі атом энергиясы болсын. Егер фотон атомнан сәулеленіп шықса және атомда жұтылса, онда  $E_n$  мен  $E_m$  қатынасы қандай болар еді ( $>$ ,  $=$ ,  $<$ )?
7. Бордың постулаттары мен классикалық физика заңдары арасындағы қайшылықтар қандай?
8. Атом бір күйден екіншісіне ауысқан кезде кез келген энергия порциясын шығара ала ма? Франк пен Герц тәжірибесі бұл сұраққа не деп жауап береді?

### ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Сутек атомының иондалу энергиясын анықтаңдар. Лайман сериясының бас сызығына сәйкес келетін фотонның энергиясын (электронвольтпен) табыңдар.

**Берілгені:**

$$\begin{array}{l} m = 1 \\ E = ? \end{array}$$

**Шешуі:**

Сутегі атомының иондалу энергиясы (негізгі күйдегі атомнан электронның босап шығуына қажет энергия):

$$E_1 = h\nu_{\max}, \quad (1)$$

мұндағы  $\nu_{\max}$  шамасын Бальмер формуласынан анықтауға болады:

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (2)$$

$m = 1$  және  $n = \infty$  екенін ескерсек;

$$v_{\max} = R, \quad (3)$$

мұндағы  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  — Ридберг тұрақтысы.

(3) ескеріп, (1) формуланы былай жазуға болады:

$$E_1 = hR. \quad (4)$$

*Лайман сериясының бас сызығы* (берілген серия сызықтарының ішінде ең аз жиілікке (ең үлкен толқын ұзындығына) ие (8.14.1-сурет). Бұл электронның екінші күйден бірінші күйге ауысуына сәйкес келеді:  $E = E_{2 \rightarrow 1}$ .

$$E_{2 \rightarrow 1} = h\nu_{2 \rightarrow 1} = hR \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} hR. \quad (5)$$

Бальмер формуласында (2)  $m = 1$  және  $n = 2$  екенін ескердік.

(5) теңдікті (4) формулаға қойып, Лайман бас сериясына сәйкес келетін ізделініп отырған фотон энергиясының формуласын аламыз:

$$E = E_{2 \rightarrow 1} = \frac{3}{4} E_1.$$

Есептеу жүргіземіз:

$$E_1 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,26 \cdot 10^{15} = 21,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

1 эВ =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж екенін ескеріп,  $E_1 = 13,6$  эВ аламыз.

$$\text{Сонда } E = \frac{3}{4} E_1 = 10,2 \text{ эВ}.$$

*Жауабы:*  $E = 10,2$  эВ.



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шешу барысында Планк тұрақтысы  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с; жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с; Ридберг тұрақтысы  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ ; электрон заряды  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл; электрон массасы  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг және электрлік тұрақты  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м болатынын ескеріңдер.

#### А

- 8.14.1. Сутек атомындағы электронның екінші энергетикалық деңгейден біріншіге ауысқан кезде шығарылатын фотонның энергиясын электронвольт бойынша анықтаңдар. (*Жауабы:* 10,225 эВ)
- 8.14.2. Бальмер сериясының шегарасына және Пашен сериясының шегарасына сәйкес келетін толқын ұзындықтарын анықтаңдар. (*Жауабы:* 364 нм; 820 нм)
- 8.14.3. Сутек спектрінің көрінетін сериясындағы (Бальмер сериясы) фотонның максимал және минимал энергиясын электронвольтпен анықтаңдар. (*Жауабы:* 3,41 эВ, 1,89 эВ)

#### В

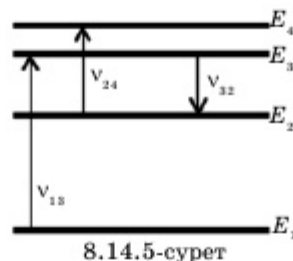
- 8.14.4. Сутек атомының иондалу энергиясын анықтаңдар және Бальмер сериясының бас сызығына сәйкес келетін фотонның энергиясын электронвольт бойынша табыңдар. (*Жауабы:* 1,89 эВ)



- 8.14.5. Сутектің көрінетін спектр бөлігіндегі сәуленің ең үлкен толқын ұзындығы  $\lambda_{\max} = 0,66$  мкм. Сутектің көрінетін спектрінің ең жақын аумағындағы үш сызықтың  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  және  $\lambda_3$  толқын ұзындықтарын табыңдар.  
(Жауабы: 656 нм; 486 нм; 434 нм)
- 8.14.6. Егер атом бір стационар күйден екіншісіне ауысқанда электрон орбитасының радиусы 4 есе азайса, сутек атомындағы электронның бұрыштық жылдамдығы неше рет өседі? (Жауабы: 8)

**С**

- 8.14.7. Негізгі күйдегі сутек атомы толқын ұзындығы  $1,2 \cdot 10^{-6}$  см жарық квантын жұтты. Қозған күйдегі электрон орбитасының радиусын анықтаңдар.  
(Жауабы:  $1,91 \cdot 10^{-10}$  м).
- 8.14.8. Сутек атомы екінші және үшінші қозған күйлерден бірінші (негізгі) күйге ауысқанда, толқын ұзындықтары  $\lambda_{21} = 0,12$  мкм және  $\lambda_{31} = 0,102$  мкм фотон шығарады. Сутек атомының үшінші қозған күйден екіншіге ауысқан кездегі шығаратын сәулесінің толқын ұзындығын табыңдар.  
(Жауабы: 0,68 мкм)
- 8.14.9. 8.14.5-суретте атомдардың электрондық қабаттарының бірнеше энергетикалық деңгейлері бейнеленген, сонымен қатар осы деңгейлердегі ауысулар кезіндегі шығарылған және жұтылған жарықтың жиіліктері де көрсетілген. Егер  $\nu_{24} = 4 \cdot 10^{14}$  Гц,  $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$  Гц және  $E_4$  деңгейден  $E_1$  деңгейге ауысқанда толқын ұзындығы 360 нм сәуле шықса, онда  $\nu_{13}$  жиілігі қандай болады? (Жауабы:  $7,3 \cdot 10^{14}$  Гц)



**№6 зертханалық жұмыс**

**Үздіксіз және сызықтық сәуле шығару спектрлерін бақылау**

**Жұмыстың мақсаты:** электр шамы сәулесінің үздіксіз спектрін және иондалған әртүрлі газ сәулелерінің сызықтық спектрін бақылау.

**Құрал-жабдықтар:** тікелей көру спектроскопы немесе қос түтікті спектроскоп, спектрлік түтіктер жиынтығы, түзеткіш немесе 6 В кернеулі батарея, спектрлік түтіктерді тұтату құралы, қыздыру шамы, люминесценттік шам, кілт, реостат, жалғағыш сымдар, штатив, түсті қарындаш, спектрлік түтіктердегі әртүрлі газ сәулелері спектрлерінің кестелері.

**Қысқаша теория.** Спектр — жарық сәулесінің сындыру ортасы арқылы өткен кезде туындайтын түрлі түсті жолақтар жиынтығы.

Шығару және жұтылу спектрлерін ажырата білу керек. **Шығару спектрі** — өздігінен жарқырайтын денелердің шығаратын жарықтары жіктелгенде алынатын спектрлері; **жұтылу спектрлерін** тұтас спектр беретін көздің жарығын атомдары мен молекулалары қозбаған заттардан өткізу арқылы алады.

Шығару спектрлері жарқырайтын объектінің күйімен анықталатын, бір-бірінен ерекшелінетін үлкен үш түрге бөлінеді. Бұлар — **үздіксіз спектрлер**; оларды күшті қызған қатты және сұйық заттар, сондай-ақ жоғары қысымдағы газдар шығарады. **Сызықтық спектрлерді** атомдардан ғана тұратын жарқырағыш газдар, **үздіксіз спектрлерді** молекулалардан тұратын газдар шығарады. Бұл қызған және сұйық денелер, сондай-ақ жоғары қысымдағы газдар шығаратын үздіксіз спектрлер. **Жарқырайтын атомаралық газдар сызықтық спектрлер**, молекулалық газдар **жолақ спектрлер шығарады**.

Тікелей көретін спектроскоптың және екі түтікшелі спектроскоптың құрылысын қарастырайық.



8.14.6-сурет.  
Спектроскоп



8.14.7-сурет. Екі түтікшелі спектроскоп

а) Тікелей көру спектроскопы призма (2), жылжымалы ұстағышқа бұрандамен бекітілген жинағыш линза (3), коллиматорлық саңылау (4) және окулярлық саңылау (5) бар қақпақ салынған металл түтіктен (1) тұрады. Спектрлерді бақылаған кезде спектроскоптың жарық көзіне коллиматорлық саңылауды бағыттайды да, окулярға (5) қарайды (8.14.6-сурет). Спектр кескінінің айқындығын линзаны бұранда басындағы түтікшені кішкене қысық сызық бойымен жылжытып алады.

ә) Екі түтікшелі спектроскоп окулярдан (1) және призма (4), көру түтігінен (2), объективтерден (3), коллиматордан (5), саңылау (6) мен микрометрлі бұрандадан (7) тұрады (8.14.7-сурет). Спектрлерді бақылаған кезде саңылауды жарық көзіне бағыттайды да, объективтер мен окуляр көмегімен анық кескінге қол жеткізеді. Спектрдің көрінетін бөлігін өзгерту үшін бұранданы бұрайды.

#### Жұмыстың орындалу реті:

1. Спектроскопты коллиматордың қысық сызығы вертикаль болатындай етіп, штативке орнатыңдар. Саңылау алдында бірнеше сантиметр қашықтықта қыздыру қылының биіктігі саңылаудың биіктігімен сәйкес келетіндей етіп электр шамын орнатып, ток көзіне шамды реостат арқылы қосыңдар.

2. Шамды қосып, толық қызған кезде қылсымының сәуле шығаруының тұтас спектрін байқаңдар.

3. Бірте-бірте қылсымның жарқылын азайтып, спектрдің жарықтығының әлсіреуін және спектрлік түстің біртіндеп жойылып кетуін қадағалаңдар.

4. Түсті қарындаштармен бақылап отырған спектрдің суретін салыңдар.

5. Мұғалімнің үстеліне орнатылған немесе төбеге бекітілген жанып тұрған люминесцентті шамға спектроскоптың коллиматорын бағыттаңдар. Спектрін қарап, оны дәптерге салыңдар. Люминесцентті шамның спектрі қыздыру шамының спектрінен қалай ерекшеленетінін сипаттаңдар.

6. Түрлі газдардың спектрін қарастырайық. Ол үшін зерттелетін газы бар түтікті (мысалы, гелий газы бар түтікті) спектрлік түтікті құрылғының қысқышына орнатып, оны кернеу көзіне қосыңдар.

7. Спектрлік түтікті қосып, гелий сәулесінің сызықтық спектрін көріңдер. Содан кейін оның суретін түсті қарындашпен салып, бақыланатын тізбектегі негізгі түстерді сипаттаңдар.

8. Басқа газбен толтырылған спектрлік түтікпен (мысалы, сутегі, неон, аргон немесе криптон) тәжірибені қайталап және олардың сәулелерінің спектрін салыңдар.

9. Жұмысты аяқтағаннан кейін алынған сызықтық сәуле шығару спектрлерін тиісті газдардың кестелік спектрлерімен салыстырып, қорытынды жасаңдар.

10. Тәжірибе нәтижелерін зерделеу үшін мына сұрақтарға жауап беріңдер.



### Бақылау сұрақтары мен тапсырмалар

1. Тікелей көру спектроскопының жұмыс істеу принципін сипаттаңдар.
2. Екі түтікті спектроскоптың құрылысын сипаттаңдар.
3. Қандай заттар үздіксіз спектр береді?
4. Қандай заттар сызықтық спектр береді?
5. Өртүрлі газдардың сызықтық спектрлерінің ерекшеліктерін түсіндіріңдер.
6. Неліктен коллиматордың саңылауын тар етіп жасайды?

## § 8.15

### Сызықтық емес оптика түсінігі. Лазерлер

1. **Сызықтық емес оптика** — *жарық пен заттың өзара әсерлесу құбылыстарын зерттейтін физика саласы, мұндай құбылыстар жарықтың қарқындылығына тәуелді әртүрлі өтеді.*

Ең төменгі энергетикалық күй — *атомның қозбаған негізгі күйі, басқалары қозған күй болып табылады.*

Қоздырылған күйде атом негізгі күйден энергетикалық деңгейі жоғарырақ күйлердің біріне өтеді. Мұндай қоздырылған күйде атом өте аз уақыт ( $\sim 10^{-8}$  с) қана тұра алады. Содан кейін ол бастапқы күйіне қайта оралады және бұл ауысу фотон шығаруымен бірге жүреді. Атомды қозған күйге ауыстыру үшін оған сырттан энергия береді. Мұндай процесс атомның сыртқы сәулелердің фотондарымен өзара әсерлесуі барысында орын алады. Әсерлесу кезінде атом сыртқы сәуленің **фотонын жұтып алып**, қозған күйге өтеді. Жеке атомдардың сыртқы сәулелердің әсерінсіз *спонтанды* деп аталатын өз бетімен сәуле шығару энергиялары тым аз.



Көптеген атомдардың сәуле шығару энергиясының қуаттылығын күшейту үшін *еріксіз (индукцияланған) сәуле шығару* қажет.

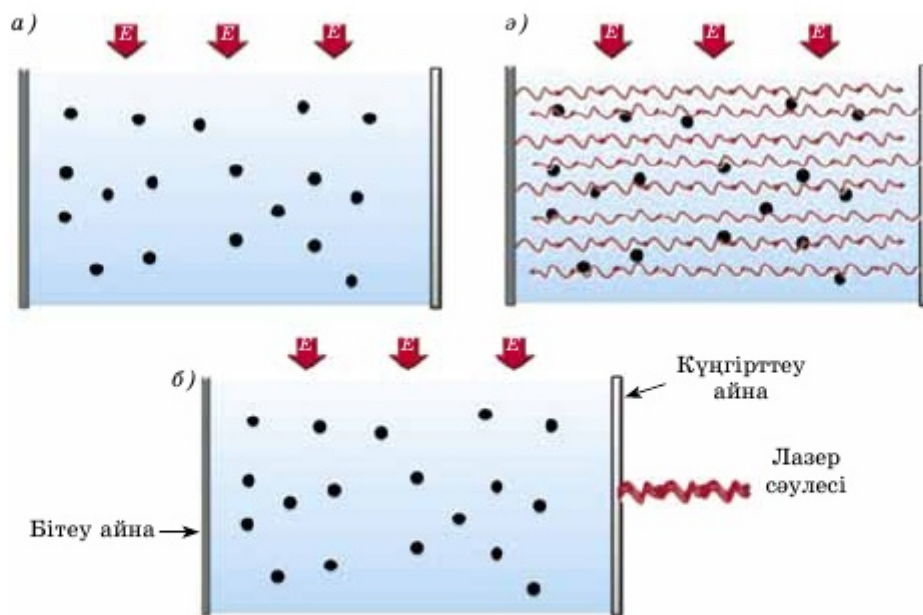
1917 жылы Альберт Эйнштейн мұндай сәуле шығару мүмкіндігін болжап, жеткілікті жоғары энергиялы фотон атомға соғылған кезде дәл өзіндей екі фотонның шығуы мүмкін деп айтқан болатын. Мұндай сәуле шығару *индукцияланған* деп аталды.

*Индукцияланған сәуле шығару деп түскен жарық әсерінен қоздырылған атомдардың сәуле шығаруын айтады.*

Мұндай сәуле шығару кезінде пайда болатын жарық толқынының *жиілігі* де, *фазасы* да, *поляризациясы* да атомға түскен жарық толқынымен бірдей. Бұл *түскен және шыққан толқындардың когеренттілігін* білдіреді.

2. Егер атомға түскен фотонның энергиясы жеткілікті болып, оны қоздырса, атом қандай энергияны жұтса дәл сондай энергиялы фотон шығарады; бір кереметі сол атом өз фотонын қайыра жұтпайды, оның үстіне дәл сондай екінші фотон шығарады. Бұл екі фотон когерентті болып табылады. Мұндай фотондардың энергиясын басқа атомдар жұтып, оларды қоздырады. Міне, *осы идея* лазерді жасаудың негізіне алынды.

Көп атомдары бар активті ортаны (кванттық жүйені) елестетіп көрелік. Бұл орта бітеу (сәулелерді толық шағылдыратын) және жартылай шағылдыратын күңгірттеу айнаның арасында орналассын. Бітеу айна іс жүзінде жарықты толық шағылдырып өткізбейді, ал күңгірттеу айна жарықтың шамамен 2% -ын өткізеді. Осындай айналар лазерлерде қолданыс тапқан (8.15.1-сурет).



8.15.1-сурет. Лазердің жұмыс істеу принципі

Активті орта сырттан энергия алады. Бұл кез келген энергия болуы мүмкін: жылу, жарық, химиялық немесе электрмагниттік сәулелер (8.8.1, *a*-сурет). Мұндай энергия атомдардың біраз бөлігін қозған күйге өткізеді. Атомдар бастапқы күйге қайта оралған кезде туындаған фотондар көршілес атомдарды қоздырады. Осылайша, индукцияланған сәуле шығару құбылысы орын алады: **фотон түскен әр атом дәл сондай екі фотонды шығарады**. Бұл қайта-қайта жалғасып, соның салдарынан көптеген атомдар қозған күйге өтеді. Айналар арасында фотондар алма-кезек шағылып (8.15.1, *ә*-сурет), жолдарындағы қозбаған атомдармен соқтығысады да, оларды нақ өздеріндей фотондарды шығаруға мәжбүрлейді, ақыр соңында қозған атомдармен де, когерентті фотондармен де қаныққан активті орта пайда болады.

Соңында активті ортада әбден қаныққан қозған атомдар бастапқы күйге қайта оралғанда қуатты **лазер сәулесін** шығарады (8.15.1, *б*-сурет). Мұндай сәуледегі когерентті фотондар бір-біріне өте жақын орналасады және олардың қозғалыс бағыттары сәйкес келеді, сондықтан лазер сәулесі іс жүзінде шашырамайды.

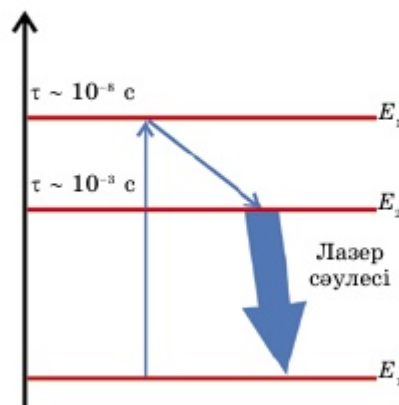
**Лазерлер келесі қасиеттерімен ерекшеленеді:**

- 1) лазерлер өте аз бұрышқа ауытқитын, бағытталған сәулелер шығарады (сәуле шашыраңқы емес);
- 2) лазерлік сәуле толқынының фазасы тұрақты (когерентті), (атомдар жарықты келісімді шығарады);
- 3) лазерлердің қуаты үлкен.

Лазердің кейбір түрлерінде сәуле қуаты күн радиациясының қуатына қарағанда миллиондаған, тіпті миллиардтаған есе жоғары. Алайда мұндай жоғары қуат өте аз уақытта ( $\sim 10^{-13}$  с) пайда болады.

3. Қуатты лазер сәулелерін алу үшін **екі энергетикалық деңгейдің** (мысалы, 8.15.2-суреттегі  $E_1$  және  $E_2$  деңгейлердің) жеткіліксіз болатындығын зерттеулер көрсетті, өйткені сыртқы энергия көзі қаншалықты қуатты болса да, қоздырылған атомдардың саны қозбаған атомдар санынан аспады. Сондықтан 1960 жылы **үш деңгейлі жүйе** деп аталатын алғашқы лазерлер жасалды. Мұндай жүйе өлі күнге дейін лазерлерді жасаудың негізі болып табылады. Үш деңгейлік жүйенің артықшылығы мына жайттарға негізделеді: әр заттың атомдарының әртүрлі күйлерде тұратын уақыты бірдей емес. Сондықтан қозған атом ұзағырақ тұра алатын тағы бір энергетикалық күйді енгізу қажет болды. Екі энергетикалық деңгей мұндай талапты орындай алмайды, белгілі бір энергетикалық деңгейде атомның болу уақыты бірдей емес. Бүгінгі таңда үш деңгейлі жүйе рубиндік лазерлерде табысты қолданылады. Рубин құрамында **хром атомдарының аз қосындысы бар**, олар индукцияланған сәуле шығару процесіне белсенді қатысады (8.15.2-сурет)

8.15.2-суретте атомның үш энергетикалық күйлері қарастырылған:  $E_1$  энергиясы бар бастап-



8.15.2-сурет. Үш деңгейлі жүйе

қы күйі мен  $E_2$  және  $E_3$  екі қоздырылған күйлері. Бірақ атомның соңғы екі қозған күйде тұру уақыты бірдей емес: үшінші энергетикалық деңгейде атом шамамен  $10^{-8}$  с, екінші энергиялық деңгейде шамамен  $10^{-9}$  с уақыт тұруы мүмкін. Бұл, әрине, айтарлықтай айырмашылық, сондықтан екінші деңгейде қоздырылған атомдар санын жеткілікті мөлшерде арттыруға уақыт жеткілікті.

Осылайша, атомдар  $E_3$  энергиясына сәйкес келетін қоздырылған күйге көшеді, бірақ олар дереу  $E_2$  деңгейіне өтеді, онда әлдеқайда ұзағырақ бола алады. Осылайша, барлық хром атомдары қоздырылған күйге келтіріледі. Барлық қозған атомдар негізгі  $E_1$  күйге қайта оралғанда қуатты лазер сәулесі алынады.

4. Лазерлер ғылым мен техникада кеңінен қолданылады. Ең алдымен лазерлер оптика саласында әртүрлі эксперименттерде қолданылады. Лазерлер **ақпаратты сақтау үшін** пайдаланылады, мысалы, «**лазер дискісі**». Қуатты лазер сәулесін **металдарды дәнекерлеуде және кесуде** немесе әртүрлі **материалдарды буландыруда, медицинада**, соның ішінде көз **микрочирургиясында** қолданылады. Лазерлер голографияда кең қолданыс тапты.

**Голография — бұл үшөлшемді объектілерді лазермен суретке түсіріп, содан кейін шынайы күйлеріне мейлінше жақын бейнелерін қайта қалпына келтірілетін арнайы фотографиялық әдіс.**

Лазермен жарықтандырылғанда голограмма объектінің үшөлшемді дәл көшірмесін береді және оның барлық қасиеттерін шынайы бейнелейді. Негізінен белгілі бір объектіден шағылған немесе одан өткен жарықпен тасымалданатын ақпаратты жазу үшін пайдаланылатын голография әдісі тек көзге көрінетін жарық үшін ғана жарамсыз. Бұл әдіс басқа толқындық құбылыстарға, мысалы, дыбыс толқындарына, микротолқын мен инфрақызыл сәулелеріне, рентгендік және электронды сәуле шығаруларға да жарамды әдіс болып табылады. Бұлардың бәрі голографияға қызығушылықты арттырады, алайда практикалық қиындықтарға байланысты оны электрондарға және спектрдің рентгендік аймағында қолдану өзiрге мүмкін болмай отыр.

**Голографиялық технологияның болашағы орасан зор.** Қазіргі таңда зерттеле- тін объектілердің, процестердің және құбылыстардың проекцияларын жасауды шынайы уақыт режимінде қамтамасыз ете алатын 3D-шлемдер жасалуда. Мысалы:

- **астрономияда** — галактикалардың проекцияларын жасау; планеталар жүйесінің түзілу процестерін көрсету; планеталардың немесе жұлдыздардың беттеріне кометалар мен астероидтардың құлауын сипаттау т.с.с.;

- **физикада** — микроәлемнің проекциясын жасау, атом мен атом ядросының құрылымын көрсету, сутек бомбасының жарылысын елестету т.с.с.;

- **химияда** — қышқылдану реакцияларын, жану процестерін көрсететін демонстрациялар жасау; органикалық және бейорганикалық химиялардың айырмашылықтарын көрсететін көрнекіліктер т.с.с.;

- **географияда** — Жер бетіндегі аяқ басуға қиын аймақтардың ландшафтарын жасау, Күн жүйесіндегі басқа планеталардың ландшафтарын көзге елестету т.с.с.;

- **медицинада** — адамдар мен жануарлардың ішкі құрылымдарын көрсететін демонстрациялар жасау т.с.с.

Мұндай технологиялар адамзат әрекетінің әртүрлі салаларындағы жұмыстарының тиімділігін арттыра түсуді қамтамасыз етеді.



**Сұрақтар**

1. Атомның қандай күйлері негізгі және қоздырылған күйлер деп аталады? Атомның қоздырылған күйі қалай алынады?
2. Қандай сәулелену спонтанды, еріксіз (индукцияланған) сәулелену деп аталады?
3. Лазерді жасаудың негізіне қандай идея алынады? Екі энергетикалық деңгейі бар лазер қалай жұмыс жасайды? Оның кемшілігі қандай?
4. Үш энергетикалық деңгейі бар лазер қалай жұмыс жасайды? Артықшылығы қандай?
5. Лазерлерді қандай салаларда қолданады? Болашақтары қандай?

**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

1. Екі энергетикалық күйлерге сәйкес келетін ауысудың суреттерін жұтылу үшін, еріксіз сәуле шығару үшін және спонтанды сәуле шығару үшін салыңдар.
2. Лазер сәулесі шоғы өлшемінің лазер мен фокустайтын оптикалық жүйенің арақашықтығына және лазер сәулесінің  $\Theta$  ауытқу бұрышына тәуелді болатындығын немесе болмайтындығын графикке салып көрсетіндер.

**Тапсырма (теориялық зерттеу)**

Қуатты лазер сәулесі радиусы 20 мкм мөлдір шыны сфераны көтеріп, қалықтаған күйінде ұстап тұрады. Осындай денені жарық қалайша көтеріп тұр? Горизонтальлық суларға қарамастан, дененің орнықтылығы қалай қамтамасыз етілген?

**ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ**

**Есеп.** Қуаты  $P_1 = 2$  кВт лазер  $t_1 = 2$  с-та  $N = 300$  жарық импульсін шығарады. Өр импульстің ұзақтығы  $t_2 = 4$  мкс. Сәуле шығаруға энергияның 0,3% -ы жұмсалады. Бір импульстің қуатын  $P_2$  және энергиясын  $E_2$  табыңдар.

**Берілгені:**

$P_1 = 2$  кВт

$t_1 = 2$  с

$N = 300$

$t_2 = 4$  мкс

$\eta = 0,3\%$

$P_2 = ?$

$E_2 = ?$

**ХБЖ**

$2 \cdot 10^3$

$4 \cdot 10^{-6}$

**Шешуі:**

Лазердің ПӘК-і берілген  $t_1$  уақыт ішінде шығарған  $E_1$  энергиясының осы уақытқа дейін толық тұтынған энергиясына  $E_0$  қатынасына тең:

$$\eta = \frac{E_1}{E_0} 100\% .$$

Осыдан  $E_1 = \frac{\eta E_0}{100\%}$ , мұндағы  $E_0 = P_1 t_1$ , сондықтан

$$E_1 = \frac{\eta P_1 t_1}{100\%} .$$

$E_1$  энергиясын  $t_1$  уақыт аралығында шығарылған  $N$  импульс санына бөліп, бір импульстің энергиясын табамыз:  $E_2 = \frac{E_1}{N}$  немесе  $E_2 = \frac{\eta P_1 t_1}{N \cdot 100\%}$ .

Бір импульстің  $P_2$  қуатын оның  $E_2$  энергиясын импульстің ұзақтығына  $t_2$  бөліп анықтаймыз:  $P_2 = \frac{E_2}{t_2}$ .

Есептеу жүргіземіз:

$$E_2 = \frac{0,3 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 2}{300 \cdot 100} = 0,04 \text{ Дж},$$

$$P_2 = \frac{0,04}{4 \cdot 10^{-6}} = 1 \cdot 10^4 = 10 \text{ кВт}.$$

*Жауабы:*  $E_2 = 0,04 \text{ Дж}$ ,  $P_2 = 10 \text{ кВт}$ .



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шешу барысында Планк тұрақтысы  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ; жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ; электрон заряды  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ; электрон массасы  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  екенін ескеріңдер.

#### А

8.15.1. Лазерлік сәуленің ауытқуы 1 мрад (миллирадиан). Ұзақтығы 0,8 мкс болатын бір импульсте лазер 800 мДж жарық энергиясын шығарады. Лазерден 8 м қашықтықта сәулелену ағынының  $I_s$  тығыздығын табыңдар. *(Жауабы:  $2 \cdot 10^{10} \text{ Вт/м}^2$ )*

8.15.2. Үздіксіз сәуле шығару режимінде жұмыс істейтін газ лазері толқын ұзындығы 500 нм жарық шығарады. Сәулелену қуаты 50 мВт болса, лазердің 2 с-та шығарған фотондар санын табыңдар. *(Жауабы:  $2,5 \cdot 10^{17}$ )*

#### В

8.15.3. Лазер шығаратын энергиясы 10 Дж жарық импульсінің ұзақтығы 0,13 мс. Егер сәулеге перпендикуляр бетке түсетін жарық шоғының диаметрі 10 мкм болса, жарық шоғының орташа қысымы ( $\rho = 0,5$ ) қандай? *(Жауабы: 4,9 МПа)*

8.15.4. Үздіксіз режимде жұмыс істейтін терапевтік гелий-неон лазерінің қуаты 40 мВт-қа арттырып, толқын ұзындығы 630 нм монохроматты жарық алуға болады. Лазер 1 с-та қанша фотон шығарады? *(Жауабы:  $1,3 \cdot 10^{17}$ )*

8.15.5. Сүйелді хирургиялық жолмен алып тастағанда диаметрі 0,4 мм лазер шоғын беретін қуаты 10 мВт гелий-неон лазері қолданылады. Лазер жарқылының ұзақтығы 1 с. Жарқылдың энергиясы мен дақтағы қуат тығыздығын ( $\text{Вт/м}^2$ ) анықтаңдар. *(Жауабы: 0,01 Дж;  $79,6 \text{ кВт/м}^2$ )*

#### С

8.15.6. Лазер бір импульсте  $10^{19}$  жарық кванттарын шығарады. Ұзақтығы  $3 \cdot 10^{-8} \text{ с}$  жарқыл кезіндегі лазер импульсінің орташа қуаты 1100 Вт.

Лазердің шығарған сәулесінің толқын ұзындығын анықтаңдар. Жауабын микрометрмен өрнектеңдер. (Жауабы: 0,6 мкм)

- 8.15.7. Импульстік режимде жұмыс істейтін лазердің қуаты 1 кВт. Бір импульстің ұзақтығы 5 мкс, ал 1 секундтағы импульс саны 200. Егер тұтынған қуаттың 0,1%-ы сәуле шығаруға жұмсалса, онда бір импульстің қуаты мен сәулелік энергиясы қандай? (Жауабы: 5 мДж; 1 кВт)
- 8.15.8. Қуаты  $P = 100$  Вт лазер сәулесінің шоғы пластинка бетіне  $\alpha = 60^\circ$  бұрышпен түседі. Пластинка түскен сәуле энергиясының 40 %-ын өткізеді де, қалғандарын айналық шағылдырады. Жарық тарапынан пластинкаға әрекет ететін күштің абсолют шамасын анықтаңдар. (Жауабы:  $2 \cdot 10^{-7}$  Н)

## § 8.16

### Бор теориясының қиындықтары.

#### Бөлшектердің толқындық қасиеттері. Де Бройль толқыны

1. Нильс Бор 1913 жылы өзінің постулаттары арқылы атомның жартылай классикалық теориясын ұсынды, оған Планктың энергияның дискретті шығуы немесе жұтылуы туралы заңы (гипотезасы) мен Резерфорд тағайындаған атомның планетарлық моделі негіз болды. Бұл теорияда экспериментте алынған сутек тәріздес атомдардың энергетикалық күйінің дискреттігі тамаша дәлдікпен түсіндірілді. Атомдарда стационарлық күйлердің және олардың арасында секірмелі ауысулардың болатыны жайлы жасаған батыл ұсыныстары Бор теориясының болжағыштық маңызын арттыра түседі. Бұл қағидалар кейіннен басқа да микрожүйелерде қолданылады.

Алайда теориядан кемшіліктер де табылды. Спектрлік сызықтардың қарқындылығын түсіндіре алмады. Ол тек сутек тәріздес атомдар үшін ғана жарамды болды да, ал одан кейінгі Менделеев кестесіндегі атомдар үшін жұмыс істемеді, яғни күрделі атомдардың экспериментте алынған спектрлік деректерін теория тұрғысынан түсіндіруге қабілетсіз болды. Бор теориясы логикалық жағынан қайшылық туғызып, не біржақты классикалық немесе таза кванттық теория бола алмады. Оның негізіне алынған екі теңдеулер жүйесінің бірі — электронның қозғалысын классикалық тұрғыда сипаттаса (мысалы, электронның импульсі ( $p = mvr$ )), ал екіншісі — олардың орбиталарының квантталуын (дискреттілігін) кванттық теория тұрғысынан көрсетеді (мысалы, « $n$  кванттық» орбитадағы электронның толық энергиясы осы кванттық санның квадратына кері пропорционал:  $E \sim \frac{1}{n^2}$ ).

Бордың теориясы толық аяқталмаған. Сондықтан Бор теориясы қайшылығы жоқ, әрі жалпылама сипаты бар *заманауи кванттық механикаға* жол берді. Бор постулаттары қазіргі қалыптасқан кванттық механика заңдарының салдары



болып шықты. Алайда Бор постулаттары Планк гипотезасы сияқты кванттық механиканың әрі қарай дамуына жол ашты.

2. Кванттық механиканың дамуына зор үлес қосқан ғалымдардың бірі – Нобель сыйлығының иегері Луи де Бройль. Ол *фотондар ғана емес, сонымен бірге электрондар мен материяның кез келген басқа бөлшектері де, корпускулалықпен бірге толқындық қасиеттерге ие екендігін дәлелдеді.*

Әрбір микрообъектінің, бір жағынан,  $E$  энергиясы мен  $p$  импульсі арқылы корпускулалық қасиеттері, екінші жағынан,  $v$  жиілік пен  $\lambda$  толқын ұзындығы арқылы толқындық қасиеттері сипатталады. Бұл шамалардың арасындағы сандық сипаттамалар да фотон үшін жазылған формулалармен бірдей өрнектеледі:

$$E = hv;$$

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

*Фотондар үшін жазылған бұл теңдеулерді электрон мен басқа да элементар бөлшектерге қолдану де Бройль гипотезасының батылдығы болып табылады.*

Сонымен, кез келген импульске ие бөлшекке толқын ұзындығы төмендегі формуламен анықталатын толқындық процесс сәйкес келеді:

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

### 3. Де Бройль гипотезасы Дэвиссон мен Джермердің тәжірибелерінде дәлелденді.

Олар жасаған эксперименттерде дифракциялық тор ретінде қолданған никель кристалында шашыраған электрондар шоғы дифракциялық кескін береді. Дифракциялық максимумдер Вульф–Брэгг формуласына сәйкес (бұл формула рентген сәулелері дифракциясының максимум шартын анықтайды:  $\Delta l = n\lambda = 2d \sin\theta$ , мұндағы  $d$  — кристалл атомдары жазықтықтарының арақашықтығы,  $\theta$  — сәулелердің атомдар жазықтығынан шашырау бұрышы), ал Брэгг толқын ұзындығы ( $\lambda = 2d \sin\theta/n$ ) де Бройль толқын ұзындығына  $\left(\lambda = \frac{h}{p}\right)$  тең болды. Кейіннен толқындық қасиеттер тек электрондардың ағынына ғана емес, әр электронға да тән екендігі дәлелденді. Дифракциялық көріністер нейтрондар мен протондар үшін де анықталды.



**Луи де Бройль** (1892–1987) — француз физик-теоретигі, кванттық механиканың негізін қалаушылардың бірі, 1929 жылдағы физикадан Нобель сыйлығының лауреаты.

*Жарық сәулесі үшін жазылған*

$$E = hv$$

формуласын кез келген бөлшекке қолдануға болатыны дәлелденді. Бұл формула — фотондар мен басқа да микро-бөлшектер үшін жарамды әмбебап өрнек. Оның жарамдылығы кванттық механикадағы, атомдық және ядролық физикадағы теориялық және тәжірибелік нәтижелермен де келісім тапты.

Кейінірек корпускулалық (кванттық) және толқындық екіжақтылық (дуалистік) қасиеттерді элементар бөлшектер мен нуклондар ғана емес, олардан да ірі объектілер – молекулалардың да иеленетіні дәлелденді. Мысалы, 1999 жылы бірнеше ондаған көміртек атомдарынан тұратын *фуллерен* деп аталатын молекуланың дифракциясы тіркелді, 2019 жылы әрқайсысы 2000 атомнан тұратын молекулаларда да байқалды.



### Қосымша деректер

Эксперименттер жарықтың бөлшектік қасиетін және толқындық қасиетін бір мезгілде өлшеуге болмайтындығын, тек жеке-дара не толқындық, не бөлшектік қасиетін өлшеуге болатынын көрсетті, бірақ ол қасиеттерді бір мезгілде бақылау мүмкін емес. Осының негізінде Бор өзінің **қосымшалық принципі**н тұжырымдады: жарық энергиясын өлшегенде өзін бөлшек секілді (мысалы, фотоэлектрлік эффектте), ал эксперименттегі дифракциясы арқылы толқын секілді көрсетеді. **Гейзенбергінің анықталмағандық принципі**н де қамтитын **қосымшалық принципі** кванттық механиканы копенгагендік интерпретациямен түсіндірудің негізіне алынды.



### Сұрақтар

1. Бор теориясының жетістіктері мен қиындықтары қандай?
2. Де Бройль гипотезасының батылдығы неде? Ол қалай тұжырымдалады? Де Бройль толқын ұзындығы мен бөлшектің импульсі қалай анықталады?
3. Қандай эксперименттерде де Бройль гипотезасы дәлелденді?



### Тапсырма (практикалық эксперименттік зерттеу)

Адамның шығаратын жылудың сәулелік энергиясының толқын ұзындығы немесе басқа да параметрлері бойынша оның тұлғасын да, ауруын да идентификациялайтын (сәйкестендіретін) аспапты құрастыру мүмкіндігін зерделендер.

## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Қандай  $T$  температурада сутек атомының де Бройль толқын ұзындығы  $\lambda = 8 \cdot 10^4$  фм шамасына тең болады?

**Берілгені:**

$$\lambda = 8 \cdot 10^4 \text{ фм}$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$T = ?$$

**ХБЖ**

$$8 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

**Шешуі:**

Сутек атомының де Бройль толқын ұзындығын мына формуламен анықтаймыз:

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \quad (1)$$

мұндағы  $m$  — сутегі атомының массасы,

$v$  —  $T$  температурадағы атомның жылдамдығы. Осы температурадағы атомның орташа кинетикалық энергиясы:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT, \text{ бұдан } v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad (2)$$

мұндағы  $k$  – Больцман тұрақтысы.

(2)-ні (1)-ге қою арқылы  $\lambda = \frac{h}{m\sqrt{\frac{3kT}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{3kTm}}$ . Осыдан  $3kTm = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2$  және

$$T = \frac{1}{3km} \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2.$$

$$\text{Есептеу жүргіземіз: } T = \frac{1}{3 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} \left(\frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{8 \cdot 10^{-11}}\right)^2 = 990 \text{ К.}$$

*Жауабы: T = 990 К.*



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

#### В

- 8.16.1. Сутек атомының бірінші Бор орбитасындағы электрон үшін де Бройль толқын ұзындығын анықтаңдар. (*Жауабы: 0,33 нм*)
- 8.16.2. 20 км/с және 0,8 км/с жылдамдықпен қозғалатын электронның де Бройль толқын ұзындығын табыңдар. (*Жауабы: 36,4 нм; 910,7 нм*)
- 8.16.3. Орташа кинетикалық энергиясы бөлме температурасындағы газ атомдарының орташа энергиясына жақын жылулық нейтрондардың жылдамдығы 2,5 км/с. Осындай нейтрондар үшін де Бройль толқын ұзындығын табыңдар. (*Жауабы: 145 пм*)
- 8.16.4. Кинетикалық энергиясы 100 эВ протон үшін де Бройль толқын ұзындығын есептеңдер. (*Жауабы: 2,86 пм*)
- 8.16.5. Электрон 510 кВ үдетуші потенциал айырымынан өтті. Релятивистік талапты ескере отырып, де Бройль толқын ұзындығын табыңдар. (*Жауабы: 1,4 пм*)
- 8.16.6. Тыныштық күйдегі сутек атомы толқын ұзындығы 121,5 нм фотон шығарады. Бұдан кейін сутек атомы қандай жылдамдық алады? Сутек атомының массасы 1,00784 м.а.б. (*Жауабы: 3,26 м/с*)

## VIII ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- *Сәуле шығару (сәулелену)* — энергияның толқын және бөлшектер түрінде шығарылу және таралу процесі.
- *Жылулық сәуле шығару* — заттың ішкі энергиясы есебінен шығарылған электрмагниттік сәулелену.



- **Люминесценция** — заттың энергияны жұтқаннан кейін жылулық емес сәуле шығаруы.

- **Сәулелену қарқындылығы** — бірлік уақытта бірлік ауданнан перпендикуляр бағытта өтетін және денелік бұрыштың бірлігіне келетін сәулелену энергиясының толық ағыны.

- **Сәуле шығарудың спектрлік тығыздығы** — берілген ұзындығы  $\lambda$  (немесе жиілігі  $\nu$ ) кіретін шексіз аз спектрлік аралықта алынған сәулелену қарқындылығының осы аралықтың  $d\lambda$  (немесе  $d\nu$ ) шамасына (еніне) қатынасы.

- **Спектр** — күрделі электромагниттік толқынның жекелеген гармоникалық (яғни монохроматтық) сәулелерге жіктелген жиынтығы.

- **Спектрлік талдау** — спектр бойынша заттың химиялық құрамын анықтау әдісі.

- **Абсолют қара дене** — өзіне түсетін бүкіл энергияны жұтып алуға қабілетті дене.

- **Ультрақұлгін апаты** — ультрақұлгін аймағындағы құбылыстарды түсіндіре алмаған классикалық физика теориялары мен нақты эксперименттік деректердің арасындағы туындаған кереғар қайшылық.

- **Стефан–Больцман заңы:**  $R_e = \sigma T^4$ .

- **Виннің ығысу заңы:**  $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$ .

- **Кванттың энергиясы (Планк формуласы):**  $E = h\nu$ .

- **Фотозффе́кт бойынша Эйнштейн формуласы:**  $h\nu = A_{\text{шығыр}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}$ .

- **Фотонның және басқа да элементар бөлшектердің корпускулалық қасиеттерін толқындық қасиеттермен байланыстыратын негізгі теңдеулер:**

$$\varepsilon = h\nu; p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

- **Бальмердің жалпылаған формуласы:**  $\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ , мұндағы  $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  сутек спектріндегі серияны анықтайды;  $n$  бүтін сандар ( $n = m + 1, m + 2, m + 3, \dots$ ).

# 9-тарау



## АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

## ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

- ⇒ ядролық қалдықтармен аймақтардың зақымдануының ұзаққа созылу себептерін радиоактивті ыдырау заңы негізінде түсіндіру;
- ⇒ радиоактивті ыдыраудың формуласын есептер шығарғанда қолдану;
- ⇒ атом ядросының байланыс энергиясын есептеу және меншікті байланыс энергиясының ядроның массалық санына тәуелділігін түсіндіру;
- ⇒ ядролық реакцияны жазғанда массалық және зарядтық сандардың сақталу заңын қолдану;
- ⇒ ядролық синтездің және табиғи радиоактивтіліктің табиғатын түсіну;
- ⇒ магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалыс сипатын түсіндіру;
- ⇒  $\alpha$ ,  $\beta$  және  $\gamma$ -сәулелерінің табиғатын, қасиеттерін және биологиялық әрекетін түсіндіру;
- ⇒ ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципін сипаттау;
- ⇒ ядролық энергетиканың даму барысын талқылау.

## Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

| Қ а з а қ ш а           | О р ы с ш а                   | А ғ ы л ш ы н ш а        |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| табиғи радиоактивтілік  | естественная радиоактивность  | natural radioactivity    |
| жасанды радиоактивтілік | искусственная радиоактивность | artificial radioactivity |
| ыдырау                  | распад                        | decay                    |
| ядро                    | ядро                          | nucleus                  |
| аналық ядро             | материнское ядро              | mother nucleus           |
| туынды ядро             | дочернее ядро                 | daughter nucleus         |
| жартылай ыдырау периоды | период полураспада            | half-life, decay period  |



|                                 |                            |                         |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| нейтрон                         | нейтрон                    | neutron                 |
| байланыс энергиясы              | энергия связи              | binding energy          |
| меншікті байланыс энергиясы     | удельная энергия связи     | specific bond energy    |
| нуклон                          | нуклон                     | nucleon                 |
| массалар ақауы                  | дефект масс                | mass defect             |
| ядролық реакция                 | ядерная реакция            | nuclear reaction        |
| тізбекті реакция                | цепная реакция             | chain reaction          |
| термоядролық реакциялар         | термоядерные реакции       | thermonuclear reactions |
| сәуле шығарудың жұтылған дозасы | поглощенная доза излучения | absorbed radiation dose |

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «табиғи радиоактивтілік», «жасанды радиоактивтілік», «ыдырау», «ядро», «аналық ядро», «туынды ядро», «жартылай ыдырау периоды», «нейтрон», «байланыс энергиясы», «меншікті байланыс энергиясы», «нуклон», «массалар ақауы», «ядролық реакция», «тізбекті реакция», «термоядролық реакциялар», «сәуле шығарудың жұтылған дозасы».

## § 9.1

### Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңдары

1. Француз физигі А. Беккерель 1896 жылы уран тұздарының люминесценциясын зерттеу кезінде олардың өздігінен табиғаты белгісіз сәуле шығаратынын байқап қалды. Ол бұндай сәулелердің шығуына уран тұзына түскен күн сәулесінің әсері болуы мүмкін деп ойлады. Сөйтіп, Беккерель бұлтты күні өз тәжірибесін жасай алмай, уран тұздары себілген мыстан жасалған кресті және фотопластинаны жарық өткізбейтін қағазға орап, шкафқа салып қояды. Кейінірек, пластинаны айғақтаған кезде, ол фотопластинада крест кескінін байқады. Бұл уран тұздарына күн сәулесі түспесе де, өз бетімен қандай да бір сәуле шығаратынына көзін жеткізді.

Бұл жаңалық Беккерельді және басқа зерттеушілерді де осы сәулені әрі қарай зерттеуге құлшындырды. Артынан ол ашқан сәулелену фотопластинаға әсер етуімен қатар, ауаны да иондайтынын және бірқатар заттардың люминесценциясын қоздыратынын байқады. Рентген сәулесі 1895 жылы ашылғаннан кейін, көп ұзамай Беккерель сәулесінің де 1896 жылы ашылуы атомның құрамы мен құрылысын зерттеудің бастауы болды.

2. Ерлі-зайыпты Мария мен Пьер Кюрилер беккерельдік сәуле шығару тек уранға ғана емес, торий мен актиний секілді ауыр элементтерге де тән екенін тіркеді. Олар уран қарамай қоспасының (металдық уран алынатын кен) уранның сәуле шығару қарқындылығынан бірнеше есе артық сәуле шығаратынын көрсетті. Бұл кен құрамында басқа да белгісіз элементтердің бар екенінің айғағы еді. Сонымен, беккерель сәулеленуін шығаратын екі жаңа элемент:

${}_{84}^{210}\text{Po}$  **полоний** және **радий**  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  ашылды. Полоний атауы Мария Склодовская-Кюридің отаны Польшаның құрметіне қойылды. Өздігінен сәуле шығаратын элемент радийдің ашылуынан кейін байқалған құбылыс **радиоактивтілік** деп аталды, ал сәулеге **радиоактивті сәуле** деген атау берілді.

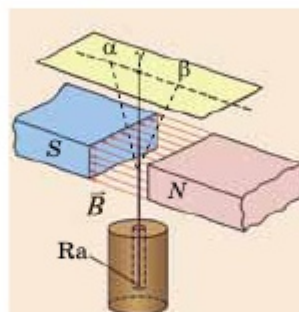
Радийдің салыстырмалы атомдық массасы 226, реттік нөмірі 88. Радий сілтілі жер металы болып табылады. Кейінірек реттік нөмірі 88-ден жоғары бүкіл элементтердің радиоактивті екені белгілі болды.

Радиоактивтілік **табиғи** (табиғи изотоптарда байқалады) және **жасанды** (ядролық реакцияларда алынған изотоптарда пайда болады) деп аталатын екі түрге бөлінеді. Алайда олардың арасында айтарлықтай айырмашылық жоқ, себебі екеуінің де радиоактивті түрлену заңдары бірдей.

3. Радиоактивті сәуле шығару ашылған соң, олардың табиғатын зерттеу басталды. Резерфорд 1897 жылы бұл сәуленің өртүрлі құрамдас бөліктерден тұратынын және олардың өтімділік қабілеттерінің де өртүрлі болатынын тапты. 1899–1903 жылдары көптеген классикалық тәжірибелер жасалды (9.1.1-сурет). Қорғасын білеушенің ішіндегі жіңішке канал түбіне радий салынды. Каналға қарама-қарсы фотопластина орналастырылды. Радийден шыққан сәулеге магнит өрісі әсер етеді. Магнит өрісі әсер етпегенде фотопластинада қара дақ қана, ал магнит



**Антуан Анри Беккерель** (1852–1908) — француз физигі, физикадан Нобель сыйлығының лауреаты. Оның негізгі зерттеулері кристалдардағы жұтылу спектрлерінің өртүрлілігіне арналған. 1903 жылы Пьер және Мария Кюрилермен бірге «Өздігінен жүретін радиоактивтілік құбылысын ашқаны үшін» Нобель сыйлығын алды.



9.1.1-сурет. Радиоактивті сәулелердің табиғатын зерттеуге арналған қондырғының сұлбасы

өрісі өсерінен үш бөлек шоқ пайда болды: біреуі ауытқымай тура өтеді, ал қалған екеуі қарама-қарсы бағытқа ауытқыды.

Бұл екі шоқ зарядтарының әртатас екендігін көрсетеді. Әртатас шоқтың біреуі магнит өрісінде көбірек ауытқыды, оған ***β-сәуле*** деген атау берілді; азырақ ауытқыған екінші шоқ ***α-сәуле***, ал ауытқымай өткен үшінші шоқ ***γ-сәуле*** деп аталды.

Кейінірек жүргізілген зерттеулер сәулелердің табиғатын және негізгі қасиеттерін анықтауға мүмкіндік берді.

Мысалы, ***α-сәулесі*** электр және магнит өрістерінің өсерінен ауытқиды, иондаушы қабілеті жоғары және өтімділік қабілеті төмен (мысалы, қалыңдығы шамамен 0,05 мм алюминий қабатында жұтылады). 1909 жылы Э. Резерфорд пен Т. Ройдс ***α-сәуле*** — ***гелий ядроларының ағыны*** екенін дәлелдеді. Оның заряды оң және  $+2e$  шамасына тең, массасы  ${}^4_2\text{He}$  гелий изотопының массасымен бірдей болып шықты. Альфа-бөлшектердің электр және магнит өрістерінде ауытқуы бойынша олардың меншікті заряды  $\frac{q}{m_\alpha}$  да анықталды. Оның мәні ***α-бөлшегінің табиғаты*** туралы көзқарастың дұрыстығын растады.

Альфа-сәулесінің табиғаты анықталғаннан кейін ***β-сәулесінің теріс зарядты бөлшектердің ағыны екендігі белгілі болды***. ***β-сәуле*** электр және магнит өрістерінің өсерінен ауытқиды; оның иондайтын қабілеті төмендеу (шамамен екі ретке), өтімділік қабілеті ***α-бөлшектерімен*** салыстырғанда анағұрлым жоғары (қалыңдығы шамамен 2 мм алюминий қабатында жұтылады). ***β-сәуле жылдам электрондардың ағыны болып шықты*** (бұл олардың меншікті зарядын анықтауда белгілі болды).

Біртекті затта жылдамдықтары бірдей электрондар ағынының жұтылуы  $N = N_0 e^{-\mu x}$  формуласымен сипатталатын экспоненциалдық кему заңына бағынады, мұндағы  $N_0$  және  $N$  — қалыңдығы  $x$  зат қабатына кірердегі және одан шығардағы электрондар саны,  $\mu$  — жұтылу коэффициенті. ***β-сәуле*** заттан күшті шашырайды, сондықтан да  $\mu$  тек заттан ғана емес, ***β-сәуле*** түсетін дененің өлшемдері мен пішіндеріне де тәуелді.

***Гамма-сәуле*** электр және магнит өрістерінде ауытқымайды, иондаушы қабілеті әлсіз, өтімділік қабілеті жоғары (қалыңдығы 5 см болат қабатынан өтеді) және кристалдардан өткен кезде дифракция құбылысы байқалады. ***γ-сәуленің толқын ұзындығы өте кіші  $\lambda < 10^{-10}$  м қысқа толқынды электрмагниттік сәулеге жатады***. Толқын ұзындығы аз болғандықтан, оның корпускулалық қасиеттері анық білінеді, басқаша айтқанда — фотондар ағыны.

**4. Радиоактивті сәуле шығару кезінде зат қандай өзгеріске ұшырайды?** Көптеген тәжірибелер радиоактивті заттардың сәуле шығару қарқындылығының өзгермейтіндігін көрсетті, сонымен қатар оған қыздырудың да, қысымның өзгеруінің де, тіпті химиялық реакциялардың да әсер етпейтіні байқалды. Екіншіден, радиоактивті сәулелену кезінде энергия бөлініп шығады. Мысалы, бір грамм радий сәуле шығару барысында 1 сағатта 582 Дж энергия бөледі.



Міне, осындай өзгерістердің барлығы радиоактивті сәуле шығару кезінде атомдар түрлендірулердің тізбегінен өтетіні туралы ғалымдарға ой салды. Мысалы, Резерфорд торийдің активтілігін зерттеп, альфа-бөлшектерімен қатар белгілі бір газ шығатынын тіркеді. Ал оның активтілігі уақыт өтуімен төмендейді. Бұл газ жаңа химиялық элемент болып шықты, оған *радон* деген ат берілді.

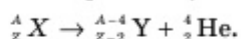
Сонымен, ғалымдар радиоактивті сәуле шығару кезінде атомдардың түрленетіні, заттың химиялық та, физикалық та қасиеттері бойынша басқа затқа айналатыны жайында қорытынды шығарды. Кейінірек, түрлендіруге атом ядросының ұшырайтыны анықталды. Расында да атомның электрондық қабаттарында альфа-бөлшектердің болмайтыны белгілі ғой, олай болса, оң зарядты  $\alpha$ -бөлшектері атом ядросының ыдырау өнімі болып табылады. Радиоактивті ыдырауға ұшырайтын атомдық ядро *аналық* ядро, пайда болатын жаңа химиялық элементтің ядросы — *туынды* ядро деп аталады.

Сонымен, радиоактивтілік деп кейбір ядролардың әртүрлі радиоактивті сәулелер мен элементар бөлшектерді шығара отырып, өздігінен (кенеттен) басқа ядроларға айналу процесін айтады.

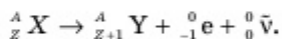
5. Ядролардың түрленіп өзгерулерін көрсету үшін қажетті белгілеулерді енгізейік. Аналық ядроны  $X$ , туынды ядроны  $Y$  деп белгілейік. Элементтерді бір-бірінен ажырату үшін заряд саны  $Z$  және массалық сан  $A$  түсініктерін енгізейік. *Заряд саны* дегеніміз — Менделеев кестесіндегі элементтің реттік нөмірі. Реттік нөмірі өзгерсе, ядро да өзгереді және бір элемент екінші элементке ауысады. *Массалық сан* да Менделеев кестесінде көрсетілген. Массалық санның өзгеруі элементтің өзгеруіне әкелмейді, тек оның әртүрлі массадағы изотоптарын береді. Кез келген аналық ядроны  ${}^A_Z X$  немесе  ${}_Z X^A$  таңбасымен белгілейді.

Ядролардың түрлендірулері *Соддидің ығысу заңына* бағынады. Бұл заңдар бойынша аналық ядро қандай ядроға түрлендірілетіні анықталады.

Мысалы,  *$\alpha$ -ыдырау кезінде* ядро оң  $2e$  зарядты жоғалтады да, оның массасы 4 атомдық бірлікке кемиді. Соның нәтижесінде аналық ядро  $\alpha$ -бөлшегін шығарып, периодты жүйенің басына қарай екі торкөзге ауысады да, туынды  $Y$  ядроны береді:

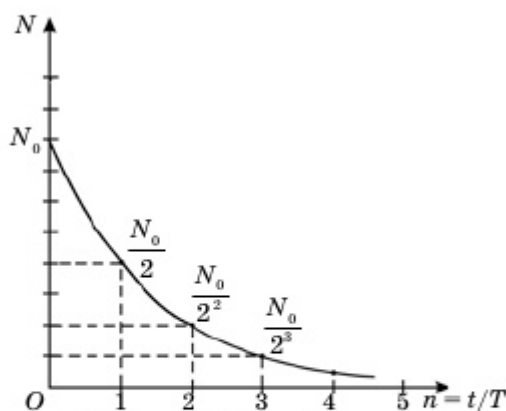


*$\beta$ -ыдырау кезінде* күрделі өзара түрлендірулерден кейін аналық ядро электронды шығарып өз зарядын бірге арттырады, бірақ массасы өзгермейді. Нәтижесінде ядро периодты жүйенің соңына қарай 1 торкөзге ығысады да, жаңа элементтің туынды ядросына айналады:



$\beta$ -ыдырау кезінде электронмен бірге тағы бір *антинейтрино* атты бөлшек шығады, оның массасы да, заряды да жоқ, бірақ ол  $\beta$ -ыдырау кезіндегі көптеген заңдылықтарды түсіндіруге мүмкіндік туғызды. Мысалы, шығатын электрондардың *энергетикалық спектрінің үздіксіздігі* пайда болған антинейтриномен түсіндіріледі.

*Гамма-сәулелену радиоактивтіліктің жеке түрі болып есептелінбейді, тек  $\alpha$ - және  $\beta$ -ыдыраулары кезінде туынды ядромен бірге шығарылады.*



9.1.2-сурет. Ыдырайтын ядролар санының уақытқа тәуелділік қисығы

**6. Радиоактивті ыдырау статистикалық заңға бағынады.** 9.1.2-суретте ыдырайтын ядролар санының уақытқа тәуелдік графигі келтірілген. Жоғарыда айтылғандай, Резерфорд радон активтілігінің бір минуттан кейін әлсірейтінін байқады. Тап сондай заңдылық басқа да радиоактивті элементтер үшін байқалады, бірақ олардың активтіліктерінің кему жылдамдығы әртүрлі болып келеді (9.1.2-сурет). **Радиоактивті элементтің активтілігі екі есе кемитін уақыт жартылай ыдырау периоды деп аталады.**

Екінші сөзбен айтқанда **жартылай ыдырау периоды деп атомдардың бастапқы санының жартысы ыдырайтын уақытты айтады.**

Жартылай ыдырау периодының математикалық формуласын қорытып шығарайық (9.1.2-сурет). Радиоактивті атомдардың бастапқы санын  $N_0$  арқылы белгілейік. Жартылай ыдырауға сәйкес келетін  $T$  уақыт аралығынан кейін бұл

сан  $\frac{N_0}{2}$ -ге тең болады. Ал  $t = 2T$  уақыт өткеннен кейін бұл сан  $\frac{N_0}{2^2}$  болады. Ал

$t = nT$  уақыттан кейін қалған радиоактивті атомдар саны  $N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n}$  өрнегімен анықталады. Мұндағы  $n = \frac{t}{T}$  болғандықтан, оны мына түрде жаза аламыз:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (9.1)$$

**Радиоактивті ыдыраудың негізгі заңы,** міне, осы формуламен өрнектеледі. (9.1) формула бойынша кез келген уақыттағы ыдырамаған атомдар санын табуға болады.

Математикалық тепе-теңдік  $2 = e^{\ln 2}$  өрнегін қолданып, сонымен қатар  $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$  белгілеуін енгізіп, (9.1) формуласын мына түрде жазуға болады:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (9.1')$$

Формуладағы  $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$  шамасы **ыдырау тұрақтысы** деп аталады. Жартылай ыдырау периоды элементтің негізгі сипаттамаларының бірі болып табылады. Жартылай ыдырау уақыты аз болған сайын ядроның өмір сүру уақыты да азая береді және элемент тез ыдырайды. Төмендегі кестеде кейбір элементтердің жартылай ыдырау периодтары көрсетілген.

## Кейбір элементтердің жартылай ыдырау периодтары

| № | Элемент     | Жартылай ыдырау периоды |
|---|-------------|-------------------------|
| 1 | Полоний     | 138,4 тәул              |
| 2 | Радон       | 3,83 тәул               |
| 3 | Радий       | 1601 жыл                |
| 4 | Торий       | $1,41 \cdot 10^4$ жыл   |
| 5 | Протактиний | $3,25 \cdot 10^4$ жыл   |
| 6 | Уран        | $1,6 \cdot 10^5$ жыл    |
| 7 | Нептуний    | $1,15 \cdot 10^5$ жыл   |

**7. Радиоактивті көздің активтілігі деп уақыт бірлігіндегі ыдыраулар санын айтады.**

Активтіліктің өлшем бірлігіне **1 Бк (Беккерель)** алынған.

Активтілік те (9.1) формуласында көрсетілген заңдылыққа сәйкес өзгереді:

$$A = A_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (9.2)$$

Радиоактивті элементтердің ыдырау жылдамдығы өзгермейді. Жеке ядролардың өмір сүру уақыты секундтың миллионыншы бөлігінен бастап миллиард жылға дейін жалғасады. Сондықтан егер жергілікті жер радиоактивті заттардың қалдықтарымен зақымдалса, уақыт өте келе олар да ыдырайды. Алайда кейбір радиоактивті элементтердің ыдырау уақыты миллиардтаған жылдарға созылады. Сондықтан жергілікті мекеннің радиоактивті қалдықтармен, солардың ішінде атом электр станцияларының және басқа да ядролық қондырғылардың аса зиянды күл-қоқыстарымен зақымдануы көп уақыт бойы сақталуы мүмкін. Мысалы, Қазақстан Республикасының аймағындағы Семей полигонында 1949 жылдан бастап 1989 жылға дейін 468-ге жуық ядролық сынақтар өткізілді, сөйтіп, 616 ядролық және термоядролық құрылғылар, соның ішінде: 125-і атмосферада (26-сы жерүстінде, 91-і ауада, 8-і биіктікте) жарылды; жердің астында 343 сынақ (215-і ұңғымада және 128 төтелдерде) өткізілді. Осы сынақтар нәтижесінде жер радиоактивті өнімдерімен қатты зақымданды және радиациялық фон ұзақ жылдар бойы тұрғындар мен олардың ұрпақтарына тигізетін залалын сақтайды. Қазақстанда ақын Олжас Сүлейменов басшылығымен полигондағы сынақтарды тоқтатуға бағытталған «Невада–Семей» атты қозғалыс ұйымдасты. Көптеген елдер осы мәселені қолдап, бұл қозғалыс өз мақсатына жетті. Полигондағы соңғы жарылыс 1989 жылы 19 қазанда болды және полигон 1991 жылдың 29 тамызында еліміздің Тұңғыш Президенті Н.Ә.Назарбаевтың Жарлығымен жабылды.



**Қосымша деректер**

2004 жылдың 24 желтоқсанында Жер тарихтағы ең көп радиация әсеріне душар болды. Бұл құбылыс Жерден 50 мың жарық жыл қашықтықтағы нейтрондық жұлдыздың радиация шығаруынан болған еді.

**Сұрақтар**

1. Радиоактивтілік деп қандай процесті айтады? Радиоактивтілік қандай түрлерге бөлінеді?
2. Радиоактивті сәулелер деп қандай сәулелерді айтады? Қалай ашылған және қасиеттері қандай?
3. Альфа-ыдырау мен бета-ыдыраудың формулалары қалай жазылады? Радиоактивті ыдырауда Содди заңына сәйкес химиялық элементтердің түрленулері қалай өтеді?
4. Жартылай ыдырау периодының физикалық мағынасы қандай? Радиоактивті ыдырау заңы қалай жазылады? Қандай қисықпен өрнектеледі? Ыдырау тұрақтысы мен жартылай ыдырау периоды қалай байланысқан?
5. Радиоактивті көздің активтілігі деп нені айтады? Қандай формуламен сипатталады, бірлігі қандай?
6. Неліктен тұрғылықты жердің радиоактивті зақымдануы көптеген жылдар бойы сақталады?

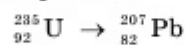
**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

1. Модель ретінде 128 кеңселік батырманы (кнопка) қолданып, радиоактивті ыдырау активтілігінің уақытқа тәуелділік графигін салындар. Батырманың үшкір жағымен түсуі ыдырауға, ал дөңгелек жалпақ жағымен түсуі ыдырамаған ядроға сәйкес келеді. Өр келесі тәжірибеде ыдыраған ядролар тізімнен шығарылады. Өр шашу сайын 1 с өтеді деп есептеңдер.
2. Кестені толтырыңдар.

| Бөлшек           | Заряд | Заряд саны | Массалық сан |
|------------------|-------|------------|--------------|
| $\alpha$ -бөлшек |       |            |              |
| электрон         |       |            |              |
| нейтрон          |       |            |              |

**ЕСЕПТЕР ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ**

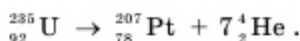
**1-есеп.** Уран изотопы  ${}_{92}^{235}\text{U}$  бірнеше радиоактивті түрлендірулерден өтіп,  ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  қорғасынға айналды. Мұнда қанша  $\alpha$ - және  $\beta$ -ыдыраулар болды?

**Берілгені:** $N(\alpha) = ?$  $N(\beta) = ?$ **Шешуі:**

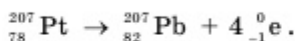
$\beta$ -ыдырау кезінде элементтің массалық саны өзгермейді; тек  $\alpha$ -ыдырау кезінде өзгереді, себебі  $\alpha$ -бөлшек өзімен бірге 4-ке тең массалық санды ала кетеді.

Шартқа сәйкес, уранның қорғасынға айналған кезде массалық сан  $235 - 207 = 28$ -ге азайды, сондықтан  $\frac{28}{4} = 7$   $\alpha$ -ыдырау орын алды. Мұнда зарядтық сан

$7 \cdot 2 = 14$ -ке азайды. Сөйкесінше уранның ыдырау реакциясы мына өрнекпен анықталады:



Пайда болған  ${}_{78}^{207}\text{Pt}$  платина  ${}_{82}^{207}\text{Pb}$  қорғасынға айналады. Бұл 4  $\beta$ -ыдыраулардан кейін мүмкін:



Сонымен, 7  $\alpha$ -ыдырау және 4  $\beta$ -ыдырау орын алды, барлығы 11 ыдырау.

*Жауабы:* 7  $\alpha$ -ыдырау және 4  $\beta$ -ыдырау.

**2-есеп.** Полонийдің  ${}_{84}^{218}\text{Po}$  жартылай ыдырау периоды 3,05 минут. Полонийдің бастапқы ядроларынан  $\frac{1}{3}$  ыдырайтын уақытты анықтаңдар.

**Берілгені:**

$$T = 3,05 \text{ мин}$$



$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{1}{3}$$

$$t = ?$$

**ХБЖ**

$$183 \text{ с}$$

**Шешуі:**

Есеп шартына сәйкес  $t$  уақытта ыдыраған ядролардың саны  $\left(\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{1}{3}\right)$  мынаған тең:

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0}, \quad (1)$$

мұндағы  $N_0$  — ыдырамаған ядролардың бастапқы саны ( $t = 0$  уақыт мезетінде),  $N$  —  $t$  уақыт мезетіндегі ыдырамаған ядролар саны. Радиоактивті ыдырау заңы бойынша:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

мұндағы  $\lambda$  — радиоактивті ыдырау тұрақтысы. (1) формуласын (2) өрнегіне қойсақ,

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{t \ln 2}{T}},$$

мұндағы  $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$ . Есеп шарты бойынша  $\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{1}{3}$ , онда

$$\frac{1}{3} = 1 - e^{-\frac{t \ln 2}{T}}; \quad e^{-\frac{t \ln 2}{T}} = \frac{2}{3},$$

$$\frac{-t \ln 2}{T} = \ln \frac{2}{3}; \quad \frac{t \ln 2}{T} = \ln \frac{3}{2}.$$

Іздеген уақыт:

$$t = \frac{T \ln \frac{3}{2}}{\ln 2} = \frac{183 \cdot 0,405}{0,693} = 107 \text{ с.}$$

*Жауабы:*  $t = 107 \text{ с.}$

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

- 9.1.1. Менделеев кестесін және ығысу ережелерін пайдаланып,  $^{238}_{92}\text{U}$  изотопының алты  $\alpha$ - және үш  $\beta$ -ыдыраудан кейін қандай элементке айналатынын анықтаңдар.
- 9.1.2. Торийдің  $^{232}_{90}\text{Th}$  радиоактивті изотоптары ретімен  $\alpha$ -ыдырау, екі  $\beta$ -ыдырау және тағы да  $\alpha$ -ыдырауға ұшырайды. Бөлінудің соңғы өнімін анықтаңдар.
- 9.1.3. Таллийдің  $^{210}_{81}\text{Tl}$  ядросы қорғасынның  $^{206}_{82}\text{Pb}$  ядросына айналған кездегі шығатын  $\beta$ - және  $\alpha$ -бөлшектер санын анықтаңдар.
- 9.1.4.  $^{225}_{88}\text{Ra}$  радийдің радиоактивті изотопы төрт  $\alpha$ -ыдырау және екі  $\beta$ -ыдырауға ұшырайды. Соңғы ядро үшін: 1)  $Z$  зарядтық сан; 2)  $A$  массалық санды анықтаңдар.

**В**

- 9.1.5. Егер кейбір радиоактивті изотоптың жартылай ыдырау периодының үштен біріне тең  $t$  уақыт өткенде оның  $A$  активтілігі 50 Бк болса, онда бастапқы  $A_0$  активтілігі қандай болған? (Жауабы: 63 Бк)
- 9.1.6. Радиоактивті изотоптың активтілігі  $t = 5$  тәулікте  $n = 2,2$  есе кеміді. Осы изотоптың  $T$  жартылай ыдырау периодын анықтаңдар. (Жауабы: 4,4 тәул)
- 9.1.7.  $t = 849$  с уақытта радиоактивті изотоптың бастапқы ядролар санының  $n = \frac{5}{8}$  бөлігі ыдырады. Осы изотоптың жартылай ыдырау периодын анықтаңдар. (Жауабы: 600 с)

**С**

- 9.1.8.  $N_0 = 1$  млн атомнан 1 тәулікте радонның қанша атомы ыдырайды? Радонның жартылай ыдырау периоды  $T = 3,82$  тәулік. (Жауабы: 166 000)
- 9.1.9. Радиациялық препараттың активтілігі  $t = 8$  күнде төрт есе азайды. Осы препараттың  $T$  жартылай ыдырау периодын табыңдар. (Жауабы: 4 тәул)
- 9.1.10. Радиоактивті ядроның  $\tau$  үш орташа өмір сүру уақытына тең  $t$  уақыт өткеннен кейін радиоактивті изотоп ядроларының бастапқы санының қандай бөлігі ыдырамай қалады? (Жауабы: 12,5%)

**§ 9.2****Атом ядросы. Ядроның нуклондық моделі. Изотоптар**

1. 8-тараудан аңғарғанымыздай, атомның моделін жасаудың көптеген талпыныстары болды. Бірақ олар атомның шынайы құрылымын көрсете алмады. Тек Э. Резерфорд өзінің экспериментте дәлелденген атомның планетарлық моделі



арқылы атомның шынайы құрылымдық моделін көрсете алады. Бұл модель бойынша атом центрінде оң зарядталған ядродан және оны айнала қозғалатын теріс зарядты электрондардан тұрады.

Атом ядросы элементар бөлшектер — *протондардан* және *нейтрондардан* тұрады.

«Протон» деген терминді өткен ғасырдың 20-жылдары Резерфорд енгізді, сонымен қатар ол ядрода массасы протон массасына жуық тағы бір нейтрал бөлшектер болуы керек деп жорыды. Протон ( $p$ ) электрон зарядына тең оң зарядқа ие, ал оның тыныштық массасы  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг  $\approx 1836 m_e$ , мұнда  $m_e$  — электрон массасы.

*Нейтронды* 1932 жылы Э. Резерфордтың шәкірті Д. Чедвиг бериллийді  $\alpha$ -бөлшектермен атқылағанда ашты. Атқылау барысында пайда болған өткір сәуленің зарядсыз нейтрал бөлшек екені анықталды. Нейтрон ( $n$ ) тыныштық массасы  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$  кг  $\approx 1839 m_e$ . *Протондар мен нейтрондар жалпы түрде нуклондар деп аталады* (nucleus — ядро латын тілінен).

Ядроның нуклондық моделін Ресей физигі Д. Д.Иваненко ұсынды, ал кейінірек неміс физигі В. Гейзенберг одан өрі дамытты.

Атом ядросы — *нуклондар деп аталатын протондар мен нейтрондардан тұратын атомның орталық бөлігі*.

Атомдардың ядроларының өлшемдері  $10^{-14}$  —  $10^{-15}$  м, бұл атомның өз өлшемінен үш-төрт ретке (яғни  $10^3$  —  $10^4$  есе) аз шама.

2. Атом ядросындағы нуклондардың жалпы саны *массалық сан* деп аталады да,  $A$  әрпімен таңбаланады.

Атом ядросының заряды  $q_x = Z \cdot e$ , мұндағы  $Z$  — *заряд саны*; оның шамасы Менделеев кестесіндегі химиялық элементтің реттік нөміріне, яғни ядроғағы протондар санына тең.

Атомның ядросы да атом символымен белгіленеді. Мысалы:  ${}^A_Z X$ , мұндағы  $X$  — химиялық элементтің символы,  $Z$  — атомдық нөмір (ядроғағы протондар саны),  $A$  — массалық сан (ядроғағы нуклондар саны).

*Зарядтық саны  $Z$  бірдей, бірақ массалық саны  $A$  әртүрлі (нейтрондар саны  $N = A - Z$  әртүрлі) бір элементтің ядролары изотоптар деп аталады.*

Мысалы, сутектің ( $Z = 1$ ) үш изотопы бар:  ${}^1_1\text{H}$  — *протий* ( $Z = 1, N = 0$ ),  ${}^2_1\text{H}$  — *дейтерий* ( $Z = 1, N = 1$ ),  ${}^3_1\text{H}$  — *тритий* ( $Z = 1, N = 2$ ), қалайыда он және т.б. Көп жағдайда бір химиялық элементтің изотоптарының химиялық та, физикалық та қасиеттері бірдей болып келеді, сондықтан оларды белгілі физикалық-химиялық әдістермен бір-бірінен ажырату да, бөліп алуда іс жүзінде мүмкін емес. Олар бір-бірінен тек массалық сандарының өзгешеліктеріне қарай *масс-спектрометр* деп аталатын аспаптың жәрдемімен ажыратылады.

Изотоптардан басқа ядролар *изобаралар* мен *изотондарға* бөлінеді.

*А массалық саны бірдей, бірақ  $Z$  зарядтық сандары әртүрлі ядролар изобаралар деп аталады.*

*Нейтрондарының саны бірдей ядролар изотондар деп аталады.*

**Сұрақтар**

1. Атомның ядросы қандай бөлшектерден тұрады? Олардың сипаттамалары қандай? Атомның құрылымы қандай және қандай элементар бөлшектерден тұрады?
2. Ядроның нуклондық моделі қалай қалыптасты? Ядроның күрделі құрылым екенін кім болжады? Массалық сан, зарядтық сан деген ұғымдар нені білдіреді?
3. Изотоптар, изобаралар және изотондар деп қандай ядроларды атайды?

**Тапсырма (практикалық зерттеу)**

1. Кестеде мысал ретінде изотондар келтірілген. Протондардың және нейтрондардың сәйкес санын жазып, кестені толтырыңдар.

| Изотондар         | Протондар саны | Нейтрондар саны |
|-------------------|----------------|-----------------|
| $^{14}_6\text{C}$ |                |                 |
| $^{15}_7\text{N}$ |                |                 |
| $^{16}_8\text{O}$ |                |                 |

2. Менделеев кестесін пайдаланып, Be (бериллий); Tl (таллий); Au (алтын) ядроларындағы протондар және нейтрондар санын анықтаңдар.

**Тапсырма (теориялық зерттеу)**

Нейтрондардың шашырауы бойынша тәжірибелерден ядролардың өлшемдері қалай анықталатынын түсіндіріңдер.

**§ 9.3****Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы**

1. Атомның ядросы өте тұрақты құрылым болып табылады. Көптеген уақыт бойы ғалымдар ядродағы бөлшектерді ұстап тұратын күштің табиғатын түсіндіре алмады. Ядродағы нуклондарды ұстап тұратын күштерді электромагниттік күштерге жатқызуга болмайды, себебі ядрода орналасқан оң зарядты аттас бөлшектер бір-бірі тебетіндігі белгілі. Ал гравитациялық тартылыс деп есептейтін болсақ, олар протондардың тебіліс күшінен әлдеқайда әлсіз күштер екені аян. Сондықтан да ядрода «ядролық» деп аталатын табиғаты ерекше күштер әрекет ететіні белгілі

болды. Оларды «қысқа қолды алыптар» деп атайды. «Қысқа қолды» деудің себебі бұл күштер тек жақыннан ғана әрекет етеді ( $10^{-15}$  м), егер бөлшектер осындай қысқа аралықта болса, оларға заряд таңбаларына қарамастан, тек ғаламат зор тартылыс күштері — **ядролық күштер** әрекет етеді. Ядролық бөлшектердің өзара әрекеттесулерін **күшті әрекеттесулер** деп атайды.

2. Ядродағы нуклондар өте берік байланыста болғандықтан, оларды ядродан алшақтату үшін ядроға энергия беріп, жұмыс істеу қажет.

**Ядроны жеке нуклондарға ыдырату үшін қажетті энергия байланыс энергиясы деп аталады.**

**Байланыс энергиясы жеке бөлшектерден ядро түзілгенде бөлініп шығатын энергияға тең.**

Байланыс энергиясын есептеу үшін Эйнштейн қатынасын  $E = mc^2$  қолданайық. Массаларды өлшеудің нәтижелері көрсеткеніндей, ядроның массасы оны құрайтын бөлшектердің массаларының қосындысынан кем болады:

$$M_x < Zm_p + Nm_n, \quad (9.3)$$

мұндағы  $N = A - Z$  — ядродағы нейтрондар саны.

**Ядроның массасы мен оны құрайтын протондардың және нейтрондардың қосынды массасының арасындағы айырым массалар ақауы деп аталады.**

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_x. \quad (9.4)$$

Ядроның пайда болуы кезінде нуклондар массасының  $\Delta M$  шамасына кемуі есебінен энергия бөлініп шығады; босап шыққан энергияны байланыс энергиясы деп атайды:

$$E_{\text{бай.}} = \Delta Mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_x) c^2. \quad (9.5)$$

Ядролық физикада бөлшектердің массалары массаның атомдық бірлігімен (м.а.б.) өлшенетінін және бұндай бірлік масса 931 МэВ энергияға эквивалентті болатынын (1 м.а.б. = 931 МэВ) білеміз. Ендеше байланыс энергиясын МэВ бойынша мына формуламен анықтауға болады:

$$E_{\text{бай.}} = 931(Zm_p + Nm_n - M_x). \quad (9.6)$$

Ядро пайда бола бастағанда нуклондар арасында ғаламат зор ядролық күштер әрекет ете бастайды. Сөйтіп, оң зарядталған протондар да, нейтрондар да үлкен үдеумен қозғалып, бір-біріне жақындай түседі, осының нәтижесінде пайда болған электрмагниттік толқындардың гамма-сәулесі өзімен бірге байланыс энергиясын ала кетеді. Осылайша, ядроның массасы оны құраушы бөлшектердің массаларының қосындысынан кем болып шығады. Ядро түзілгенде пайда болатын гамма-сәулесінің өзімен бірге алып кететін  $\Delta M$  массалар ақауы үлкен шамаға жетеді. Мысалы, 4 г гелий пайда болған кезде 1,5–2 вагон көмір жаққандағы энергия бөлініп шығады.

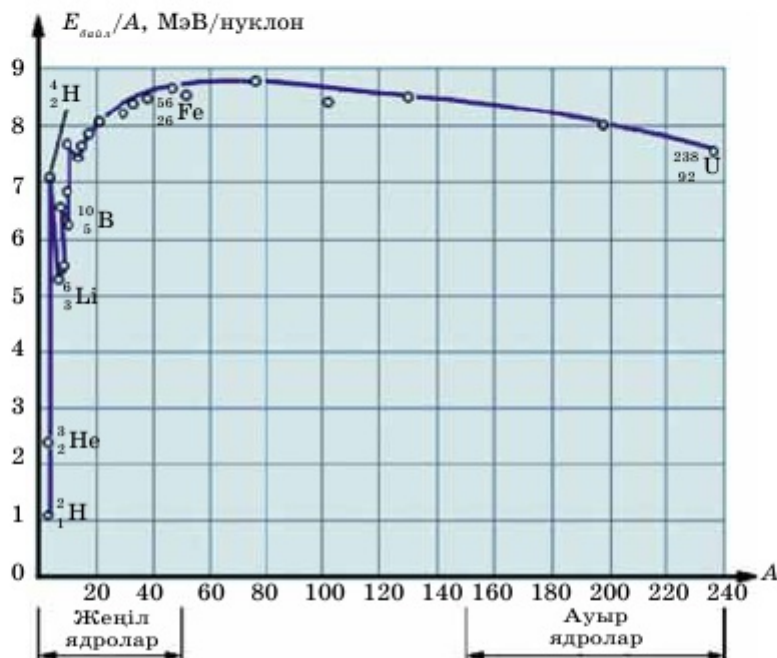
3. Байланыс энергиясынан басқа физикада **меншікті байланыс энергиясы** түсінігі де қолданылады.

**Меншікті байланыс энергиясы деп бір нуклонға келетін энергияны айтады.**

$$E_{\text{мен. бай.}} = \frac{E_{\text{бай.}}}{A}. \quad (9.7)$$



Әр химиялық элемент ядросының меншікті байланыс энергиясы оның массалық санына тәуелді (9.3.1-сурет) әртүрлі болып келеді. Жеңіл ядролар үшін меншікті байланыс энергиясы дейтерийден (1,1 МэВ) гелийге дейін (7,1 МэВ) күрт өседі. Содан өсуі баяулайды да массалық саны 50–60-қа тең элементтер үшін ең үлкен 8,7 МэВ/нуклон мәніне жетеді. Ал әрі қарай ауыр элементтерде баяу кеми бастайды. Мысалы, уранның меншікті байланыс энергиясы 7,6 МэВ/нуклон.



9.3.1-сурет. Меншікті байланыс энергиясының атомдардың массалық сандарына тәуелділік графигі

Ауыр ядроларда меншікті байланыс энергиясының зарядтық санның артуына қарай кемитін себебі олардың көп мөлшердегі протондарының арасындағы кулондық тәбіліс күштерінің артуымен түсіндіріледі. Кулондық күштер ядроны ыдыратуға тырысады. Сондықтан да ауыр ядролардың беріктігі азайып, өз бетімен кейбір ядролары ыдырайды. Табиғи радиоактивтілік, міне, осы құбылысқа негізделген.



#### Қосымша деректер

Атомның бүкіл массасы ядросында шоғырланған. Ал оның өлшемі атоммен салыстырғанда өте кішкентай. Егер атом көлемін футбол алаңының өлшеміне дейін арттырса, онда ядроның көлемі алаңның ортасына түскен шие дәніндей ғана болады.



### Сұрақтар

1. Ядролық, электрлік-кулондық және гравитациялық күштердің айырмашылықтары қандай? Ядролық күштердің ерекшеліктері қандай?
2. Ядроның массасы мен оны құрайтын бөлшектердің қосынды массасының арасында айырмашылық бар ма? Не себепті масса ақауы пайда болады?
3. Ядроның байланыс энергиясы дегеніміз не және оны қалай анықтайды? Меншікті байланыс энергиясы деп қандай энергияны айтады?
4. Ядролардың меншікті байланыс энергияларының олардың массалық сандарға тәуелділік графигінің ерекшеліктері қандай? Графиктен тұрақты және тұрақсыз ядроларды анықтауға бола ма?



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

Менделеевтің периодты жүйесіндегі алғашқы 10 элемент үшін меншікті байланыс энергиясының массалық санға тәуелділік графигін салыңдар. Ол үшін мына кесте үлгісін пайдаланыңдар.

| Элементтің атауы | Химиялық символы | Протондар саны | Нейтрондар саны | Меншікті байланыс энергиясы |
|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|
|                  |                  |                |                 |                             |



### Тапсырма (теориялық зерттеу)

Неліктен элементтердің радиоактивті қасиеттері тек олардың ядроларының құрылымымен анықталатынын түсіндіріңдер.

## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.**  $^{17}_8\text{O}$  ядросы үшін меншікті байланыс энергиясын есептеңдер. Жауабын электронвольтпен өрнектеңдер.

**Берілгені:**

$^{17}_8\text{O}$

$M_a = 16,99913$  м.а.б.

$E_{\text{мен. бай.}} = ?$

**Шешуі:**

Ядроның байланыс энергиясы МэВ бойынша:

$E_{\text{бай.}} = (Zm_p + Nm_n - M_a) 931$ , мұндағы  $m_p$  — протонның массасы,  $m_n$  — нейтронның массасы,  $M_a$  — ядроның массасы,  $Z$  — зарядтық сан (ядродағы протондар саны),  $A$  — массалық сан (ядродағы нуклондар саны),  $N$  — ядродағы нейтрондар саны.

Есептейтін меншікті байланыс энергиясы (бір нуклонға келетін байланыс энергиясы):

$$E_{\text{мен. бай.}} = \frac{E_{\text{бай.}}}{A} = \frac{(Zm_p + Nm_n - M_a) 931}{A}$$

Кестелерден протон мен нейтронның массасын аламыз:

$m_p = 1,0072765$  м.а.б.;  $m_n = 1,0086649$  м.а.б.

$Z = 8$ ;  $A = 17$ ;  $N = A - Z = 9$  ескеріп, есептейік:

$$E_{\text{менш. бай.}} = \frac{(8 \cdot 1,0072765 + 9 \cdot 1,0086649 - 16,99913) \cdot 931}{17} = 7,5 \text{ МэВ/нуклон.}$$

Жауабы:  $E_{\text{менш.}} = 7,5 \text{ МэВ/нуклон.}$



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шешу кезінде  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ; электрон заряды  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ; нейтрон массасы  $m_n = 1,0086649 \text{ м.а.б.}$ ; протон массасы  $m_p = 1,0072765 \text{ м.а.б.}$ ; электрон массасы  $m_e = 0,0005486 \text{ м.а.б.}$  болатынын ескеріңдер.

#### А

- 9.3.1. Уранның  ${}_{92}^{238}\text{U}$  меншікті байланыс энергиясы  $7,6 \text{ МэВ/нуклон}$ . Байланыс энергиясын бағалаңдар. (Жауабы:  $1808,8 \text{ МэВ}$ )
- 9.3.2. Бор  ${}_{5}^{11}\text{B}$  ядросының массалар ақауын табыңдар. (Жауабы:  $0,079 \text{ м.а.б.}$ )
- 9.3.3. Алюминий  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  үшін меншікті байланыс энергиясын анықтаңдар.  
(Жауабы:  $\approx 8,08 \text{ МэВ/нуклон}$ )

#### В

- 9.3.4. Азот ядросы  ${}_{7}^{15}\text{N}$  түзілгенде массаның өзгерісі (яғни масса ақауы)  $0,2058 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$  деп алып,  ${}_{7}^{15}\text{N}$  изотопының массасын табыңдар.  
(Жауабы:  $24,9 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ )
- 9.3.5. Гелий ядросынан  ${}_{2}^{4}\text{He}$  нейтрон үзіліп шыққанда  ${}_{2}^{3}\text{He}$  ядросы пайда болады. Осыған шығындаған байланыс энергиясын бағалаңдар. Нейтрал  ${}_{2}^{4}\text{He}$  және  ${}_{2}^{3}\text{He}$  атомдарының массасы сәйкесінше  $6,6467 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$  және  $5,0084 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ . (Жауабы:  $20,59 \text{ МэВ}$ )
- 9.3.6. Үш протон және төрт нейтроннан тұратын ядроның байланыс энергиясы  $39,3 \text{ МэВ}$ . Осы ядроға ие  $m$  нейтрал атомның массасын анықтаңдар.  
(Жауабы:  $\approx 1,17 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ )
- 9.3.7.  ${}_{6}^{12}\text{C}$  ядросын үш альфа-бөлшекке бөлу үшін қажет энергияны табыңдар. Гелий және көміртектің нейтрал атомдарының массалары сәйкесінше  $6,6467 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$  және  $19,9272 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ . (Жауабы:  $726 \text{ МэВ}$ )
- 9.3.8. Егер  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  изотопының массасы  $39,97542 \text{ м.а.б.}$ -не тең болса, онда изотоптың нуклондарын бір-бірінен аулақтау үшін қандай ең аз энергия қажет?  
(Жауабы:  $319,5 \text{ МэВ}$ )
- 9.3.9. Азот  ${}_{7}^{14}\text{N}$  ядросын протондар мен нейтрондарға ыдырату үшін қанша ең аз энергия жұмсалады? (Жауабы:  $100,96 \text{ МэВ}$ )



## § 9.4

Ядролық реакциялар. Ауыр ядролардың бөлінуі.  
Тізбекті ядролық реакциялар

1. Ядролық реакциялар деп атомдардың ядроларының элементар бөлшектермен (соның ішінде  $\gamma$ -кванттармен) немесе өзара әрекеттесуінің барысында олардың жаңа ядроларға түрлену процесін айтады.

Ядролық реакция



түрінде жазылады, мұндағы реакцияның сол жағы аналық ядро мен атқылаушы (бомбылаушы) бөлшекті, ал оң жағы туынды ядро мен жаңадан пайда болған бөлшекті білдіреді.

Кез келген ядролық реакция жүруі үшін атқылаушы бөлшекті ядроға мейлінше жақындату керек, бұл әсіресе бөлшек оң зарядталғанда, қиындай түседі. Өйткені оң зарядты бөлшек пен оң зарядты ядроның арасында кулондық тәбілу күштері әрекет етеді. Сондықтан да осы күштерді жеңу үшін бөлшектерге үдегіштер арқылы  $10^5$  МэВ шамасында энергия беру қажет.

Ядролық реакциялар төменде көрсетілген белгілеріне қарай ажыратылады:

1) *Реакцияға қатысатын бөлшектердің түріне қарай*: нейтрондар әрекетінен жүретін реакциялар; зарядталған бөлшектер әрекетінен болатын реакциялар (мысалы, протондар, дейтрондар,  $\alpha$ -бөлшектер);  $\gamma$ -кванттар әрекетінен болатын реакциялар.

2) *Реакцияларды қоздыратын бөлшектердің энергияларына қарай*: нейтрондардың қатысуымен энергиялардың аз мөлшерінде (бірнеше электронвольт шамасында) өтетін реакциялар;  $\gamma$ -кванттар және зарядталған бөлшектер (протондар,  $\alpha$ -бөлшектер) әрекетінен болатын энергиялардың орташа мөлшерінде (бірнеше мегаэлектронвольттарға дейін) өтетін реакциялар; бос (тыныштық) күйінде кездеспейтін элементар бөлшектердің пайда болуына әкелетін және оларды зерттеу үшін маңызы бар жоғары энергияда (жүздеген және мыңдаған мегаэлектронвольт энергияларда) өтетін реакциялар.

3) *Қатысатын ядролардың түріне қарай*: жеңіл ядроларда ( $A < 50$ ); орташа ядроларда ( $50 < A < 100$ ); ауыр ядроларда ( $A > 100$ ) жүретін реакциялар.

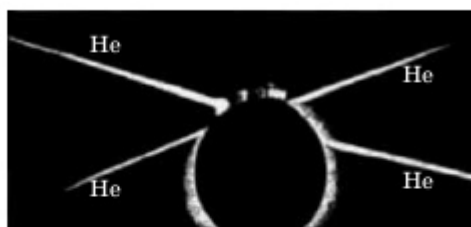
4) *Орын алатын ядролық түрлендірілулердің сипатына қарай*: нейтрондар босап шығатын реакциялар; зарядталған бөлшектердің шығарылуымен ерекшеленетін реакциялар; қармау реакциялары (бұл реакцияларда күрделі ядро ешқандай бөлшек шығармайды, тек бір немесе бірнеше  $\gamma$ -квант шығарып өзінің негізгі күйіне оралады).

2. Тарихтағы ең бірінші ядролық реакцияны 1911 жылы Э. Резерфорд азоты альфа-бөлшектермен атқылап жүзеге асырды:



Шапшаң протондардың қатысуымен бірінші ядролық реакция 1932 жылы жүзеге асырылды (9.4.1-сурет):





9.4.1-сурет. Шапшаң протондарда алынған ядролық реакция

*сандарының қосындысы соңғы өнімдердің (ядролардың және бөлшектердің) зарядтарының және массалық сандарының қосындысына тең.*

Ядролық реакцияларда, сонымен қатар энергияның, импульстің және импульс моментінің сақталу заңдары да орындалады.

Нейтрондардың қатысуымен өтетін ядролық реакцияның мысалына мына реакция жатады:



Зарядтардың сақталу заңына сәйкес бұл реакцияның сол жағындағы бөлшектердің зарядтарының қосындысы ( $13 + 0 = 13$ ) оның оң жағындағы бөлшектердің зарядтарының қосындысына тең ( $11 + 2 = 13$ ). Сол сияқты ядролық реакцияның сол және оң жақтағы бөлшектерінің де массалық сандарының қосындысы өзара тең: ( $27 + 1 = 28$ )  $\rightarrow$  ( $24 + 4 = 28$ ).

3. Нейтрондардың қатысуымен өтетін реакцияны алғашқылардың бірі болып



Энрико Ферми — итальян физигі, әлемде ең бірінші рет ядролық реактор құрастырғаны, ядролық физика, элементар бөлшектер физикасы, кванттық және статистикалық механика дамуына үлесін қосқаны үшін әйгілі. Физикадан нейтрондарды сәулелендірген кезде жаңа элементтердің пайда болуын дәлелдегені және баяу нейтрондармен жүзеге асырылатын ядролық реакцияларды ашқаны үшін Нобель сыйлығын алды.

итальяндық физик Энрико Ферми зерттеді. Ол ядролық түрлендірулер шапшаң нейтрондарға қарағанда баяу нейтрондардың қатысуымен қарқынды өтетінін анықтады. Баяу нейтрондар шапшаң нейтрондарға қарағанда тиімдірек. Сондықтан шапшаң нейтрондарды суда баяулату ұсынылды. Бұл әдіс нейтрондардың өздерімен массалары шамалас сутек ядроларымен соқтығысу барысында энергияларын жылдам жоғалту құбылысына негізделген.

Энергияның бөлінуімен жүретін радиоактивті ыдыраудан бөлек ядролық реакциялар *экзотермиялық* (энергия бөлінумен) және *эндотермиялық* (энергияның жұтылуымен) сипатта жүреді. Реакцияның мұндай сипаттары оларда бөлінетін энергия шығымына байланысты анықталады.

**Ядролық реакцияның энергетикалық шығымы деп ядролардың және бөлшектердің реакцияға дейінгі және кейінгі энергияларының айырымын айтады.**

Егер ядролардың және бөлшектердің реакцияға дейінгі жалпы кинетикалық энергиясы реакциядан кейінгі бөлшектердің кинетикалық энергияларының қосындысынан көбірек болса, онда реакция энергия бөлінуімен жүреді де, *экзотермиялық* деп аталады. Кері жағдайда энергия жұтылады да, реакция *эндотермиялық* болып табылады. Мұндай реакцияның мысалына азотты  $\alpha$ -бөлшектермен атқылау жатады (9.9). Мұнда кинетикалық энергияның бір бөлігі жаңадан пайда болған ядроның ішкі энергиясына айналады.

4. Ядролық реакциялардың тағы бір түрі — **ауыр ядролардың бөлінуі**. Уран, плутоний, нептуний секілді ауыр элементтердің ядроларын нейтрондармен атқылағанда олар үлкен 2–3 жарықшақтарға бөлінеді.

Уран ядросының бөлінуін (9.4.2-сурет) 1938 жылы неміс ғалымдары О. Ган және Ф. Штрассман ашты. Кейінірек 1939 жылы ағылшын физигі О. Фриш және австриялық физик Л. Мейтнер оның бөліну механизмін дұрыс түсіндірді. Нейтронды қармаған кезде ядроның тұрақтылығы бұзылады да, ол бөліне бастайды. Бұл нейтронды қосып алған ауыр ядроның тыныштық массасы оның бөлінетін бөліктерінің тыныштық массасынан көбірек болғандықтан орын алады.



Ядроның бөлінуін былай да түсіндіруге болады. Менделеев кестесінің соңындағы элементтердің меншікті байланыс энергиясы орта тұсындағы элементтерге қарағанда кемірек. Ядро бөлінген кезде әр бөліктің меншікті байланыс энергиясы шамамен 1 МэВ-қа артады. Бұл процесс энергетикалық тұрғыдан туынды бөлшектер үшін тиімді, өйткені аналық ядроға қарағанда туынды ядролардың орнықтылығы арта түседі.

Ядро бөлінгенде босайтын екінші реттік нейтрондар басқа ядролардың бөлінуін туғызуы мүмкін. Мысалы, бірінші ядроның бөлінуі кезінде шығатын нейтрон көршілес ядроның бөлінуіне әкелуі мүмкін. Өз кезегінде, көршілес ядродан шығатын нейтрон үшінші ядроның бөлуіне әкеледі де, бұл тізбек жалғаса береді.

**Бөлінудің тізбекті реакциясы деп реакция кезінде жаңадан пайда болатын нейтрондардың әрекетінен үзіліссіз жалғаса беретін ядролық реакцияны айтады.**

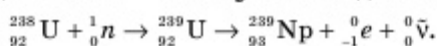
Бөлінудің тізбекті реакциясы *нейтрондардың көбею коэффициенті* деп аталатын  $k$  шамасымен сипатталады; оның мәні берілген мезеттегі нейтрондар санының алдыңғы мезеттегі нейтрондар санына қатынасымен анықталады ( $k = \sum n_{i+1} / \sum n_i$ ).



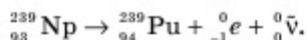
**Тізбекті реакцияны жүзеге асырудың қажетті шарты:**  $k \geq 1$ . Басқарылатын тізбекті реакцияны жүзеге асыру үшін нейтрондардың көбею коэффициентін бірге тең деңгейде ұстап тұру қажет, әйтпесе жарылыс болуы мүмкін.

Пайда болатын екінші реттік нейтрондардың бәрі ядролардың келесі бөлінуін қоздыра алмайды, сондықтан да көбею коэффициентінің азайып кетуі мүмкін. Ол, біріншіден, активті зона өлшемдеріне байланысты (тізбекті реакция болатын ортаның көлемі); екіншіден, нейтрондардың өтімділік қасиеті үлкен болғандықтан, олардың кейбір бөлігі ядролармен қармалмай, активті зонадан шығып кетуі ықтимал; оның үстіне нейтрондардың қалған бөлігі активті зонада кездесетін әртүрлі қоспалардың ядроларымен де қармалады.

5. Әлемдегі уран кенінің 97% -ы уран-238 изотопына тиесілі. Алайда бұл изотоп тікелей бөлінетін материалдар қатарына жатпайды, сондықтан атом электр станцияларында ядролық отын ретінде қолдануға жарамсыз болып табылады. Ал АЭС-тарда уранның  ${}_{92}^{235}\text{U}$  изотопы және плутонийдің  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  жасанды изотопы пайдаланылады. Уран-235 изотопына бүкіл уран қорының 3% ғана тиесілі, ал плутоний-239 табиғатта кездеспейді (баяғыда ыдырап кеткен). Осыған орай нейтрондардың  ${}_{92}^{238}\text{U}$  уран изотопымен қармалуы өте маңызды рөл атқарады. Нейтронды қармаған бұл изотоп аса тұрақсыз жартылай ыдырау периоды 23 минутқа тең уран-239 радиоактивті изотопына түрленеді. Уран-239 ыдырағаннан кейін жартылай ыдырау периоды екі күнге ғана тең бірінші трансурандық элемент — **нептуний** пайда болады:



Нептуний ыдырағанда **плутоний** пайда болады:



Плутоний — салыстырмалы түрде тұрақты элемент. Оның жартылай ыдырау периоды 24 000 жыл. Оған баяу нейтрондармен әрекет еткен кезде, уран-235 изотопындағыдай, өте үлкен энергия бөлініп шығатын тізбекті реакцияны жүзеге асыруға болады. Плутоний уран-235 сияқты атом электр станциялары үшін ядролық отын болып табылады және плутонийлік атом бомбаларын жасауда қолданылады.



### Қосымша деректер

Қазақстан уран қоры бойынша әлемде Австралиядан (29%) кейін (13%) екінші орын алады. Ал уран өндіруден әлемдік нарықтың 9% -ын қамтамасыз етіп, бірінші орынды иеленеді.



### Сұрақтар

1. Ядролық реакциялар деп қандай процесті айтады? Ядролық реакциялар қандай белгілеріне қарай ажыратылады?

2. Алғашқы ядролық реакциялар қашан алынды, оларды кім ашты? Өртүрлі бөлшектердің атқылауымен алынған бұл реакциялар қалай жазылады?
3. Қандай ядролық реакциялар экзотермиялық және эндотермиялық деп аталады? Қандай шама ядролық реакцияның энергетикалық шамасы деп аталады?
4. Қандай реакциялар бөліну реакциясы және тізбекті ядролық реакциялар деп аталады? Ауыр элементтердің ядролары не себептен бөлінеді? Ядролық реакциялардың өту шарты қандай?
5. Қандай тәсілмен бөлінбейтін уран-238 изотопынан бөлінетін ядролық отын алынады?



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

$^{26}_{12}\text{Mg}$  ядросы нейтронды қармап алып, белгісіз элементке және протонға түрленеді. Осы реакцияны жазып, белгісіз элементті анықтаңдар.



### Тапсырма (теориялық зерттеу)

Ядроның  $\beta$ -ыдырауы кезінде электрон пайда болды. Ядроның құрамына кірмейтін электрон қалай пайда болды? Осы құбылысты түсіндіріңдер.

## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.**  $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$  ядролық реакциясында протондар тыныштық күйіндегі литий ядроларына соғылады. Егер соғылған протондар энергиясы  $E_p = 1,92$  МэВ болса, реакцияда пайда болатын нейтрондар тыныштық күйінде қалады. Осы реакцияда қандай энергия жұтылады? Бұл реакция ұшып келетін протондардың минимал энергиясы қандай болған кезде жүреді?

**Берілгені:**

$$\begin{array}{l} ^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} \\ E_p = 1,92 \text{ МэВ} \\ E_x = ? \quad E' = ? \end{array}$$

**ХБЖ**

$$3,07 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

**Шешуі:**

Бұл энергия жұтылатын реакцияның бірінші мысалы ( $E_x$ ). Зертханалық санақ жүйесінде  $v$  жылдамдығымен қозғалатын протон және тыныштық күйіндегі литий ядросы бар (9.4.3-сурет).

Ядролық реакциядан кейін нейтрон тыныштық күйінде, ал бериллий ядросы  $V$  жылдамдығын алады.



9.4.3-сурет

Импульстің сақталу заңы бойынша  $m_p v = m_{Be} V$ . Өр бөлшектің массалық санын біле отырып,  $V = \left(\frac{1}{7}\right)v$  табамыз. Зертханалық санақ жүйесінде энергияның сақталу заңы бойынша  $E_p = E_x + E_{Be}$  немесе  $\frac{m_p v^2}{2} = E_x + \frac{m_{Be} V^2}{2}$ , осыдан  $E_x = \frac{6}{7} E_p$ .

Енді ядролық реакция протондардың қандай  $E'$  минимал энергиясында мүмкін болатынын табайық. «Протон — литий ядросы» жүйесінің массалар центрі оңға  $v'$  жылдамдығымен қозғалады, ал импульс  $m_p(v - v') - m_{Li}v' = 0$ , осыдан  $v' = \frac{1}{8}v$ . Егер протонның минимал  $E'$  энергиясы болса, осы санақ жүйесінде ол толық жұтылады және реакцияда пайда болған бөлшектер шашырамайды:  $\frac{m_p}{2}\left(\frac{7}{8}v\right)^2 + \frac{m_{Li}}{2}\left(\frac{1}{8}v\right)^2 = E_x$ ;  $m_{Li} = 7m_p$  екенін ескеріп,  $\frac{7}{8}\left(\frac{m_p}{2}v^2\right) = E_x$ , немесе  $\frac{7}{8}E' = \frac{6}{7}E_p$ , осыдан  $E' = \frac{48}{49}E_p$ .

$$\text{Жауабы: } E_x = \frac{6}{7}E_p; E' = \frac{48}{49}E_p.$$

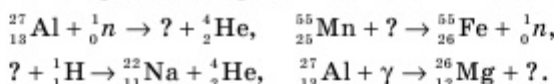


### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

Берілген есептерді шығару барысында жарық жылдамдығы  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с; электрон заряды  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл; нейтрон массасы  $m_n = 1,0086649$  м.а.б.; протон массасы  $m_p = 1,0072765$  м.а.б.; электрон массасы  $m_e = 0,0005486$  м.а.б.; газдың универсал тұрақтысы  $R = 8,31$  Дж/кг · К екенін ескеріңдер.

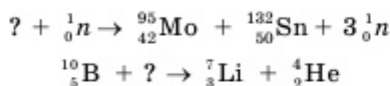
#### А

9.4.1. Төменде көрсетілген реакциялардағы жетіспейтін белгілерді жазыңдар:



9.4.2. Көміртегінің  ${}_{6}^{12}\text{C}$  ядросымен нейтрон қармалған кезде белгісіз элемент және протон пайда болады. Осы реакцияны жазып, белгісіз элементті анықтаңдар.

9.4.3. Төменде жазылған ядролық реакциялардағы белгісіз элементтерді анықтаңдар:



#### В

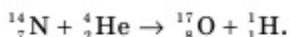
9.4.4. Нейтрондар ағынын қалыңдығы  $h = 3$  см су қабаты жартылай өлсіретеді. Қалыңдығы  $H = 9$  см судың қабаты нейтрондар ағынын қанша есе өлсіретеді? (Жауабы: 8 есе)

9.4.5. Радонның тыныштықтағы ядросы  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  жылдамдығы 16 Мм/с болатын  $\alpha$ -бөлшегін шығарады. Туынды ядроның массасы  $3,62 \cdot 10^{-25}$  кг. 1)  $\alpha$ -бөлшектің импульсін; 2)  $\alpha$ -бөлшектің кинетикалық энергиясын; 3) туынды ядроның серпу импульсін; 4) туынды ядроның серпу кинетикалық энергиясын анықтаңдар. (Жауабы: 1)  $1,07 \cdot 10^{-19}$  кг · м/с; 2) 5,356 МэВ; 3)  $1,07 \cdot 10^{-19}$  кг · м/с; 4) 99 МэВ)



9.4.6. Бор ядросы  $^{10}_5\text{B}$  нейтрондарды қармап, нәтижесінде литий және гелий ядроларына бөлінеді. Осы ядролық реакцияны жазып, бөлінетін энергияны табыңдар. (Жауабы:  $\approx 2,79$  МэВ)

9.4.7. Мына ядролық реакцияның энергетикалық шығымын анықтаңдар:



Көрсетілген элементтердің массасын периодтық кестеден алыңдар.

(Жауабы:  $-1,2$  МэВ)

9.4.8. Егер  $^{14}_7\text{N}$  және  $^{14}_6\text{C}$  ядроларының байланыс энергиялары сәйкесінше 104,66 МэВ және 105,29 МэВ болса, онда  $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ? + {}^{14}_6\text{C}$  ядролық реакциясының энергетикалық шығымы қандай? (Жауабы: 0,63 МэВ)

### С

9.4.9. Көміртектің тыныштықтағы ядросымен серпімді соқтығысқанда нейтрон кинетикалық энергиясының қандай бөлігін жоғалтады? Соқтығысқаннан кейін бөлшектер бір түзу бойымен қозғалды деп есептеңдер. Нейтрал көміртектің массасы  $19,9272 \cdot 10^{-27}$  кг. (Жауабы: 0,286)

9.4.10. Литий  ${}^7_3\text{Li}$  изотопын протондармен атқылағанда  ${}^4_2\text{He}$  гелий изотопына айналды. Егер тәжірибе соңында гелийдің қысымы 93 кПа және температурасы  $30^\circ\text{C}$  болса, 1 г литийден пайда болған гелийдің көлемі қандай болар еді? (Жауабы:  $7,8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>)

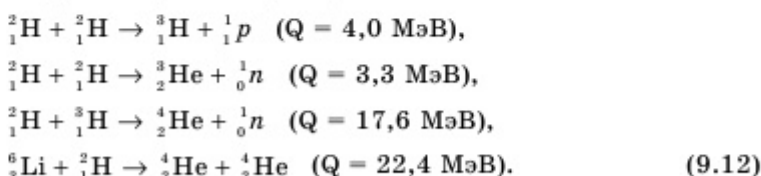
## § 9.5

### Термиядролық реакциялар

1. Атомдардың ядроларындағы энергияны босатып алудың екі тәсілі бар. Олардың бірі — ауыр ядроларды нейтрондармен атқылап, жеңілірек ядроларға бөлу арқылы жүзеге асатынын алдыңғы тақырыптан білдік. Ал екіншісі — жеңіл ядроларды ауырырақ ядроға біріктіру арқылы жүзеге асады. Расында да, 9.3.1-суреттегі графиктен көрініп тұрғандай, жеңіл элементтердің массалық саны өскен сайын олардың меншікті байланыс энергиясы өсе береді, ал ауыр элементтердікі, керісінше, кемі береді. Сондықтан энергетикалық тұрғыдан ауыр ядроларды бөлу, ал жеңіл ядроларды біріктіру арқылы ғана (экзотермиялық реакциялар) энергияны босатып алуға болады. Кері жағдайда, яғни ауыр ядроны одан да ауырырақ ядроларға, ал жеңіл ядроны одан да жеңілірек ядроларға бөлгенде (эндотермиялық реакциялар) энергия тек жұтылады, бірақ босап шықпайды. Экзотермиялық реакциялар алу үшін де сырттан мол энергия беріледі, алайда бұл шығын еселеніп қайтарылады. Мысалы, жеңіл элементтердің ядроларын біріктіру (синтездеу) үшін оларды ондаған миллион градусқа дейін қыздыру керек. Жеңіл ядролар біріккен жағдайда орасан мол энергия босап шығады.

Сонымен, термоядролық реакциялар деп өте жоғары температураларда жеңіл ядролардың бірігуі (синтездеу) реакцияларын айтады.

Атом ядроларын синтездеу реакциясы өтуі үшін  $10^7$  К шамасында температура қажет. Мұндай температураларда кез келген зат тек жекелеген теріс және оң зарядталған бөлшектердің жиынынан тұратын плазмалық күйге (заттың төртінші күйіне) өтеді. Мұндай күйде сыртқы электрондарынан айырылған жеңіл ядролар ондаған миллион градус температурада орасан зор жылдамдықпен  $\left(\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}mv^2\right)$  бір-біріне жақындап, ядролық күштердің әрекет аймағына енеді де, басқа химиялық элементтердің ауырлық ядроларына біріге бастайды. Төменде элементтердің ядроларының экзотермиялық бірігу реакциясының кейбір түрлері және бөлініп шығатын энергияның мөлшері көрсетілген:



Жеңіл ядроға оның меншікті байланыс энергиясынан артық энергия беру арқылы оны жеңілірек екі ядроға бөлуге де болады. Алайда мұндай эндотермиялық реакцияларда энергия босамайды, тек жұтылады.

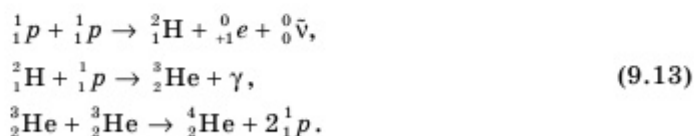
Атом ядроларын синтездеу реакцияларының ең маңызды ерекшелігі оның энергия шығымының молдығы болып табылады, яғни бір нуклонға шаққанда бөлінетін энергия ауыр ядролардың бөліну реакцияларымен салыстырғанда 3–4 есе артық. Мысалға,  ${}^{238}_{92}\text{U}$  ядросының бөлінуі кезінде 200 МэВ бөлінеді. Ол бір нуклонға шаққанда 0,84 МэВ құрайды; ядроларды синтездеу реакциясында бір нуклонға келетін энергия  $\frac{17,6}{5}$  МэВ  $\approx 3,5$  МэВ.

## 2. Термоядролық реакциялар Ғаламның эволюциясында үлкен рөл атқарады.

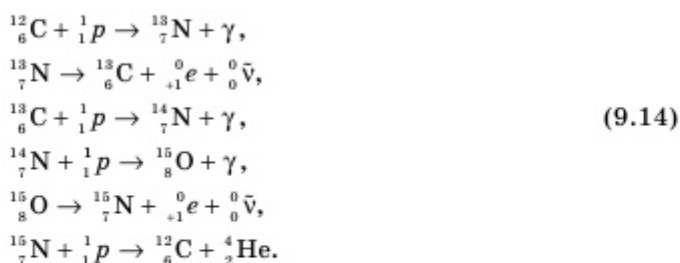
Күннің және жұлдыздардың орасан мол сәуле шығару энергиясының табиғаты — термоядролық реакциялар. Заманауи көзқарастар бойынша жұлдыз өз дамуының ерте сатысында тек сутек атомдарының ядроларынан тұрған. Гравитациялық сығылу барысында температура ондаған миллион градусқа жетіп, жұлдыз ішінде сутек ядроларының бірігу реакциялары жүреді де, гелий ядролары түзіле бастайды.

Жалпы алғанда, жұлдыздардағы, солардың бірі — Күндегі термоядролық реакциялардың жүруінің екі мүмкін жағдайы бар:

1) **протон-протондық немесе сутектік цикл**, бұл  $10^7$  К шамаларындағы температурада жүреді:



2) **көміртекті-азоттық немесе көміртектік цикл:** бұндай реакциялар  $2 \cdot 10^7$  К-нен жоғары температурада жүреді:



Осы цикл нәтижесінде төрт протон гелий ядросына айналады да, 26,7 МэВ энергия бөлінеді. Саны өзгеріссіз сақталатын көміртек ядролары реакцияларға қолдаушы (катализатор) ретінде қатысады.

Термоядролық реакцияда «жанармайдың» масса бірлігіне ең көп энергия шығымы сәйкес келеді. Мысалы, 1 стақан судағы дейтерий ( ${}^2_1\text{H}$  сутек изотопы) мөлшері энергетикалық тұрғыдан алғанда 60 литр бензинге сәйкес келеді. Сондықтан да қолдан басқарылатын жасанды термоядролық реакцияларды алу болашағы адамзатты қатты қызықтырады.

Ең бірінші басқарылмайтын жасанды термоядролық реакция КСРО-да (1953), Семей полигонында жүзеге асты, ал артынан (жарты жылдан кейін) басқарылмайтын реакция сутек (термоядролық) бомбаның жарылысы түрінде АҚШ-та жалғасты.

3. **Басқарылатын экзотермиялық термоядролық реакцияларды жүзеге асыру үшін үш түрлі аса күрделі проблемаларды шешу қажет.** Олардың бірі — температурасы ондаған миллион градусқа жететін ыстық плазманы алу. Екіншісі — аса ыстық плазманы салқын қабырғаларға жанастырмай ұстап тұру амалын табу. Үшіншісі — экзотермиялық термоядролық реакцияның энергия шығымы мол болу үшін плазмадағы зарядталған бөлшектердің тығыздығын оңтайлы деңгейге дейін жеткізу. Ғалымдар міне осы үш проблеманы теория мен практикада шешу үшін ұзақ жылдар бойы зерттеулер жүргізуде. Проблемалардың күрделілігі сондай, оларды түбегейлі шешу тек халықаралық қауымдастықтардың күштерін біріктіргенде ғана мүмкін екендігі белгілі болды. Міне, сондықтан жоғары температуралық плазма физикасы және басқарылатын термоядролық синтезге байланысты зерттеулерде халықаралық ынтымақтастықтың қажеттілігін 1956 жылы И.В. Курчатов Англияға барған сапарында көтерді.

Проблемалардың ішінен ыстық плазманы ұстап тұру амалдарының біріне тоқталайық. Плазма деп теріс және оң зарядталған бөлшектерден тұратын заттың төртінші күйін айтады. Температурасы бірнеше мың градусқа жететін плазмаға мысал ретінде *электр доғасын* және *найзағайды* атауға болады. Ал термоядролық аса ыстық плазмада температура миллиондаған градусты құрайды. Мұндай



ыстық плазманы суық қабырғаларға жанастырмай ұстап тұру үшін зарядталған бөлшектерге әрекет ететін магнит және электр өрістері қолданылады.

Электр өрісінің күш сызықтары бойымен плазмадағы оң және теріс зарядталған бөлшектер қарама-қарсы қозғалысқа келіп, электр тогын туғызады. Электр тогының жұмысы есебінен плазманың температурасы жоғарылай түседі. Сонымен қатар электр тогының төңірегінде тұйықталған магнит өрісі пайда болады. Магнит өрісі бағытталған қозғалыстағы зарядтарға (токқа)  $F = qvB$  Лоренц күшімен әрекет етеді. Лоренц күші жұмыс жасамайды, тек зарядтарды электр өрісінің күш сызықтары төңірегінде бұрып, спираль бойымен айналдыра қозғайды. Оның үстіне Лоренц күші центрлік күш болғандықтан, зарядталған бөлшектерді электр өрісінің күш сызықтарына «байлап» қана қоймайды, оларды сығымдап, күш сызықтарының орталық өзегіне қарай ығыстырып қысады. Осылайша, ыстық плазма суық қабырғалардан ажырап, белгілі бір көлемде Лоренц күшінің әрекетімен ұсталып тұрады. Ыстық плазманы суытпай ұстап тұрудың мұндай амалдары қазіргі **термоядролық «Токамактарда»** қолданылады.

Л.А. Арцимович басшылығымен Курчатова атындағы Атомдық энергия институтының ғалымдары 1975 жылдың жазында әлемдегі ең ірі **«Токамак-10» (Т-10) атты термоядролық қондырғыны** іске қосып, зерттеулер жүргізген болатын.

**Біздің елде «Токамак» атты зерттеу қондырғысы 2017 жылы ЕХРО Халықаралық көрме аясында таныстырылды.** Ол бұрынғы Семей облысының Курчатова қаласындағы Ұлттық ядролық орталықта орналасқан.

Алайда жоғарыда аталған проблемалар түбегейлі шешімін әлі тапқан жоқ. Олар шешімін тапқан кезде басқарылатын термоядролық синтез адамзатқа жеңіл элементтердің ядроларында жиналған энергияның сарқылмайтын көзін ашады. Осы орайда қарапайым су құрамындағы дейтерий ядроларындағы энергияны босатып алу аса маңызды болып табылады. Расында да, мұхит суындағы дейтерий мөлшері  $4 \cdot 10^{13}$  тонна, ал оның энергетикалық қоры  $10^{17}$  МВт · жыл. Басқаша айтқанда, бұл қор адамзатты іс жүзінде энергиямен мәңгі бақи қамтамасыз ете алады.



### Сұрақтар

1. Неліктен жеңіл элементтердің ядроларын біріктіргенде, ал ауыр элементтердің ядросын бөлгенде энергия босап шығады? Кері жағдайда қандай құбылыс орын алады?
2. Термоядролық реакциялар деп қандай реакцияларды айтады? Термоядролық реакциялардың жүруі үшін қандай шарттар қажет? Жеңіл ядролардың қатысуымен орындалатын экзотермиялық реакцияларға мысалдар келтіріңдер.
3. Жұлдыздардағы және Күндегі термоядролық реакциялар қалай жүреді?
4. Магнит және электр өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалыстары қалай сипатталады? Термоядролық энергияны алудың проблемалары мен болашағы қандай?



### Тапсырма (теориялық зерттеу)

«Салқын ядролық синтез» атты тақырыпқа презентация дайындаңдар.

## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Қызыл алып жұлдыздың қойнауында үш ретті термоядролық реакция нәтижесінде әр секунд сайын бериллий-8 және көміртек-4 изотоптарының  $10^{34}$  ядролары бірігіп, қалыпты көміртек құрайды. Мұнда бірігу энергиясының 12,5% -ы реакцияның бірінші сатысын қолдауға жұмсалады. Қызыл алып қанша энергия бөліп шығарады?

**Берілгені:**

$$N = 10^{34}$$



$$W_0 = 12,5\% \Delta W$$

$$W - ?$$

**Шешуі:**

Термоядролық реакцияның энергетикалық шығымын табу үшін ядролық реакция теңдеуін жазайық:



Энергетикалық шығым — бастапқы атомдардың толық тыныштық энергиясы мен соңғы атомдардың толық тыныштық энергиясының айырымына тең:  $\Delta W = W_1 - W_2$ .

$$W = mc^2,$$

$$W_1 = (m_{\text{Be}} + m_{\text{He}}) c^2 = 11190,06 \text{ МэВ.}$$

$$1 \text{ м.а.б.} = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ кг, } 1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж.}$$

$$W_2 = m_c c^2 = 11182,24 \text{ МэВ. } \Delta W = W_1 - W_2 = 7,82 \text{ МэВ.}$$

Мұнда бұл энергияның 12,5% реакцияның бірінші сатысын ұстап тұруға кетеді, онда  $100 - 12,5 = 87,5\%$ . Сонымен, энергетикалық шығым

$$W = 0,875 \Delta W = 6,8425 \text{ МэВ.}$$

$$W = W \cdot N = 6,8425 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{34} = 1,09 \cdot 10^{22} \text{ Дж.}$$

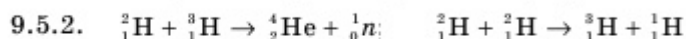
$$\text{Жауабы: } W = 1,09 \cdot 10^{22} \text{ Дж.}$$



## Өз бетінше шығаруға арналған есептер

## А

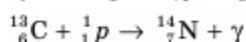
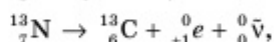
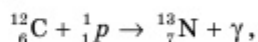
9.5.1. Екі протон қосылғанда жүретін термоядролық реакцияда дейтрон және нейтрино пайда болады. Тағы қандай бөлшек пайда болады?



термоядролық реакцияларда бөлініп шығатын энергияны табыңдар.

(Жауабы: 17,58 МэВ; 4,02 МэВ; 4,79 МэВ; 5,02 МэВ)

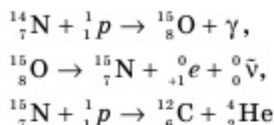
9.5.3. Мына реакциялардың:



энергетикалық шығымын анықтаңдар.

(Жауабы: 1,43 МэВ; 1,71 МэВ; 7,04 МэВ)

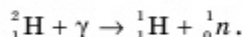
9.5.4. Мына реакциялардың:



энергетикалық шығымын анықтаңдар.

(Жауабы: 6,78 МэВ; 2,24 МэВ; 4,46 МэВ)

9.5.5. Мына реакцияны алуға қажетті ең кіші квант энергиясын анықтаңдар:



(Жауабы: 2,2 МэВ)

### B

9.5.6.  ${}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma$  термоядролық реакциясында  $\alpha$ -бөлшек 19,7 МэВ энергия алады деп есептеп, осы реакцияда пайда болатын  $\gamma$ -сәулеленудің жиілігін табыңдар. (Жауабы:  $2,7 \cdot 10^{19}$  Гц)

9.5.7.  ${}^{28}_{14}\text{Si} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{28}_{13}\text{Al} + {}^1_1\text{H}$  реакциясын алу үшін нейтронның  ${}^{28}_{14}\text{Si}$  кремний ядросымен соқтығысқанда ең кіші кинетикалық энергиясы қандай болуы керек? (Жауабы: 3,86 эВ)

9.5.8. Электрон мен позитронның аннигиляциясы кезінде бірдей екі  $\gamma$ -квант пайда болды. Бөлшектердің реакцияға дейінгі кинетикалық энергияларын ескермей,  $\gamma$ -сәулесінің толқын ұзындығын анықтаңдар. (Жауабы: 2,4 пм)

### C

9.5.9. Күннің сәулелену энергиясы ядролардың бірігу реакциялары тізбегінің нәтижесінде пайда болады. Оның соңғы нәтижесі — сутектің төрт атомы гелийдің бір атомына айналады. 4 г сутек гелийге айналған кезде бөлінетін энергиямен массасы қандай суды  $0^\circ\text{C}$ -тан қайнау температурасына дейін жеткізуге болады? Судың меншікті жылу сыйымдылығы  $4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ . (Жауабы:  $6 \cdot 10^6 \text{ кг}$ )

## №7 зертханалық жұмыс

**Дайын суреттер бойынша зарядталған бөлшектердің іздерін бақылау**

**Жұмыстың мақсаты:** Оқушыларды магнит өрісінде зарядталған бөлшектердің іздерін оның ұзындығы, қалыңдығы және магнит өрісінде іздердің қисаюы бойынша зерттеп үйрету.

**Қажетті құралдар:** зарядталған бөлшектердің іздері бар фотосурет, калька, сызғыш, үшбұрыш, циркульдер.

**Қысқаша теория.** Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің іздері бойынша меншікті зарядты анықтауға болады:  $\frac{q}{t}$ .



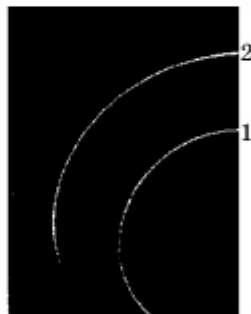
Магнит өрісінде қозғалатын бөлшекке бір уақытта Лоренц күші және центрге тартқыш күш әрекет етеді. Осыдан келесі өрнекті аламыз:

$$\frac{mv^2}{R} = qvB, \text{ бұдан } R = \frac{mv}{qB},$$

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}.$$

Бөлшектің меншікті заряды радиусқа кері пропорционал. Егер меншікті заряды белгілі бөлшек ізінің қисықтық радиусы белгілі болса (9.5.1-сурет), онда мына қатынасты жазуға болады:

$$\frac{\frac{q_1}{m_1}}{\frac{q_2}{m_2}} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (9.15)$$



9.5.1-сурет

9.5.1-суретте бірінші із протонға тиесілі, ал екінші із белгісіз бөлшекке.

#### Жұмыстың орындалу реті

1. Калькаға бөлшектердің ізі салынады.
2. Радиустарды өлшеу мына ретпен жүреді: қисықтың екі хордасын және әр хordаның ортасынан перпендикуляр сызу керек (9.5.2-сурет). Осы перпендикулярдың қиылысу нүктесінде қисықтың центрі орналасады.
3. Протонның меншікті заряды арқылы (9.15) өрнегі бойынша белгісіз бөлшектің меншікті зарядын анықтаңдар.
4. Табылған меншікті заряд бойынша қандай бөлшек екенін анықтаңдар.



9.5.2-сурет

5. Жасалған жұмыстың нәтижесін зерделеу үшін бақылау сұрақтарына жауап беріңдер.



#### Бақылау сұрақтары

1. Неге электрон спирал тәріздес траекториямен қозғалады?
2. Бөлшек қозғалған сайын іздің қалыңдығы қалай өзгереді? Осының қандай салдары бар?
3. Вильсон камерасында, көпіршіктік камерада және фотоэмульсияда бөлшектердің іздері қалай пайда болады?
4. Неге электрон ізі  $\alpha$ -бөлшектер ізінен ұзын?

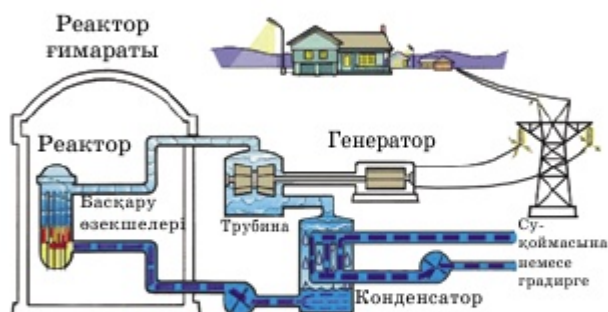
## § 9.6

## Ядролық реактор. Критикалық масса. Ядролық энергетика

1. Ядролық энергетикада тізбекті бөліну реакциясын жүзеге асыру ғана емес, оны басқару да үлкен рөл атқарады. Басқарылатын тізбекті бөліну реакциясын жүзеге асыратын қондырғы **ядролық реактор** деп аталады. Өлемдегі ең бірінші реактор Э. Ферми басшылығымен Чикаго университетінде (1942 ж.), Ресей мен Еуропада бірінші рет И.В. Курчатов басшылығымен Мәскеуде (1946 ж.) іске қосылды.

Басқарылатын ядролық бөліну реакциясын жүзеге асыруды түсіндіру үшін жылулық нейтрондармен жұмыс істейтін реакторды қарастырайық. Кез келген реактор (9.6.1-сурет) бірнеше бөліктерден тұрады, оларға мыналар жатады: **отыны және баяулатқышы бар активті аймақ, нейтрондарды шағылдырғыш, жылу тасығыш, басқару және қорғау жүйесі**.

Активті аймақ баяулатқыш пен жылу шығарғыш элементтері (ЖШӨ) бар, яғни ядролық отыны бар бөліктен тұрады. Активті аймақ нейтрондарды шағылдырғыш капсуланың ішінде орналасқан. Активті аймақ арқылы қарапайым су (яғни жылутасығыш) жүреді. Жылутасығыш ретінде кәдімгі су, ал кейбір жағдайларда ғана «ауыр су» немесе «сұйық графит» қолданылады. Активті аймақта радиоактивтіліктің деңгейі жоғары болғандықтан, ол болат пен бетоннан тұрғызылған сенімді радиациялық қорғанмен қоршалған. Басқару және қорғау жүйесі кадмийден және бордан жасалған, нейтрондарды жақсы жұтатын өзекшелерден тұрады; өзекшелерді активті аймаққа енгізу немесе одан шығару арқылы ядролық реакцияларды басқарып отырады. 9.6.1-суреттің сол жағында реактор көрсетілген, онда өзекшелер жақсы көрініп тұр. Суреттің оң жағында реактор арқылы энергиямен қамтамасыз ету жүйесінің сұлбасы бейнеленген.



9.6.1-сурет. Атом реакторы (сол жақта) және атом электр станциясының жалпы сұлбасы

Реактор оның активті аймағынан нейтрондарды жұтатын өзекшелер шығарылғанда іске қосылып, ядроларды бөлу реакциясы жүре бастайды. Тізбекті реак-

ция барысында үлкен жылулық энергия бөлініп шығады; жылу тасығыш су реактордың активті аймағы арқылы өткен кезде жылу шығарғыш ядролық отын элементтерін жанай өтіп, 320 градусқа дейін қызады.

Бірінші контур ішіндегі су бу генераторының жылу алмасу түтікшелерінің ішінен өтіп, екінші контур ішіндегі сумен араласпай жылуын береді. Сөйтіп, бірінші контурдағы радиоактивті заттар реактордың сыртындағы екінші контурға өтпейді.

Екінші контурдағы қондырғылардың бәрі жылу электр станциясындағыдай жұмыс істейді. Екінші контурдың суы буға айналады. Ол бу өте үлкен жылдамдықпен турбинаны айналдырады да, турбина электргенераторды іске қосады. Осылайша, электр тогы өндіріледі.

**2. Нейтрондардың көбею коэффициенті** бөлінетін заттың табиғатына тәуелді, ал берілген изотоп үшін – оның мөлшеріне және активті аймақтың өлшемдері мен пішініне тәуелді болады.

*Тізбекті реакция жүзеге асырылуы мүмкін активті аймақтың ең кіші өлшемдері критикалық өлшемдер деп аталады.*

*Тізбекті реакция жүзеге асырылуы мүмкін критикалық өлшемдердегі бөлінетін заттың ең кіші массасы критикалық масса деп аталады.*

Өзекшелер активті аймақтан шығарылғанда нейтрондардың көбею коэффициенті артады  $k > 1$ , ал нейтрондарды жұтатын өзекшелер енгізіліп тұрған кезде  $k < 1$ , сондықтан да кез келген мезетте өзекшелерді енгізіп, тізбекті реакцияны тоқтатуға болады. Тізбекті реакцияны басқару — толығымен автоматтандырылған процесс.

Ядролық реакторларды жасақтау ядролық энергияны өндірісте қолдануға әкелді. Рудалардағы ядролық отынның энергетикалық қоры отынның химиялық түрлері қорынан жүздеген есе артық. Олай болса, энергияның негізгі мөлшері АЭС-те шығарылса, онда бұл, біріншіден, электр энергиясының құнын түсіреді деп, екіншіден, бірнеше жүзжылдықтарға энергетикалық мәселе шешімін тапты деп, сондықтан жанатын мұнай мен газды химиялық өндірістің құнды шикізаты ретінде қолдануға мүмкіндік туады деп ертеректе болжанған болатын. Бұл болжам әлі де құнын жойған жоқ. Алайда қоршаған ортаға зиянын тигізбейтін энергияның басқа да балама көздері іздестірілуде.

**3. ТМД-да қуатты АЭС жасақтаудан басқа** (мысалы, қуаты шамамен 1500 МВт Нововоронежскідегі, 1000 МВт-тан 2 реакторы Санкт-Петербургтегі), арнайы мақсаттар үшін эксплуатацияға ыңғайлы кіші АЭС салуға (750–1500 кВт) үлкен назар аударылып отыр. Мысалы, әлемдегі ең бірінші қозғалмалы АЭС-тер іске қосылды; солармен қатар әлемде бірінші рет шалаөткізгіштер арқылы жылулық энергияны тікелей электр энергиясына айналдыратын «Ромашка» реакторы (активті аймақта 49 кг  $^{235}_{92}\text{U}$ , реактордың жылулық қуаты 40 кВт, электрлік қуаты 0,8 кВт) жұмыс істей бастады.



Қазақстанда 3 ядролық реактор бар. Біреуі — Алматыда Ұлттық ядролық орталықта орналасқан ВВР-К реакторы. Зерттеуге арналған бұл ядролық реактор 1967 жылы іске қосылған. Реактор базасында іргелі ядролық-физикалық және материалтану зерттеулері жүргізіледі және реакторішілік сынақтар да орын алады. Сонымен қатар медицина және өндіріс үшін радиоизотоптар, гамма-көздері шығарылады, кремнийдің нейтрондық легирлеуі және нейтрондық-активациялық талдау жасалады.

Басқа екі реактор Шығыс Қазақстанда – Курчатовтағы Ұлттық ядролық орталықта орналасқан. Осы жерде халықаралық ЕХРО көрмесі аясында 2017 жылы отандық материалтанушылық Токамак термоядролық реакторы іске қосылды. Осы реакторды іске қосумен біздің ел бұл сала бойынша жоғары технологиялық қондырғылары бар 10 елдің қатарына кірді.

4. Шапшаң нейтрондармен жұмыс істейтін *реактор-көбейткіштердің* жасақталуымен атомдық энергетиканың дамуына үлкен мүмкіндіктер ашылды. Мұндай реакторларда энергияның бөлінуі екінші реттік ядролық отынның пайда болуымен бірге жүреді, ендеше олар ядролық отынмен ұзақ жылдар бойы қамтамасыз ету мәселесін шешеді. Бағалаулар көрсеткендей, граниттің 1 тоннасында шамамен 3 г  $^{238}_{92}\text{U}$  және 12 г  $^{232}_{90}\text{Th}$  бар (реактор-көбейткіштерде олар шикізат ретінде қолданылады). Адамзат болашақта жылына  $5 \cdot 10^8$  МВт энергия тұтынар болса (бұл қазіргіден 100 есе артық энергия), граниттегі уран мен торий қорлары  $10^9$  жылға жетеді.

Шапшаң нейтрондармен жұмыс істейтін реакторлар техникасы ең үздік инженерлік идеяларды іздестіру жолында. Қуаты 350 МВт реакторлардың алғашқысы Каспий теңізінің жағалауында Ақтау қаласында салынған болатын. Ол электр энергиясын алу және теңіз суын тұщыту, қаланы және мұнай өндіру аймағын сумен қамтамасыз ету үшін қолданылды.



#### Қосымша деректер

Әлемдегі ең үлкен атомдық электр станция паркі АҚШ-та орналасқан. Эксплуатацияда жалпы қуаты 100 ГВт 104 энергоблок бар. Олар электр энергияның 20% -ын қамтамасыз етеді.

АЭС-ты қолдану бойынша әлемдік көшбасшы Франция болып табылады. Оның 58 энергоблогы бүкіл электр энергиясының 80% -ын береді. Олардың жалпы қуаты шамамен 70 ГВт.



#### Сұрақтар

1. Ядролық реактор дегеніміз не? Ол қандай бөліктерден тұрады?
2. Ядролық реактордың жұмыс істеу принципі қалай түсіндіріледі? Ядролық реакторды қандай элементтер арқылы басқарады?

3. Критикалық өлшем және критикалық масса дегеніміз не? Көбею коэффициенті 1)  $k > 1$ ; 2)  $k = 1$ ; 3)  $k < 1$  болған жағдайда тізбекті бөліну реакциясының сипаты қандай болады?
4. Атомдық және термоядролық реакторлар қандай мақсаттар үшін салынады? Қазақстан мен Ресейде реакторлардың қандай түрлері жұмыс істейді?
5. Жылулық және шапшаң нейтрондармен жұмыс істейтін атом реакторларының бір-бірінен принципті айырмашылығы қандай?



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

Ядролық реактордың минимоделін жасаңдар.

### ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Атом электр станциясында ядролық отын жанғанда 1 секундта шамамен 28,5 МДж энергия бөлінеді. Уранның  ${}^{235}_{92}\text{U}$  бір атомы екі бөлікке бөлінген кезде 200 МэВ энергия шығарады деп есептесек, станцияның бір тәуліктегі ядролық отынды тұтыну мөлшері қандай?

| <i>Берілгені:</i>       | <i>ХБЖ</i>                     | <i>Шешуі:</i>                                    |
|-------------------------|--------------------------------|--|
| $W = 28,5 \text{ МДж}$  | $28,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$   | 1 тәуліктегі ядролық отынның тұтынуын есептейік: |
| ${}^{235}_{92}\text{U}$ |                                |  |
| $W_0 = 200 \text{ МэВ}$ | $32 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$ | $W_m = W \cdot t.$                               |
| $m = ?$                 |                                | $t = 1 \text{ тәул} = 86\,400 \text{ с, онда}$   |

$$W_m = 28,5 \cdot 10^6 \cdot 86\,400 = 2\,462\,400 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Егер уранның бір атомы екі бөлікке ыдырағанда 200 МэВ энергия бөлінсе,  $2\,462\,400 \cdot 10^6 \text{ Дж}$  энергия бөліну үшін қажет атомдар саны:

$$N = \frac{W_m}{W_0} = \frac{2\,462\,400 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{32 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}} = 76\,950 \cdot 10^{18}.$$

Сонымен,  $76\,950 \cdot 10^{18}$  уран атомы қажет.

Уранның массасын есептейік:

$$\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} \Rightarrow m = \frac{NM}{N_A} = \frac{76\,950 \cdot 10^{18} \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{23}} = 0,03 \text{ кг} = 30 \text{ г.}$$

*Жауабы:* 30 грамм уран.



## Өз бетінше шығаруға арналған есептер

## В

- 9.6.1. Қуаты 5000 кВт, ПӘК-і 17% атом электр станциясында бір тәулікте тұтынатын  ${}_{92}^{235}\text{U}$  уранның  $m$  массасын анықтаңдар. Өр ыдырау актісінде  $\Delta W = 200$  МэВ энергия бөлініп шығады. (Жауабы:  $31,1 \cdot 10^{-3}$  кг)
- 9.6.2. Қуаты 200 МВт ядролық реакторда бір бөліну актісінде 200 МэВ энергия бөлінеді, ал бір бөліну актісінде нейтрондардың орташа саны 2,5 деп есептеп, 1 секундта пайда болатын нейтрондар санын анықтаңдар. (Жауабы:  $1,6 \cdot 10^{19}$ )
- 9.6.3. Бір тәулікте массасы 0,1 кг  ${}_{92}^{235}\text{U}$  уранды тұтынатын ПӘК-і 16% станцияның электр қуатын анықтаңдар. (Жауабы: 15,13 МВт)
- 9.6.4. Қуаты 100 МВт реактор  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  плутоний шығарады.  ${}_{92}^{238}\text{U}$  ядросының бір бөліну актісінде орташа шамамен плутонийдің 1,5 ядросы пайда болады деп есептеп, 10 күнде қанша плутоний шығатынын есептеңдер. (Жауабы: 72 г)
- 9.6.5.  ${}_{92}^{235}\text{U}$  уранның бір ядросы бөлінгенде 200 МэВ энергия босайды. Егер массасы 60 кг осындай уранның бойындағы ядроларының 0,1% -ы бөлінсе, тізбектік реакцияда қанша энергия бөлінген? (Жауабы:  $306,2 \cdot 10^{23}$  МэВ)
- 9.6.6. Атом электр станциясында бір жылда 19,5 кг  ${}_{92}^{235}\text{U}$  уран шығындалады. Станцияның ПӘК 25%. Егер уранның бір ядросы бөлінгенде 200 МэВ энергия босаса, станцияның электрлік қуаты қандай? (Жауабы: 12,6 МВт)
- 9.6.7. Қуаты 1000 МВт және ПӘК 20% атом электр станциясы  ${}_{92}^{235}\text{U}$  уранның бір тәулікте қанша массасын шығындайды? Уранның бір ядросы ыдырағанда 200 МэВ энергия босайды. (Жауабы:  $\approx 5,3$  кг)
- 9.6.8. Гелийдің бір нуклонына келетін байланыс энергиясы өте үлкен болғандықтан, жеңіл ядроларды бөлудің экзоэнергетикалық реакциясы болуы мүмкін.  ${}_{5}^{11}\text{B}$  бор изотопын протондармен атқылағанда үш  $\alpha$ -бөлшегі түзілетін реакцияда қанша энергия босайтынын табыңдар. (Жауабы: 8,2 МэВ)
- 9.6.9. Егер атом мұзжарғышының қуаты  $3,2 \cdot 10^7$  Вт, ал ПӘК 17% болса, ол тәулігіне  ${}_{92}^{235}\text{U}$  уранның қандай мөлшерін жұмсайды? Уранның бір ядросы ыдырағанда 200 МэВ энергия босайды. (Жауабы: 0,2 кг)

## С

- 9.6.10. Жылулық нейтрондарына негізделген ядролық реакторда нейтрондардың бір буынының орташа өмір сүру уақыты 90 мс. Нейтрондардың көбею коэффициентін  $k = 1,002$  деп алып, реактордың периодын анықтаңдар. Реактор периоды дегеніміз – реактордағы жылулық нейтрондардың ағыны  $e$  есе өсетін уақыт. (Жауабы: 45 с)



## § 9.7

### Радиоактивті сәуле шығарудың биологиялық әсері. Жасанды радиоактивтілік. Радиациядан сақтану

1. Радиоактивті сәулелену адам денсаулығына кері әсерін тигізеді. Адамда дене температурасының көтерілуінен бастап сәулелік ауру секілді реакциялар болуы мүмкін. Білетініміздей, дене температурасының артуы бүкіл жасушалар үшін өте зиян. Радиоактивті сәулелену сүйек майын, асқорыту жолының жасушаларын зақымдайды.

Радиоактивті сәуле шығарудың биологиялық әсері *соматикалық* және *генетикалық* болып бөлінеді. Соматикалық әсерлер тікелей бақыланатын адамдарда көрінеді, ал генетикалық хромосомаларды зақымдап, ұрпаққа жалғасады. Сәулелену әсері бірден біліне қоймайды. Ол бірнеше сағаттан бастап бірнеше айға дейін жалғасады. Радиоактивті сәулелердің пайдалы жақтары да бар.

Медицинада радиоактивті сәуле әсіресе қатерлі ісікті емдеу үшін қолданылады. Қатерлі ісіктегі тез көбейетін жасушалар сау жасаушыларға қарағанда сәулеленуге өте сезімтал. Рентген сәулелерімен салыстырғанда тиімділігі жоғары радиоактивті препараттардың  $\gamma$ -сәулелерімен қатерлі ісіктерді жою, міне, осыған негізделген. Алайда табиғи радиоактивті элементтерге қоса адамзаттың іс-әрекетінен туындаған жасанды радиоактивті изотоптардың жыл санап арта түсуі қоршаған ортаға да, тіршілік иелерінің барлық түрлеріне де зор қауіп туғыза бастады.

2. **Жасанды радиоактивтілік** құбылысын 1934 жылы ерлі-зайыпты Жолио-Кюрилер ашты. Олар жеңіл ядроларды альфа-бөлшектермен атқылағанда радиоактивті элементтер пайда болатынын көрсетті. Жасанды радиоактивтіліктің ашылуына себеп болған реакция мынадай:



Бұл реакцияда пайда болған фосфор изотопы  ${}_{15}^{30}\text{P}$  жасанды радиоактивті элемент болып табылады.

Тұрақты элементтердің ядроларын нейтрондармен де атқылап, жасанды радиоактивті элементтерді алуға болады. Мысалы, азотты нейтрондармен атқылағанда көміртектің жасанды радиоактивті изотопы  ${}_{6}^{14}\text{C}$  түзіледі, ол ыдырағанда электрондар ағыны ( $\beta$ -сәулесі) пайда болады:



Қазіргі таңда жасанды жолмен алынатын 900-ден астам радионуклидтер белгілі.

*Адамдардың ғылыми-шаруашылық іс-әрекетінің өнімі ретінде пайда болған химиялық элементтердің тұрақсыз изотоптарының шығаратын сәулелерін жасанды радиоактивтілік деп атайды.*

Табиғи және жасанды радиоактивті изотоптардың шығаратын сәулелерінің табиғаты бірдей; екі радиоактивтілік те бір ғана радиоактивті ыдырау заңына бағынады.

**Жасанды радионуклидтер үш топқа бөлінеді:**

1) **Ядролық бөлінудің радиоактивті өнімдері.** Олар ауыр ядролардың (уран-235, уран-238, плутоний-239) нейтрондармен әрекеттескен кезінде пайда болады. Осындай радионуклидтер тобының көздеріне мыналар жатады: ядролық қару сынақтары, ядролық отын шығаратын кәсіпорындар және атомдық өндіріс ошақтары (ядролық-энергетикалық қондырғылар, радиохимиялық зауыттар және т.б.). Ядролық жарылыстарда 35 элементтің 250-ге жуық изотоптары пайда болады. Мұндай радиоактивті өнімдердің жартылай ыдырау периодтары бірнеше секундтан бірнеше ондаған мың жылдарды құрайды.

2) **Ядро-энергетикалық қондырғыларда,** ядролық жарылыстарда пайда болған трансурандық ауыр ядролардың келесі ұрпақтарының ыдырау барысында жалғасын табатын радиоактивті изотоптар.

3) **Келтірілген радиоактивтілік өнімдер.** Бұлар элементар бөлшектердің ядролық реакциялары нәтижесінде пайда болады. Мысалы, тізбектік реакцияда пайда болатын нейтрондар қоршаған ортаның тұрақты элементтерінің ядроларына әсер етіп, оларды радиоактивті изотоптарға айналдырады. Бұндай радионуклидтерге жататындар:  $^{46}\text{Ca}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{27}\text{Mg}$ ,  $^{29}\text{Al}$ ,  $^{31}\text{Si}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{54}\text{Fe}$  және басқалар. Олардың көпшілік бөлігі бета-бөлшектер және гамма-сәуле шығарып ыдырайды.

3. **Радиоактивті сәулелердің тірі ағзаларға әсер ету деңгейі** сәулелену дозасымен анықталады.

**Сәулеленудің жұтылған дозасы** деп иондаушы сәулелердің  $E$  энергиясының сәулелендірілген заттың  $m$  массасына қатынасын айтады:

$$D = \frac{E}{m}. \quad (9.18)$$

ХБЖ-де сәуле шығарудың жұтылған дозасын **греймен** өлшейді (қысқаша: **Гр**). **Бір грейге (1 Гр) тең сәулеленудің жұтылу мөлшерінде массасы 1 кг зат иондаушы сәуленің 1 Дж энергиясын алады:**

$$1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}}.$$

Радиацияның табиғи фоны (ғарыштық сәулелер, қоршаған ортаның және адам денесінің радиоактивтілігі) бір адамға жылына  $2 \cdot 10^{-3}$  Гр сәулелену дозасын құрайды. Радиациялық қорғау бойынша халықаралық комиссия **сәулеленумен жұмыс істейтін адамдар үшін бір жылға 0,05 Грейге тең шекті мөлшер бекіткен. Ал қысқа мерзімде алған 3–10 Грейге тең мөлшер өмірге өте қауіпті.**

Практикада сәулеленудің экспозициялық мөлшерінің жүйеден тыс бірлігі **рентген** (қысқаша: **Р**) қолданады. Бұл бірлік рентген және гамма-сәуленің иондаушы қабілеттілігінің өлшемі болып табылады. Бір рентгенге тең сәулелену дозасы

құрғақ ауаның  $1 \text{ см}^3$  көлемінде  $0^\circ\text{C}$  температурадағы және сынап бағанымен  $760 \text{ мм}$  қысымда әр таңбалы ионның толық заряды  $3 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$  болатындай ауада иондар тудыратын сәулелену дозасымен бірдей. Мұнда шамамен  $2 \cdot 10^9$  иондар жұбы пайда болады. Пайда болатын иондар саны затта жұтылатын энергиямен байланысты. *Практикалық дозиметрияда 1 рентген 0,01 Гр сәуленің жұтылған дозасына сәйкес келеді.*

Сәулеленудің әсер ету сипаты тек жұтылған сәулеленудің дозасына ғана емес, оның түріне де тәуелді. Сәулеленудің биологиялық түрлерінің өртүрлілігі  $k$  сапа коэффициентімен байланыстырылады. Бірлікке рентген және гамма-сәулеленудің сапа коэффициенті алынады.

Сапа коэффициентінің ең үлкен мәніне  $\alpha$ -бөлшектер ие ( $k = 20$ ). Альфа сәулелер ең қауіпті, өйткені олар тірі жасушалардың ең үлкен бұзылуын туғызады. Тірі ағзаларға сәулелену әсерін бағалау үшін арнайы шама – *жұтылған сәулеленудің эквивалентті дозасы* енгізіледі. Оны жұтылған сәулеленудің дозасының сапа коэффициентіне көбейту арқылы табады:

$$H = D \cdot k. \quad (9.19)$$

Эквивалентті доза бірлігі — *зиверт* (Зв).

*1 Зв — жұтылған гамма-сәулеленудің мөлшері 1 Гр тең болатын эквивалентті доза.*

Адам ағзасы зақымданатын дозаның ең үлкен мәні  $0,5 \text{ Зв}$ .

Табиғи радиациялық фон (космостық сәулелер, жер қыртысының радиоактивті изотоптары) арқылы жұтылған сәулеленудің эквивалентті дозасы бір жылда  $2 \text{ мЗв}$  құрайды.

**4. Ағзаларды сәулеленуден қорғау.** Кез келген радиация көзімен жұмыс істейтін (радиоактивті изотоптар, реакторлар және т.б.) және сәуленің әсер ету аймағында болуы мүмкін адамдарды радиациядан қорғаудың барлық шараларын қолдану қажет.

*Қорғанудың ең қарапайым әдісі* — бұл сәуле шығару көзінен адамдарды жеткілікті үлкен қашықтыққа алшақтату болып табылады. Ауада жұтылуды ескермей-ақ, радиацияның қарқындылығы сәулелену көзінен қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді. Сондықтан да радиоактивті препараттары бар ампулаларды қолмен ұстауға болмайды. Арнайы ұзын ұстаушысы бар қысқаш қолдану қажет.

Сәуле шығару көзінен үлкен қашықтыққа алшақтау мүмкін емес жағдайда сәулеленуден қорғану үшін жұтылатын материалдардан бөгеттер қолданады.

Ету қабілеттері үлкен болғандықтан,  $\gamma$ -сәулелерден және нейтрондардан қорғану өте қиын.  $\gamma$ -сәулелерді ең жақсы жұтатын материал — қорғасын. Баяу нейтрондар бор және кадмиймен жақсы жұтылады. Шапшаң нейтрондар алдын ала графит арқылы баяулатылады.



Чернобыль АЭС-дағы апаттан кейін атомдық энергия бойынша Халықаралық агенттілігімен энергетикалық реакторлардың қосымша қауіпсіздік шараларын ұйымдастыруға ұсыныстар қабылданған. АЭС қызметкерлерінің жұмысын қатаң тәртіптеу белгіленген.

Чернобыль АЭС-дағы (1986 ж.) және Фукусима-1 АЭС-дағы (Жапония, 2011 ж.) апат радиоактивті сәулеленулердің аса қауіптілігін көрсетті. Барлық адамдардың бұндай қауіп-қатер туралы түсінігі болып, олардан қорғана білулері керек.



### Сұрақтар

1. Радиоактивті сәулелену әсер еткен кезде адамда қандай өзгерістер пайда болуы мүмкін? Радиоактивті сәулелену қайда қолданылады?
2. Жасанды радиоактивтілік деп қандай процесті айтады? Жасанды тұрақсыз радионуклидтер қандай топтарға бөлінеді?
3. Сәулеленудің жұтылған дозасы дегеніміз не?
4. Адам ағзасы үшін сәулеленудің шекті қауіпсіз нормалары қандай?
5. Сапа коэффициенті дегеніміз не? Қандай сәулелердің сапа коэффициенті ең үлкен?
6. Радиациядан қалай қорғануға болады?



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

1. Смартфонға «Play Market» қосымшасынан Гейгер есептегішінің негізінде жұмыс істейтін «Radiation Counter» программасын жүктеңдер де, жұмыс істеу қағидасын оқып, әртүрлі орынның радиациялық фонын өлшеңдер.
2. Мына кестені толтырыңдар:

| Шамалар атауы                             | Белгіленуі | Формула | Анықтамасы | Өлшем бірлігі |
|---|------------|---------|------------|---------------|
| Сәулеленудің жұтылған дозасы              |            |         |            |               |
| Сәулеленудің экспозициялық дозасы         |            |         |            |               |
| Жұтылған сәулеленудің эквивалентті дозасы |            |         |            |               |



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

#### В

- 9.7.1. Гамма-сәулесі қорғасында жақсы жұтылады (болат брониға қарағанда 1,5 есе және суға қарағанда 22 есе артық жұтылады).  $\gamma$ -сәулелің қорғасын

үшін жартылай өлсіреу қабатының қалыңдығы 2 см.  $\gamma$ -сәулені 128 есе өлсірету үшін қорғасын қабатының қалыңдығы қандай болуы керек?

(Жауабы: 14 см)

- 9.7.2. Рентген құрылғысымен жұмыс істейтін адамның 1 сағатта орташа жұтылу дозасы 7 мкГр құрайды. Сәуленің бір жылғы қауіпсіз шекті мөлшері 50 мГр деп есептесек, күніне 6 сағаттан жылына 200 күн жұмыс істегенде жұтатын сәуле мөлшері қауіпті ме? (Жауабы: қауіпті емес)
- 9.7.3. Зақымдану аймағындағы радиоактивті изотоптардың гамма-сәулелену дозасының қуаты 200 мкГр/сағ. Апаттық жағдайдағы шекті дозаны 25 мЗв деп алса, осы аймақта адам денсаулығына зиянын тигізбей қанша уақыт жұмыс істей алады? (Жауабы: 125 сағат)
- 9.7.4. Массасы 60 кг адам 12 сағат сәулелендіруге ұшырады. Жұтылған дозаның қуаты және осы уақыттағы энергиясы қандай? Сәулеленудің жұтылған дозасы 35 мГр. (Жауабы: 0,81 мкГр/с; 2,1 Дж)
- 9.7.5. Студент шыны қалбырда сақталған активтілігі 270 МБк  $^{90}\text{Sr}$  радиоактивті затпен жұмыс жасағанда қорғаныс ретінде тек қалың қолғапты пайдалануды ұйғарды. Бұл қауіпті емес пе? Мынаны ескеріңдер:  $^{90}\text{Sr}$  затының бір ыдырау актісінде энергиясы 1,74 МэВ болатын 1 фотон шығады; адамның массасы  $M = 70$  кг;  $\epsilon = 0,1$ ; шекті босатылған мөлшері (ШБД) –  $0,1$  рад/апта =  $0,17 \cdot 10^{-6}$  рад/с.

### С

- 9.7.6. Ауылшаруашылығында  $\gamma$ -сәулесін қолдану үшін арнайы қондырғыда цезийдің  $\beta$ -радиоактивті изотопы  $^{137}_{55}\text{Cs}$  қолданылады.  $\beta$ -ыдыраудың реакциясын жазыңдар. Егер  $\gamma$ -кванттардың ең үлкен энергиясы 0,66 МэВ болса, ең жоғарғы  $\gamma$ -сәулелену жиілігі қандай? Егер  $\beta$ -бөлшектердің энергиясы 1,18 МэВ болса, олардың релятивистік жылдамдығы қандай?

(Жауабы:  $1,6 \cdot 10^{20}$  Гц;  $2,85 \cdot 10^8$  м/с)

## IX ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

• **Радиоактивтілік** деп кейбір ядролардың радиоактивті сәулелер мен элементар бөлшектерді шығарып, кенеттен басқа ядроларға түрлену процесін айтады.

• **Альфа-ыдырау** кезінде аналық ядро оң  $2e$  зарядты жоғалтады да, оның массасы 4 атомдық бірлікке кемиді. Соның нәтижесінде гелий ядросымен қоса тағы бір жаңа туынды элемент пайда болады.

• **Бета-ыдырау** кезінде аналық ядро өз зарядын бір бірлікке арттырады, бірақ массасы өзгермейді. Нәтижесінде жаңа туынды элемент пайда болады.

• **Гамма-сәуле шығару** радиоактивтіліктің жеке түрі болып есептелінбейді, тек  $\alpha$ - және  $\beta$ -ыдыраулармен бірге қатар жүреді. Ол туынды ядромен шығарылады.

• **Радиоактивті ыдырау заңы:**  $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$  немесе  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , мұндағы  $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$  — ыдырау тұрақтысы,  $T$  — жартылай ыдырау периоды.

• **Атомдық ядро** – нуклондар деп аталатын протондар мен нейтрондардан тұратын атомның орталық бөлігі.

• Зарядтық сандары  $Z$  бірдей, бірақ массалық саны  $A$  әртүрлі ядролар (яғни нейтрондар саны әртүрлі  $N = A - Z$ ) **изотоптар** деп аталады.

•  **$A$  массалық саны бірдей**, бірақ  $Z$  зарядтық саны әртүрлі ядролар **изобаралар** деп аталады.

• Нейтрондардың саны бірдей ядролар **изотондар** деп аталады.

• **Байланыс энергиясы** — ядроны жеке нуклондарға ыдырату үшін қажетті энергия:

$$E_{бай} = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_x) c^2.$$

• **Массалар ақауы** — ядро массасы мен оны құрайтын протондардың және нейтрондардың қосынды массасының айырымы:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_x.$$

• **Меншікті байланыс энергиясы** — 1 нуклонға келетін энергия:

$$E_{мен. бай.} = \frac{E_{бай.}}{A}.$$



- **Ядролық реакциялар** — элементар бөлшектермен (соның ішінде  $\gamma$ -кванттармен) немесе бір-бірімен әрекеттескен кездегі атомдық ядролардың түрлендірілуі.

- **Электр зарядтары мен массалық сандардың сақталу заңдары:** ядролық реакцияға қатысатын ядролар мен бөлшектердің зарядтық (және массалық) сандарының қосындысы соңғы өнімдердің (ядролар мен бөлшектердің) зарядтық (және массалық) сандарының қосындысына тең.

- **Ядролық реакцияның энергетикалық шығымы** — ядролардың және бөлшектердің реакцияға дейін және кейінгі энергияларының айырымы.

- **Болудің тізбектік реакциясы** — реакция кезінде өнім ретінде бөлініп шығатын бөлшектердің реакциялар тізбегін жалғастырып, ауыр ядролардың ыдырау реакциясы.

- **Термоядролық реакциялар** — жоғары температураларда жеңіл ядролардың бірігу реакциялары.

- Тізбекті реакция жүзеге асырылуы мүмкін активті аймақтың ең кіші өлшемдері **критикалық өлшемдер** деп аталады.

- Тізбекті реакция жүзеге асырылуы мүмкін критикалық өлшемдердегі бөлінетін заттың минимал массасы **критикалық масса** деп аталады.



- **Сәулеленудің жұтылу дозасы** иондаушы сәулеленудің жұтылған  $E$  энергиясының сәулелендірілген заттың  $m$  массасына қатынасы:

$$D = \frac{E}{m} .$$

# 10-тарау

## НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

## ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  наноматериалдардың физикалық қасиеттерін және оларды алу тәсілдерін түсіндіру;
-  нанотехнологияны қолдану аясын талқылау.

## Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

| Қ а з а қ ш а                     | О р ы с ш а                      | А ғ ы л ш ы н ш а             |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| нанобөлшек                        | наночастица                      | nanoparticle                  |
| нанотехнология                    | нанотехнология                   | nanotechnology                |
| наноматериалдар                   | наноматериалы                    | nanomaterials                 |
| графен                            | графен                           | graphene                      |
| нанотүтіктер                      | нанотрубки                       | nanotubes                     |
| фуллерен                          | фуллерен                         | fullerene                     |
| микролитография                   | микролитография                  | microlithography              |
| нанороботтар                      | нанороботы                       | nanorobots                    |
| зондтық микроскопия               | зондовая микроскопия             | probe microscopy              |
| сканерлейтін туннельдік микроскоп | сканирующий туннельный микроскоп | scanning tunneling microscope |
| атомдық-күштік микроскоп          | атомно-силовой микроскоп         | atomic force microscope       |

*Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «нанобөлшек», «нанотехнология», «наноматериалдар», «графен», «нанотүтіктер», «фуллерен», «микролитография», «нанороботтар», «зондтық микроскопия», «сканерлейтін туннельдік микроскоп», «атомдық-күштік микроскоп».*



## § 10.1

## Нанотехнология және оның негізгі жетістіктері

1. Ғылым мен техниканың *нанотехнология* деп аталатын саласы таяуда пайда болды. Бұл ғылымның болашағы таңданарлықтай ұшан-теңіз. «Нано» термині гректің «нанос» (құртымдай) деген сөзінен шыққан, бұл ұзындықтың халықаралық бірлігі — метрдің *нанометр* (нм) деп аталатын миллиардтан бір бөлігін құрайды, яғни  $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ .

*Өлшемдері нанометрмен өлшенетін бөлшекті нанобөлшек деп атау қабылданған.*

Мұндай бөлшектердің өлшемдері атомдар мен молекулаларға қарайлас келеді. Ғылым мен техниканың *нанотехнология* деп аталатын саласы өлшемдері 1 нм-ден 100 нм-ге дейін болатын объектілермен жұмыс істеп, олардан наноматериалдар деп аталатын заттар шығарады. Заттар мен кристалдық денелердің құрамындағы *бөлшектер* мен *дәнектер* деп аталатын *кристаллиттердің* өлшемдеріне қарай олардың қасиеттері де өзгеріп отыратыны белгілі болды. Мұндай өзгерістер кристалдық денелерде дәнектердің өлшемі 100 нм-ден кеми бастағанда байқала бастайды да, 10 нм-ден төмендегенде күрт артады.

*Жекелеген атомдар мен молекулалардың деңгейінде жұмыс істеу техникасы нанотехнология деп аталады.*

Олай болса, нанотехнология — бұл шамалары атомдардың өлшемдерімен қарайлас нанометр деңгейіндегі объектілермен жұмыс істеуге негізделген технология. Сондықтан «микродан» шығып «наноға» өту — *заттық* деңгейдегі жұмыстан *жекелеген атомдық* деңгейдегі жұмысқа өткізетін тек *сандық* қана емес, *сапалық* өткел болып табылады.

Нанотехнология деп кейін атала бастаған әдістердің алғашқы шығу тарихын Нобель сыйлығының лауреаты Ричард Фейнманның 1959 жылы Калифорния технологиялық институтында жасаған «Анда, төменде көп орын бар» деп аталған баяндамасымен байланыстырады. Ричард Фейнман жекелеген атомдарды оған сәйкес өлшемі бар тетіктің жәрдемімен механикалық қозғалысқа келтіруге болады, мұндай процесс бүгінгі күнгі белгілі физика заңдарына қайшы келмейді деп жорыды. Мұндай тетікті жасау тәсілін ол былайша ұсынды. Өзіне қарағанда өлшемдері бір ондық ретке (яғни 10 есеге) кем болатын өз нұсқасын жасап шығаратын механизмді құрастыру қажет. Құрастырылған кіші механизм де өзінен 10 есеге кіші болатын өз нұсқасын жасауға тиіс. Осылайша жалғастыра отырып, атомның өлшемімен шамалас механизмді құрастыруға болады. Мұндай наномеханизмдер (нанороботтар) жекелеген атомдардан макрозаттарды да жасай алады. Олар қажетті мөлшердегі молекулалармен, энергиямен және керекті

нәрселерді құрастыруға арналған компьютерлік бағдарламалармен қамтамасыз етілген жағдайда, ондаған есе арзан заттарды шығаруға мүмкіндік береді.

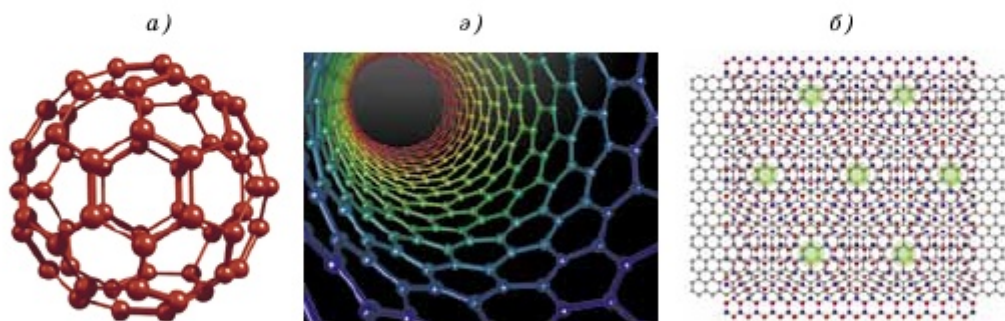
«Нанотехнология» терминін бірінші рет жапон профессоры Норио Танигучи 1974 жылы Токиода өткен халықаралық конференцияда «Нанотехнологияның негізгі принциптері» деген баяндамасында енгізді.

**2. Нанобөлшектер мен нанокристаллиттерден (дәнектерден) құрастырылған әртүрлі нәрселер наноматериалдар деп аталады.**

Біз 8-сынып оқулығында броундық қозғалыс пен бөлшектердің диффузиялық құбылыстарын қарастыра отырып, бірінші рет кристалдық денелердің *дәнек* деп аталатын микрокристаллиттерден тұратынын айтқан едік. Поликристалдық денелер өлшемдері әртүрлі және әртүрлі бағытта орналасқан дәнектерден тұрады да, ал монокристалдық дене атомдарының кристалл жазықтары бір ғана бағытта орналасқан ірі біртұтас дәнек болып табылады.

**Нанокристалдық материалдар өлшемдері бойынша бірнеше негізгі түрлерге бөлінеді.** Солардың бірі — нөлөлшемді (0D) *нанокластерлер*, оларға *фуллерен* молекулалары (10.1.1, а-сурет) мысал бола алады. Нөлөлшемді кластерлерден өлшемдері әртүрлі наноматериалдар жасайды: бірөлшемді (1D) *талшықтық материалдар*, мысалы, *нанотүтіктер* (10.1.1, ә-сурет); екіөлшемді (2D) *жарғақтар* мен *көпқыртысты материалдар*, мысалы, *бірқыртысты* және *көпқыртысты графендер* (10.1.1, б-сурет) – міне, осылардың барлығы нөлөлшемді фуллерендерден құрастырылған. Сондай-ақ *үшөлшемді* (3D) *поликристалдық материалдардың*, мысалы, поликристалдық мыс (10.2.1, в-сурет) дәнектерінің үш бағытта да салыстырарлық өлшемдері болады.

**3. Өлшемдері әртүрлі кішігірім кластерлер, бір жағынан, оқшауланған атомдар мен молекулалардың, екінші жағынан, ірі (көлемді) қатты дененің арасындағы аралық бөлік болып табылады. Жекелеген атомдар мен молекулаларға тән дискретті электрондық энергетикалық спектрден қатты денеге тән зоналық электрондық энергетикалық спектрге өту кластерлер арқылы орындалады.**



10.1.1-сурет. Наноэлементтер және материалдар:  
а) фуллереннің молекуласы; ә) нанотүтік; б) графендер

**Фуллерен** — тұрақты молекула, оның сфералық бетіндегі 5 және 6 бұрышты көпбұрыштардың түйіндерінде көміртектің 60 атомы орналасқан.

**Нанотүтіктер** — созылыңқы цилиндрлік құрылым, ол түтікше түрінде оралған бір немесе бірнеше қабатты графендерден тұрады; оның диаметрі бір нанометрден ондаған нанометрге дейін жетеді де, ұзындығы бірнеше сантиметрді құрайды. Бұндай объектілер ғалымдарды 1991 жылдан бастап қызықтыра бастады. Басқа да химиялық элементтердің атомдарының қоспасы бар жеп-жеңіл бұндай көміртекті түтіктердің беріктігі болатын беріктігінен 60 есе асып түседі, олар 2500 градустық қыздыруға және мыңдаған атмосфералық қысымға шыдайды. Бұндай беріктік олардан жасалған бұйымдарға да тән. Электроникада нанотүтіктер тамаша өткізгіштер ретінде де, шалаөткізгіштер ретінде де қолданыла алады.

**Графен** — көміртек атомдарының бірқабатты наножазғасы, ол 2004 жылдың қазанында Манчестер университетінде алынды. Ғалымдардың ұйғарымы бойынша бұл керемет берік, әрі басқа да тамаша қасиеттері бар материал болашақта қазіргі шалаөткізгіштерді ығыстырып, микропроцессорлардың негізіне алынады.

Фуллерен мен нанотүтіктің және графеннің жиынтықтарын *наноэлементтер* деп атайды.

Нанотүтіктер мен графендердің аса берік болуы олардың құрамындағы барлық атомдар мен молекулалардың іс жүзінде сыртқы ортаның атомдарымен тікелей өзара әрекеттесулері арқылы түсіндіріледі. Шынында да, кез келген затты наноөлшемі атомдық бөлшектерге дейін ұсақтағанда заттағы бөлшектердің беттерінің жалпы қосындысы жүздеген есе өседі де, оның *әр атомының* сыртқы ортаның атомдарымен өзара әрекеттесуі күшейеді; өйткені мұндай наноматериалдың атомдарының барлығы дерлік оның бетінде орналасады. Міне, сондықтан атомдары беттерінде ғана орналасқан наножазғалар (графендер) мен нанотүтіктердің беріктігі атомдарының көпшілігі көлемінде орналасқан денелерге қарағанда арта түседі. Нанобөлшектер мен наноұнтақтарға тән бұл құбылыс өмірдің көптеген салаларында кең қолданыс таба бастады. Мысалы, медицинада мөлшері тым аз болса да антисептикалық қасиеті бірнеше есе күшейтілген күмістің наноұнтағы қолданыс тапты. Титан диоксидінің нанобөлшектері кір заттарды өз бетіне жолатпайды, сондықтан өмірде де, өндіріс орындарында да нәрселердің беттерін өздігінен тазартып тұруға мүмкіндік туғызды. Алюминийдің наноұнтағы зымырандардың қатты отындарының жануын еселеп үдеттіреді де, олардың қуаттылығын да еселеп арттырады. Бойында нанобөлшектері бар жаңа литийлі-ионды аккумуляторларды зарядтауға қазіргідей бірнеше сағаттарға созылған уақыттардың орнына бір-екі ғана минут кетеді. Мұндай тез зарядталатын аккумуляторлар экологиялық таза көлік түрлерін, мысалы, электромобильдердің қарыштап даму болашағына даңғыл жол ашты.



**4. Наноматериалдар дәнектерінің өлшемдері бойынша да, кеңістіктік құрылымы бойынша да жіктеледі.** Дәнектерінің өлшемі 40 нм-ден кем болатын аса ұсақ дәнекті поликристалды материалдар **нанокристалды** деп, ал 30–300 нм аралығындағыларын **субмикростристалды** деп атайды. Дәнектерінің орташа өлшемдері 300 нм-ден асатын кристалдық денелер **ірі дәнекті материалдар** деп аталады. Заттар мен материалдарды олардың бойындағы бөлшектердің (дәнектердің) өлшемі мен әр бөлшекке (дәнекке) келетін атомдардың саны бойынша шартты жіктеу төмендегі кестеде көрсетілген.

10.1.1-кесте

**Наноматериалдар мен заттарды бөлшектерінің (дәнектерінің) өлшемі мен атомдарының саны бойынша шартты жіктеу**

| Наноэлементтер және материалдар                       | Бөлшектердің (дәнектердің) өлшемдері, пм, нм | Бөлшектегі (дәнектегі) атомдар саны |
|---|--|-------------------------------------|
| Атомдар және екі-үш атомды молекулалар                | 50–70 пм                                     | 1–3                                 |
| Молекулалық кластерлер (фуллерендер т.б. молекулалар) | 70 пм–1 нм                                   | 4–70                                |
| Икосаэдриалық металл кластерлері                      | 1–7 нм                                       | 70 – 1500                           |
| Нанокристалдық материалдар                            | 7–70 нм                                      | 1500 – $1 \cdot 10^7$               |
| Субмикростристалдық материалдар                       | 70–500 нм                                    | $1 \cdot 10^7$ – $1 \cdot 10^9$     |
| Ірі дәнекті материалдар                               | 500 нм-ден жоғары                            | $1 \cdot 10^9$ -дан көп             |

**5. Жоғарыда сипатталған наноэлементтер мен наноматериалдар технологияның барлық салаларында (медицинадан бастап ғарыштық зерттеулерге дейін) жиі қолданыс таба бастады.** Мысалы, ғалымдар дәрі-дәрмектерді инфекцияға ұшыраған немесе ауруға шалдыққан жасушаларға тікелей жеткізу проблемасын шешу жұмыстарымен жылдар бойы айналысып келеді. Осы жолда өлшемі 50–200 нанометрден аспайтын дәрі мен дәрумендерді шығынсыз жеткізетін «көліктің» негізгі түрі **наноробот** бола алады. Ғалымдардың пайымдауы бойынша нанотехнология мен наноматериалдардың соңғы жетістіктері обыр ауруларымен күресте айтарлықтай нәтижелі болмақ. Қатерлі ісікке шалдыққан

жасушаларға нанороботтармен тікелей жеткізілетін обьрға қарсы қолданатын дәрілер жасалды. Дәріні «мекеніне» тура жеткізетін жаңа жүйе **биосиликон** деп аталатын материалға негізделген. Мұндай силикон диаметрі он атомдай болатын кеуек құрылым, оның қуыстарына дәрі-дәрмектер мен радионуклидтер енгізіледі. Мақсатты жеріне жеткізілген биосиликон ыдырай бастайды да, оның қуыстарындағы дәрілер өз жұмыстарына кіріседі.

Нанотехнология мен наноматериалдар кез келген аспаптардың, солардың ішінде ғарышқа шығаратындардың да массасы мен аумағын екі ретке (яғни  $10^2 = 100$  есеге) дейін кемітуге мүмкіндік береді. Мысалы, көдімгі никельге қарағанда наноникельдің беріктігі 6 есе жоғары, мұндай никельді зымыран қозғалтқыштарында қолданғанда олардың соплоларының массасын ондаған пайызға төмендетеді. Ғарыш техникасының массасын азайту көптеген мәселелерді шешеді: аппараттың ғарышта болу мерзімін ұзартады, оған алысқа ұшуға және зерттеулер жүргізу үшін әртүрлі пайдалы құрал-саймандарды көбірек алуға мүмкіндік берді. Ғарыш бүгінгі күндері кез келген мемлекеттің ұлттық қауіпсіздігі мен бәсекелестік қабілетінің көрсеткіші болып табылады. Қоғамдық өмірдің әр саласында да, ғарышта да жоғары технологиялы күрделі наножүйелерді дамыту елдің ұлттық артықшылығын қамтамасыз ете алады.

**6.** Екіөлшемді наноjarғақтан жасалған жеңіл айналарды қолдану жоғары жиілікті аса өткір рентгендік сәулелерден жақсы қорғайды, өйткені мұндай айналар іс жүзінде рентген сәулелерін толығымен шағылдырады, ал басқа материалдар оларды өткізіп жібереді. Мұндай наноайналарды рентгендік телескоптарда қолдану, бір жағынан, ғарыштан келетін энергиясы 35 кэВ-ке дейінгі рентген сәулелерін шағылдыруға және фокустауға, екінші жағынан, аса алыстағы көздерден әлсіреп жеткен сигналдарды күшейтуге мүмкіндік береді. Мұндай айналардың қысқа толқынды сәулелерді шағылдыруы – айна қабатының қалыңдығы рентген сәулелерінің толқын ұзындығымен өлшемдес болуы арқылы түсіндіріледі.

Наноjarғақ айналарды рентгендік телескоптарда қолдану Ғаламның терең қойнауына, жекелеп алғанда Біздің Галактиканың центріне үңілуге мүмкіндік берді. Расында да, оптикалық телескоптар тым алыс ғарыштық объект сигналдарын қабылдай алмайды, өйткені жарықтың көрінерлік спектрлерінің электромагниттік толқындары галактикааралық және жұлдызаралық газ бұлттарында жұтылады. Ал өздерімен бірге мол ақпаратты таситын рентгендік сәулелердің электромагниттік толқындары Ғаламдағы жолын жалғастыра береді. Мысалы, таяуда «Чандра» рентгендік телескопы Біздің Галактиканың қойнауынан 26 жарық жылына тең жол жүріп келген ақпаратты тіркеді. Бұл ақпараттар Галактиканың центрінде жұлдыздардың сығылуы немесе кеңеюі, бір жұлдыздың екіншісін жұтып қоюы сияқты таңғажайып құбылыстардың орын алатынын көрсетті. Галактиканың центрлік бөлігінен рентген сәулелерін шығаратын 1000-нан аса объектілер тіркелді, олардың ішінде *қара құрдымдар, ақ ергежейлілер*

мен *нейтрондық жұлдыздар* да бар. Жаңадан көзге түскен объектілердің ішінен тек 20-сы ғана бұрыннан белгілі болатын. Осындай жетістіктердің барлығына нанотехнология мен наноматериалдарды қолданудың арқасында қол жеткізілді.

### Сұрақтар

1. Нанотехнологияның қысқаша анықтамасы қандай, оның мән-мағынасы неге саяды? Кімдердің еңбектері нанотехнологияның дамуына түрткі болды?
2. Қандай материалдарды наноматериалдар деп атайды? Нанокристалды материалдар наноэлементтердің өлшемдері бойынша қандай түрлерге бөлінеді? Кластерлердің рөлі неге саяды?
3. Қандай объектілер фуллерен, нанотүтік және графен деп аталады? Нанотүтік пен графеннің аса берік болуы қандай құбылыстың негізінде түсіндіріледі және бұл құбылыс практикада қандай қолданыс тапты?
4. Кристалдық дәнектердің өлшемдеріне қарай наноматериалдар қалай жіктеледі?
5. Нанотехнологияның ғылымдағы, техникадағы және өндірістегі негізгі жетістіктері қандай?
6. Наноқабатты айнаға негізделген рентгендік телескоптардың артықшылығын қалай түсіндіруге болады?

## § 10.2

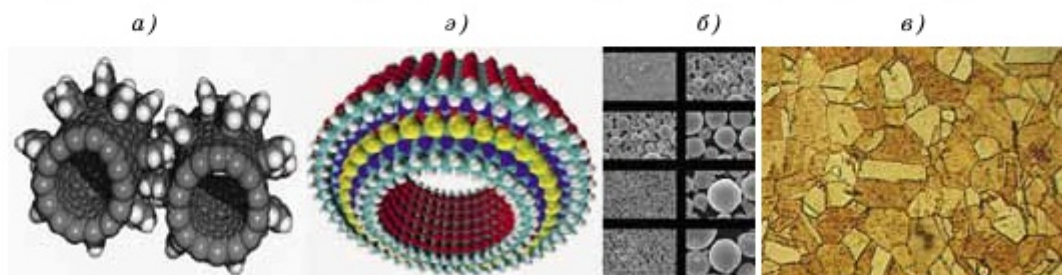
### Наноматериалдардың физикалық қасиеттері және оларды алу тәсілдері

1. Материалдардың қасиеттері үш жағдайда өзгереді: теория мен практикадан белгілі болды. **Біріншіден**, біз 7-сынып физикасында қатты кристалл денелердің құрылымын зерделей отырып, заттың *кристалдық торының формасына (пішініне)* қарай оның қасиеттерінің мүлдем түрліше болатынына көз жеткіздік. Шынында да, әртүрлі үш дене: көмір (графит), фуллерен және алмас бір ғана зат — көміртек атомдарынан тұрады. Алайда олардың кристалдық торлары әртүрлі болғандықтан қасиеттері де бір-біріне мүлдем ұқсамайды. **Екіншіден**, заттың қасиеттері оның кристалдық торларының пішіндеріне ғана емес, *құрылымдық элементтерінің (бөлшектерінің, дәнектерінің) өлшемдерінің шамаларына* да тәуелді болатыны анықталды. **Үшіншіден**, заттардың молекулалық кластерлеріне енгізілген бөтен *химиялық элементтердің қоспа атомдары* да көдімгі материалдар сияқты наноматериалдардың да қасиеттерін күрт өзгертеді. Расында да, темірдегі қоспа атомдардың тегі мен мөлшерлеріне қарай қасиеттері едәуір өзгерген не болаты немесе шойынды, немесе брондалған қорытпаны алуға болады.

Нанотехнология атомдар мен молекулаларды жылжыта отырып, кез келген өлшемді және пішінді наноматериалды жасауға мүмкіндік береді. Атомдарды



бір-бірлеп жинаған мұндай жасанды наноматериалдардың немесе наномашина саймандарының (10.2.1, *a*-сурет және *ә*-сурет) бізге белгісіз сан алуан қасиеттерінің болары ақиқат. Осыған байланысты соңғы онжылдықтарда дәнектері өте ұсақ көлемді денелер мен үгінді ұнтақ тәріздес материалдарды зерттеуге деген қызығушылық арта түсті. Күтілгендегідей-ақ, денелердің (әсіресе металдардың 10.2.1, *в*-сурет) құрылымдық элементтерінің (бөлшектерінің, дәнектерінің) өлшемдерін белгілі бір шекті шамадан кішірейткенде олардың қасиеттерінің едәуір өзгеретіні байқалды. Нақтырақ айтар болсақ, кристалдық дәнектердің орташа өлшемі 100 нм-ден кемігенде материалдардың қасиеттерінің өзгеретіні байқала бастайды, ал дәнектің өлшемі 10 нм-ден де кем болғанда өзгеріс айқын орын алады.

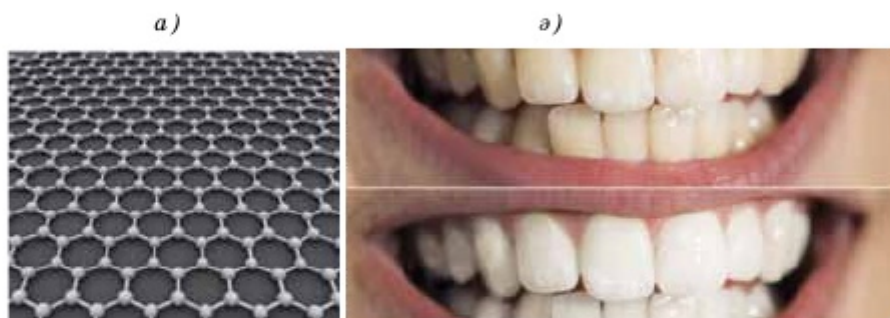


10.2.1-сурет. *a*) нанотісті дөңгелектер; *ә*) нанопарикті подшипник; *б*) әртүрлі өлшемді нанобөлшектер (ұнтақтар); *в*) көпдәнекті поликристалдық мыс

**2. Наноматериалдар таңғаларлық қасиеттерімен ерекшеленеді.** Мысалы, үйреншікті металл немесе полимерлік түтіктермен салыстырғанда бірөлшемді нанотүтіктің (10.1.1, *ә*-сурет) керемет берік әрі жеңіл болатынын зерттеулердің нәтижелері айғақтады. Кейбір материалдардың нөлөлшемді нанобөлшектері жоғары каталитикалық және адсорбциялық қасиеттерімен ерекшеленеді. Органикалық материалдардың шалаөткізгіштік қасиеттері бар екіөлшемді өте жұқа нано жарғақтарын күн батареяларын жасау үшін қолданады. Мұндай батареялар өте иілгіш механикалық қасиеттерімен де, арзанқолдылығымен де құнды. Наноматериалдар мен нанобөлшектердің табиғи объектілермен, мысалы, наноөлшемді ақуыздармен және нуклеиндік қышқылдармен, сондай-ақ басқа да биологиялық жасушалармен немесе басқа да объектілермен үйлесімді кіріге алуы олардың ең тамаша қасиеттерінің бірі болып саналады.

Көміртек атомдарының жалаң қабатынан ғана тұратын экологиялық таза екіөлшемді графен де (10. 2.2, *a*-сурет) керемет қасиеттерімен ерекшеленеді. Графенге негізделген нано жарғақтар суды серпіп тастап, металдарды коррозиядан, ал маржандай тістерді өздігінен тазартып (10.2.2, *ә*-сурет), бұзылудан сенімді қорғайды. Мұндай материалдар қазіргі өндірісте қолданылатын хромның қосындыларына қарағанда улы да емес, олар сияқты күшті қышқылдарды қолдануды да қажетсінебейді. Графен жарғағы өте жұқалығына қарамастан, суды өткізбейді; металды (мысалы, темірді) тотықтыратын электрхимиялық реакцияларды жақсы тежейді.

Графеннің осындай қасиеттері әртүрлі бұйымдардың беттерін қорғау үшін жоғары технологиялық «лак» шығару өндірісінде қолданылады.



10.2.2-сурет: а) графеннің наножазғарғағы; б) «ақылды» наножазғарғақ тісті сақтайды

**3. Наноматериалдарды алудың әртүрлі әдіс-тәсілдері бар.** Ғылыми әдебиеттерде *мұндай әдістерді екі топқа бөледі.*

Бірінші топқа *нанокристалдық ұнтақтарды синтездеуге және оқшауланған нанобөлшектерді* алу үшін қолданылатын әдістер жатады. Оларға мына әдістер мен тәсілдер кіреді: *газ фазасындағы синтез (бу конденсациясы), плазмалық-химиялық синтез, коллойдтық ерітінділерден шөгінділеу, термиялық ыдырату және қайыра қалыптау, детанациялық синтез және электрлік жарылыс, өздігінен тарайтын жоғары температуралық синтез.*

Екінші топқа *жинақы наноматериалдарды* алу үшін қолданылатын әдістер жатады. Оларға мына әдістер мен тәсілдер кіреді: *микролитография, плазмалық электр разряды, наноұнтақтарды жинақтау, тағанға шөгінділеу, аморфты балқыламаларды кристалдау, қарқынды пластикалық деформация, тәртіпсіздікті тәртіптілікке түрлендіру.*

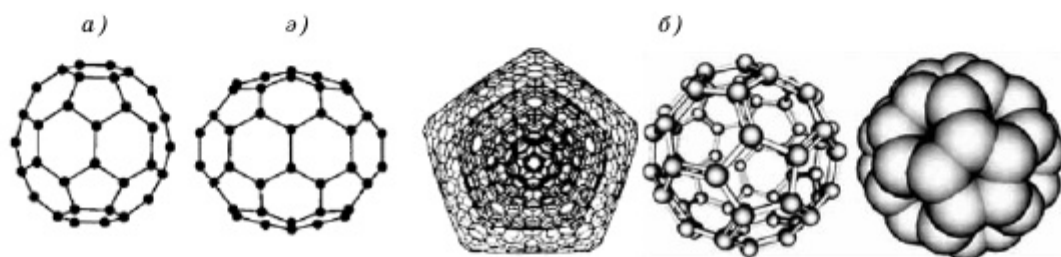
Қазіргі кезде жоғарыда көрсетілген әдіс-тәсілдерден тек микролитография әдісі ғана өндірісте қолданылады. Бұл тәсіл матрицалық бетке өлшемі 50 нм-ден асатын ойдым-ойдым жалпақ объектілерді алу үшін электроникада қолданылады. Басқа әдістер әзірше тек ғылыми зерттеу мақсаттарына ғана қызмет етеді. Солардың ішінде *иондық және молекулалық қабаттастыру әдісінің* болашағы зор деп есептеледі, өйткені бұл әдістің көмегімен моноқабатты да, көпқабатты да нанообъектілер алына бастады. Бұларға қоса фуллерен молекулаларын және олардың негізінде басқа да наноматериалдарды алу үшін графит электродтарының арасындағы *плазмалық электр разряды әдістері* кең қолданыс табуда.

Нанобөлшектердің көптеген физикалық және химиялық қасиеттері олардың өлшемдеріне тәуелді өзгертіндіктен, соңғы жылдары *нанобөлшектердің өлшемдерін анықтау әдістеріне* де зор көңіл бөлініп келеді. Ондай әдістерге мыналар жатады: *нанобөлшектердің траекторияларын талдау, электрондық микроскопиялық әдіс, ультрадыбыс әдістері* және басқалар.



4. Фуллерендік молекулалық кластерлер негізінде *наноматериалдарды алу тәсілдеріне қарай олардың физикалық қасиеттерінің қалай өзгеретінін қарастырайық*. Наноқұрылымды молекулалық кластерлер ішінде көміртектің графит пен алмасқа мүлде ұқсамайтын жаңа құрылымы — *фуллерен* айрықша орын алады. Фуллерендерді ашқаны үшін Р. Кёрл, Х. Крото және Р. Смолли 1996 жылы химия саласы бойынша Нобель сыйлығын алды.

Көміртекті молекулаларды қысымы  $10^4$  Па гелий атмосферасында графитті электр доғасы арқылы тозаңдату әдісімен алады. Фуллерен  $C_{60}$  молекуласы (10.2.3, а-сурет) көміртектің 60 атомынан құралады, атомдар іші қуыс сфера бетіндегі 5 және 6 бұрышты көпбұрыштардың түйіндерінде орналасады. Құрылымы осындай шатырды (куполды) америкалық сәулетші Бакминстер Фуллер Монреалдағы ЭКСПО-67 көрмесінде АҚШ павильонын салуда қолданған болатын. Көміртек молекуласының жаңа құрылымы Б. Фуллер ұсынған құрылымға ұқсас болғандықтан, сәулетшінің құрметіне *фуллерен* деп аталды.



10.2.3-сурет. Фуллерендер және фуллеренге ұқсас молекулалар

Екі көмір электродтарының арасында электр доғасы жанғанда қара құрым (күйе) пайда болып, салқын бетке шөгеді. Шөгінді құрымды жинап алып, толуолда немесе бензолда қайнатып суынан арылтады. Ерітінді суалғаннан кейін оның түбінде қалған қорытқының (конденсаттың) 10–15% -ға жуығы көміртектің 60 атомынан тұратын  $C_{60}$  фуллерен молекулаларынан және көміртектің 70 атомынан тұратын фуллерен  $C_{70}$  молекулаларынан тұрады. Фуллерендердің  $C_{60}$  бірінші молекуласының пішіні футбол добына (10.2.3, а-сурет), ал  $C_{70}$  екінші молекуласының пішіні бейсбол добына ұқсайды (10.2.3, б-сурет). Фуллерендердің басқа да құрылымдары бар (10.2.3, б-сурет).

5. *Фуллерендер арасында ең басты орынды  $C_{60}$  молекуласы алады*, өйткені ол жоғары симметриялылығымен және одан туындайтын тұрақтылығымен ерекшеленеді.  $C_{60}$  молекуласының диаметрі 0,7 нм-ге жуық. Ол ерітіндіден немесе газ фазасынан шөгеріліп кристалданғанда, оның молекулалары жақтарына центрленген кристалл (ЖЦК) түзеді. Осындай  $C_{60}$  фуллерендерден құралған қатты денені *фуллерит* деп атайды.

Фуллериттер ғажайып қасиеттерге ие. Мысалы, кристалдық фуллериттер фотоөткізгіштігі жоғары *жартылай өткізгіштер* болып табылады. Ал оларды сілтілі



металдардың атомдарымен диффузиялық қақтаса, онда олар өткізгішке тіпті 30 К (одан да жоғары) температурада *асқын өткізгішке* де айналады. Кристалдық фуллерит 20 ГПа қысымда бөлме температурасында да алмасқа түрленеді, ал 1500 К температураға дейін қыздырғанда алмасқа айналдыру үшін 7 ГПа қысым да жеткілікті болады. Салыстырмалы түрде айтсақ, кәдімгі графит 30–50 ГПа қысым түсіріп, 900 К температурадан асыра қыздырғанда ғана алмасқа түрлене алады.

6. Таяуда жүргізілген зерттеулердің нәтижелері көрсеткеніндей, родий химиялық элементінің атомдары қосылған полимерленген фуллерен ( $\text{Rh-C}_{60}$ ) ромбоэдрикалық құрылым түзейді де, бөлме температурасында ферромагниттік қасиетті иеленеді. Фуллерендерге ұқсас молекулалары бар мұндай көміртекті құрылымның магниттік қасиеттері ферромагнетиктердегі сияқты гистерезис қисықтарымен сипатталады. Қыздырғанда және полимеризациялық күйден шығарғанда  $\text{Rh-C}_{60}$  кристалы ферромагнетиктік қасиетін жоғалтады, оған 500 К Кюри температурасы сәйкес келеді.

2001 жылы ғалымдар фуллеренге ұқсас формадағы  $\text{C}_{48}\text{N}_{12}$  молекуласын алды (10.2.3, б-сурет). Кәдімгі  $\text{C}_{60}$  фуллерен молекуласымен салыстырғанда  $\text{C}_{48}\text{N}_{12}$  молекуласындағы көміртегі атомдарының бестен бір  $\left(\frac{1}{5}\right)$  бөлігін азот атомы құрайды. Егер  $\text{C}_{60}$  молекуласындағы атомдар бір-бірімен әлсіз Ван-дер-Ваальс күштерімен байланысса,  $\text{C}_{48}\text{N}_{12}$  молекуласындағы атомдар азот атомдарының енгізілуі салдарынан күшті ковалентті байланысқа түседі. Сөйтіп, фуллеренге ұқсас  $\text{C}_{48}\text{N}_{12}$  молекулаларынан тұратын кристалдың беріктігі онан сайын арта түседі де, эластикалық қасиетін де сақтайды.

Әр молекуласындағы көміртегі атомдарының саны 60-тан кем болатын фуллерендік кластерлердің тұрақтылығы төмендеуі. Алайда теориялық зерттеулер көрсеткеніндей, фуллерен молекуласындағы көміртегі атомдарының біразын басқа элементтердің (мысалы: титанның, мыстың т.с.с.) атомдарымен ауыстырса, онда көміртекті молекулалардың тұрақтылығы күрт артады. Осындай молекулалық кластерлерді іздестіру 1992 жылы тұрақтылығы аса жоғары оң зарядталған  $\text{Ti}_8\text{C}_{12}^+$  молекуласын ашуға әкелді. Бұл молекуланың 12 бесбұрыштан тұратын сфералық бетінде титан мен көміртектің 20 атомы орналасқан. Әрбір бесбұрыштың екі төбесінде титанның, ал үш төбесінде көміртектің атомдары жайғасқан.

$\text{Ti}_8\text{C}_{12}$  нанокластері плазмалық химиялық әдіспен газ фазасындағы атомдарды синтездеу (біріктіру) жолымен алынды. Инерттік газ ретінде гелий қолданылды, реагенттер қатарын көмірсутектілер (метан, этилен, ацетилен т.б.) және титанның буы құрады. Реактордағы газ қоспасының қысымы 93 Па (0,7 мм сын.бағ.) шамасындай. Айналып тұрған титан сымын буландыру үшін толқын ұзындығы 532 нм лазер сәулесі қолданылды. Реакция өнімдерінің ішіндегі нейтрал және иондалған кластерлер бөлініп алып, масс-спектрметрдің

жәрдемімен сарапталып талданды. Реакция өнімдерінің масс-спектрлерінде  $Ti_8C_{12}$  молекуласына сәйкес келетін үшкір құрылымдар анық көрінді.  $Ti_8C_{12}$  нейтрал молекулаларымен қатар, иондалған газдар қоспасынан тұрақты  $Ti_8C_{12}^+$  ионы да табылды.



### Сұрақтар



1. Бір ғана заттың (химиялық элементтің) атомдарынан құралған материалдардың қасиеттерінің әртүрлі болуын қалай түсіндіруге болады? Наноқұрылымды материалдарды зерттеуге қызығушылық неге туды?
2. Кәдімгі материалдармен салыстырғанда нанобөлшектер, нанотүтіктер және наножарғақтар қандай қасиеттерімен ерекшеленеді?
3. Наноматериалдарды алудың қандай әдіс-тәсілдері бар және олар қалай топталады?
4. Көміртекті кластерлерді кім және қашан ашты? Наноматериалдарды жасауда көміртекті кластерлер қандай рөл атқарады?
5. Көміртекті кластерлердің қандай құрылымдық түрлері бар, неге олар фуллерен және фуллерит аталған, өзгешеліктері неде?
6. Қай молекулалық кластерлер фуллеренге ұқсас молекулаларға жатады, оларды қандай әдіс-тәсілдермен алады және айрықша қасиеттері қандай?



## § 10.3

### Наноматериалдардың даму болашағы және проблемалары

1. XXI ғасырдың бірінші жартысындағы ғылыми-техникалық өркениетті үш технологиялық топ қамтамасыз етеді. Олар: *1) компьютерлік технология мен электроника; 2) биотехнология және 3) нанотехнология*. Болжам бойынша компьютерлік технология мен электроника өз шарықтауына 2035 жылға қарай жетеді; 1968–1973 жылдары туындай бастаған биотехнологияның берері 2025–2035 жылдар аралығында аса мол болмақ, ал нанотехнология 2045–2055 жылдары ғылыми-техникалық дамудың негізгі қозғаушы күшіне айналады.

Нанотехнология мен наноматериалдарға байланысты көптеген идеялар бүгінгі таңда талданып қана қоймай, практикалық қолдану кезеңін де бастарынан кешіруде. 2025 жылдың өзінде-ақ нанотехнологиялар негізінде жасалған алғашқы *роботтанған ассемблерлер* шығарылады деп күтілуде. Олар теория жүзінде дайын атомдардан кез келген нәрсені құрастыруға қабілетті болмақ. Ол үшін компьютерде қалаған өнімді жобаласа болғаны, нанороботтардың құрастырушы кешені оны жинай да, көбейте де алады.

2. Жасанды нанообъектілердің қолданыс аясының болашақтағы даму барысы да күтілмеген таңғаларлық нәтижелер беруі мүмкін. Осыған орай ең керемет

деген фантастикалық идеяларды жүзеге асыру дәуірінің жақындауы ғалымдардың құлшынысын да, күштарлығын да арттыра түсуде. Шынында да, наноматериалдардың ғажайып қасиеттері қазірдің өзінде ғылым мен техниканың және өндірістің көптеген салаларында қолданыла бастады. Оларға мысал ретінде мына деректерді келтіре кетейік.

**Тез тазаратын наноматериалдар** тұрмыста, сәулет өнерінде, сүт және тамақ өнеркәсібінде, көлік индустриясында, санитарияда қолданыс табады. Осы мақсатта *өздігінен тазаратын шыныларды, аурухана жабдықтары мен аспаптарын, тағамдардың өңезденіп бұзылуына қарсы жапқыштарды, жеңіл тазаратын әртүрлі ас және қыш ыдыстарын шығару өндірісі жандану үстінде.*

**Оптика нанотехнологияның қолданыс аясының бірі** ретінде *электрхромика және оптикалық шынылар өндірісін қамтиды; бұл салалар бойынша фотохромдық оптика, тез тазаратын оптика және жарықталғыш оптика сияқты жаңа бағыттар дами бастады.*

**Наноматериалдарды керамикалық өндірісте қолдану** жоғары сапалы таңбалық пасталарды, пигменттерді, наноцнтақтарды, микробөлшектерді, мембраналарды алуға мүмкіндік берді.

**Компьютерлік техника мен электроника нанотехнологияның негізгі қолданыс аясына айналып, аса сезімтал наносенсорлардың, тұрмыстық микрокомпьютерлердің, көру құралдарының, энергия түрлендіргіштерінің, сымсыз байланыстардың, кванттық және басқа да нанотехнологиялық компьютерлердің дамуына қуатты серпін береді.** Нақ осы электроника саласында ХХ ғасырдың 90-жылдарында жекелеген атомдарды қалаған бағытта қозғалтып алғашқы нәтижелер алынды, тұңғыш жасанды наноэлементтер шығарылып, олардан белгілі бір құрылымдар жинақталды. Ал 2010 жылдан бастап көлемі ондаған гигабайт болатын ақпараттарды «естерінде» сақтайтын наноэлектрондық чиптер (құрылғылар) өндіріле бастады.

**Медицина саласында да наноматериалдарды қолдану негізінде «ақылды» протездер мен аспап-жабдықтар шығару, нанокапсулалар мен диагностикалық нанозондтарды және имплантанттарды даярлау, сондай-ақ бағыттала әрекет етуші фармацевтика өндірісі дами бастады.**

**Ғарыш саласы да наноматериалдарды қолданатын алып алаңға айналады.** Күн энергиясының механикалық-электрлік түрлендіргіштерін нанотехнология мен наноматериалдар негізінде дамытуға ұлан-ғайыр жол ашылады. Ғарыш кешендері үшін массасы 20 кг-нан аспайтын, қызметтерін де әрі сапалы, әрі сенімді орындайтын шағын серіктер мен басқа да аппараттар жасалатын болады. Соған сәйкес материалдық және қаржылық шығындар да қысқарады.

**3. Наноматериалдардың даму болашағы мен проблемалары туралы сөз қозғағанда мына негізгі үш бағытқа көңіл аударады:** 1) өлшемдері молекула және атомдармен салыстыруға болатын активті наноэлементтері бар электрондық сұлбаларды даярлау; 2) атомдар мен молекулаларды бір-бірлеп қозғалта отырып,



олардан жаңа материалдар мен құрылымдарды және құрылғыларды жиыстыру; 3) наномашиналарды, яғни өлшемдері молекулалармен шамалас механизмдер мен роботтарды талдап даярлау. Көрсетілген бағыттардың ішіндегі ең басты проблема — наноөнімдерді көптеп шығаратын нанофабрикаларда жұмыс істей алатын «ақылды» **нанороботтар** мен **наномашиналарды** (ортақ атауы – **наноботтар**) шығару болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін адамзат мына үш мәселені шешуге тиіс:

1) молекулаларды жөндей алатын нанороботтарды талдамалап жобалау және жасау;

2) нанороботтар мен басқа да наномашиналарды басқаратын нанокомпьютерлерді талдамалап жобалау және жасау;

3) адам денесіндегі барлық молекулалардың толық сипаттамасын жасау, осылайша атомдық деңгейде барлық адам мүшелерінің картасын ала отырып, олардың ауруға шалдығып бұзыла бастағандарын емдеу немесе айырбастау.

Осындай жұмыстардың барлығын жалықпай атқаратын нағыз еңбекқор «тұлғалардың» рөлін «ақылды» нанороботтар атқаратын болады.

**Наноробот деп өлшемдері молекула өлшемдерімен қарайлас наноэлементтерден жасалған роботты атайды, ол атомдарды бір-бірлеп қозғау, молекулаларды өңдеу, ақпаратты жіберу және компьютерлік бағдарламаларды орындау қызметтерін атқарады.**

**Өз нұсқасын жасауға, яғни өзіндей роботты туғызуга қабілетті нанороботтарды репликаторлар дейді.** Мұндай **репликаторлар** тағамдарды өндіре алады, сөйтіп, өсімдіктер мен жануарларды бұл жұмыстардан «босатады». Мысалы, аралық бөлік — сиырды жөніне қалдырып, сапалы сүтті бірден атомдардан құрастырылып алынған өсімдіктерден алуға болатынын теория теріске шығармайды. Сөйтіп, келер заманда кез келген нәрселер мен тағамдарды Жерде де, тіпті алыстағы басқа планеталарда да «ақылды» репликаторлар даярлайтын болады. Міне, осындай «ақылды» наномашиналар мен нанороботтар, бұдан үш ғасыр бұрын Бұқар жырау жорыта толғанындай: «Ай нұрын ұстап мініп, жұлдыз аралап жүрсе де, арманға тоймас адамзаттың» өзге планеталарды да «сарыжайлауға» айналдырсам деген асыл арманын жүзеге асыруға жетелейді. Адамдар жайлайтын осындай құрылыстарды орбита мен мұхиттарда да, жер беті мен ауада да автоматты салу күндері де алыс емес (сарапшылар мұндай құрылыстар 2025 жылдан бастау алады деп болжайды).

**4. Нанороботтарды талдамалап зерттеу** жұмыстары таяуда ғана басталса да, жаңалықтарды ашу қарқыны тым жоғары. Көптеген ғалымдардың пайымдауы бойынша осы бағыттағы зерттеу нәтижелері нанотехнология мен наноматериалдардың жарқын болашағын анықтайды. Зерттеулердің негізгі проблемаларының бірі — өлшемдері нанороботтан да ондаған есе кіші болатын **молекулалық ротор, молекулалық пропеллер және молекулалық тісті дөңгелек** (10.2.1, а-сурет) сияқты оның маңызды бөліктерін талдамалап жасауға тіреледі.

**Молекулалық ротор** наноөлшемді синтетикалық қозғалтқыш болып табылады; ол энергияның белгілі бір мөлшерін алып, айналдырушы момент туғызуға қабілетті болуы қажет.

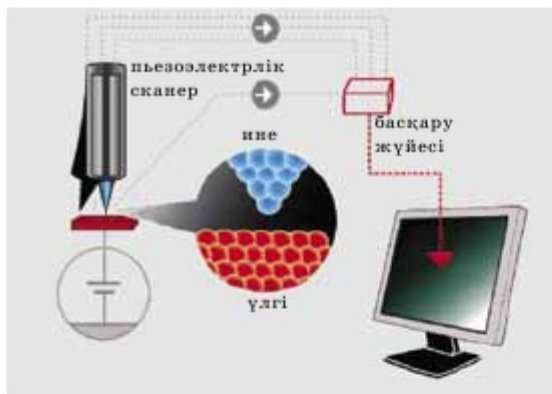
**Молекулалық пропеллер** — бұл винт түріндегі наноөлшемді молекула; ол макрокопиялық винттің формасына ұқсас өзінің арнайы формасы арқасында айналмалы қозғалыс жасауы тиіс.

5. «Ақылды» молекулалық роботтардың жарқын болашағын ғалымдар мен конструкторлар **сканерлейтін туннельдік және атомдық-күштік микроскоптардың** технологиялық жаңартуларымен байланыстырады. 1980 жылы жасалған **сканерлейтін-туннельдік микроскоп** және кейінірек шыққан **атомдық-күштік микроскоп** ғалымдарға атомдарды түстеп бөлуді ғана емес, олардан жаңа құрылымдарды жинауға да мүмкіндік береді. Алғашқы сканерлейтін-туннельдік микроскопты жасап шығарған ғалымдар Герд Бинниг пен Генрих Рорер болатын (10.3.1-сурет); оларға нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскопты ойлап тапқандары үшін 1986 жылы Нобель сыйлығы тапсырылды.



10.3.1-сурет.

Герд Бинниг пен Генрих Рорер және СТМ-нің бірінші нұсқасы



10.3.2-сурет. Сканерлейтін туннельдік микроскоп құрылымының сұлбасы

Сканерлейтін туннельдік және атомдық-күштік микроскопияларды біріктіріп, **зондтық микроскопия** деп жиі атайды.

**Сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ)** — бұл нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд (ине) пен ток өткізгіш наноматериал (үлгі) атомдарының арасындағы (10.3.2-сурет) **электрондық тоқтың** шамасын тіркеуге негізделген.

**Атомдық-күштік микроскоп (АКМ)** — бұл да нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд (ине) пен үлгі атомдарының арасындағы **Ван-дер-Ваальстік өзара әрекеттесу күшінің** шамасын тіркеуге негізделген.

**Зондтық микроскопия** — бұл әртүрлі наноөлшемді зондтардың жәрдемімен зерттелетін беттің локальдік (нүктелік) бөлігіндегі механикалық, электрлік, магниттік және басқа да қасиеттерін анықтайтын әдістер жиынтығы. Зондық микроскопияда зонд (ине) зерттелетін үлгіге бірнеше ғана нанометр болатын арақашықтыққа дейін жақындатылады (10.3.2-сурет).

Тіркелетін сигналдың табиғатына қарай *электрондық-туннельдік микроскопияны* (сигнал ретінде тіркелген электрондық токтың шамасы алынады) және *атомдық-күштік микроскопияны* (сигнал ретінде тіркелген Ван-дер-Ваальс күшінің шамасы алынады) ажыратады. Сканерлік туннельдік микроскоп электр-өткізгіш беттерді зерттеу үшін, ал атомдық-күштік микроскоп электрөткізгіш беттер үшін де, өткізбейтін беттер үшін де қолданылады.

**6.** Тарауды қорытындылай келе, нанотехнологияның қоғамға тигізетін *сапалық өзгерістерін* айтып жеткізу де, бағалау да мүмкін емес екенін баса айтқымыз келеді.

Нанобөлшектер мен наноматериалдарды алу, құрылымдары мен қасиеттерін зерттеу, нанообъектілермен жұмыс істеудің әдіс-тәсілдерін талдау, оларды әртүрлі жүйелер мен аспаптарда қолдану — міне, осылардың барлығы да физика немесе химия сияқты бір ғана ғылымның ауқымына сыймайды. Заттардың наноқұрылымдық күйлері туралы ғылым — осы уақытқа дейінгі барлық ғылымдардың зерттеу әдістері мен амалдарының біреуін де қалдырмай қолданатын кешенді пәнаралық ғылым болып табылады. Нанотехнология мен наноматериалдар туралы кешенді ғылым болашақта өнеркәсіптің барлық салаларын түбегейлі өзгертіп, қайыра құрады; ғылыми-техникалық және өнеркәсіптік төңкеріс жасап, адамдардың өмір сүру сапасын күшейтеді, табиғат туралы көзқарасын өзгертеді.

Нанотехнология басқа да озық технологиялармен біріге отырып, тіпті ғылыми-техникалық өркениеттен шетқақпай саналатын музыка, әдебиет, балет, театр, сәулет өнері сияқты салаларда да нағыз гажайыптар туғызуы мүмкін. Мысалы, 2001 жылы жапон ғалымдары озық лазерлік технологияларды қолданып, әлемдегі ең кішкентай скульптура жасап шығарды. Ол жойқын шабуыл жасау үшін шұғыл бұрылып, аласұра ұмтылған бұқаның кескінін бейнелейді. «Микро-бұқаның» өлшемдері таңғаларлықтай: ұзындығы 10 мкм, биіктігі 7 мкм, яғни адам қанындағы қызыл түйіршіктердің өлшемдерінен аспайды. Оны тек аса қуатты микроскоппен ғана көруге болады.

### Сұрақтар

1. XXI ғасырдың бірінші жартысында ғылыми-техникалық өркениетті қай технологиялар қамтамасыз етеді?
2. Наноматериалдар ғылым мен техниканың және өндірістің қандай өзекті салаларында қолданыс таба бастады?
3. Нанотехнологияның даму бағыттарының қайсысы ең өзекті саналады? Осы бағыттарда қандай мәселелерді шешу қажет?





4. Қай мәселе ең күрмеулі проблема болып табылады? Нанороботтар, нанореплика-торлар деп қандай құрылымды айтады?



5. Нанотехнологияның негізгі проблемасын шешуде зондтық микроскопияның рөлі қандай? Сканерлейтін туннельдік және атомдық-күштік микроскоптардың жұмыс істеу принциптері қандай физикалық құбылыстарға негізделеді?

6. Нанотехнологияны не үшін кешенді пәнаралық ғылым деп атайды?



### Тапсырмалар

Мына жобалық тақырыптардың біріне қысқаша реферат жазыңдар:

- 1) «Мен нанотехнология маманы боламын»;
- 2) «Наноматериалдардың мені таңдандырған қасиеттері»;
- 3) «Нанотехнология мен наноматериалдардың ең қызықты қырлары».

## Х ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

• **Нанобөлшек** — өлшемдері нанометрмен өлшенетін молекулаларға қарайлас бөлшек.

• **Нанотехнология** — жекелеген атомдар мен молекулалардың деңгейінде жұмыс істеу техникасы.

• **Наноматериалдар** — нанобөлшектер мен наноэлементтерден (кристаллиттерден, дөнектерден) құрастырылған әртүрлі нәрселер.

• **Графен** – көміртек атомдарының бірқабатты жарғағы.

• **Нанотүтіктер** — бір немесе бірнеше қабатты графендерден тұратын созылыңқы цилиндрлік құрылым.

• **Фуллерен** — көміртектің 60 атомынан құралған доп тәріздес тұрақты молекула.

• **Микролитография** — электроникада қолданыс тапқан нанотехнологияның кең тараған әдісі.

• **Наноробот** — өлшемдері молекула өлшемдерімен қарайлас наноэлементтерден жасалған робот, ол атомдарды бір-бірлеп қозғау, молекулаларды өңдеу, ақпаратты жіберу және компьютерлік бағдарламаларды орындау қызметтерін атқарады.

• **Зондтық микроскопия** — әртүрлі наноөлшемді зондтардың жәрдемімен зерттелетін беттің локальдік (нүктелік) бөлігіндегі механикалық, электрлік, магниттік және басқа да қасиеттерін анықтайтын әдістер жиынтығы.












• **Сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ)** — нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд пен ток өткізгіш үлгі атомдарының арасындағы электрондық токтың шамасын тіркеуге негізделген.

• **Атомдық-күштік микроскоп (АКМ)** — нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп, оның жұмыс істеу принципі зонд пен үлгі атомдарының арасындағы *Ван-дер-Ваальстік өзара әрекеттесу күшінің* шамасын тіркеуге негізделген.

# 11-тарау

# КОСМОЛОГИЯ

## ТАРАУДАҒЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ОҚУ МАҚСАТТАРЫ:

-  жұлдыздардың басты спектрлік кластарын сипаттау;
-  көрінерлік жұлдыздық шама және абсолюттік жұлдыздық шама ұғымдарын ажырату;
-  көрінерлік және абсолюттік жұлдыздық шамаларды анықтау үшін формулаларды қолдану;
-  Күннің сәуле шығаруын сипаттау үшін Стефан–Больцман және Вин заңдарын қолдану;
-  жұлдыздар эволюциясын түсіндіру үшін Герцшпрунг–Рассель диаграммасын қолдану;
-  қара құрдымдар, нейтрондық жұлдыздар және асқынжаңа жұлдыздардың қасиеттерін сипаттау;
-  арақашықтықты анықтау үшін «қалыпты шырағандар» әдісін пайдалануды сипаттау;
-  Ғаламның үдемелі кеңеюі және қараңғы энергия төңірегіндегі талас-тартыстарды талқылау;
-  астрономиялық бақылаулардың деректеріне сүйене отырып, Ғаламның үдемелі кеңеюі туралы болжамды талқылау;
-  Хаббл заңын қолданып, Ғаламның жасын бағалай алу;
-  микротолқынды фондық сәулелену туралы деректерді қолданып, Үлкен Жарылыс теориясын түсіндіру.

## Тараудағы физика терминдерінің үш тілдегі минимумы

| Қ а з а қ ш а    | О р ы с ш а       | А ғ ы л ш ы н ш а |
|------------------|-------------------|-------------------|
| жұлдыз           | звезда            | star              |
| жылдық параллакс | годовой параллакс | annual parallax   |
| Күн              | Солнце            | Sun               |
| фотосфера        | фотосфера         | photosphere       |



|                          |                      |                  |
|--------------------------|----------------------|------------------|
| Күн жүйесі               | Солнечная система    | Solar system     |
| планета                  | планета              | planet           |
| галактика                | галактика            | galaxy           |
| квazar                   | квazar               | quasar           |
| Метагалактика            | Метагалактика        | Metagalaxy       |
| Үлкен Жарылыс            | Большой взрыв        | Big Bang         |
| қараңғы материя          | темная материя       | dark matter      |
| қараңғы энергия          | темная энергия       | dark energy      |
| реликтивтік сәуле шығару | реликтовое излучение | relict radiation |
| орбиталық станция        | орбитальная станция  | orbital station  |

Бұл тарауда жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарына сәйкес мынадай физикалық ұғымдар қарастырылады: «жұлдыз», «жылдық параллакс», «Күн», «фотосфера», «Күн жүйесі», «планета», «галактика», «квazar», «Метагалактика», «Үлкен Жарылыс», «қараңғы материя», «қараңғы энергия», «реликтивтік сәуле шығару», «орбиталық станция».

## § 11.1

### Жұлдыздар әлемі. Жұлдыздарға дейінгі қашықтық

**1. Жұлдыз — қойнауында өтетін термоядролық синтез нәтижесінде жылу мен жарықты шығаратын массивті плазмалық шар.**

Жұлдыздарды *температурасы*, түсі және *спектрлік класы* арқылы ажыратады.

Спектрлік кластардың реті (сондай-ақ түсі) латын алфавитінің үлкен өріптерімен белгіленеді: O, B, A, F, G, K, M. Өр кластың өз ішіндегі солғын айырмашылықтар да 10 бөлікке 0 санынан бастап (ең ыстық жұлдыз) 9 санына дейін (ең суық) бөлінеді. 11.1.1-кестеде мысал ретінде өр кластағы кейбір жұлдыздар, олардың түсі, температурасы және қай шоқжұлдызда орналасқаны келтірілген.

## Кейбір жұлдыздардың сипаттамалары

| Спектрлік класы | Түсі           | Температурасы | Мысалы      | Шоқжұлдызы  |
|-----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| O               | Көгілдір       | 30 000 К      | Беллатрикс  | Орион       |
| B               | Ақшыл-көгілдір | 20 000 К      | Регул       | Арыстан     |
| A               | Ақ             | 10 000 К      | Сириус      | Үлкен төбет |
| F               | Ақ-сары        | 8 000 К       | Альтаир     | Бүркіт      |
| G               | Сары           | 6 000 К       | Күн         | –           |
| K               | Сарғыш         | 5 000 К       | Альдебаран  | Торпақ      |
| M               | Қызыл          | 3 500 К       | Бетельгейзе | Орион       |

Салқын жұлдыздардың спектрлерінде *молекулаларды жұту* жолақтары, ал жоғары температурада *бейтарап атомдарды жұту* жолақтары бар. Күннің спектрі *иондалған металдардың* бар болуын көрсетеді. Негұрлым ыстық жұлдыздарда *иондалған сутек* жолақтарының қарқындылығы артады, ең ыстық жұлдыздарда иондалған гелий басым.

Жұлдыздардың температурасын олардың спектрлеріндегі өртүрлі сызықтардың (жолақтардың) қарқындылығы бойынша, олардың үздіксіз спектріндегі энергияның таралуы бойынша да, тіпті жұлдыздардың түсі бойынша да анықтайды. Бақыланып отырған жұлдыздардың спектрі мен жарығын олардың сыртқы газды-плазмалы қабаттары шығаратындықтан, анықталған температура да, химиялық құрамы да тек олардың сыртқы бетіне ғана қатысты болып табылады. Жұлдыздардың ішіндегі температура күрделі теориялық есептеулер арқылы анықталады және ол миллиондаған градусқа жетеді.

**2. Жұлдыздың жарықтылығы ( $L$ ) деп оның бір секундта шығаратын толық жарық энергиясын айтады.**

Жарықтылықты ватпен өрнектеуге болады, бірақ оны көбінесе Күн жарықтылығымен ( $3,85 \cdot 10^{26}$  Вт) өрнектейді.

**Көрінетін жұлдыздық шама ( $m$ ) — ол бақылаушы тұрған нүктеге қанша жарық түсетінін көрсететін жұлдыз сипаттамасы.**

Жұлдыздардың көрінетін *жалтырауы* тек шынайы сәуле шығаруға ғана емес, Жерге дейінгі қашықтыққа да байланысты.

Бізден 10 пк қашықтықтағы жұлдыздың көрінетін жұлдыздық шамасы

**абсолюттік жұлдыздық шама** деп аталады ( $M$ ):

$$M = m + 5 - 5 \lg r, \quad (11.1)$$

мұндағы  $m$  — көрінетін жұлдыздық шама,  $r$  — парсекпен өлшенетін жұлдыздарға дейінгі қашықтық.

**Күннің абсолюттік жұлдыздық шамасы**  $M_K = +4,8^m$ . Күн 5-ші жұлдыздық шамадағы шағын өлсіз жұлдыз (**Күннің көрінетін жұлдыздық шамасы**  $m = -27^m$ ).

Қандай да бір жұлдыз бен Күннің жарықтылығы және жұлдыздық шамалары мына қатынаспен байланысады:

$$\frac{L}{L_K} = 2,512^{M_K - M}. \quad (11.2)$$

Күннің жарықтылығын  $L_K = 1$  деп қабылдап,  $L = 2,512^{M_K - M}$  аламыз.

Асқыналып жұлдыздардың сәуле шығару қуаты ( $M = -9^m$ ) Күннің сәуле шығару қуатынан 330 мың есе артық, ал солғын жұлдыздардың сәуле шығару қуаты ( $M = 19^m$ ) 480 мың есе кем.

Қызған дененің сәуле шығару спектрінде толқын ұзындықтарының үлкен аумақтары кездеседі. Бірақ дененің температурасы жоғары болған сайын оның сәуле шығару қарқындылығының ең үлкен шамасы толқынның қысқа ұзындығына сәйкес келеді. Математикалық түрде бұл **Виннің ығысу заңымен** сипатталады:

$$\lambda_{\max} T = b,$$

$b \approx 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  — **Вин тұрақтысы**. Күннің сәуле шығару максимумы 480 нм толқын ұзындығына сәйкес келеді (сондықтан оның температурасы 6000 К).

Сәуле шығару қуаты да **Стефан-Больцман заңы** бойынша температураға тәуелді:

$$\varepsilon = \sigma \cdot T^4,$$

мұндағы  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  — **Стефан-Больцман тұрақтысы**. Жұлдыздан келетін тұрақты энергияны өлшеп біле отырып, оның температурасын анықтайды.

**Жұлдыздардың радиусы** олардың жарықтылығы мен температурасы бойынша есептеледі. Стефан-Больцман заңын қолданып, қандай да бір жұлдыз бен Күн үшін жарықтылықтың формуласын жазуға болады:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4, \\ L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4,$$

мұндағы  $L$  және  $L_{\odot}$ ;  $R$  және  $R_{\odot}$ ;  $T$  және  $T_{\odot}$  — сәйкесінше жұлдыз бен Күннің жарықтылығы, сызықтық өлшемдері, абсолюттік температуралары.  $L_{\odot} = 1$  және  $R_{\odot} = 1$  деп алып, әрі алдыңғы екі теңдікті бір-біріне бөліп, мына өрнекті аламыз:

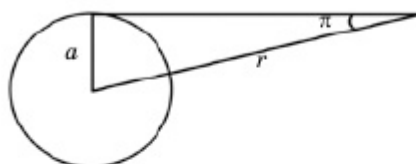
$L = R^2 \frac{T^4}{T_{\odot}^4}$ , бұдан **жұлдыздың радиусын анықтаймыз**:

$$R = \sqrt{L} \left( \frac{T_{\odot}}{T} \right)^2. \quad (11.3)$$



**3. Жұлдыздардың параллакслық ығысуы Жердің Күнді айнала қозғалысын дәлелдейді.**

Жұлдыздан Жер орбитасының радиусына перпендикуляр қараған кезде орбитаның  $a$  орташа радиусы ( $a = 1$  а.б.) толық көрінетін  $\pi$  бұрышы (11.1.1-сурет) жылдық параллакс деп аталады.



11.1.1-сурет. Жұлдызға дейінгі  $r$  қашықтықты анықтау

Жылдық параллаксты жұлдызды аспан-ның бір орнын жартыжылдықтың басында және ортасында суретке түсіре отырып,  $0,01''$  дейінгі дәлдікпен анықтайды.

Жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтағанда қолайлы болу үшін мына өлшем бірліктер қабылданған:

1) астрономиялық бірлік — Жерден Күнге дейінгі орташа қашықтық:

$$1 \text{ а.б.} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ м.}$$

2) парсек (параллакс, секунд) — Жер орбитасының орташа радиусы  $1''$  бұрышпен көрінетін қашықтық.

$$1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а.б.} = 3,26 \text{ жарық жылы} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

3) жарық жылы — жарықтың бір жыл ішінде өтетін қашықтығы.

$$1 \text{ жарық жылы} = 0,3069 \text{ пк} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63\,240 \text{ а.б.}$$

Жұлдызға дейінгі  $r$  қашықтықты (11.1.1-сурет) анықтайық:

$$r = \frac{a}{\sin \pi}; \sin 1'' = \frac{1}{206\,265} \text{ болғандықтан, өте кішкентай } \pi'' \text{ бұрышы үшін:}$$

$$r = \frac{206\,265}{\pi''} \text{ а.б.} = \frac{1}{\pi''} \text{ пк.} \tag{11.4}$$

4. Күн жүйесіне жақын жұлдыз Центавр Проксимасына дейінгі қашықтық  $4,24$  жарық жылына тең (автокөлік бұл қашықтықты тоқтаусыз  $100$  км/сағ жылдамдықпен  $40$  млн жылда өтеді).

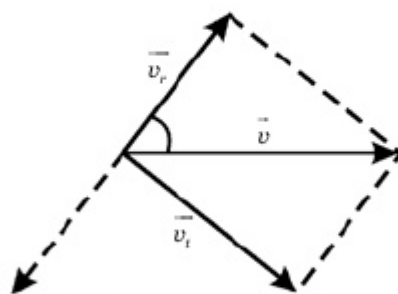
Аспандағы жұлдыздардың бұрыштық орын ауыстыруларын *меншікті қозғалыстары* деп атайды. Меншікті қозғалысты және жұлдыздарға дейінгі қашықтықты біле отырып, *тангенциалды жылдамдықты* анықтауға болады (11.1.2-сурет):

$$v_t = 4,74 \frac{\mu''}{\pi''} \text{ км/с,} \tag{11.5}$$

мұндағы  $\mu$  — меншікті қозғалыс, яғни аспан сферасында жұлдыздың бір жыл ішінде көрінетін бұрыштық ығысуы;  $\pi$  — жылдық параллакс.

$\Delta\lambda$  спектрлік сызықтардың ығысуын өлшеп, жұлдыздардың *сәулелік жылдамдығын* анықтауға болады:

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c. \tag{11.6}$$



11.1.2-сурет. Жұлдыздың  $v_t$  тангенциалды жылдамдығын анықтау

Жұлдыздардың *кеңістіктік жылдамдықтары* мына формуламен анықтайды:

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}. \quad (11.7)$$

Жұлдыздардың жылдамдықтары секундына ондаған километрді құрайды. Зерттелген жұлдыздардың ішінен жоғары жылдамдыққа Көгершін шоқжұлдызындағы өлсіз жұлдыз ие. Жұлдыздардың кейбірі (мысалы, Гиадтар) өзара тартылысы мен пайда болуының ортақтығына байланысты бірдей жылдамдықпен параллель қозғалады. Сонымен қатар жұлдыздар Галактика центрі төңірегінде айналады. Әр жұлдыздың меншікті жылдамдығы бар деуге болады. Күн *анекс* деп аталатын Геркулес шоқжұлдызы бағытында, аспан сферасының координаталары  $\alpha = 270^\circ$ ;  $\delta = +30'$  нүктеге қарай, көршілес жұлдыздармен салыстырғанда 19,4 км/с жылдамдықпен қозғалады.

Жұлдыздардың жылдамдықтарының жоғары болуына қарамастан, олардың аспандағы көрінетін орны өте баяу өзгереді. Біздің Жердегі өркениет уақыты ішінде шоқжұлдыздардың бәрі де өз орналасу қалыптарын елеулі өзгерткен жоқ.



### Сұрақтар

1. Жұлдыз деп нені айтады? Оларды қандай параметрлері бойынша ажыратады? Жұлдыздардың спектрлерінен қандай мағлұматтар алуға болады?
2. Жұлдыздар қандай шамалармен сипатталады? Оларды қалай анықтап тұжырымдайды?
3. Виннің ығысу заңы мен Стефан–Больцман заңын қандай мақсаттар үшін қолданады? Көрінетін жұлдыздық шаманың абсолюттік жұлдыздық шамадан айырмашылығы неде?
4. Жұлдыздың радиусын қалай анықтайды?
5. Жұлдыздарға дейінгі қашықтықты қалай анықтайды? Жұлдыздарға дейінгі қашықтықты анықтауда қандай бірліктер қолданылады? Жұлдыздың жылдық параллаксін анықтауда базис ретінде не алынады?
6. Жұлдыздың параллаксі арқылы оның абсолюттік жұлдыздық шамасын қалай анықтайды? Жұлдыздың меншікті қозғалысы, тангенциалдық, сәулелік және кеңістіктік жылдамдықтары өзара қалай байланысады?



### Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

F3, G2, K0, A5, B8 спектрлік кластарындағы жұлдыздардың атмосферасындағы температураларды өсу ретіне қарай орналастырыңдар.

### ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**Есеп.** Гемма ( $\alpha$  Солтүстік Тәж) және Садр ( $\gamma$  Аққу) жұлдыздарының жылдық параллаксі сәйкесінше  $\pi_1 = 0,044''$  және  $\pi_2 = 0,004''$ . Олардың көрінерлік жұлдыздық шамалары бірдей:  $m_1 = m_2 = 2,23'$ . Оларға дейінгі парсекпен алғандағы  $r_1$  және  $r_2$  қашықтығы қандай? Қай жұлдыздарда жарықтылық көбірек? Қанша есе көп? Гемма мен Садрдың  $M_1$  және  $M_2$  абсолюттік жұлдыздық шамалары қандай? Жұлдызаралық жарық жұтылуы ескерілмейді.

**Берілгені:**

$$\pi_1 = 0,044''$$

$$\pi_2 = 0,004''$$

$$m_1 = m_2 = 2,23''$$

$$r_1 - ?$$

$$r_2 - ?$$

$$\frac{L_2}{L_1} - ?$$

$$\frac{L_2}{L_1} - ?$$

$$M_1 - ?$$

$$M_2 - ?$$

**Шешуі:**

Қашықтықтар сәйкесінше мынаған тең:

$$r_1 = \frac{1}{\pi_1}; r_2 = \frac{1}{\pi_2}.$$

Гемма және Садрдың абсолюттік жұлдыздық шамалары сәйкесінше:

$$M_1 = m_1 + 5 - 5 \lg r_1, M_2 = m_2 + 5 - 5 \lg r_2.$$

Жұлдыздар жарықтылығының қатынасы:

$$\frac{L_2}{L_1} = 2,512^{M_1 - M_2}.$$

Есептеулерді жүргізейік:

$$r_1 = \frac{1}{0,044} = 23 \text{ пк}, r_2 = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ пк}.$$

$$M_1 = 2,23 + 5 - 5 \lg 23 = 0,42, M_2 = 2,23 + 5 - 5 \lg 250 = -4,76.$$

$$\frac{L_2}{L_1} = 2,512^{0,42 - (-4,76)} = 2,512^{5,18} = 118.$$

$$\text{Жауабы: } r_1 = 23 \text{ пк}, r_2 = 250 \text{ пк},$$

$$M_1 = 0,42, M_2 = -4,76, \frac{L_2}{L_1} = 118.$$



Өз бетінше шығаруға арналған есептер

### А

- 11.1.1. Жұлдыздың параллаксы  $0,01''$ , көрінерлік жұлдыздық шамасы  $+10^m$ . Оның абсолюттік жұлдыздық шамасы қандай? (Жауабы:  $5^m$ )
- 11.1.2. Капелла жұлдызынан көріну сәулесіне перпендикуляр Жер орбитасының үлкен жарты осі  $0,07''$  бұрышпен көрінеді. Процион жұлдызының параллаксы  $0,28''$ . Аталған жұлдыздардың қайсысы бізден алыс және неше есе алыс? (Жауабы: Капелла Проционнан 4 есе алыста)
- 11.1.3. Жұлдыздың параллаксы  $0,5''$ . Ол бізден Күнге қарағанда неше есе алыста орналасқан? (Жауабы:  $4,1 \cdot 10^5$  есе)
- 11.1.4. Альтаир жұлдызының параллаксы  $0,20''$ . Вегаға дейінгі қашықтық 29 жарық жылына тең болса, аталған жұлдыздардың қайсысы бізден алыс және неше есе алыс? (Жауабы: Вега Альтаирдан 2 есе алыста)
- 11.1.5. Жұлдыз кеңістікте бақылаушыға қарай көріну сәулесіне  $30^\circ$  бұрышпен  $50 \text{ км/с}$  жылдамдықпен қозғалып келеді. Жұлдыз жылдамдығының сәулелік және тангенциал құраушыларының модульдері неге тең? (Жауабы:  $43,3 \text{ км/с}$ ;  $25 \text{ км/с}$ )



- 11.1.6. Егер жұлдыздың сәулелік жылдамдығы 27 км/с, ал тангенциал жылдамдығы 31 км/с болса, оның кеңістіктік жылдамдығы қандай?

(Жауабы: 41 км/с)

### В

- 11.1.7. Тубан жұлдызы Солтүстік полюс эклиптикасына жақын Айдаһар шоқжұлдызының «басында» орналасқан, ал Регул — «патшалар жұлдызы» эклиптикада орналасқан деуге болады. Жердегі бақылаушы үшін бұл жұлдыздардың бір жыл ішіндегі сәулелік жылдамдықтары қалай өзгереді? (Жауабы: Турбанның сәулелік жылдамдығы өзгере қоймайды. Регулдің қараша айының соңындағы сәулелік жылдамдығы 30 км/с-қа кемиді, ал мамыр айында 30 км/с-қа өседі). Дәлелдеңдер.

- 11.1.8. Арктур жұлдызы ( $\alpha$  Волопоста)  $\alpha$  Андромеда және  $\eta$  Бикеш жұлдыздарына қарағанда неше есе жарығырақ? Арктурдың көрінерлік жалтырауы  $+0,24^m$ ; ал басқа жұлдыздардың жалтырауы тиісінше  $+2,15^m$  және  $+4^m, 00$ .

(Жауабы:  $\approx 6$  және 32)

- 11.1.9. Аққудағы  $\epsilon$  және Сукұйғыштағы  $\gamma$  жұлдыздары Үлкен Төбеттегі  $\alpha$  Сириусқа қарағанда неше есе әлсіз боп көрінеді? Олардың көрінерлік жалтырауы сәйкесінше мынаған тең:  $+2,64^m$ ;  $+3,97^m$  және  $-1,58^m$ .

(Жауабы:  $\approx 49$  және 166)

- 11.1.10. Егер Марстың көрінерлік жұлдыздық шамасы  $+2^m$ -ден  $-2,6^m$ -ға дейін ауытқып отырса, оның жалтырауы неше есе өзгереді? (Жауабы:  $\approx 69$ )

## § 11.2

### Жұлдыздар эволюциясы. Айнымалы жұлдыздар

1. *Жұлдыздар заманауи тұжырымдамалар бойынша жұлдызаралық ортадағы заттың гравитациялық сығылуы нәтижесінде түзіледі.* Алып (шамамен 100 пк аймақты қамтитын) кешен сығылады, тығыздалады және әрі қарай сығылуы барысында қоймалжың жиынтықтарға (протожұлдыздарға) ыдырайды. Жиынтықтар әрі қарай сығылуын жалғастырып, температурасы 10 млн градусқа жеткенде термоядролық реакция басталады да, жұлдыз жалын шашып маздайды; сығылу процесі тоқтайды, өйткені гравитациялық сығылу күшіне термоядролық реакцияларда бөлініп шыққан ғаламат зор сәулелік энергияның қысымы қарсы тұрып, тепе-теңдік орнайды.

Термоядролық реакциялар барысында сутек гелийге айналып энергия бөліп шығарады. Күн өзінің сутек қорын шамамен 10 млрд жылда аяқтайды. Жұлдыздардың өмір сүру ұзақтығының оның массасына тәуелділігін №6 қосымшадағы кестеден білуге болады.

Күннің ядросындағы сутек отыны жануына қарай, оның сыртқы қабықшасы ұлғайып, ядросы сығылып, қыза түседі. Ядро ішіндегі сутек толық жанып біткен соң термоядролық реакциялар ядроның жұқа сыртқы қабатында жалғасады. Күн қазіргі уақыттан бастап әлі 4,6 млрд жыл бойы кеңейіп, **қызыл алыпқа** айналады (11.2.1-сурет). Күннің эволюциясы асқынжаңа жұлдыздардың жарылысы сияқты жарылумен аяқталмайды, өйткені ондай жарылыс үшін оның массасы тым аз болып табылады.



11.2.1-сурет. Алдағы 4,5–5 миллиард жыл ішіндегі Күн эволюциясы



11.2.2-сурет. Асқынжаңа жұлдыздың 1054 жылғы жарылысы

Күн қызыл алып фазасынан өткеннен кейін оның сыртқы қабығы ажырап, одан планеталық тұмандық пайда болады. Бұл тұмандықтың центрінде көлемі Жермен шамалас Күн ядросының қалдығы өте тығыз, әрі ыстық **ақ ергежейлі** пайда болады. Ақ ергежейлі бетінің температурасы 120 000 К, ол көптеген миллион және миллиард жыл бойы суып, өшеді.

Мұндай эволюциялық цикл массалары Күн массасымен шамалас барлық жұлдыздарға тән.

**2. Массивті жұлдыздарда сутек жағылып біткеннен кейін термоядролық реакциялардың екінші циклі орын алады, өйткені мұндай алып жұлдыздар әрі қарай сығылуы барысында, ядродағы температура көтеріліп, термоядролық реакциялардың келесі циклдері басталады: гелий көміртекке, көміртек оттекке, оттектен кремнийге, кремний темірге бірте-бірте айналады.**

Жұлдыз қойнауындағы барлық кремний темірге ( $Fe_{56}$ ) түрленіп болғаннан кейін энергетикалық шығымы мол экзотермиялық термоядролық реакция тоқтайды. Өйткені темірдің масса ақауы ең үлкен шама болғандықтан, одан да ауыр элементтердің ядролары түзілмейтін болады.

Темір ядросы белгілі бір өлшемге жеткенде, термоядролық отын түрлерінің тапшылығына байланысты сәулелік қысым да азайып, жұлдыздың жоғары қабаттарының салмағына қарсы тұра алмайды және лезде **коллапс** — **таңғаларлық қуатты жарылыс болып, асқынжаңа жұлдыз жарқ етіп көрінеді**. Мұндай қуатты жарылыстың жарқылын адамдар 1054 жылы күндіздің өзінде көргендігі тарихтан белгілі (11.2.2-сурет).

Жарылыс барысында аса күшті нейтрино ағындары мен айналмалы магнит өрісі темір мен жеңіл элементтерді және басқа да жұлдыз материалының көп бөлігін гарыш кеңістігіне лақтырып шығарады. Зор жылдамдықпен лақтырылған материя өзімен бірге ұшып шығатын нейтрондармен атқыланып, оларды қармайды. Сөйтіп, ядролық реакциялар барысында уранға дейінгі (мүмкін калифорнийға дейінгі) радиоактивті элементтер пайда болады. Бұдан әрі бұл материал жаңа жұлдыздарды, планеталарды және олардың серіктерін қалыптастыруға қатысады.

Асқыналып жұлдыздың қалыптасуында орын алатын процестер де, бастапқы жұлдыздан қалған қалдықтардың тағдырлары да әлі күнге дейін өте қызу талқыланып, зерттелу үстінде. Алғашқы алып жұлдыздан қалған қалдық туралы екі нұсқа қарастырылады: бірі — *нейтрондық жұлдыздар*, екіншісі — *қара құрдымдар*.



11.2.3-сурет. Нейтрондық жұлдыз

Асқыналыптың қойнауындағы күшті гравитация нәтижесінде атом ядросы электрондарды жұтады, сөйтіп, олар протондармен бірігіп нейтрондарды құрайды. Ядроны ыдыратуға тырысатын электрмагниттік күштер жойылады. Жұлдыз атом ядроларынан және жеке нейтрондардан тұратын ғаламат тығыз шарға айналады. Мұндай жұлдыздардың өлшемдері бірнеше ондаған километрмен өлшенеді, олардың тығыздығы су тығыздығынан 100 млн есе асады. Оларды *нейтрондық жұлдыздар* деп атайды (11.2.3-сурет). Нейтрондық жұлдыздарды Жерден өртүрлі спектрлік диапазонда байқауға болады.

Радиодиапазонда сәуле шығаратын, тез айналатын нейтрондық жұлдыздар *пульсарлар* деп аталады.

Пульсарлардың айналу периоды секундтың жүзден немесе тіпті мыңнан бір үлесіне дейін кемиді. Центрдегі бөлігіне қарағанда қысымы соншалықты жоғары емес нейтрондық жұлдыздың беткі бөліктерінде нейтрондар қайтадан протондар мен электрондарға ыдырауы мүмкін. Жұлдыздың күшті магнит өрісі электрондарды жарық жылдамдығына жақын жылдамдыққа дейін үдетіп, төңірегіндегі кеңістікке шығарып тастайды. Бұл процесс жұлдыздың полюстерінде орын алады. Ал полюстердің араларында электрондар магниттік күш сызықтарының бойымен Лоренц күші әрекетінен айнала қозғалып, полюстерге қарай ығыстырылып шығарылады. Күш сызықтары бойымен үдемелі қозғалған электрондар өз қозғалысының бағытында жіңішке сәуле — электрмагниттік толқын шоғын шығарады. Пульсардың өте жылдам айналуының нәтижесінде бұл шоқтар



бірдей уақыт аралығында сыртқы бақылаушы тіркей алатын электромагниттік радиотолқындардың периодты импульстері түрінде көрініс береді. Ғарыш кеңістігінен келген, бірдей уақыт аралығында қайталанып отыратын осындай импульстерді өткен ғасырдың екінші жартысында бірінші рет Жердегі радиолокациялық қондырғылар тіркеген. Осылайша, алғаш рет нейтрондық жұлдыз — пульсарлар және олардың периодты импульстері ашылған еді.

Егер жұлдыздың массасы айтарлықтай үлкен болса, онда сығылу жалғаса береді де, жұлдыз **қара құрдымға** айналады. Қара құрдымдардың бар болуы жалпы салыстырмалылық теориясында болжанды.

Қазіргі уақытта қара құрдымдар туралы мағлұматтар тек жанама деректер бойынша ғана алынады, өйткені қара құрдым өзінен ештеңені шығармайды тіпті өзінің сәулесін де кері қайтарып, жұтып алып отырады. Сондықтан қара құрдым туралы деректер жанама тәсілдер арқылы жинақталады. Мысалы: белсенді галактикалардың ядроларының жарықтылығын бақылау арқылы, галактиканың немесе оған жақын жұлдыздардың айналуын қадағалап, зерттеу арқылы деректер алынады. Алайда массасы тым зор галактиканың центріне жақын жұлдыздар айналғанда айрықша сәулелер шығаруға тиіс болса да, ешқандай сәулелер байқалмайды. Ендеше ол маңда сәулелерді де, жұлдыздың өзін де жұтып алып отыратын қара құрдым бар деген қорытынды жасалады.

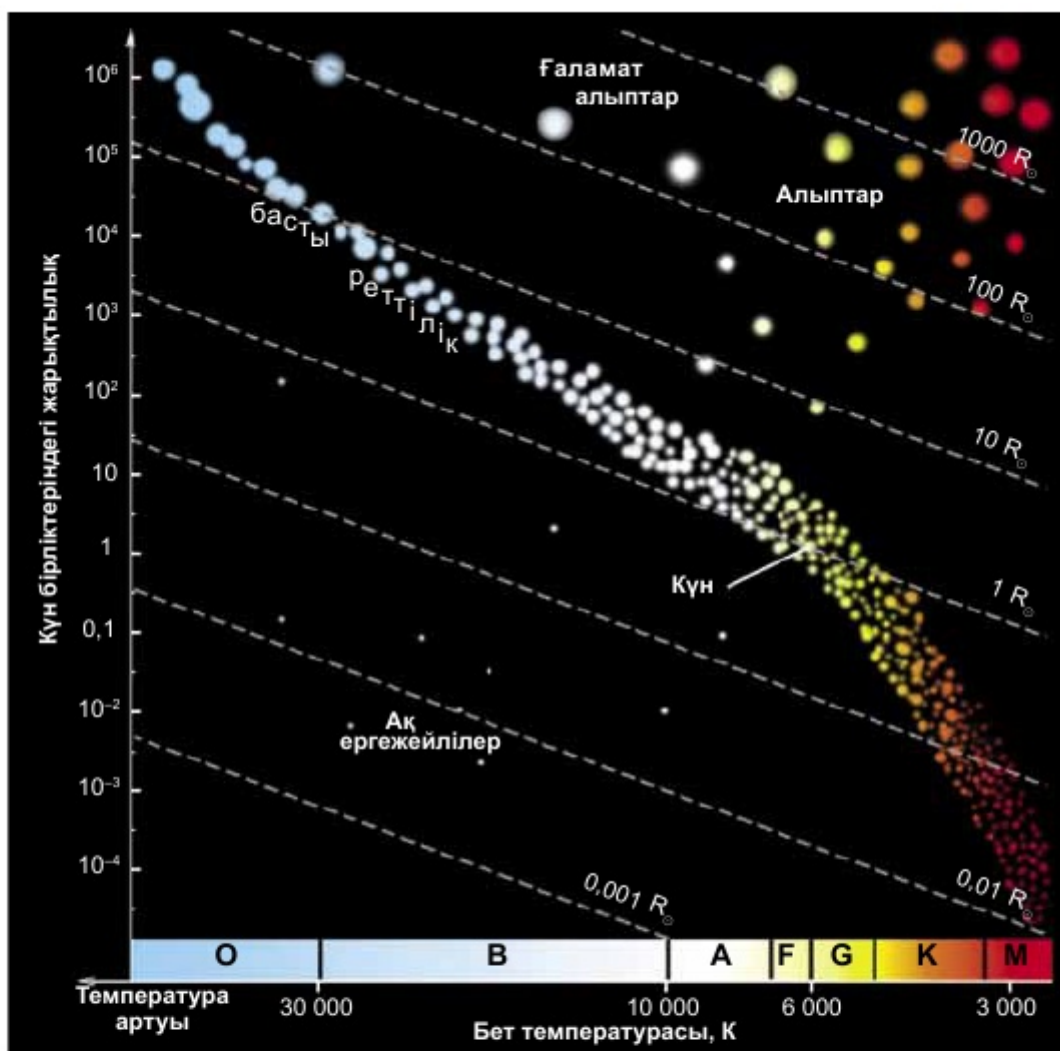
3. XX ғ. басында дат астрономы Э. Герцшпрунг пен американдық Г. Рассел жұлдыздардың спектрлік класы (немесе температурасы) мен олардың жарықтылығы арасында байланысты бір-біріне тәуелсіз ашты.

**Жұлдыздардың спектрлік класы мен жарықтылығы арасындағы тәуелділік байланысқа сәйкес олардың белгілі бір реттілікпен тарала орналасуы Герцшпрунг – Рассел диаграммасы деп аталады.** Әр жұлдызға Герцшпрунг — Рассел диаграммасында бір нүкте сәйкес келеді. Нәтижесінде жұлдыздар кездейсоқ ретпен орналаспай, белгілі бір реттіліктерді құрайды: **басты реттілік: көгілдір асқыналыптар, қызыл ергежейлілер, қызыл асқыналыптар, ақ ергежейлілер реттіліктері** (11.2.4-сурет).

Диаграмма табиғатта тек жарықтылық пен температураның белгілі бір қатынастықтарын сақтайтын жұлдыздардың кездесетінін көрсетеді. Мысалы, жарықтылығы біздің Күннің жарықтылығына тең бола тұрса да, қызыл түсті (*K* және *M* спектрлі кластары) жұлдыздар жоқ.

**Барлық жұлдыздардың эволюциясының ең ұзақ фазасы — басты реттілік кезеңі болып табылады.** Бұл кезеңнің ұзақтығы жұлдыз эволюциясының барлық уақытынан бастап нейтрондық жұлдыз немесе ақ ергежейлі кезеңіне дейін 90%-ға жуығын құрайды. **Жұлдыздардың басты реттілікте өмір сүру ұзақтығы**

олардың массасына байланысты мына өрнекпен анықталады:  $t = 10^{10} \frac{1}{M^3}$  (жыл), мұнда *M* – Күн массасымен алынған жұлдыз массасы. Сутек аяқталған кезде жұлдыз басқа топқа ауысады.



11.2.4-сурет. Герцшпрунг–Рассел диаграммасы

Жұлдыздың қандай тармақ пен спектрлік класқа жататынын білсек, оның абсолюттік шамасын және басқа да сипаттамаларын анықтауға болады.

**4. Жарқырауы мен түсі өзгертін жұлдыздар айнымалы жұлдыздарға жатады.**

Олардың бақылауға ыңғайлы негізгі критерийлері мыналар: период, жалтырауының өзгеру амплитудасы, жалтырау қисығы және сәулелік жылдамдықтың қисығы. Жұлдыздардың жалтырауының өзгеруіне әсер ететін факторлар: пульсация, хромосфералық белсенділік, заттың бір жұлдыздан екінші жұлдызға

қосарланған жүйеде ауысуы, апатты оқиғалар (аса үлкен жарылыстар) және т.б. болуы мүмкін.

Тіркелген айнымалы жұлдыздардың саны шамамен 30 000.

Айнымалы жұлдыздар екі үлкен класқа бөлінеді: *тұтылмалы-айнымалы* және *физикалық айнымалы* жұлдыздар.

Өтетін процестердің сипатына байланысты физикалық айнымалы жұлдыздар *айнымалы пульсациялық жұлдыздар* және *эруптивті жұлдыздар* деп бөлінеді.

*Ұзақ периодты жұлдыздар (бірнеше аптадан бір жылға дейінгі периодпен)* миридалар деп аталады (өкілдері: О Кита, Мира, Оңтүстік жартышар жұлдызы, өзгеру периоды 331,62 тәул).

Жарқыраған айнымалы жұлдыздардың ерекше класын *цефеидтер* ( $\delta$  Цефея — қос жұлдыз, өзінің жалтырауын  $3,7^m$ -ден  $4,5^m$ -ге дейін  $5,4$  тәул периодпен өзгертеді) құрайды. Бақылау нәтижесі жұлдыздардың жалтырау периодтары бойынша абсолюттік жұлдыздық шаманы, жұлдыздың жарықтылығын анықтап, оған дейінгі қашықтықты есептеуге болады. Цефеидтер жақын галактикаларда байқалады және олар арқылы осы жұлдыздық жүйелерге дейінгі қашықтықты анықтайды.

*Эруптивті жұлдыздар* өз айнымалылығын жарқылдар түрінде көрсетеді. Бұл жаңа және асқынжаңа жұлдыздар болып табылады.

Жаңа жұлдыздардың жарықтылығы бірнеше тәулік ішінде миллиондаған есе артады, содан соң бір жыл және одан да көп уақыт бойы әлсірейді.

Асқынжаңа жұлдыздардың жарықтылығы ондаған миллион есе арта отырып,  $10^{46}$  Дж энергия бөледі. Асқынжаңа жұлдыздардың жарқылдары — өте сирек байқалатын құбылыс. Біздің Галактикамызда асқынжаңа жұлдыздардың бірнеше ғана қалдықтары белгілі, олардың ішінде ең атақтылары: Тихо асқынжаңа жұлдызы, Кеплер асқынжаңасы, 1054 жылғы асқынжаңа жұлдыз (бұл жұлдыздың көз қаритын жарқылын сол жылы адамдар күндіздің өзінде көрген). Қазіргі заманғы аппаратураның көмегімен басқа галактикаларда жылына 100-ден астам асқынжаңа жұлдыздар ашылады, ал олардың жалпы саны 1500-ден асты. Асқынжаңалар жұлдызаралық ортаны ауыр элементтермен байытады, сөйтіп, жаңа жұлдыздың пайда болуына ықпал етеді.



### Сұрақтар

1. Күннің және массасы оған жуық жұлдыздардың ғұмырлық циклі қалай сипатталады? Эволюциялық процесінде олар қандай құрылымдарға түрленеді?
2. Аса массалы жұлдыздардың ғұмырлық циклі қалай сипатталады? Эволюциялық процесс нәтижесінде олар қандай өзгерістерге ұшырайды?
3. Қандай жағдайларда асқынжаңа жұлдыз, нейтрондық жұлдыз, пульсарлік жұлдыз, қара құрдым пайда болады?
4. Герцшпунг–Рассел диаграммасы қандай байланыс негізінде құрылған? Диаграмма қалай тұжырымдалады?
5. Жұлдыз өз өмірінің қанша уақытын басты реттілікте өткізеді? Қандай жұлдыздар ең төмен температураға ие?





6. Қандай жұлдыздар айнымалы деп аталады? Айнымалы жұлдыздар қандай түрлерге бөлінеді және ерекшеліктері қандай?



### Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Play Market қосымшасынан смартфонға «Жұлдыздық карта (siranet)» ақысыз бағдарламасын енгізіңдер. Өз құрылғыларыңды аспанға бағыттаңдар, сонда оның экранында жұлдыздар мен шоқжұлдыздардың және планеталардың аттары кескінделіп шығады. Қазіргі кезеңде Күннің қай шоқжұлдызда екенін анықтаңдар, онымен салыстырғанда планеталардың қалай орналасқанын зерделендер. Өз бақылауларыңды дәптерге түсіріп жазыңдар.

## § 11.3

### Күн. Күн мен Жердің байланысы

1. Күн — беткі температурасы  $6000^\circ$  болатын *G* спектрлік класына жататын қатардағы жұлдыз (11.2.4-сурет). Диаметрі 1 млн 390 мың км (немесе Жердің 109 диаметрі), салмағы  $1,98 \cdot 10^{30}$  кг (немесе 330 мың Жер массасы), орташа тығыздығы  $1,41 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, бұл Жердің орташа тығыздығынан 4 есе кем.

Күннен Жерге дейінгі қашықтықты жарық шамамен 8 минутта өтеді, ал осы қашықтықта Күн орташа бұрыштық диаметрі 32' диск ретінде көрінеді. Жер атмосферасынан тыс жүргізілген өлшеулер көлденең қимасының ауданы 1 м<sup>2</sup> Жер теліміне әр секундта 1370 Дж энергия түсетінін көрсетті. Бұл шама *күн тұрақтысы* деп аталады:

$$J_{\kappa} = 1370 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} = 1370 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (11.8)$$

Егер бұл шаманы радиусы 1 а.б. сфераның ауданына көбейтсе, одан бірлік уақыттағы Күн сәулесінің толық энергиясын, яғни *Күннің жарықтылығын* аламыз:

$$L_{\odot} = 4\pi r^2 \cdot 1370 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} = 3,85 \cdot 10^{26} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (11.9)$$

Осы энергияның миллиардтан бір бөлігінің жартысына жуығы Жерге түседі. Күн сәулесінің максимумы оптикалық диапазонға сай келеді. Фотосфера тұтас спектрді береді. Күн атмосферасында бар химиялық элементтер белгілі бір жиіліктегі жарықты сіңіреді, оларға сәйкес спектрлерде Фраунгофер анықтаған күңгірт сызықтар пайда болады. Күн спектрін зерттеу кезінде оның құрамы:  $\approx 73\%$  сутек,  $\approx 25\%$  гелий және  $\approx 2\%$  басқа элементтерден тұратыны анықталды. Күн гидростатикалық тепе-теңдік күйде тұр, өйткені бір жағынан, гравитациялық тартылыс, екінші жағынан, ішкі газдардың серпімділігі мен сәулелену қысымы бір-бірін теңгереді.

*Күннің ішкі құрылымы* мына бөліктерге бөлінеді: центрінен 0,3 радиуска дейін *ядролық реакциялар аймағы*; 0,3-тен 0,7-ге дейін *сәулелік энергияны тасымалдау аймағы*, мұнда энергия жылу берумен қоса фотондарды бірнеше рет

қайталап жұтып, қайталап шығару жолымен таралады. Нәтижесінде сәулелік энергия аймағынан шығарда электрмагниттік кванттар барлық толқын ұзындықтарында, солардың ішінде көрінетін жарық түрінде де шығады. Күн радиусының соңғы үштен бір бөлігінде *конвективті аймақ* орналасқан. Бұл аймақта энергия конвекция арқылы беріледі.

**2. Күн атмосферасын фотосфера, хромосфера және тәж құрайды.**

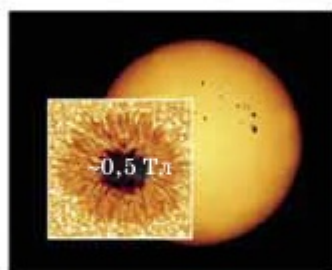
**Фотосфера** — сәуле шығару көзі болып табылатын Күннің көрінетін беті.

Фотосфера қабатының қалыңдығы шамамен 300 км, температурасы 6000 К. Күн фотосферасында *түйіршіктелу процесі*, яғни түйіршіктердің пайда болуы және жоғалуы байқалады. Түйіршіктелген плазма жоғары көтеріледі, ал түйіршікаралық кеңістіктерде төмен түседі, бұл арадағы температуралардың айырымы  $\approx 600$  К. Кез келген түйіршіктің өлшемі шамамен 700 км, олар әр 5–10 минут сайын пайда болып та, жоғалып та үлгереді.

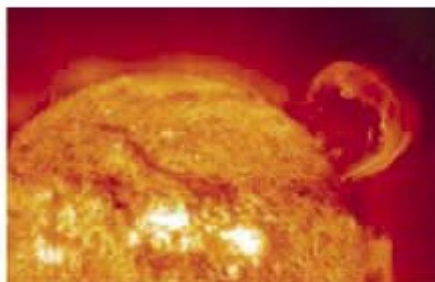
*Күн дақтарының көрінісі* баяу болса да, өзгеріп отырады. Магнит өрісінің индукциясы 1000 есе артады да, плазма дақтарының араласуына кедергі жасайды, сондықтан дақтың температурасы фотосфера температурасына қарағанда  $2000^{\circ}\text{C}$ -қа төмен, соның салдарынан дақ күңгірт боп көрінеді. Дақтар әдетте экватор бойымен созылған шағын аймақ шегінде топтанып пайда болады (11.3.1-сурет). Күннің өз осінен толық бір айналған кезінде (27 тәулік) дақтар негізінен жоғалады. Бірақ бірнеше айналымдар бойы өмір сүре алатын дақтар да бар. Дақтарды зерттеу Күннің планеталар қозғалысы бағытында айналатынын және Күн экваторының жазықтығы эклиптика жазықтығына  $7^{\circ}15'$  бұрышпен көлбейтінін көрсетті.

Күннің айналу периоды экваторда 25 тәуліктен полюстерде 30 тәулікке дейін өзгереді. Тез дамитын дақтар тобының маңында *жарқылдар* пайда болып, олармен қосарлана тәждің төменгі аймақтарынан заттар лақтырылып шығарылады (11.3.2-сурет), сондай-ақ ультракүлгін және рентген сәулелері де күшейе түседі. Күннің мұндай белсенділігінің *периоды 11 жыл*.

Фотосферада температурасы фотосфераның температурасынан бірнеше жүз градусқа асып түсетін ыстық газдың жоғары қарай көтерілген тұрақты ағындары — *алаулар* байқалады.



11.3.1-сурет.  
Күн бетіндегі дақтар



11.3.2-сурет.  
Алаулар мен протуберанцтар (плазмалық аркалар)

**Хромосфера** қабатының қалыңдығы 10–15 мың км. Хромосферадағы температура биіктеген сайын төмендемейді, керісінше 4500 К-нен бірнеше ондаған

мыңға дейін өседі. Хромосфера біркелкі емес және диаметрлері 500–1200 км болатын жарқыраған плазманың *спикул-багандарынан* тұрады, олар төменгі хромосферадан 5000–10 000 км биіктікке 20 км/с жылдамдықпен лақтырылады. Күн төжінде Жердің 40 радиусымен шамалас *протуберанцтер* — алып плазмалық аркалар немесе шоқылар пайда болады (11.3.2-сурет). Олардағы заттың қозғалыс жылдамдығы 200 км/с, температурасы  $10^4$  К құрайды.

**Күн тәжі** Күн атмосферасының сыртқы, ең сиретілген қабығы, тек күн тұтылғанда байқалады, оны арнайы *телескоп-коронографтар* арқылы көруге болады.

3. Күн сәулесінің максимумы спектрдің көрінетін бөлігіне сәйкес келеді. Жер атмосферасы тек көрінетін жарықты ғана, сондай-ақ радиотолқындарды шектеулі тар диапазонда ғана өткізеді. Оптикалық диапазонда Күннің сәуле шығаруы үзіліссіз жүреді, қысқа толқынды аймақта Күн белсенділігіне тәуелді өзгеріп отырады. Рентгендік және қатқыл (жиіліктері үлкен) ультракүлгін сәулелер ионосфераны қалыптастыра отырып, атмосфераның жоғары қабаттарын иондайды. Жұмсақ ультракүлгін сәулелену тереңірек өтеді және оттекке әсер ету кезінде  $O_3$  озон және озон қабатын түзеді. Күн плазмасының ағыны **Күн желі** деп аталады. Ол  $\alpha$ -бөлшектерден, протондардан, электрондардан және кейбір жоғары иондалған атомдардан тұрады.

Бөлшектердің жылдамдығы Күннен алшақтағанда артады және Жер маңайында 450 км/с-ке жетеді. Күн плазмасының ағыны Жердің магнит өрісі күш сызықтарында Лоренц күшінің әрекетімен қармалады. Осылайша, Жер төңірегінде Күнге қараған жағында Жердің 10–12 радиусына сығылған, түн жақ бетінде Жердің 6000 радиусына созылған магнитсфера қалыптасады.

Күн белсенділігі **магнит дауылдарының** пайда болуына әкеледі. Жердің магнит өрісі бізді жоғары энергетикалық бөлшектерден қалқалап қорғайды, алайда ғарыштағы серіктерге, әуелайнерлері мен поляр маңы кеңістіктерінде олар жоғары радиациялық қауіп туғызып, **солтүстік шұғыланың** пайда болуына әкеледі (11.3.3-сурет).



11.3.3-сурет. Солтүстік шұғылалары

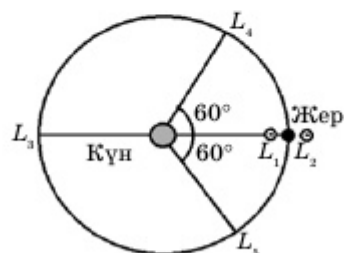
Күн жарқылы кезінде *рентген* және *ультракүлгін сәуле* шығару деңгейі артады, Жердің жоғары қабаттарындағы атмосфера бұл сәулелерді жұта оты-



рып қызады және көлемін ұлғайтады, бірнеше жүздеген километр биіктікте газ тығыздығы артып, серіктердің төменгі орбиталарда баяулауына тіпті жойылуына әкеледі. 1000 км биіктікте жоғары энергетикалық бөлшектер байланыс құралдарында іркіліс туғызып, электрониканың дағдарысына әкеледі, ионосфераны қосымша иондап, радиобайланысты үзеді. Магнит өрісінің өзгерісі электр тасымалдаушы сымдарда, құбырларда, теміржол рельстерінде индукцияланған токтардың пайда болуына әкеледі. Құбырларда ток күші жүз мыңдаған амперге жете алады. Бұл электр жүйелеріндегі артық жүктелуге, трансформаторлардың аса қызып кетуіне, коррозиялық қорғаныстың жойылуы мен автоматиканың істен шығуына әкеледі.

Магнит дауылдары циклондардың пайда болуын туғызады, өйткені Жер атмосферасының төменгі қабатында қысым өзгереді.

4. SOHO және ASE ғарыштық обсерваториялары Жер мен Күн арасындағы **либрация** деп аталатын  $L_1$  нүктесінде Күнге жақынырақ (11.3.4-сурет) орналасқан. Либрация нүктелерінде орналасқан денелердің бәрі де Жердің периодына тең периодпен Күнді айналады, сондықтан ғарышқа шығарылған обсерваториялар Жерден ұзап кете алмайды. Олар дақтардың, жарылыстардың пайда болуын, төздік масса шығаруларын бақылап, үнемі Жерге ақпарат беріп отырады; соның арқасында Күндегі құбылыстардың олардың динамикасы бойынша үш күндік болжам жасалып, қауіп-қатерді алдын ала бағалайды. Магнит дауылдары мен ғарыштық сәулелер ағыны туралы ескертулер ауа кемелерінің бағытын өзгертіп, сол арқылы жолаушылар мен қызметкерлерді қауіпті радиациялық сәулеленуден қорғайды және алдын ала дәрі қабылдауына септігін тигізеді.



11.3.4-сурет. Ғарыштары обсерваторияның орналасуы

### Сұрақтар

1. Күн қандай параметрлерімен сипатталады? Күннің ішкі құрылымы қандай аймақтардан тұрады? Олардың ерекшеліктері қандай?
2. Күн құрамы қандай химиялық элементтерден тұрады? Қандай бақылаулар көмегімен Күннің химиялық құрамын анықтауға болады?
3. Күн атмосферасы қандай бөліктерге бөлінеді? Олар қалай сипатталады? Оларда қандай процестер орын алады? Бұл процестер не деп аталады?
4. Жер төңірегіндегі кеңістікте Күннің белсенділігі өзін қалай көрсетеді? Жер атмосферасының жоғарғы қабатында мұндай жағдайда қандай құбылыстар орын алады? Олар жердегі және жер төңірегіндегі объектілерге қандай зияндарын тигізеді?
5. Күннің күйін тұрақты бақылау қалай жүзеге асырылады?

### Тапсырма (практикалық зерттеу)

Күн атмосферасының құрылымын суретке салып, қабаттардың өлшемдерін шама-лап көрсетіңдер.

## ЕСЕПТЕР ШЫҒАРУ МЫСАЛДАРЫ

**1-есеп.** Егер Күн экваторы маңындағы дақ үш тәулікте  $40^\circ$  ығысса, Күннің айналу периоды неге тең?

**Берілгені:**

$$t = 3 \text{ тәул}$$

$$L = 40^\circ$$

$$T = ?$$

**Шешуі:**

Егер үш тәулікте дақ  $40^\circ$ -қа ығысса, бір тәулікте ол  $\left(\frac{40}{3}\right)^\circ$  ығысады, ал  $360^\circ$ -та ол

$$T = \frac{360}{\frac{40}{3}} = \frac{360 \cdot 3}{40} = 27 \text{ тәулік.}$$

*Жауабы:* 27 тәул.

**2-есеп.** Күн дағы кескінінің диаметрі 1,9 мм. Дақтың нақты ауданын тауып, Жер қимасының ауданымен салыстырыңдар. Күн кескінінің диаметрін 100 мм-ге тең деп алыңдар.

**Берілгені:**

$$d = 1,9 \text{ мм}$$

$$D_{\odot} = 1\,390\,600 \text{ км}$$

$$r_{\text{ж}} = 6400 \text{ км}$$

$$D = 100 \text{ мм}$$

$$S_{\text{дақ}} = ?$$

$$\frac{S_{\text{дақ}}}{S_{\text{ж}}} = ?$$

**Шешуі:**

Дақтың нақты диаметрі оның кескінінің диаметрінен неше есе көп болса, Күннің нақты диаметрі кескінінің диаметрінен сонша есе көп:  $\frac{D_{\odot}}{D} = \frac{d_{\odot}}{d}$ , бұдан  $d_{\odot} = \frac{dD_{\odot}}{D}$ , мұндағы  $D_{\odot}$  — Күннің нақты диаметрі.

$$d_{\odot} = \frac{1\,390\,600 \text{ км} \cdot 1,9 \text{ мм}}{100 \text{ мм}} = 2,64 \cdot 10^4 \text{ км.}$$

$$\text{Дақтың ауданы: } S_{\text{дақ}} = \frac{\pi d_{\odot}^2}{4} = 5,48 \cdot 10^8 \text{ км}^2.$$

Жер қимасының ауданы:  $S_{\text{ж}} = \pi r_{\text{ж}}^2 = 3,14 \cdot (6,4 \cdot 10^3)^2 = 1,29 \cdot 10^8 \text{ км}^2.$

$$\frac{S_{\text{дақ}}}{S_{\text{ж}}} = \frac{5,48 \cdot 10^8}{1,29 \cdot 10^8} = 4,2 \text{ есе үлкен.}$$

*Жауабы:*  $S_{\text{дақ}} = 5,48 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ ;  $\frac{S_{\text{дақ}}}{S_{\text{ж}}} = 4,2$  есе үлкен.



## Өз бетінше шығаруға арналған есептер

## А

11.3.1. Экватор маңында Күннің айналу периоды 27 тәул. 6 тәул ішіндегі дақтың ығысу бұрышын табыңдар. (*Жауабы:*  $80^\circ$ )

11.3.2. Күндегі дақ кескінінің диаметрі 1,3 мм. Дақтың шынайы ауданын анықтап, Жердің қимасының ауданымен салыстырыңдар. Күн кескінінің стандартты өлшемі 100 мм. (*Жауабы:*  $2,56 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ ; 2 есе)

11.3.3. Егер Күн массасы Жер массасынан 333 000 есе, радиусы Жер радиусынан 109 есе үлкен болса, Күн фотосферасы деңгейіндегі еркін түсу үдеуі Жер бетіндегі еркін түсу үдеуінен қанша есе көп болады?

(Жауабы: 28 есе)

11.3.4. Күн экваторындағы нүктенің айналу периоды 25 тәул, Күн радиусы  $6,95 \cdot 10^5$  км болса, нүктенің сызықтық жылдамдығы мен бұрыштық жылдамдығы қандай болады? (Жауабы: 2,02 км/с;  $2,9 \cdot 10^{-6}$  рад/с)

11.3.5. Күннің массасы  $1,98 \cdot 10^{30}$  кг, радиусы  $6,95 \cdot 10^5$  км. Күн затының орташа тығыздығын анықтаңдар. (Жауабы:  $1,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>)

### В

11.3.6. Күн желінің бөлшегі протон Күн атмосферасынан шыққаннан кейін бірқалыпты қозғалып 3,5 күнде Жер орбитасына жетеді. Күннен 1 а.б. қашықтықтағы осындай бөлшектердің 1 см<sup>3</sup> кеңістіктегі саны орташа алғанда 5 болса, онда Күн бір тәулікте және бір жылда өзінің қанша массасын жоғалтады? (Жауабы:  $10^{14}$  кг/тәул;  $\approx 3,7 \cdot 10^{16}$  кг)

11.3.7. 1918 жылы Қыран шоқжұлдызындағы Жаңа жұлдыз үш тәулік ішінде жарқырауын  $m_1 = +13,2$ -ден  $m_2 = -1,1$ -ге өсірді. Жаңа жұлдыздың жарқырауы бір тәулік ішінде орташа алғанда неше есе өсті? (Жауабы:  $\approx 80$  есе)

11.3.8. Егер температуралары шамамен бірдей екі жұлдыздың радиустары бір-бірінен 20; 100 және 500 есе артық болса, онда олардың жарықтылығы бір-бірінен неше есе артық болады? (Жауабы: 400; 10 000;  $25 \cdot 10^4$  есе)

11.3.9. Денеб ( $\alpha$  Аққу) жұлдызынан шыққан жарық Жерге 815 жылда, Альдебаран ( $\alpha$  Торпақ) жұлдызынан шыққан жарық 67,9 жылда, ал Толиман ( $\alpha$  Центаврдағы) жұлдызынан 4,34 жылда жетеді. Осы жұлдыздардың жылдық параллактарын табыңдар. (Жауабы: 0,004"; 0,048"; 0,752")

## § 11.4

### Күн жүйесі

1. **Күн жүйесі** деп ең жақын жұлдыз Күннен және оның төңірегінде айналатын сегіз планета мен басқа да ғарыш объектілерінен тұратын макроәлемді айтады (11.4.1-сурет).

Күн жүйесіндегі объектілер массасының басым бөлігі Күнге тиесілі; қалған бөлігі эклиптика жазықтығымен сәйкес келетін дөңес диск жазықтығында шеңберге жақын орбиталар бойымен айналатын сегіз планетаның және олардың серіктерінің үлесіне тиеді. Жүйенің жалпы массасы шамамен  $1,0014 M_{\odot}$ .

**Планета** деп пішіні сфералық пішінге жақын, жұлдыздан шағылған жарықпен жарқырайтын және басқа ұсақ объектілерді гравитациялық өрісімен қармау-





11.4.1-сурет. Күн жүйесі

дың арқасында өз орбитасының аумағын тазалайтын, жұлдызды айнала оның гравитациялық өрісінде қозғалатын аспан денесін айтады.

Планеталар мен көптеген астероидтардың орбиталары Күн экваторының жазықтығына көлбеу бұрыш ( $7^{\circ}15''$ ) жасай отырып, бір жазықтықта жатады.

Барлық планеталар (Шолпан мен Уранның басқалары) өз осінен және Күнді өз осінен айналу бағытында айнала қозғалады. Осы бағытта барлық планета серіктерінің көпшілігі өз орбиталары бойымен қозғалады.

Күн жүйесі бұдан 4,6 млрд жыл бұрын атомдық және молекулалық сутектің ( $H$  және  $H_2$ ), гелийдің ( $He$ ), қарапайым молекулалардың ( $H_2O$ ,  $OH$ ) және жұлдызаралық газ-тозаң бұлттарының гравитациялық сығылуы нәтижесінде пайда болды. Бұлттардың шаңды құрамдас бөлігі су мұзының, темірдің және басқа да қатты заттардың субмикронды өлшемдердегі бұрыс пішінді бөлшектерінен тұрады (соңғыларына бұлт массасының тек бірнеше пайызы ғана сәйкес келеді).

Бара-бара заттың тығыздығы артып, одан әрі өз тартылыс күшінің әсерінен сығылуы күшейе түседі. Сығылған фрагменттің ортасында шаң мен газдың қоюлану процесі орын алып, төңірегіндегі бөлшектерді қосып алатын аккреция ядросы пайда болады (аккреция — затты қоршаған кеңістіктен қосып алу процесі). Ядроның тығыздығы арта түседі, қысым өседі, термоядролық синтезделу реакциялары басталады да, протожұлдыз пайда болады. Осылайша, жас жұлдыздың қалыптасу процесі миллионға жуық жылға созылады.

Жұлдыздың айналасында протопланеталық дискінің шаң бөлшектерінен планетазимальдар (планеталар ұрығы) қалыптасады. Планетазимальдардың өлшемдері кездейсоқ соққылар әрекетінен алдымен ұлғаяды, кейінірек күшті гравитациялық тартылысқа ие болуы салдарынан өзінің айналасындағы массасы аз көршілерін жұта отырып, қазіргі планеталардың қалыптарына келген. Күн жүйесінің пайда болуы туралы ғылыми көзқарас, міне, осындай. Оған *жер тобына жататын төрт планета және алып планеталар деп аталатын тағы төрт планета кіреді.*

**2. Жер тобындағы планеталарға жататын Меркурий, Шолпан, Жер және Марс** — Күнге ең жақын орналасқан планеталар. Олар негізінен силикаттар мен металдардан тұрады (11.4.2-сурет). Бұл планеталар салыстырмалы түрде үлкен емес, массалары кішкентай, бірақ орташа тығыздығы үлкен, алып планетаға қарағанда айналуы баяу және серіктерінің саны аз (немесе тіпті жоқ) қатты денелер болып табылады.

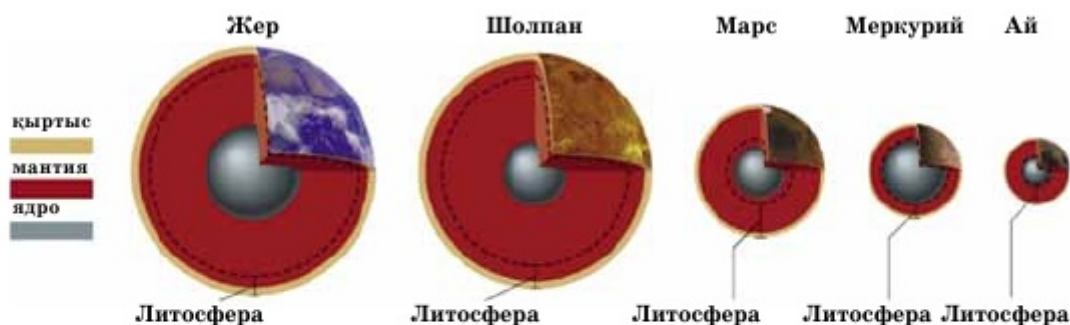


11.4.2-сурет. Жер тобындағы планеталар

**Меркурий** Күнге ең жақын орналасқан планета. Өлшемі бойынша Айға жақын, оны Күн батқаннан кейін немесе Күн шығар алдында біраз уақыт бақылауға болады. Оның орбитасы созылыққы, эксцентриситеті үлкен. Меркурийде атмосфера жоқ, оның магнит өрісі Жердікінен 300 есе кем, ал тәулігі 176 Жер тәулігіне тең, жыл — Жердегі үш ай, температурасы күндіз  $+430^{\circ}\text{C}$ -тан түнде  $-170^{\circ}\text{C}$ -қа өзгереді. Айналу осінің орбитаның жазықтығына көлбеулігі  $90^{\circ}$ , сондықтан полярлық аймақтар ешқашан Күн сәулесімен жарықтанбайды. Меркурийдің бетінде көптеген кратерлер, ойыстар және биіктіктері 2–4 км шамасында таулар орналасқан. Меркурийдің үлкен темір ядросы мен жұқа мантиясы бар.

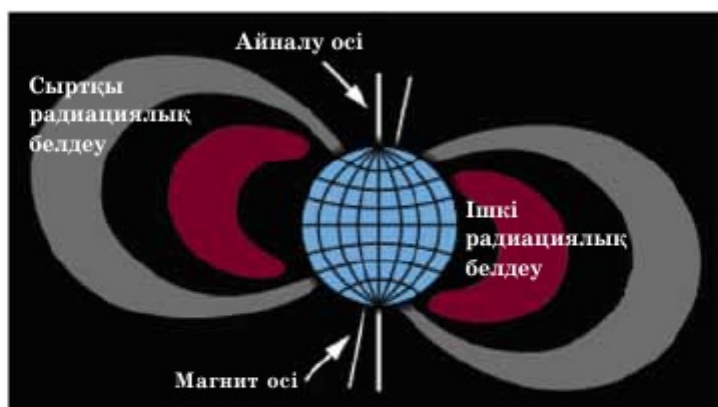
**Шолпан.** Меркурийден кейінгі планета, оның массасы Жер массасының 80% -ын құрайды. *Шолпан* мен Жер ұқсас планеталар, ауырлық күшінің мөндері мен геометриялық өлшемдері шамамен бірдей, сонымен қатар олардың негізгі химиялық құрамы да ұқсас. Бірақ *Шолпан*  $475^{\circ}\text{C}$ -қа дейін қызғандықтан бу күйіндегі су мөлшері тым аз, егер оны конденсациялап планета бетіне жайса, ол тек 3 см қабатты ғана құрайды. Жермен салыстырғанда *Шолпанның* магнит өрісі жоқ, сондықтан ол Күн желінен (зарядталған бөлшектер ағынынан) қорғалмаған. Планетаның атмосферасын атқылайтын зарядталған бөлшектердің ағындары ультракүлгін сәулесінің әсерінен судан ыдыраған оттегі пен сутек иондарын алып кетеді.

Ғарыштық аппараттардың көмегімен *Шолпан* беті бедерінің карталары жасалған және оның атмосферасы негізінен көмірқышқыл газынан тұратыны анықталды, бұлттар күкірт қышқылының тамшыларынан тұрады және найзағайлар байқалады. Қуатты «жылыжайлық эффект» оның беткі бетінің температурасын  $475^{\circ}\text{C}$ -қа дейін көтереді. Бетінің қысымы сынап бағаны бойынша 90 атм. 500 млн жыл бұрын Шолпанда жаһандық геологиялық апат орын алды. Жүздеген мың вулкандар оның бүкіл бетін лавамен жауып тастады. Ең үлкен өшіп қалған жанартаудың биіктігі 8 км (Маат тауы), басқалары 3 км-ге дейін; ең биік тау шыңы 11 км-ге дейін жетеді; Шолпан бетінің көп бөлігі жазықтық болып келеді, онда ірі кратерлер көп орналасқан.



11.4.3-сурет. Жер тобы планеталары мен Айдың ішкі құрылымдарының моделі

*Жер* атмосферасы негізінен азот пен оттектен тұрады. Жердің және жер тобының қалған планеталарының ішкі құрылысының моделі шамамен бір-біріне ұқсас (11.4.3-сурет). Химиялық құрамы мен физикалық сипаттамалары бойынша қатты қыртыс, мантия және ядро деп бөлінеді. Жер центріне заттың тығыздығы шамамен  $13\,500\text{ кг/м}^3$ . Жер қойнауын қыздырудың негізгі көзі радиоактивті элементтердің ыдырауы кезінде бөлінетін энергия және эволюция процесінде планетаның сығылуы есебінен пайда болатын энергия болып табылады. Заттар тығыздығына қарай бөлінген: ауыр элементтер центрдегі ядроға қарай, ал жеңілдері беткі жағына қарай орналасқан. Жер қойнауында бұл процесс әлі аяқталған жоқ, бұл жер сілкінісіне, вулкандардың атқылауына және т. б. әкеледі. Ғарыштағы серіктердің көмегімен Жердің радиациялық белдеулері анықталған (11.4.4-сурет). Жердің магнит өрісін радиациялық белдеулерінде Күн желінің бөлшектері қармалып Жер атмосферасына және Жер бетіне өтпейді.



11.4.4-сурет. Жердің магнит өрісі

*Марс.* Күнге жақын жатқан төртінші планета ашық қызыл шырақ сияқты көрінеді. Марстың бетіндегі темір оксидтері оны қызыл түске бояған, тіршіліксіз



құмды шөл болып келеді. Көптеген каньондар мен алқаптар, ірі және ұсақ сөнген жанартаулар (Олимп тауының биіктігі – 27 км), соққы салдарларынан пайда болған кратерлер бар, сондай-ақ өзендердің сусыз арналары табылған. Көптеген параметрлері бойынша бұл планета Жерге ұқсас. Бір тәулігі Жер тәулігінен 37 минутқа ұзақ, айналу осі орбита жазықтығына шамамен Жер бетіндегі сияқты көлбеулікте орналасқан. Ауырлық күші екі есе аз. Марс атмосферасы сирек негізінен көмірқышқыл газынан тұрады. Температураның тәуліктік ауытқуы үлкен: жазда күндіз  $+15^{\circ}\text{C}$ , түнде  $-65^{\circ}\text{C}$ . Қыста қар мен қырау байқалады. Орташа жылдық температура  $-70^{\circ}\text{C}$ . Беттің қысымы Жерге қарағанда 100–170 есе аз. Мұндай жағдайда су  $+2^{\circ}\text{C}$  қайнайды және бірден буланады, сондықтан мұнда су сұйық күйінде кездеспейді. Зерттеулер Марста су көп болғандығын көрсетті, бірақ жұқа атмосфера қабаты су буын ұстай алмай, су планетааралық кеңістікке тарап кеткен. Қатып қалған су криосфераны құрайды, ол бүкіл планетада 1 км қабатқа баламалы су барын білдіреді. Марстың магнит өрісі Жердегіден 500 есе аз, Күн желімен қатты деформацияланады. Марстың екі серігі бар: Фобос және Деймос, грек тілінен аударғанда «қорқыныш» және «үрей».

3. Күннен алыс орналасқан планеталар — *Юпитер, Сатурн, Уран және Нептун* (олар газды алыптар деп те аталады). Жер тобының планеталарынан әлдеқайда массивті (11.4.5-сурет). Күн жүйесінің ең ірі планеталары Юпитер мен Сатурн. Олардың атмосферасы негізінен сутек және гелийден тұрады. Уран және Нептун атмосфераларында сутек және гелийден басқа метан мен улы газдан тұрады. Мұндай планеталар «мұз алыптарының» жеке тобына бөлінеді.



11.4.5-сурет. Газды алыптар планеталары

*Юпитер* Жерден 300 есе үлкен, орташа тығыздығы су тығыздығына жақын. Қатты беті жоқ. Құрамында сутек пен гелий басым. Планетаның атмосферасы ең терең төменгі қабатында гравитациялық тартылыс әрекетінен тығыздалып, ерекше газды-сұйықты күйге ауысады. 1500 км тереңдікте сутек сұйықтың, планетаның 0,77 радиусы деңгейінде металдың қасиеттеріне ие болады. Бұл қабаттағы электрондардың қозғалысы магнит өрісін туындатады, ол Жердікінен 12 есе күшті. Диаметрі

25 000 км ішкі ядро 23 000 К температураға дейін қызады, ол кремний, магний және темір оксидінен тұруы мүмкін. Ғарыш аппараттары Юпитердің маңында шаңды сақиналарды және оның атмосферасында полярлық шұғылаларды тіркеді. Юпитердің күшті магнит өрісі Күннен шығарылған зарядталған бөлшектерді қармайтын радиациялық белдеулерді құрайды, оның ауқымы Жердің сондай белдеулерімен салыстырғанда әлдеқайда үлкен. Полюстер аймағында ғарыштық бөлшектер полярлық жарқыл тудыра отырып, атмосфераға енеді. Юпитердің айналу периоды 10 сағат. Атмосферадағы бұлттың тез айналуына байланысты ашық жолақтар (жоғары қысымды аймақтар) және қараңғы (қысымы төмен) жолақтар байқалады. +9°-тан -9°-қа дейінгі ендіктерде газдардың қозғалысы батыстан шығысқа, +20°-тан -20°-қа қарай қарама-қарсы бағытта соғып, олардың арасында алапат құйын орын алады. Бетінде сопақша дақтар бар; ең үлкені — қызыл дақ. Бұл — алып антициклон, онда газ сағат тіліне қарсы бағытта айналады, осындай дауылдың шетіндегі желдің жылдамдығы 360 км/сағ-қа жетеді, дауыл ұзындығы 35 000 км және ені 14 000 км аймақты қамтиды. Үлкен Қызыл Дақ өзінен кіші дақтарды жұтып, олардың энергиясымен қоректенеді және ұзақ уақыт өмір сүреді деп саналады. Мұндай жұтулардың бірі 2008 жылы «Хаббл» телескопымен суретке түсірілді. Өлі күнге дейін дақтың қызыл түсті болу себебі анық емес. Юпитер Күннен алатын энергиямен салыстырғанда 2,5 есе көп энергия шығарады, демек, планетаның баяу гравитациялық сығылуы салдарынан туындайтын өз жылу көздері бар деп есептеледі. Юпитердің Күнді айналу периоды — 12 Жер жылы. Қазіргі уақытта Юпитердің 67 серігі бар екені белгілі.

**Сатурн** Күн жүйесінің барлық планеталарының ішінде тығыздығы (0,7 су тығыздығы) ең төмен планета. Юпитер сияқты центрге қарай тығыздалған төменгі қабатында гелий тамшылары мен сұйық металл сутектен және тас ядросы бар алып сутек-гелий атмосферасынан тұрады. Сатурн сақиналарын 1610 жылы Галилео Галилей тапқан. Сақиналар ұсақ тозаңнан бастап, бірнеше метрлік объектілерден тұрады. Сақиналардың жазықтығы Сатурн экваторының жазықтығында орналасқан және Сатурнның орбита бойымен қозғалысы кезінде екі рет жерге қырымен бұрылады. Бұл жағдайда қалыңдығы аз болғандықтан, сақиналар телескопта көрінбейді. Сыртқы сақинаның диаметрі 272 000 км, ал ішкінікі 144 000 км. Барлық сақинаның ені 128 000 км, қалыңдығы 1 км. Сақинаның жалпы массасы шамамен  $3 \cdot 10^{-8}$  Сатурн массасын құрайды. Сақиналардың үлкен планеталық бұлттың қалдықтары екені анықталған. Сатурнда күшті найзағайлар ойнайды. Дауылдар 35° оңтүстік ендікте қайталанып соға береді (бұл орынды астрономдар «дауыл аллеясы» деп атайды), олар бірнеше айға созылып, жылдар бойы жоғалып, қайтадан сол жерде пайда болуы мүмкін. Мұның нақты себептері анық емес. Магнит өрісінің кернеулігі Жердікіне жақын. Сатурн Күнді айнала баяу қозғалады, оның айналу периоды — шамамен 30 Жер жылы. Сатурнның 62 серігі бар (соңғысы 2008 жылы ашылған).

**Уран** тас ядродан, қатып қалған судан, метан мен аммиактан құралған мантиядан және құрамында сутек, гелий мен метаны бар атмосферадан тұрады. Метан қызыл сәулелерді жақсы сіңіреді, әрі көгілдір және жасыл сәулелерді шашыратады, бұл планетаға әдемі көкшіл түс береді. 1977 жылы уранның алғашқы 9 сақинасы ашылды (қазіргі саны 13), олардың қалыңдығы 1-ден 8 км-ге дейін, ал ең үлкенінің қалыңдығы 22-ден 93 км-ге дейін жетеді, сақиналар планетаның центрінен 1,65–2,02 радиус қашықтықта орналасқан. Сақиналар ұсақ шаңнан және кішігірім қатты бөлшектерден тұрады. Планетаның айналу осі орбитаның жазықтығымен сәйкес келеді. Уран «бүйірінде жатып» орбита бойымен сырғанайтын доп сияқты, сондықтан жазда Солтүстік жартышар толық Күн сәулесімен жарықтандырылып, ал оңтүстігінде қараңғы болады, ал қыста керісінше. Жыл 84 Жер жылына, әр жыл мезгілі 21 Жердегі жылға созылады. Оның 27 серігі бар.

**Нептун** алып планеталар ішіндегі ең кішкентайы. Күн жүйесінің планеталар бөлігінің қиыр шетінде орналасқан және Күн энергиясын өте аз алады. Бірақ бұған қарамастан планета өте белсенді. Нептунда 2400 км/сағ жылдамдықпен соғатын ең күшті желдер байқалады. Планетада табиғаты әлі ашылмаған өзіндік ішкі энергия көзі бар. Қоршаған кеңістікке ол Күннен алатын энергияға қарағанда 2,5 есе көп энергия шығарады. Атмосфера сутектен (80%), гелийден (19%), метаннан (1%) тұрады, сондықтан оның түсі жасыл-көгілдір. Метанның сутекке және көміртекке ыдырауы және алмас түрінде кристалдануы мүмкін, сондықтан жауатын жауыны гауһар тас – алмас болуы өбден мүмкін. Нептунда қатты ядроның бар болуы ықтимал. «Вояджер-2» ғарыш зонды Күн сәулесінің 6% -ын шағылдыратын ұсақ силикатты шаңдардан тұратын 1,7-ден 2,5 радиусына дейінгі қашықтықтағы Нептун сақинасын тапты. Магнит өрісінің кернеулігі Жерге қарағанда үш есе аз. 13 серігі бар.

**4. Күн жүйесінде шағын денелермен толтырылған екі аймақ бар. Оларға астероидтар, метеориттер және кометалар жатады.**

Марс пен Юпитер арасында **астероидтар** белдеуі бар. Олардың құрамы жер тобының планеталарына ұқсас, яғни силикаттар мен металдардан тұрады. Астероидтар белдеуінің ең ірілері — Церера ергежейлі планетасы және Паллада, Веста мен Гигея астероидтары. Нептун орбитасының артында қатып қалған судан, аммиак пен метаннан тұратын транснептундық объектілер орналасқан, олардың ең ірілері Плутон, Седна, Хаумеа, Макемаке, Квавар, Орк және Эрида болып табылады. Астероидтардың өлшемдері ондаған және жүздеген километрден асуы мүмкін.

Планетааралық кеңістікте **метеоритті объектілер** деп аталатын көптеген ұсақ денелер бар. Жермен соқтығысқанда, атмосферада үйкелгенде олар қызады және жанып жарқырайды. Бұдан **болид деп аталатын жарқыраған құйрығы бар отты шар** пайда болады. Егер дене кішкентай болса, онда ол, ғарыштық жылдамдығын азайта отырып, толығымен атмосферада жанады, неғұрлым



үлкендері ауырлық күші әрекетінен құлап, Жер бетіне жетеді. Метеоритті дененің толық бұзылуынан кейін қалған қалдығы *метеорит* деп аталады. Метеориттердің беті балқыған, ол тас заттардан немесе никель қоспасы бар темірден тұрады және темірдің өзінің бастапқы күйіне төн емес пропорцияда кездеседі. Қолдан балқытылған темірден ерекшелігі олардың кристалы үлкен. Кейде метеориттер қуыстары тасты массамен толтырылған кеуек темір түрінде кездеседі. Жерге жыл сайын 200-ден 2000 т-ға дейін метеориттік зат түседі.

*Кометалар* немесе «құйрықты жұлдыздар» созылыңқы орбита бойымен Күн төңірегінде қозғалады. Комета ядроларының тығыздығы  $1000 \text{ кг/м}^3$ -тан кем, массасы  $10^{10}$ – $10^{17}$  кг. 80% су мұзынан, сондай-ақ қатып қалған көмірқышқыл газынан, улы газдан, аммиактан және шашыранды металл бөлшектерден тұрады. Күнге жақындағанда *сублимация* процесі, яғни заттың қатты күйден бірден газ тәріздес күйге ауысу құбылысы байқалады. Осының нәтижесінде кометаның басы мен құйрығы пайда болады.



### Сұрақтар

1. «Күн жүйесі» және планета деген ұғымдар нені білдіреді?
2. Күн жүйесі қалай пайда болды?
3. Жер және жер тобының планеталары деп қандай планеталарды айтады? Олардың ұқсастығы мен ерекшеліктері қандай?
4. Алып планеталар деп қандай планеталарды айтады? Олардың ұқсастығы мен ерекшеліктері қандай?
5. Күн жүйесіндегі қандай денелер кіші деп аталады? Олардың ұқсастығы мен ерекшеліктері қандай?



### Тапсырма (теориялық зерттеу)

Ұшақтағы жолаушыларға Күндегі жарқыл мен ғарыштық радиация шынында да нақты қатер туғыза ма? Не себепті ұшақ Жерден көтерілетін кезде (мысалы, алғашқы 500 м биіктікте) радиацияның жалпы деңгейі төмендейді? Егер ғарыштық сәуле биіктікке байланысты өзгерсе, оның себебі неде? Өз қорытындыларыңды негіздеңдер.



### Тапсырма (практикалық зерттеу)

Аспанның көрінерлік бөлігіндегі пайда болған метеор санын анықтаңдар. Бақыланатын аймақтың ауданын есептеп, метеорлардың ағынының тығыздығын, белгілі геоцентрлік жылдамдықтағы метеор бұлтының да тығыздығын анықтауға болады.

## ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ

**1-есеп.** Клавдий циркиннің Ай бетіндегі диаметрі шамамен 200 км. Жер бетінен бақылағанда оның бұрыштық өлшемі қандай (Айға дейінгі қашықтық  $3,8 \cdot 10^5$  км)?

**Берілгені:**

$$d = 200 \text{ км}$$

$$D = 3,8 \cdot 10^5 \text{ км}$$

$$\rho'' = ?$$

**ХБЖ**

$$2 \cdot 10^5 \text{ м}$$

$$3,8 \cdot 10^8 \text{ м}$$

**Шешуі:**

Шырақтың сызықтық диаметрі, оның бұрыштық радиусы  $\rho''$  және оған дейінгі қашықтық арасындағы өзара байланыс:

$$d = D \sin \rho'' \quad (1)$$

$$\text{Бірақ } \sin \rho'' = \rho'' \frac{1}{206265} \quad (2)$$

(2) қатынасын (1) формулаға қойсақ:

$$d = D \frac{\rho''}{206265}, \text{ бұдан } \rho'' = \frac{206265 \cdot d}{D}$$

$$\text{Есептеулер жүргізейік: } \rho'' = \frac{206265 \cdot 2 \cdot 10^5}{3,8 \cdot 10^8} = 109'' = 1'49''.$$

*Жауабы: 1'49''.*



### Өз бетінше шығаруға арналған есептер

#### А

11.4.1. Жер бетінен бақылағанда (Айға дейінгі қашықтық  $3,8 \cdot 10^5$  км) құралсыз көзбен Ай бетіндегі ұзындығы 200 км объектілерді көруге болады. Ғарыш кемесінде 190 км биіктікте ұшып келе жатқан ғарышкер Ай бетінде тұрған диаметрі 3 м ғарыш кемесін анық көре ала ма?

11.4.2. Жер бетінен бақылағанда ( $3,8 \cdot 10^5$  км) Ай кратерінің бұрыштық диаметрі 30''-қа тең. Ғарышкер бұл кратерді көру өткірлігі 2' (екі минуттық көру) қабілетімен, көмекші құралдарсыз бақылауы үшін ғарыш кемесі Жерден қандай қашықтықта ұшуы тиіс?

*(Жауабы:  $9,5 \cdot 10^4$  км)*

11.4.3. Егер ғарышкердің көру өткірлігі 2' болса, ол 220 км биіктіктен Жер бетіндегі қандай өлшемдегі объектілерді ажырата алады? *(Жауабы: 128 м)*

11.4.4. Егер  $1,3 \cdot 10^9$  км қашықтан Сатурн сақинасы 40'' бұрышпен көрінсе, онда оның сызықтық диаметрі қандай? *(Жауабы:  $2,5 \cdot 10^{15}$  км)*

11.4.5. Диаметрі 12 000 км Шолпан дискісін көмекші құралдарсыз қай қашықтықтан ажыратуға болады? Көздің көру өткірлігі 2'. *(Жауабы:  $20,6 \cdot 10^3$  км)*

11.4.6. Көзінің көру өткірлігі 2' болса, ғарышкер 180 км биіктіктен Жер бетіндегі қандай өлшемдегі объектілерді ажырата алады? *(Жауабы: 104,7 м)*

#### В

11.4.7. Меркурий мен Ай өздерінің орбиталарындағы қозғалыс бағыттарында айналады, олардың айналу периодтары сәйкесінше  $58,65^\circ$  және  $27,32^\circ$ . Меркурийдің Күнді айналу периоды  $88^\circ$ , ал Ай оны Жермен бірге айналады. Меркурий мен Айдағы күн тәуліктерінің ұзақтығы қандай? *(Жауабы:  $176^\circ$ ;  $29,53^\circ$ )*

- 11.4.8. Жер бетіндегі нүктелердің айналмалы қозғалысының жылдамдығы экватордағы нүктелер жылдамдығынан екі, төрт және сегіз есе кем болатын нүктелердің географиялық ендігін табыңдар. (Жауабы:  $60^\circ$ ;  $75,5^\circ$ ;  $82,8^\circ$ )
- 11.4.9. Марстың Фобос және Деймос серіктерін Жерден бақылағанда планетаның жартылай қарсы орналасуы кезінде бұл серіктер одан сәйкесінше  $24,7''$  және  $61,8''$  шамаға алшақтайды. Серіктер Марстан қандай қашықтықта айналады? Марс орбитасының үлкен жарты осі  $1,524$  а.б. тең. (Жауабы:  $9400$  км;  $23\,500$  км)

## § 11.5

Біздің Галактика. Басқа Галактикалардың ашылуы.  
Квazarлар

11.5.1-сурет.  
Біздің Галактика

1. **Галактика** — бұл гравитациялық байланысқан жүздеген миллиард жұлдыздар мен жұлдызаралық ортадан тұратын жүйе.

Ең жақын Біздің Галактикада  $200$  млрд-тан астам жұлдыздар бар. Біздің Галактиканың аспан сферасындағы проекциясы «Құс жолы» деп аталады. Галактиканың нақты шегарасы жоқ, сондықтан оның диаметрі шамамен  $100\,000$  жарық жылы және қалыңдығы  $12\,000$  жарық жылы шамасында деп есептеледі. Галактика спиральді бұтақтардан тұратын сопақ эллипске ұқсайды, оның жазықтығында ең жарық және массивті жұлдыздар орналасқан (11.5.1-сурет). Күн жүйесі Галактика центрінен  $26\,000$  жарық жылына тең қашықтықта.

Галактика мен Күн жүйесінің жазықтықтары сәйкес келмейді. Галактика бірқалыпсыз айналмалы қозғалыс жасайды, яғни центріне жақындағанда бұрыштық жылдамдығы артады. Күн жүйесі Галактика центрін шамамен  $180\text{--}220$  млн жер жылына тең уақытта бір рет айналып шығады, бұл **бір галактикалық жыл** деп аталады.

2. Спектрлік талдау арқылы жұлдыздар арасындағы кеңістіктің өте аз болса да, белгілі тығыздықтағы газбен толтырылғандығы анықталды. Химиялық құрамы жұлдыздың химиялық құрамына жақын. **Басты элементтер: сутек пен гелий**, қалған элементтерді қоспа ретінде қарастыруға болады. Күрделі химиялық құрамға ие, микроскопиялық бөлшектен тұратын жұлдызаралық тозаң жұлдыздардың жарығын жұтады. Галактика жазықтығында жұлдыздардың жоғары концентрациясынан басқа **тұмандық** түріндегі тозаң мен газдың да жоғары концентрациясы байқалады. Тұмандықтағы зат аса сирек болып келеді. Алайда тұмандық өлшемінің орасан үлкен болуы салдарынан мұндай тұмандықтар фотосуреттерде тығыздығы едәуір бұлттар секілді көрінеді.



Тұмандықтардың жарқырауы жақын жұлдыздардың жарығын шағылдырған немесе қайыра шығарған кезінде байқалады. Молекулалық газ бен тозаңнан тұратын галактикалық бұлт жарықты шағылдырып қана қоймайды, сонымен қатар жұтады.

Тұмандықтар шегарасынан тыс жұлдызаралық ортадағы заттың тығыздығы өте аз (тұмандықтармен салыстырғанда ондаған мың есе кем). Бірақ сирек атомдардан тұрғандықтан, оны **жұлдызаралық газ** деп атайды.

Бүкіл жұлдызаралық орта электромагниттік сәулелермен, магнит өрістерімен шырмалған. Жұлдызаралық ортаның массасы Галактика массасының 2% -ын құрайды.

3. Өлем кеңістігінде біздің Галактика сияқты жүйелердің көп екені зерттеу барысында анықталды.

Галактикалар *эллипстік, спиральдік және бұрыс* галактикалар болып жіктеледі.

**Эллипстік галактикалар (E).** Эллипстік галактикаға зерттелген галактикалардың 25% -ы жатады. Олардың диаметрлері 5-тен 50 кпк-ге дейін жетеді. Өрбір галактиканың массасы Күн массасынан  $10^6$ – $10^{13}$  есе артық. Центрінде жарқыраған ақ дақ орналасқан, одан алшақтаған сайын жарықтылығы кемуі түседі (11.5.2-сурет). Жұлдыздар саны ортасынан шетіне қарай біртіндеп кемиді. Осындай галактикалар, әдетте, газ бен тозаңы жоқ сары және қызыл жұлдыздардан тұрады.



11.5.2-сурет.

Эллипстік галактика



11.5.3-сурет.

Спиральдік галактика



11.5.4-сурет.

Бұрыс галактика

**Спиральдік галактикалар (S).** Зерттелген галактикалардың тең жартысы спиральдік галактикаларға жатады (11.5.1 және 11.5.3-суреттер). Бұлар ортасында өте тығыз ядро орналасқан спираль бұтақтары бар (екі немесе одан көп) қатты жаншылып жалпиган жүйелер. Спиральдік галактикалардың жартысының орталық бөлігінде жұлдыздық жалғастырушы арқау бар, түзу орналасқан арқаудан спираль тармақтары бұрылады. Спиральдік галактикалардың дискісінің қалыңдығы оның диаметрінің  $\frac{1}{10}$  бөлігін құрайды. Спиральдік галактикалар тез айналатын жұлдыздар жүйесіне жатады, сыртқы бөлігіне қарағанда ішкі бөлігінің жылдамдығы өзгеше болғандықтан, спираль тармақтары пайда болады. Спираль тармақтарында ең жас және жарық жұлдыздармен қатар, жап-жарық газ-

тозаңдардан тұратын тұмандықтар да бар. Құс жолы және Андромеда тұмандығы спираль галактикаларға жатады.

**Бұрыс галактикалар (*Ir*).** Бұрыс галактикалар массалары шағын, пішіні бұрыс галактикалар болып табылады (11.5.4-сурет). Олардың массасы Күн массасынан шамамен  $10^8$ – $10^{10}$  есе артық. Жалпы массасының 50%-ын газ құрайды. Осындай галактикалардың көрінерлік жарқырауын жарықтылығы мол жас жұлдыздар мен иондалған сутек аймақтары шығарады. Бұрыс галактикалардың мысалы ретінде Үлкен және Кіші Магеллан бұлттарын, яғни Біздің Галактиканың серіктерін атауға болады.

4. Кейбір галактикалар радиодиапазонында күшті сәуле шығарады, оларды **радиогалактикалар** деп атайды.

Белсенді ядролары бар галактикаларды ең алғаш ашқан К. Сейферт болатын, оларды **Сейферт галактикасы** деп атайды.

1960 жылдардың басында белсенді ядролары бар галактикалар өздерінің шығарған радиосәулелері арқылы анықталды және оларға **квazarлар** деген ат берілді. Ең алыс квазарға дейінгі қашықтық шамамен 10 млрд жарық жылын құрайды, көрінетін жұлдыздық шамасы  $12^m$ . Оларды ірі телескоптардың көмегімен бақылайды.

**Квazarлар** – үлкен галактикалардың ядроларында орналасқан өте массивті нейтрондық жұлдыздар жиыны.

Орташа квазарлардың сәуле шығаруы миллиондаған жұлдыздардан тұратын үлкен галактиканың сәуле шығаруынан бірнеше ондаған және жүздеген есе күштірек болады. Оптикалық, инфрақызыл, ультракүлгін сәуле шығарумен қатар, олар **ғарыш сәулелерін** – өте жылдам қозғалатын элементар бөлшектер ағынын да тудырады; мұндай бөлшектер квазарлардың магнит өрісінде қозғалғанда радиодиапазонда электрмагниттік сәулелер шығарады.

Мұндай қуатты сәулелену көзін түсіндіретін өртүрлі модельдер бар. Олардың біреуі бойынша **қара құрдымның** галактиканың центріндегі жұлдыздарды жұту барысында сәулелену туындайды. Бірақ ешқандай модель квазар байқалатын құбылыстарды түсіндіріп бере алмайды. Квазардың пайда болуы мен дамуы да беймәлім күйінде қалып отыр.

5. Галактикалардан **тысқарғы қашықтықтарды** есептеудің негізгі әдісі **стандартты шырағдан әдісі** болып табылады. Бұл әдіс мынаған сүйенеді: сәулелену қуаты (жарықтылығы)  $L$  белгілі (немесе жеңіл есептелетін) объектілер класы таңдалып алынады. Астрономиялық құралдардың көмегімен таңдалған объектінің Жер бетіне жеткен сәулесінің  $J$  ағыны өлшенеді.

**Объектінің сәуле ағыны оған дейінгі қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемиді. Егер  $L$  жарықтылық белгілі болса, онда жарқырауды өлшеп, қашықтықты есептеп шығаруға болады.**

**Өртүрлі галактикалардағы эталондық объектілердің (немесе астрономдардың айтуынша стандартты шырағдандардың) бақыланған жарықтылығын салыстыру арқылы галактикалардың біріне дейінгі қашықтықты білсе, осы галактикаларға дейінгі қашықтықтарды да анықтауға болады.**

Жұлдыздары ажыратылатын *таяу галактикалар (25 Мпк-ке дейін) үшін «стандартты шырағдан» ретінде аса жарық жұлдыздарды (көгілдір және қызыл асқыналыштарды) пайдаланған орынды.* Мұндай жұлдыздар массалары мен жарықтылығының шарықтау шектілігімен де қызықтырады. Бақылаудың қолжетімді қазіргі 60 Мпк-ке дейінгі ( $m - M = 34^m$ ) деңгейінде аса жарық көгілдір асқыналыштарды ажыратуға болады. Қызыл асқыналыштардың жарықтылығының шектеулі болуының физикалық себептері әлі толық айқындалмаған, алайда мұндай шектелудің бар екендігі тәжірибеде тағайындалған. Қызыл асқыналыштарды массасы үлкен жұлдыздың эволюциялық теориясын тексеру үшін де қолданады. Қызыл асқыналыштардың абсолюттік болометрлік жұлдыздық шамалары  $-9,5^m$  маңайында.

Галактикаларға дейінгі қашықтықты жобалау үшін аса жарық жұлдыздарды пайдаланады. Абсолюттік жұлдыздық шамалары мен олардың аналық жарықтылығының арасында тәуелділік бар. Мұндай тәуелділік түрі көгілдір және қызыл асқыналыштар үшін бірдей болмайды. Галактикалардағы объектілердің экстремалды аз санына негізделген кез келген әдістердегі сияқты, аса жарық жұлдыздарды қолданғанда да селекция эффектінің ескеруі қажет.

Галактикалар қосарлана немесе одан да көп жиындарға біріге отырып, топтасулар және асқынтотасулар құрайды. Біздің Галактика 50 галактикадан тұратын *Жергілікті топтасуға* кіреді, оның төңірегінде тағы да 50 шақты осындай топтамалар бар. Бикеш асқынтотасуын мысалға алсақ, ол 30 000 галактикадан тұрады, оларға дейінгі қашықтық 55 млн жарық жылы.



#### Сұрақтар

1. Біздің Галактиканың құрамына қандай объектілер кіреді? Біздің Галактиканың құрылымы қандай?
2. Жұлдызаралық орта өзін қалай көрсетеді? Ол неден тұрады?
3. Галактикалардың түрлері және олардың пішінінің ерекшеліктері қандай?
4. Радиогалактикалар деп қандай галактикаларды айтады? Квазарлар деп қандай объектілерді айтады? Олардың ерекшеліктері қандай?
5. Галактикалардан тысқарғы қашықтықты қандай әдіспен және қалай өлшейді?



#### Тапсырма (эксперименттік зерттеу)

Спиральдік галактиканың қозғалысын модельдендер. Биік ыдыстың 3/4 бөлігін сумен толтырыңдар. Қағаздан тескішпен 20 дөңгелек ойып алыңдар да, оларды судың бетіне салыңдар. Таяқшамен суды жылдам дөңгелете араластырыңдар да бірден суға бүйірінен қараңдар. Қағаз дөңгелектерінің қалай айналатынын, спиральдік құрылымдардың қалай пайда болатынын бақылаңдар.



#### Тапсырма (практикалық зерттеу)

Қуаты 25 Вт және 100 Вт шамдардың 1 м және 2 м қашықтықтағы жарықтылығын анықтаңдар. Осы есептеудің нәтижелерінің «стандартты шырағдан» әдісімен ұқсастығын жүргізіңдер.



## § 11.6

## Ғалам

1. Ғасырлар бойы әртүрлі ғарыштық модельдер бірін-бірі ауыстырды, бірақ Ғалам уақыт пен кеңістік бойынша шексіз деп саналды. Жұлдызды аспан мәңгіліктің және тұрақтылықтың символы болды.

Ғалам — *уақыт пен кеңістікте шектелмеген шынайы да ақиқат болмыс, онда материя өзінің даму процесінде шегі жоқ сан қилы пішіндерді қабылдайды.*

Көрінерлік Ғалам — *бақылаушыға қатысты абсолюттік өткен шақ болып табылатын Ғаламның бөлігін сипаттайтын ұғым.* Кеңістік тұрғысынан алғанда, бұл көрінерлік аймақ, яғни одан шыққан материя (атап айтқанда, сәуле және басқа да кез келген сигналдар) Ғаламның өмір сүру уақытында қазіргі орналасқан орнына (адамзат жағдайында қазіргі Жерге) жетіп үлгерген кеңістіктің бөлігі. Көрінерлік Ғаламның шегарасы космологиялық көкжиек болып табылады, ондағы объектілер шексіз қызыл ығысу үстінде. Көрінерлік Ғаламдағы галактикалар саны 500 млрд үстінде деп бағаланады.

Қазіргі заманғы астрономиялық әдістерімен зерттеу үшін қолжетімді Ғаламның бақыланып отырған бөлігі *Метагалактика* деп аталады.

Метагалактика шегарасының сыртында гипотезалық (болжамалы) метагалактикадан тыс объектілер орналасқан.

2. XX ғасырда Ғаламның кеңеюін (ұлғаюын) растайтын екі эксперименттік факт *қызыл ығысу* мен *реликтивтік сәулелену* белгілі болды.

1922 жылы КСРО ғалымы А.А. Фридман А. Эйнштейннің жалпы тартылыс теориясының негізінде Ғаламның стационарлық бола алмайтынын көрсетті. 1912 жылы америкалық астроном Весто Слайдер галактика спектрінде қызыл ығысуды анықтады. Осының бәрі Ғаламның стационар еместігін, галактикалардың бізден алыстап бара жатқанын білдіреді.

1929 жылы галактикалардың спектрлік бақылауларынан америкалық астроном Эдвин Хаббл мынадай заңды тұжырымдады: *галактикалардың алыстау жылдамдығы оларға дейінгі қашықтыққа тура пропорционал:*

$$v = HR, \quad (11.10)$$

мұндағы  $H$  — Хаббл тұрақтысы.

Бұл заң *Хаббл заңы* деген атау алды.

Хаббл тұрақтысы қазіргі уақытта мына шамаларға тең деп алынады:  $H = 66,93 \pm 0,62$  (км/с)/Мпк;

Хабблдың кеңею уақыты (біздің Ғаламның кеңею уақытына жақын болуы әбден мүмкін)  $t_H = \frac{1}{H} = 14$  миллиард жыл, ал Хаббл қашықтығы (Ғаламның шартты өлшемі)  $R = \frac{c}{H} = 4\,300$  Мпк.

Қазіргі уақытта жүздеген мың галактиканың қызыл ығысулары өлшенген. Олардың ішіндегі ең алысы 12 миллиард жарық жыл қашықтықта орналасқан.

**Ғаламның кеңеюі** — үлкен масштабты процесс, оның барысы шын мәнінде Ғаламның эволюция барысын анықтайды; нақтырақ айтқанда кеңею салдарынан орташа температура төмендейді, температураның төмендеуі бойынша алғашқы нуклеосинтездің қанша уақыт және қандай жылдамдықпен жүретінін анықтауға болады, кеңею аясында материя фрагменттерінің флукуацияларының дамуы да орын алады, олар кейін галактикаларға бірігеді т.с.с.

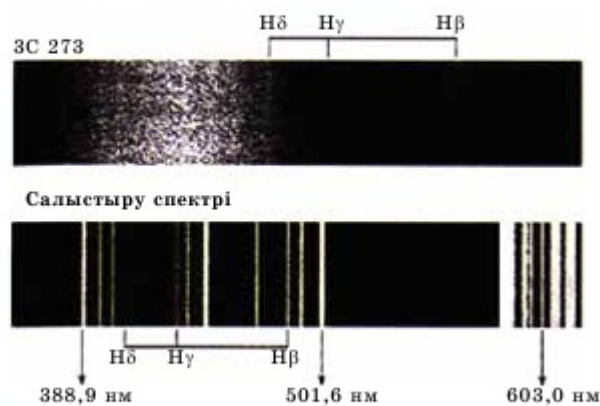
Ғаламның экспериментте тағайындалған кеңеюі Хаббл заңына сәйкес қашықтағы галактикалардың спектрлік сызықтарының қызыл ығысуы, сондай-ақ оларда орын алған түрлі процестердің өту уақытының ұзаруы түрінде (асқынжаңа жарқылының ұзақтығы және т.б.) көрінеді.

Хаббл заңы Біздің Галактика кеңейіп жатқан Ғаламның центрі болып табылады дегенді білдірмейді. Ғаламның кез келген нүктесіндегі бақылаушылар да галактиктердің оларға дейінгі қашықтыққа пропорционал алшақтап бара жатқанын және оны растайтын қызыл ығысуды көреді. Сондықтан кейде кеңістіктің өзі кеңейіп барады дейді. Бұны, әрине, шартты түрде түсіну қажет: Галактика, жұлдыз, планета және сіз бен біз де кеңеймейміз.

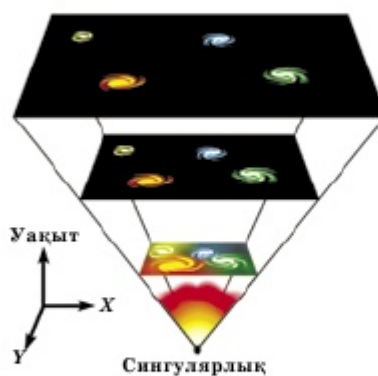
Қазіргі уақытта Ғаламның бізді қоршаған бөлігінің кеңеюіне орай галактикалардың да алшақтауы **Үлкен Жарылыстың** нәтижесі деп бағаланады.

3. Галактикадағы **қызыл ығысу** оларға дейінгі қашықтықты үлкен дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Галактика спектріндегі сызықтар көбірек ығысқан сайын, соғұрлым галактика да алыстай береді (11.6.1-сурет). Галактикаға дейінгі қашықтықты анықтаудың бұл әдісі физикада белгілі **Доплер эффектісіне** негізделген.

Галактикалар электромагниттік тербелістердің қандай да көзі болып табылады. Егер бұл көз бақылаушыға қатысты қозғалса, онда бақылаушының координаталар жүйесіндегі көздің тербеліс жиілігі Доплер эффектісіне сәйкес көздердің  $v$  қозғалыс жылдамдығының  $c$  жарық жылдамдығына қатынасына тәуелді шамаға өзгереді. Сәулелену көзі алыстағанда оның сәулесінің жиілігі кемиді, жақындағанда артады.



11.6.1-сурет. Галактика спектріндегі қызыл ығысу



11.6.2-сурет. Үлкен Жарылыстан кейін Ғаламның жарылуы

Егер жиілік орнына толқын ұзындығы қолданылса, онда бақылаушының координаталар жүйесінде көздің сәулеленуі мына формуламен сипатталады:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}, \quad (11.11)$$

мұндағы  $\Delta\lambda = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$  толқын ұзындығының өзгеруі,  $v$  — галактиканың алыстау жылдамдығы,  $c$  — жарық жылдамдығы,  $\lambda_0$  — зертханалық, қозғалмайтын көздің толқын ұзындығы.

Екінші жағынан, галактиканың жылдамдығы Хаббл заңы бойынша табылады:

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = HR, \quad (11.12)$$

мұндағы  $H$  — Хаббл тұрақтысы,  $R$  — галактикаға дейінгі қашықтық. Кейбір Галактика үшін қызыл ығысу  $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  шамасын біле отырып, оған дейінгі қашықтықты анықтай аламыз.

Кейбір квазарлардың қызыл ығысуы тым үлкен: тіпті  $z = 5,82$  болатын квазар табылды. Бұл объектілер жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен алыстайды.

Мұндай жағдайларда Доплердің әдеттегі формуласы қолданылмайды, арнайы салыстырмалылық теориясының формуласы пайдаланады:

$$z = \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (11.13)$$

Осы формула бойынша анықталған Квазар жылдамдығы кез келген қызыл ығысу кезінде жарық жылдамдығынан аз болады.

**4. Ғалам бастапқы асқыntyғыздық және асқыныстық күйінен *Үлкен Жарылыс* деп аталатын жарылыстан бастап кеңейіп келеді.**

*Үлкен Жарылыс* — Ғаламның ерте дамуын сипаттайтын жалпы қабылданған космологиялық модель, атап айтқанда — Ғаламның кеңеюінің басы, оған дейін Ғалам сингулярлық күйде болды.

**Космологиялық сингулярлық** — материяның шексіз тығыздығы мен шексіз температурасы арқылы сипатталатын Үлкен Жарылыстың алдындағы Ғаламның күйі.

Космологиялық сингулярлық — жалпы салыстырмалылық теориясымен және гравитацияның басқа да теорияларымен болжанатын гравитациялық сингулярлықтар мысалдарының бірі болып табылады.

Заманауи көзқарастар бойынша бізге байқалатын қазіргі Ғалам шамамен 14 млрд жыл бұрын кейбір бастапқы сингулярлы күйден пайда болды және содан бері үздіксіз кеңейіп, әрі салқындап келеді (11.6.2-сурет). Қазіргі физикалық теорияларды қолдану бойынша енгізілген белгілі шектеулерге сәйкес, Ғаламға сипаттама беруге болатын ең ерте кезең Планктік дәуірден басталады; бұл кезеңде Ғаламның температурасы  $10^{32}$  К, ал тығыздығы  $10^{93}$  г/см<sup>3</sup> деп есептеледі.



Үлкен жарылыстан кейін 0-ден  $10^{-43}$  с аралығында Ғаламның сингулярлықтан пайда болу процесі өтті. Бұл кезеңде Ғаламның температурасы мен тығыздығы Планк мөндеріне жақын болды деп саналады.

Үлкен жарылыс сәтінен кейін шамамен  $10^{-42}$  секундтан соң фазалық ауысу Ғаламның экспоненциалды кеңеюін тудырды. Бұл кезең *Ғарыштық инфляция* деген атау алды және Үлкен Жарылыстан кейін  $10^{-36}$  секундта аяқталды.

Осы кезең аяқталған соң Ғаламның құрылыс материалы *кварк-глюондық плазма* болып табылады. Біршама уақыт өткенде температура *бариогенезис* деп аталатын келесі фазалық ауысу мүмкін болатын мөндерге дейін төмендеді. Бұл кезеңде кварктер мен глюондар протондар мен нейтрондар сияқты бариондарға бірікті. Сонымен қатар бір мезгілде асимметриялық түзілім — материя мен антиматерия туындап, өзара аннигиляциялануы салдарынан сәулелерге түрленді.

Температураның одан әрі төмендеуі келесі фазалық ауысуға, яғни физикалық күштер мен элементар бөлшектердің қазіргі қалыпта пайда болуына әкелді. Содан кейін нуклеосинтез дәуірі пайда болды, ол кезде протондар нейтрондармен бірігіп, дейтерий, гелий-4 және тағы бірнеше жеңіл изотоптардың ядросын құрады. Ғалам температурасының одан әрі төмендеуінен және кеңеюінен кейін келесі өтпелі кезең басталды, бұл кезеңде гравитация басым күшке айналды. Үлкен Жарылыстан 380 мың жылдан кейін температура төмендегені соншалық, сутек атомдарының пайда болуы мүмкіндігі артты.

Бұл кезеңде Ғаламдағы материя сутекке ұқсас атомдардың шығарған сәулелерін өткізе алатындай мөлдірлікке жетті; содан бері сәулелер кеңістікте еркін тарап келеді, бізге де *реликтивтік сәуле* түрінде жетіп отыр. Ғаламның әртүрлі модельдері бар, солардың ішінде *Ыстық Ғалам моделі* реликтивтік сәулені түсіндіруде ұтымдырақ болып шықты.

*Ыстық Ғалам моделі* — Ғаламның эволюциясы элементар бөлшектерден тұратын тығыз ыстық плазма күйінен басталатын және одан әрі адиабаттық космологиялық кеңеюде өтетін космологиялық модель.

Алғаш рет Ыстық Ғалам моделін 1947 жылы америкалық Г. А. Гамов ұсынды. Ыстық Ғаламның моделінен туындайтын ең маңызды болжам ғарыш кеңістігіндегі *реликтивтік сәулелену* болуға тиіс деген болжам еді; бұндай сәулелену Ғалам дамуының бастапқы кезеңінде иондар (негізіне сутек пен гелий иондары) мен электрондардың рекомбинацияланып, нейтрал атомдарға айналу сәтінде туындайды; оның спектрі абсолют қара дененің спектріне өте ұқсас.

*Реликтивтік сәулелену* — ғарыштағы электромагниттік сәулеленудің жалпы фонын құрайтын компоненттерінің бірі. Ол аспан сферасында біркелкі таралған және қарқындылығы бойынша температурасы 3К маңындағы абсолют қара дененің жылулық сәуле шығаруына сәйкес келеді. Реликтивтік сәулеленудің Ғаламда бар екенін 1965 жылы америкалық ғалымдар А. Пензиас пен Р. Уилсон анықтады. Оларға осы жаңалығы үшін 1978 жылы Нобель сыйлығы тапсырылды.

Реликтивтік сәулеленудің қасиеттері Г.А. Гамовтың Ыстық Ғалам моделі туралы гипотезасымен жақсы үйлеседі. Бұл гипотеза бойынша Ғаламның кеңеюінің ең алғашқы кезеңінде плазма мен электрмагниттік сәулеленудің тығыздығы жоғары, температурасы  $10^9$  К шамасында немесе одан да үлкен болды. Ғалам кеңіген сайын плазманың және онымен термодинамикалық тепе-теңдікте тұрған сәулеленудің температурасы төмендей берді. Температура  $4000$  К шамасына жеткенде протондар мен электрондар рекомбинацияға түсіп, нейтрал зат (сутек пен гелий) түзіле бастайды; осылайша нейтрал затқа айналған плазма мен сәулелену арасындағы тепе-теңдік бұзылады. Соның салдарынан сәулелену кванттарының заттарды иондауға қажетті энергиялары жетіспейді де, олар мөлдір ортадан өткен сияқты емін-еркін нейтрал заттардан өтіп, кеңістікте өз бетінше тарай береді, сөйтіп, бұл сәулеленудің температурасы төмендей келе, біздің дәуірінде  $3$  К шамасына жуық деңгейге жетті. Міне, осылайша бұл сәулелену Үлкен Жарылыстан кейін рекомбинация мен нейтрал сутек пен гелий атомдарының пайда болу дәуірінен елес беретін *реликтивтік сәулелену* ретінде қабылданады. Космологиялық қызылығымен қатар, реликтивтік сәуле шығару Үлкен Жарылыс теориясының басты дәлелдемелерінің бірі ретінде қарастырылады.

**5. Ғаламның критикалық тығыздығы** Ғаламдағы материяның (энергияның) массалық тығыздығын білдіретін шама; оған космологиялық модельдерде сипатталатын Ғаламның барша геометриялық қасиеттері тәуелді. Өз кезегінде Ғаламның критикалық тығыздығы  $\rho_c$  Хаббл тұрақтысының  $H$  мәніне тәуелді:

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

мұндағы  $H$  — Хаббл тұрақтысы,  $G$  — гравитациялық тұрақты.

Критикалық тығыздықты (және басқа да ғарыштық параметрлерді) жазу кезінде  $h = H/(100 \text{ (км/с)/Мпк})$  түріндегі өлшемсіз  $h$  Хаббл тұрақтысы пайдаланылады. Мұндай белгілеу бойынша Ғаламның критикалық тығыздығы мынаған тең:

$$\rho_c = 1,88 \cdot 10^{-26} h^2 \text{ кг/м}^3 = 1,05 \cdot 10^{-5} h^2 \text{ ГэВ/см}^3,$$

бұл өрнектердегі  $H$  және  $h$  мәндері уақытқа тәуелді өзгереді, ал басқа коэффициенттер уақытқа тәуелді емес.

Нуклонның массасы (және сутек атомының массасы) шамамен  $0,94$  ГэВ тең екенін ескерсек, *критикалық тығыздыққа куб метрдегі сутектің 5,5 атомы сәйкес келеді.*

Алынған деректер бойынша бақыланатын Ғалам жазық болып табылады. Осының негізінде, Фридман моделіне сәйкес, Ғаламның орташа тығыздығы  $1\%$  дәлдікпен критикалық тығыздыққа тең:  $\rho = \rho_c$ . Алайда бариондық (тікелей бақылауларға қолжетімді) материя бұл тығыздыққа өте аз үлес қосады: тек  $(4,54 \pm 0,01)\%$ , немесе куб метрдегі  $0,25$  сутек атомын ғана береді.

Ендеше Ғаламның критикалық тығыздығына негізгі үлесті қосатын басқа екі компонент — **қараңғы материя (26,8%)** және **қараңғы энергия (68,3%)** бар деп пайымдау қисынды болып табылады. Релятивистік бөлшектердің, яғни микротолқынды фонның фотондарының үлесі қазіргі уақытта өте аз: 0,0050%.

**Қараңғы материя электрмагниттік сәулені шығармайтын және онымен тікелей өзара әсерлеспейтін материяның гипотезалық түрі.**

Материяның бұл қасиеті қиындық туғызады, тіпті оны тікелей бақылау мүмкін емес.

Қараңғы материяның болуы туралы қорытынды астрофизикалық объектілердің сипаттамасының жанама белгілері негізінде және олар жасаған гравитациялық әрекет бойынша алынған. Қараңғы материяның табиғатын анықтау жасырын массаның проблемасын шешуге көмектеседі, жасырын масса негізінде ғалактиканың сыртқы аймақтарының аномалды (шамадан тыс) жоғары жылдамдықпен айналуын түсіндіруге болады.

**Қараңғы энергия — Ғаламның математикалық моделіне енгізілген энергияның гипотезалық түрі; тек қараңғы энергия арқылы ғана оның кеңеюі мен үдеуін түсіндіру мүмкін болып отыр.**

Қараңғы энергияның мәнділігін түсіндірудің үш нұсқасы бар. Солардың ішінде бірінші нұсқа (гипотеза) бойынша: **қараңғы энергия космологиялық константа (тұрақты) болып табылады**, басқаша айтқанда Ғалам кеңістігін біркелкі толтырып тұрған өзгермейтін энергетикалық тығыздық (яғни нөлдік емес энергия мен вакуумдық қысым).

Қазіргі уақытта барлық белгілі сенімді бақылау деректері бірінші гипотезаға қайшы келмейді, сөйтіп, ол космологияда стандартты нұсқа ретінде қабылданды. Ғаламның кеңею қарқыны космологиялық күй теңдеуімен сипатталады. Қараңғы энергия үшін күй теңдеуін шешу қазіргі заманғы бақылау космологиясының ең маңызды міндеттерінің бірі болып табылады.



#### **Қосымша деректер**

2019 жылы канадалық Джеймс Пиблз және швейцарлық Мишель Майор мен Дидье Кело физика саласы бойынша Нобель сыйлығын алды. Олар астрономия саласындағы зерттеулері үшін марапатталды.

Джеймс Пиблз физикалық космологиядағы теориялық зерттеулері үшін лауреат атанды. Ол — Үлкен Жарылыстан кейін Ғаламды толтырып тұрған реликтивтік сәулелендіру бар екенін алғаш болжап айтқандардың бірі.

Мишель Майор мен Дидье Кело 1995 жылы Күн жүйесінен тыс орналасқан *экзопланета* деп аталатын алғашқы планетаны ашқаны үшін марапатталған еді. Олардың ашқан планетасы 51 Pegasi жұлдызының төңірегінде айналады; бұл жұлдыздың тұрпаты Күнге ұқсас екендігі тағайындалды. Содан бері ғалымдар Күс Жолында төрт мыңнан астам экзопланеталарды тапты.



**Сұрақтар**

1. Ғалам, Көрінерлік Ғалам, Метагалактика деген ұғымдардың мағынасы нені білдіреді?
2. Хаббл заңы қалай тұжырымдалады? Ғаламның шартты өлшемі мен өмір сүріп келе жатқан жасы Хаббл заңы бойынша қалай бағаланып анықталады?
3. Галактикалардың қызыл ығысуы бойынша олардың алшақтау жүргіруі (кеңеюі) мен біздерге дейінгі қашықтығы қалай тағайындалған?
4. Үлкен Жарылыстан кейін Ғаламның пайда болуы мен эволюциясы қалай сипатталады?
5. Туындай бастаған Ғаламның қай кезеңінде реликтивтік сәулелер пайда болды? Олар қандай сәулелер? Қандай модельмен сипатталады?
6. Ғаламның критикалық тығыздығы қандай шаманы құрайды? Ғалымдар қандай деректерге сүйеніп, қараңғы энергия мен қараңғы масса туралы берік байлам жасайды? Олар нені білдіреді?



**ЕСЕП ШЫҒАРУ МЫСАЛЫ**

**1-есеп.** 3С-9 квазардың салыстырмалы қызыл ығысуы  $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = 2$ . Осы объект үшін жылдамдықтың мәнін анықтаңдар. Бұл жағдайда неге  $z = \frac{v}{c}$  формуласын қолдануға болмайды?

|  |   |
|--|---|
| <b>Берілгені:</b>  | <b>Шешуі:</b>   |
| $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = 2$<br>$v = ?$ | $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ формуласы объектілердің жарық жылдамдығынан өте аз жылдамдықтарында қолданылады.<br>Жарық жылдамдығымен салыстырылатын үлкен жылдамдықта: |

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1.$$

$\frac{v}{c} = \beta$  белгілеп және есеп шартын ескерсек,  $\frac{1 + \beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 = 2$ . Түрленуден кейін квадраттық теңдеу алынады:

$$10\beta^2 + 2\beta - 8 = 0.$$

Осы теңдеуді шешсек,  $\beta = 0,8$  (әлбетте, теріс шешім бізге сәйкес келмейтіндігін ескеру қажет). Осылайша,  $\beta = \frac{v}{c} = 0,8$  және  $v = 0,8 c$ .

Есептеу жүргіземіз:

$$v = 0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 = 2,4 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

*Жауабы:*  $v = 2,4 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$

**Өз бетінше шығаруға арналған есептер**

Бұл параграфтың есептерін шығарғанда Хаббл тұрақтысын  $H \approx 66,9$  (км/с)/Мпк деп есептеңдер.

**А**

- 11.6.1. Галактиканың алыстау жылдамдығы  $2 \cdot 10^4$  км/с болса, онда ол бізден қандай қашықтықта болады? (*Жауабы: 299 Мпк*)
- 11.6.2.  $3 \cdot 10^8$  пк қашықтықта орналасқан галактиканың алыстау жылдамдығы қандай? (*Жауабы:  $2 \cdot 10^4$  км/с*)
- 11.6.3. Андромеда шоқжұлдызына дейінгі қашықтық  $5 \cdot 10^6$  пк, ал сызықтық диаметрі  $3,5 \cdot 10^4$  пк болса, оны құралсыз көруге бола ма? Көздің көру қабілеті  $2'$ .
- 11.6.4. Галактикада көрінетін жұлдыздық шамасы  $+18$ , ал абсолюттік жұлдыздық шамасы  $-7$  болатын жаңа жұлдыз байқалды. Галактикаға дейінгі қашықтықты табыңдар. (*Жауабы:  $10^6$  пк*)
- 11.6.5. Егер қызыл ығысу спектрі  $10^4$  км/с жылдамдыққа сәйкес келсе, галактикаға дейінгі қашықтық қандай болады? (*Жауабы: 149 Мпк*)
- 11.6.6. Галактика  $1^\circ$  бұрышпен көрінсе, ал оған дейінгі қашықтық  $2,4 \cdot 10^5$  пк болса, онда оның сызықтық диаметрі қандай?

(*Жауабы:  $4,2 \cdot 10^3$  пк*)

**В**

- 11.6.7. Күннен Галактика центріне дейінгі қашықтық (8кпк) және Күннің Галактика орбитасы бойымен қозғалысының жылдамдығы (250 км/с) бойынша галактиканың массасын анықтаңдар. (*Жауабы:  $10^{11} M_{\text{Күн}}$* )

**С**

- 11.6.8. Галактикалар шоғыры әрқайсысының жалтырауы  $18''$  болатын 10 000 бірдей галактикадан тұрады. Барлық шоғырдың Жер аспанындағы бұрыштың диаметрі  $5^\circ$ -қа тең. Спектрлік өлшеулер мыналарды көрсетті: шоғырдың қызыл ығысуы 0,1, ал жекеленген галактикалардың сәулелік жылдамдықтары мен шоғырдың сәулелік жылдамдықтарының айырымы  $\pm 500$  км/с. Қараңғы материяның шоғыр массасына қосқан үлесін анықтаңдар. Барлық галактикалар Күнге ұқсас жұлдыздардан тұрады деп есептеңдер. (*Жауабы:  $\approx 90\%$* )
- 11.6.9. Бізден 2 Мпк қашықтықта Жерден «қырынан» қарағанда өлшемі  $1^\circ$  бұрышпен жіңішке жіп түрінде көрінетін спиральдік галактиканың қиыр шетінен алыстағы өркениеттің өзін таныстыратын шартты белгісі ретінде радиосигнал тіркелді. Фокустық арақашықтығы 2 м телескоптың және саңылауы галактиканың осі бойымен бағытталған ажырату қабілеті 0,5 нм/мм болатын дифракциялық тордың жәрдемімен оның спектрі алынды. Спектрдің сары-жасыл бөлігіндегі сызық (550 нм) тік орналасқан күйге  $5^\circ$  бұрышпен көлбеу болып шықты. Алыстағы өркениетке жауап беретін сигналды галактиканың қай аймағына жіберу қажет? Галактиканың центрі төңірегіндегі жұлдыздың орбитасын дөңгелек деп есептеңдер. (*Жауабы: галактика центріне  $0,47^\circ$  бұрышпен*)

## § 11.7

## Ғаламдағы өмір мен ақыл-ой парасаты.

## Ғарышты зерттеу және адамзаттың ғарыштық келешегі

1. Ғаламда өртүрлі сатыдағы тіршіліктің де, ақылды да парасатты ғұмыр иелерінің де бар екендігі ақиқат. Оған Біздің Галактикадағы Күн жүйесінің қасиетті Жер планетасындағы сан алуан тіршілік иелері мен саналы адамзат куә. «Алайда біз жалғызбыз ба?» – деген сұрақ туындайды. Өйткені Біздің Галактиканың өзінде 200 миллиардтан астам жұлдыз бар, оның сыртында тағы да 500 миллиардтан астам галактикалардың бар екендігін қазіргі ғылым жетістігі растап отыр. Міне, сондықтан ерте кезден бері адамзатты жерден тыс өмір қызықтырды. Осы бағытта ғарыштық техникалармен жасалған зерттеулер мынадай нәтижелер беріп отыр:

- Меркурийде атмосфера мен су жоқ, температурасы  $-170^{\circ}$  пен  $+430^{\circ}$  арасында өзгереді. Ендеше Жердегі формадағыдай тіршілік ол жақта мүмкін емес.

- Шолпанның сыртқы бетінде қорғасын ( $t = +475^{\circ}\text{C}$ ) ериді, қысымы Жерге қарағанда 95 есе жоғары, күкірт қышқылы бар. Өмір сүру мүмкін емес.

- Ай мен астероидтер тіпті жансыз.

- Марстағы жағдай да өмір сүруге қолайсыз, себебі атмосфера сирек, ультракүлгін сәуле өте қарқынды және сұйық су жоқ. Дегенмен де планетаның суретіне зер салсақ, құрғақ өзендерге ұқсас су эрозиясының іздерін байқауға болады. Ерте заманда Марстың бетінде су мен өмірдің де болуы мүмкін. Бұл сұраққа тек Марстың топырағын егжей-тегжейлі зерттеуден кейін ғана жауап беруге болады, бірақ топырақты жерге жеткізу қиын. «Викинг» қондырғысы Марстағы топырақтан органикалық заттар таба алмады. Дегенмен де марсиандық деп есептелетін (химиялық құрамы бойынша) метеориттерден көмірсутектер анықталды.

- Алып планеталардың атмосферасынан көптеген органикалық молекулаларды байқауға болады, бірақ қатты беті жоқ, өмір оларда мүмкін емес.

- Юпитердің серігі Еуропада атмосфера болмаса да, мұзды беткі қабатының астында өмір сүруге мүмкіндік беретін су бар, бірақ оны анықтау өте қиын.

Сонымен, біздің планетаралық зондтар кез келген планетаның бетіндегі өмір сүруге болатын жағдайды анықтауға мүмкіндігі болса да, Жерден басқа Күн жүйесінде тіршіліктің бар екендігіне дәлеліміз жоқ. Осы орайда ғарыштағы аппараттардың Ғаламдағы тіршілік иелерінен келетін сигналдарды қабылдап, бізге жеткізе алатындығын білу үшін немесе өзге планетадағы тіршілікті анықтауға қабілеттігін тексеру мақсатында арнайы тәжірбиелер жүргізілгенін айта кету керек. Мысалы, «Галилео» құрылғысының қабылдағыштары Жердегі техникалық өркениеттің бар екендігін көрсететін біздің радио және теледидар станцияларымыздың сигналдарын тіркеп, бізге қайыра ақпарат берді. «Галилео» телекамерасы Жердің тар диапазондағы жасыл өсімдікті кескінін алып, фотосинтездің жүріп жатқанын анықтады. Күн жүйесіндегі басқа ешқандай денелерде мұндай жасыл түс жоқ. «Галилео» инфрақызыл спектрометрі планетаның биологиялық белсенділігін көрсететін Жердің атмосферасында молекулалық оттектің және метанның бар екенін айғақтады.

Қазіргі кезде басқа жұлдыздардың планеталық жүйесі (*экзопланеталар*) зерттелу үстінде, ғарыштық кеңістік көптеген жиілікте тыңдалуда, Жердегі өмір



мен өркениет туралы кодталған ақпарат ғарышқа жіберілуде. Алайда Ғаламдағы өркениеттерді іздестіру өзiрге оң нәтиже берген жоқ.

2. Адамзаттың ғарыштық дәуірі 1957 жылы 4 қазанда басталды. Осы күні КСРО-да С.П. Королёвтің жетекшілігімен ең алғашқы РН Р-7 Жер серігі ғарышқа ұшырылды (11.7.1-сурет).



11.7.1-сурет. Алғашқы Жер серігі

1961 жылдың 12 сәуірінде Жер түлегі алғашқы ғарышкер Юрий Гагарин ғарыш кемесімен аспанға самғап, Жерді бір жарым сағатта айналып шықты.

Айта кету керек, әлемдегі бірінші Байқоңыр ғарышайлағы Қазақстанда орналасқан. Бірінші Жер серігі және ең бірінші ғарышкер Ю. Гагарин осы жерден ұшты. Байқоңыр 1955 жылы құрылды. Қазіргі уақытта бұл тек бірінші ғана емес, сонымен қатар әлемдегі ең үлкен ғарыш орталығы (11.7.2-сурет). Міне, осылайша адамзаттың ғарышқа ұшу және оны тереңірек зерттеу кезеңі басталды.



Сергей Павлович Королёв (1906–1966) — КСРО ғалымы, ракета және ғарыш жүйелерін жобалаушы. Практикалық космонавтикадағы кеңестік ғарыш және ракета техникасының негізін салушылардың бірі. Оның жетекшілігімен Жердің алғашқы жасанды серігімен Юрий Гагарин ғарышқа ұшты.



11.7.2-сурет. Байқоңыр ғарышайлағы

1963 жылдың 16 маусымында ғарышқа әлемдегі ең бірінші әйел ғарышкер Валентина Терешкова ұшты.

1965 жылдың 18 наурызында тарихта алғаш рет ғарышкер Алексей Леонов ашық ғарышқа шықты.

1969 жылдың 20 шілдесінде Аполлон-11 кемесімен Айға ең алғашқы болып американдық ғарышкер Нил Армстронг қонды.

1991 жылдың 2–10 қазанында тұңғыш қазақстандық ғарышкер Тоқтар Әубәкіров ғарышта ғылыми жұмыс жүргізді.

Екінші қазақ ғарышкері Талғат Мұсабаев ғарышта үш рет болды: бір рет бортинженер, екі рет экипаж командирі болып ұшты: 01.07 — 04.11.1994 ж., 29.01 — 25.08.1998 ж., 28.04. — 06.05.2001 ж.

2015 жылғы 2 қыркүйектен 12 қыркүйекке дейін ұшқыш-инженер ретінде Айдын Айымбетов ғарышта болды (11.7.3-сурет).



Тоқтар Әубәкіров



Талғат Мұсабаев



Айдын Айымбетов

11.7.3-сурет.

Қазіргі уақытта әлемнің 36 елінен 500-ден астам ғарышкер Жер орбитасында болды. 1998 жылдан бастап қазіргі уақытқа дейін 15 мемлекеттің бірлескен меншігі халықаралық орбиталық станция Жер төңірегіндегі ұшуын жалғастыруда.

**3. Орбиталық станция** — ғарыш кеңістігі жағдайында адамдардың ұзақ уақыт тұрып, ғылыми жұмыстар мен бақылаулар жүргізуіне арналған ғарыш аппараты.

Жердің орбитасында әртүрлі мақсаттар үшін көптеген *жасанды Жер серіктері* жұмыс істейді (астрономиялық, метеорологиялық, әскери, навигациялық, байланыс серіктері және т.б.). Сонымен бірге ғарышты зерттеудің 60 жылдан астам уақытында орбитада жеткілікті мөлшерде жиналып қалған ғарыштық қоқыстардан арылу мәселесі де маңызды болып отыр.

Күн жүйесіндегі планеталарды зерттеу үшін автоматты планетааралық станциялар жіберілді. Алғашқы автоматтандырылған планетааралық станция Айға жақын ұшқан «Луна-1» (1959) болды. Ең әйгілі автоматты планетааралық станциялар қатарына «Вояджер», «Венера», «Луна», «Маринер», «Пионер», «Викинг», «Вега» секілді аппараттар сериясы, сондай-ақ «Галилео», «Кассини», «Новые горизонты» аппараттары жатады.

XXI ғасырда адамзат Марсты отарлаудың алғашқы қадамы ретінде оған экспедиция жасауды жоспарлап отыр. Ондағы ең жақын мақсат қоршаған ортаның бір бөлігі ретінде Марсты зерттеуге адамзаттың ақыл-ойын жұмылдыру болып табылады.

Адамдарды Марсқа аттандыру мәселесімен америкалық компания «SpaceX» шұғылданады. Бұл компания 2040 жылға қарай адамдардың Марстағы алғашқы колониясын құру мақсатында ғарыш кемелерін жасағанша, әрі олармен ұшатын еріктілерді даярлағанша NASA Қызыл планетада өмір сүру үшін қажет болатын барлық ақпараттарды жинап, адамдарды ұшырудың қамына кірісе береді. Со-

нымен қатар NASA 2030 жылға қарай Айда жұмыс жасайтын 6–10 ғалым үшін қоныс орындарын салуды көздеп отыр. Ал JAXA ғарыш агенттігіндегі жапон ғалымдары оған дейін Айда жұмыс жасайтын «ақылды» роботтардың базасын салып бітіреміз деп құлшынууда.

*Жұлдызаралық қшуды жүзеге асыру* – өте өзекті мәселелердің бірі. Алайда жұлдыздарға ұшатын құрылғыларды жасау бүгінгі күнгі зерттеулердің күн тәртібінде тұрған жоқ. Дегенмен жақын жұлдыздар мен галактикалар бағытында Күн жүйесінде саналы тіршілікті білдіретін арнайы кодталған радиосигналдар Жер бетінен ауық-ауық жіберіліп жатыр.



### Сұрақтар

1. Ғаламда тіршілік пен ақыл-ой иелері бар ма? Күн жүйесінде тіршілік үшін жағдай бар ма? Экзопланеталар дегеніміз не?
2. Адамзат үшін ғарыштық дәуір қашан және қалай басталды?
3. Ғарышты бірлесіп зерттеудегі алғашқа қадамдар қандай? Адамзаттың ғарышты зерттеудегі жақын және алыс армандары қандай?

## ХІ ТАРАУДАҒЫ ТҮЙІНДІ ҚОРЫТЫНДЫЛАР

- **Жұлдыз** — қойнауында өтетін термоядролық синтез нәтижесінде жылу мен жарықты шығаратын массивті плазмалық шар.
- **Күн** — қарапайым жұлдыз, жалындаған плазмалық шар. Диаметрі 1 млн 390 мың км (немесе Жердің 109 диаметрі), салмағы  $1,98 \cdot 10^{30}$  кг (немесе 330 мың Жер массасы), орташа тығыздығы  $1,41 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, бұл Жердің орташа тығыздығынан 4 есе аз.
- **Фотосфера** — сәуле шығару көзі болып табылатын Күннің көрінетін беті.
- **Күн жүйесі** — Күн және Күнді айнала қозғалатын планеталар мен басқа да барлық табиғи ғарыш объектілері кіретін жүйе.
- **Планета** — пішіні сфераға жақын, жұлдыздан шағылған жарықпен жарқырайтын және оның гравитациялық өрісінде жұлдызды айнала қозғалатын аспан денесі.
- **Галактика** — гравитациялық түрде байланысқан жүздеген миллиард жұлдыздар мен жұлдызаралық ортадан тұратын жүйе.
- **Квазарлар** — үлкен галактикалардың ядроларында орналасқан өте массивті нейтрондық жұлдыздар жиыны.
- **Метагалактика** астрономиялық әдістерімен зерттеу үшін Ғаламның қолжетімді бақыланатын бөлігі.
- **Үлкен жарылыс** — Ғаламның ерте дамуын сипаттайтын жалпы қабылданған космологиялық модель, яғни Ғаламның кеңеюінің бастауы.
- **Қараңғы материя** — электрмагниттік сәулені шығармайтын және онымен тікелей өзара әсерлеспейтін материяның гипотезалық түрі.
- **Қараңғы энергия** — Ғаламның математикалық моделіне енгізілген энергияның гипотезалық түрі.



## ҚОСЫМШАЛАР

### 1. Негізгі физикалық және астрономиялық тұрақтылар

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Еркін түсу үдеуі               | $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  |
| Больцман тұрақтысы             | $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$                          |
| Авогадро тұрақтысы             | $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$                       |
| Жарықтың вакуумдағы жылдамдығы | $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$                                  |
| Элементар заряд                | $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$                             |
| Электрлік тұрақты              | $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$                  |
| Планк тұрақтысы                | $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$            |
| Стефан–Больцман тұрақтысы      | $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ |
| Вин тұрақтысы                  | $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$               |
| Массаның атомдық бірлігі       | $1 \text{ м.а.б.} = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$           |

### 2. Ондық үлестер қосымшалары

| Аталуы | Белгіленуі | Негізгі бірлікке қатынасы | Аталуы | Белгіленуі | Негізгі бірлікке қатынасы |
|--------|------------|---------------------------|--------|------------|---------------------------|
| пета   | П          | $10^{15}$                 | деци   | д          | $10^{-1}$                 |
| тера   | Т          | $10^{12}$                 | санти  | с          | $10^{-2}$                 |
| гига   | Г          | $10^9$                    | милли  | м          | $10^{-3}$                 |
| мега   | М          | $10^6$                    | микро  | мк         | $10^{-6}$                 |
| кило   | к          | $10^3$                    | нано   | н          | $10^{-9}$                 |
| гекто  | г          | $10^2$                    | пико   | п          | $10^{-12}$                |
| дека   | де         | $10^1$                    | фемто  | ф          | $10^{-15}$                |

### 3. Элементар бөлшектердің тыныштық массасы (м.а.б.)

| Протон                             | Нейтрон                            | Электрон                           |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| ${}^1_1P$                          | ${}^1_0n$                          | ${}^0_{-1}e$                       |
| 1,0072765 м.а.б.                   | 1,0086649 м.а.б.                   | 0,0005486 м.а.б.                   |
| $1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ | $1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ | $9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ |

#### 4. Кейбір изотоптардың массасы (м.а.б)

| Изотоп                         | Нейтрал атомның массасы | Изотоп                             | Нейтрал атомның массасы |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| ${}^1_1\text{H}$ (сутек)       | 1,00783                 | ${}^{14}_7\text{N}$ (азот)         | 14,00307                |
| ${}^2_1\text{H}$ (дейтерий)    | 2,01410                 | ${}^{15}_7\text{N}$ (азот)         | 15,00011                |
| ${}^3_1\text{H}$ (тритий)      | 3,01605                 | ${}^{16}_8\text{O}$ (оттек)        | 15,99491                |
| ${}^3_2\text{He}$ (гелий)      | 3,01602                 | ${}^{17}_8\text{O}$ (оттек)        | 16,99913                |
| ${}^4_2\text{He}$ (гелий)      | 4,00260                 | ${}^{27}_{13}\text{Al}$ (алюминий) | 26,98146                |
| ${}^6_3\text{Li}$ (литий)      | 6,01513                 | ${}^{234}_{92}\text{U}$ (уран)     | 234,0409521             |
| ${}^7_3\text{Li}$ (литий)      | 7,01601                 | ${}^{235}_{92}\text{U}$ (уран)     | 235,0439299             |
| ${}^8_4\text{Be}$ (бериллий)   | 8,00531                 | ${}^{236}_{92}\text{U}$ (уран)     | 236,0455680(20)         |
| ${}^{10}_5\text{B}$ (бор)      | 10,01294                | ${}^{237}_{92}\text{U}$ (уран)     | 237,0487302             |
| ${}^{11}_5\text{B}$ (бор)      | 11,00931                | ${}^{238}_{92}\text{U}$ (уран)     | 238,0507882             |
| ${}^{12}_6\text{C}$ (көміртек) | 12,00000                | ${}^{239}_{92}\text{U}$ (уран)     | 239,0542933             |

#### 5. Астрономиялық шамалар

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| Күн радиусы    | $6,95 \cdot 10^8$ м      |
| Күн массасы    | $1,98 \cdot 10^{30}$ кг  |
| Айдың радиусы  | $1,74 \cdot 10^6$ м      |
| Айдың массасы  | $7,35 \cdot 10^{22}$ кг  |
| Жердің радиусы | $6,378 \cdot 10^6$ м     |
| Жердің массасы | $5,976 \cdot 10^{24}$ кг |

#### 6. Жұлдыздардың өмір сүру уақытының массасына тәуелділігі

| Жұлдыздар массасы, Күн массасымен | Уақыты, жыл |
|-----------------------------------|-------------|
| 50                                | 3–5 млн     |
| 10                                | 30 млн      |
| 1,5                               | 3 млрд      |
| 1,0                               | 10 млрд     |
| 0,1                               | 1 трлн      |

7. Химиялық элементтердің Д.И. Менделеев жасаған периодтық жүйесі

| ПЕРИОД-ТАР | ТОПТАР |    |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |
|------------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|---|----|--|
|            | I      | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X | XI |  |
| 1          | H      | He |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |
| 2          | Li     | Be | B   | C  | N  | O  | F   | Ne   |    |   |    |  |
| 3          | Na     | Mg | Al  | Si | P  | S  | Cl  | Ar   |    |   |    |  |
| 4          | K      | Ca | Sc  | Ti | V  | Cr | Mn  | Fe   |    |   |    |  |
| 5          | Rb     | Sr | Y   | Zr | Nb | Mo | Tc  | Ru   |    |   |    |  |
| 6          | Cs     | Ba | La  | Hf | Ta | W  | Re  | Os   |    |   |    |  |
| 7          |        |    |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |
| 8          |        |    |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |
| 9          |        |    |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |
| 10         |        |    |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |
| 11         |        |    |     |    |    |    |     |      |    |   |    |  |

\*Лантаноидтер (лантаноидтар)

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

\*\*Активидтер (актиноидтар)

|       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | 95 Am | 96 Cm | 97 Bk | 98 Cf | 99 Es | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lr |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|



## ГЛОССАРИЙ

**Абсолют қара дене** — өзіне түсетін бүкіл энергияны жұтып алуға қабілетті дене.

**Атомның планетарлық моделі** — құрылысын Күн жүйесіне ұқсастырып түсіндіретін модель.

**Атомдық-күштік микроскоп (АКМ)** — нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп.

**Бор постулаттары** атомның сәуле шығаруын түсіндіретін жартылай классикалық, жартылай кванттық теория.

**Графен** — көміртек атомдарының бірқабатты жарғағы.

**Жартылай ыдырау периоды** — атомдардың бастапқы санының жартысы ыдырайтын уақыт.

**Корпускулалы-толқындық дуализм** — жарықтың өрі толқындық, өрі корпускулалық (бөлшектік) екіжақтылық қасиетін түсіндіретін ілім.

**Қараңғы материя** — электрмагниттік сәулені шығармайтын және онымен тікелей өзара әсерлеспейтін материяның гипотезалық түрі.

**Қараңғы энергия** — өлемнің математикалық моделіне енгізілген энергияның гипотезалық түрі.

**Нанобөлшек** — өлшемдері нанометрмен өлшенетін молекулаларға қарайлас бөлшек.

**Нанотехнология** — жекелеген атомдар мен молекулалардың деңгейінде жұмыс істеу техникасы.

**Наноматериалдар** — нанобөлшектер мен наноэлементтерден құрастырылған әртүрлі нәрселер.

**Наноробот** — өлшемдері молекула өлшемдерімен қарайлас наноэлементтерден жасалған робот.

**Радиоактивтілік** — кейбір ядролардың радиоактивті сәуле және элементар бөлшектерді шығара отырып, кенеттен басқа ядроларға ауысу қабілеттілігі.

**Салыстырмалылық принципі** — Эйнштейн теориясының басты постулаты.

**Сәуле шығару** — энергияның толқын және бөлшектер түрінде шығарылуы және таралуы.

**Сканерлейтін туннельдік микроскоп (СТМ)** — нанообъектілерді зерттеуге арналған микроскоп.

**Спектрлік талдау** — спектр бойынша заттың химиялық құрамын анықтау әдістері.

**Термоядролық реакциялар** — өте үлкен температураларда жеңіл ядролардың бірігу реакциялары.

**Үлкен Жарылыс** — Ғаламның ерте дамуын сипаттайтын жалпы қабылданған космологиялық модель, яғни Ғаламның кеңеюінің басы.

**Фотон** — тыныштық массасы және электр заряды жоқ, бірақ электрмагниттік әсерді тасымалдайтын, электрмагниттік өрістің кванты (элементар бөлшек).

**Фуллерен** — көміртектің 60 атомынан құралған доп тәріздес тұрақты молекула.

**Энергияның ең төменгі деңгейі** — атомның негізгі сәуле шығармайтын күйі.

**Ядролық реакциялар** — элементар бөлшектермен немесе бір-бірімен әрекеттескен кездегі атом ядроларының түрленуі.

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Ақылбеков Ә., Ермакова Ж., Дәулетбекова А. Физика. – Астана: Фолиант, 2015. – 440 с.
2. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я. Задачи по физике для поступающих в вузы. – М.: МГУ, 1968. – 336 с.
3. Воробьев И. И., Зубков П. И., Кутузова Г. А., Савченко О. Я., Трубачев А. М., Харитонов В. Г. Задачи по физике. – М.: Наука, 1988. – 416 с.
4. Гинзбург В. Л., Левин Л. М., Сивухин Д. В., Четверикова Е. С., Яковлев И. А. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика. М., 1977. – 320 с.
5. Гольдфарб Н. И. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Высшая школа, 1973. – 352 с.
6. Косов В. Н., Красиков С. А. Численное моделирование на уроках физики. – Алматы: Алматыкітап, 2015. – 240 с.
7. Московкина Е. Г., Волков В. А. Сборник задач по физике. – М.: ВАКО, 2017. – 320 с.
8. Оськина В.Т. Физика и астрономия. 9–11 классы: олимпиадные задания. – Волгоград.: Учитель, 2011. – 143 с.
9. Романова В. В. Астрономия. Практикум. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2016. – 112 с.
10. Рымкевич А. П. Физика. Задачник. 10–11 кл. Пособие для общеобразоват. учеб. заведений. – 6-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2002. – 192 с.
11. Сборник задач по курсу общей физики/Под редакцией Цедрика М. С. – М.: Просвещение, 1989. – 271 с.
12. Сборник задач и вопросов по физике/Под общей редакцией Жданова Л. С. – М.: Наука, 1974. – 368 с.
13. Трофимова Т. И., Фирсов А. В. Курс физики с примерами решения задач. Том 1. – М.: Кнорус, 2010. – 584 с.
14. Уокер Дж. Физический фейерверк. – М.: Мир, 1989. – 298 с.
15. Физика. 11 кл. Проф. уровень – п.р. Пинского, Кабардина. – 2011. – 420 с. PDF (91.3 Мб).
16. Физика. Механика. 10 кл. Проф. уровень под ред. Мякишева Г. Я. – 2010 – 496 с. pdf (5.8 Мб).
17. Физика. Молекулярн. физика. Термодинамика. 10 кл. Проф. ур Мякишев Г. Я., Синяков А. З. – 2010 – 352 с. pdf (4.4 Мб).
18. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. (углубл. изуч.) Мякишев Г. Я., Синяков А. З. – 2002 – 464 с. djvu (8.7 Мб).
19. Физика. Электродинамика. 10–11 кл. Проф. уровень Мякишев, Синяков, Слободсков. – 2010 – 480 с. pdf (5.8 Мб).

### Интернет-ресурсы

1. <http://www.fizika.ru>
2. <https://fiz.1sept.ru/fizarchive.php>
3. <http://www.edu.delfa.net/>
4. <http://www.eduspb.com>
5. <https://physics.ru/>

## МАЗМУНЫ

|  |     |
|--|-----|
| Алғы сөз.....  | 3   |
| <b>VII тарау. САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТТЕРІ</b>   |     |
| §7.1. Салыстырмалылық теориясының постулаттары .....   | 6   |
| §7.2. Лоренц түрлендірулері .....  | 9   |
| §7.3. Релятивистік динамикадағы энергия, импульс және масса.....   | 16  |
| §7.4. Материялық денелер үшін масса мен энергияның өзара<br>байланыс заңы .....                            | 22  |
| <b>VIII тарау. АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА</b>  |     |
| §8.1. Сәуле шығару түрлері .....   | 29  |
| §8.2. Спектрлер. Спектрлік аппараттар.....   | 33  |
| §8.3. Спектрлік талдау.....  | 35  |
| §8.4. Инфрақызыл және ультракүлгін сәуле шығару.....   | 38  |
| §8.5. Жылулық сәуле шығару.....  | 41  |
| §8.6. Стефан–Больцман және Вин заңдары. Ультракүлгін апаты .....   | 44  |
| §8.7. Планк формуласы. Фотондар .....  | 50  |
| §8.8. Фотоэффект. Фотоэффектіні қолдану .....  | 54  |
| §8.9. Жарық қысымы .....   | 62  |
| §8.10. Жарықтың химиялық әсері .....   | 66  |
| §8.11. Рентгендік сәуле .....  | 68  |
| §8.12. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы ....                                      | 71  |
| §8.13. Атом моделі. Резерфорд тәжірибесі.....  | 74  |
| §8.14. Сутегі атомының сызықтық спектрі. Бор постулаттары.<br>Франк–Герц тәжірибесі.....                   | 77  |
| №6 зертханалық жұмыс. Үздіксіз және сызықтық сәуле шығару<br>спектрлерін бақылау.....                      | 83  |
| §8.15. Сызықтық емес оптика түсінігі. Лазерлер .....   | 85  |
| §8.16. Бор теориясының қиындықтары. Бөлшектердің толқындық<br>қасиеттері. Де Бройль толқыны .....          | 91  |
| <b>IX тарау. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ</b>   |     |
| §9.1. Табиғи радиоактивтілік. Радиоактивті ыдырау заңдары .....  | 98  |
| §9.2. Атом ядросы. Ядроның нуклондық моделі. Изотоптар.....  | 106 |
| §9.3. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы .....   | 108 |
| §9.4. Ядролық реакциялар. Ауыр ядролардың бөлінуі.<br>Тізбекті ядролық реакциялар .....                    | 113 |
| §9.5. Термоядролық реакциялар .....  | 119 |
| №7 зертханалық жұмыс. Дайын суреттер бойынша зарядталған<br>бөлшектердің іздерін бақылау .....             | 124 |
| §9.6. Ядролық реактор. Критикалық масса. Ядролық энергетика .....  | 126 |
| §9.7. Радиоактивті сәуле шығарудың биологиялық әсері.<br>Жасанды радиоактивтілік. Радиациядан сақтану..... | 131 |



**X тарау. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР**

|   |     |
|---|-----|
| §10.1. Нанотехнология және оның негізгі жетістіктері .....                        | 140 |
| §10.2. Наноматериалдардың физикалық қасиеттері және оларды<br>алу тәсілдері ..... | 145 |
| §10.3. Наноматериалдардың даму болашағы және проблемалары .....                   | 150 |

**XI тарау. КОСМОЛОГИЯ**

|  |     |
|--|-----|
| §11.1. Жұлдыздар өлемі. Жұлдыздарға дейінгі қашықтық .....   | 158 |
| §11.2. Жұлдыздар эволюциясы. Айнымалы жұлдыздар.....   | 164 |
| §11.3. Күн. Күн мен Жердің байланысы .....   | 170 |
| §11.4. Күн жүйесі.....   | 175 |
| §11.5. Біздің Галактика. Басқа Галактикалардың ашылуы. Квazarлар .....                                 | 184 |
| §11.6. Ғалам .....   | 188 |
| §11.7. Ғаламдағы өмір мен ақыл-ой парасаты. Ғарышты зерттеу және<br>адамзаттың ғарыштық келешегі ..... | 196 |
| Қосымшалар .....   | 200 |
| Глоссарий .....  | 203 |
| Пайдаланған әдебиеттер .....   | 204 |

**О қ у б а с ы л ы м ы**

**Башарұлы Рахметолла  
Шүнкеев Қуанышбек  
Мясникова Людмила  
Жантурина Нүргүл  
Бармина Александра  
Аймағанбетова Зухра**

**ФИЗИКА**

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

*Екі бөлімді*

*Екінші бөлім*

**Редакторы Ү. Өмірзақ  
Көркемдеуші редакторы А. Ысқақов  
Техникалық редакторы Ү. Рысалиева  
Корректоры Ү. Бахова  
Компьютерде беттеген Ж. Есетова**

**ИБ 071**

Теруге 28.04.2019 берілді. Басуға 29.07.2020 қол қойылды. Пішімі 70×90<sup>1/16</sup>.  
Офсеттік қағаз. Мектептік өріп. Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 15,21.  
Есептік баспа табағы 12,12. Таралымы 6000 дана. Тапсырыс №5176.  
«Атамұра» корпорациясы» ЖШС-і, 050000, Алматы қаласы, Абылай хан даңғылы, 75.  
Қазақстан Республикасы «Атамұра» корпорациясы» ЖШС-нің  
Полиграфкомбинаты, 050002, Алматы қаласы, М. Мақатаев көшесі, 41.





# Оглавление

page1  
page2  
page3  
page4  
page5  
page6  
page7  
page8  
page9  
page10  
page11  
page12  
page13  
page14  
page15  
page16  
page17  
page18  
page19  
page20  
page21  
page22  
page23  
page24  
page25  
page26  
page27  
page28

page34

page35

page36

page37

page38

page39

page40

page41

page42

page43

page44

page45

page46

page47

page48

page49

page50

page51

page52

page53

page54

page55

page56

page57

page58

page59

page60

page61

page62

page63

page64

page69  
page70  
page71  
page72  
page73  
page74  
page75  
page76  
page77  
page78  
page79  
page80  
page81  
page82  
page83  
page84  
page85  
page86  
page87  
page88  
page89  
page90  
page91  
page92  
page93  
page94  
page95  
page96  
page97  
page98  
page99



page104  
page105  
page106  
page107  
page108  
page109  
page110  
page111  
page112  
page113  
page114  
page115  
page116  
page117  
page118  
page119  
page120  
page121  
page122  
page123  
page124  
page125  
page126  
page127  
page128  
page129  
page130  
page131  
page132  
page133  
page134

page139  
page140  
page141  
page142  
page143  
page144  
page145  
page146  
page147  
page148  
page149  
page150  
page151  
page152  
page153  
page154  
page155  
page156  
page157  
page158  
page159  
page160  
page161  
page162  
page163  
page164  
page165  
page166  
page167  
page168  
page169

page174  
page175  
page176  
page177  
page178  
page179  
page180  
page181  
page182  
page183  
page184  
page185  
page186  
page187  
page188  
page189  
page190  
page191  
page192  
page193  
page194  
page195  
page196  
page197  
page198  
page199  
page200  
page201  
page202  
page203  
page204