

# ФИЗИКА

Оқулық

2-бөлім

**11**

Жаратылыстану-математика  
бағыты



## **IV бөлім. САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ**

8-тарау. Салыстырмалылық теориясының элементтері

## **V бөлім. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА**

9-тарау. Атомдық және кванттық физика

10-тарау. Атом ядросының физикасы

## **VI бөлім. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР**

11-тарау. Нанотехнология және наноматериалдар

## **VII бөлім. КОСМОЛОГИЯ**

12-тарау. Космология

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

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

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

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

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

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

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

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

Оқуда табыс тілейміз!

*Авторлар*



## IV бөлім. САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

### 8-тарау. САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

#### §42. Салыстырмалылық теориясының постулаттары. Лоренц түрлендірулері



##### Тірек ұғымдар:

- ✓ салыстырмалылық принципі
- ✓ жарық жылдамдығы
- ✓ Галилейдің салыстырмалылық принципі
- ✓ жарық жылдамдығының тұрақтылық принципі
- ✓ Галилей түрлендірулері
- ✓ Лоренц түрлендірулері
- ✓ меншікті уақыт
- ✓ меншікті ұзындық

##### Бүгінгі сабақта:



- Галилейдің салыстырмалылық принципін еске түсіріп, оның Эйнштейн салыстырмалылық теориясына қатысын;
- теориядағы негізгі ұғымдарымен;
- теорияның салдары және эффектілерімен танысасыздар.

Салыстырмалылық теориясы — XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басында Лоренц, Пуанкаре және Эйнштейн еңбектерімен жасалған кеңістік пен уақыттағы физикалық процестер қалай жүретінін сипаттайтын теория. Салыстырмалылық теориясының математикалық негіздері толығымен 1900 жылы Пуанкаре еңбектерінде жарияланған болатын, алайда кең қолданыста бұл теорияның Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы деп аталуы — оның “эфир” ұғымынан бас тартуы арқылы бос кеңістік жайлы жаңа көзқарас енгізуі және сол кездегі физиктер қауымдастығына салыстырмалылық теориясын ең түсінікті түрде беруінде.

Кез келген теория оның іргесін қалайтын принциптерге негізделеді. Эйнштейннің салыстырмалылық теориясының негізінде осындай екі іргелі постулаттар жатыр. Олар — Эйнштейннің *салыстырмалылық принципі* және сигналдардың *таралу жылдамдығының шектілігі* (жарық жылдамдығының тұрақтылығы). Осы екі постулатты талқылайық.

Эйнштейннің салыстырмалылық принципі негізінде Галилейдің салыстырмалылық принципі жатыр. Галилей кез келген санақ жүйелері ішінде ерекше орын алатын инерциалды санақ жүйелері болатынын



Хендрик Антон  
Лоренц  
(1853—1928)



Анри Пуанкаре  
(1854—1912)



Альберт Эйнштейн  
(1879—1955)

ашты. Мұндай жүйелерде бірқалыпты ілгерілемелі механикалық қозғалыс салыстырмалы болады екен.

### Мұны білесіңдер

Денеге сыртқы күштер әсер епеген жағдайда ол тыныштықта немесе бірқалыпты тұзусызықты қозғалыста болатын санақ жүйелерін *инерциалды санақ жүйелері* деп атайды.

Егер бір инерциалды санақ жүйесін таңдап алсақ, оған қатысты мәні әрі бағыты бойынша тұрақты жылдамдықпен қозғалатын барлық санақ жүйелері инерциалды санақ жүйелері болып табылады.

Табиғаттағы барлық құбылыстар үшөлшемді кеңістік пен бірөлшемді уақыт аясында орын алады. Галилейдің салыстырмалылық принципі — кеңістік пен уақыттың қасиеттерін сипаттайтын принцип. Галилейдің ашқан жаңалығы — біркелкі, ілгерілемелі, тұзусызықты қозғалыстың абсолют емес, салыстырмалы болатындығы.

Салыстырмалылықтың ең қарапайым мысалы ретінде бірөлшемді кеңістік — тұзу сызықтың қарастырайық. Егер шексіз ұзын тұзу сызықтың бойында координата енгізсек, өз ұйғарымымызбен санақты кез келген жерден бастай берсек болады, демек, тұзу бойында берілген нүктенің координатасы *салыстырмалы*: оның мәні біз өз ұйғарымымызбен алған  $O$  немесе  $O'$  бас нүктелермен салыстыру арқылы ғана анықталады (42.1-сурет). Жазықтық пен кеңістікте дәл сол жағдай орын алады. Бірақ бұл — геометриялық салыстырмалылық.

Физикада біз инерциалды санақ жүйесі координаталарының бас нүктесі орнын ғана өз ұйғарымымызбен алудан өзге, оның жылдамдығын да өз қалауымызша таңдап алуымызға болады екен. Міне, осы жағдайды Галилей бірінші рет байқап, заманауи механиканың негізін салды.

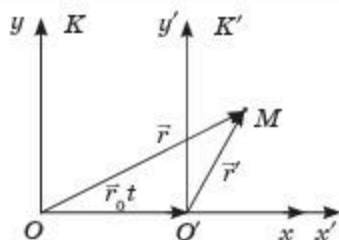
Біз таңдап алған  $K'$  санақ жүйесі тыныштықтағы  $K$  санақ жүйесіне қатысты (салыстырмалы)  $v_0$  осі бағытында тұрақты  $v_0$  жылдамдықпен қоз-



42.1-сурет

ғала бастасын (42.2-сурет). Осы жүйедегі біз қарастырып отырған қозғалушы бөлшектің  $x'$  координатасы мен оның тыныштықтағы санақ жүйесіндегі  $x$  координатасы арасындағы байланысы келесі формуламен беріледі:

$$x' = x - v_0 t. \quad (42.1)$$



42.2-сурет

Айта кететін жайт, екі санақ жүйесінде де уақыт жүрісі бірдей деп қабылданады:  $t' = t$ .

Галилейдің салыстырмалылық принципін математикалық тұжырымдамасы мына формуламен беріледі:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}_0 t, \quad (42.2)$$

ал құраушылары арқылы

$$\begin{cases} x' = x - v_0 t, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = t; \end{cases} \quad (42.3)$$

ал кері түрлендіру

$$\begin{cases} x' = x + v_0 t, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = t. \end{cases} \quad (42.4)$$

Бұлар координаталық түрлендіру формулаларына жатады. Тыныштықтағы санақ жүйесінен тұрақты  $v_0$  жылдамдықпен қозғалатын санақ жүйесіне көшу кезіндегі координаталық түрлендірулер *Галилей түрлендірулері* деп аталады.

Жалпы жағдайда  $K$  санақ жүйесіндегі бөлшектің қозғалыс заңдылығы

$$x = x_0 + vt.$$

$t = 0$  уақыт мезетінде  $x = x_0$  және  $x' = x_0$ .

$K'$  санақ жүйесіндегі бөлшектің қозғалыс жылдамдығы

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_0. \quad (42.5)$$

Бұл өрнек жылдамдықты түрлендіру (қосу) формуласы деп аталады. Құраушылары арқылы

$$\begin{cases} v'_x = v_x + v_0, \\ v'_y = v_y, \\ v'_z = v_z; \end{cases} \quad (42.6)$$



ал кері түрлендіру

$$\begin{cases} v'_x = v_x + v_0, \\ v'_y = v_y, \\ v'_z = v_z. \end{cases} \quad (42.7)$$

Галилей түрлендірулерін қолданғанда бөлшектің қозғалыс теңдеуі өз түрін өзгертпейді. Ол қозғалыстағы санақ жүйесі үшін де, тыныштықтағы санақ жүйесі үшін де бірдей. Сондықтан қозғалыс заңдары да екі жүйе үшін бірдей болады.

Галилей түрлендірулері кезіндегі қозғалыс теңдеулерінің түрін өзгертпеуі осы қозғалыс теңдеулерінің Галилей түрлендірулеріне қатысты инварианттылығы деп аталады. Галилейдің механикалық салыстырмалылық принципін қорытындылайтын бірінші постулат былай оқылады: **еш механикалық тәжірибе жасау арқылы инерциалды санақ жүйесінің не тыныштықта, не қозғалып бара жатқанын анықтау мүмкін емес.** Тыныштықтағы санақ жүйесі мен тұзусызықты және бірқалыпты қозғалыстағы санақ жүйелері үшін қозғалыс заңдары бірдей болғандықтан, мәні және бағыты бойынша тұрақты болатын қозғалыстарды ешбір механикалық тәжірибелер арқылы анықтау мүмкін емес. Ешқандай абсолюттік жылдамдық жоқ, тек салыстырмалы жылдамдық қана бар. Демек, тұзусызықты және бірқалыпты қозғалыс салыстырмалы түрде ғана анықталады.

Осы факт Галилей түрлендірулеріне қатысты қозғалыс теңдеулерінің инварианттылығы *Галилейдің салыстырмалылық принципі* деп аталады.

*Галилейдің салыстырмалылық принципі* бойынша механиканың барлық заңдары кез келген инерциалды санақ жүйелерінде бірдей орындалады. Олардың бір-бірінен артықшылығы жоқ, біз оларды өз таңдауымызбен, есепті шығару ыңғайлылығына немесе басқа қажеттілікке байланысты таңдап аламыз.

*Эйнштейннің салыстырмалылық принципі* бойынша физиканың барлық заңдары кез келген инерциалды санақ жүйелерінде бірдей орындалады. Демек, өріс немесе қозғалыс теңдеулері бір инерциалды санақ жүйесінен екіншісіне өткенде өзгермейді, яғни координаталар мен уақытқа байланысты түрлендірулерге қатысты (Лоренц түрлендірулері) инвариантты болады. Кез келген физикалық процесс теңдеулерінің бұндай қасиетін Лоренц *инварианттылығы* деп атайды.

Эйнштейннің салыстырмалылық теориясындағы салыстырмалылық принципінің *Галилейдің салыстырмалылық принципінен* айырмашылығы — инерциалды санақ жүйесінде тек механикалық процестер ғана емес, *барлық физикалық құбылыстар* бірдей жүреді. Демек, кез келген инерциалды санақ жүйесінде ешқандай физикалық (тек механикалық емес) тәжірибе жасау арқылы оның жылдамдығын

анықтау мүмкін емес. Эйнштейн Галилейдің салыстырмалылық принципін жалпылап, оның қолдану аясын кеңейтті.

Эйнштейннің салыстырмалылық принципінің математикалық тұжырымдамасы мына формуламен беріледі:

$$\begin{cases} x' = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = \frac{t - \frac{v_0}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \end{cases}$$

кері түрлендіру

$$\begin{cases} x' = \frac{x + v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = \frac{t + \frac{v_0}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}. \end{cases}$$

Эйнштейннің салыстырмалылық теориясындағы тыныштықтағы санақ жүйесінен тұрақты  $v_0$  жылдамдықпен қозғалатын санақ жүйесіне көшу кезіндегі координаталық түрлендірулер *Лоренц түрлендірулері* деп аталады.

Сәйкес жылдамдықты түрлендіру (қосу) формуласы

$$\begin{cases} v_x' = \frac{v_x - v_0}{1 - \frac{v_0}{c^2} v_x}, \\ v_y' = \frac{v_y \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_0}{c^2} v_x}, \\ v_z' = \frac{v_z \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_0}{c^2} v_x}. \end{cases}$$

кері түрлендіру

$$\left\{ \begin{array}{l} v'_x = \frac{v_x + v_0}{1 + \frac{v_0}{c^2} v_x}, \\ v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}{1 + \frac{v_0}{c^2} v_x}, \\ v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}{1 + \frac{v_0}{c^2} v_x}. \end{array} \right.$$

Бұл формулаларда классикалық механикада орын алатын  $\frac{v_0}{c} \approx 0$  шартын қолдансақ, Лоренц түрлендірулері де, жылдамдықты қосу формулалары да Галилей түрлендірулері (42.4) мен классикалық жылдамдықты қосу формулаларына (42.7) түрленетінін байқаймыз. Демек, **Эйнштейн салыстырмалылық принципі Галилей салыстырмалылық принципіне қамтиды** деп айта аламыз.

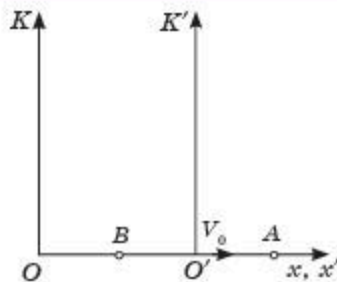
Енді сигналдардың таралу жылдамдығының шектілігі (жарық жылдамдығының тұрақтылығы) принципі талқылайық. Ғалымдар эксперименттер мен бақылаулар арқылы барлық санақ жүйелерінде кез келген сигналдың жылдамдығы шекті және оның ең жоғары шегі бір мәнге ие болатынын тапты. Ол жылдамдықтың  $c = 2,99 \cdot 10^8$  м/с жарықтың вакуумдағы жылдамдығына сәйкес келуі — жарықтың мүмкін болатын ең тез жылдамдықпен таралуында. Себебі жақында ашылған гравитациялық толқындар да осы жылдамдықпен таралатыны дәлелденді, үдеткіштердегі бөлшектер де, жарықтан өзге ғарыш сәулелері де осы жылдамдыққа ұмтылады, одан аса алмайды. *Бұл жылдамдық универсал тұрақты болып табылады.* Демек, бұл принцип те кеңістік пен уақыттың бір ерекше қасиетін сипаттайды. Энергия мен ақпарат жарық жылдамдығынан жоғары жылдамдықпен тарала алмайды. Бүгінгі күнге дейін бұл принциптің бұзылғаны тіркелген емес.

Классикалық механикада бір инерциалды санақ жүйесінен екінші инерциалды санақ жүйесіне өткенде кеңістік пен уақыт қасиеттері өзгермейді. Уақыт жүрісі санақ жүйелеріне тәуелді емес. Ол кез келген инерциалды санақ жүйелерінде бірдей жүреді.

Ал Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы бойынша ол басқаша. Уақыт абсолютті емес. Оның жүрісі әртүрлі санақ жүйелерінде түрлі мәнге ие болады. Қозғалыстағы  $K'$  санақ жүйесінің координата жүйесінің  $O'$  бас нүктесінен қарама-қарсы бағытта бірдей қашықтықта



орналасқан  $A$  және  $B$  нүктелеріне шыққан сигналдың жету оқиғасын  $K$  және  $K'$  санақ жүйелерінде қарастырайық (42.3-сурет).



42.3-сурет

Тыныштықтағы  $K$  санақ жүйесіндегі сигналдың таралу жылдамдығы тұрақты, ол  $c$ -ға тең. Сигнал  $B$  және  $A$  нүктелеріне бірдей уақыт мезетінде жетеді. Ал қозғалыстағы  $K'$  санақ жүйесінде сигнал  $A$  нүктесіне бұрынырақ жетеді. Себебі жарық жылдамдығы мұнда да  $c$ -ға тең болғанмен,  $K'$  санақ жүйесінде

$A$  нүктесі координата жүйесінің басына қарай қозғалып бара жатады, ал  $B$  нүктесі қозғалыстағы координата жүйесінің басынан алшақтап бара жатады. Демек, Эйнштейннің екінші постулаты былай тұжырымдалады: *бір санақ жүйесінде бірмезгілді оқиғалар басқа санақ жүйелерінде бірмезгілді болмайды*. Бұл жағдай *бірмезгілділіктің салыстырмалылығы* деп аталады.

**Меншікті уақыт.** Қозғалыстағы сағат  $dt$  уақыт аралығында  $dx = v_0 dt$  қашықтық жүреді. Енді Лоренц түрлендірулерін пайдаланып, сағатпен бірге қозғалып бара жатқан инерциалды санақ жүйесіндегі уақыт жүрісін жазсақ,

$$dt' = \frac{dt - \frac{v_0}{c^2} dx}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{dt - \frac{v_0}{c^2} v_0 dt}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} dt = dt \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}. \quad (42.8)$$

Демек, уақыт интервалы екі жүйеде екі түрлі:

$$dt' = dt \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}. \quad (42.9)$$

Шексіз аз  $dt$  уақыт интервалынан шектелген  $\Delta t$  уақыт аралығына көшсек

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}, \quad (42.10)$$

кері түрлендіру

$$\Delta t' = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (42.11)$$

Берілген бөлшекпен бірге қозғалатын сағат арқылы өлшенетін уақыт *меншікті уақыт* деп аталады. Қозғалыстағы сағат тыныштықтағы сағатқа қарағанда баяу жүреді:  $\Delta t' < \Delta t$ , себебі түбір астындағы шама барлық жағдайда бірден кіші болады.

Бір қызығы, инерциалды санақ жүйелері тең құқықты болғандықтан, бұл эффект кері қарастыру жағдайында да орын алады. Егер екі

сағаттың жүрісін екі түрлі санақ жүйесінен қарастырсақ, қозғалыстағы сағат тыныштықтағы сағаттан баяу жүреді. Бірақ енді қозғалыстағы бақылаушы өзін тыныштықта тұрмын деп есептеп, бірінші сағат жүрісін бақыласа, оның жүрісінің баяулағанын байқайды. Бұл жағдай *уақыт жүрісінің салыстырмалылығын* көрсетеді.

**Меншікті ұзындық. Ұзындықтың қысқаруы.** Қозғалып бара жатқан санақ жүйесінде ұзындығы  $l_0$  білік аламыз:

$$l_0 = x_2' - x_1', \quad (42.12)$$

мұндағы  $l_0$  — біліктің *меншікті ұзындығы* деп аталады. Тыныштықтағы санақ жүйесінде (бір мезгілде) белгілі бір  $t$  уақыттағы осы координаталар:

$$x_1' = \frac{x_1 - v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}, \quad (42.13)$$

$$x_2' = \frac{x_2 - v_0 t}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}. \quad (42.14)$$

Осы екі нүктенің арақашықтығы:

$$l_0 = \Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}, \quad (42.15)$$

мұндағы  $l = x_2 - x_1$ .

Ал тыныштықтағы санақ жүйесіндегі біліктің ұзындығы

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}. \quad (42.16)$$

Сонымен, қозғалыстағы біліктің ұзындығы тыныштықтағы біліктен қысқа болады. Қозғалып бара жатқан біліктің қысқаруын *ұзындықтың қысқаруы* деп атайды. Перпендикуляр бағыттардағы өлшемдер өзгеріссіз қалады. Сөйкесінше қозғалыстағы дененің өлшемі қозғалыс бағытында қысқарады да, көлем азаяды:

$$V = V_0 \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}, \quad (42.17)$$

мұндағы  $V_0$  — меншікті көлем (дененің меншікті көлемі).

Уақыт жүрісін талқылағанда оның салыстырмалылығын анықтаған едік, дәл сол жағдай мұнда да орын алады. Сондықтан *ұзындықтар да салыстырмалы* екенін ескертеміз. Сонымен, Эйнштейннің салыстырмалылық принципі физикалық түсініктерді түбегейлі қайта қарауды қажет ететін теория болып табылады.



1. Инерциалды санақ жүйелері дегеніміз не?
2. Галилей түрлендірулері және Лоренц түрлендірулері нені сипаттайды?
4. Лоренц түрлендірулері Галилей түрлендірулеріне өтетінін дәлелдеңдер.
5. Эйнштейннің салыстырмалылық теориясының негізінде қандай принциптер жатыр?
6. Уақыт қандай санақ жүйесінде баяулайды?
7. Меншікті уақыт дегеніміз не?
8. Меншікті ұзындық ұғымын неліктен енгізді?
9. Лоренцтік қысқару салдарынан көлем өзгере ме?
- \*10. Жылдамдықтарды қосу нәтижесі жарық жылдамдығынан көп бола алады ма?



"Салыстырмалылық теориясы: Галилейден Эйнштейнге дейін" тақырыбына баяндама дайындаңдар.



#### 20-жаттығу

1. Ғарышкемесінің 0,8 с жылдамдықпен қозғалғанда тыныштықтағы бақылаушыға қарағандағы ұзындығын есептеңдер. Тыныштықтағы кемеңіз ұзындығы 100 м.

*Жауабы:* 60 м.

2. Радиусы 1 м шеңбер 0,99 с сызықты жылдамдықпен өз жазықтығында айналууда. Шеңбер ұзындығы мен радиустың қатынасы неге тең болады?

*Жауабы:* 0,88.

3. Алдыңғы есептің шарты бойынша шеңбер бойындағы бақылаушы үшін оның айналу жиілігі қандай болуы тиіс?

*Жауабы:*  $2,96 \cdot 10^8$  Гц.

- \*4. Екі кеме тыныштықтағы бақылаушыға байланысты 0,7 с жылдамдықпен қарама-қарсы ұшып келеді. Олардың бір-біріне қатысты жылдамдығы қандай?

*Жауабы:*  $0,94 c = 2,818 \cdot 10^8$  м/с.

- \*5. Алдыңғы есептің шарты бойынша, бірінші кемедегі бақылаушы көзқарасынша, онда 1 мин уақыт өткенде тыныштықтағы бақылаушының және екінші кемедегі уақыттар қалай жүреді?

*Жауабы:* 0,71 мин; 0,34 мин.



### §43. Энергия. Релятивистік механикадағы импульс және масса. Материалдық дене үшін энергия мен массаның байланыс заңы



Тірек ұғымдар:

- ✓ релятивистік механика
- ✓ төртөлшемді кеңістік

Бүгінгі сабақта:



- зарядталған бөлшектердің үдеткіштерінің жұмыс істеу принципі, оларда орын алатын релятивистік эффектін ескере отырып түсінесіңдер.

Эйнштейннің салыстырмалылық принципіне негізделген механика *релятивтік механика* деп аталады. Эйнштейннің салыстырмалылық принципіне кеңістік абсолют және тәуелсіз болудан, сонымен қатар уақыт та абсолют және тәуелсіз болудан қалады. Қысқаша айтқанда, кеңістік, сондай-ақ уақыт та өз бетінше өмір сүре алмайды, тек олардың комбинациясы бар, яғни физикалық оқиғалардың *төртөлшемді кеңістігі* арқылы сипатталады. Өрбір физикалық оқиғаға үшкеңістіктік координата және уақыт сәйкес келеді. Осындай  $(x, y, z, t)$  төрт координата арқылы сипатталатын нүктені оқиға немесе *әлемдік нүкте* деп атайды. Осы нүктенің уақыт өтуіне байланысты қозғалысынан пайда болатын траекторияны *әлемдік сызық* деп атайды. Сәйкесінше барлық физикалық шамалар төртөлшемді сипатқа ие болады. Энергия мен импульс бірігіп, төртөлшемді импульс векторына айналады. Оның үшөлшемді бөлігі жай импульс, ал уақыттық құраушысы энергияға сәйкес келеді.

**Масса мен энергияның эквиваленттілігі.** Релятивистік механикадағы механикалық шамалардың өзара байланысын өрнектеуге көшейік. Массасы бар бөлшектер үшін релятивистік импульс пен энергия келесі өрнектермен беріледі:

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (43.1)$$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (43.2)$$

$v = c$  кезінде бөлшектің импульсі мен энергиясы шексіздікке айналады. Массасы  $m$  бөлшек жарықтың жылдамдығына тең жылдамдықпен қозғала алмайды, себебі ол үшін шексіз көп энергия берілуі тиіс. Дегенмен релятивистік механикада тыныштық массасы нөлге тең және жарықтың жылдамдығымен қозғалатын бөлшектер кездеседі. Олардың импульсі нөлге тең болмайтыны тәжірибеден анықталған (Комптон

эффектісі). Оларға жоғарыда келтірген формула жарамсыз. Мысалы, жарық (фотон) — массасы нөлге тең бөлшек. Оны сипаттау үшін импульс пен энергия арасындағы байланысты табайық. Ол үшін энергия квадратын түрлендірейік:

$$E^2 = \frac{m^2 c^4}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{m^2 c^4 - m^2 v^2 c^4 + m^2 v^2 c^4}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = m^2 c^4 + \frac{m^2 v^2 c^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = m^2 c^4 + p^2 c^2. \quad (43.3)$$

Релятивистік механикадағы энергия мен импульс байланысы

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}. \quad (43.4)$$

Бұл — импульс арқылы өрнектелген энергия. Бұл өрнек физикадағы барлық бөлшектер үшін орындалатын іргелі қатынасты тағайындайды. Тыныштықтағы бөлшек импульсі нөлге тең. Бұдан тыныштық энергиясы формуласы шығады:

$$E_0 = mc^2. \quad (43.5)$$

Бұл өрнек масса мен энергияның эквиваленттілігін көрсететін ерекше өрнек болып табылады. Бұл жерде масса энергияға айнала алады және керісінше деген түсінік пайда болады.

Бұл қатынасты бірінші рет 1889 жылы Хевисайд электромагниттік өріс энергиясының массасы бар екенін тұжырымдағанда жазған. Эйнштейн 1905 жылы бұл формула кез келген бөлшектер үшін орындалатынын тұжырымдады. Масса нөлге тең болған жағдайда бұл (43.4) қатынас

$$E = pc. \quad (43.6)$$

Массасы нөлге тең бөлшектің энергиясы оның импульсіне пропорционал. Бұл формула кез келген массасыз бөлшек үшін орындалады.

Енді релятивистік векторлық импульсті массасыз алу үшін оны жарық жылдамдығының квадратына көбейтіп бөлейік:

$$\vec{p} = \frac{mc^2 \frac{\vec{v}}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E\vec{v}}{c^2}. \quad (43.7)$$

Жарық үшін  $v = c$  және импульс модулі (43.6) формуласына сәйкес болады:

$$p = \frac{E}{c}. \quad (43.8)$$

Фотонның энергиясы оның жиілігі арқылы

$$E = h\nu, \quad (43.9)$$

екенін еске түсірсек, импульс мынаған тең:

$$p = \frac{h\nu}{c}. \quad (43.10)$$

Массасы жоқ болғанына қарамастан, фотонның импульсі бар екен. Бұл өрнек фотонның электрондармен соқтығысу құбылысын түсіндіреді. Демек, релятивистік механикада инерттілікті энергия және импульспен байланыстырады. Осы жерде релятивистік инерттілік масса ұғымына сәйкес келмейтінін айта кету қажет.

Релятивистік емес жағдайға ауысқанда энергия  $\frac{v}{c}$  бойынша қатарға жіктеліп, мына түрге ие болады:

$$E_k = mc^2 \left\{ 1 + \frac{v^2}{2c^2} + \dots \right\} = mc^2 + \frac{mv^2}{2} + \dots. \quad (43.11)$$

$$E = mc^2 + E_k \approx mc^2 + \frac{mv^2}{2}. \quad (43.12)$$

Бөлшектің кинетикалық энергиясы толық энергиясынан тыныштық энергиясын алып тастағанға тең:

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2. \quad (43.13)$$

Кинетикалық энергия формуласының классикалық өрнектен айырмашылығы бар екені көрініп тұр.

Энергия — аддитивті шама. Егер бұл жерге өсерлесу энергиясын қосатын болсақ,

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + E_p. \quad (43.14)$$

Өсерлесу энергиясы оң да, теріс те бола алады. Егер өсерлесу тартылысқа сәйкес болса, ол теріс, егер тебілуге сәйкес болса, оң болады.

Мысал ретінде Жер мен Айды қарастырайық. Олардың тартылыс энергиясы:

$$E_p = -G \frac{m_{ai} m_{жер}}{r_{ai} r_{жер}}. \quad (43.15)$$

Бұл жүйенің толық энергиясы

$$E = \frac{m_{ai} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_{ai}^2}{c^2}}} + \frac{m_{жер} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_{жер}^2}{c^2}}} - G \frac{m_{ai} m_{жер}}{r_{ai} r_{жер}}. \quad (43.16)$$

Жүйелердің өсерлесу энергиясы олардың массалар центрі жүйесіндегі кинетикалық энергиялары қосындысынан көп болады. Жоғарыдағы өрнекке сәйкес Ай-Жер жүйесінің толық энергиясы жеке Ай мен Жер



толық энергиялары қосындысынан аз болатынын көреміз. Бұл жүйе масса центрі жүйесінде тоқтап тұрғандықтан,  $E = mc^2$  формуласы арқылы жүйе массасы жеке массалар қосындысынан аз болатынын көреміз:

$$m < m_{ai} + m_{жер}. \quad (43.17)$$

Атом ядросында да осындай жай орын алады. Ядро массасы оны құраушы протондар мен нейтрондар массаларының қосындысынан кем болады. Ал кейбір ауыр ядролар массасы ол ыдыраған екі жеңілрек ядролар массасы қосындысынан ауыр болады. Осы реакциялар жүрген жағдайда орасан зор энергия бөлініп шығады.

Жалпы алғанда, релятивистік механикада масса инвариантты болып табылады. Бірақ ыңғайлылық үшін инвариантты массаны тыныштық массасы деп, қозғалыстағы бөлшек энергиясын жарық жылдамдығы квадратына бөліп,

$$m_u = \frac{E}{c^2} = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (43.18)$$

релятивтік инерттік масса ұғымын енгізуге болады. Сонда энергия үшін жалпы формула

$$E = m_u c^2. \quad (43.19)$$

Енді күш пен үдеу туралы айтайық. Ньютонның екінші заңы релятивтік механикада келесі түрде жазылады:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}. \quad (43.20)$$

Осы өрнекке импульс формуласын қойып, ашып жазсақ,

$$\vec{F} = \frac{m\vec{a}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{m\vec{v}(\vec{a}\vec{v})}{c^2 \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^3}}. \quad (43.21)$$

Жалпы жағдайда күш пен үдеу бағыттас емес екен. Егер үдеу мен жылдамдық бағыттас болатын жағдайды қарастырсақ және өрнекті скаляр түрде жазсақ:

$$F = \frac{ma}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^3}}, \quad (43.22)$$

үдеу формуласы

$$a = \frac{F}{m} \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^3}. \quad (43.23)$$

Үдеу тек күшке ғана пропорционал емес, жылдамдыққа да тәуелді екен. Жылдамдық жарық жылдамдығына ұмтылғанда үдеу нөлге ұмтылады. Бөлшек жылдамдығына қандай күшпен әсер етсек те жарық жылдамдығына жете алмайды. Бірақ энергия мен импульске ешқандай шек жоқ. Бөлшек энергиясы мен импульсі кез келген жоғары мәнге ие бола алады.

Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы эффекттері ең айқын түрде элементар бөлшектер үдеткіштерінде орын алады, сондықтан мысал ретінде үдеткіштердегі процестерді қарастырайық. Бұл қондырғыларда бөлшектер өте үлкен энергияларға дейін үдетілетін болғандықтан, олардың жылдамдықтары жарық жылдамдығына өте жақын шамаға дейін барады. Мысалы, үлкен адрондық коллайдерде протондар 8 тераэлектронвольт (ТэВ) ( $1 \text{ эВ} = 1,602\,176\,6208(98) \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ,  $1 \text{ ТэВ} = 10^{12} \text{ эВ}$ ,  $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$ ,  $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ) энергияға дейін үдетіледі. Протон массасы электронвольтпен алғанда  $938,2720813(58) \text{ МэВ} \approx 1 \text{ ГэВ}$ , яғни коллайдердегі протонның энергиясы оның тыныштық энергиясынан жуықтап алғанда 7000 есеге көп. Қарама-қарсы ұшып келе жатқан осындай екі протон соқтығысы 14000 қосымша протон-антипротондарды немесе 28000000 электрон-позитрондарды (массасы  $0,5109989461(31) \text{ МэВ}$ ) туғыза алады. Шындығында, соқтығыс салдарынан энергия сақталу шартын қанағаттандыратындай болып мыңдаған кез келген бөлшектер кездейсоқ энергиямен пайда бола алады. Олардың көбі өмір сүру уақыты аз орнықсыз бөлшектер. Мысалы, мюон (массасы  $105,6583745(24) \text{ МэВ}$ , тыныштықтағы өмір сүру уақыты  $2,19703(4) \cdot 10^{-6} \text{ с}$ ) 1 ГэВ энергиямен пайда болсын. Жылдамдығын анықтайық:

$$m = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \cdot 105,65 \cdot 10^6 \text{ эВ}}{(2,99 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2} = 1,88 \cdot 10^{-28} \text{ кг.}$$

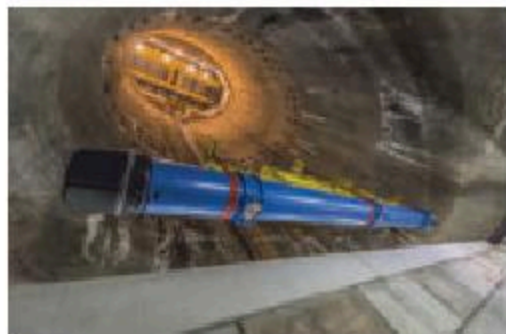
$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ формуласынан } v = c \sqrt{1 - \frac{(mc^2)^2}{E^2}} = c \sqrt{1 - \frac{1}{100}} = 0,995 \text{ с,}$$

сөйкесінше  $t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  формуласынан өмір сүру уақыты

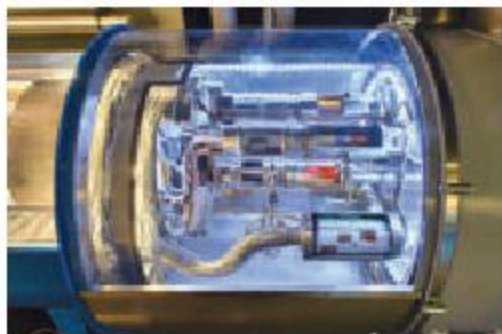
$$t' = 2,197 \cdot 10^{-6} \text{ с; } t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{\sqrt{1 - 0,995^2}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Демек, тыныштықтағы бақылаушы үшін мюонның өмір сүру уақыты берілген энергияда жүз есеге өседі екен. Энергиясы артқан сайын өмір сүру уақыты да арта түседі.

Енді зарядталған бөлшектер үдеткіштерінің жұмыс істеу принципін қарастырайық. Үлкен адрондық коллайдерде протондар 7 ТэВ

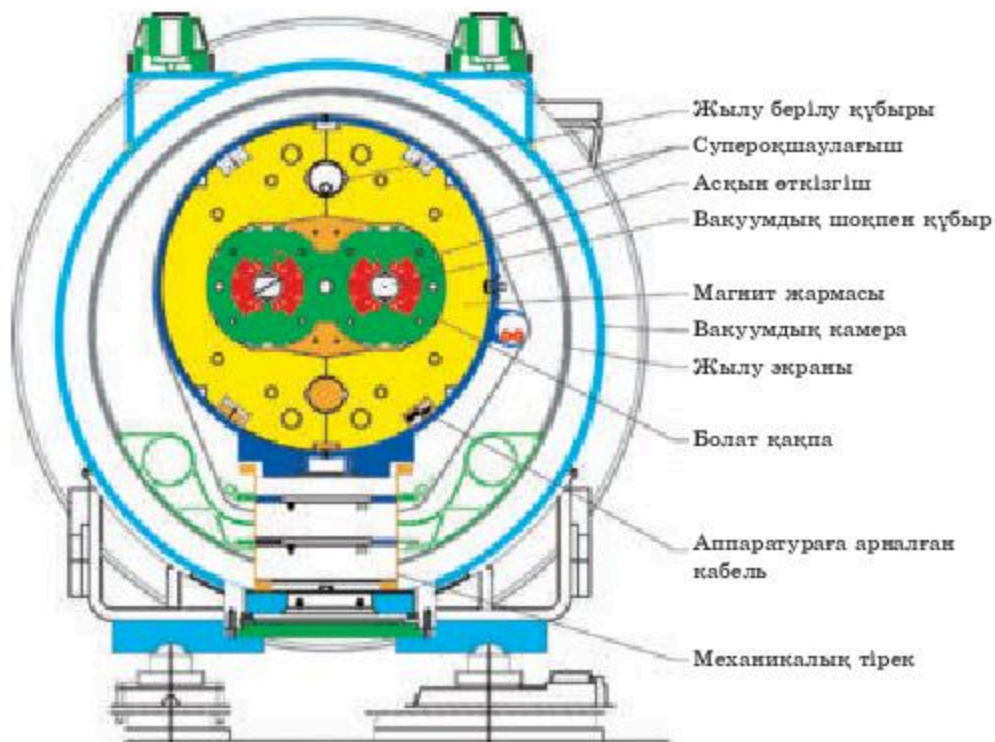


43.1-сурет. LHC дипольдік магнитті орналастыру кезі



43.2-сурет. Екі LHC дипольдік магниттерінің өзара байланысқан жері

энергияға дейін үдетілетінін айтқанбыз (43.1-сурет). Үдету электр өрісі көмегімен жүзеге асырылады және оның аймағы шектелген болғандықтан, бөлшектерді үдету барысында бұру қажет (43.2-сурет). Бұру магнит өрісі көмегімен жүзеге асырылады. Бірақ үдету барысында бөлшектің инертті массасы қатты өседі де, оны бұру үшін өте күшті асқын өткізгішті магниттер (8,3 Тл) қолданылуы қажет болады (43.3-сурет). Неғұрлым энергиясы көп болса, соғұрлым магнит өрісі



43.3-сурет. Бұрушы магниттің көлденең қимасы



де күшті болуы қажет. Екіншіден, бұрылу радиусы көп болған сайын зарядталған бөлшек сәуле шығару арқылы энергиясын соғұрлым көп жоғалтады. Сол себепті қуатты үдеткіштер радиусы өте үлкен.



1. Релятивистік импульстің ерекшеліктері қандай?
2. Жарықтың массасы және импульсі қандай?
3. Масса, энергия және импульс өзара қандай қатынаста?
4. Массасы бар бөлшектер неліктен жарық жылдамдығына жете алмайды?
5. Жарық не себепті баяулай алмайды?
6. Электронның кинетикалық энергиясы бар ма?
7. Не себепті орнықсыз элементар бөлшектер өмір сүру уақыты әртүрлі жағдайларда өзгеріп отырады?
8. Электронның инертті массасы протонның массасынан үлкен бола алады ма?
9. Жылдамдық пен үдеу перпендикуляр болғанда күш пен үдеу қатынасы қандай болады?
10. Атомның массасы жеке протондар, нейтрондар және электрондар массалары қосындысынан көп пе, аз ба?



Тыныштық энергияларын анықтайық, екі магнитті алып, олар жабыққанда және жеке тұрғандағы массаларының айырмашылығын есептеңдер.



1. Ядролық энергия не себепті химиялық энергиядан соншама қуатты?
2. Күштің үдеумен байланысынан оның екі құраушыдан тұратынын көрдіңдер. Олардың шамасы бойынша қатынасы ең көп және ең аз болатын жағдайларды зерттеңдер.
3. GPS жүйесінде дәл координаталарды өлшеуде салыстырмалылық теориясын қолданып есептеулер жүргізіледі. Оған не себеп екенін сараптаңдар.

### Есеп шығару мысалы

**1-есеп.**  $0,8c$  жылдамдықпен қозғалатын сырықтың ұзындығы неге тең? Тыныштықтағы сырықтың ұзындығы 1 м.

$$\text{Шешуі. } l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - 0,64} = 0,6l_0 = 0,6 \cdot 1 \text{ м} = 60 \text{ см.}$$

**2-есеп.** Инерттік массасы 2 есе артуы үшін бөлшек қандай жылдамдықпен қозғалуы керек?

$$\text{Шешуі. } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad m = 2m_0; \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0}{m}; \quad \frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2;$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} = c \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2} c = 0,87c.$$

**3-есеп.** 0,7 с жылдамдықпен жерден қашықтап бара жатқан ғарыш кемесінен кеме қозғалысы бағытында сырық атылған. Сырықтың жерге қатысты жылдамдығы 0,9 с. Сырықтың ғарыш кемесіне қатысты жылдамдығы қандай?

*Шешуі.*  $v$  — ғарыш кемесінің Жерге қатысты қозғалыс жылдамдығы,  $v_1$  — сырықтың ғарыш кемесіне қатысты жылдамдығы,  $v_2$  — сырықтың Жерге қатысты жылдамдығы. Сонда  $v = 0,7$  с,  $v_2 = 0,9$  с.  $v_1$  табу қажет.

Релятивистік жылдамдықтарды қосу заңын пайдаланып:  $v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$ .

Табамыз:  $v_1 + v = v_2 \left(1 + \frac{v_1 v}{c^2}\right)$ ;  $v_1 \left(1 - \frac{v_2 v}{c^2}\right) = v_2 - v$ ;

$$v_1 = \frac{v_2 - v}{\left(1 - \frac{v_2 v}{c^2}\right)} = \frac{0,9c - 0,7c}{(1 - 0,9 \cdot 0,7)} = \frac{0,2c}{0,37} = 0,54c.$$



### 21-жаттығу

1. Ғарыш кемесінің 0,8 с жылдамдықпен қозғалғандағы кинетикалық энергиясын есептеңдер. Тыныштықтағы кемеңің массасы 1000 т.

*Жауабы:*  $2 \cdot 10^{14}$  Дж.

2. Радиусы 1 м шеңбер 0,99 с сызықты жылдамдықпен өз жазықтығында айналада. Шеңбер бойындағы тыныштық массасы 1 г денеге қандай центрге тартқыш күш әсер етуі қажет?

*Жауабы:*  $62,53 \cdot 10^{13}$  Н.

3. Алдыңғы есептің шарты бойынша шеңбер бойындағы бақылаушы үшін оның үдеуін табыңдар.

*Жауабы:*  $8,82 \cdot 10^{16}$  м/с<sup>2</sup>.

4. Сутек атомының массасын Кулон заңын пайдаланып табыңдар. Протон мен электрон қозғалмайды деп есептеңдер. Атомдық салмақ бірлігімен салыстырыңдар.

*Жауабы:*  $m_p + m_e - 0,3 \cdot 10^{-34}$  кг.

5. Алдыңғы есептің шарты бойынша электрон протонды айнала қозғалғандағы атом массасын табыңдар. Масса ұлғаяды ма, жоқ кемиді ме?

*Жауабы:*  $m_p + m_e - 0,3 \cdot 10^{-34}$  кг +  $0,15 \cdot 10^{-34}$  кг.

## 8-тараудың ең маңыздысы

Арнайы салыстырмалылық теориясы екі постулатқа негізделген:

1) барлық физикалық құбылыстар кез келген инерциялық санақ жүйесінде бірдей өтеді;

2) вакуумдағы жарық жылдамдығы тұрақты және ол шекті жылдамдық.

• қозғалыстағы сағат жүрісі қозғалмайтын сағатқа қарағанда баяулайды:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ яғни қозғалмайтын сағатпен өлшенген } \Delta t \text{ уақыт}$$

қозғалыстағы сағат өлшенген  $\Delta t'$  уақытынан көп болады.

• ұзындық қысқарады:  $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . Қозғалыстағы нысанның  $l$  ұзындығы тыныштықтағы  $l_0$  ұзындықтан қысқа;

• дененің жылдамдығы артқанда ( $v \rightarrow c$ ) оның массасы

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

формуласына сөйкес артады, яғни қозғалыстағы дененің  $m$  массасы дененің  $m_0$  тыныштық массасынан артық.

Релятивистік физикада зат пен өрістің арасында терең байланыс бар:

$$E_0 = m_0 c^2 \text{ және } E = m c^2,$$

мұндағы  $E_0$  — дененің тыныштық энергиясы,  $m_0$  — дененің тыныштық массасы,  $c$  — вакуумдағы жарық жылдамдығы,  $E$  — дененің толық энергиясы.



## V бөлім. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

### 9-тарау. АТОМДЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

#### §44. Сәулелену түрлері



##### Тірек ұғымдар:

- ✓ сәулелену көзі
- ✓ жылулық сәулелену
- ✓ электрлюминесценция
- ✓ катодлюминесценция
- ✓ хемиллюминесценция
- ✓ фотолюминесценция

##### Бүгінгі сабақта:

- сәулеленудің негізгі түрлері және олардың көздерімен танысасындар.



##### Мұны білесіңдер

Кеңістікте электромагниттік тербелістердің таралу процесі *электромагниттік толқындар* деп аталады. Электромагниттік толқындар электр зарядтарының үдемелі қозғалысы кезінде шығарылады. Толқын ұзындығы (жиілігі) әртүрлі электромагниттік толқындар әртүрлі қасиеттерге ие. Мысалы, тек 780 нм-ден 400 нм-ге дейінгі өте жіңішке толқын ұзындықтары интервалында ғана электромагниттік толқындар адам көзіне көрінетін жарық әсерін тудырады. Радиотолқындар, инфрақызыл, ультракүлгін, рентген сәулелері де электромагниттік толқындарға жатады.

Электромагниттік толқындарды шығару және олардың таралу процесін *сәулелену* деп атау қабылданған. *Сәулелену көзі* — бұл *сәулеленуді шығаратын қандай да бір зат (дене) немесе қондырғы*. Электромагниттік толқындар заттың құрамына кіретін зарядталған бөлшектердің үдемелі қозғалысы кезінде сәулеленетіндіктен, сәулелену көзі атомдар болып табылады. Атом сәулелене бастауы үшін оған сырттан қандай да бір мөлшерде энергия беру керек. Осы берілген энергия сәулелену барысында шығындалады, сондықтан сәулелену үздіксіз жүру үшін затқа үздіксіз энергия беріліп тұру керек.

**Сәулелену көздерінің классификациясы.** Барлық электромагниттік сәулелену көздері *табиғи және жасанды* болып екі топқа бөлінеді.

*Табиғи көздерге* Күн, Ай, планеталар, жұлдыздар, Жер атмосферасы мен беті жатады. Табиғи көздердің сәулелену интенсивтігін реттей алмаймыз, сондықтан оларды күн жылытқыштары, күн батареялары сияқты пассив жүйелерде немесе ғылыми зерттеулерде пайдаланады. Табиғи сәулелену көздері табиғи фон тудырады, олар жер бетіндегі тіршілікте ең маңызды рөл атқарады және қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етеді.



а)



а)



б)



а)

**44.1-сурет.** Жасанды сәулелену көздері:

- а) люминесцентті шам; ә) газ разрядты шам; б) лазерлер; в) жарық диодтар

*Жасанды сәулелену көздері* — бұл жарық сәулелерін шығару үшін қолданылатын құрылыстары өртүрлі техникалық қондырғылар (мысалы, жарық шамдары, фонарьлар). Жасанды көздерде, әдетте, электр энергиясы жарық энергиясына түрленеді, кейде химиялық энергия немесе жарық шығарудың басқа да тәсілдері қолданылуы мүмкін. Олар өртүрлі практикалық мақсаттарда пайдаланылады. Өз кезегінде, оптикалық диапазондағы сәулелену көздерін *жылулық, люминесцентті, газ разрядты, оптикалық-кванттық генераторлар (лазерлер) және жарық диодтар* деп бөлуге болады.

Өздерің білетіндей, температурасы абсолют нөлден жоғары кез келген дене *жылулық сәулелену көзі* бола алады. Жер бетіндегі ең қуатты жылулық жарық көзі — бұл Күн. Қыздыру шамы, оттың жалыны, жылыту радиаторлары, электр жылытқыш құралдар, жердің беткі қабаттары да жылулық жарық көздері болып табылады.

*Люминесцентті көздерде* (44.1, а-сурет) атомдар мен электрондар электромагниттік өріс арқылы қоздырылады. Люминесцентті шамдар суық сәулелену көздеріне жатады. Люминесцентті сәулелену когерентті емес, ол барлық бағытта шығарылады және оның спектрлік диапазоны жылулық сәулеленудікінен әлдеқайда жіңішке.

*Газ разрядты көз* (44.1, ә-сурет) деп спектрдің оптикалық диапазонына жататын сәулеленудің инертті газдарында, металл буларында немесе олардың қоспаларында электрлік разрядтың нәтижесінде пайда болатын құралды айтады. Газ разрядты құралдар да жасанды жарық көздеріне жатады.

*Кванттық генераторларда (лазерлерде)* (44.1, б-сурет) сәулелену электрондардың жоғары энергия деңгейлерінен төменгі деңгейлерге индукциялық өтуі нәтижесінде пайда болады, ол когерентті, монохроматты және өте аз денелік бұрыштың ішінде таралады.



**Жарық диодты шамдардың** (жартылай өткізгіштік диодтардың) (44.1, в-сурет) жұмыс істеу принципі электр тогы *p-n* ауысу арқылы өткенде пайда болатын электрлюминесценция құбылысына негізделген.

**Сәулелену түрлері.** Сәулеленудің негізгі түрлерін қарастырайық. Оларға жылулық сәулелену және люминесценция: электрлюминесценция, катодлюминесценция, хемилюминесценция, фотолюминесценция құбылыстары жатады.

**Жылулық сәулелену** — бұл қызған денелердің сәулеленуі. Оның кейбір сипаттамаларымен сендер 9-сыныптан таныссыңдар. Жылулық сәулелену сәуле шығарып тұрған дене атомдарының (немесе молекулаларының) жылулық қозғалысы энергиясының есебінен жүреді. Жылдам атомдар (молекулалар) бір-бірімен соқтығысқан кезде олардың энергиясының бір бөлігі атомдарды қоздыруға жұмсалады, соңынан бұл атомдар сәулеленеді. Жылулық жарық шығарудың жиілік диапазоны өте кең, ол когерентті емес және сәулелену барлық бағытта жүреді.

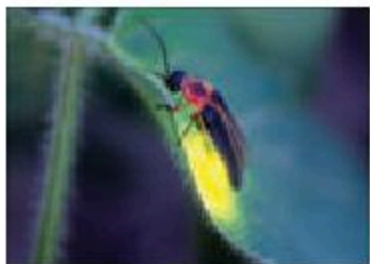
**Электрлюминесценция.** Бұл сәулелену газдардан электр тогының өтуімен қоса қабат жүреді. Газдағы разряд кезінде электр өрісі электрондарға үлкен кинетикалық энергия береді. Жоғары жылдамдыққа дейін үдетілген электрондар газ атомдарымен серпімсіз соқтығысып, нәтижесінде электрондардың кинетикалық энергиясының біраз бөлігі атомдарды қоздыруға жұмсалады. Қозған атомдар энергиясын жарық толқындары ретінде шығарады. Нәтижесінде газдағы разряд кезінде жарқылдау бақыланады. Бұл — *электрлюминесценция*. Электрлюминесценция құбылысы жарнамалық жазуларда қолданылады.

Электрлюминесценцияның табиғаттағы көріністерінің бірі — *солтүстік шұғыла құбылысы* (44.2-сурет). Күннен шығатын зарядталған бөлшектер ағынын Жердің магнит өрісі қармап алады. Олар Жердің магниттік полюстерінің маңында атмосфераның жоғары қабаттарындағы атомдарды қоздырады. Бұл атомдар қозған күйден негізгі күйге өткенде жарық сәулелері шығады.

**Катодлюминесценция** құбылысында жылдам электрондар ағынын түсіргенде зат жылтылдаған жарық шығарады. *Қатты денелерді электрондармен атқылағанда олардың жарық шығаруы катодлюминесценция деп атайды.* Катодлюминесценция құбылысы вакуумдық техникада қолданылады. Телевизорлардың, әртүрлі осциллографтардың, электронды-оптикалық түрлендіргіш экрандарының жарқырауының негізінде осы катодлюминесценция құбылысы жатыр. Сонымен қатар



44.2-сурет. Солтүстік шұғыла



а)



ә)

**44.3-сурет. Жарқырауықтар:**

- а) ормандағы жарқырауық қоңыздар; ә) үңгірдегі жарқырауықтар

бұл құбылыс электрондық шоқтармен қоздырылатын лазерлердің де негізінде жатыр.

**Хемилюминесценция** — бұл энергия бөлінуімен жүретін кейбір химиялық реакциялар барысында пайда болатын жарық шығару. Реакция кезінде бөлінген энергияның бір бөлігі сәулеленуге жұмсалады және осы кезде жарық көзі суық болып қала береді. Бұл құбылыстың табиғаттағы мысалы жарқырауық қоңыздар (44.3-сурет) болып табылады. Осындай қасиетке кейбір бактериялар, жәндіктер, терең суларды мекендейтін кейбір балықтар да ие.

**Фотолюминесценция** — бұл кейбір денелердің өздеріне түскен жарықтың тікелей өсерінен жарқырауы. Затқа түскен сәулелену энергиясының бір бөлігін атомдар жұтады да, қозған күйге өтеді. Соңынан атом жұтқан энергиясын сәулелену түрінде бөліп шығарады. Бұған мысал ретінде қараңғыда жарқырайтын бояуларды атауға болады. Фотолюминесценция күндізгі жарық шамдарында, жарқырауық шкалалар дайындауда, бұл микробиология мен медицинада кеңінен қолданылады.



1. Сәулелену көзінің анықтамасын беріңдер.
2. Табиғи сәулелену көздеріне мысалдар келтіріңдер.
- 3. Жасанды сәулелену көздеріне мысалдар келтіріңдер. Оларда қандай энергия түрленулері болады?
- 4. Жасанды сәулелену көздерінің қандай түрлерін білесіңдер? Олардың сипаттамалары туралы айтып беріңдер.
- \*5. Сәулеленудің негізгі түрлері қандай?



Ақпарат жинап, "Теңіз тұңғиығында мекендейтін жарқырауық тіршілік иелері" тақырыбына эссе жазыңдар.



## § 45. Спектрлер. Спектрлік анализ, спектрлік аппараттар



### Тірек ұғымдар:

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

### Бүгінгі сабақта:

- шығару және жұтылу спектрлерімен таныса-сындар, спектрлік аппараттардың жұмыс істеу принципін және оларды қолдану аясын саралап оқысындар.

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

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

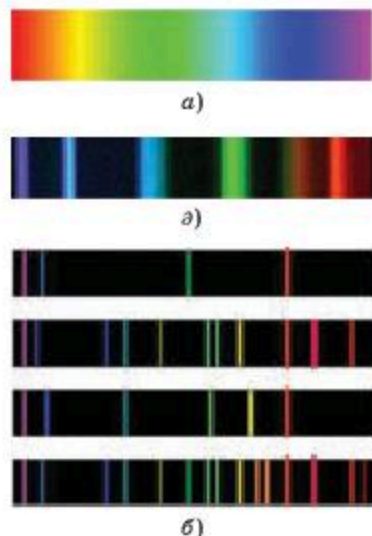
- 1) тұтас (үздіксіз) спектр;
- 2) сызықтық (атомдық) спектр;
- 3) жолақ (молекулалық) спектр.

*Тұтас спектрді* қызған қатты денелер мен сұйықтар және үлкен қысымдағы қызған газдар береді. Бұл спектрде жарық түстері бір-біріне біртіндеп, үздіксіз ауысады. Түстер арасында айқын шегара жоқ (45.1, а-сурет).

*Жолақ спектрді* молекулалары бір-бірімен әлсіз байланысқан, қатты қызған заттар береді. Бұл спектр бір шеті айқын, екінші шеті біртіндеп көмескіленіп барып бітетін жолақтардан тұрады (45.1, ә-сурет).

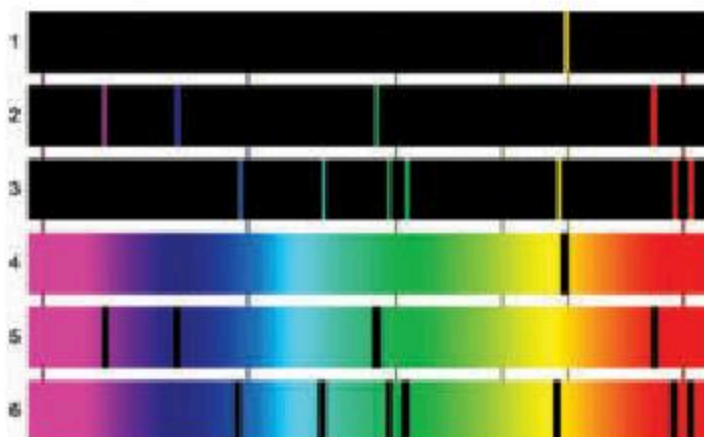
*Сызықтық спектр* — бұл қара фонда жеке-жеке орналасқан, жарқыраған жіңішке айқын сызықтардан тұратын оптикалық спектр (45.1, б-сурет). Сызықтық спектрді қатты қыздырылған сиретілген газдар немесе кез келген химиялық элементтің қызған булары шығарады.

**Жұтылу спектрлері.** Берілген зат жұтатын жарықтың құрамына кіретін барлық толқын ұзындықтарының жиынтығы *жұтылу спектрі* деп аталады. Егер тұтас спектр беретін сәулеленуді қандай да бір заттың буы



45.1-сурет. Шығару спектрлері:

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



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

арқылы өткізіп, сосын оны спектрге жіктесе, тұтас спектрдің үстінде қара сызықтар пайда болғанын көреміз. Және бұл қара сызықтар дәл сол заттың қызған буы шығаратын жарық сызықтарының орнында пайда болады. Бұл — *жұтылу спектрі*. 45.2-суретте алғашқы үш спектр — натрий, сутек және гелий буларының сызықтық спектрлері, ал кейінгі үшеуі — осы заттардың жұтылу спектрлері.

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

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

$$\nu = R' \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ немесе } \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (45.1)$$

мұндағы  $R' = 3,29 \cdot 10^{15}$  Гц;  $R = 1,0968 \cdot 10^7$  м<sup>-1</sup> — Ридберг тұрақтылары.

Бұл — *Бальмер формуласы*.



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

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

$$\nu = R' \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ немесе } \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (45.2)$$

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

Кейінірек тек сутек ғана емес, кез келген заттың атомдарының сәулелену спектрінің жиіліктерін (46.2) формуласы түрінде, яғни қандай да бір екі санның айырымы түрінде жазуға болатыны анықталды.

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

$$\nu = T_1(m) - T_2(n) \quad (45.3)$$

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

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

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

**Спектрлік анализ.** Әр элементтің басқаларға ұқсамайтын, тек өзіне ғана тән сызықтардан тұратын спектрі болатыны спектрлік анализ тәсілін ойлап тауып, оны әрі қарай дамытуға мүмкіндік тудырды. *Спектрлік анализ — бұл заттың шығару немесе жұтылу спектрін зерттей отырып, оның химиялық құрамын анықтайтын тәсіл.* Осы тәсілдің негізін салған (1859 ж.) неміс ғалымдары Г. Р. Кирхгоф пен Р. В. Бунзен болатын. Жоғарыда айтылғандай, әрбір газдың шығару спектрі басқа ешқандай элементтің спектріне ұқсамайды. Оның құрамындағы жарқыраған айқын сызықтардың орны да, түсі де өзгермейді. Әр сызықтың түсі қандай да бір толқын ұзындығының нақты мәніне сәйкес келеді. Ғалымдар әр газдың спектріндегі сызықтардың тізлімі мен жарықтығы туралы мәліметтер көрсетілген кестелер жасаған.

Осындай кестенің көмегімен зерттеліп отырған газдың (зат буының) спектрін зерттей отырып, оның элементтік құрамын анықтауға болады. Спектрлік анализ тәсілімен XIX ғасырдың екінші жартысында



Густав Роберт Кирхгоф  
(1824—1887)



Роберт Вильгельм Бунзен  
(1811—1899)

Күннің құрамын зерттеуге мүмкіндік туды. Күн спектрінің құрамынан 1868 жылы бұрын белгісіз бір элементтің сызықтары анықталды. Осылайша гелий (грек. *helios* — Күн) ашылған болатын. Бұдан соң 27 жылдан кейін осы газдың аздаған мөлшері Жер атмосферасының құрамынан да табылды. Қазіргі кезде гелий бүкіл ғаламда таралған мөлшері жағынан алғанда екінші орында тұрған элемент екені белгілі.

### БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

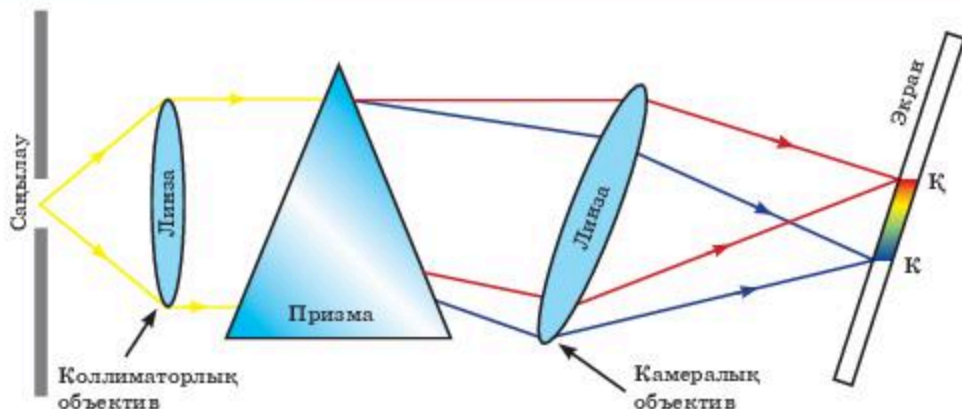
"Спектр" терминін алғаш рет 1671—1672 жылдары Ньютон енгізді. Ол 1666 жылы ақ жарық жолағы үшбұрышты шыны призмадан өткенде кемпірқосақ сияқты түрлі түсті жолақтарға жіктелетінін бақылап көрді. Осы түрлі түсті жолақтарды ол "спектр" деп атады. Ньютон өзінің "Оптика" (1704 ж.) деп аталатын еңбегінде призманың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



45.3-сурет. Екітүтікті спектроскоп

**Спектрлік аппараттар.** Спектрлік анализді жүргізу үшін айқын спектр алуға мүмкіндік беретін, яғни жиілігі өртүрлі толқындарды спектрдің түрлі бөліктері бірінің үстіне бірі түсіп кетпейтіндей жақсы ажырататын құралдар керек. Мұндай құралдар *спектрлік аппараттар* деп аталады. Олардың негізгі бөлігі зерттелетін сәулеленуді спектрге жіктейтін призма немесе дифракциялық тор болып табылады. 45.3-суретте *екітүтікті спектроскоп* кескінделген.





45.4-сурет. Призмалық спектрографтың құрылысы

### Спектрлік аппараттың жұмыс істеу принципін қарастырайық.

Оның негізгі құрамдас бөлшектері: саңылаулы қондырғысы бар коллиматор, призма және көру түтігі (45.4-сурет). Зерттелетін сәулелену коллиматорға түседі. Коллиматор — бұл бір жақ басында жіңішке саңылаулы шымылдық, екінші басында жинағыш линза орнатылған түтік. Саңылау линзаның фокаль жазықтығында орналасқан. Сондықтан саңылаудан линзаға түскен шашыраңқы жарық шоғы одан параллель шоқ болып шығып, призмаға түседі. Призмадан жиіліктеріне (түстеріне) сәйкес өртүрлі бағытта параллель жарық шоқтары шығады. Олар екінші линзаға түседі. Бұл линзаның фокаль жазықтығына экран — бұлыңғыр шыны немесе фотопластинка қойылады. Линза өзінен шыққан параллель шоқтарды экранға проекциялайды, нәтижесінде экранда өртүрлі жиіліктерге сәйкес келетін саңылаудың түрлі түсті кескіндері пайда болады. Бұл кескіндер спектрді құрайды. Қарастырылған құрал *спектрограф* деп аталады. Егер экранның орнына спектрді визуалды бақылауға мүмкіндік беретін көру түтігі пайдаланылса, құрал *спектроскоп* (45.3-сурет) деп аталады. Спектроскопта линзаның көмегімен үлкейтілген спектрді көзбен көруге болады, ал ол спектрографта спектрдің фотосуреті алынады.

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

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

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

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



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

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



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

## § 46. Инфрақызыл және ультракүлгін сәулелер. Рентген сәулелері. Электромагниттік толқындар шкаласы



### Тірек ұғымдар:

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



### Бүгінгі сабақта:

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

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

**Инфрақызыл сәулелену.** Күннің сәулелену спектрі жиілігі (толқын ұзындығы) өртүрлі электромагниттік толқындардың қоспасы болып табылады. *Инфрақызыл сәулелену* — бұл толқын ұзындығы 760 нм-

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

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

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

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

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

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



**Ультракүлгін сәулелер.** *Ультракүлгін сәулелер* — бұл толқын ұзындықтары 10 нм-ден 400 нм-ге дейінгі диапазонда жатқан электромагниттік сәулелену. Жер атмосферасының шегарасында ультракүлгін сәулелер күн сәулелері спектрінің 5% пайызын құрайды, ал жер бетінде бұл үлес 1%, себебі оның қысқатолқынды бөлігі (300 нм-ден аз) Жердің озон қабатында жұтылады. Ультракүлгін сәулелену спектрін мынадай топтарға бөлуге болады (ISO — Стандартизация бойынша халықаралық ұйымның стандарты): *жақын* немесе *ультракүлгін А* — бұл ұзын



а)



ә)



б)

**46.1-сурет.** Ультракүлгін сәулелердің жасанды көздері:

а) эритемді шамдар; ә) сынапты-ксенонды шамдар; б) солярийлерге арналған аппараттар

толқынды диапазон (400—300) нм, орташа, немесе *ультракүлгін В*, бұған (300—200) нм толқын ұзындығы сәйкес, *алыс* немесе *ультракүлгін С* — қысқатолқынды диапазон (200—122) нм, *экстремалды* (121—10) нм.

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

*Эритемді шамдар* (46.1, а-сурет) — бұл төмен қысымды сынапты шамдар, олардың колбалары арнайы шыныдан жасалады. Колбаның ішкі бетіне толқын ұзындықтары 280—380 нм диапазонда жатқан ультракүлгін сәулелер шығаратын люминофор жағылады. Бұл шамдар емдік және профилактикалық мақсаттарда физиотерапияда қолданылады.

*Сынапты-ксенонды шамдар* (46.1, ә-сурет), мұнда ксенон мен сынап буы толтырылған колбада электр доғасы жанып тұрады. Ол ультракүлгіннің үлесі көп кәгілдір, ақ жарық шығарады. Бұлар да физиотерапияда және стерильдеу мен озондау мақсаттарында пайдаланылады.

*Солярий* (46.1, б-сурет) — бұл мөлшерлі түрде сәулелендіру мақсаттарында қолданылатын арнайы ашық алаң. Сәулелендіру көзі арнайы эритемді ультракүлгін шам болып табылады, оның колбасына ультракүлгін спектрінің қауіпті қысқатолқынды бөлігін жұтып алып қалатын арнайы қоспалар енгізіледі.



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

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

Анод пен катодтың арасындағы кернеуді одан әрі арттырса, электр өрісінде үдетілген электрондардың энергиясының артатыны соншалық, олар анодпен соқтығысқанда оның зат атомының ішкі электрондарының бірін жұлып шығаруы мүмкін. Сонда тежелуші рентген сәулелерінің тұтас энергия спектрінің фонында *сипаттаушы рентген сәулелерінің* үздікті айқын сызықтары пайда болады. Бұл сызықтарға сәйкес келетін жиіліктер анодтың қандай заттан жасалғанына байланысты, сондықтан осындай рентген сәулелері *сипаттаушы* деп аталады.

### Мұны білесіңдер

Электромагниттік сәулеленудің толқын ұзындықтарының (жиіліктерінің) мәндері өте кең диапазонда жатыр. Толқын ұзындығы (жиілік) қандай болса да, электромагниттік толқындардың табиғаты мен қасиеттері бірдей, бірақ олар әртүрлі дәрежеде білінеді. Толқын ұзындығының (жиіліктің) мәндеріне қарай электромагниттік толқындардың көздері мен оларды қабылдағыш құралдар да әртүрлі болады. Сондықтан электромагниттік сәулеленуді толқын ұзындығы (жиілігі) бойынша электромагниттік сәулелену шкаласында классификациялайды. Бұл шкала табиғатта бар электромагниттік толқындардың толқын ұзындықтарының (жиіліктерінің) үздіксіз тізбегі болып табылады (46.2-сурет).



46.2-сурет. Электромагниттік толқындар шкаласы

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

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



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



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



## §47. Жылулық сәуле шығару



## Тірек ұғымдар:

- ✓ жылулық сәуле шығару
- ✓ интегралдық энергетикалық жарқырау
- ✓ сәулелену қабілеті
- ✓ абсолют қара дене
- ✓ ультракүлгін апат
- ✓ квант
- ✓ дискреттілік
- ✓ Планк тұрақтысы

## Бүгінгі сабақта:

- Кирхгоф, Стефан-Больцман және Виннің ығысу заңдарын оқып-үйренесіңдер;
- жылулық сәуле шығарудың негізгі сипаттамаларымен және Планктың кванттық гипотезасымен танысасыңдар.



**Жылулық сәуле шығару.** *Жылулық сәуле шығару* — бұл сәулелену көзінің ішкі энергиясының есебінен пайда болатын электромагниттік сәулеленудің түрі.

## Мұны білесіңдер

Температурасы абсолют нөлден жоғары кез келген дене жылулық сәуле шығару көзі бола алады, бірақ көрінетін жарық тек жоғары температураларда шығарылады, ал төмен температурада ұзынтолқынды (инфрақызыл) электромагниттік толқындар шығарады.

Шындығында, күнделікті бақылаулардан қызған денелерден тарайтын жылу ағынын сеземіз, ал қатты қызған денелер (мысалы, электр қыздырғыш құралдардың спиральдары немесе жанып тұрған отқа тас-тап жіберген таскөмір кесегі) жарық шығаратынын көреміз. Сонымен қатар кез келген дене жылулық сәуле шығарып қана қоймай, оны жұта да алатынын білеміз.

Жылулық сәуле шығару — табиғатта ең кең таралған құбылыс. Оның негізгі сипаттамалары мен заңдылықтарын қарастырайық. Ойша эксперимент жүргізейік. Сәуле шығарып тұрған денені қабырғалары сәулелерді идеал шағылдыратын қуысқа орналастырып, оның ішіндегі ауаны сорып алып тастайық (47.1-сурет). Денеден шыққан сәуле қабырғалардан шағылып, денеге қайта түседі де, толық не жартылай жұтылады.

Осылайша дене мен қуысты толтырып тұрған сәулелену арасында үздіксіз энергия алмасуы болып жатады.



47.1-сурет. Қуыстың ішіндегі дененің жылулық сәуле шығаруы



Жеткілікті дәрежеде көп уақыт өткен соң жылулық тепе-теңдік орнайды, яғни дене уақыт бірлігі ішінде қанша энергия шығарса, сонша энергия жұтады.

*Жылулық сәуле шығару табиғаттағы бірден-бір тепе-тең сәулелену болып табылады.* Мұның себебі жылулық сәулеленудің интенсивтігі температураға пропорционал өседі. Мысалы, дене мен сәулеленудің арасындағы тепе-теңдік бұзылып, дене энергияны көбірек шығарып, азырақ жұтсын. Онда дене температурасының төмендеуі салдарынан оның жарық шығаруы азаяды. Сонымен, дененің температурасы, соған сәйкес сәулеленуі де тепе-теңдік қайта орнағанша азая береді.

Жылулық сәулеленудің интенсивтігін оның қуаты арқылы сипаттауға болады. *Сәулеленіп тұрған дене бетінің аудан бірлігінен барлық бағытта* ( $2\pi$  денелік бұрыш ішінде) *шығатын сәулелену қуатын дененің интегралдық энергетикалық жарқырауы* деп атайды. Бұл шаманы  $R$  әрпімен белгілейді, ол температураға тәуелді шама болып табылады. Түрлі жиілік (толқын ұзындығы) диапазонында жылулық сәулеленудің интенсивтігі де өртүрлі. Сондықтан энергетикалық жарқыраудың *спектрлік тығыздығы* немесе дененің *сәулелену қабілеті* деген ұғым енгізіледі:

$$r = \frac{\Delta R}{\Delta \nu}, \quad (47.1)$$

мұндағы  $\Delta R$  — дене бетінің аудан бірлігінен  $\Delta \nu$  жиіліктер интервалында шығатын сәулелену қуаты.

*Дененің сәулелену қабілеті деп оның беттік аудан бірлігінен жиілік интервалының бірлік енінде шығатын сәулелік қуатын айтады.* Сәулелену қабілеті де температураға тәуелді.

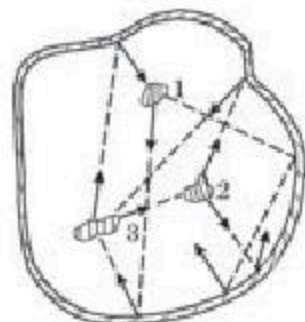
Дененің түскен сәулеленің энергиясын жұту дәрежесі *спектрлік жұту қабілеті* деген ұғыммен сипатталады. *Спектрлік жұту қабілеті деп дененің жұтқан энергия ағынының оған түскен сәулелік энергия ағынына қатынасына тең шаманы айтады.* Егер дене бетінің аудан бірлігіне  $\Delta \nu$  жиілік интервалында электромагниттік толқынның  $\Delta \Phi_{\Delta \nu}$  сәулелік энергия ағыны түссе, оның  $\Delta \Phi'_{\Delta \nu}$  бөлігі жұтылады. Онда дененің спектрлік жұту қабілеті былай анықталады:

$$a = \frac{\Delta \Phi'_{\Delta \nu}}{\Delta \Phi_{\Delta \nu}}. \quad (47.2)$$

Дененің сәулелену және сәулелік энергияны жұту қабілеттері температура мен жиіліктің функциясы болып табылады.

*Барлық жиілікте түскен сәулеленің энергиясын түгел жұтып алатын дене абсолют қара дене* деп аталады. Абсолют қара дене үшін  $a = 1$ , ал кез келген басқа дене үшін  $a < 1$ .

**Кирхгоф заңы.** Ойша тәжірибе жүргізейік. Жылулық оңашаланған қуыстың ішінде бірнеше дене орналасса (47.2-сурет). Қуыстан ауа сорып алынған, температура  $T$  тұрақты болсын. Қуыстың ішінде вакуум болғандықтан, денелер өзара және қуыстың қабырғаларымен тек қана электромагниттік толқындарды шығару мен жұту арқылы үздіксіз энергия алмасып жатады. Осының нәтижесінде жеткілікті уақыт өткен соң қуыстың ішінде жылулық тепе-теңдік орнайды, қуыстың қабырғалары мен барлық денелердің температурасы бірдей  $T$  мәнге ие болады. Өрі қарай температура өзгермегендіктен, әрбір дене энергияны қаншалықты көп шығарса (сәулелену қабілеті  $r$  неғұрлым жоғары болса), соншалықты көп энергия жұтуы тиіс (жұту қабілеті  $a$  *соғұрлым үлкен*). Басқаша айтсақ, дененің  $r$  сәулелену қабілеті неғұрлым жоғары болса, оның  $a$  жұту қабілеті де соғұрлым жоғары болады.



47.2-сурет. Сәуле шығаратын денелердің арасындағы энергия алмасу

Оны былай жазуға болады:

$$\left(\frac{r}{a}\right)_1 = \left(\frac{r}{a}\right)_2 = \left(\frac{r}{a}\right)_3 \dots,$$

мұндағы 1, 2, 3 индекстері жоғарыдағы қатынастардың 1-, 2- және 3-денелерге сәйкес екенін білдіреді.

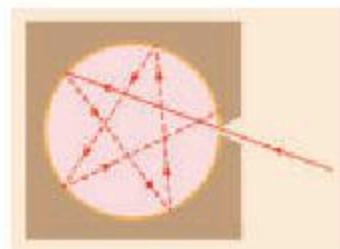
Сонымен, барлық денелер үшін сәулелену қабілетінің сәулелені жұту қабілетіне қатынасы дененің материалына байланысты емес, жиілік пен температураның универсал функциясы болып табылады. Бұл заңды 1895 жылы Кирхгоф ашқан, сондықтан бұл **Кирхгоф заңы** деп аталады. Оны мына түрде жазуға болады:

$$\frac{r}{a} = f(\nu, T). \quad (47.3)$$

Абсолют қара дене үшін  $a = 1$ , сондықтан  $r = f(\nu, T)$ , яғни **Кирхгофтың универсал функциясы**  $f(\nu, T)$  абсолют қара дененің сәулелену қабілеті болып табылады:  $f(\nu, T) = r^*(\nu, T)$ . Біз мұнда абсолют қара дененің сәулелену қабілетін барлық басқа денелердікінен ажырату үшін  $r^*$  өрпімен белгіледік.

Табиғатта абсолют қара дене жоқ. Жиілік интервалының белгілі бір бөлігінде күйе, қара барқыт немесе қара платина абсолют қара денеге өте жақын сәулеленеді. Күн сәулелерінің спектрлік құрамы да абсолют қара дененің сәулеленуіне өте жақын.

Ішкі беті қарайтылған, кішкене саңылауы бар қуыс абсолют қара дененің идеал үлгісі болып табылады (47.3-сурет).



47.3-сурет. Абсолют қара дененің үлгісі





Стефан Йозеф  
(1835—1893)

Саңылау арқылы қуысқа түскен сәуле оның қабырғаларынан көп рет шағылады. Өр шағылған сайын сәулелік энергияның біраз бөлігі жұтылады.

Осының нәтижесінде қуыс өзіне түскен сәулелік энергияны түгел жұтып алады. Егер қандай да бір  $T$  температураға дейін қыздырылған қуыстың ішінде жылулық тепе-теңдік орнаса, саңылаудан шығатын қуыстың өз сәулеленуі абсолют қара дененің сәулеленуі болып табылады. Саңылауға өлшеуіш құралдар қойып, одан шығатын сәулеленуді зерттеуге болады. Абсолют қара дененің сәулеленуі осылай зерттеледі. Абсолют қара дененің энергия тығыздығы мен спектрлік құрамы тек қана температураға тәуелді.

**Стефан-Больцман заңы.** XIX ғасырдың аяғына қарай абсолют қара дененің сәулелену заңдылықтары эксперимент жүзінде жан-жақты зерттеліп болды. 1879 жылы австриялық физик И. Стефан тәжірибелердің нәтижелерін зерделей отырып, кез келген дененің энергетикалық жарқырауы абсолют температураның төртінші дәрежесіне пропорционал деген қорытындыға келді. Ал 1884 жылы А. Больцман термодинамикалық тәсілді қолдана отырып, теориялық тұрғыда дәл осындай тәуелділікті абсолют қара дене үшін шығарып алды. Демек, Стефан тағайындаған заңдылық тек абсолют қара дене үшін дұрыс болып шықты: *абсолют қара дененің интегралдық энергетикалық жарқырауы абсолют температураның төртінші дәрежесіне тура пропорционал.* Бұл — **Стефан-Больцман заңы:**

$$R_T = \sigma T^4, \quad (47.4)$$

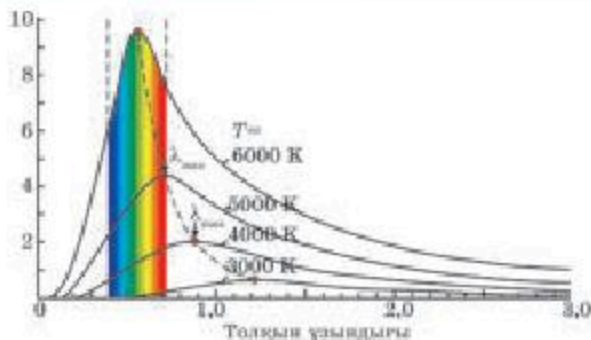
мұндағы  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$  — *Стефан-Больцман тұрақтысы.*

Стефан-Больцман заңынан абсолют қара дененің интегралдық энергетикалық жарқырауы тек қана температураға тәуелді екенін көреміз. Бірақ бұл заң абсолют қара дененің сәулеленуінің спектрлік құрамы туралы ештеңе айтпайды. Сондықтан алдымен тәжірибе жүзінде арнайы зерттеулер жүргізілді. Жан-жақты жүргізілген эксперименттік зерттеулер температураның әрбір нақты  $T$  мәні үшін абсолют қара дененің  $r^*(\lambda, T)$  сәулелену қабілетінің толқын ұзындығына тәуелділік графигінде айқын көрінетін максимум бар екенін көрсетті (47.4-сурет).

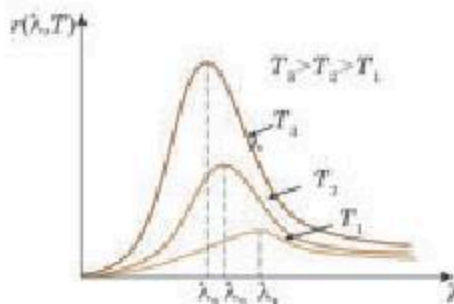
Бұл максимум температура өскен сайын қысқа толқындарға (жоғары жиіліктерге) қарай ығысып отырады (47.5-сурет). Дәл осы себепті металл кесегін қатты қыздырса, оның түсі алдымен қою қызыл, сосын ашық қызыл, сарғыш қызыл, ақырында ақ сары болып жарқырайды.

Әрбір қисық пен абсциссалар осінің арасында жатқан аудан берілген  $T$  температурадағы  $R$  интегралдық энергетикалық жарқырауға тең. Бұл





47.4-сурет. Абсолют қара дененің сәулелену қабілетінің (қуатының) толқын ұзындығы бойынша таралуы



47.5-сурет. Абсолют қара дененің сәулелену қабілетінің температураға тәуелділік қисығы максимумының ығысуы

аудан (яғни,  $R$ ) Стефан—Больцман заңы бойынша, температураның төртінші дәрежесіне ( $T^4$ ) пропорционал өседі.

**Виннің ығысу заңы.** Неміс физигі Вин абсолют қара дененің  $r^*$  сәулелену қабілетінің максимумы сәйкес келетін толқын жиілігінің температураға тәуелділігін тағайындады. Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының максимумына сәйкес келетін толқын жиілігі дененің абсолют температурасына тура пропорционал:

$$\frac{\nu_m}{T} = b_1. \quad (47.5)$$

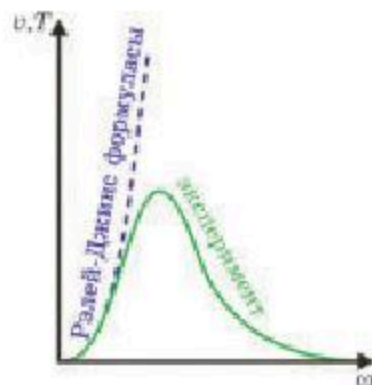
Бұл — **Виннің ығысу заңы.**

Әдетте, Виннің ығысу заңын максимумға сәйкес келетін толқын ұзындығы арқылы жазады:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \quad (47.6)$$

мұндағы  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  — **Вин тұрақтысы.**

**Ультракүлгін апат.** Тәжірибе жүзінде тағайындалған абсолют қара дененің сәулелену заңдылықтарын ағылшын ғалымдары Д. Рэлей мен Д. Джинс энергияның еркіндік дәрежелері бойынша біркелкі таралуы туралы классикалық заңға сүйеніп, теориялық түрде қорытып шығарғылары келді. Олардың қорытып шығарған абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының формуласы эксперименттік қисықтарға (47.6-сурет) тек аз жиіліктер мен жоғары температуралар үшін сәйкес келетін болып шықты. Бұл формула күрделі болғандықтан біз оны қарастырмаймыз, тек нәтижесін талқылаймыз.



47.6-сурет. Рэлей-Джинс формуласын экспериментпен салыстыру

Жоғары жиіліктерде, 47.6-суретте көрініп тұрғандай, Рэлей-Джинс формуласы эксперименттен мүлде алшақ. Осы формуланы қолданып, Стефан-Больцман заңын қорытып шығармақ болғанда абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауы шексіздікке тең болып шықты:  $R = \infty$ . Бұл нәтиже *ультракүлгін апат* деген атпен физикаға кірді. Сонымен, классикалық физика аясында жылулық сәулеленудің заңдылықтарын түсіндіру мүмкін болмады.

**Планк формуласы.** Абсолют қара дененің сәулеленуінің спектрлік заңдылықтарын алғаш рет теориялық түрде дұрыс негіздеген Макс Планк болды. Ол үшін оған *кванттық гипотезаны* енгізуге тура келді. Бұл классикалық физикаға мүлде жат тұжырымдама еді. Классикалық физикада кез келген жүйенің энергиясы *үздіксіз өзгереді*. Ал Планктың кванттық гипотезасы бойынша энергия “үлестермен”, дискретті түрде ғана шығарылады. Энергияның бір үлесін *квант* деп атайды. Өр кванттың энергиясы жиілікке пропорционал:

$$E = h\nu, \quad (47.7)$$

мұндағы  $h$  — *Планк тұрақтысы* деп атайды:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж · с.

Планк тұрақтысы жарықтың таралу жылдамдығы  $c$  немесе элементар заряд  $e$  сияқты іргелі константалардың бірі болып табылады.



1. Жылулық сәулеленудің негізгі қасиеттері туралы айтып беріңдер.
2. Интегралдық энергетикалық жарқырауға анықтама беріңдер.
3. Дененің сәулелену және жұту қабілеттері деген не?
4. Абсолют қара дене деп нені айтады?
5. Абсолют қара дененің үлгісі ретінде нені алуға болады?
6. Егер күндіз терезелері онша үлкен емес үйлерге сырттан қараса, бөлмелердің іші жарық болса да, терезелер қап-қараңғы болып көрінеді. Неге? Жауаптарыңды негіздеңдер.
7. Стефан-Больцман заңын тұжырымдап, оны жазыңдар.
8. Абсолют қара дененің сәулелену қабілеттілігінің жиілікке тәуелділік графиктерін салыңдар.
9. Вин заңын тұжырымдап, түсіндіріп беріңдер.
10. Ультракүлгін апат деген не?
11. “Квант” сөзінің мағынасы неде? Бір кванттың энергиясы неге тең?



Абсолют қара дененің үлгісін өз қолдарыңмен жасаңдар. Бұл үшін шағын картон қорапшаны пайдалануға болады. Қораптың бір жақ бүйір бетіне диаметрі қораптың сызықтық өлшемдерінің 0,1 бөлігінен аспайтын саңылау ойып жасаңдар. Содан кейін қораптың қақпағын жақсылап жауып желімдеңдер. Абсолют қара дененің үлгісі дайын саңылаудан қарағанда қораптың іші қара болып көрінеді. Абсолют қара дененің сәулеленуін зерттеп, қорытындылаңдар.



Екі есеп құрастырыңдар: бірі Стефан-Больцман заңына, екіншісі Вин заңына болсын. Есептерді парталас көршілеріңмен айырбастап, шығарыңдар. Содан кейін бірге есептердің шарттары мен шешулерін талқылап, өзара бағалаңдар.

## Есеп шығару мысалы

Күн сәулелерінің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының максимумы  $\lambda_m = 500$  нм толқын ұзындығына сәйкес келеді. Күнді абсолют қара дене деп есептеп, мыналарды табыңдар: 1) Күннің энергетикалық жарқырауын; 2) Күннен шығатын  $\Phi$  энергия ағынын; 3) Күннен бір секундта шығатын барлық электромагниттік толқындардың  $m$  массасын.

Берілгені:

$$\lambda_m = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$r_{\text{күн}} = 6,95 \cdot 10^8 \text{ с}$$

$$R - ? \quad \Phi - ? \quad m - ?$$

Шешуі. 1. Энергетикалық жарқырауды  $R = \sigma T^4$  Стефан-Больцман заңынан анықтаймыз. Күннің температурасын

Виннің ығысу заңынан  $\lambda_m = \frac{b}{T}$  табамыз, бұдан  $T = \frac{b}{\lambda_m}$ .

Температураның осы мәнін Стефан-Больцман заңының формуласына қоямыз:

$$R = \sigma \left( \frac{b}{\lambda_m} \right)^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} \right)^4 = 0,64 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2; R = 64 \text{ МВт/м}^2.$$

2. Күннен шығатын энергия ағыны  $\Phi$  Күннің энергетикалық жарқырауын оның бетінің ауданына көбейткенге тең:

$$\Phi = R \cdot S; S = 4\pi r^2, \text{ мұндағы } r_{\text{күн}} = 6,95 \cdot 10^8 \text{ м} — \text{Күннің радиусы;}$$

$$\Phi = 4\pi r^2 r_{\text{күн}} \cdot R = 4 \cdot 3,14 \cdot (6,95 \cdot 10^8)^2 \cdot 64 \cdot 10^6 = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ Вт;}$$

$$\Phi = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ Вт.}$$

3. Бір секундта шығатын барлық электромагниттік толқындардың массасын белгілі  $E = mc^2$  формуласы бойынша табамыз:  $E = \Phi \cdot t$ . Соңғы екі өрнекті теңестіре отырып, массаны анықтаймыз:

$$m = \frac{\Phi \cdot t}{c^2} = \frac{3,9 \cdot 10^{26} \cdot 1}{9 \cdot 10^{16}} = 4,3 \cdot 10^9 \text{ кг.}$$

Күннің массасы әр секунд сайын  $4,3 \cdot 10^9$  кг шамаға азаяды.



## 22-жаттығу

1. Қандай температурада абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауы  $R = 459 \text{ Вт/м}^2$ -ге тең болады?

Жауабы: 300 К.

2. Балқыту пешін абсолют қара дене деп алып, оның ауданы  $S = 8 \text{ см}^2$  болатын бақылау терезесінен  $t = 5$  мин-та шығатын энергияны табыңдар. Пештің температурасы  $T = 1000 \text{ К}$ .

Жауабы: 13,6 кДж.

3. Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауын екі есе арттыру үшін оның температурасын неше есе арттыру керек?

Жауабы: 1,19.



- \*4. Абсолют қара дененің температурасы: а) 300 К; ө) 1000 К болса, оның энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының максимумы қандай  $\lambda_m$  толқын ұзындығына сөйкес келеді?

Жауабы: 9,6 мкм; 2,9 мкм.

- \*5. Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының максимумы  $\lambda_m = 1,45$  мкм толқын ұзындығына сөйкес келеді. Оның температурасын есептеңдер.

Жауабы: 2000 К.

- \*6. Абсолют қара дененің сәулелену қабілетінің максимумы  $\lambda_m = 725$  нм толқын ұзындығына сөйкес келеді. Бір секундта осы дене бетінің  $1 \text{ см}^2$  ауданы қанша энергия шығарады?

Жауабы: 1,45 кДж.

- \*7. Абсолют қара дененің сәулелену қабілетінің максимумы  $\lambda_m = 720$  нм толқын ұзындығына сөйкес келеді. Бұл дене бетінің  $S = 5 \text{ см}^2$  ауданы бір сағат уақытта қанша энергия шығарады? Сәулелену нәтижесінде дене массасы 1 с-та қаншаға азаяды?

Жауабы: 26,5 МДж;  $8,2 \cdot 10^{-14}$  кг.

## § 48. Фотозффе́кт



### Тірек ұғымдар:

- ✓ фотозффе́кт
- ✓ тежеуші кернеу
- ✓ шығу жұмысы
- ✓ фотозлектрондар
- ✓ фотозффе́ктінің қызыл шегарасы
- ✓ көпфотонды фотозффе́кт



### Бүгінгі сабақта:

- фотозффе́ктінің заңдары мен табиғатымен танысасыңдар;
- Эйнштейн теңдеуін қолдана отырып есеп шығаруды үйренесіңдер.

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

### Мұны білесіңдер

Затқа түсірілген сәулеленудің әсерінен оның бетіне электрондардың ұшып шығу құбылысы *сыртқы фотозлектрлік эффе́кт (фотозффе́кт)* деп аталады.

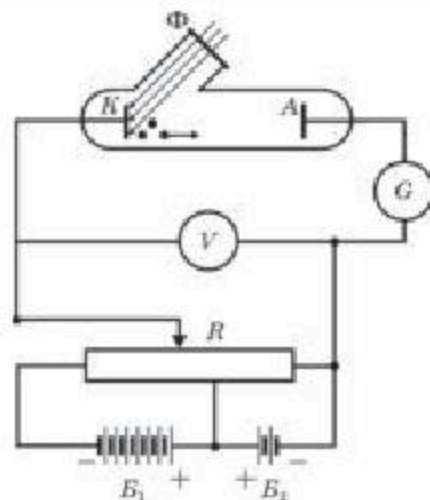
Фотозффе́кт құбылысын 1887 жылы Г.Герц кездейсоқ ашқан болатын. Ол Максвелл өз теориясында болжаған электромагниттік толқындарды қабылдағышты (Герц диполін) құрастырған болатын.

Герц өз құрылғысының шарларына өртүрлі әсер етіп және шарлардың арақашықтықтарын өзгерте отырып, сигнал қабылдауды жеңілдеткісі келді. Осындай мақсатпен шарларға ультракүлгін сәулелер түсіргенде, егер сәулелер теріс зарядталған шарға түссе, олардың арасында ұшқын (шарлардың арасындағы ауа қабатының “тесілуі”) кернеудің азырақ мөнінде шығатынын байқады. Фотозэффект осылай ашылды.

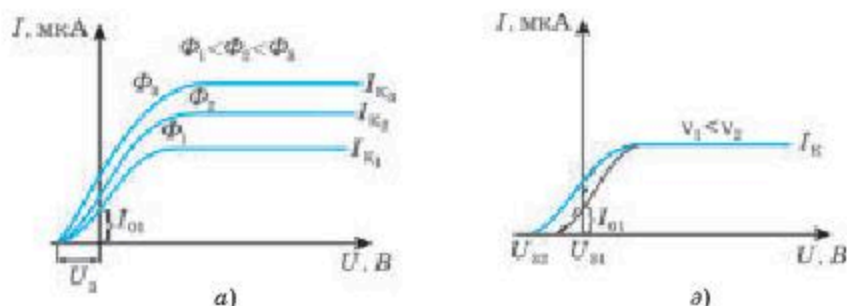
Фотозэффект құбылысын тәжірибе жүзінде алғаш зерттеп, заңдылықтарын тағайындаған орыс ғалымы А.Г. Столетов болды. Бұл құбылысты зерттеуде Герцтің шәкірті, неміс ғалымы Ф. Ленард, американ ғалымы Р. Э. Милликен үлкен үлес қосты. Элементар электр зарядтарды және фотозэффект құбылысын зерттеудегі еңбектері үшін 1923 жылы Милликенге Нобель сыйлығы берілді.

Фотозэффектін зерттеу үшін 48.1-суретте көрсетілген қондырғыны пайдалануға болады. Ішіндегі ауасы сорылған баллонға екі электрод — анод пен катод орналастырылады.

Катодқа кварц терезеше арқылы ультракүлгін жарық түсіргенде одан фотоэлектрондар ұшып шығып, электр өрісінің әсерінен катодтан анодқа қарай қозғала бастайды.  $R$  потенциометрдің көмегімен анод пен катодтың арасындағы кернеуді өзгерте отырып, фототоктың кернеуге тәуелділігін, яғни фотозэффектінң вольт-амперлік сипаттамасын алуға болады. Осындай тәуелділік 48.2 а, ә-суреттерде көрсетілген: 48.2, а-суретте катодқа түскен жарықтың жиілігі тұрақты, бірақ интенсивтіктері (яғни жарық ағыны) өртүрлі болғанда, ал 48.2, ә-суретте интенсивтік тұрақты, ал жиілік түрлі болғандағы вольт-амперлік сипаттама кескінделген.



48.1-сурет. Фотозэффектін зерттеуге арналған құрылғының сұлбасы



48.2-сурет. Фотозэффектінң вольт-амперлік сипаттамасы

Екі жағдайда да анод пен катодтың арасындағы кернеу нөлге тең болса да, аздаған  $I_0$  фототок бар екені көрініп тұр. Мұның себебі катодтан ұшып шыққан кейбір жылдам электрондар ешқандай электрлік күштер әсер етпесе де (электр өрісі жоқ болса да) анодқа “өздігінен” ұшып жетуі мүмкін. Осы  $I_0$  ток күшін нөлге дейін кеміту үшін анод пен катодтың арасына  $U_m$  теріс потенциалдар айырымын түсіру керек. Оны *тежеуші кернеу* немесе *жабушы потенциал* деп те атайды. Тежеуші кернеу түсіргенде ең жылдам электронның өзі электр өрісінің тежеуші әсерін жеңе алмайды да, анодқа жетпей қалады. Олай болса:

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = eU_m, \quad (48.1)$$

мұндағы  $m$  — электронның массасы. Сонымен, тежеуші кернеуді өлшей отырып, фотоэлектрондардың максимал жылдамдығын есептеп шығаруға болады.

48.2, а, ә-суреттерден катодқа түсетін жарық ағынының берілген әрбір мәні ( $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$ ) үшін кернеуге тәуелді фототоктың өсуі баяулап барып, кернеудің қандай да бір мәнінде тоқтайтыны көрініп тұр. Фототок күшінің бұл мәні *қанығу тогы* деп аталады. Ток күші қанығу мәніне жеткенде секунд сайын катодтан ұшып шыққан электрондар түгелдей анодқа жетіп отырады. Олай болса, қанығу тогы  $I_x$  түскен жарықтың әсерінен катодтан уақыт бірлігі ішінде ұшып шығатын электрондар санын анықтайды.



Александр  
Григорьевич  
Столетов  
(1839—1896)

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

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

Түскен жарықтың интенсивтігі артқан сайын фотоэлектрондардың жылдамдығы да арта түседі (48.2, ә-сурет). Бұл эксперименттік тәуелділікті классикалық физиканың аясында түсіндіру мүмкін емес, себебі Максвеллдің электромагниттік теориясы бойынша жарықтың интенсивтігінің өсуі түскен электромагниттік сәулелену амплитудасының артуымен парапар, онда фотоэлектрондардың жылдамдығы да артуы керек еді. Сонымен, бұл жерде классикалық теория мен тәжірибе нәтижесінде қарама-қайшылық байқалады.

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



3. Әр металл үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы болады: бұл — сәулеленудің фотоэффект құбылысы байқалатын жиілігінің ең төменгі  $\nu_{\min}$  (толқын ұзындығының ең үлкен  $\lambda_{\max}$ ) мәні. Түскен сәулеленудің жиілігі бұдан төмен (толқын ұзындығы бұдан үлкен) болғанда фотоэффект байқалмайды.

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

$$h\nu = A_{\text{шығу}} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (48.2)$$

Біз әйгілі *фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін* алдық.

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

Эйнштейн теңдеуі фотоэффектінің барлық тәжірибелік заңдарын түсіндіріп бере алады. Берілген металл үшін шығу жұмысы  $A_{\text{шығу}}$  тұрақты шама болғандықтан, (48.2) теңдеуі бойынша фотоэлектрондардың кинетикалық энергиясы  $\nu$  жиілікке пропорционал өседі. Эйнштейн бойынша бір кванттың энергиясын бір электрон жұтады, сондықтан металдан ұшып шыққан фотоэлектрондардың саны (қанығу тогының күші) металл бетіне түскен кванттың санына, яғни жарықтың интенсивтігіне пропорционал болуы тиіс. Сонымен қатар бұл теңдеуден фотоэффект құбылысы байқалу үшін түскен кванттың энергиясы ең аз дегенде электронды металдан жұлып шығаруға жетуі тиіс, яғни оның ең аз мәні шығу жұмысына тең болуы керек екенін көреміз. Демек,  $h\nu_{\min} = A_{\text{шығу}}$ , бұдан:

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{шығу}}}{h} \quad \text{немесе} \quad \lambda_{\max} = \frac{ch}{A_{\text{шығу}}}. \quad (48.3)$$

Бұл — *фотоэффектінің қызыл шегарасы*.

Жоғарыда қарастырылған құбылыста бір электрон бір квантты ғана жұтады. Мұндай процестер *бірфотонды процестер* деп аталады.

Бірфотонды фотоэффект түскен жарықтың жиілігі қызыл шегарадан жоғары болғанда ғана байқалатынын айтып кеттік.

Ал металға лазер жарығы түскендегі жағдай мүлдем басқаша. Лазер шоғының интенсивтігі өте жоғары болғандықтан, электрон бір мезетте бірнеше квантты (2-ден 7-ге дейін) жұтуы мүмкін, нәтижесінде *көпфотонды фотоэффект* байқалады. Интенсивтігі жоғары жарықтың затпен өсерлесуінен болатын процестер *сызықтық емес оптикада* қарастырылады. Көпфотонды фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін былай жазуға болады:

$$Nh\nu = A_{\text{шығар}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2},$$

мұндағы  $N$  — электрон жұтқан кванттардың саны. Соңғы теңдеуден көпфотонды фотоэффект кезінде түскен жарықтың жиілігі қызыл шегарадан аз болса да, фотоэффект құбылысының байқалуы мүмкін екенін көреміз. Басқаша айтқанда, көпфотонды фотоэффект кезінде қызыл шегара ұзын толқындарға қарай ығысады.



1. Сыртқы фотоэффект құбылысы туралы айтып беріңдер.
2. Жоғарыда кескінделген 48.1-суретке қарап, фотоэффектіні тәжірибе жүзінде қалай зерттеуге болатынын айтып беріңдер.
3. Тежеуші кернеу деген не?
4. Фотоэффект үшін Столетов заңдарын тұжырымдаңдар.
5. Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін жазып, соның негізінде фотоэффектінің тәжірибеде тағайындалған заңдарын түсіндіріп беріңдер.
6. Фотоэффектінің қызыл шегарасы деп нені айтады? Оны неге бұлай атайды? Жауаптарыңды негіздеңдер.

### Есеп шығару мысалы

Вакуумдық фотоэлементке түскен жарықтың толқын ұзындығы  $\lambda_1 = 600$  нм болғанда, фототок тежеуші кернеудің  $U_1$  мәнінде тоқталады. Толқын ұзындығын 25%-ға арттырғанда тежеуші кернеу  $\Delta U = 0,4$  В-қа кемиді. Осы мәліметтер бойынша Планк тұрақтысын анықтаңдар.

Берілгені:

$$\lambda_1 = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\eta = 25\%$$

$$\Delta U = 0,4 \text{ В}$$

$$h \text{ — ?}$$

Шешуі. Екі жағдай үшін де Эйнштейн теңдеуін жазайық:

$$h\nu_1 = A_{\text{шығар}} + \frac{mv_1^2}{2},$$

$$h\nu_2 = A_{\text{шығар}} + \frac{mv_2^2}{2}.$$

Мына қатынастарды:  $\frac{mv_1^2}{2} = eU_1$ ;  $\frac{mv_2^2}{2} = eU_2$ ;  $v_1 = \frac{c}{\lambda_1}$ ;  $v_2 = \frac{c}{\lambda_2}$  ескере отырып, бірінші теңдеуден екінші теңдеуді алып тастайық:

$$hc \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = e(U_1 - U_2).$$

Есептің шарты бойынша  $U_1 - U_2 = \Delta U$ ;  $\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} = \eta$ .

Олай болса,  $hc \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_1(1 + \eta)} \right) = e\Delta U$ .

Бұдан

$$h = \frac{e\Delta U \lambda_1 (1 + \eta)}{\eta c} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,4 \text{ В} \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot 1,25}{0,25 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}^2} = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$



### 23-жаттығу

1. Фотозффектінің қызыл шегарасы  $\lambda_{\text{max}} = 500 \text{ нм}$  болса, электрондардың натриден шығу жұмысын есептеңдер.

*Жауабы:* 2,49 эВ.

2. Мырыш пластинаға толқын ұзындығы  $\lambda = 220 \text{ нм}$  монохроматты жарық түседі. Мырыш үшін шығу жұмысы  $A_{\text{шыр}} = 4 \text{ эВ}$ . Фотозлектрондардың максимал жылдамдығын табыңдар.

*Жауабы:* 760 км/с.

3. Толқын ұзындығы  $\lambda = 200 \text{ нм}$  монохроматты сәулеленудің әсерінен натрий бетіне ұшып шығатын фотозлектрондар үшін тежеуші кернеуді анықтаңдар.

*Жауабы:* 3,7 В.

\*4. Цинкке толқын ұзындығы  $\lambda_1 = 185 \text{ нм}$  сәулелену түскенде одан ұшып шығатын фотозлектрондар үшін тежеуші кернеу  $U_{01} = 2,42 \text{ В}$ . Егер толқын ұзындығы  $\lambda_2 = 254 \text{ нм}$  болса, тежеуші кернеу қандай болар еді?

*Жауабы:* 0,606 В.

\*5. Түскен жарықтың жиілігі  $\nu_1 = 4 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$  болғанда тежеуші кернеу  $U_1 = 14 \text{ В}$ , ал жиілік  $\nu_2 = 8 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$  болғанда тежеуші кернеу  $U_2 = 30 \text{ В}$ . Осы мәліметтер бойынша Планк тұрақтысын табыңдар.

*Жауабы:*  $6,4 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ .



## § 49. Фотоэффектінің қолданылуы. Фотон

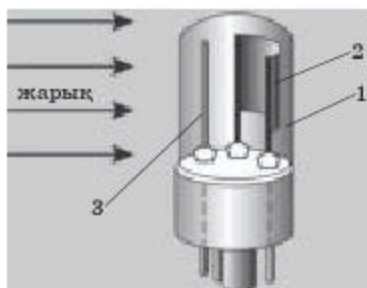


### Тірек ұғымдар:

- ✓ фотозлемент
- ✓ ішкі фотоэффект
- ✓ вентильді фотозлемент
- ✓ люксометр
- ✓ фотокедергі
- ✓ фотон
- ✓ толқындық вектор

### Бүгінгі сабақта:

- фотоэффектінің қолданылуымен, “фотон” ұғымымен және оның негізгі сипаттамаларымен танысасындар.



49.1-сурет. Вакуумдық фотозлемент

Фотоэффект құбылысы ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында кеңінен қолданылады. Фотоэффект құбылысының негізінде жасалған құралдар *фотозлементтер* деп аталады. Олардың ең қарапайымы — вакуумдық фотозлемент, ол ішінен ауасы сорып алынған шыны баллон 1 түрінде жасалады (49.1-сурет). Баллонның ішкі бетінің біраз бөлігіне жұқа металл қабаты жалатылған, ол фотокатод 2 ретін атқарады.

Анод ретінде баллонның ортасына орналастырылған металл сақина 3 немесе сирек тор пайдаланылады. Фотозлемент аккумуляторлық батареялар тізбегіне қосылады. Оның ЭҚК-і фототоктың мәні қанығу тогына тең болатындай етіп таңдап алынады.

Вакуумдық фотозлементтер инерциясыз, олардағы фототок сәулелену интенсивтігіне пропорционал. Осы қасиеттер вакуумдық фотозлементтерді фотометриялық құралдар ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Олардың кейбіреуін қарастырайық. *Люксометр* — кеңістіктің қажетті аумағындығы, мысалы, тұрғын үйдегі немесе жұмыс орнындағы жарықтануды өлшейтін құрал (49.2, а-сурет). Оның негізгі бөлігі жарық



49.2-сурет. Фотометрлік құралдар

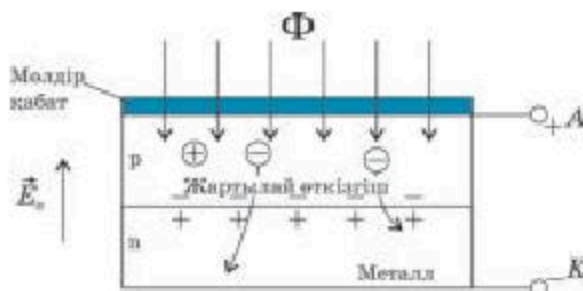
энергиясын электр энергиясына түрлендіретін жартылай өткізгіштік фотоэлемент болып табылады. Фототоктың күші жарықтануға пропорционал болады. *Фотоэлектрлік экспонометр* — фото мен кино түсіруде қажетті экспозиция уақытын анықтауға арналған құрал (49.2, а-сурет). Мұнда нысанның жарықтануы немесе жарқырауы фотоэлементтің не фоторезистордың көмегімен анықталады да, сол арқылы қажетті экспозиция таңдап алынады. *Фотореле* — бұл өзіне түскен жарық ағынының өзгерісіне қарай электр тізбектерін ажыратып немесе тұйықтап тұратын құрал (49.2, б-сурет). Ол жарықтануды реттеп тұру үшін, мысалы, көше шамдарын автоматты түрде қорек көзінен ажыратып, қосып отыру үшін қолданылады. Бұдан бөлек фоторелелер, өндірісте де, әскери салада да қолданылады.

*Ішкі фотоэффект* — сәулеленудің әсерінен жартылай өткізгіштегі еркін зарядтардың (электрондар мен кемтіктердің) концентрациясының арту құбылысы да кеңінен қолданылады. Жартылай өткізгіште пайда болатын және рекомбинацияланатын еркін зарядтардың арасында динамикалық тепе-теңдік орнайтыны белгілі. Осындай күйдегі жартылай өткізгішке кванттарының энергиясы еркін зарядтарды генерациялау энергиясынан артық болатын сәулелену түсіргенде тағы қосымша еркін зарядтар пайда болып, оның өткізгіштігі артады. Бұл құбылыстың қолданылатын жері — *фотокедергі* (49.3-сурет). Жарықтандырған кезде жартылай өткізгіштің кедергісі кемиді және сәулелену интенсивтігі неғұрлым жоғары болса, кедергі соғұрлым аз. Тағы бір қолданылуы — жабушы қабаты бар фотоэлемент (49.4-сурет), яғни *вентильді фотоэлемент*.

Ол металл мен металдың мөлдір қабаты жалатылған кемтіктік жартылай өткізгіштен (металдың тотығы) тұрады. Металл мен жартылай өткізгіштің шегарасында диффузияның нәтижесінде кернеулігі  $\bar{E}_k$  контактілік жабушы қабат пайда болады. Осы жерде пайда болған  $p - n$  ауысуы электрондарды металдан тотыққа, ал кемтіктерді тотықтан металға өткізіп тұрады. Жартылай өткізгішке  $\Phi$  жарық ағыны түскенде электрондардың да, кемтіктердің де концентрациясы



49.3-сурет. Фотокедергілер



49.4-сурет. Жабушы қабаты бар фотоэлемент



артады. Диффузияның нәтижесінде электрондар контакт арқылы еркін өтіп кетеді, ал кемтіктер өте алмайды. Сондықтан жарықтың әсерінен электрондар металда, ал кемтіктер жартылай өткізгіште жинақталады да,  $A$  және  $K$  контактілері арасында потенциалдар айырымы — фото ЭҚК-і пайда болады, ол жартылай өткізгіштің жарықтануына пропорционал.

Мұндай фотоэлементтер ток көздері (күн батареялары), фотоэкспонометрлер, әртүрлі процестерді автоматтандыру және басқаруда тексеру құралдары ретінде, әскери техникада көрінбейтін сәулеленумен сигнал беру немесе локация құралдары ретінде және т.б. жерлерде кеңінен қолданылады.

**Фотондар.** Бұрын айтып кеткеніміздей, фотоэффект заңдарын түсіндіру үшін Эйнштейн қызған дененің сәулелену энергиясының кванттары туралы Планктың идеяларын дамытты. Ол электромагниттік толқын жеке үлестерден — кванттардан тұрады деген болжам жасады. Сонымен, Эйнштейн жарықтың таралуын үздіксіз толқындық процесс емес, вакуумдағы жарықтың  $c$  жылдамдығындай жылдамдықпен қозғалатын дискретті кванттар ағыны деп қарастырды. Осы электромагниттік сәулелену кванттары *фотондар* деп аталды. Барлық жиілігі  $\nu$  монохромат сәулелену фотондарының энергиялары бірдей және  $h\nu$  тең. Дененің сәулені жұту процесі кезінде фотондар өз энергиясын дене бөлшектеріне тұтастай береді, яғни жұтылу кеңістікте де, уақыт бойынша да дискретті жүреді.

Сонымен, *фотон* дегеніміз — *энергиясы  $h\nu$  тең элементар бөлшек*. Оның массасы мен импульсін анықтайық. Масса мен энергияның байланысын өрнектейтін салыстырмалылық теориясының  $E = mc^2$  формуласынан фотонның массасын табуға болады:

$$mc^2 = h\nu \text{ немесе}$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (49.1)$$

Салыстырмалылық теориясы бойынша масса жылдамдыққа тәуелді шама:

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

Бұл формулаға фотонның вакуумдағы жылдамдығын  $v = c$  қойсақ, масса, егер тыныштық массасы  $m_0 = 0$  деп есептемесек,  $m = \infty$ , яғни шексіздікке тең болып шығады. Олай болса,  $m_0 = 0$ , яғни *фотонның тыныштық массасы жоқ*. Басқаша айтсақ, фотон тек  $c$  жылдамдықпен қозғалыста ғана өмір сүре алады.



Фотонның импульсін салыстырмалылық теориясы бойынша толық энергияның формуласынан анықтайық:

$$E = c\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}.$$

Бұл өрнектен  $m_0 = 0$  болғандықтан,  $E = cp$  аламыз. Бұдан:

$$p = \frac{hv}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (49.2)$$

Планк тұрақтысының  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж · с мәні де жиі қолданылады.

Толқындық сан ұғымын енгізейік:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (49.3)$$

Осыны қолдана отырып (49.3) болады:  $p = \hbar k$ .

Импульс — векторлық шама. Фотонның импульсінің бағыты жарықтың таралу бағытымен бірдей. Ал жарық толқындарының таралу бағыты  $\vec{k}$  толқындық вектормен сипатталады, оның модулі (49.3) формуласымен анықталатынын ескерсек:

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}.$$

Сонымен, кез келген қозғалыстағы бөлшек сияқты фотонның да энергиясы, массасы және импульсі бар. Осы аталған фотонның корпускулалық (бөлшектік) сипаттамаларының бәрі жарықтың толқындық сипаттамасы — жиілікпен жоғарыдағы өрнектер арқылы байланысқан. Маңызы өте зор бұл мәселеге кейінірек қайта ораламыз.



1. Вакуумдық фотоэлемент деген не?
2. Фотоэлементтерді қолдану мысалдарын келтіріңдер.
3. Ішкі фотоэффект құбылысын түсіндіріңдер.
4. Вентильді фотоэлемент деген не? Олар қайда қолданылады?
5. Фотон деген не?
6. Фотонның энергиясын, массасын және импульсін анықтайтын формулаларды жазыңдар.
- \*7. Фотонның тыныштық массасы неге тең? Жауаптарыңды негіздеңдер.
- \*8. Фотонның импульсінің формуласын қорытып шығарыңдар.

### Есеп шығару мысалы

Массасы электронның тыныштық массасына тең фотонға қандай толқын ұзындығы сәйкес келеді?

Берілгені:

$$m = m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$\lambda$  — ?

Шешуі. (50.1) өрнегінен

$$v = \frac{m_e c^2}{h}$$

Олай болса,  $\lambda = \frac{c}{v} = \frac{h}{m_e c} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,31 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,242 \cdot 10^{-11} \text{ м}, \lambda = 2,42 \text{ пм.}$



#### 24-жаттығу

1. Мына монохроматты жарық толқындарына сәйкес фотонның энергиясын табыңдар: 1) қызыл  $\lambda = 0,7$  мкм; 2) жасыл  $\lambda = 0,55$  мкм; 3) күлгін  $\lambda = 0,4$  мкм.

*Жауабы:*  $28 \cdot 10^{-20}$  Дж;  $36,1 \cdot 10^{-20}$  Дж;  $49,7 \cdot 10^{-20}$  Дж.

2. Фотонның энергиясы  $E = 3,2 \cdot 10^{-19}$  Дж. Оған қандай толқын ұзындығы сәйкес келеді?

*Жауабы:* 0,62 мкм.

3. Массасы  $m = 1,66 \cdot 10^{-30}$  кг фотонға сәйкес толқын ұзындығын табыңдар.

*Жауабы:* 1,33 пм.

4. Толқын ұзындығы  $\lambda = 100$  пм сәулеленуге сәйкес келетін фотонның энергиясын, массасын және импульсін анықтаңдар.

*Жауабы:*  $1,99 \cdot 10^{-15}$  Дж;  $2,2 \cdot 10^{-32}$  кг;  $6,625 \cdot 10^{-24}$  кг · м/с.

5. Энергиясы электронның тыныштық энергиясына тең фотонның импульсін есептеңдер.

*Жауабы:*  $27,3 \cdot 10^{-23}$  кг · м/с.

6. Импульсі  $p = 2,5 \cdot 10^{-22}$  кг · м/с болатын фотонның жиілігін табыңдар.

*Жауабы:*  $1,13 \cdot 10^{20}$  Гц.

## § 50. Жарықтың қысымы



### Тірек ұғымдар:

- ✓ электромагниттік толқынның қысымы
- ✓ шағылу коэффициенті
- ✓ жарықтың интенсивтігі
- ✓ энергияның көлемдік тығыздығы

### Бүгінгі сабақта:

- “жарықтың қысымы” ұғымымен танысып, кванттық теорияның негізінде жарықтың қысымының табиғатын түсіндіруді үйренесіңдер.



Денені сәулелендірген кезде жарық толқындары оның бетіне қысым түсіреді. *Жарықтың қысымы* туралы гипотезаны алғаш рет XVII ғасырда И. Кеплер Күнге жақын маңда өтіп бара жатқан кометалардың құйрықтарының қозғалыс ерекшеліктерін түсіндіру үшін ұсынған болатын. Жарықтың қысым түсіретіні Дж. Максвеллдің электромагниттік теориясынан шығады. Бұл теория бойынша дененің бетіне электромагниттік толқын түскен кезде электр өрісінің әсерінен заттың (дененің) электрондары  $\vec{E}$  өріс кернеулігінің бағытына қарама-қарсы қозғала бастайды (50.1-сурет).

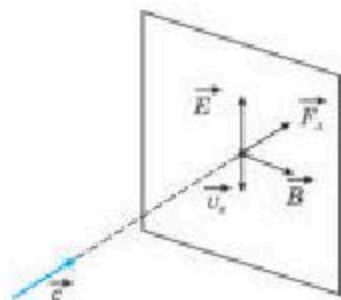
Қозғалыстағы зарядқа магнит өрісі тарапынан Лоренц күші әсер етеді, оның бағыты *сол қол ережесімен* анықталады. 50.1-суретте көрсетілгендей, Лоренц күшінің бағыты сәуленің түсу бағытымен бірдей. Жарты периодтан соң электрон қарама-қарсы бағытта қозғала бастайды, бірақ Лоренц күшінің бағыты өзгермеген күйінде қалады. Бет ауданының бірлігіне келетін Лоренц күштерінің қосындысының орташа мәні электромагниттік толқынның қысымына тең. Бірақ бұл қысымның шамасы өте аз, сондықтан оны өлшеу өте сезімтал, дәлдігі жоғары тәжірибе жасауды талап етеді.

Максвелл электромагниттік толқынның қысымы үшін мынадай формуланы алды:

$$p = (1 + \rho)w_{\text{орт}}, \quad (50.1)$$

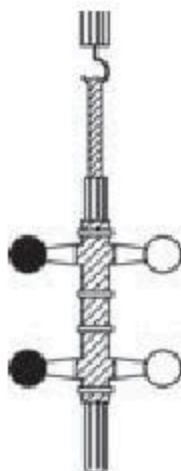
мұндағы  $\rho$  — шағылу коэффициенті;  $w_{\text{орт}}$  — электромагниттік толқынның орташа энергия тығыздығы.

**Лебедев тәжірибесі.** Жарықтың қысымын алғаш рет өлшеген П.Н.Лебедев болды. Ол 1890 жылы қатты дене бетіне, 1907—1910 жылдары газдарға түсіретін жарықтың қысымын тәжірибе арқылы жеткілікті дәрежеде дәл анықтады.



50.1-сурет. Жарық қысымының пайда болуы





50.2-сурет.  
Лебедев  
тәжірибесінің  
сұлбасы

Жарықтың қысымын өлшеуге арналған тәжірибесінде Лебедев жеңіл слюда қанатшаларды (бір жақ беті қара, екінші жағы ақ) жіңішке жеңіл қылға іліп, оларды ауасы сорылып алынған шыны ыдысқа орналастырды (50.2-сурет).

Жарықтың қысымын анықтайтын (50.1) формулада қара дене үшін  $\rho = 0$  болғандықтан, жарықтың қара бетке түсіретін қысымы ақшыл бетке түсіретін қысымынан әлдеқайда (шамамен 1,5 еседей) аз болуы тиіс. Сондықтан ілмекке айналдырушы момент әсер етеді. Оны жарық ебелегінің көмегімен жіптің ширатылу бұрышын өлшеу арқылы анықтауға болады. Сонымен, Лебедев тәжірибесінде жарық түскенде ілмек жарықтың қысымы әсерінен бұрылды. Бұрылу бұрышын өлшеу арқылы жарықтың қысымы өлшенді. Түскен жарық энергиясының тығыздығын Лебедев ерекше кішкентай калориметрдің көмегімен өлшеді. Тәжірибенің нәтижесі (50.1) формула бойынша жасалған есептеулерден алынған нәтижемен дәл келді.

Максвелл теориясынан шығатын “жарық — электромагниттік толқын” деген қорытындыны дәлелдеуде Лебедев тәжірибесінің маңызы зор болды.

**Жарық қысымының кванттық теориясы.** Кванттық теория тұрғысынан алғанда, жарықтың қысымы бетке келіп соғылған әрбір фотонның оған импульс беретінімен түсіндіріледі. Жарық дене бетіне перпендикуляр түссін және уақыт бірлігі ішінде аудан бірлігіне түсетін фотондардың саны  $n$  болсын. Егер шағылу коэффициенті  $\rho$  болса, беттен  $\rho n$  фотон шағылады, ал  $(1 - \rho)n$  фотон жұтылады. Әрбір шағылған фотон бетке  $2p_\phi = \frac{2h\nu}{c}$  импульс береді, себебі шағылған соң фотонның импульсі  $(-p_\phi)$  болады. Онда импульстің өзгерісі  $\Delta p_\phi = p_\phi - (-p_\phi) = 2p_\phi$  болады. Әрбір жұтылған фотон бетке  $p_\phi = \frac{h\nu}{c}$  импульс береді.

Жарықтың қысымы  $n$  фотонның беретін импульстерінің қосындысына тең:

$$p_\phi = \frac{2h\nu}{c}\rho n + \frac{h\nu}{c}(1 - \rho)n.$$

Соңғы өрнекті мына түрге келтіруге болады:

$$p_\phi = \frac{nh\nu}{c}(1 + \rho), \tag{50.2}$$

мұндағы  $I = nh\nu$  — жарықтың интенсивтігі, яғни уақыт бірлігі ішінде аудан бірлігіне түсетін барлық  $n$  фотондардың энергиясы, ал  $w = \frac{I}{c} = \frac{nh\nu}{c}$  — түскен жарықтың энергиясының көлемдік тығыздығы.

Осыларды ескерсек,  $p_{\phi} = w(1 + \rho)$ , яғни біз (51.1) формуланы алдық. Өдетте, жарықтың қысымы өте аз шама. Бірақ қандай да бір ерекше жағдайларда ол айтарлықтай жоғары мәнге ие болуы да мүмкін. Мысалы, температурасы ондаған миллион градус болатын жұлдыздардың ішінде электромагниттік сәулелену қысымы орасан зор мәндерге жетеді. Сондықтан жұлдыздардың ішінде жүретін процестерде гравитациялық күштермен қатар, жарықтың қысым күштері де айтарлықтай рөл атқарады.



- 1. Максвеллдің электромагниттік теориясына сүйеніп, жарықтың бетке қысым түсіретінін дәлелдендер.
- 2. Лебедев тәжірибесін сипаттап беріңдер.
- 3. Кванттық теория тұрғысынан жарық қысымын қалай түсіндіруге болады?

### Есеп шығару мысалы

Толқын ұзындығы  $\lambda = 500$  нм монохромат жарықтың параллель шоғы қараға боялған бетке перпендикуляр түсіп, оған  $p = 10$  мкПа қысым түсірді. 1) Фотондардың  $n_0$  шоғырын; 2) уақыт бірлігі ішінде беттің бірлік ауданына түсетін фотондардың  $n$  санын анықтаңдар.

*Берілгені:*

$$\lambda = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$p = 10 \text{ мкПа} = 10^{-5} \text{ Па}$$

$$n_0 \text{ — ? } \quad n \text{ — ?}$$

*Шешуі.* 1. Энергияның  $w_{\text{opt}}$  көлемдік тығыздығы бір фотонның энергиясын фотондардың шоғырына көбейткенге тең:

$$w_{\text{opt}} = n_0 \cdot h\nu, \quad n_0 = \frac{w_{\text{opt}}}{h\nu}.$$

Жарық қысымының  $p = w_{\text{opt}}(1 + \rho)$  формуласынан энергияның көлемдік тығыздығын анықтаймыз:  $w_{\text{opt}} = \frac{p}{1 + \rho}$ , онда  $n_0 = \frac{p}{(1 + \rho)h\nu} = \frac{p\lambda}{(1 + \rho)hc}$  қараға боялған бет үшін  $\rho = 0$ , сондықтан

$$n_0 = \frac{p\lambda}{hc} = \frac{10^{-5} \text{ Па} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}^2} = 2,52 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}.$$

2. Бұдан бөлек энергияның көлемдік тығыздығын сәулелену интенсивтігі арқылы да өрнектеуге болады:  $w_{\text{opt}} = \frac{I}{c} = \frac{nh\nu}{c}$ .

Осы өрнекті  $n_0 = \frac{w_{\text{opt}}}{h\nu}$  формуласына қойып, мынаны аламыз:

$$n_0 = \frac{nh\nu}{ch\nu} = \frac{n}{c}, \text{ осыдан } n = n_0 \cdot c = 2,52 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}^2 = 7,56 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

*Жауабы:*  $n_0 = 2,52 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}$ ;  $n = 7,56 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .



## 25-жаттығу

1. Энергиясы  $E = 5$  эВ болатын фотон шағылғанда айналық бет қандай импульс алады?

Жауабы:  $5,3 \cdot 10^{-27}$  кг · м/с.

2. Бетке қалыпты түскен жарық шоғының қысымы  $p = 0,2$  Па, шағылу коэффициенті  $\rho = 0,6$ . Жарықтың интенсивтігін анықтаңдар.

Жауабы:  $37,5$  МВт/м<sup>2</sup>.

3. Қуаты  $N = 6$  Вт жарық ағынының ауданы  $S = 10$  см<sup>2</sup> бетке қалыпты түседі. Беттің шағылу коэффициенті  $\rho = 0,6$ . Жарықтың бетке түсіретін қысымын есептеңдер.

Жауабы:  $32$  мкПа.

4. Шағылу коэффициенті  $\rho = 0,7$ , ауданы  $S = 10$  см<sup>2</sup> бетке өр секунд сайын  $n = 10^{18}$  фотон перпендикуляр түседі. Толқын ұзындығы  $\lambda = 500$  нм. Жарықтың қысымын табыңдар.

Жауабы:  $2,5$  мкПа.

5. Қуаты  $N = 100$  Вт электр шамының ішкі бетіне қандай қысым түседі? Шамды радиусы  $r = 5$  см сфера деп есептеңдер. Шағылу коэффициенті  $\rho = 0,1$ . Шам тұтынатын барлық қуат сәулеленуге жұмсалады деп есептеңдер.

Жауабы:  $1,25 \cdot 10^{-5}$  Па.

## § 51. Жарықтың химиялық әсері



## Тірек ұғымдар:

- ✓ фотохимиялық реакция
- ✓ фотохимиялық реакцияның қызыл шегарасы
- ✓ фотосинтез
- ✓ фотосурет

## Бүгінгі сабақта:

- жарықтың химиялық әсерлері ментаны сасыңдар.



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



Әдетте, алғашқы химиялық реакциялар екінші реттік химиялық түрленулерге жалғасады. Алғашқы химиялық реакцияларға қатысатын заттың массасы зат жұтқан сәулелік энергияға пропорционал екені тағайындалған. Кез келген химиялық реакция затқа түскен жарық толқындарының жиілігінің қандай да бір ең аз  $\nu_0$  мәнінен бастап қана жүреді. Жиіліктің осы мәні *фотохимиялық реакцияның қызыл шегарасы* деп аталады. Жиілігі қызыл шегарадан төмен сәулелену фотохимиялық реакция тудыра алмайды.

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

**Фотосинтез.** Табиғатта өсімдіктердің жасыл жапырақтары мен көптеген микроағзалардың тіршілігінің нәтижесінде аса маңызды фотохимиялық реакциялар жүріп жатады. Жапырақтар ауадан көмірқышқыл газын жұтып, оның молекулаларын құрамдас бөліктерге — көміртек пен оттекке ыдыратады. Бұл күн сәулеленуі спектрінің қызыл бөлігінің әсерінен хлорофилл молекулаларында жүзеге асады. Өсімдіктердің тамырлары топырақтан жануарлар мен адамдарға қажетті элементтердің атомдарын сорып алады. Бұл атомдар көміртек тізбегіне орналасады. Олардан өсімдіктер жан-жануарлар мен адамзатқа тамақ, нәруыз, майлар және көмірсуларды өндіреді. Мұның бәрі күн сәулесінің энергиясы есебінен жүзеге асады. Сонымен, өсімдіктер мен кейбір микроағзаларда жарықтың әсерінен оттектің бөлінуімен қоса қабат жүретін көмірсулардың пайда болу процесі *фотосинтез* деп аталады. Ол табиғатта оттектің айналымын қамтамасыз етеді және жер бетіндегі тіршіліктің энергетикалық негізін құрайды. Жарық кванттарының әсерінен су молекулаларының оттекті бөле отырып ыдырауы күн сәулесін биосфера энергиясының негізгі көзі етеді.

Энергияны күн сәулесінен алатын ағзалар *фототрофтар* деп аталады. Оларға барлық жасыл өсімдіктер (51.1, *а*-сурет) және кейбір бактериялар, мысалы, цианобактериялар (51.1, *ә*-сурет) жатады.

Өсімдіктер органикалық заттардың бірінші тізбектегі өндірушілері болғандықтан барлық басқа ағзаларға азық болады. Цианобактериялар — бұлар көк-жасыл балдырлар, олар жер бетіндегі ең көне тірі ағзалар болып есептеледі. Цианобактериялар біздің ғаламшарда фотосинтезді туындатып, жер атмосферасын оттеппен қанықтырды және сонысымен тіршіліктің барлық басқа түрлерінің пайда болуын қамтамасыз етті. Атмосфераға бөлінетін бос оттектің көзі —



а)



ә)

51.1-сурет. Фототрофтар:  
а) өсімдіктер; ә) цианобактериялар

су. Жарықтың әсерінен судың ыдырауы жүретін реакциялардың жиынтығы *фотоллиз* деп аталады. Сонымен, жер бетіндегі тіршілік көзі — су мен күн сәулесі.

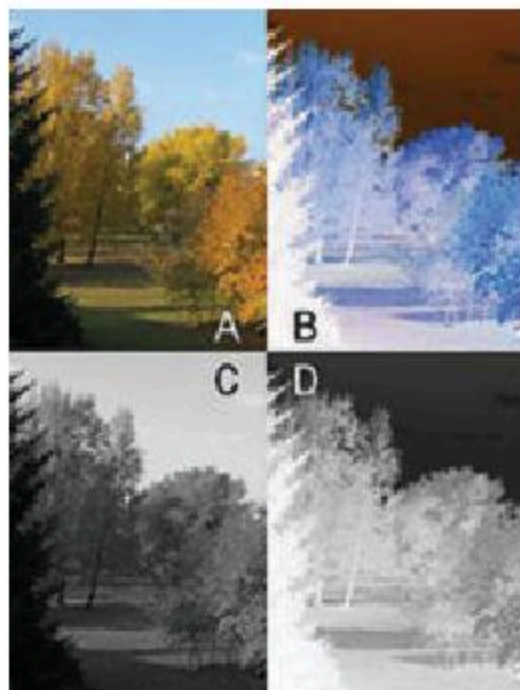
**Фотосурет.** Жарықтың химиялық әсері фотосуреттің негізінде жатыр. Грек тілінен аударғанда фотосурет сөзі *жарықпен жазу* (*photos* — жарық, *graph* — жазамын) мағынасын білдіреді. Оптикалық құрал — фотоаппараттың көмегімен алынған кескін фотопенкаға немесе фотопластинкаға басып шығарылады. Фотосуреттерді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

Фотосуреттерді алудың классикалық тәсілі келесі кезеңдерден тұрады:

1. *Негатив процесі.* Фотосурет түсірілген соң арнайы зертханалық жағдайда (қараңғыда немесе қызыл жарықта) фотопластинканы немесе фотопенканы мынадай химиялық өңдеулерге ұшыратады: айқындау, сумен шаю, бекіту. Бекітілген пластинкалар мен пленкаларды жақсылап жуып, кептіреді. Осындай әрекеттердің нәтижесінде *негатив* алынады. Күміс түйіршіктерінен құралған негатив кескінді



өткінші жарықта қарағанда оның түрлі бөліктерінің жарықтылығы түсірілген нысанның сәйкес бөліктерінің жарықтылығына керісінше болып шығады. Басқаша айтқанда, негатив кескінде фотоға түсірілген нәрсенің қара жерлері ақ, ал ақ жерлері қара болып шығады. Түрлі түсті фотосуреттерде нәрсенің кескінін алу процестерінде түстері суретке түсірген нәрсенің түсіне қосымша болып келетін бояғыш заттар қолданылады. Сондықтан, мысалы, көк түсті нәрсе негативте сары, жасыл түсті нәрсе қою қызыл және т.б. болып шығады. Төмендегі 51.2-суретте ақ-қара және түрлі түсті фотосуреттердің негатив мен позитив кескіндері көрсетілген.



51.2-сурет. Негатив және позитив кескіндер

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

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



## БҰЛ ҚЫЗЫҚ!



**“Терезеден қарағандағы көрініс”  
фотосуреті**

Фотограф Ж. Н. Ньепс

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

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

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



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



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

## §52. Рентген сәулелер



## Тірек ұғымдар:

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



## Бүгінгі сабақта:

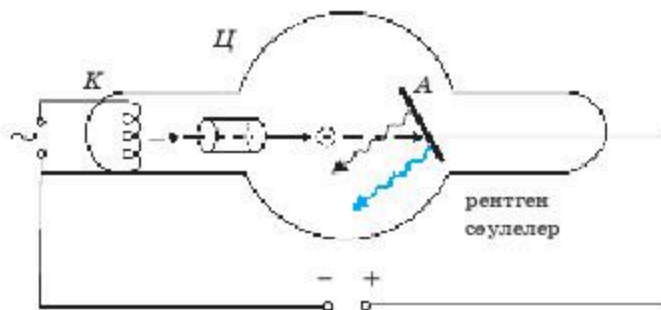
- рентген сәулелердің негізгі сипаттамаларымен және оның қолдануларымен танысасыңдар.

## Мұны білесіңдер

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

**Тежелуші рентген сәулелер.** Рентген сәулелерін алу үшін *рентген түтіктері* қолданылады. Бұл — ішінен ауасы сорылып алынған және үш электрод орналасқан баллон (52.1-сурет). Қыздырылатын катод К термозлектрондар көзі болады, ал цилиндрлік электрод Ц катод пен анод арасында туатын жоғары кернеумен үдетілетін электрондарды фокустайды. Анод (оны антикатод деп те атайды) W, Cu, Pt сияқты ауыр металдардың бірінен жасалады.

Үдей қозғалған электрондар жоғары жылдамдықпен келіп антикатодқа соғылады да, кенеттен тежеледі. Осы кезде шығатын электромагниттік толқындар *тежелуші рентген сәулелері* деп аталады. Электрондар тежелген кезде олардың энергиясының тек 1—3% -ы ғана сәулелену энергиясына жұмсалады, ал қалғаны жылу энергиясына айналады, сондықтан антикатод қатты қызады. Оны қандай да бір тәсілмен суытып отыруға тура келеді.



52.1-сурет. Рентген түтіктерінің сұлбасы



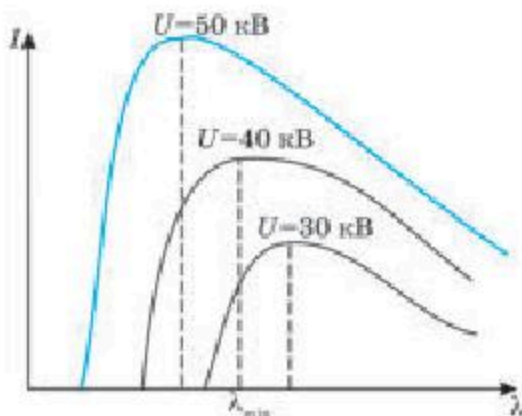
Вильгельм Рентген  
(1845—1923)

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

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

52.2-суретте тәжірибеден алынған рентген сәулеленуінің интенсивтігі қуатының толқын ұзындығына тәуелділік графиктері кескінделген. Бұл суретке қарасақ, тәжірибеден алынған тәуелділіктер, негізінен, классикалық теорияның қорытындыларымен дәл келеді. Бірақ бір қайшылық бар: қисықтар нөлден емес, қандай да бір  $\lambda_{\min}$  толқын ұзындығынан басталады. Міне, осы  $\lambda_{\min}$  толқын ұзындығын тежелуші рентген сәулеленуінің қысқатолқынды шегарасы деп атайды.

Қысқатолқынды шегараның болуын кванттық теория тұрғысынан оңай түсіндіруге болады. Егер электрон тежелгенде сәулелену энергия кванттары түрінде шығатын болса, әр кванттың (фотонның) энергиясы, әрине, электронның өзінің энергиясынан артық бола алмайды. Олай болса,  $h\nu_{\max} = eU$ , бұдан  $\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}} = \frac{ch}{eU}$ ;  $\lambda_{\min} = \frac{ch}{e} \cdot \frac{1}{U}$ .



52.2-сурет. Тежелуші рентген сәулелерінің спектрі



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

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

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

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

Рентгендік компьютерлік томографтың (52.3-сурет) жұмысы адам денесінің зерттеліп отырған бөлігіне рентген сәулелерінің жіңішке шоғын түсіріп, сосын денеден өткен шоқты тіркеуге негізделген. Рентген сәулелері денеден өткенде әртүрлі дене мүшелері сәулелерді әртүрлі дәрежеде жұтады. Бұл сәулелерді компьютер арқылы зерттей отырып, нәтижесінде аса сапалы үшөлшемді (көлемді) кескін алуға



52.3-сурет. Рентгендік компьютерлік томограф

болады. Бұл кескін ауруға шалдыққан ағзадағы өзгерістерді өте дәл және нақты көрсетеді.

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

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

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

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

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

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

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



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



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

### § 53. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы



**Тірек ұғымдар:**

- ✓ корпускула
- ✓ электромагниттік сәулелену қасиеттерінің екіжақтылығы
- ✓ флуктуациялар

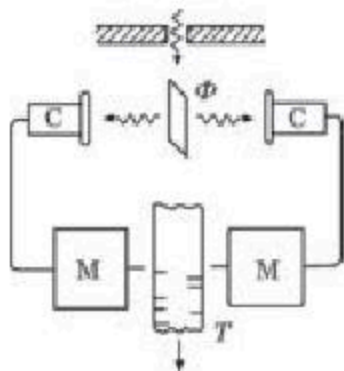
**Бүгінгі сабақта:**

- электромагниттік сәулелену табиғатының екіжақтылық қасиеттерімен танысасыңдар.

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

**Жарықтың корпускулалық табиғаты.** Бірақ XIX ғасырдың аяғы мен XX ғасырдың басында ашылған жылулық сәулелену, фотоэффект құбылыстарын, сызықтық спектрлердің заңдылықтарын зерттеу нәтижелері жарықтың фотондар ағыны ретінде таралатынын көрсетті. Сонымен қатар жарықтың фотондар ағыны ретінде таралатыны және сәулеленудің затпен әсерлесуі кванттық сипатта жүретіні





53.1-сурет. Боте тәжірибесі

тәжірибе жүзінде тікелей дәлелденді. Осы тәжірибелердің бір-екеуін қарастырайық.

**Боте тәжірибесі.** Егер жарықтiркегiш құралмен әсерлесетiн бөлшектер бiр-бiрiнен тәуелсiз фотондар ағынынан тұратын болса, онда өте әлсiз жарық ағындарын тiркегенде интенсивтiктiң флукуациялары (лат. *fluctuatio* — тербелiс), яғни өте аз ауытқулары бақылануы тиiс. Мұндай ауытқулар әр секунд сайын құралға түсетiн  $N$  фотондар санының орташа мәнiнен кездейсоқ ауытқулардың нәтижесiнде байқалады. Егер  $N$  саны өте үлкен болса, ауытқу елеусiз аз, ал  $N$  саны кiшi бол-

са, мұндай ауытқуларды өлшеуге болады. Осындай тәжірибелердің алғашқысын 1924 жылы неміс физигі В. Боте жасады (53.1-сурет).

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

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

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

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

*Жарықта әрі үздіксіз электромагниттік толқындардың, әрі дискретті фотондардың бөлшектік қасиеттері бар.* Абсолют қара дененің сәулеленуін және жарық қысымының флуктуацияларын зерттей отырып, жарық қасиеттерінің екіжақтылығын алғаш түсінген Эйнштейн болды. Ол осы айтылған ауытқуларды есептейтін формуланы қорытып шығарды. Бұл формула екі қосылғыштан тұрады, бірінші қосылғыш — “кванттық мүше” жарықты фотондардың ағыны ретінде сипаттаса, екінші қосылғыш — “толқындық мүше” таралатын электромагниттік толқындағы флуктуацияларды сипаттайды. Жоғары жиілікте “кванттық мүшенің”, төменгі жиілікте “толқындық мүшенің” үлесі басым болады. Белгілі оптикалық құбылыстардың заңдылықтарын саралай отырып, толқын ұзындығы азайған сайын (немесе жиілік артқан сайын) жарықтың кванттық қасиеттері айқын біліне бастайтынына (және керісінше) көз жеткізуге болады.

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

Сонымен, жарықтың корпускулалық және толқындық қасиеттері бірін-бірі жоққа шығармайды, керісінше олар бір-бірін толықтырады. Сәулеленудің корпускулалық қасиеттері: оның энергиясы, импульсі және массасы үздікті бөлшектерде — фотондарда жинақталуымен байланысты болса, толқындық қасиеттері осы фотондардың кеңістікте орналасуының статистикалық заңдылықтарымен байланысты. Тәжіри-



белер толқындық қасиет тек фотондардың ағынына ғана емес, жеке фотонға да тән екенін көрсетті. Фотон дифракциялық тордан өткен соң экранның қай нүктесіне келіп түсетінін дәл анықтап айту мүмкін емес, тек әр фотонның экранның қандай да бір нүктесіне түсу ықтималдығын ғана есептеуге болады. Осы тақырыпта айтылғандардан фотондар Ньютонның корпускулаларынан мүлде өзгеше бөлшектер екенін көреміз. Ньютон корпускулалары кәдімгі классикалық бөлшектердің қасиетіне ие болса, фотондар әрі бөлшектің, әрі толқынның қасиетіне ие.



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



## § 54. Альфа-бөлшектердің шашырауы туралы Резерфорд тәжірибелері. Бор постулаттары. Франк-Герц тәжірибелері



### Тірек ұғымдар:

- ✓ атомның планетарлық үлгісі
- ✓ альфа-бөлшектер
- ✓ сцинтилляция
- ✓ атом ядросы
- ✓ стационар орбита
- ✓ атомның негізгі күйі
- ✓ атомның қозған күйі
- ✓ энергия деңгейлері

### Бүгінгі сабақта:

- альфа-бөлшектердің жұқа фольгадан шашырауын зерттейтін Резерфорд тәжірибелерімен, атомның планетарлық үлгісімен, Бор постулаттарымен және Франк-Герц тәжірибелерімен танысасындар.

### Мұны білесіңдер

Атом сөзі “бөлінбейді” деген мағынаны білдіреді. Заттың құрамы туралы атомистік көзқарас өте ертеде, антика заманында пайда болған. Бірақ, тек XVIII ғасырда ол теория ретінде дами бастады. “Атом” сөзі өзінің алғашқы мағынасын XIX ғасырдың аяғына дейін сақтап келді.

Тек XIX ғасырдың аяғы — XX ғасырдың басында ашылған жаңалықтарды зерттеулер барысында атомның құрылысы туралы сұрақтар туындады. Мұндай жаңалықтар ретінде Менделеевтің периодты кестесін, Фарадейдің электролизді зерттеген тәжірибелерін, Милликеннің электронның зарядын өлшеген тәжірибелерін, термоэлектрондық эмиссия, фотоэффект құбылыстарын атауға болады. Осы және басқа да жаңадан ашылған құбылыстарды тәжірибелік зерттеулер атомның құрамына теріс зарядталған бөлшектер кіруі тиіс екенін көрсетті. Олай болса, атомның ішінде оң зарядтар да болуы керек. Сонымен, “Атомның құрамы қандай?” деген сұрақ туындады.

Атомның алғашқы үлгілерінің бірін Дж. Томсон ұсынды. Бұл үлгіде атом радиусы  $\sim 10^{-10}$  м оң зарядталған шар ретінде қарастырылады. Шардың ішінде тепе-теңдік орындарының маңында электрондар тербеліп тұрады. Электрондардың теріс зарядтарының қосындысы шарға біркелкі таралған оң зарядты теңестіреді, сондықтан, тұтас алғанда, атом электрлік бейтарап бөлшек болады. Кейінгі зерттеулер бұл үлгінің дұрыс емес екенін көрсетті, сондықтан Томсон үлгісі қазір тек тарихи тұрғыдан қарастырылады.

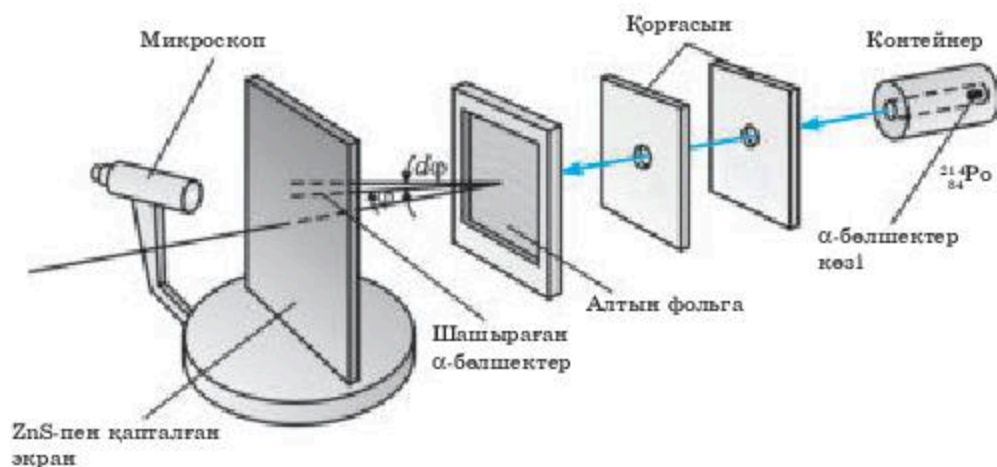
**Резерфорд тәжірибелері.** Атомның ішінде электр зарядтары қалай таралып орналасатынын анықтау мақсатында Э.Резерфорд өзінің оқушылары Г.Гейгер және Э.Марсденнің қатысуымен 1911 жылы



Эрнест Резерфорд  
(1871—1937)

альфа-бөлшектердің өте жұқа фольгадан шашырауын зерттейтін тәжірибелер жүргізді. Осы өйгілі тәжірибелердің нәтижелерін саралай отырып, ол атомның *ядролық* немесе *планетарлық үлгісін* жасады. Резерфорд тәжірибе барысында өте жұқа (қалыңдығы  $l = 6 \cdot 10^{-7}$  м) алтын фольганы энергиясы 7,68 МэВ жылдам альфа-бөлшектермен атқылаған. Қорғасын контейнердің түбінде орналасқан  ${}^{214}_{84}\text{Po}$  радиоактивті элементтен шыққан альфа-бөлшектердің жіңішке шоғы алтын фольгадан өткенде шашырайды, яғни алғашқы бағытынан ауытқиды (54.1-сурет). Ол кезде альфа-бөлшектердің оң зарядты ( $2e$ ) гелий иондары екені белгілі болатын.

Фольгадан шашыраған альфа-бөлшектердің қаншасы қандай бұрышқа ауытқығанын есептей отырып, осы ауытқуларды тудырған нысана — атомдардың құрылымын анықтауға болады. Фольганың қалыңдығы өте аз болғандықтан, одан өткенде әрбір альфа-бөлшек тек бір атоммен ғана әсерлеседі, яғни бір-ақ рет шашырауға ұшырайды деп есептеуге болады. Шашыраған альфа-бөлшектер күкіртті цинкпен (ZnS) қапталған экранға келіп соғылады. Күкіртті цинк молекулаларының альфа-бөлшекпен соқтығысқанда сәуле шығаратын қасиеті бар. Сондықтан экранның альфа-бөлшек соғылған жерлерінде сцинтилляция, яғни өте әлсіз жарқыл байқалады. Тәжірибенің мақсаты берілген уақыт аралығында байқалатын жарқылдар санының  $\varphi$  ауытқу бұрышына тәуелділігін анықтау болды.



54.1-сурет. Резерфорд тәжірибесінің сұлбасы



Тәжірибенің нәтижесінде альфа-бөлшектердің басым көпшілігінің фольгадан өткенде алғашқы бағыттан ауытқымайтыны ( $\varphi = 1-2^\circ$ ) анықталды. Бұл нәтиже, негізінен, Томсон үлгісіне сүйеніп жасалған есептеулермен дәл келді. Бірақ бір жағдай — альфа-бөлшектердің мардымсыз аз бөлігінің  $90^\circ$ -тан артық бұрышқа ауытқитыны, яғни олардың фольгаға соғылып, кері бағытта ұшатыны таңдандырды.

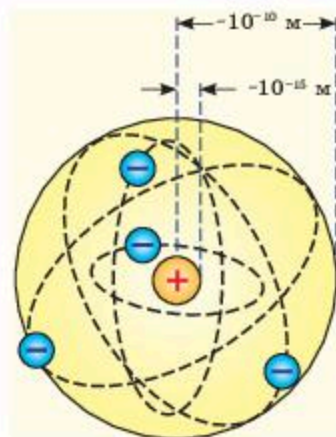
Өте үлкен бұрыштарға шашырайтын альфа-бөлшектердің саны мардымсыз аз екенін тағы қайталап айта кетейік, бұл аса маңызды нәтиже. Сегіз мыңға жуық бөлшектердің біреуі ғана осындай үлкен бұрышқа ауытқиды екен! Мұны Томсон үлгісінің негізінде түсіндіру тіпті мүмкін болмады.

Тәжірибеде алынған нәтижелерді зерделей отырып, Резерфорд өз үлгісін ұсынды. Ол атомның оң заряды оның ортасында орналасқан радиусы шамамен  $10^{-15}$  м өте аз көлемге жинақталған деген қорытындыға келді. Бұл орталық бөлшекті Резерфорд *ядро* деп атады.

Атомның массасы түгел дерлік ядрода шоғырланған. Ядроны айнала әртүрлі орбиталармен электрондар қозғалып жүреді. Ең шеткі электрон орбитасының радиусы атомның радиусына тең, яғни  $R_{am} \sim 10^{-10}$  м (54.2-сурет). Суретте масштаб сақталмағанын есте ұстау керек. Бұл мүмкін де емес. Себебі шын мәнінде  $\frac{R_{ar}}{R_n} \approx 100000$ . Бұл үлгі Күн жүйесінің құрылымына ұқсайтын болғандықтан оны *атомның планетарлық үлгісі* деп те атайды. Үлгі бойынша атом көлемінің басым бөлігі “бос” болып шығады, ядроның радиусы атомның радиусынан 100 000 есе кіші. Орбиталардағы электрондардың теріс зарядтарының қосындысы ядроның оң зарядына тең, сондықтан атом электрлік бейтарап.

Атомның ішіндегі бос кеңістік “өте үлкен”. Сондықтан фольга арқылы өткенде альфа-бөлшектердің көбі ядродан алыс өтеді де, шашырамайды. Электрондар альфа-бөлшектен 8 мың еседей жеңіл болғандықтан, оның қозғалыс траекториясын өзгерте алмайды. Тек ядроға тікелей қарсы келіп қалған альфа-бөлшектер ғана онымен әсерлесіп, кері ұшады. Мұндай бөлшектер саны ядро радиусының атом радиусына қатынасымен анықталады.

Жоғарыда біз Резерфорд тәжірибесінің нәтижелеріне сапалық талдау жүргіздік. Резерфордтың өзі өз үлгісінің және Томсон үлгісінің негізінде есептеу жұмыстарын жүргізді. Олардың нәтижесі Резерфорд үлгісінің дұрыстығын көрсетті. Бірақ классикалық физика тұрғысынан



54.2-сурет. Резерфордтың атом үлгісі





Нильс Бор  
(1885—1962)

мұндай атомның орнықты болуы мүмкін емес. Бұдан бұрын айтылғандай, зарядталған бөлшек үдемелі қозғалса, міндетті түрде сәулеленуі (электромагниттік толқындар шығаруы) керек. Бұл сәулеленудің жиілігі электронның ядро маңында айналу жиілігіне тең болуы тиіс. Электрон ядроны айнала дөңгелек орбитамен қозғалса, оның центрге тартқыш үдеуі бар. Олай болса, электрон сәуле шығара отырып, өз энергиясын азайтуы тиіс. Энергияның (орбиталық жылдамдықтың) азаюы электронның ядроға кулон күшінің әсерінен біртіндеп жақындап, ақыры оған құлап түсуіне әкеп соғады. Бұған бар болғаны  $10^{-8}$  с-қа тең уақыт кетеді екен. Бұдан бөлек, классикалық теория бой-

ынша мұндай атомның сәулелену спектрі тұтас болу керек, ал, шын мәнінде, атомдық спектрдің сызықтық болатынын бұрын қарастырып кеткенбіз.

Сайып келгенде, бұл жерде классикалық физиканың заңдары жүрмейтін болып шықты. Тіпті жоғарыда әңгіме болған атомның планетарлық үлгісі, дәл айтқанда, бар болғаны нағыз атомның механикалық үлгісі екеніне біртіндеп көзіміз жетеді.

**Бор постулаттары.** Сонымен, атомның ядролық үлгісі альфа-бөлшектердің шашырауын зерттейтін тәжірибелердің нәтижелерімен сәйкес келеді, бірақ классикалық электродинамика тұрғысынан қарастырғанда мұндай атом орнықсыз, өте тез арада электрон ядроға құлап түсуі керек. Ал, шын мәнісінде, атомдар өте ұзақ өмір сүреді, олар орнықты. Олай болса, классикалық электродинамиканың теориялық қорытындылары тәжірибеге қарама-қайшы.

Бұл тығырықтан шығу мақсатында Н. Бор 1913 жылы өзінің өйгілі постулаттарын ұсынды, олар классикалық физикада қалыптасқан көзқарастарға қайшы келеді.

*Бордың бірінші постулаты.* Атомда электрондар қозғалатын стационар орбиталар бар. Стационар орбитадағы электрондар сәуле шығармайды.

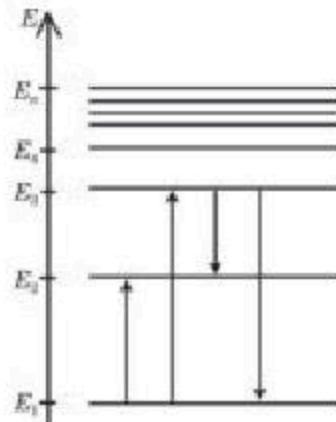
*Бордың екінші постулаты.* Электрон энергиясы  $E_n$  стационар орбитадан энергиясы  $E_m$  стационар орбитаға ауысқанда энергия кванты жұтылады не шығарылады. Ол энергия мына түрде анықталады:

$$h\nu = E_m - E_n. \quad (54.1)$$

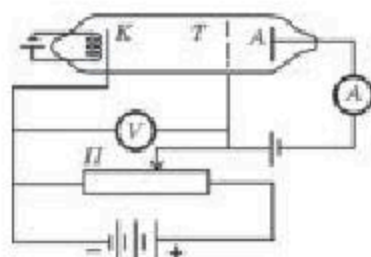
Басқаша айтқанда, атом тек қандай да бір стационар күйлерде ғана бола алады, бұл күйлерде ол сәуле шығармайды. Сондықтан стационар күйлер орнықты. Өрбір стационар күйге энергияның белгілі бір мәні сәйкес келеді. Олай болса, атомның энергиясы кез келген мәнге ие бола

алмайды, яғни атом энергиясы үздіксіз емес, үздікті, дискретті мәндер қатарымен сипатталады. Ал классикалық физикада мұндай шектеу жоқ, энергия үздіксіз өзгеріп, кез келген мәнге ие болады.

Атомдардың энергетикалық күйлерін көрнекті түрде сипаттау үшін *энергетикалық диаграммалар* қолданылады (54.3-сурет). Атомның энергиясының әрбір мәніне сәйкес күйі горизонталь сызықпен бейнеленеді, бұл сызықты *энергетикалық деңгей* деп атайды. Энергетикалық деңгейлер төменнен жоғары қарай орналасады, яғни энергиясы ең аз деңгей басқалардың бөрінен төмен жатады. Атомның энергиясы ең аз күйін *негізгі күй* (54.3-суретте  $E_1$ ), басқа күйлердің бөріні қозған күйлер (54.3-суретте  $E_2, E_3, \dots, E_n$ ) деп атайды. Энергетикалық деңгейлердің арақашықтығы осы деңгейлерге сәйкес энергия мәндерінің айырымына пропорционал. Барлық  $n = 1$ -ден  $n = \infty$ -ке дейінгі деңгейлердің энергиялары теріс шама ( $E < 0$ ). Бұл күйлерде электрондар атомдармен байланысқан,  $n$  саны өскен сайын энергетикалық деңгейлер бір-біріне жақындай түседі де,  $n = \infty$  болғанда бірігіп кетеді. Енді энергия оң шама ( $E > 0$ ) және үздіксіз өзгереді, электрон атоммен байланысын үзіп, бос күйге түседі.



54.3-сурет. Атомның энергетикалық диаграммасы



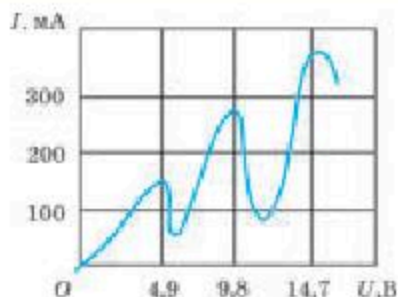
54.4-сурет. Франк пен Герц тәжірибесінің сұлбасы

Қозған күйдегі атом өз бетімен негізгі күйге немесе төменірек жатқан энергиясы аз қозған күйге өтеді. Бұл кезде, әрине, 2-постулатқа сәйкес атом сәулеленеді. Сонымен, атом негізгі күйде ғана шексіз ұзақ уақыт бола алады.

**Франк-Герц тәжірибесі.** Атомның дискретті энергетикалық деңгейлерінің бар екенін дәлелдейтін алғашқы тәжірибелердің бірі 1913 жылы Франк пен Герц жасады (54.4-сурет).

Тәжірибе жүргізілетін қондырғы төмен қысымдағы ( $p \approx 1$  мм.сын. бағ.) сынап буы толтырылған, ішінде  $K$  катод,  $T$  тор және  $A$  анод, яғни үш электрод орналасқан түтіктен тұрады. Катодты қыздырған кезде одан ұшып шыққан электрондар катод пен тордың арасына түсірілген  $U$  кернеудің әсерінен анодқа қарай қозғалады. Бұл кернеуді  $\Pi$  потенциометрдің көмегімен өзгертуге болады. Тор мен анодтың арасына тежеуші кернеу ( $U_T = 0,5$  В) түсіріледі.





54.5-сурет. Франк пен Герц тәжірибесінің вольт-амперлік сипаттамасы

Тәжірибеде анодтық токтың катод пен тордың арасындағы  $U$  кернеуге тәуелділігі зерттелді. Зерттеу нәтижелері 54.5-суретте көрсетілген. Алғашында кернеудің өсуімен ток күші де бірсарынды өсіп, кернеу  $U_1 = 4,9$  В болғанда максимал мәнге жетеді де, күрт төмендейді. Минимал мәніне жеткен соң ток күші қайта өсе бастайды. Ток күшінің екінші максимум мәні кернеудің  $U_2 = 9,8$  В мәніне, үшінші максимум мәні кернеудің  $U_3 = 14,7$  В мәніне сәйкес келеді. Тәжірибенің нәтижелерін

сынап атомдарының энергетикалық күйлерінің дискреттілігімен түсіндіруге болады. Анодқа қарай қозғалып бара жатқан электронмен соқтығысқан атом энергияны тек стационар күйдегі энергиялардың  $\Delta E_1 = E_2 - E_1$  немесе  $\Delta E_2 = E_3 - E_1$  т.б. айырымдарына тең үлестермен ғана шығарады немесе жұтады. Себебі атом энергиясының мәндері тек  $E_1, E_2, E_3, \dots$ -ке тең, басқа мәндер жоқ.

Катодтан ұшып шыққан электрон электр өрісінде үдей қозғалып, атоммен соқтығысар мезетте оның энергиясы  $\frac{m_e v^2}{2} = eU$  мәніне жетуі мүмкін. Мұндағы  $U$  — катод пен тордың арасындағы үдетуші потенциалдар айырымы. Егер бұл энергия сынап атомының қоздыру энергиясынан, яғни сынап атомын негізгі күйден бірінші қозған күйге өткізуге қажет энергиядан кіші болса, электрон мен атомның соқтығысы серпімді болады. Серпімді соқтығыста электронның энергиясы өзгермейді, сондықтан ол тордан өтіп, анодқа жетеді. Ал тор мен анодтың арасындағы тежеуші потенциалды жеңе алмаған электрондар тордан өте алмай қалып қояды. Катод пен тордың арасындағы кернеу неғұрлым жоғары болса, электрондардың торға жеткендегі энергиясы соғұрлым көп. Сондықтан кернеу өскен сайын тежеуші кернеуді жеңіп, анодқа жететін электрондар саны да көбейе түседі, анодтық ток артады. Егер атоммен соқтығысар мезетте электронның энергиясы  $\frac{m_e v^2}{2} = eU_1 = \Delta E_1$  болса, ол серпімсіз соқтығыс кезінде энергиясын түгел атомға береді де, тежеуші кернеуді жеңе алмай торда қалып қояды. Сынап атомының бірінші қоздыру потенциалы  $U_1 = 4,9$  В, яғни  $\Delta E_1 = 4,9$  эВ. Мысалы, қандай да бір электронның соқтығыс алдындағы энергиясы 5,3 эВ болсын делік. Онда атоммен соқтығысқан соң оның энергиясы  $5,3 - 4,9 = 0,4$  эВ, ал тежеуші кернеу 0,5 В болады. Демек, бұл электрон да анодқа жете алмайды. Сонымен, катод пен тордың арасындағы кернеу  $U = 4,9$  В болғанда анодтық ток күрт кемиді.



Серпімсіз соқтығыс кезінде  $\Delta E_1$  энергия алған сынап атомдары бірінші қозған күйге өтеді. Шамамен  $10^{-8}$  с уақыт өткенде қозған атом өздігінен негізгі күйге өтіп, жиілігі  $\nu = \frac{\Delta E_1}{h} = 1,2 \cdot 10^{15}$  Гц фотон шығаруы тиіс.

Тәжірибелер кернеу  $U < 4,9$  В болғанда түтікте ешқандай сәулелену байқалмайтынын көрсетеді. Ал кернеу  $U_1 = 4,9$  В-қа жеткеннен бастап түтіктегі сынап буы жиілігі  $\nu = 1,2 \cdot 10^{15}$  Гц ультракүлгін жарық шығара бастаған. Бұл да жоғарыда келтірілген түсініктеменің дұрыс екенін дәлелдейді. Кернеу одан өрі өскенде, тіпті серпімсіз соқтығыстан кейін де тордан өтіп, анодқа жететіндей энергиясы жоғары электрондар саны көбейіп, анодтық ток тағы өсе бастайды. Кернеу  $U_2 = 9,8$  В-қа жеткенде электрондар сынап атомдарымен екі рет серпімсіз соқтығысуы мүмкін, соның нәтижесінде анодтық ток тағы күрт кемиді. Бірақ мұндай электрондардың үлесі азырақ, сондықтан графиктегі екінші құлдырау біріншіден аз.

Сонымен, Франк пен Герцтің тәжірибесінде атомдардың дискретті энергетикалық деңгейлерінің бар екені тікелей байқалады. Осы сипатталған процестердің белгілі бір ықтималдықпен жүретінін естен шығармау керек.



1. Томсонның атом үлгісін сипаттаңдар.
- \*2. Резерфорд тәжірибесін сипаттап, түсіндіріп беріңдер.
- \*3. Атомның ядролық үлгісін сипаттаңдар.
- \*4. Неге классикалық теория тұрғысынан алғанда атомның ядролық үлгісі орнықсыз?
5. Бор постулаттарын айтып беріңдер.
6. Атомның қандай күйлерін стационар деп атайды?
- \*7. Энергетикалық диаграмма деген не?
- \*8. Стационар күйлердің қайсысы негізгі деп аталады? Неге?
- \*9. Франк-Герц тәжірибесін толығынан сипаттап айтып беріңдер.
- \*10. Франк-Герц тәжірибесінің нәтижелерін қалай түсіндіруге болады?
- \*11. Сынап атомдары не себепті тек қана энергияның белгілі бір шамасын жұта алады?

## § 55. Лазерлер. Сызықтық емес оптика туралы түсінік



## Тірек ұғымдар:

- ✓ лазер
- ✓ оптикалық кванттық генератор
- ✓ өздігінен сәулелену
- ✓ еріксіз сәулелену
- ✓ деңгейлердің инверсті қоныстануы
- ✓ толтыру
- ✓ метастабиль күйлер
- ✓ сызықтық емес оптика

## Бүгінгі сабақта:



- лазерлердің құрылысымен, жұмыс істеу принциптерімен және сызықтық оптика туралы түсініктермен, голографияның даму болашағымен танысасындар.

**Лазерлер.** Жаңа принципте жұмыс істейтін жарық көздерін — лазер қондырғыларын жасау XX ғасырдағы физика ғылымындағы ең маңызды жетістіктердің біріне жатады. “Лазер” сөзі ағылшынша “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*” (жарықты еріксіз сәулеленудің көмегімен күшейту) сөздерінің бас әріптерінен құралған.

1953 жылы орыс ғалымдары Н. Г. Басов пен А. М. Прохоров және олардан тәуелсіз американдық ғалымдар Таунс пен Вебер сантиметрлік диапазондағы электромагниттік толқындарды күшейту үшін еріксіз сәулеленуді қолдануды ұсынды. Мұндай қондырғыларды *мазер* деп атайды. Осы еңбектері үшін 1964 жылы Басовқа, Прохоровқа және Таунсқа Нобель сыйлығы берілді. Оптикалық диапазонда жұмыс істейтін осындай қондырғы — *лазер* (оптикалық кванттық генератор) алғаш рет 1960 жылы АҚШ-та іске қосылды, оны жасаған — американдық физик Т. Мейман. Бұл қондырғы еріксіз сәулелену құбылысының негізінде жұмыс істейді. Осы құбылысты қарастырайық.

## Мұны білесіңдер

Атомдар тек энергиясы  $E_1, E_2, E_3, \dots$  дискретті мәндерге тең стационар күйлерде ғана бола алады, бұл күйлерге энергия деңгейлері сәйкес келеді. Энергияның  $E_1$  минимал мәніне сәйкес күй негізгі күй, ал қалғандары қозған күйлер деп аталады.

Мынадай процестер жүруі мүмкін:

1. Энергиясы  $E_n$  мөнге тең күйде тұрған атом затқа түскен фотонының энергиясы  $E = h\nu$  сәулеленудің әсерінен энергиясы  $E_m$  ( $E_m > E_n$ ) күйге өтуі мүмкін. Ол үшін  $h\nu = E_m - E_n$  қатынасы орындалуы керек. Мұндай процесс кезінде атом сәулелену энергиясын жұтады.

2. Энергиясы  $E_m$ -ға тең қозған күйде тұрған атом аз уақыт ішінде ( $t \approx 10^{-8}$  с) өздігінен энергиясы төмен  $E_n$  күйге өтеді. Бұл процесс кезінде энергиясы  $h\nu = E_m - E_n$  фотон шығарылады. Осындай процесс *спонтанды (өздігінен)* сәулелену деп аталады.

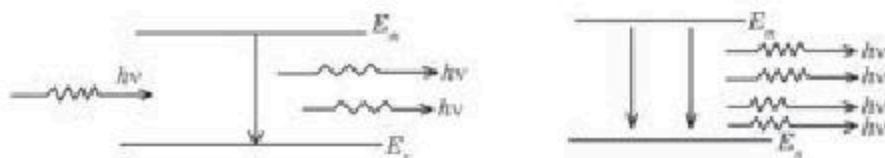


3. 1916 жылы Эйнштейн абсолют қара дененің сәулеленуін зерттеуге арналған еңбегінде сәулеленуді жұту мен спонтанды сәулеленуден басқа, өзгеше сапалы сәулелену процесінің болуы мүмкін екенін көрсетті. Атап айтсақ, егер энергиясы  $E_m$  қозған күйде тұрған атомға энергиясы  $h\nu = E_m - E_n$  сәулелену түссе, атом еріксіз  $E_n$  күйге, энергиясы дәл сондай  $h\nu = E_m - E_n$  фотон шығара отырып өтеді. Сонымен, алғашқы фотон атомды қозған күйден төменгі күйге “құлатады”, бұған қосарлана екінші фотон шығарылады. Екінші фотон алғашқының дәл көшірмесі болып табылады, екеуінің жиілігі, фазасы, қозғалыс бағыты бірдей. Басқаша айтқанда, *еріксіз сәулелену мәжбүр етуші сәулеленумен тепе-тең, олар когерентті.*

Процесс барысында шыққан фотондар бір бағытта қозғалып, басқа қозған атомдарға әсер етеді, нәтижесінде тағы да еріксіз сәулелену болады, осылайша жалғаса береді де, фотондардың саны тасқындап өседі (55.1-сурет). Бірақ мұнымен қоса қабат атомдардың фотонды жұтып, энергиясы төменгі  $E_n$  күйден энергиясы жоғарғы  $E_m$  күйге өту процесі де жүріп жататынын естен шығармау керек. Сондықтан түскен жарық жұтылып әлсірей ме, әлде еріксіз сәулеленудің арқасында күшейе ме, бұл қай процестің басым жүретініне тәуелді. Ал атомның бір күйден екінші күйге өту ықтималдылығы осы күйлерде атомдардың *қоныстану тығыздығына* пропорционал, яғни белгілі бір күйдегі атомдар санының қаншалықты көп немесе аз екендігіне байланысты.

Термодинамикалық тепе-теңдік жағдайында берілген энергетикалық деңгейдегі атомдардың саны энергияның артуымен азая түсетінін дәлелдеп көрсетуге болады. Басқаша айтсақ, егер  $E_m > E_n$  болса,  $N_m < N_n$ , мұндағы  $N_m$  мен  $N_n$  —  $n$ -ші және  $m$ -ші деңгейлердегі атомдар саны. Сондықтан термодинамикалық тепе-теңдік күйінде орта атомдарының түскен сәулелені жұтуы оны шығаруынан басым болады да, түскен жарық сәулесі әлсірейді.

Түскен жарықты күшейту үшін қандай да бір тәсілмен қозған күйдегі атомдардың қоныстану тығыздығын арттыру керек, яғни  $E_m > E_n$  болғанда  $N_m > N_n$  болатын жағдайға қол жеткізу қажет. Осындай тепе-тең емес күйлер *деңгейлерде атомдардың инверсиялық қоныстану күйлері* (“асыра қоныстану”) деп аталады. Мұндай күйдегі заттың қозған атомдарының саны қозбаған атомдарының санынан көп, олай болса, сәулелену процесі жарықты жұту процесінен басым жүреді. Нәтижесінде энергетикалық деңгейлерде атомдардың инверсиялық



55.1-сурет. Еріксіз сәулеленудің пайда болуы



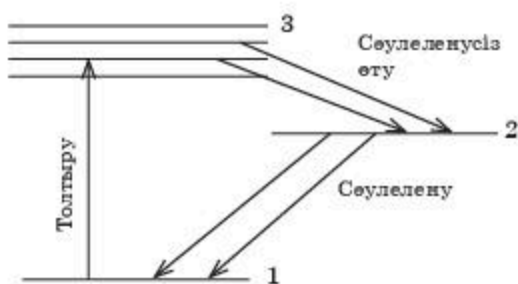
қоныстануы бар заттан өткен жарық шоғы күшейеді. Мұндай заттар *активті орта* деп аталады.

Заттың асыра қоныстанған энергетикалық деңгейлеріне өту процесі *толтыру* деп аталады. Қозған күйде атомдар шамамен  $10^{-8}$  с уақыт өмір сүреді де, өздігінен негізгі немесе энергиясы азырақ қозған күйге фотон шығара отырып өтеді. Қозған күйдегі атомдардың саны көбейген сайын мұндай процестің ықтималдығы арта түседі. Бұдан біз тек екі — қозған және негізгі деңгейді ғана пайдалана отырып, затты асыра қоныстанған күйге өткізу практика жүзінде мүмкін емес екеніне көз жеткіземіз.

Кейбір заттар атомдарының *метатұрақты* күйлерінің бар болуы лазерді жасауға мүмкіндік береді. Метатұрақты күйдің энергиясы негізгі күйдің энергиясынан артық, яғни бұл да қозған күй. Бірақ атом метатұрақты күйде ұзақ уақыт, шамамен  $10^{-8}$  с-қа дейін бола алады. Метатұрақты деңгейдегі атомдардың саны негізгі деңгейдегіден көп болуы затты “асыра қоныстанған” күйге өткізуге мүмкіндік береді. Практика жүзінде лазерлерде үшдеңгейлі жүйе — *қозған, метатұрақты және негізгі* энергетикалық деңгейлер қолданылады.

Мейман жасаған лазерде жұмыстық дене (активті орта) ретінде рубин цилиндрі қолданылады. Рубин алюминий тотығы ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) мен оған аз мөлшерде (0,03-тен 0,05% -ға дейін) қосылған хром тотығынан ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) тұрады. Алюминий тотығының кристалдық торында кейбір Al атомдары  $\text{Cr}^{+++}$  иондарымен алмастырылған. Хром иондарының үш энергетикалық деңгейлері бар: 1 — негізгі, 3 — жиі орналасқан қозған деңгейлердің жалпақ жолағы және 2 — метатұрақты деңгей (55.2-сурет).

Лазерде рубинге қуатты ксенон шамынан жарық түсіріледі (толтыру процесі). Ксенон шам толқын ұзындығы  $\lambda = 560$  нм жасыл жарықты басым шығарады. Жарықты жұтқан хромның иондары 3-қозған деңгейге ауысады (55.2-сурет). Бұл деңгейден иондардың көпшілігі 2-метатұрақты деңгейге ауысады, себебі  $3 \rightarrow 1$  ауысудың ықтималдығы өте аз, сондықтан иондардың көпшілігі 2-метастабиль деңгейге өтеді. Бұл ауысу кезінде иондар артық энергиясын рубиннің кристалдық торына береді де, жарық шығармайды.

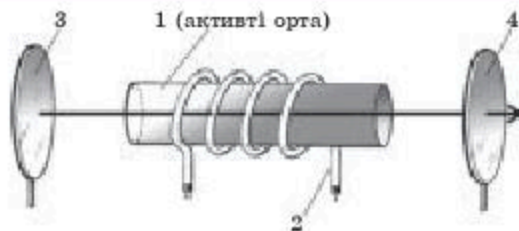


55.2-сурет.  $\text{Cr}^{+++}$  иондарының энергетикалық деңгейлері

Нәтижесінде 2-энергетикалық деңгейдегі хром иондарының саны 1-деңгейдегіден артық болады да, 2-деңгейде біріншіге қарағанда инверсиялық (асыра) қоныстану байқалады.

Өздігінен  $2 \rightarrow 1$  ауысудың ықтималдығы да аз. Осындай бір ауысу болсын дейік. Осы кезде шыққан энергиясы  $h\nu = E_2 - E_1$  фо-

тон хром иондарының біріне әсер етіп, оны еріксіз сәулелендіреді де, нәтижесінде тағы бір дәл алғашқыдай фотон ұшып шығады. Енді еріксіз сәулелендіруге екі фотон қатысып, тағы да дәл сондай екі фотон ұшып шығады, әрі қарай еріксіз сәулелендіруге төрт фотон қатысады және тағы да солай жалғаса береді. Бұл процестің барысында фотондардың саны тасқындап өседі. Осындай активті ортаны (берілген жағдайда рубинді) жарық тербелістерінің генераторына айналдыру үшін сәулелердің қандай да бір бөлігі активті ортадан ерсілі-қарсылы қайта-қайта өтіп, үсті-үстіне жаңа фотондарды еріксіз сәулелендіретіндей жағдай туғызу керек. Ол үшін рубинді параллель екі айнаның арасына орналастырады (55.3-сурет). Айналардың орнына рубин цилиндрінің жылтыратып өңделген екі табанын (3 пен 4) қолдануға болады. Табандарға шағылдырғыш қабат жалатылған. Екі айнаның біреуі жартылай мөлдір. Толтыру импульсті ксенон шамының көмегімен жүргізіледі (2).



55.3-сурет. Рубинді лазер



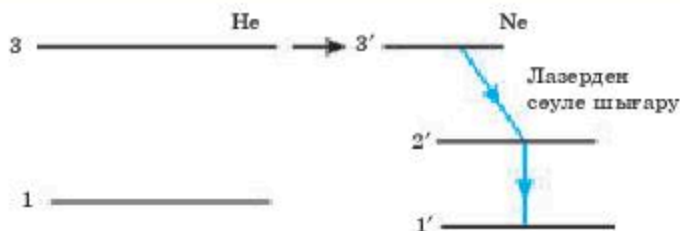
55.4-сурет. Рубин цилиндрінде фотондар тасқынының пайда болуы

Рубин цилиндрінің осіне параллель қозғалып келе жатқан фотонды қарастырайық (55.4-сурет). Цилиндрді бойлай жүріп өткен фотон өзіне бағыттас қозғалатын фотондар тасқынын тудырады, олардың біраз бөлігі 4 табаннан шағылып, цилиндрді бойлай кері бағытта қозғалып, тағы да фотондар тасқынын үдете түседі. Бұдан соң 3 табаннан шағылған фотондар тасқыны тіптен күшейеді, осылайша фотондар тасқынының пайда болуы жалғаса береді. Сонымен, айналардың көмегімен кез келген генератордағы сияқты *оң-кері байланыс* туады. Бірнеше рет күшейтілген фотондар ағыны жартылай мөлдір 4 айнадан шығып, жарықтылығы аса зор, қатаң бағытталған лазер шоғын береді.

Рубинді лазер импульстік болып табылады. Ксенон шамының қатты жарқылы лазердің когерентті сәулеленуінің импульсін тудырады, шамның әрбір жарқылы сайын осы лазер импульсі қайталанып отырады.

Ал газды лазерлерде толтыру үздіксіз жүргізіледі де, олар үздіксіз режимде жұмыс істейді. Гелий-неонды лазердің жұмыс істеу принципін қарастырайық. Мұнда толтыру зарядталған газ түтігіндегі электр зарядымен жүргізіледі. Зарядталған газ түтігі 1 мм.сын.бағ. қысымда гелий мен неонның қоспасымен толтырылады. Түтіктің екі жағына орналасқан екі айнаның біреуі жартылай мөлдір. Түтікте солғын





55.5-сурет. Гелий-неонды лазердегі атомдардың энергетикалық деңгейлері

разряд тудырылған соң гелий атомдары электрондармен соқтығысу нәтижесінде 3-қозған деңгейге өтеді (55.5-сурет).

Бұл деңгей неонның 3'-қозған деңгейімен дәл келеді. 3-деңгейдің өмір сүру уақыты үлкен. Соқтығыстар кезінде гелийдің қозған атомдары артық энергиясын неон атомдарына береді де, олар 3'-қозған деңгейге өтеді. Неон атомдарының бұл деңгейден 2'-деңгейге ауысуы лазерлік сәуле шығаруды тудырады.

Лазерлік сәулеленудің негізгі ерекшеліктерін атап өтейік:

- 1) жоғары дәрежедегі когеренттілік;
- 2) монохроматтылық;
- 3) шоқтың қатаң бағытталуы (лазер шоғының шашырауы болымсыз аз);
- 4) сәулелердің аса қуаттылығы.

Қазіргі кезде лазерлер өртүрлі технологиялық процестерде қолданыс табуда. Орташа қуаты онша үлкен емес лазерлер зергерлік саласында пайдаланыла бастады. Лазер шоғын аса жіңішке етіп фокустауға және энергиясын өте дәл етіп өзгертуге болады. Осы жағдайлар сағат жасауда қажетті рубин және алмаз тастарды өте жіңішке етіп тесу технологиясын жасауға мүмкіндік береді. Алтын алқаны жасау барысында зергерлік бұйымдардың бөлшектерін біріктіруде лазерлік дәнекерлеу қолданылады.

Қазіргі компьютермен басқарылатын лазерлер металл бетіне өте дәл және әдемі суреттер, логотиптер, вензельдер салуда пайдаланылып жүр. Қуаты аз импульстік лазерлер микроэлектроникада өте ұсақ бөлшектерді құрастырып дәнекерлеуде, соның ішінде фотолитографияда кеңінен қолданылады.

Ал қуатты лазермен қалың болат табақтарды кесуге және дәнекерлеуге, металдың беткі қабаттарын шынықтыруға, ірі бөліктерді балқытуға болады. Машина жасау, құрылыс салаларында да лазерлік технологиялар кең қолданылып келеді.

Шоқтың жіңішкелігі, аса жоғары монохроматтылығы қуатты импульстік лазерлерді әскери істе де кеңінен қолдануға мүмкіндік беріп отыр. Бұлар — лазерлік локация, лазерлік навигациялық жүйелер және лазер қаруы. Соңғы жылдары лазер медицинада хирургиялық мақсаттарда кеңінен қолданылуда.



**Сызықтық емес оптика.** Кәдімгі (лазерлік емес) жарық көздерінен шығатын жарық толқындарының электр өрісінің  $\vec{E}$  кернеулігі атом ішіндегі өріс кернеулігінен анағұрлым аз. Сондықтан ортаның оптикалық қасиеттері (мысалы, сыну көрсеткіші) жарықтың интенсивтігіне тәуелді емес, ал жарық толқындарының таралу заңдылықтары сызықтық дифференциалдық теңдеулермен сипатталады. Бұл — *сызықтық оптика*.

Лазердің көмегімен интенсивтігі орасан зор жарық шоқтарын алуға болады, мұндағы электр өрісінің кернеулігі атомның ішкі өрісінің кернеулігіне парапар. Осындай жарық шоқтарында сызықтық емес оптикалық құбылыстар байқалады. Мысалы, сыну көрсеткіші  $\vec{E}$  кернеулікке тәуелді болады, толқындардың суперпозиция принципі бұзылады және т.с.с.

Сызықтық емес оптиканың кейбір құбылыстарын қарастырайық.

1. *Жарықтың сызықтық емес шағылуы.* Интенсивтік өте жоғары болғанда шағылған жарықтың құрамында жиілігі түскен жарықтың жиілігіне тең шағылған сәуледен басқа, жиілігі одан екі есе жоғары тағы бір шағылған сәуле байқалады. Сонымен, шағылған жарықта екі түрлі бағытта таралатын, жиіліктері  $\nu$  және  $2\nu$  екі сәуле бақыланады.

2. *Жарық сәулесінің өздігінен фокусталуы.* Параллель жарық шоғы вакуумда немесе басқа кез келген ортада тарағанда дифракцияның салдарынан шашырайтыны белгілі. Жарықтың интенсивтігі артқанда кейбір сұйықтар мен кристалдарда жарық шоғының шашырауы азаяды. Интенсивтік қандай да бір критикалық мәнге жеткенде жарық шоғы мүлде шашырамай, параллель күйінде қала береді. Ал интенсивтік бұдан да өрі артатын болса, шоқ таралған кезде сығылып, бір нүктеге шоғырланады, яғни өздігінен фокусталады. Бұл құбылыс былай түсіндіріледі: жарық толқындарының электр өрісінің кернеулігі  $\vec{E}$  атомшілік өріс кернеулігіне парапар болған кезде ортаның  $n$  сыну көрсеткіші  $\vec{E}$  кернеулікке тәуелді өседі. Сондықтан шоқ таралған жердегі сыну көрсеткіші ортаның басқа аумағындағы сыну көрсеткішінен артық, ал бұның өзі сәулелердің шоқтың осіне қарай иілуіне әкеп соғады.

3. *Көпфотонды процестер.* Интенсивтік аса жоғары болмаса, түскен фотонның энергиясы  $h\nu = E_m - E_n$ , яғни екі энергетикалық деңгейдің айырымына тең болғанда атом фотонды жұтады. Бір жұту актісінде атом тек бір фотонды жұтады. Ал интенсивтік өте жоғары болса, бір атом бір актіде бірнеше (2, 3, тіпті одан да көп) фотонды бірден жұта алады екен.

Онда атом тек жиілігі  $\nu$  ғана емес, сонымен қатар жиіліктері  $\frac{\nu}{2}$ ;  $\frac{\nu}{3}$  және т.с.с. жиіліктегі фотондарды да жұта алады.

Осындай жұтылу *көпфотонды* деп аталады. Біз бұрын қарастырып кеткен көпфотонды фотоэффект құбылысы сызықтық емес оптика құбылысына жатады.

**Голография.** Фотосуретке түсірудің үйреншікті тәсілінде фотоаппарат нәрседен шағылған сәулеленуді фотопенкаға түсіреді. Бұл жағдайда нәрсенің әрбір нүктесі түскен жарық толқынын шағылдыратын орталық болып табылады, сондықтан осындай әрбір нүкте объектив арқылы фотопенканың жарықсезгіш қабатында кішкене дақ болып бекітіледі. Нәрсенің кескіні осылай пайда болады. Сонымен, кескін нәрсенің нүктелерінің жарықсезгіш қабаттың әрбір бөлігінде пайда болатын кескіндерінің жиынтығынан тұрады. Мұндай жағдайда үшөлшемді нәрсенің кескіні екіөлшемді жазық кескін болып шығады. Себебі фотоға түсіргенде фотопенкада тек қана нәрседен шағылған жарықтың интенсивтігі, яғни амплитудасы ескеріліп, бекітіледі. Бірақ нәрседен шағылған жарық тек қана амплитудасын емес, сонымен қатар нәрсенің бетінің берілген нүктесіндегі қасиеттеріне байланысты фазасын да өзгертеді. Бірақ фаза фотопенканың қараюына әсер етпейді. Егер фотопенкаға жарықтың амплитудасын ғана емес, фазасын да бекітуге мүмкіндік болса, нәрсенің кескіні оның үшөлшемді, дәл өзі сияқты көшірмесі болып шығар еді.

Толқындардың интерференциясына негізделген нәрсенің үшөлшемді кескінін алу тәсілі (грек. *hólos* — толық, *grapho* — жазамын) *голография* деп аталады. Голография идеясын алғаш рет 1948 жылы ағылшын физигі Д. Габор айтқан болатын. Бірақ бұл идеяның техникалық жағынан күрделі болғаны соншалық, оны тек лазерлердің көмегімен жүзеге асыру мүмкін болды.

Голограмма алу үшін екіге бөлінетін когерент жарықтың жалпақ шоғы пайдаланылады. Олардың бірі нәрседен шағылып, фотопластинкаға түседі. Бұл — *сигнал шоғы*. Екінші шоқ фотопластинкаға айнадан шағылған соң түседі, бұл — *тіреу шоғы*. Осы екі когерент толқынның қабаттасуы нәтижесінде фотопластинкада интерференциялық картина пайда болады. Бұл картинаны өңдегеннен кейінгі алынатын фотосурет *голограмма* деп аталады.

**Голографияның даму болашағы.** Голографияның болашақтағы кейбір даму бағыттарын қарастырып өтейік.

1. Голограммаларды білім беру саласында қолдану оқып танысатын нысандардың, құбылыстардың көлемдік кескіндерін көрсету әсеріне негізделген. Тарих сабағында мұғалім, мысалы, Хеопс пирамидасы туралы айтып тұрып, оның голографиялық суретін көрсетеді. Сонда оқушылар оны жан-жағынан, барлық ұсақ бөлшектеріне дейін зерттеп қарай алады, яғни пирамиданың өзін көріп тұрғандай болады.

2. Медицинада голографиялық технологиялар хирургиялық отаның салдарынан ағзада болуы мүмкін өзгерістерді алдын ала болжап білуге мүмкіндік береді.

3. Астрономияда голографиялық технологиялар галактикалардың, әлемдердің голографиялық проекцияларын жасауға, жаңа жұлдыздардың пайда болу процестерін үлгілеуге т. б. көптеген зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді.



4. Физика саласында бұл — микроөлемде жүретін құбылыстардың голографиялық проекцияларын жасау, кванттық физиканың төжірибелерін жүргізу және т.б.

5. Биология саласында бұл — бактериялар мен вирустардың өзара өсерлесулерінің голографиялық проекцияларын жасау және т.б.

2017 жылдың сәуір айында екі ірі оператор: Verizon (АҚШ) және Korea Telecom (Оңтүстік Корея) бір-бірімен 5G технологияның көмегімен алғашқы халықаралық голографиялық қоңырау арқылы сөйлесті. Сөйлесу барысында пайда болатын голограммалар сөйлесіп отырған адамдардың қозғалыс әрекеттерін, эмоцияларын және т.б. іс-қимылдарын толық кескіндеп берген екен.

Голографияның көмегімен дәріс оқып тұрған профессордың лекциясын Жер шарының кез келген бөлігіне жеткізіп, таратуға болады. Мысалы, 2015 жылы Стэнфорд (АҚШ) университетінің профессоры, Нобель сыйлығының иегері Карл Виман өз жұмыс орнында отырып, Сингапурдағы Наньян технологиялық университетінде лекция оқыды. Лекция өткізуге қажет голографиялық дисплейді дайындауға үш апта уақыт кетті.

Голографияның көмегімен өнер туындыларын цифрлауға болады. Мысалы, 2015 жылы Фаберже музейінде оның коллекциясынан бірнеше жұмыртқалардың голографиялық көшірмелері жасалды. Ал 2017 жылдың мамыр айында мадам Тюссо музейінде алғашқы голограмма мүсін — неміс видеоблогері Бьянки “Биби” Хайникенің бейнесі қойылды.

Ресей компаниясы WayRay қазіргі кезде кеңейтілген шындық технологиясының негізінде навигациялық Navion жүйесінің жобасы жасалып жатыр. Бұл құрылғының құрамына автомобильдің алдыңғы әйнегіне салынған голографиялық пленка кіреді.

Жапон елінде голографиялық теледидарлардың бірнеше жобалары жасалып жатыр.

Қазір нарықта голографиялық проекторларға сұраныс көп. Мұндай проекторлар голограммаларды 360°-пен көрсетеді. Оларды үлкейтіп, кішірейтуге, айналдыруға, менюді қарауға болады.

Біз голографиялық технологиялардың даму перспективаларының кейбіреуін ғана қарастырып өттік.



1. *Лазер деген не?*
2. *Лазер сәулелерінің негізгі қасиеттері туралы айтып беріңдер.*
3. *Атомдардың өз бетімен және еріксіз сәулеленуі туралы айтып беріңдер.*
4. *Энергия деңгейлерінің инверсиялық (асыра) қоныстануы деп нені айтады?*
5. *Рубинді лазердің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.*
6. *Гелий-неонды лазердің жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.*
7. *Сызықтық емес оптика құбылыстарының ерекшеліктері неде?*
8. *Сызықтық емес оптика құбылыстарына мысалдар келтіріңдер.*
9. *Голография деген не?*
10. *Голографияның даму перспективалары туралы айтып беріңдер.*



## §56. Бор теориясының қиындықтары. Бөлшектердің толқындық қасиеттері. Де Бройль толқындары



### Тірек ұғымдар:

- ✓ электрондардың дифракциясы
- ✓ микробөлшектер ағынының интерференциясы
- ✓ де Бройль толқындары



### Бүгінгі сабақта:

- микробөлшектердің толқындық қасиеттерімен танысасыздар. Бор теориясының қиындықтарын қарастырасыздар;
- де Бройль толқынының ұзындығының формуласын қолданып, есеп шығаруды үйренесіздер.

### Мұны білесіңдер

Альфа-бөлшектердің жұқа фольгалардан шашырауын зерттеуге арналған Резерфорд тәжірибелерінің нәтижелері және соның негізінде жасалған атомның ядролық үлгісі классикалық электродинамиканың теориялық қорытындыларына қарама-қайшы келді. Бұл қайшылықтардан шығу үшін дат физигі Н.Бор 1913 жылы өзінің әйгілі постулаттарын ұсынды.

Осы постулаттардың негізінде Бор сутек тектес атомның теориясын жасап шығарды. Сутек тектес атом — бұл электрондық қабықшасында бір ғана электроны бар кез келген элементтің ионы. Ол өз есептеулерінде классикалық физиканың заңдары — Ньютонның екінші заңы мен Кулон заңын пайдалана отырып, бірінші бор орбитасының радиусының формуласын қорытып шығарды, атомның энергетикалық деңгейлерінің мүмкін мөндерін анықтады, сызықтық спектрлердің заңдарын түсіндірді.

**Бор теориясының қиындықтары.** Бор теориясы атом құрылымының теориясын жасаудағы алғашқы қадам болып табылады. Ол классикалық физика заңдылықтарын микроөлем физикасының құбылыстарына қолдануға жарамайтынын айқын көрсетіп берді. Бірақ алғашқы жетістіктерден соң Бор теориясы көптеген қиындықтарға тап болды. Мысалы, ол сутектен кейінгі ең қарапайым гелий атомының теориясын жасауда толық сәтсіздікке ұшырады. Сәтсіздіктердің басты себебі теорияның ішкі логикалық қарама-қайшылығында еді, ол жартылай классикалық, жартылай кванттық көзқарастарға сүйенді. Қазіргі кезде Бор теориясы, негізінен, тарихи қызығушылық тудырады. Бірақ бұл теория қазір де бірқатар маңызды физикалық ұғымдарды (мысалы, энергетикалық деңгейлер ұғымын) енгізуге қолданылатын ыңғайлы механикалық үлгі болып табылатынын есте ұстаған жөн. Сонымен, Бор теориясы кванттық механиканы құрудағы өтпелі кезең болып табылады.

**Микробөлшектердің толқындық қасиеттері.** Қазіргі кезде микробөлшектердің толқындық қасиеттері жан-жақты зерттелген, айқын тағайындалған эксперименттік факт болып есептеледі.

Микробөлшектердің толқындық қасиеттері бар екендігі және бөлшектің толқын ұзындығы оның импульсімен байланысты екені туралы идея француз физигі Луи де Бройльге тиесілі.

Де Бройль гипотезасының алғашқы эксперименттік дәлелі болып табылатын құбылыс — бұл электрондардың дифракциясы. Американдық физик ғалымдар К. Девиссон мен Л. Джермер 1927 жылы никель кристалынан шашыраған электрон шоғы айқын дифракциялық көрініс беретінін анықтады. Бұл көрініс қысқатолқынды рентген сәулеленуінің кристалдан шашырағанда беретін дифракциялық көрініске өте ұқсас болып шықты. Бұл тәжірибелерде кристалл табиғи дифракциялық тордың рөлін атқарады. Дифракциялық максимумдардың орнын анықтау арқылы электрон шоғының толқын ұзындығын есептеп шығаруға болады. Бұдан бөлек, кейінірек дифракциялық құбылыстар нейтрондар, протондар, атомдар және молекулалар шоқтары үшін де анықталды.

Электрондардың толқындық қасиеттерінің ашылуы ғылымның жаңа бөлімі — электрондық оптиканың және жаңа құрылғы — электрондық микроскоптың пайда болуына әкелді. Кез келген микроскоптың шешуші қабілеті қолданылып отырған сәулеленудің толқын ұзындығымен анықталады, сондықтан жарық сәулелерінің орнына электрон шоқтарын пайдалану микроскоптың шешуші қабілетін мыңдаған есе жоғарылатуға мүмкіндік береді. Электрондардың дифракциясы кристалл заттардың құрылымын анықтау үшін қолданылады.

Кезінде бөлшектердің толқындық қасиеттерін болжау, соңынан оны тәжірибелерде дәлелдеу физикадағы ашылған ұлы жаңалық болды. Себебі ол кезде бір нәрсенің бойында әрі толқындық, әрі бөлшектік қасиеттің қатар болуы мүмкін емес сияқты еді. Физиктер электронды барлық жағынан алғанда кәдімгі классикалық бөлшек деп санады. Классикалық бөлшектің энергиясы мен импульсі бөлшектің өзі тұрған жерде шоғырланады, ол біртүрлі анықталған траекторияның бойымен қозғалады. Басқаша айтсақ, бөлшек деген үздіксіз, дискретті нәрсе.

Монохромат толқын уақыт бойынша да, кеңістікте де үздіксіз таралады. Алдымен жарықтың электромагниттік толқындық табиғаты зерттелді. Кейінірек жарықтың корпускулалық қасиеттері ашылды. Мұнан соң барып фотондардың екіжақтылық, яғни корпускулалық-толқындық қасиеттері зерттелді. Ал микробөлшектер үшін бәрі керісінше болды, алғашында олар кәдімгі классикалық бөлшектер сияқты саналды, кейінірек олардың толқындық қасиеттері ашылды.

Қазіргі кезде тыныштық массасы бар бөлшектер — атомдардың, электрондардың, протондар мен нейтрондардың фотон тәрізді әрі бөлшектік, әрі толқындық қасиетке ие екені белгілі. Бұл — оларға



төн, олардың ішкі қасиеттері. Микробөлшектер әлеміне классикалық физиканың заңдары жүрмейді. Бірақ кванттық теория классикалық теорияны жоққа шығармайды. Кванттық теорияның аясына классикалық теория да кіреді (сәйкестік принципі).

Жоғарыда айтып кеткеніміздей, микробөлшектердің толқындық қасиеттері туралы гипотезаны 1924 жылы де Бройль ұсынды. Де Бройль гипотезасы бойынша кез келген қозғалыстағы бөлшек, мысалы, электрон толқындық қасиетке ие.

Мысалы, массасы  $m$  бөлшек  $v$  жылдамдықпен қозғалсын. Оның энергиясы  $E$  және импульсі  $p$  болсын. Біз энергия мен импульстің салыстырмалылық теориясындағы формулаларын білеміз:  $E = mc^2$ ,  $\vec{p} = m\vec{v}$ . Масса жалпы жағдайда жылдамдыққа тәуелді:

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

мұндағы  $m_0$  — тыныштық массасы. Екінші жағынан алғанда, егер бөлшекке толқындық қасиеттер тән болса, ол  $v$  жиілік пен  $\lambda$  толқын ұзындығы арқылы сипатталуы тиіс, яғни бөлшектің корпускулалық және толқындық қасиеттерінің арасында бірмәнді байланыс болуы керек. Де Бройль тыныштық массасы бар бөлшектер үшін де фотонды сипаттайтын қатынастарды жазуға болады деп есептеді:

$$E = \hbar\omega; \quad \vec{p} = \hbar\vec{k}. \quad (56.1)$$

мұндағы  $\vec{k}$  — толқындық вектор, оның модулі  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ .

Олай болса:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi\hbar}{p} \text{ немесе} \\ \lambda &= \frac{2\pi\hbar}{mv} = \frac{h}{mv}. \end{aligned} \quad (56.2)$$

Сонымен, импульсі  $p$  бөлшекке ұзындығы (56.2) өрнегімен анықталатын толқын сәйкес келеді, оны *де Бройль толқыны* деп атайды.

Егер бөлшек баяу қозғалса, яғни  $\left(\frac{v}{c}\right) \ll 1$  болса, онда (56.2) формуладағы масса  $m$  бөлшектің тыныштық массасына тең:  $m = m_0$ .

Қазіргі кезде микробөлшектердің толқындық қасиеттері жақсы зерттелген эксперименттік факт болып есептеледі.

Де Бройль толқындарының кеңістіктің қандай да бір жеріндегі қарқындылығы бөлшекті осы жерден табу ықтималдығына пропорционал. Де Бройль толқынын осылайша түсіндірудің бөлшектің құрылымына қатысы жоқ, ол классикалық бөлшек сияқты бүтін, нүктелік нысан күйінде қалады.





1. Бор теориясының қиындықтары туралы айтып беріңдер және олар немен байланысты екенін түсіндіріңдер.
2. Микробөлшектердің толқындық қасиеттері білінетін тәжірибелерді атаңдар.
3. Де Бройль толқыны деген не?
4. Не себепті толқындық қасиеттер тек микробөлшектерде білінеді?

### Есеп шығару мысалы

Жылдамдығы 200 Мм/с болатын электронға сәйкес де Бройль толқын ұзындығын анықтаңдар.

Берілгені:

$$v = 200 \text{ Мм/с} = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$\lambda$  — ?

*Шешуі.* Электронның жылдамдығы айтарлықтай үлкен  $\frac{v}{c} = 0,666\dots$ , сондықтан бұл есепте электрон массасының жылдамдыққа тәуелді өзгеруін ескеру керек:

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

мұндағы  $m_e$  — электронның тыныштық массасы.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{m_e v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 10^{16} \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}}}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 2 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}} = 0,272 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

*Жауабы:*  $\lambda = 2,72 \text{ пм.}$



### 26-жаттығу

1. Жылдамдығы  $v = 1 \text{ Мм/с}$  болатын электронның және протонның де Бройль толқын ұзындығын есептеңдер.  
*Жауабы:* 727 пм; 0,396 пм.
2. Жылдамдығы 2,5 км/с нейтрондардың де Бройль толқын ұзындығы қандай? Нейтронның тыныштық массасы  $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .  
*Жауабы:* 160 пм.
3.  $U = 51 \text{ В}$  үдетуші потенциалдар айырымын жүріп өткен электронның де Бройль толқын ұзындығын табыңдар.  
*Жауабы:* 172 пм.
4. Толқын ұзындығы 4,20 пм электронның релятивтік массасы қандай?  
*Жауабы:*  $10,5 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ .

\*5. Кинетикалық энергиясы  $E_k = 100$  эВ протонның де Бройль толқын ұзындығын анықтаңдар. Протонның массасы  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг.

Жауабы: 2,86 пм.

## 9-тараудың ең маңыздысы

**Сәулелену түрлері:** жылулық сәулелену және люминесценция: электрлюминесценция, катодлюминесценция, химлюминесценция, фотолюминесценция.

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

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

Заттың шығару, немесе жұтылу спектріні зерттеу арқылы оның химиялық құрамын анықтайтын тәсілді **спектрлік анализ** деп атайды.

**Жылулық сәулелену** — бұл сәулелену көзінің ішкі энергиясының есебінен пайда болатын электромагниттік сәулеленудің түрі.

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

Фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуі:

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

**Фотон** — тыныштық массасы нөлге тең, жарық жылдамдығына тең жылдамдықпен қозғалатын элементар бөлшек.

Фотонның энергиясы мен импульсы сәйкесінше:  $E = c\nu$ ;  $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ .

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

**Атомның ядролық үлгісі.** Атом радиусы шамамен  $10^{-15}$  м ауыр ядродан және оны айнала өртүрлі орбиталармен қозғалып жүретін электрондардан тұрады.

**Бор постулаттары:**

*Бордың бірінші постулаты.* Атомда электрондар қозғалатын стационар орбиталар бар. Стационар орбитадағы электрондар сәуле шығармайды.

*Бордың екінші постулаты.* Электрон энергиясы  $E_n$  стационар орбитадан энергиясы  $E_m$  стационар орбитаға ауысқанда энергия кванты жұтылады не шығарылады. Ол энергия мына түрде анықталады:  $h\nu = E_n - E_m$ .

Де Бройль толқындарының ұзындығы  $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{mv}$ .

## 10-тарау. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

## § 57. Табиғи радиоактивтік



## Тірек ұғымдар:

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

## Бүгінгі сабақта:

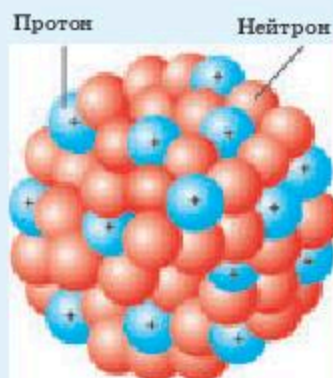
- радиоактивтік құбылысымен және радиоактивтік альфа-, бета-, гамма-ыдырауларымен танысасыңдар.



## Мұны білесіңдер

Алдыңғы тарауда айтылғандай, атом ядросы туралы ұғымды 1911 жылы Э.Резерфорд енгізді. Ол өзінің қызметкерлері Э.Марсден, Х.Гейгермен бірге бөлшектердің жұқа металл қабатынан өтуін және шашырауын зерттеген. Жасалған тәжірибелердің нәтижесін түсіндіру үшін атомның ядролық моделін ұсынды. Атом оң зарядталған ядро мен теріс зарядталған электрондар жиынтығы — электрондық қабықшалардан тұрады (57.1-сурет). Атом массасы түгелдей дерлік ядрода шоғырланған. Атомға қарағанда ядро тым кішкентай және ол өте берік. Атом ядросының ашылуы теориялық және эксперименттік физикада атом ядросының құрылысы мен оның қасиеттері туралы тың мәселе қойды. Осылайша ядролық физика деп аталатын физиканың жаңа бір тармағы өмірге келді.

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



57.1-сурет

Алдыңғы тақырыпта атап өткеніміздей, табиғатта тұрақты ядролармен қатар, ыдырауға бейім ядролардың бар екені белгілі. Ядролық физиканың даму тарихына көз жүгіртсек, оның қайнар көзі 1886 жылы француз ғалымы А. Беккерель ашқан табиғи радиоактивтік құбылысынан басталады. А. Беккерель уран тұзының фотопластинаға әсерін зерттеген. Тәжірибелер барысында ол мына құбылысты байқаған: уран тұздары тығыз қара қағазбен оралған фотопластинаға әсер етіп, оның қараюын туғызатын, өтімділігі жоғары белгісіз сәулелерді шығарады екен. Мұқият зерттеулер нәтижесінде Беккерель өтімділігі жоғары белгісіз сәулелерді уран атомының өзі, ешқандай сыртқы әсерсіз-ақ, өздігінен шығаратынын анықтады. Белгісіз сәулелердің заттармен





Мария  
Склодовская-Кюри  
(1867—1934)

өсерлескенде фотопластинканы қарайтатыны, яғни химиялық өсерінің бары, газдарды иондауы, кейбір қатты денелер мен сұйықтардың люминесценциясын туғызатыны сияқты қасиеттері белгілі болды.

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

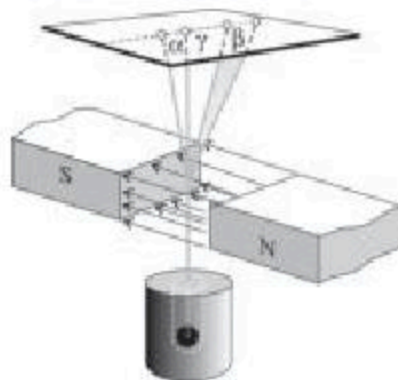
радиоактивті екі жаңа химиялық элементті бөліп алады. Радиоактивтігі ураннан миллион есе қарқынды элементті (Ra) радий, екінші элементті М. Склодовскаяның отанының құрметіне полоний (Po) (лат. Польша) деп атаған. 1908 жылы Резерфорд спектрлік анализ әдісімен радиоактивті газ — радонды (Rn) ашты. Ауқымды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

**Кюри отбасының тарихы.** Пьер Кюри мен Мария Саломея Склодовская алғаш рет 1894 жылы эмигрант-ғалымның үйінде танысады. Ол 1891 жылы Польшадан Францияға Сорбонна университетіне оқуға келген. Мария Сорбонна университетінің үздік студенті болып, жеке тәжірибе жүргізу құқығын алған және екі диплом (математика және физикадан) иегері атанған.

Радий мен полоний элементтерін ашқаны үшін олар 1903 жылы Нобель сыйлығының иегері атанады, 1911 жылы Мария екінші рет Нобель сыйлығының иегері болады.

**Радиоактивтік ыдырау.** Э. Резерфорд пен П. Кюри радиоактивтік кезіндегі сәуле шығарудың табиғатын зерттеу барысында оның құрамының күрделі екенін анықтайды. Радиоактивтік радий Ra қорғасыннан жасалған қалың қабатты ыдыстың ішінде орналасқан. Ыдыстың ортасында цилиндр пішінді арна бар. Ыдыстың түбіндегі радийден шыққан сәулелерге оған перпендикуляр бағытта күшті магнит өрісі өсер етеді. Арнаға қарсы фотопластина орнатылған, барлық қондырғы вакуумда орналастырылған. 57.2-суретте көрсетілгендей, радийден шығатын сәулелер ағыны магнит өрісінен өткеннен кейін үш шоққа бөлінген. Шоқтардың осылайша бөлінуін фотопластинадағы қарайған

заттардың орындары бойынша анықтайды. Оларды сәйкесінше  $\alpha$  (альфа)-сәуле,  $\beta$  (бета)-сәуле және  $\gamma$  (гамма)-сәуле деп атаған.  $\alpha$ -сәуле дегеніміз — оң зарядталған бөлшектер ( $\alpha$ -бөлшек) ағыны,  $\beta$ -сәуле дегеніміз — өте шапшаң қозғалатын және жылдамдықтары бірдей емес теріс зарядталған бөлшектер ( $\beta$ -бөлшек) ағыны. Магнит өрісінде ауытқу бұрышының өртүрлі болуы  $\alpha$ -бөлшек пен  $\beta$ -бөлшектің массаларының бірдей емес екенін әрі қарама-қарсы зарядталғанын көрсетеді.  $\gamma$ -сәулесі магнит өрісінде ауытқымайтын, жиілігі өте жоғары электромагниттік сәулелену кванты екен. Атом ядросының құрылысы мен құрылымына, нуклондардың байланыс энергиялары туралы мәліметтерге сүйене отырып, радиоактивті сәуле шығарудың табиғатын түсіндіру оңай. Құрамында нейтрондарға қарағанда протондардың саны артық болатын ядро тұрақты емес, өйткені кулондық әсерлесудің энергиясы басымырақ.



57.2-сурет

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

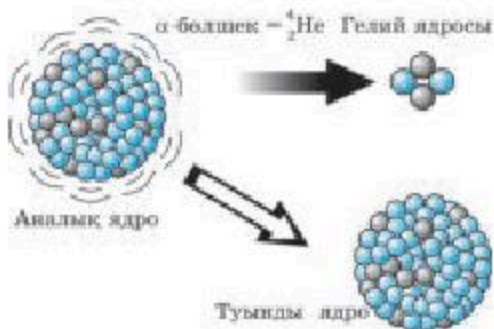
1. Механикалық, термиялық және басқа да сыртқы әсерсіз-ақ ядро өздігінен ыдырап, радиоактивті сәуле шығарады және бөліну нәтижесінде түрленіп жаңа элементтің ядросы пайда болады. Өздігінен ыдырау процесінде  $\alpha$ -бөлшектер ядродан ұшып шықса, оны *альфа-ыдырау* деп атайды.

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

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

**Альфа-ыдырау.**  $\alpha$ -бөлшегінің табиғатын 1908 жылы Резерфорд көптеген эксперименттік зерттеулер нәтижесінде анықтады. Альфа-ыдырауы кезінде ядродан өздігінен  $\alpha$ -бөлшек — гелий атомының

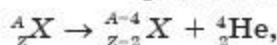




57.3-сурет

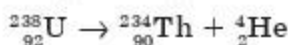
ядросы  ${}^4_2\text{He}$  (екі протон және екі нейтрон) ұшып шығады және жаңа химиялық элементтің туынды ядросы пайда болады. 57.3-суретте альфа-ыдыраудың процесі көрсетілген.

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

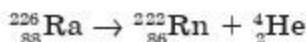


мұндағы  $X$  — аналық ядроның белгісі,  $Y$  — туынды ядроның таңбасы. Гелий атомының ядросы болып табылатын  $\alpha$ -бөлшек үшін  ${}^4_2\text{He}$  белгісін пайдаландық.

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



Тағы бір  $\alpha$ -ыдырау реакциясын жазайық:



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

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

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

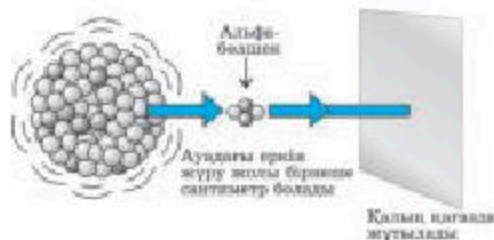
мұндағы  $M_a$  — аналық,  $M_T$  — туынды ядролардың,  $M_{\text{He}}$  — гелий атомы ядросының массалары. Бұдан ыдырау энергиясын табамыз:

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



Мысалы, уранның  $\alpha$ -ыдырауы кезінде 4 МэВ энергия бөлініп шығады.

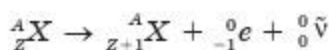
Атомдық нөмірі  $Z \geq 82$  ауыр ядроларда альфа-ыдырау байқалады. 57.4-суретте бейнеленгендей,  $\alpha$ -бөлшектің өтімділік қабілеті төмен, ауадағы еркін жүру жолы небәрі 3—7 см. Қалыңдау қағаз қабатында жұтылады. Иондаушы қабілеті өте жоғары, сол себепті энергиясын тез жоғалтады.



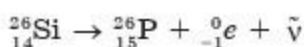
57.4-сурет

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

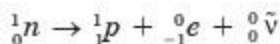
*Бета-ыдырау кезінде атом ядросының зарядтық саны  $Z$  бір заряд бірлігіне артады, ал массалық сан өзгермейді. Жаңа элемент Менделеев кестесіндегі периодтық жүйенің соңына қарай бір орынға ығысады:*



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



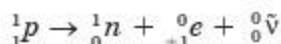
Бұндай ыдырауды *электрондық  $\beta$ -ыдырау* деп атайды. Радиоактивті электронды  $\beta$ -ыдырау процесі ядрода нейтронның протонға айналуы және осы кезде электронның және антинейтриноның қабаттаса түзілуі арқылы өтеді:



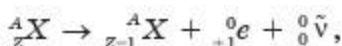
Ядроның ішінде электронның пайда болуы осы нейтронның ыдырауының нәтижесі екен. Бета-ыдырау кезінде туынды ядро мен электрон жүйесінің энергиясы ыдырауға дейінгі аналық ядро жүйесінің энергиясынан кем болып шығатынын өлшеулер көрсетті.  $\beta$ -ыдырау кезінде энергияның сақталу заңының орындалатынына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

Ұлы итальян ғалымы Э.Фермидің ұсынысы бойынша бұл бөлшекті *нейтрино  $\nu$*  (итал. *neutrino* — кішкентай нейтрон) деп атаған. Нейтри-

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

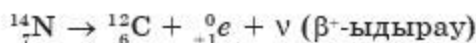
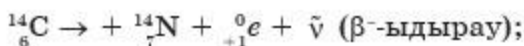


*Ядроның зарядтық саны Z бірлік зарядқа кемиді, нәтижесінде элемент Менделеев кестесіндегі периодтық жүйенің бас жағына қарай бір орынға ығысады:*



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

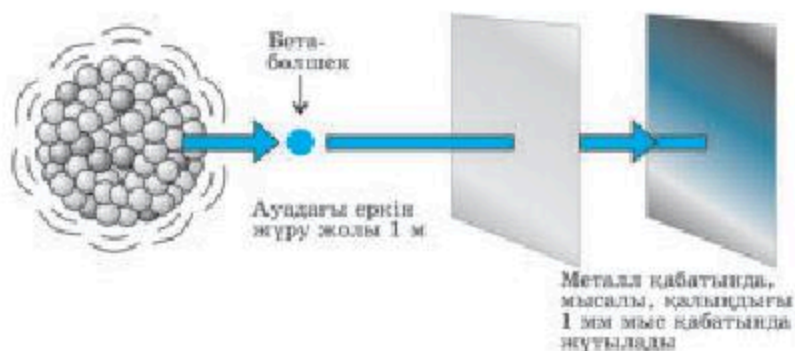
$\beta^-$ -ыдырауға



реакцияларын мысалға келтіруге болады.

Аналық және туынды ядролар — изобаралар.

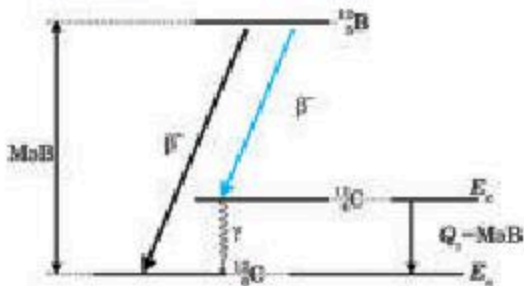
Аналық ядромен байланысқан санақ жүйесінде энергияның сақталу заңын пайдаланып,  $\beta$ -ыдыраудың  $Q_\beta$  энергиясын анықтауға болады:  $M_a c^2 = M_c c^2 + Q_\beta$ , бұдан  $Q_\beta = (M_a - M_c) c^2$ . Бұл ыдырау энергиясы электрон (позитрон), антинейтрино (нейтрино) және туынды ядроға беріледі. Туынды ядро қозған күйде болуы мүмкін.  $\beta$ -электрондардың вакуумдағы жылдамдығы  $v_\beta = 2 \cdot 10^8$  м/с шамасындай. 57.5-суретте көрсетілгендей,  $\beta$ -бөлшекке қарағанда  $\alpha$ -бөлшектің өтімділігі артық, ауадағы еркін



57.5-сурет

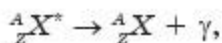
жүру жолының ұзындығы 1 м-дей, бірақ қалыңдығы 1 мм мыс қабатынан өте алмайды.

**Гамма-ыдырау.** 1900 жылы П. Виллард ядролық сәуле шығарудың құрамындағы үшінші компоненттің бар екенін тапты, оны *γ-сәуле шығару* деп атаған. Гамма-сәуле шығару магнит өрісінде ауытқымайды, демек, оның заряды жоқ. Гамма-сәуле шығару радиоактивтік ыдыраудың жеке бір түрі емес, ол альфа- және бета-ыдыраулармен қабаттаса өтетін процесс. Жоғарыда айтқанымыздай, туынды ядро қозған күйде болады. Қозған күйдегі ядро атом сияқты жоғарғы энергетикалық деңгейден төменгі энергетикалық деңгейге өткенде  $h\nu = E_k - E_n$  энергиясы бар гамма-квантын шығарады, мұндағы  $E_k$  — қозған,  $E_n$  — қалыпты күйдегі энергиялар (57.6-сурет). Ядродан шығатын  $\gamma$ -сәулелері дегеніміз фотондар ағыны болып шықты.

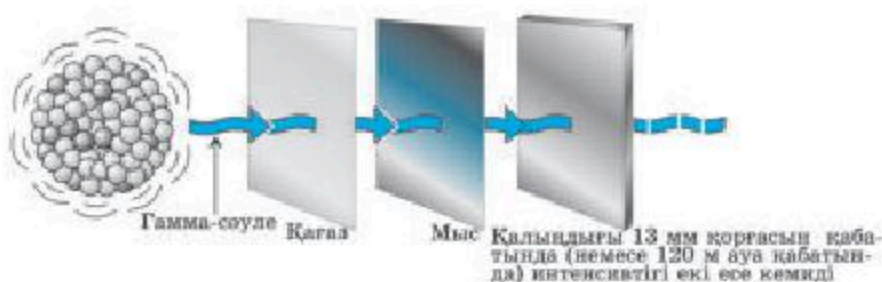


57.6-сурет

Гамма-ыдыраудың формуласын жазайық:



мұндағы  $X^*$  — қозған аналық ядро,  $X$  — оның қалыпты күйдегі нуклиді. 57.6-суретте бор ядросының  $\beta$ -ыдырауының сызбасы көрсетілген.  $\gamma$ -сәулесінің толқын ұзындығы өте қысқа болып келеді:  $\lambda = 10^{-8} - 10^{-11}$  см. Сондықтан радиоактивті сәулелердің ішінде  $\gamma$ -сәулесінің өтімділік қабілеті ең жоғары, ол 57.7-суретте көрсетілгендей, қалыңдығы 10 см қорғасын қабатынан өтіп кетеді. Гамма-квантының өтімділік қабілеті өте жоғары, ауадағы еркін жүру жолының ұзындығы 120 м.



57.7-сурет





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



Радиохирургияда қолданылатын “гамма-пышақ” туралы жоба дайындаңдар.



### 27-жаттығу

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

*Жауабы:*  ${}_{83}^{213}\text{Bi}$ .

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

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

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

*Жауабы:*  ${}_{58}^{140}\text{Ce}$ .

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

*Жауабы:*  ${}_{86}^{220}\text{Rn}$ .

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

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

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

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

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

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

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

*Жауабы:* сегіз  $\alpha$ -ыдырау және алты  $\beta$ -ыдырау.

## § 58. Радиоактивті ыдырау заңы



## Тірек ұғымдар:

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

## Бүгінгі сабақта:



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

Эксперименттік зерттеулер радиоактивті ыдырау толығымен статистикалық заңдылыққа бағынатынын дәлелдеді. Белгілі бір радиоактивті изотоптың ядролары бірдей болады. Атом ядросының қай уақытта ыдырайтынын алдын ала болжау мүмкін емес. Қай мезетте және ядролардың қайсысының ыдырайтыны кездейсоқ оқиға. Мысал үшін бір нуклидтің бірдей екі ядросын алайық. Ядроның біреуі 3 млрд жыл бұрын жұлдыздың қопарылысы кезінде, ал екінші ядро ядролық реакторда 3 мин бұрын пайда болсын. Ядролардың пайда болу уақытына қарамастан, келесі бір уақыт мезетінде екеуінің де ыдырауының ықтималдығы бірдей. Статистикалық құбылыстарды сипаттау үшін оқиғаның ықтималдығы ұғымын қолданады. Уақыт бірлігі ішінде ядроның ыдырау ықтималдығын *ыдырау тұрақтысы* деп атап,  $\lambda$  әрпімен белгілейді. Бірдей изотоптың ядросы үшін ыдырау тұрақтысы бірдей, ал түрлі изотоптың ядролары үшін ыдырау тұрақтысы ертүрлі болады.  $t_0 = 0$  мезетінде ыдырау тұрақтысы  $\lambda$  болатын радиоактивті изотоптың  $N_0$  ыдырамаған ядроларының саны белгілі болсын. Сонда өте аз  $dt$  уақыт аралығында ыдырайтын ядролардың  $dN$  саны осы мезетте ыдырамаған ядролар санына пропорционал болуы керек деп айта аламыз:

$$dN = -\lambda N dt, \quad (58.1)$$

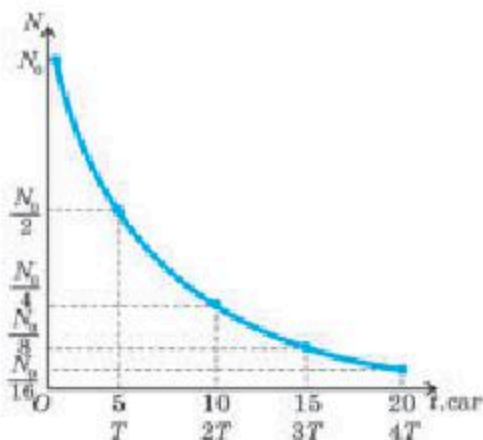
мұндағы “-” таңбасы уақыт өткен сайын ядролар санының азаятынын білдіреді. (58.1) формуладан белгілі бір  $t$  уақыт аралығы өткенде ыдырамаған  $N$  ядролар санының уақытқа тәуелділігін табайық. Ол үшін (58.1) теңдеудің екі жағын  $dt$ -ға бөлейік:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt.$$

Осыдан ядролардың ыдырауының уақытқа тәуелділігі шығады:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (58.2)$$

мұндағы  $e$  — натурал логарифмінің негізі ( $e = 2,718, \dots$ ),  $t$  — ыдырау уақыты,  $N_0$  — бастапқы уақыт мезетіндегі ( $t_0 = 0$ ) ядролар саны,  $N$  —  $t$  уақыт ішінде ыдырамай қалған ядролардың саны,  $\lambda$  — ыды-



58.1-сурет

саны  $N = \frac{1}{2} N_0$  болады. (58.2) өрнектен  $\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$  аламыз. Осы теңдеуді логарифмдесек,  $\ln \frac{1}{2} = -\lambda \cdot T_{1/2}$  немесе  $-\ln 2 = -\lambda \cdot T_{1/2}$ , бұдан  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$  шығады. Ал  $\lambda$  тұрақты шама болғандықтан, жартылай ыдырау периоды тұрақты.

Радиоактивті ыдырау заңын 1902 жылы Э.Резерфорд пен Ф.Содди ашқан. Жартылай ыдырау периодын пайдаланып, (58.2) формуланы  $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$  түріне келтіруге болады. Сендерге бұл формула 9-сынып физика курсынан таныс. Есептеулер радиоактивті ядроның орташа өмір сүру уақытын

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0,693} = 1,44 \cdot T_{1/2}$$

өрнегі арқылы анықтауға болатынын көрсетті. Ядроның орташа өмір сүру уақыты жартылай ыдырау периодына пропорционал.

Радиоактивті ядроның ыдырау қасиетін сипаттайтын тағы бір шаманы айтуға болады. *Уақыт бірлігі ішінде ыдырайтын ядролар саны мен анықталатын шаманы радиоактивті заттың (препараттың) активтілігі (A) деп атайды:*

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N.$$

Активтіліктің Халықаралық бірліктер жүйесіндегі өлшем бірлігі — *беккерель*.

**1 беккерель (Бк)** — 1 с уақыт бірлігі ішінде бір ыдырау болатын радиоактивті препараттың активтілігі:

$$[A] = 1 \text{ Бк} = \frac{1 \text{ ыдырау}}{1 \text{ с}}$$

рау тұрақтысы, өлшем бірлігі  $\text{с}^{-1}$ . Жоғарыда аталған тәуелділікті *радиоактивті ыдырау заңы* деп атайды. Уақыттың өтуіне байланысты ыдырамаған радиоактивті ядролардың саны экспоненциалды түрде кемиді. 58.1-суретте  $N = f(t)$  тәуелділігінің графигі көрсетілген.

Радиоактивті ядролар санының жартысы ыдырайтын уақыт аралығын *жартылай ыдырау периоды*  $T_{1/2}$  деп атайды. Демек, радиоактивті ядролардың алғашқы саны  $N_0$  болса,  $T_{1/2}$  уақыт өткеннен кейін олардың



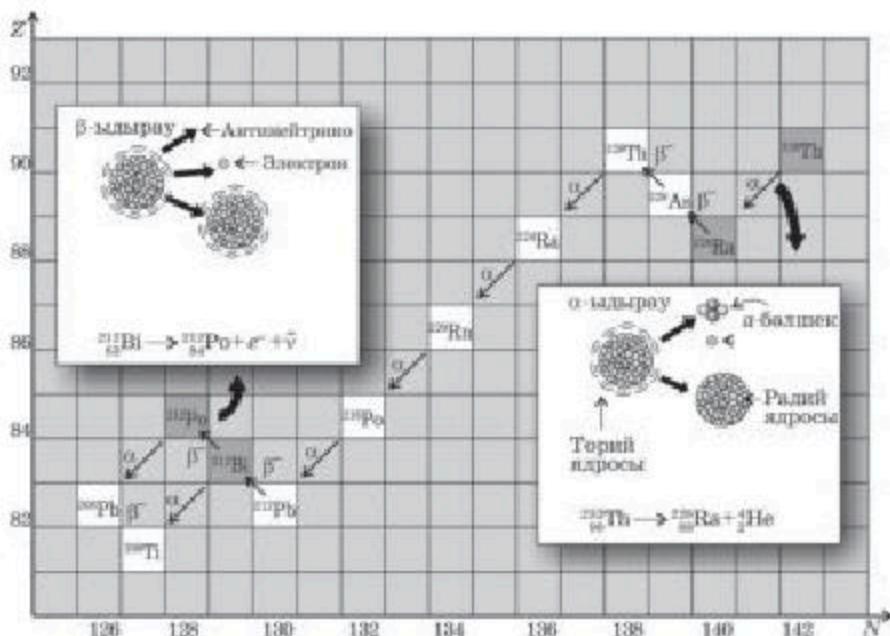
Іс жүзінде қолданылатын активтіліктің басқа да өлшем бірлігі бар, ол — *кюри* (Ки):

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \quad 1 \text{ мКи} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк}.$$

Менделеев кестесіндегі химиялық элементтердің жартысынан көбінің табиғи радиоактивті изотопы бар. Олардың жартылай ыдырау периодтарының диапазоны өте үлкен. Мәселен, уранның  $^{238}_{92}\text{U}$  изотопының жартылай ыдырау периоды  $T_{1/2} = 4,5$  млрд жылға, ал торийдің изотопының жартылай ыдырау периоды  $T_{1/2} = 14$  млрд жылға тең. Жер планетасы пайда болғалы 4—5 млрд жыл уақыт өтті десек, уран мен торийдің толығымен ыдырап болмағаны өзінен-өзі түсінікті.

Табиғатта жартылай ыдырау периоды қысқа, тіпті жартылай ыдырау периоды секундтың миллионнан бір үлесіндегі ғана болатын элементтер бар. Мысалы, радий  $^{226}_{88}\text{Ra}$  изотопы үшін  $T_{1/2} = 1600$  жыл, радон үшін  $T_{1/2} = 3,28$  тәул болса, полоний  $^{218}_{84}\text{Po}$  үшін  $T_{1/2} = 3$  мин. Радиоактивті ыдыраудың ғажабы сол, жартылай ыдырау периоды қысқа болатын изотоптарды ертең де, бүгінгі де, тіптен 100 жылдан соң да табиғатта кездестіруге болады.

Радиоактивті изотоптар “қартаймайды”, себебі уақыттың өтуіне байланысты ыдырау жылдамдығы өзгермейді. Уран мен торий изотоптары ядроларының ыдырау кезінде пайда болатын туынды ядролар тұрақты емес, радиоактивті болады. Осылай үздіксіз тізбектелген ядролық ыдырау процесі тұрақты ядро, яғни радиоактивті емес туынды ядро түзілгенше жалғаса береді. Осы ыдырау тізбегін *радиоактивті қатар* деп атайды (58.2-сурет). Радиоактивті ыдырау заңы статистикалық



58.2-сурет

заңдылыққа бағынатындықтан, ол ядроларының саны орасан зор атомдар үшін дұрыс.

**Жас тағайындаудың радиокөміртектік әдісі.** Тегі биологиялық болып табылатын археологиялық қазбалардың жасын тағайындаудың радиокөміртектік әдісі 1000 жылдан 75 000, тіптен 100 000 жылға дейінгі аралықты да қамти алады. Міне, осындай әдіспен Мысыр мумияларының, ағзалардың, сүйектердің, ағаштардың және т.б. жасы анықталды.

Жер атмосферасына келіп түскен ғарыш сәулелері, негізінен, протондардан тұрады. Жер атмосферасының атомдарымен соқтығысқан протондар олардан екінші реттік протондарды және нейтрондарды жұлып шығарады да, ал олар өз кезегінде азот ядросымен жаңа ядролық реакцияларға түседі:



${}^{14}_6\text{C}$  көміртек атомы  $\beta$ -радиоактивті және ол  $T_{\frac{1}{2}} = 5730$  жылдық жартылай периодымен ыдырайды.

Атмосферада ыдыраған және қайта түзілген  ${}^{14}_6\text{C}$  атомы ядроларының саны теңеседі.  ${}^{14}_6\text{C}$  және  ${}^{12}_6\text{C}$  атомының ядролар саны  $1:1,5 \cdot 10^{-12}$  қатынасында болады. Радиоактивті  ${}^{14}_6\text{C}$  көміртек ауадағы оттеппен байланысып, көміртектің екі оксидіне айналады. Барлық өсімдіктер көмірқышқыл газын өз бойына сіңіргенде  ${}^{12}_6\text{C}$  атомы ядросымен қатар, белгілі бір мөлшерде радиоактивті  ${}^{14}_6\text{C}$  көміртекті жұтады. Өсімдіктерді пайдаланған адамдар мен жануарлар ағзасында осы  ${}^{14}_6\text{C}$  радиоактивті көміртек енеді. Бірақ тірі ағза өлген кезде  ${}^{14}_6\text{C}$  атомының саны радиоактивті ыдырау заңына сәйкес кемиді. Ыдырау жылдамдығын анықтай отырып, кез келген археологиялық қазбаның жасы анықталады. Осы жаңалықты ашқаны үшін американдық физик У. Либби 1960 жылы Нобель сыйлығына ие болған.



1. Атом ядроларының радиоактивті ыдырауы қандай заңдылыққа бағынады?
2. Ыдырау тұрақтысының мағынасын қалай түсінесіңдер?
3. Радиоактивті ыдырау заңының мәнісі неде?
4. Жартылай ыдырау периодының  $T = \text{const}$  болуы қандай қағиданы тұжырымдайды?
5. Радиоактивті изотоптың активтігі дегеніміз не? Беккерель қандай шаманың өлшем бірлігі?
6. Туынды ядро тұрақты уақыттың өтуіне қарай осы элементте қандай өзгерістер болады?
7. Жердің жасы бірнеше миллиард жыл, ал радийдің жартылай ыдырау периоды 1600 жыл екені белгілі. Олай болса, не себепті Жерде әлі күнге дейін радийдің қандай да бір мөлшері сақталған?

## Есеп шығару мысалдары

**1-есеп.** Радиоактивті натрийдің  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  жартылай ыдырау периоды 14,8 сағ. Массасы 1 г радиоактивті натрийдің 7,4 сағ ішінде ыдыраған атомдарының санын анықтаңдар. Натрийдің мольдік массасы  $24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

*Берілгені:*

$$T_{\frac{1}{2}} = 14,8 \text{ сағ}$$

$$m = 1 \text{ г}$$

$$t = 7,4 \text{ сағ}$$

$$M = 24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\Delta N = ?$$

*Шешуі.* Ыдыраған атомдардың белгілі бір  $t$  уақыт аралығындағы  $\Delta N$  санын анықтайық:  $\Delta N = N_0 - N$ , мұндағы  $N_0$  — атомдардың бастапқы ( $t = 0$ ) саны,  $N$  —  $t$  уақыт мезетіндегі ыдырамаған атомдардың саны. Радиоактивті ыдырау заңының (59.2) формуласын  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  пайдаланайық, сонда

$$\begin{aligned} \Delta N &= N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) = N_0 (1 - e^{-\frac{\ln 2}{T} t}) = \\ &= N_0 \left( 1 - \left( e^{\ln 2} \right)^{-\frac{1}{T} t} \right) = N_0 \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right) \end{aligned}$$

теңдеуін аламыз. Атомдардың санын анықтау үшін мына формуланы қолданайық:

$$N_0 = \frac{m}{M} \cdot N_A,$$

мұндағы  $m$  — зат массасы,  $N_A$  — Авогадро тұрақтысы,  $M$  — мольдік масса. Соңғы екі өрнектен:

$$\begin{aligned} \Delta N &= \frac{m}{M} \cdot N_A \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right) = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \left( 1 - 2^{-\frac{7,4 \text{ сағ}}{14,8 \text{ сағ}}} \right) = \\ &= 7,5 \cdot 10^{21}. \end{aligned}$$

*Жауабы:*  $7,5 \cdot 10^{21}$ .

**2-есеп.** Радиоактивті кобальттың массасы 4 г. Егер кобальттың жартылай ыдырау периоды 72 тәул болса, онда 216 тәул ішінде оның неше грамы ыдырайды?

*Берілгені:*

$$m_0 = 4 \text{ г}$$

$$t = 216 \text{ тәул}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 72 \text{ тәул}$$

$$\Delta m = ?$$

*Шешуі.* Заттың массасы атомдар санына тура пропорционал болғандықтан, масса да уақытқа тәуелді экспоненциалдық заң бойынша өзгереді:

$$m = m_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}.$$



Олай болса,  $\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = N_0 \frac{\left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}\right)}{N_0}$  деп жаза аламыз.

Осыдан  $\frac{\Delta m}{m_0} = 1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$  болады. Бұдан  $\Delta m = m_0 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}\right)$ ,  
 $\Delta m = 4 \text{ г} \cdot (1 - 2^{-3}) = \frac{4 \text{ г} \cdot 7}{8} = 3,5 \text{ г}$ .

*Жауабы: 3,5 г.*

**3-есеп.** Радиоактивті изотоптың бастапқы ядроларының  $\frac{5}{8}$  бөлігі 849 с ішінде ыдыраған болса, осы изотоптың жартылай ыдырау периоды анықтаңдар.

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <i>Берілгені:</i>                  | <i>Шешуі.</i> Радиоактивті ыдырау заңының формуласын                        |
| $t = 849 \text{ с}$                | жазайық: $N = N_0 e^{-\lambda t}$ немесе $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ . |
| $\frac{\Delta N}{N} = \frac{5}{8}$ | Есептің шарты бойынша $t$ уақыт аралығындағы                                |
| $T_{\frac{1}{2}} = ?$              | ядролардың $\frac{5}{8}$ үлесі ыдыраған. Демек,                             |

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

мұндағы  $N_0$  — бастапқы ядролар саны,  $N$  —  $t$  уақыт мезетінде ыдырамаған ядролар саны. Осы теңдіктерді пайдаланайық:

$$\frac{5}{8} = 1 - e^{-\lambda t}, \text{ бұдан } e^{-\lambda t} = \frac{3}{8}.$$

Теңдіктің екі жағын логарифмдесек,

$$-\lambda t = \ln \frac{3}{8}, \quad \lambda t = \ln \frac{8}{3}, \quad \lambda = \frac{\ln \frac{8}{3}}{t}.$$

Жартылай ыдырау периодының формуласын пайдаланып,

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2 \cdot t}{\ln \frac{8}{3}} = 600 \text{ с} = 10 \text{ мин} \text{ аламыз.}$$

*Жауабы: 10 мин.*



28-жаттығу

1. Бір тәулік ішінде массасы 1 г препараттағы полонийдің  $^{210}_{84}\text{Po}$  неше атомы ыдырайды?

*Жауабы:*  $\Delta N = 1,44 \cdot 10^{19}$  атом.

2. Бір секунд ішінде массасы 1 г висмуттан  $N = 4,58 \cdot 10^{15}$   $\beta$ -бөлшек ұшып шығатыны белгілі болса,  $^{210}_{83}\text{Bi}$  висмуттың жартылай ыдырау периодын анықтаңдар.

*Жауабы:*  $T = 5$  тәул.

3. Бастапқы радиоактивті ядролардың  $\frac{7}{8}$  үлесі 150 с ішінде ыдыраған. Элементтің жартылай ыдырау периодын анықтаңдар.

*Жауабы:*  $T = 50$  с.

4. Йод  $^{131}_{53}\text{I}$  изотопының жартылай ыдырау периоды 8 тәул-ке тең. Препараттың бастапқы массасы 40 г болса, 80 тәул-тен соң радиоактивті изотоптың қанша ядросы қалады?

*Жауабы:*  $1,8 \cdot 10^{20}$ .

5.  $^{137}_{55}\text{Cs}$  радиоактивтік цезий изотопының  $t = 20$  күн уақыт аралығында қанша атомы ыдырайтынын табыңдар. Цезийдің жартылай ыдырау периоды  $T_{1/2} = 30$  күн.

*Жауабы:*  $\Delta N = 1,6 \cdot 10^{18}$ .

- \*6. Ескі ағаш бұйымдардағы  $^{14}_6\text{C}$  көміртек изотопының активтігі жаңа ғана кесілген ағаштың активтігінің  $\frac{2}{3}$  бөлігіндей болады. Егер  $^{14}_6\text{C}$  атомдары ядроларының жартылай ыдырау периоды 5570 жыл болса, көне заттардың жасын мың жылға дейінгі дәлдікпен анықтаңдар.

*Жауабы:*  $\approx 3000$  жыл.

- \*7. Уран кеніндегі қорғасын уран тізбегіндегі ыдыраудың соңғы өнімі болып табылады, сондықтан кендегі уранның массасы қорғасынның массасына қатынасы арқылы кеннің жасын анықтауға болады. Егер кендегі  $^{238}_{92}\text{U}$  уранның  $m_{\text{ур}} = 1$  кг массасына  $^{206}_{82}\text{Pb}$  қорғасынның  $m_{\text{кор}} = 320$  г массасы келетін болса, уран кенінің  $t$  жасын табыңдар.

*Жауабы:*  $t = 3 \cdot 10^9$  жыл.

- \*8. Радиоактивті элементтері бар пайдалы қазбаларда өрқашан қорғасын кездеседі. Торийдің радиоактивті қатары қорғасынның изотопымен аяқталатыны белгілі ( $^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb}$ ). Торий кенінің жасы  $t \approx 4 \cdot 10^9$  жыл десек (Күн жүйесінің жасымен шамалас), массасы 1 кг торийден пайда болатын қорғасынның массасын есептеңдер.

*Жауабы:*  $m_2 = m_1 \frac{M_1}{M_2} \cdot 2^{-t/T_{1/2}} \approx 0,16$  кг.

- \*9. Археологиялық қазбалардың жасын олардың құрамындағы жартылай ыдырау периоды 5730 жылға тең радиоактивті көміртек арқылы анықтауға болады. Атмосферадағы көміртектің радиоактивтілігі бір грамм көміртекке  $A = 0,255$  Бк-ден келеді. Табылған нәрсеңіз құрамындағы 100 мг көміртектің сағатына 35 ыдырауы байқалса, қазбаның жасын анықтаңдар.

*Жауабы:*  $t = T \cdot \ln \left( \frac{\tau m_2 \cdot A}{m_1 \cdot N} \right) / \ln 2 = 65000$  жыл.

## § 59. Атом ядросы



### Тірек ұғымдар:

- ✓ ядроның заряды
- ✓ ядроның массасы
- ✓ массаның атомдық бірлігі
- ✓ салыстырмалы атомдық масса



### Бүгінгі сабақта:

- атом ядросының сипаттамасымен танысасыңдар;
- ядролық физикада қолданылатын өлшем бірліктерді білесіңдер.

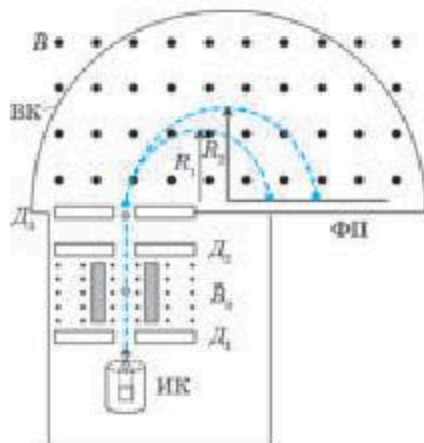
**Атом ядросының заряды.** Атом ядросының негізгі сипаттамаларының бірі оның электр заряды болып табылады. Атом ядросының зарядын алғаш рет 1913 жылы Г. Мозли өлшеген. Ал ядроның зарядын тікелей өлшеуді ағылшын физигі Дж. Чедвик 1920 жылы жүзеге асырды. Атом ядросының заряды элементар  $e$  электр зарядының Менделеев кестесіндегі химиялық элементтің  $Z$  реттік (атомдық) нөміріне көбейтіндісіне тең болады:

$$q = Z \cdot e. \quad (59.1)$$

Сонымен, Менделеев кестесіндегі химиялық элементтің реттік нөмірі кез келген элемент атомының ядросындағы оң зарядтардың санымен анықталады. Сондықтан элементтің  $Z$  реттік нөмірін *зарядтық сан* деп атайды.

**Атом ядросының массасы.** Атом ядросының физикалық қасиеттері оның зарядымен қатар, массасымен де анықталады. Ядроны сипаттайтын шамалардың ең маңыздыларының бірі — масса.

Ядролық физика иондар мен атом ядросының массасын көбінесе масс-спектрографтың көмегімен анықтайды. 59.1-суретте масс-спектрографтың сұлбасы келтірілген. Зерттелетін заттың атомдары иондық кезде (ИК) оң иондалып, әлсіз электр өрісінің әсерінен  $D_1$  диафрагма арқылы әртүрлі жылдамдықпен өтеді.  $D_1$  және  $D_2$  диафрагмалары арасында оң иондар электр өрісінде үдемелі қозғалады және осы мезетте оң иондарға индукциясы  $\vec{B}_0$  болатын магнит өрісі де әсер етеді. Осылайша үдетілген оң иондар оған бір-біріне перпендикуляр бағытталып әсер ететін  $\vec{E}_0$  электр және  $\vec{B}_0$  магнит өрістері арқылы сұрыпталып өтеді.  $D_2$  диафрагма арқылы бұрылмай өтуі үшін  $F_y = F_x$  не-



59.1-сурет



месе  $qE_0 = vqB_0$  шарты орындалуы керек. Бұл теңдеуден жылдамдықты анықтайық:

$$v = \frac{E_0}{B_0}. \quad (59.2)$$

Осы жылдамдыққа ие болған оң иондар біртекті  $\vec{B}$  магнит өрісінде орналасқан ВК вакуумдық камераға өтеді. Магнит өрісінің  $\vec{B}$  индукция векторы иондардың жылдамдық векторына перпендикуляр орналасқан. Магнит өрісінде қозғалған оң иондарға модуль  $F = qvB$  болатын Лоренц күші әсер етеді. Иондар осы күштің әсерінен шеңбер бойымен қозғалады. Жартылай шеңбер сыза отырып, массалары бірдей иондар ФП фотопластинаның әр жерінде тіркеледі.  $F_n = F_{\text{тр}}$  немесе  $M \cdot \frac{v^2}{R} = qvB$  болғандықтан, ионның массасын

$$M = \frac{qBR}{v} \quad (59.3)$$

өрнегі бойынша жоғары дәлдікпен анықтайды. Атом ядросының массасын  $M$  әрпімен белгілеу қабылданған.

**Ядролық физикадағы өлшем бірліктер.** Өлшем бірліктерінің Халықаралық бірліктер жүйесінде қолданылатын ұзындықтың, массаның және т.б. өздеріне таныс өлшем бірліктерімен қатар, ядролық физикада арнайы бірліктер қолданылады. Бұл қажеттілік ядролық процестердің субатомдық әлемде өтетінінен туындайды.

Мысалы, ядролық физикадағы ең үлкен қашықтық — атом радиусының өзі  $10^{-10}$  м-ге тең. Ұзындық бірлігі ретінде *фемтометр* алынады:  $1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ м}$ . Массаның бірлігі ретінде көміртегі  $^{12}_6\text{C}$  атомы массасының  $\frac{1}{12}$  бөлігі алынады, ол *массаның атомдық бірлігі* (м.а.б.) болып табылады:

$$1 \text{ м.а.б.} = 1,660546 \cdot 10^{-27} \text{ кг}, \quad 1 \text{ кг} = 6,023091 \cdot 10^{26} \text{ м.а.б.}$$

*Салыстырмалы атомдық масса*  $A_r = \frac{m_A}{1 \text{ м.а.б.}}$  атомның абсолюттік массасында неше атомдық бірлік бар екенін көрсетеді. Мысалы, сутек үшін  $A_r = 1,00783$ , көміртегі үшін  $A_r = 12,0$ , оттегі үшін  $A_r = 15,99482$ .

Ядролық физикада энергияны электронвольтпен өлшейді:  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

Еселік мәндер де қолданылады:  $1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ}$ ;  $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ;  $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$ .

Көбінесе элементар бөлшектердің массаларын массаның атомдық бірлігімен қатар, энергияның өлшем бірлігін МэВ немесе ГэВ-пен де өлшейді. Сондықтан массаның атомдық бірлігіне сәйкес болатын энергияның эквивалентін анықтайық. Масса мен энергияның өзара байланыста болатыны Эйнштейннің  $E_0 = m_0 c^2$  формуласынан белгілі.

Тыныштықтағы бөлшектің массасы  $m_0 = 1$  м.а.б.

Сонда  $E_0 = 1,660546 \cdot 10^{-27} \cdot (2,99792458 \cdot 10^8)^2 = 1,49242 \cdot 10^{-10}$  Дж = 931,49432 МэВ  $\approx$  931,5 МэВ болады. Олай болса, 1 м.а.б.-не энергияның 931,5 МэВ шамасы сәйкес келеді. Мысалы, электрон массасының энергиялық эквиваленті  $m_e \approx 0,511$  МэВ.

Атомдағы электрондар массасы ядроның массасымен салыстырғанда өте аз, оны ескермеуге болады. Сондықтан массаның атомдық бірлігімен алынған және атом массасына ең жақын бүтін санды *массалық сан* деп атайды. Оны  $A$  әрпімен белгілейді. Ол жоғары дәлдікті қажет етпейтін есептеулерде, әсіресе массалардың қатынасы кіретін өрнектерде ядро массасының шамасы ретінде қолданылады. Мысалы, гелий атомының массасы  $M_{He} = 4,0026$  м.а.б. болса, массалық саны  $A = 4$  болады.

**Атом ядросының пішіні мен өлшемі.** Көптеген эксперименттік зерттеулер атом ядросының пішіні сфера тәрізді болатынын көрсетті. Атом ядросының радиусын мына формула бойынша жуықтап анықтауға болады:

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}, \quad (59.4)$$

мұндағы  $R_0 = 1,25 \cdot 10^{-15}$  м,  $A$  — массалық сан. Ал ядро радиусының оның массалық санының кубтық түбіріне пропорционалдығынан ядролық заттың орташа тығыздығы үшін

$$\rho = \frac{M_j}{V} = \frac{M_j}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad (59.5)$$

шығады, мұндағы  $M_j$  — ядроның массасы. Есептеулер жуықтап алғанда ядролық заттың орташа тығыздығы  $\rho \approx 2,7 \cdot 10^{17} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  екенін көрсетті. Заттың осындай тығыздығы ғарыштағы нейтрондық жұлдыздар-пульсарларға да тән көрінеді.



1. Периодтық жүйедегі элементтің реттік нөмірі оның ядросының зарядымен қалай байланысқан?
2. Неліктен ядроның заряды атомның химиялық қасиеттерін анықтайды?
3. Ядролық физикада қосымша қандай өлшем бірліктер қолданылады?
4. Масс-спектрограф қандай мақсатта қолданылады? Құрылысы мен жұмыс істеу принципі қандай?
5. Массалық сан дегеніміз не?
6. Атом ядросының радиусын қалай есептейді?
7. Ядролық заттың орташа тығыздығы қандай?
8. Атом мен атом ядросының өлшемі қандай?



### 29-жаттығу

- $^{79}_{35}\text{Br}$  бром атомының радиусы оның ядросының радиусынан қанша есе үлкен?  $R_{\text{ядром}} = 114 \text{ пм}$ .

Жауабы:  $\approx 20,47 \cdot 10^3$ .

- $^{235}_{92}\text{U}$  уран атом ядросының радиусын анықтаңдар.

Жауабы:  $8,03 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ .

- Массасы 133 м.а.б. болатын цезийдің бірзарядты ионы кернеуі 2000 В электр өрісінде үдетілгеннен кейін масс-спектрографтың біртекті магнит өрісінде қозғалады. Магнит өрісінің индукциясы 0,25 Тл болса, ион қозғалатын шеңбердің радиусын есептеңдер.

Жауабы: 29,6 см.

## § 60. Ядроның нуклондық моделі



### Тірек ұғымдар:

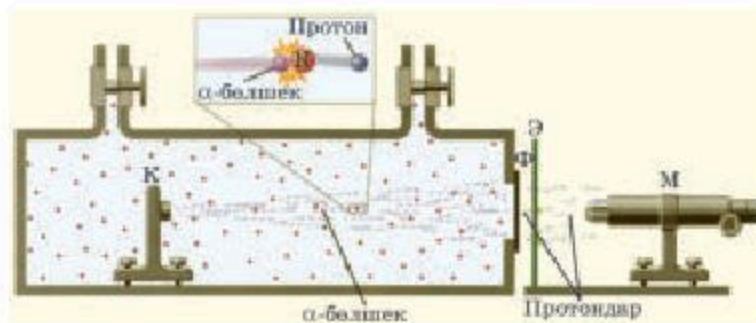
- ✓ протон
- ✓ нейтрон
- ✓ массалық сан
- ✓ нуклондар
- ✓ нуклидтер
- ✓ изотоптар
- ✓ изобаралар

### Бүгінгі сабақта:

- ядроның протон-нейтрондық моделін білесіңдер;
- изотоптармен танысасыңдар.

**Протонның ашылуы.** Атом ядросы ашылғаннан кейін оның құрылымы қандай деген мәселе қойылды. 1919 жылы Э. Резерфорд  $\alpha$ -бөлшектермен жасаған тәжірибелерін жалғастыра отырып, ядроның құрамына кіретін бірінші бөлшекті ашты.

Жабық ыдыс ішінде  $\alpha$ -бөлшекті шығарушы элемент Ra радий және мырыш сульфидімен қапталған мөлдір Э экран бар (60.1-сурет). Жабық ыдыстан ауа сорылып шығарылған.  $\alpha$ -бөлшектер экранға соқтығысып, жарқылдар туғызған. Ол жарқылдарды М микроскоп



60.1-сурет



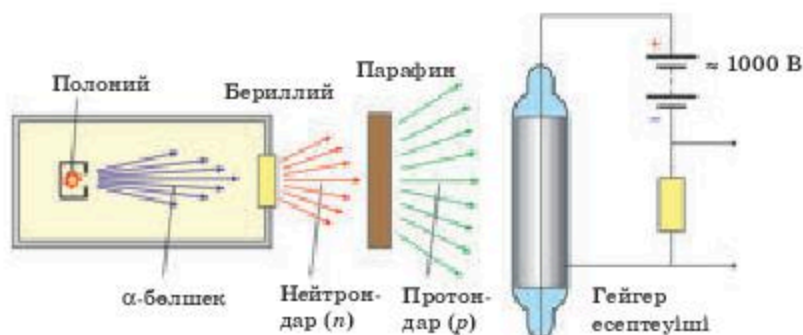
арқылы бақылаған. Келесі экспериментте ыдысты азот газымен толтырады. Енді  $\alpha$ -бөлшектер өзінің энергиясын азоттың атомдарын иондауға және оларды қоздыруға жұмсап, экранға жете алмайды. Дегенмен сирек болса да экранда жарқылдар байқалған. Иондану кезінде пайда болатын электрондар ондай жарқылдарды туғыза алмайды. Ендеше,  $\alpha$ -бөлшек азот атомымен соқтығысқанда оның ядросынан белгісіз бір зарядталған бөлшекті ұшырып шығарған. Магнит және электр өрістерінің осы белгісіз бөлшектерге әсерлерін зерттеу нәтижелері оның оң электр заряды бар бөлшек екенін көрсетті және осы бөлшектің массасы сутек атомы ядросының массасына тең болып шыққан. Осы тәжірибе басқа заттармен (фтор, натрий, бор, алюминий және т.с.с.) қайталанды. Оларды  $\alpha$ -бөлшектермен атқылағанда әр кезде сутек атомының ядросы ұшып шығады. Бұл ядро құрамына сутек атомы ядросының кіретінін дәлелдейді. Осы сутек атомының ядросы *протон* (грек. *protos* — бірінші) деп аталды.

Протон оң зарядталған және оның заряды электронның элементар зарядына ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл) тең. Протонның массасы:

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00728 \text{ м.а.б. Энергиялық эквиваленті: } m_p = 938,27 \text{ МэВ.}$$

Протонның ашылуы алғашқыда атом ядросының протон-электрондық моделін ұсынуға мүмкіндік берді. Бірақ тәжірибелер мен есептеулер атом ядросының протон мен электроннан ғана құрылуы мүмкін емес екенін дәлелдеді.

**Нейтронның ашылуы.** Ядроның құрамына кіретін тағы бір бөлшекті ашуға талпынғандар — неміс ғалымдары В. Боте мен Г. Беккер. Олар 1930 жылы жасаған тәжірибелерінде литий мен бериллийді  $\alpha$ -бөлшектермен атқылағанда протонның орнына өте нашар жұтылатын бөлшектер ұшып шығатынын байқайды. Бұл бөлшектер қалыңдығы 20 см болатын қорғасын қабатынан өтіп кеткен. Осы мәселемен француз ғалымдары Ирен және Фредерик Жолио-Кюрилер де айналысқан. Олар бериллийді  $\alpha$ -бөлшектермен атқылағанда пайда болатын сәуле жолына



60.2-сурет

парафин пластинасын қойғанда 61.2-суретте көрсетілгендей сутекке қаныққан парафиннен протондар ұшып шығады деп болжам жасайды. Ағылшын ғалымы Дж. Чедвик осы жылы бериллийді  $\alpha$ -бөлшектермен атқылағанда одан бөлінетін табиғаты белгісіз сәуленің қасиеттерін зерттеу жұмыстарын жүргізеді.

Энергияның және импульстің сақталу заңдарына сүйене отырып жүргізілген есептеулер нәтижесінде белгісіз бөлшектің массасын анықтайды. Чедвик бұл сәуленің электрлік бейтарап бөлшектер ағыны екенін дәлелдеген. Белгісіз бөлшектің массасы жуықтап алғанда протонның массасына тең болып шыққан. Атом ядросының құрамында протон сияқты ауыр, бірақ бейтарап бөлшектің бар болуы мүмкін деген батыл болжамды 1920 жылы Э. Резерфорд айтқан және оны нейтрон деп атауды ұсынған еді. Сонымен, жаңа бөлшек *нейтрон* деп аталды. Нейтронның электр заряды нөлге тең, сол себепті оның зат арқылы өтетін өтімділік қабілеті өте жоғары. Қазіргі дәл өлшеулер бойынша нейтронның массасы  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$  кг = 1,00866 м.а.б. = 939,56 МэВ-қа тең.

Нейтрон  ${}^1_0n$  символы арқылы белгіленеді, электр заряды жоқ, ал салыстырмалы атомдық массасы бірге жуық. Мына жағдайды айта кету керек, нейтронның массасы протонның массасынан 2,5 электрон массасына артық. Ұзақ уақыт бойы ауада да, жерде де нейтрон еркін күйінде кездеспеген. Тек 1950 жылы ғана осы құбылыстың сыры ашылды. Нейтрон тұрақты бөлшек емес. Ядродан бөлініп шыққан нейтрон 14 мин-тай уақыт аралығында протонға, электрон және тыныштық массасы жоқ бөлшек *антинейтриноға* өздігінен ыдырайды. Бұл туралы келесі тақырыптарда кеңірек тоқталамыз.

**Атом ядросының құрамы.** 1932 жылы нейтрон ашылғаннан соң орыс ғалымы Д. Д. Иваненко мен неміс ғалымы В. Гейзенберг ядроның *протон-нейтрондық* моделі туралы болжам ұсынды. Қазіргі кезде атом ядросының протон-нейтрондық құрамы зерттеулер негізінде дәлелденген және ғылыми қабылданған даусыз ақиқат болып табылады. Қалыпты жағдайда атом электрлік бейтарап болатындықтан, протонның заряды модулі бойынша электронның зарядына, яғни ядродағы протондардың саны атом қабықшасындағы электрондардың санына тең. Олай болса, протондар саны зарядтық санға ( $Z$ ) тең болуы керек. Ядроның құрамына кіретін оң зарядты протон мен электрлік бейтарап нейтрондардың жалпы санын *нуклондар* деп атау келісілген (лат. *nukluis* — ядро). Ядродағы нуклондардың жалпы саны *A массалық сан* деп аталады:

$$A = Z + N. \quad (60.1)$$

Осы өрнектен ядроның құрамына кіретін  $N$  нейтрондар санын анықтауға болады:  $N = A - Z$ .



Ядроның құрамын сипаттау үшін оның Менделеев кестесіндегі атомдық нөмірі  $Z$  пен массалық сан  $A$  қолданылады. Атомдағы электрондардың массасы ядро массасына қарағанда ескермеуге болатындай анағұрлым аз. Сондықтан атом ядросының массалық саны  $A$  бүтін санға дейін жуық дәлдікпен алынған химиялық элементтің салыстырмалы атомдық массасына тең. Атомдық реттік нөмірі  $Z$ , ал массалық саны  $A$  болатын химиялық элементтің ядросын  ${}^A_ZX$  деп белгілейді. Мысалы,  ${}^{12}_6C$  деген белгілеу — атомдық нөмірі  $Z = 6$ , массалық саны  $A = 12$  болатын көміртек атомы ядросының белгісі.

Протонды  ${}^1_1p$ , ал нейтронды  ${}^1_0n$  түрінде белгілейді. Протон сутек атомының ядросы болғандықтан, оны кейде  ${}^1_1H$  деп те белгілеуге болады. *Атом ядросы* деген терминнің орнына оның баламасы ретінде *нуклидтер* деген термин де кеңінен қолданылады.

**Изотоптар.** Атом ядроларының массаларын дәл өлшеу химиялық элементтердің басым көпшілігінде зарядтық сандары бірдей, бірақ массалары әртүрлі атомдардың бар екенін көрсетті. *Ядролық зарядтары (реттік нөмірлері  $Z$ ) бірдей, ал массалық сандары  $A$  әртүрлі элементтердің атомдарын изотоптар* (грек. *isoz* — бірдей және *topos* — орын) деп атайды. Мысалы, табиғатта реттік нөмірі  $Z = 18$ -ге тең аргонның ядросы құрамында  $N = 18; 20; 22$  нейтрондары бар үш  ${}^{36}_{18}Ar, {}^{36}_{18}Ar, {}^{40}_{18}Ar$  изотоптары кездеседі. Атом қабықшасындағы электрондарының сандары бірдей болғандықтан, изотоптардың химиялық қасиеттері де бірдей. Ал ядроның массалары әртүрлі, сондықтан изотоптардың физикалық қасиеттерінде айырмашылық бар.

Табиғаттағы ең ауыр элементтің бірі уран  ${}^{238}_{92}U, {}^{235}_{92}U, {}^{234}_{92}U$  түрінде кездеседі. Ең жеңіл элемент сутекте үш изотоп —  ${}^1_1H, {}^2_1H$  және  ${}^3_1H$  бар. Сутектің жеңіл изотопы  ${}^1_1H$  — *протий*, ал  ${}^2_1H$  изотопының *дейтерий* деп аталатынын 9-сыныптың физика курсынан білесіңдер. Дейтерийдің табиғи сутектің құрамындағы үлесі  $0,015\%$ . Ол оттектен қосылғанда ауыр су түзіледі. Сутектің үшінші  ${}^3_1H$  изотопын *тритий* деп атайды және ол табиғатта кездеспейді.

*Массалық сандары  $A$  бірдей, зарядтық сандары  $Z$  әртүрлі нуклидтерді изобаралар (бірдей ауыр деген сөз) деп атайды.*

Қазіргі кезде химиялық элементтердің бәрінің де изотоптары бар екені белгілі.



1. Протон қалай ашылды?
2. Чедвик тәжірибелерінің мақсаты қандай?
3. Массалық сан дегеніміз не?
4. Табиғатта еркін нейтрондар неліктен аз кездеседі?
5. Нуклондар және нуклидтер дегеніміз не?
6. Химиялық элемент изотоптарындағы негізгі айырмашылық неде?
7. Изобаралар деп нені айтады?





### 30-жаттығу

1. Бериллий, кремний және бром атомдарындағы ядролардың құрамын анықтаңдар.
2. Атомының ядросында 7 протон және 7 нейтрон, 51 протон және 71 нейтрон, 101 протон және 155 нейтрон болатын химиялық элементті табыңдар.
3.  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$  изотоптарындағы протондарды нейтрондармен, ал нейтрондарды протондармен алмастырсақ, онда қандай элементтердің ядролары пайда болар еді?

*Жауабы:*  $\text{H}_1^3$ ,  ${}^3_3\text{Li}$ ,  ${}^{16}_{10}\text{Ne}$ .

4. Мына бейтарап атомдарда қанша электрон, протон, нейтрон және нуклон бар: а)  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ ,  ${}^{26}_{12}\text{Mg}$ ; ө)  ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ; б)  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ? Өрбір топты не біріктіріп тұр?

*Жауабы:* а) Изотоптар; ө) изобаралар.

## § 61. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы



### Тірек ұғымдар:

- ✓ ядролық күштер
- ✓ байланыс энергиясы
- ✓ массалар ақауы
- ✓ киелі сандар

### Бүгінгі сабақта:

- атомдық ядроның байланыс энергиясын есептеуді және меншікті байланыс энергиясының ядроның массалық санына графикалық тәуелділігін білесіңдер.

**Ядролық күштер.** Әлемдегі іргелі өсерлесу күштерінің екі түрімен — гравитациялық және электромагниттік күштермен танысыз. Сендер 9-сыныпта атом ядросын құрайтын нуклондардың арасындағы өзара өсерлесу күші жөнінде алғашқы мағлұматты алғансыңдар. Шындығында,  ${}^{238}_{92}\text{U}$  атом ядросындағы аттас оң зарядталған протондардың арасында  $F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$  қуатты электростатикалық тебіліс күші бар екені белгілі. Ауыр элементтердің ядроларында, мысалы, уранда 92 протон бар, олардың өзара тебілу күші бірнеше мыңдаған ньютонға жетеді. Сонда бір-бірінен тебілетін протондарды, электр заряды нөлге тең нейтрондарды ядрода ұстап тұрған қандай күш?

Массаларына байланысты протондар мен нейтрондарды ұстап тұрған гравитациялық күш  $F_g = G_1 \frac{m_p \cdot m_n}{r^2}$  шығар деген пайымдау жасауға болар еді. Алайда жүргізілген есептеулер ядродағы екі протонның арасындағы гравитациялық тартылыс күші олардың арасындағы электростатикалық кулондық тебіліс күшінен кіші екенін көрсетті:

$$\frac{F_g}{F_{э.л}} = \frac{1}{10^{36}}.$$

Атом ядроларының тұрақтылығы ядролардың ішінде осы күнге дейін белгілі күштерден табиғаты мүлдем ерекше аса зор тартылыс күшінің бар екенін дәлелдейді.

*Ядродағы нуклондарды ыдырап кетуден сақтап, оның берік байланысын қамтамасыз ететін күштер ядролық күштер* деп аталады. Қазіргі кезде тәжірибелер негізінде ядролық күштердің қасиеттері жақсы зерттелген. Олардың ішіндегі ең маңыздыларына назар аударайық.

1. Мысалы, протонның центрінен  $r = 10^{-15}$  м қашықтықта ядролық күштер кулондық күштен 35 есе, ал гравитациялық күштен  $10^{38}$  есе қуатты болады. Сол себепті ядролық күштер *күшті әсерлесу* деп аталатын өлемдегі өзгеше іргелі өзара әсерлесу күштері болып табылады.

2. Ядролық күштер — қысқа қашықтықта ғана әсер ететін күштер. Арақашықтықтың артуына байланысты ядролық күштер өте шапшаң кемиді. Әсер ету аймағының шегі  $r > 3 \cdot 10^{-15}$  м-ден үлкен жағдайда ядролық күштің әсерін ескермесе де болады. Нуклондардың арасындағы тартылыс күшінің ең үлкен мәні  $r = 1,41 \cdot 10^{-15}$  м қашықтықта байқалады. Ал қашықтық  $r < 0,5 \cdot 10^{-15}$  м болғанда нуклондардың арасында ғаламат тебіліс күші пайда болады. Сонымен, ядролық күштер тартылыс күштері болып табылады.

3. Тәжірибелерден протон-нейтрон, нейтрон-нейтрон және протон-протон жұптарының арасындағы ядролық тартылыс күштері барлық жағдайда да бірдей болатыны анықталды. Олай болса, ядролық күштер нуклондардың электр зарядының бар-жоғына тәуелсіз әсер етеді.

4. Ядролық күштердің қаныққыштық қасиеті бар, ол нуклонның ядродағы барлық нуклондармен емес, тек өзіне жақын көршілерімен ғана әсерлесетінін көрсетеді.

5. Ядролық күштер кулондық сияқты центрлік күштер қатарына жатпайды. Ядролық күштер немесе күшті әсерлесу — атом ядросындағы ең үлкен қарқынмен өтетін құбылыстарды басқаратын күштер. Олар элементар деп аталатын бөлшектер арасында күшті байланысты туғызады. Тек күшті әсерлесу ғана атом ядросындағы протондар мен нейтрондарды біріктіріп, берік ұстап тұр. Жердегі барлық заттардың ядроларының тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Ядролық әсерлесу күштерінің осы және басқа қасиеттерін түсіндіру үшін оның теориясы қажет. Ядролық әсерлесудің күрделілігінен осы кезге дейін ядролық күштердің тиянақты теориясы жасалмаған.

**Нуклондардың ядродағы байланыс энергиясы.** Ядроның заряды оның құрамына кіретін протондар зарядтарының қосындысына тең екені өлшеулер арқылы анықталған. “Нуклондар массаларының қосындысы атом ядросының массасына тең бе?” деген сұрақ туады. Масс-спектрограф көмегімен жүргізілген өте дәл өлшеулер кез келген химиялық элементтің тыныштықтағы атомы ядросының масса-



сы оны құрайтын дербес протондар мен нейтрондар массаларының қосындысынан аз екенін көрсетті:

$$M_n < Z \cdot m_p + N \cdot m_n. \quad (61.1)$$

Сонда массалардың айырымы қайда кетті? Оның жауабын масса мен энергияның өзара байланысын тағайындаған Эйнштейннің  $E = mc^2$  формуласы негізінде беруге болады. Атом ядросынан бір нуклонды бөліп алу үшін оны ұстап тұрған ядролық күшке қарсы жұмыс атқарылуы, яғни ядроға белгілі мөлшерде энергия берілуі қажет. *Атом ядросын түгелімен жеке нуклондарға ыдырату үшін қажетті минимал энергияны ядроның байланыс энергиясы* деп атайды.

Энергияның сақталу заңы бойынша дәл осындай энергия дербес протондар мен нейтрондар ядроға біріккенде бөлініп шығады. *Ядролық тарту күшінің жұмысы есебінен нуклондардан атом ядросы түзілгенде пайда болатын массалар айырымын массалар ақауы* деп атайды. Массалар ақауын есептеу формуласын жазайық:

$$\Delta M = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_n.$$

Енді ядроның байланыс энергиясын есептеп шығаруға болады:

$$E_6 = \Delta M \cdot c^2 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_n) \cdot c^2. \quad (61.2)$$

Ядролық физикада массаның атомдық бірлігі (1 м.а.б.), ал энергия үшін мегаэлектронвольт (МэВ) қолданылатынын ескеріп, (61.2) формуланы осы бірліктер үшін бейімдеп жазайық:

$$E_6 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_n) \cdot 931,5 \text{ МэВ}.$$

Сонымен, дербес нуклондардан ядро түзілгенде ядроның  $E_6$  байланыс энергиясына тең энергия бөлініп шығады. Энергияның бөлініп шығуы ядро массасының массалар ақауы деп аталатын шамаға кемуіне өкеледі:

$$\Delta M = \frac{E_6}{c^2}.$$

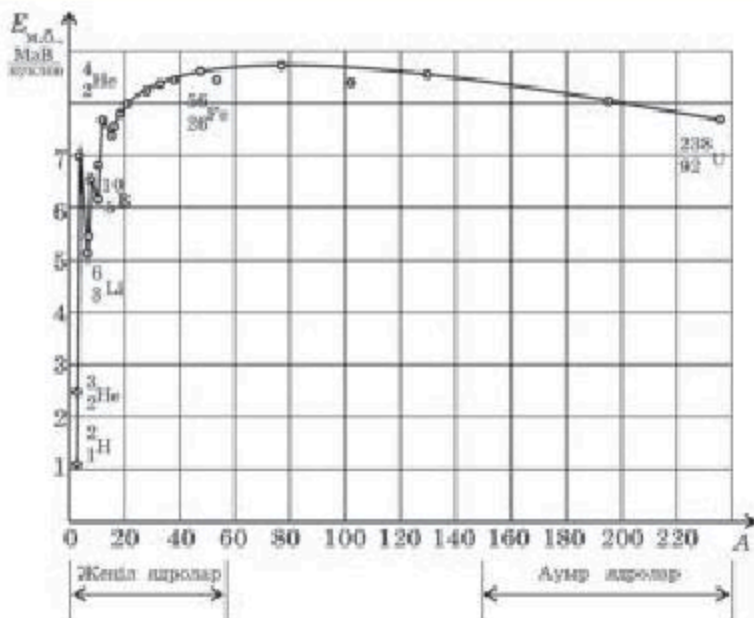
Ядроның байланыс энергиясы ядроның тұрақтылығын сипаттайтын аса маңызды шама болып есептеледі. Сонымен қатар ядролық физикада *меншікті байланыс энергиясы* деген ұғым қолданылады.

*Меншікті байланыс энергиясы деп ядроның байланыс энергиясының А массалық санға қатынасын, яғни бір нуклонға сәйкес келетін байланыс энергиясын айтады:*

$$E_{\text{м.б.}} = \frac{E_6}{A}. \quad (61.3)$$

Нуклондардың меншікті байланыс энергиясы түрлі атом ядроларында бірдей емес. Ядродағы *нуклондардың меншікті байланыс энергиясының массалық А санға тәуелділігі* 61.1-суретте көрсетілген. Массалық А санының артуына байланысты меншікті байланыс энер-





61.1-сурет

гиясы  ${}^2_1\text{H}$  дейтерийдің ядросында  $1,1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  мөнінен темірдің  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  изотопы үшін  $8,8 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  мөніне дейін арта бастайды. *Меншікті байланыс энергиясы максимал болатын элементтердің ядролары ең тұрақты* ядролар болып келеді. Енді массалық сан  $A$  артқанмен, меншікті байланыс энергиясы кемуі береді, мысалы, уранның  ${}^{238}_{92}\text{U}$  изотопында

$$E_{m.b.} = 7,6 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

Протондар санының артуына байланысты ауыр элементтердің ядроларындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы кемиді. Соның өсерінен олардың арасында кулондық тебілу күштерінің шамасы өседі.

Ядродағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы атомдағы электрондардың байланыс энергиясынан жүз мыңдаған есе артық.

Жеңіл элементтердің меншікті байланыс энергиясының кемуі беттік құбылыстармен байланысты. Ядроның бетіне жақын орналасқан нуклондардың ядроның ішіндегі нуклондарға қарағанда өзара өсерлесетін көршілерінің саны азырақ болады. Өйткені ядролық күштер қысқа қашықтықта ғана өсер етеді. Сондықтан ядроның ішіндегі нуклондармен салыстырғанда ядроның бетіндегі нуклондардың байланыс энергиясы аз. Ядро кіші болған сайын нуклондардың көпшілігі ядро бетіне жақын орналасады. Сол себепті жеңіл ядролардың меншікті байланыс энергиясы аз.

Протондар санының өсуі кулондық тебілу күшінің артуына әкеледі, нәтижесінде ауыр элементтер ( $Z > 82$ ) ядроларының меншікті байланыс энергиясы кемиді. Олай болса, ауыр элементтер ядросы тұрақсыздау болып келеді. Кулондық күштер ядроны ыдыратуға тырысады. *Табиғатта жиі кездесетін және ядродағы протондардың немесе нейтрондардың саны киелі сандар* деп аталатын 2, 8, 20, 24, 50, 82, 126 сандарына тең ядролар тұрақты болып келеді. Ал егер протондардың да, нейтрондардың да сандары киелі сандарға тең болса, онда *қосарланған киелі санды ядро* аса тұрақты болады. Табиғатта ондай бес ядро бар:  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{48}_{24}\text{Ca}$ ,  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ .

Киелі ядролардың тұрақты болып келуін ядроның қабықтық моделі негізінде түсіндіруге болады.



1. Атом ядросында нуклондарды қандай күш ұстап тұр?
2. Ядролық күштердің басты ерекшеліктері қандай?
3. Массалар ақауы дегеніміз не?
4. Ядроның байланыс энергиясы нені сипаттайды?
5. Меншікті байланыс энергиясының мәнін қалай түсінесіңдер?
6. Не себепті мырыштың ядросы уранның ядросына қарағанда тұрақты болып келеді?



### 31-жаттығу

1. Массалар ақауын есептейтін  $\Delta M = Zm_p + (A - Z)m_n - M_x$  және  $\Delta M = ZM_H + (A - Z) \cdot m_n - M_x$  (мұндағы  $M_x$  — ядроның массасы,  $M_a$  — атомның массасы) формулаларының баламалы екенін дәлелдеңдер.
2. Бор  ${}^{11}_3\text{B}$  ядросының массалар ақауын килограммен және массаның атомдық бірлігімен есептеңдер.  
*Жауабы: 0,08181 м.а.б.,  $1,358 \cdot 10^{-28}$  кг.*
3.  ${}^4_2\text{He}$  гелий ядросының байланыс энергиясын табыңдар.  
*Жауабы: 28,3 МэВ.*
4.  ${}^7_3\text{Li}$  литий ядросының байланыс энергиясын есептеңдер.  
*Жауабы: 39,3 МэВ.*
5.  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  кальций ядросын протондарға және нейтрондарға ыдырату үшін қандай минимал жұмыс істеу қажет?  
*Жауабы: 342 МэВ.*
6.  ${}^7_3\text{Li}$  литий ядросындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясын есептеңдер.  
*Жауабы: 5,33 МэВ/нуклон.*
7. Темір  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  ядросындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясын анықтаңдар.  
*Жауабы: 10,3 МэВ/нуклон.*

8. Уран  ${}_{92}^{238}\text{U}$  нуклидіндегі нуклондардың меншікті байланыс энергиясын есептеңдер.

Жауабы: 7,68 МэВ/нуклон.

9.  ${}^2_1\text{H}$  дейтерийдің байланыс энергиясы 2,23 МэВ. Ядроның массасы және бейтарап атомның массасын анықтаңдар.

Жауабы: 2,01356 м.а.б.; 2,01411 м.а.б.

10. Бериллийдің бір изотопы ядросының байланыс энергиясы  ${}^9_4\text{Be}$  оның изотопы ядросының байланыс энергиясынан  $\Delta E_g = 38,6$  МэВ-қа артық, ал олардың атомдары массаларының айырымы  $\Delta M = 5,00188$  м.а.б. Бериллийдің белгісіз изотопын табыңдар.

Жауабы:  ${}^{14}_4\text{Be}$

11. Егер көміртектің  ${}^{15}_6\text{C}$  және  ${}^{12}_6\text{C}$  изотоптары атомдары массаларының айырымы 3,0106 м.а.б. болса,  ${}^{15}_6\text{C}$  изотоп ядросының байланыс энергиясы  ${}^{12}_6\text{C}$  изотоп ядросының байланыс энергиясынан қанша артық болады?

Жауабы: 14,6 МэВ.

## § 62. Иондаушы сәулелерді тіркеу әдістері

Иондаушы бөлшектер мен  $\gamma$ -кванттарды тіркеудің негізгі әдісі олардың затпен өзара әсерлесуіне, атомдарды қоздыру мен иондауына негізделген.

**Фотоэмульсия әдісі.** Уран тұздарынан өздігінен ұшып шығатын  $\alpha$ -бөлшектердің фотопластинаның фотоэмульсиясын иондауын зерттеу нәтижесінде 1886 жылы Беккерель табиғи радиоактивтікті ашты. Әрине, өздерің фотоаппаратта қолданатын фотоқабықша бұл мақсат үшін жарамсыз. Оның фотоэмульсия қабаты 10—20 мкм ғана.

Шапшаң қозғалатын зарядталған бөлшектерді тіркеу үшін қалыңдығы 0,5—1 мм фотоэмульсия қабаты бар фотопластиналар пайдаланылады. Фотоэмульсия қабатында бромды күмістің орасан көп мөлшерде өте ұсақ кристалдары бар. Энергиясы үлкен зарядталған бөлшек фотоэмульсия қабатынан бром атомын иондау арқылы өткенде өзінің қозғалыс траекториясының бойында кескіннің жасырын



62.1-сурет

центрлерін туғызады. Айқындағаннан соң кристалдардағы металл күміс қайта қалпына келеді, алғашқы бөлшек пен ядролық әсерлесу нәтижесінде пайда болған зарядталған бөлшектер траекторияның бойында күміс дәнінің тізбекшесі — *бөлшектер трегін* (ағылш. *track* — із, жол) түзеді (62.1-сурет). Фотосуреттегі тректің

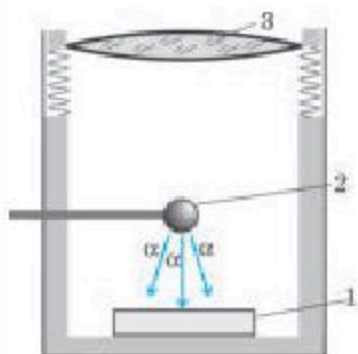


жуандығы мен ұзындығына қарап бөлшектің энергиясын, массасы мен зарядын анықтауға болады. Бөлшектер әсерлерін үздіксіз тіркеп, мағлұматтарды жинап отыруы фотоэмульсия әдісінің артықшылығы болып табылады.

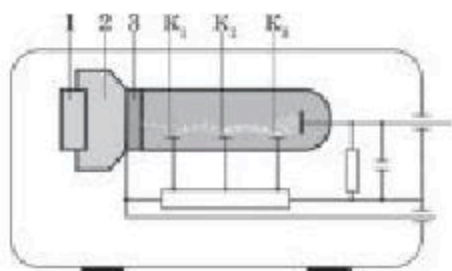
**Сцинтилляциялық санағыш.** Энергиясы жоғары, шапшаң қозғалатын зарядталған бөлшектердің люминесценттік кристалға (NaI, ZnS және т.б.) соғылғанда заттың қас қағым уақытта жарқ етіп жарық шығаруын, яғни *сцинтилляция* деп аталатын құбылысты тудырады. Міне, осы жарықтануларды санау арқылы сол затпен әсерлескен зарядталған бөлшектердің санын есептейді. Жекелеген  $\alpha$ -бөлшектерді тіркейтін қарапайым құрылғыны *спинтарископ* дейді. Оның құрылысы 62.2-суретте көрсетілген. Альфа-радиоактивті препарат істіктің ұшында орналасқан. Оған таяу жерде мырыш сульфидімен қапталған экран 1 бар. Препараттан ұшып шығатын  $\alpha$ -бөлшектер мырыш сульфидінің кристалына соғылғанда жарықтың жарқылын туғызады, оны қысқа фокусты окуляр 3 арқылы бақылауға болады. Қазіргі кезде сцинтилляцияны санау үшін аса сезімтал фотоэлементтер — фотоэлектрлік көбейткіштер қолданылады. Сондай сцинтилляциялық санағыштың сызбасы 62.3-суретте берілген.

$\beta$ -бөлшектер мен  $\gamma$ -кванттардың әсерінен болатын сцинтилляцияны  $\alpha$ -бөлшектер сияқты көзбен бақылау мүмкін емес, сондықтан фотоэлектронды көбейткіш пайдаланады.

Люминесцентті экран 1 жарықжетекші 2 арқылы фотоэлектронды көбейткіштің катодына 3 қосылған. Зарядталған бөлшек немесе  $\gamma$ -квант сцинтилляциялық кристалға түскенде жарықтануды тудырады. Жарықжетекші бойымен фотокатодқа әсер ететін фотондар оның бетінен, фотоэлектрондық эмиссия нәтижесінде электрондарды ыршытып шығарады. Енді фотоэлектрон кернеу көзіне қосылған  $K_1$  катодқа келіп соғылады да, катодтан екінші реттік электрондарды жұлып алады. Электр өрісінің әсерінен үдемелі қозғалған электрондар



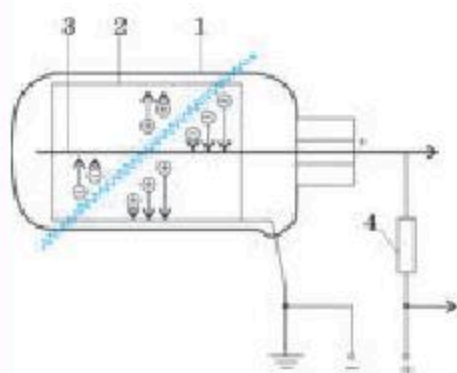
62.2-сурет



62.3-сурет

$K_2$  катодқа соғылып, тағы электрондарды жұлып шығарады. Екінші реттік электрондар саны шапшаң тасқындай көбейіп, электр тогының импульсі пайда болады. Ол күшейтіледі және тіркеледі. Электр импульсінің амплитудасын зерттей отырып, түскен сәулелердің энергетикалық спектрін зерттейді.

**Гейгердің газразрядты санағышы.** Неміс ғалымдары Х. Гейгер мен Э. Мюллер ойлап тапқан газразрядты санағышы  $\alpha$ -бөлшектер мен  $\beta$ -бөлшектерді және энергиясы жоғары  $\gamma$ -кванттарды тіркеу үшін қолданылады. Гейгер—Мюллер санағышы (62.4-сурет) ішкі беті металмен қапталған 2 (катод) жабық шыны түтіктен 1 және түтіктің осін бойлай тартылған жіңішке металл қылдан 3 (анод) тұрады. Түтіктің жұмыстық көлемі 100—200 мм.сын.бағ. дейін сиретілген газ қоспасымен, көбінесе метил спирті және аргонның қоспасымен толтырылған. Катод пен анодтың арасында тұрақты жоғары кернеу бар. Санағыштың жұмыс істеу принципі бөлшектердің газ атомдарымен соқтығысып, оны иондауға негізделген. Ұшып келе жатқан зарядталған бөлшек газ атомының электронын жұлып алады да, оң иондар мен еркін электрондарды туғызады. Электр өрісінің әсерінен еркін электрондар анодқа, оң иондар катодқа қарай үдемелі қозғалады. Анодтың маңында электр өрісінің кернеулігі жоғары болғандықтан, электрондар бейтарап атомдармен соқтығысқанда оларды иондай алатын энергияға дейін үдетіледі. Иондар мен электрондар тасқыны пайда болып, санағышта ток импульсі кенет артады. Резисторға 4 түскен кернеу импульсі күшейткіш арқылы тіркегіш құралға беріледі. Ол тырсылдаған дыбыс түрінде естіледі немесе электронды-есептегіш құралдармен тіркелген бөлшектердің санын білуге болады. Бөлшекті тіркеген мезетте тасқындық разряд өшеді, себебі резистордың кедергісі  $10^8 - 10^9$  Ом болғандықтан, кернеудің түсуі үлкен болады. Сол себепті катод пен анодтың арасындағы кернеу кемиді де, газдардың иондану процесі тыйылады. Ток импульсі өшкеннен кейін қайтадан катод пен анодтың арасындағы кернеу артады. Санағыш келесі бөлшекті



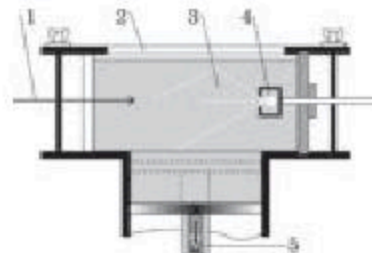
62.4-сурет

тіркеуге автоматты түрде дайын тұрады. Иондаушы қабілеті төмен болғандықтан, Гейгер санағышы  $\gamma$ -кванттарды тікелей тіркемейді. Оларды тіркеу үшін шыны түтіктің ішкі қабырғасын  $\gamma$ -кванттар электрондарды ыршытып шығара алатындай металмен қаптайды. Гейгер—Мюллер санағышының кемшілігі бөлшектің энергиясын анықтай алмайды. Басқа принциптермен жұмыс істейтін санағыштың түрлері жасалынған.



**Вильсон камерасы.** Ағылшын ғалымы Ч. Вильсон 1912 жылы жасап шығарған аспап — зарядталған бөлшектерді бақылауға және олардың іздерін, яғни тректерін фотосуретке түсіріп алуға болатын ядролық физикадағы ең тамаша құрылғы. Вильсон камерасы — поршені (5) бар, цилиндр пішінді (62.5-сурет) герметикалық жабық ыдыс. Ыдыстың жоғары жағы шыныдан (2) жасалған. Ыдыстың ішінде қоспасыз таза ауа және қанығуға жақын спирттің немесе судың буы бар. Вильсон камерасының жұмыс істеу принципі аса қаныққан будың зарядталған бөлшектерде су тамшыларын түзіп конденсациялануына негізделген. Поршень кенет төмен түскенде камерадағы ауа мен бу адиабатты түрде шапшаң ұлғайып, бу салқындайды да, аса қаныққан күйге өтеді. Осы күйде будың конденсациялануы өте оңай, әрі бұл — будың орнықсыз күйі. Радиоактивті препараттан (4) ұшып шығатын зарядталған бөлшектер қозғалған жол бойында иондалған газдар тізбегі пайда болады. Иондар конденсация орталығы болып табылады. Аса қаныққан бу осы иондарда конденсацияланып, су тамшылары түзіледі. Бұл су тамшыларының тізбегі ұшып өтетін бөлшек траекториясының бойында көрінетін ізді — *тректі* түзеді. Камераны жарықтандырғанда тректі көруге және фотосуретке түсіруге болады. Осыдан кейін камера бастапқы күйіне қайта келтіріледі, ал электр өрісі арқылы иондар бейтараптандырылады. Кезекті адиабаттық ұлғаю алдында бұл электр өрісі жойылады. Вильсон камерасын біртекті магнит өрісіне орналастырып, тіркелетін бөлшектердің физикалық сипаттамасын дәлірек анықтауға болады. Бұл әдісті орыс ғалымдары П. Капица мен Д. Скобельцын ұсынған. Магнит өрісінде қозғалатын зарядталған бөлшектердің траекториясы Лоренц күшінің әсерінен қисаяды (62.6-сурет). Бөлшектің заряды неғұрлым үлкен болып және массасы соғұрлым аз болса, тректің қисықтығы соғұрлым көп болады.

Траекторияның қисықтық радиусы мен жылдамдығы бойынша бөлшек зарядының оның массасына  $\frac{q}{m}$  қатынасын немесе бөлшектің заряды белгілі болса, онда оның массасын анықтайды. Неғұрлым энергиясы көп бөлшектің соғұрлым трегі ұзын. Трек жуан болса, бөлшектің заряды үлкен.



62.5-сурет



62.6-сурет





62.7-сурет

**Көпіршікті камера.** Көпіршікті камера құрылысы жағынан Вильсон камерасына ұқсас. Айырмашылығы аса қаныққан будың орнына аса қыздырылған сұйық қолданылады. Көпіршікті камераны 1952 жылы американдық физик Д. Глейзер жасап шығарған. Сұйық зат ретінде көбінесе пропан, сұйық сутек, дейтерий, ксенон және т.б. да сұйықтар пайдаланылады. Бастапқы күйде жабық камерадағы сұйық қайнау температурасына дейін қыздырылғанмен, оны қайнап кетуден

сақтайтын жоғары қысымда ұстайды. Қысымды кенет төмендеткенде сұйық аса қыздырылған күйге келеді және аз уақыт орнықсыз күйге түседі. Дәл осы мезетте камераның қабырғасындағы жұқа өйнектен өтетін шапшаң қозғалатын зарядталған бөлшектер өздерінің жолында иондар тізбегін түзеді. Иондарда артық кинетикалық энергия болғандықтан, осы артық энергияның есебінен әр ионның төңірегіндегі аз көлемде сұйықтың температурасы көтеріліп, ол қайнай бастайды. Будың көпіршіктері бөлшектің ізін, яғни трегін көрсетеді (62.7-сурет). Көпіршікті камерадағы сұйықтың тығыздығы Вильсон камерасындағы бу тығыздығынан мың еседей артық. Сондықтан көпіршікті камера энергиясы жоғары бөлшектерді тіркеуге мүмкіндік береді. Өйткені бөлшектердің жүгіріп өтетін жолының ұзындығы анағұрлым қысқа. Глейзер камерасы шапшаң қозғалатын бөлшектердің атом ядроларымен өзара әсерлесуін және бөлшектердің тізбектелген түрленулерін байқауға мүмкіндік береді әрі зерттеулердің тиімділігі өте жоғары.



1. Қалың қабатты фотоэмульсия әдісі негізінде зарядталған бөлшектерді қалай тіркейді?
2. Сцинтилляциялық санағыштың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.
3. Вильсон камерасының маңыздылығы неде?
4. Гейгер-Мюллер санағышының жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер. Санағыш арқылы қандай бөлшектерді тіркейді?
5. Вильсон камерасын біртекті магнит өрісінде не үшін орналастырады?
6. Көпіршікті камераның Вильсон камерасынан артықшылығы бар ма?
7. Иондаушы бөлшектерді,  $\gamma$ -кванттарды тіркеуде қай әдіс пен құрылғы бөлшектер жөнінде ең көп мағлұмат бере алады?

## §63. Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтік



## Тірек ұғымдар:

- ✓ ядролық реакция
- ✓ құрама ядро
- ✓ жасанды радиоактивтілік
- ✓ экзотермиялық реакция
- ✓ эндотермиялық реакция

## Бүгінгі сабақта:

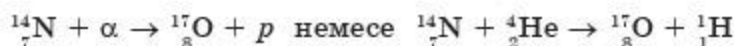
- ядролық реакцияны жазу кезінде массалық және зарядтық санның сақталу заңын қолдануды меңгересіңдер.



*Ядролық реакция ұғымының мағынасы кең. Көбінесе оған ядролық өсерлесудің қатысуымен өтетін кез келген екі немесе одан көп элементар бөлшектердің соқтығысуынан туатын құбылыстарды жатқызады. Әрине, ядролардың қатысуымен өтетін соқтығысулар да ядролық реакция қатарына жатады. Кейде осы ядролардың қатысуымен өтетін түрленулерді ғана ядролық реакция деп ұғынады. Ядролық физикада ядролар да, элементар бөлшектер де зерттеледі, сондықтан ядролық реакция ұғымын кең мағынада қолданады. Атом ядросының басқа ядромен, элементар бөлшектер және  $\gamma$ -кванттармен өзара әсерлесуі кезінде болатын түрленулер ядролық реакциялар деп аталады.*

Ядролық реакция  $a + A \rightarrow B + b$  немесе қысқаша  $A(a, b)B$  деп жазылады, мұндағы  $A$  — бастапқы немесе нысана ядро,  $a$  — атқылаушы бөлшек,  $B$  — туынды ядро,  $b$  — ядродан бөлінетін бөлшек.

Алдыңғы тақырыпта айтып кеткеніміздей, тұңғыш ядролық реакцияны,  $\alpha$ -бөлшектермен азот ядросын атқылағанда оның оттек ядросына түрленуін 1919 жылы Э. Резерфорд жүзеге асырған еді:



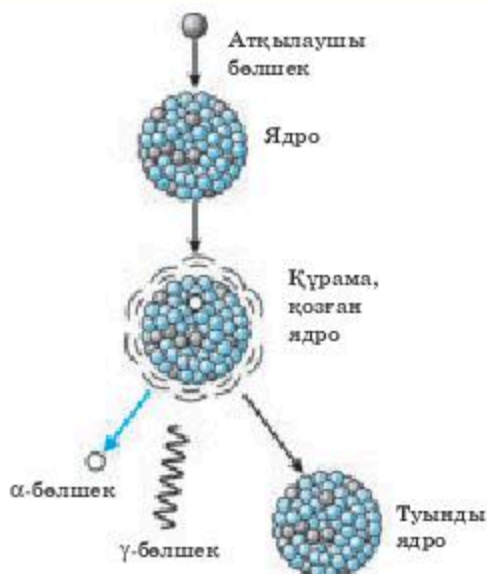
Табиғи радиоактивті ыдырау кезінде де атом ядросының туынды ядроға түрленетіні белгілі. Ядролық реакцияда да осындай өзгерістер болады. Ұқсас сияқты болғанмен, басты айырмашылығы мынада: радиоактивті ыдырау сыртқы өсерсіз, өздігінен өтеді, ал ядролық реакция атқылаушы бөлшектің өсерінен жүзеге асырылады.

**Ядролық реакциялардағы сақталу заңдары.** Ядролық реакцияларда энергияның, импульстің, импульс моментінің, электр зарядының және нуклондар санының сақталу заңдары орындалады. Сақталу заңдары негізінде ядролық реакциялардың қалай өтуі мүмкін екенін алдын ала пайымдауға болады.



Резерфорд жүзеге асырған тұңғыш ядролық реакцияда электр заряды мен нуклондардың сақталу заңдары орындала ма? Тексеріп көріңдер.





63.1-сурет

**Ядролық реакцияның өту механизмі.** Ядролық реакция өту үшін бөлшектер немесе ядролардың ядролық күштердің әсер ету аумағына енуі, яғни  $10^{-15}$  м-ге дейінгі қашықтыққа жақындауы қажет. Оң зарядталған бөлшек немесе ядроға кулондық тәбілу күштерін жеңе алатындай мөлшерде кинетикалық энергия берілгенде ғана нысана ядроға жақындайды. Ал нейтрон сияқты зарядталмаған бөлшектің ядроға енуі жоғары кинетикалық энергияны қажет етпейді. Нейтронның ашылуы ядролық реакцияларды зерттеудегі маңызды бетбұрыс болды.

Реакция өту үшін зарядталған бөлшектер мен атом ядроларына

электр немесе магнит өрістерінде ондаған мегаэлектронвольттан жүздеген гигаэлектронвольтқа дейінгі энергия арнайы үдеткіштерде (циклотрон, синхрофазотрон және т.б.) үдетілу нәтижесінде беріледі.

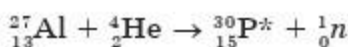
Атқылаушы бөлшектердің энергиясы аса жоғары болмағанда, 1936 жылы Н. Бор ұсынған ядролық реакцияның механизміне сәйкес реакция екі кезең арқылы өтеді. Әуелі атқылаушы бөлшек нысана ядроға соқтыққанда ядро оны қармайды (63.1-сурет). Осының нәтижесінде қозған күйдегі *құрама ядро* пайда болады.

Күшті әсерлесу салдарынан ядроның қозу энергиясы барлық нуклондарға тез бөлініп, таралып кетеді. Өрбір нуклонның энергиясы оның ядродан ыршып шығуына жеткіліксіз. Әсерлесу нәтижесінде нуклондар бір-бірімен энергия алмаса бастайды. Кездейсоқ бір мезетте бір нуклонда немесе нуклондар тобында жинақталған энергия ядроның байланыс энергиясынан артық болады. Соның әсерінен реакцияның екінші кезеңі басталып, құрама ядро ыдырауға ұшырайды. Ядроның ыдырау жолдары протондық, нейтрондық,  $\gamma$ -бөлшектік және т.б. болуы мүмкін. Осылайша ядролық реакцияны жүзеге асыру нысана ядроны протондармен, дейтрондармен (ауыр сутектің  ${}^2_1\text{H}$  ядросы),  $\alpha$ -бөлшектермен және ауыр элементтердің көп зарядты иондарымен де атқылау нәтижесінде өтеді.

**Жасанды радиоактивтік.** Ядролық реакция кезінде жер бетінде табиғи күйінде кездеспейтін радиоактивті ядролар түзіледі. Ядролық реакция нәтижесінде алынған изотоптардың радиоактивті болуын 1934 жылы француз физиктері Ирен және Фредерик Жолио-Кюрилер ашқан. Олар бұл құбылысты *жасанды радиоактивтік* деп



атады. Алюминийдің, бордың және басқа да жеңіл элементтердің ядроларын  $\alpha$ -бөлшектермен атқылап және реакция өнімдерін магнит өрісінде орналасқан Вильсон камерасының көмегімен зерттей отырып, позитронның ұшып шығатынын анықтайды.  $\alpha$ -бөлшектермен атқылауды тоқтатқан соң да позитрон ұшып шыға берген. Бірақ уақыт өте келе олардың саны радиоактивті ыдырау заңына сәйкес  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  кеме бастаған. Осылайша жасанды радиоактивтік құбылысы ашылды. Жасанды радиоактивтіктің ашылуы мына ядролық реакцияның көмегімен жүзеге асырылған:

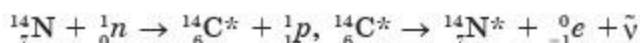


мұндағы “\*” белгісі радиоактивті изотоп екенін көрсетеді.

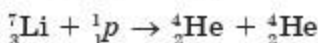
Фосфордың радиоактивті изотопы  $\beta^+$ -сәулесінің көзі болып шықты. Оның ядросынан позитрон мен электрондық нейтрино ұшып шығады:



Жасанды электрондық радиоактивтікті азот ядросын нейтронмен атқылағанда алуға болатын реакцияны жазайық:



Шапшаң нейтрондармен литий ядросын атқылағанда тұңғыш рет оның ядросын ыдырату реакциясы жүзеге асырылды:



Кейінгі кезде радиоактивтіктің бір түрі — *протондық радиоактивтік* ашылды. Бұл процесте ядродан өздігінен протон ұшып шығады.

Жасанды радиоактивті изотоптардың қолданылу аумағы кең: медицина, өнеркәсіп салаларында, әскери мақсаттар үшін, ұзақ уақыт жұмыс істей алатын ток көздері ретінде және т.б.

**Ядролық реакциялардағы энергияның түрленуі.** Ядролық реакцияларда ядролық түрленумен қабаттаса оның ішкі энергиясы, яғни байланыс энергиясы өзгереді. Масса мен энергияның өзара байланыс заңын ескере отырып, реакциялардағы энергияның өзгерісін есептеуге болады. Ядролық реакциялар үшін энергияның сақталу заңын жазайық:  $E_{01} + E_{k1} = E_{02} + E_{k2}$ , мұндағы  $E_{01}$  мен  $E_{02}$  — реакцияға түскенге дейінгі және реакциядан кейінгі жүйелердің тыныштық энергиялары,  $E_{k1}$  және  $E_{k2}$  — сәйкесінше олардың кинетикалық энергиялары.

$A + a \rightarrow B + b$  схемасы бойынша өтетін реакцияның энергиясын сипаттау үшін төмендегі формуланы пайдаланайық:

$$E_{01} = M_A c^2 + m_a c^2; \quad E_{02} = M_B c^2 + m_b c^2;$$

$$E_{k1} = E_{kA} + E_{ka}; \quad E_{k2} = E_{kB2} + E_{kb}.$$

Түрлендіру арқылы  $\Delta E = E_{01} - E_{02} = E_{k2} - E_{k1}$  теңдеуін аламыз.

*Бөлшектер мен ядролардың реакцияға түскенге дейінгі және реакциядан кейінгі тыныштық энергияларының айырымын ядролық реакцияның энергетикалық шығуы деп атайды.*

*Егер  $\Delta E > 0$  болса, онда реакцияда энергия бөлінеді, тыныштық энергияның есебінен реакция өнімдерінің кинетикалық энергиясы артады.*

*Демек, ядролық реакция кезіндегі кинетикалық энергиялардың өзгеруі реакцияға қатысқан бөлшектер мен ядролардың тыныштық энергияларының өзгерісіне тең. Мұндай реакция экзотермиялық деп аталады.*

*Егер  $\Delta E < 0$  болса, онда реакция кезінде энергия жұтылады, кинетикалық энергияның кемуі есебінен жүйенің тыныштық энергиясы (массасы) артады. Осындай реакция эндотермиялық деп аталады.*

Ядролық реакция кезінде бөлініп шығатын энергияның мөлшері орасан зор. Ядролық энергияны адамзат игілігіне пайдалана білудің қауіпсіздігін және тиімділігін арттыру — қазіргі заманғы ғылымның алдындағы күрделі мәселелердің бірі.



1. Ядролық реакция дегеніміз не?
2. Ядролық реакция теңдеуін жазыңдар. Реакция кезінде қандай сақталу заңдары орындалады?
3. Табиғи радиоактивті ыдырау мен ядролық реакциялардың айырмашылықтары бар ма?
4. Ядролық реакцияның өту механизмін түсіндіріңдер.
5. Қандай бөлшектермен ядролық реакцияны жүзеге асыру тиімдірек?
6. Ядролық реакцияның энергиясы дегеніміз не?
7. Не себепті химиялық реакцияға қарағанда ядролық реакция кезінде орасан зор энергия бөлінеді?
8. Жасанды радиоактивтік қалай алынады?

### Есеп шығару мысалдары

**1-есеп.** Бор  ${}^{11}_5\text{B}$  ядроларын протондармен атқылағанда бериллийдің  ${}^8_4\text{Be}$  ядросы пайда болады. Реакция теңдеуін жазыңдар. Осы реакцияда энергия бөлінеді ме, әлде жұтыла ма?

Берілгені:

$$M_{{}^{11}_5\text{B}} = 11,0931 \text{ м.а.б.}$$

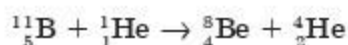
$$M_{{}^1_1\text{H}} = 1,00783 \text{ м.а.б.}$$

$$M_{{}^8_4\text{Be}} = 8,00538 \text{ м.а.б.}$$

$$M_{{}^4_2\text{He}} = 4,00260 \text{ м.а.б.}$$

$$\Delta E = ?$$

*Шешуі.*  ${}^{11}_5\text{B} + {}^1_1\text{H} = {}^8_4\text{Be} + {}^4_2\text{X}$ . Зарядтың сақталу заңы бойынша  $5 + 1 = 4 + Z$ ;  $Z = 2$ , массалық санның сақталу заңы бойынша  $11 + 1 = 8 + A$ ;  $A = 4$ . Олай болса,



Реакция теңдеуінің формуласын жазайық:

$$\Delta E = E_{01} - E_{02}$$

немесе

$$\Delta E = [(M_B + M_H) - (M_{Be} + M_{He})] \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

Осыдан реакция кезіндегі энергияны анықтайық:

$$\Delta E = [(11,00931 + 1,00783) - (8,00531 + 4,00260)] \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 0,00923 \cdot 931,5 \text{ МэВ} \approx 8,6 \text{ МэВ.}$$

Реакция нәтижесінде  $\Delta E = 8,6$  МэВ энергия бөлініп шығады.

**2-есеп.**  ${}^2_1\text{H} + \gamma \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{n}$  түріндегі реакция жүру үшін қажетті  $\gamma$ -кванттың ең аз энергиясын табыңдар.

*Берілгені:*

$$M_{{}^2_1\text{H}} = 2,01410 \text{ м.а.б.}$$

$$M_n = 1,00866 \text{ м.а.б.}$$

$$M_p = 1,00783 \text{ м.а.б.}$$

$$\Delta E_\gamma = ?$$

$$\Delta E_\gamma = -2,2 \text{ МэВ энергия жұтылады.}$$

*Шешуі.* Реакция кезінде бөлінетін (жұтылатын) энергияның формуласын жазайық:

$$\Delta E_\gamma = [M_{{}^2_1\text{H}} - (M_n + M_p)] \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

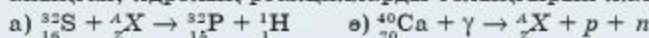
Енді реакция кезіндегі энергияны анықтайық:

$$\Delta E_\gamma = [2,01410 - 2,01649] \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$



### 32-жаттығу

1. Менделеев кестесін пайдаланып, белгісіз X, Y, Z, A шамаларын анықтап, ядролық реакцияларды толықтырып жазыңдар:

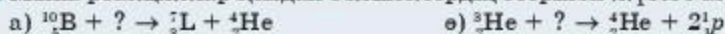


*Жауабы:* а)  ${}^1_0\text{n}$ ; ө)  ${}^{38}_{19}\text{K}$ ; б)  ${}^4_2\text{He}$ ; в)  ${}^9_4\text{Be}$

2.  ${}^{14}_7\text{N}$  азот ядросының нейтронды қармауы нәтижесінде белгісіз элемент пен  $\alpha$ -бөлшек пайда болған. Ядролық реакцияны жазып, белгісіз элементті анықтаңдар.

*Жауабы:*  ${}^{11}_5\text{B}$

3. Мына реакциялар қандай бөлшектердің әсерінен жүзеге асырылады:



*Жауабы:*  ${}^1_0\text{n}$ ;  ${}^3_2\text{He}$

4. Ядролық реакцияның энергетикалық шығуын есептеңдер:



*Жауабы:* 2,3 МэВ

5. Мынадай ядролық реакцияда энергия жұтыла ма, әлде бөліне ме?



*Жауабы:* 15 МэВ

6. Эндотермиялық реакцияның  ${}^{17}_8\text{O} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^{17}_7\text{N}$  энергиясы  $\Delta E = -7,89$  МэВ. Бейтарап атомдардың кестедегі массалары бойынша азот изотопының массасын анықтаңдар.

*Жауабы:* 17,00899 м.а.б.



## § 64. Ауыр ядролардың бөлінуі



## Тірек ұғымдар:

- ✓ ядроның бөлінуі
- ✓ ядроның тамшы моделі
- ✓ спонтанды бөліну

## Бүгінгі сабақта:

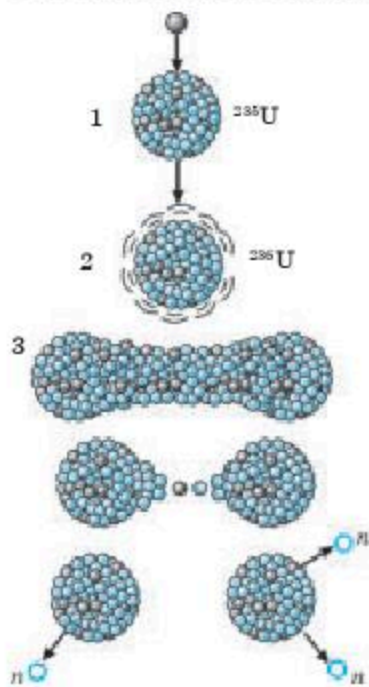
- ядроның бөлінуін тамшы моделі негізінде оқып білесіңдер.



Ядролық реакциялардың ішінде ауыр ядролардың, әсіресе уран ядроларының сыртқы қоздырғыштың әсерінен бөлінуінің маңызы зор. Өйткені атом ядросында ғаламат энергия қоры жинақталған. Ядроның ішкі энергиясын екі жолмен, яғни ауыр ядролардың бөліну реакциясы мен жеңіл ядроларды синтездеу реакцияларын жүзеге асыру арқылы бөліп алуға болады.

**Уран ядросының бөліну реакциясы.** Нейтрондармен уран ядроларын атқылағанда пайда болатын ядролық реакцияда жасанды радиоактивтікті зерттеу жұмыстарын 1934 жылы итальяндық физик Э. Ферми бастаған.

И. Жолио-Кюри мен П. Савичтің 1938 жылғы уран ядроларын нейтрондармен атқылағандағы зерттеулерінде ядролық реакция өнімдерінің біреуі La лантан атомының ядросы екені анықталады. Осы жылы неміс физиктері О. Ган мен Ф. Штрассман уран ядроларын нейтрондармен атқылағанда Менделеев



64.1-сурет

кестесінің орта бөлігіндегі барий Ba және криптон Kr сияқты ураннан екі есе жеңіл жаңа элементтердің пайда болатынын ашты. Осы нәтижелерді 1939 жылы ағылшын ғалымы О. Фриш пен аустралиялық ғалым Л. Мейтнер нейтронды қармап алған уран ядросының екі жарықшаққа бөлінгендігі деп түсіндірді. Бұл құбылысты *ядроның бөлінуі* деп атады.

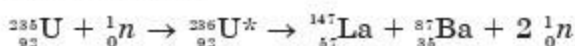
**Ядроның бөліну механизмі.** 1939 жылы Я. Френкель, Н. Бор мен Дж. Уилер ядроның бөліну заңдылықтарын “ядроның тамшы моделіне” сүйеніп бөлінудің механизмін ұсынды. Нуклидтерді сығылмайтын зарядталған сұйық тамшысына ұқсатуға болады (64.1-сурет). Уран-235 ядросының пішіні шарға ұқсайды. Нейтронды жұтып алған ядро (1) құрама ядроға (2) айналады. Нейтрон кинетикалық және байланыс энергиялары

есебінен артық энергия алғандықтан, құрама ядро қозып деформациялана бастайды да, сопақтау түрге келеді (3). Осы кезде оның көлемі өзгермейді, ал бетінің ауданы артады. Сұйықтың беттік энергиясы сұйық бетінің ауданына тура пропорционал екені белгілі. Олай болса, беттік энергия артады. Бұл кездегі бөліну энергетикалық тиімсіз. Сондықтан беттік керілу күші ядроны шар тәрізді алғашқы күйіне келтіруге тырысады. Керісінше протондар арасындағы кулондық тебілу күштері ядроны одан әрі созуға тырысады.

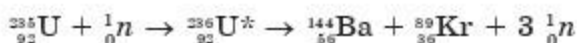
Нуклондардың арасындағы қашықтық артса, кулондық тебілу күштері кеміп, бөліну тиімді болар еді. Ядро шапшаң тербеле бастайды да, қозу энергиясы көбірек болған жағдайда кулондық тебілу күштері нуклондардың тартылыс күштерінен асып түседі. Сөйтіп, ядро екі жарықшаққа бөлінеді. Бұл жарықшақтар кулондық тебілу күштерінің әсерінен аса үлкен жылдамдықпен жан-жаққа ұшады.

Уран ядросының бөлінуі ядроның тыныштық массасы бөліну кезінде пайда болатын жарықшақтардың тыныштық массаларының қосындысынан артық болғандықтан ғана жүзеге асады. Тыныштық массасының кемуіне балама болатын энергия бөлініп шығады. Толық масса сақталады, өйткені үлкен жылдамдықпен ( $v = 10^7$  м/с) қозғалатын жарықшақтардың массасы олардың тыныштық массаларынан артық болады. Ауыр ядроларда нейтрондар саны артық болғандықтан, ядроның бөлінуі кезінде жарықшақтармен қабаттаса нейтрондардың да бөлініп шығуының ашылуы іргелі жаңалық болды.

Әр ядро ыдырағанда 2 немесе 3 нейтрон бөлініп шығады. Уран-235 бөліну реакциясын жазайық:



немесе



мұндағы  ${}_{92}^{236}\text{U}^*$  — қозған құрама ядро, яғни бұл тұрақсыз изотоп.

Уранның меншікті байланыс энергиясы  $7,6 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  екенін ескерсек, бөліну жарықшақтарының орташа меншікті байланыс энергиясы  $8,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  болады. Сонда меншікті байланыс энергиясының айырымы  $0,9 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ . Демек, уран ядросы бөлінгенде 200 МэВ энергия босап шығуы тиіс. Жасалған тікелей өлшеулер бұл есептеулердің дұрыс екенін көрсетті. Осы босаған энергияның негізгі бөлігі ( $\approx 165$  МэВ) жарықшақтардың кинетикалық энергиясына айналады, қалған бөлігі нейтрондар мен реакция кезінде бөлінетін  $\gamma$ -сәулелердің энергиясына түрленеді.

Еркін нейтрондардың энергиясы өте аз  $5 \cdot 10^{-3}$  эВ-тан бастап бірнеше миллион электронвольтқа дейінгі аралықта болады. Ядроның бөлінуі



кезіндегі жарықшақтардың массалары көбіне 2:3 қатынасындай болып келеді. Жарықшақтардағы нейтрондардың саны артық, сондықтан олардың радиоактивтілігі жоғары. Бірнеше электрондық  $\beta$ -ыдыраудың нәтижесінде орнықты ядросы бар изотоп түзіледі.

Орыс физиктері Г.Флеров пен К.Петржак 1940 жылы уран ядросының *спонтанды (тосын) бөлінуін* ашты. Сыртқы әсерсіз-ақ, яғни уран ядросын нейтронмен атқыламасақ та уран ядросы өздігінен бөліне алады екен.

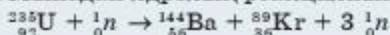


1. Ядроның бөлінуі деп қандай реакцияны айтады?
2. Уран ядросының бөлінуін ядроның тамшы моделіне сүйеніп қалай түсіндіруге болады?
3. Неліктен уран ядросы бөлінгенде шамамен 200 МэВ орасан зор энергия босап шығады?
4. Неліктен ядро бөлінгенде бірнеше нейтрондар ұшып шығады?
5. Неліктен жарықшақтар  $\beta$ -ыдырауға ұшырайды? Қанша  $\beta$ -ыдыраудан соң түрлену жүзеге асады?



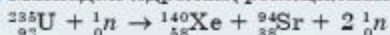
### 33-жаттығу

1. Мынадай ядролық реакцияның энергетикалық шығуын есептеңдер:



Жауабы:  $\approx 188$  МэВ.

2. Мынадай ядролық реакцияның энергетикалық шығуын есептеңдер:



Жауабы:  $\approx 208$  МэВ.

3. Уран-235 изотопының бір атомын екі жарықшаққа бөлгенде 208 МэВ энергия босап шығады. 1 г уран толық бөлінгенде босап шығатын энергияға тең энергия алу үшін қанша керосин қажет? Керосиннің меншікті жану жылуы  $4,3 \cdot 10^7$  Дж/кг.

Жауабы: 2 т.

- \*4. Уранның 235-изотопының ядросы массалық сандары 92 және 138 болатын екі жарықшаққа бөлінеді. Реакция кезінде қанша нейтрон пайда болады? Жарықшақтардың жалпы кинетикалық энергиясын 158 МэВ деп алып, өрбір жарықшақтың кинетикалық энергиясын есептеңдер. Нейтрондардың кинетикалық энергияларын ескермеуге болады.

Жауабы: 94,8 МэВ, 63,2 МэВ.



## § 65. Тізбекті ядролық реакциялар



## Тірек ұғымдар:

- ✓ тізбекті бөліну реакциясы баяулатқыштары
- ✓ жылулық нейтрондар
- ✓ көбею коэффициенті
- ✓ сындық масса
- ✓ атом бомбасы

## Бүгінгі сабақта:

- ядролық синтездің және табиғи радиоактивті ыдыраудың табиғатын түсінесіңдер.

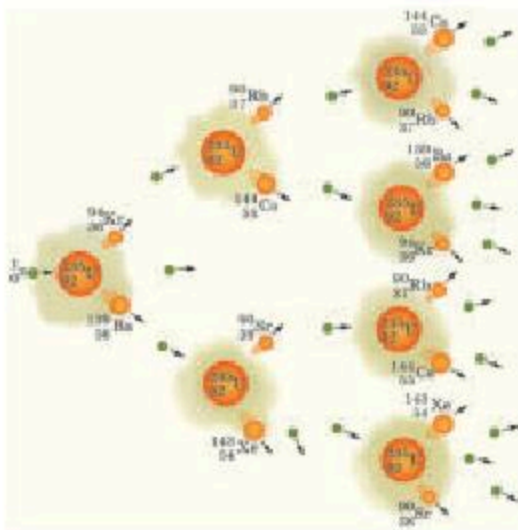


Ауыр ядролардың нейтрондар әсерінен бөліну реакциясы кезінде жаңадан бірнеше нейтрондардың босап шығуы өте маңызды. Алдыңғы тақырыпта айтқанымыздай,  $^{235}\text{U}$ -уранның әр ядросы бөлінгенде орташа есеппен 2-3 *екінші реттік* немесе *туынды* деп аталатын нейтрондар пайда болады. Осы бөлінуден шыққан нейтрондардың екеуі көршілес екі ядроны бөлсін делік. Енді бөлінуге ұшыраған екі ядродан ұшып шыққан туынды нейтрондар көршілес төрт ядроны бөлінуге ұшыратады. Осылайша жалғаса отырып, нейтрондардың саны және олар бөлетін ядролардың саны да күрт тасқындап өседі. Осы бөлінетін ядролар санының тасқындап өсу құбылысы *тізбекті бөліну реакциясы* деп аталады.

*Тізбекті ядролық реакция деп белгілі ядролық реакция келесі дәл сондай реакцияны туғызатын процесті айтады.*

65.1-суретте уран ядросы бөлінуінің басқарылмайтын тізбекті реакциясы көрсетілген.

Тізбекті реакцияны жүзеге асыру үшін нейтрондардың әсерінен ыдырайтын кез келген ауыр ядроларды пайдалануға болмайды. Оның себебі мынада: уран ядросы бөлінгенде босап шығатын нейтрондардың басым көпшілігінің энергиясы 1—4 МэВ шамасындай. Бұл мезеттегі олардың жылдамдықтары  $v = 10^7$  м/с-қа жететіндіктен оларды *шапшаң нейтрондар* деп атайды. Табиғи уранның екі изотоптың ( $^{238}\text{U}$  және  $^{235}\text{U}$ ) қоспасынан тұратыны белгілі. Оның 99,3%-ын уран-238 изотопы құраса, қалған 0,7%-ы уран-235 изотопының үлесінде. Шапшаң нейтрондарды уран-238 изотопының ядросы бөліну туғызбай-ақ жұтады, тек шамамен



65.1-сурет

бес нейтронның біреуі ғана бөлінуді туғызады. Сондықтан уран-238 изотопы тізбекті реакцияны жүзеге асыру үшін жарамсыз. Аз мөлшерде кездесетін уран-235 ядросымен реакцияға түсу ықтималдығын арттыру үшін шапшаң нейтрондардың жылдамдығын кеміту керек. Ол *баяулатқыштар* деп аталатын заттардың көмегімен жүзеге асырылады. Жақсы баяулатқыштар қатарына кәдімгі су, ауыр су ( $H_2O$ ) және графит жатады. Олардың ядроларымен соқтығысқанда нейтрондардың энергиясы кемиді.

Жылдамдығы бөлме температурасындағы жылулық қозғалыстың жылдамдығына  $v \approx 2000$  м/с-қа тең болатын нейтрондарды *жылулық (баяу) нейтрондар* дейді. Уран-235 ядроларының жылулық нейтрондардың әсерінен бөліну ықтималдығы шапшаң нейтрондармен бөлінуіне қарағанда жүздеген есе артық. Тізбекті ядролық реакция үздіксіз жүруі үшін уақыт өтуіне байланысты туынды нейтрондардың орташа саны өзгермеуге тиіс. Дегенмен бөлінуде пайда болған нейтрондардың бәрі бірдей ядролық бөліну реакциясын тудырмайды, ал жаңа ядролардың кейбіреулерін реакцияға қатыспайтын бөгде ядролар жұтып алады, бірақ реакция жүрмейді, кейбіреулері сыртқы ортаға шашырап кетеді.

Нейтрондардың көбею қарқынын сипаттайтын физикалық шаманы *нейтрондардың көбею коэффициенті (k)* дейді. *Нейтрондардың көбею коэффициенті деп нейтрондардың кез келген бір “буынындағы” санының алдыңғы “буынындағы” санына қатынасын айтады:*  $k = \frac{N_i}{N_{i-1}}$ ,

мұндағы  $N_i$ ,  $N_{i-1}$  шамалары  $i$  және  $i - 1$  буындардағы нейтрондар саны.

Егер  $k = 1$  болса, онда нейтрондар саны уақыт өтуімен өзгермей, тізбекті реакция тұрақты, бірқалыпты өтеді. Ал  $k > 1$  болса, тізбекті реакцияның қарқыны өте тез өсіп, ядролық қопарылыс болады. Енді  $k < 1$  болғанда нейтрондардың саны уақытқа байланысты азаяды да, тізбекті реакция тоқтап қалады.

**Сындық масса.** Тізбекті ядролық реакция тұрақты түрде өтуі үшін тағы бір маңызды шартты ескеру қажет. Уран массасының белгілі бір мөлшерінде тізбекті реакция бірқалыпты өтеді. Егер уран массасы сол белгілі бір мөлшерден кем болса, нейтрондар өздерінің қозғалыс жолында жеткілікті мөлшердегі ядроларды кездестірмейді де, қоршаған ортаға шашырап кетеді. Сөйтіп, тізбекті реакция тоқтап қалады.

*Тізбекті бөліну реакциясын тұрақты қамтамасыз ететін бөлінетін заттың (уранның) ең аз массасын сындық масса деп атайды.* Таза уран-235 үшін сындық масса 50 кг-ға жуық. Тығыздығы  $18950$  кг/м<sup>3</sup> ураннан жасалған массасы осындай шардың радиусы 8,5 см-дей болады. Ал плутоний-239 үшін өлшемді теннис добындай шардағы сындық массасы 5,6 кг.

**Атом бомбасы (А-бомба).** Басқарылмайтын тізбекті ядролық реакция нәтижесінде ғаламат энергия босап шығатын ядролық жарылыс



болады. Оны атомдық бомбаның жарылысы жүзеге асырады. Атомдық бомбада таза уран-235 немесе плутоний-239 пайдаланылады. Бомбадағы металдық уран оқшауланған екі бөліктен тұрады және әр бөліктің массасы сындық массадан кіші. Сондықтан оларда тізбекті реакция жүре алмайды. Әдеттегі қопарғыш заттың көмегімен уранның екі бөлігін кенет сығу арқылы біріктіргенде қарқынды тізбекті реакция басталып, бомба жарылады.

Қас қағым сәтте температура миллиондаған градусқа жетіп, көз қарықтырарлық қуатты сәуле пайда болады. Уран және оның төңірегіндегі заттар газға айналады. Аса қызған газды шар шапшаң ұлғая отырып жолындағының бәрін күйретіп, күл-талқанын шығарады. Атомдық бомбаның жарылысы кезінде пайда болатын реакция өнімдері өте радиоактивті және олар табиғатқа, тірі ағзаларға аса қауіпті. Алғашқы атомдық бомбалар АҚШ-та 1945 жылы жасалып, сол жылы Жапонияның (6 тамызда) Хиросима мен (9 тамызда) Нагасаки қалаларына тасталған. Хиросимада жарылған бомбадағы тізбекті реакцияға қатысқан уран ядроларының массасы 1 кг-ға жуық. Жарылыс кезінде небәрі 1 г уран заты ғана тікелей энергияға айналды, осының өзі 200 000 адамның өмірін қиып кетті. Реакция кезінде бөлінген энергия 20 000 т тринитротолуол жарылғандағы энергияға тең.

Жаһандық ядролық қақтығыстарды болдырмау және жер бетіндегі өркениетті құрып кетуден сақтаудың бірегей жолы — Әлемдегі ядролық қаруларды және оның қорларын түбегейлі жою. Қазақстан Республикасы өзіндегі ядролық қарулардан арылды және оны таратпау жөніндегі үш әлемдік көшбасшының бірі болып табылады.



1. Тізбекті бөліну реакциясы қалай жүзеге асады?
2. Энергияларындағы айырмашылықтарына қарап нейтрондарды қандай топқа бөледі?
3. Неге табиғи уранда ( $U^{238}$ ) тізбекті реакция жүзеге аспайды?
4. Нейтрондардың көбею коэффициенті дегеніміз не? Оның тізбекті реакцияның өтуіне әсері қандай?
5. Қандай массаны сындық масса дейміз?
6. Атомдық бомбаның адамзатқа қаупі қандай?



Атом бомбасы жарылғанда неліктен отты шар пайда болады?



## §66. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану



### Тірек ұғымдар:

- ✓ радиация
- ✓ Грэй
- ✓ Зиверт
- ✓ радиациялық фон



### Бүгінгі сабақта:

- альфа-, бета- және гамма-сәулелерінің табиғатын, қасиеттерін және биологиялық әсерін түсінесіңдер.

Радиоактивті сәулелер нейтрондар ағыны қоршаған ортаға, есіресе тірі организмге зиянды әсерін тигізеді. Радиоактивті сәулелерді *иондаушы сәулелер* немесе қысқаша *радиация* деп те атайды. Белгілі бір энергиялары бар бұл сәулелер мен бөлшектер денелердің молекулалары мен атомдарын иондайды. Олардың химиялық белсенділігі өзгереді, жасушалар мутацияға ұшырайды, хромосомадағы гендерді зақымдап, түрлі физиологиялық күрделі ауытқулар туады. Табиғат уланады. Сәуле шығарудың интенсивтігі күшті болса, қатерлі ісік және сәуле аурулары дертіне шалдығады, тірі организмдердің өлуі мүмкін. Сәулелену тұқым қуалауға күшті өрі жағымсыз әсерін тигізеді.

Радиацияның қауіптілігі мынада: сәулелену тіпті қатерлі дозаның өзінде бірден аурудың белгісін туғызбайды. Иондаушы сәулелер ең алдымен жұлынды зақымдайды, соның әсерінен қан айналу процесі бұзылады. Содан соң ас қорыту жолдары мен басқа да органдардың жасушалары бүлінеді. Радиоактивті сәулелердің, мысалы,  $\gamma$ -сәулелерінің шекті мөлшердегі дозасын қатерлі ісіктің жасушаларын жою үшін медицинада қолданады.

Ионданушы сәулелердің биологиялық әсері ерекше шамалармен сипатталады. Тірі ағзалардың клеткаларының радиациядан алған энергиялары көп болған сайын химиялық реакцияның белсенділігі шапшаң өзгеріп, зақымдануы арта түседі. Сол себепті радиацияның тірі ағзаға беретін энергия мөлшерін дұрыс бағалай білу маңызды.

*Шығарылған сәуленің жұтылған дозасы деп жұтылған энергияның сәулеленген заттың массасына қатынасын айтады:*

$$D = \frac{E}{m}.$$

ХБ жүйесінде шығарылған сәуленің жұтылған дозасының өлшем бірлігі 1 Гр (грэй).

*Шығарылған сәуленің массасы 1 кг затқа 1 Дж энергия берілгенде жұтылған дозасы бір грэйге (1 Гр) тең:*

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Іс жүзінде сәулеленудің *экспозициялық дозасы* деген шама қолданылады. Ол рентгендік және гамма-сәулелердің құрғақ ауаны иондау эффектісі бойынша өлшенеді. Оның ХВ жүйесінен тыс өлшем бірлігі 1 Р (рентген):

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Радиацияны өлшейтін дозиметрлерде  $1 \text{ Р} \approx 0,01 \text{ Гр}$  деп есептеледі.

Тірі ағзалардың сәулеленуден зақымдануы сәуле шығарудың түрлеріне байланысты. Иондаушы сәулелердің биологиялық әсерін рентгендік және гамма-сәулелердің биологиялық әсерлерімен салыстыру қабылданған. Сондықтан сәуле шығарудың тірі ағзаларға әсерін арнайы шама — *эквивалентті дозамен* сипаттайды.

*Шығарылған сәуленің жұтылуының эквивалентті дозасы деп жұтылған доза мен биологиялық эффективтік (тиімділік) коэффициентінің көбейтіндісіне тең шаманы айтады:*

$$D_{\text{экв}} = k \cdot D,$$

мұндағы  $k$  — биологиялық эффективтік коэффициент, ол тәжірибелік жолмен анықталады. Рентгендік,  $\beta$ -сәуле,  $\gamma$ -сәуле үшін  $k = 1$ , жылулық нейтрон үшін  $k = 2,3$ , шапшаң нейтрон үшін  $k = 10,0$ ,  $\alpha$ -сәуле үшін  $k = 20,0$  болады.

Эквивалентті дозаның өлшем бірлігі ретінде *зиверт* — 1 Зв қабылданған.

Радиоактивті сәулелердің әсеріне біз үнемі ұшыраймыз. Бұндай радиацияның көзі — ғарыш сәулелері, Жердегі радиоактивті заттар — ғимараттар, рентгендік қондырғы, телевизор, адамның денесі (біздің денемізде 0,01 г радиоактивті  $^{40}_{13}\text{К}$  калий бар). Бұларды *табиғи радиациялық фон* дейді. Табиғи радиациялық фонның есебінен адам бір жылда  $2 \cdot 10^{-3}$  Гр доза алады. Радиациядан қорғаудың халықаралық комиссиясы сәуле шығарумен жұмыс істейтін адамдар үшін бір жылдағы дозаның шектік мөнін 0,05 Гр деп тағайындаған.

**Радиациядан қорғану.** Атом электрстансыларында, радиоактивті изотоптармен, радиоактивті қалдықтармен жұмыс істейтін адамдардың радиациядан қорғану шараларын орындаулары қажет. Радиоактивті сәулелердің интенсивтігі қашықтықтың квадратына кері пропорционал кемітінін ескерсек, қауіпті аумақтан қызметкерлерді жеткілікті қашықтықта орналастырған жөн. Радиоактивті препараттарды қолмен ұстамай, арнаулы ұзын қысқыштарды, механикалық роботтарды пайдалану керек. Рентген және гамма-сәулелерден қорғану үшін жақсы жұтатын қорғасынды қолданады. Радиоактивті заттар тыныс алу жолдары және тері арқылы адам организміне өтпеу үшін арнайы қорғаныс материалдарын пайдаланады. Тамақ өнімдері қатаң тексеруден өтуі қажет.



Чернобыль АЭС-інде болған апат адамзатқа радиоактивті сәулелердің, изотоптардың аса қауіпті екенін көрсетті. Радиациядан қорғану шараларын білу керек және әрқашан да оны есте ұстаған дұрыс.



1. Радиоактивті сәулелер тірі ағзаларға қандай қауіп туғызады?
2. Жұтылған доза деп нені айтады? Оның өлшем бірлігі не?
3. Эквивалентті доза дегеніміз не?
4. Табиғи радиациялық фон сәуле ауруын туғыза ма?
5. Радиациядан қалай қорғануға болады?

## §67. Ядролық реактор. Ядролық энергетика



### Тірек ұғымдар:

- ✓ ядролық реактор
- ✓ жылу шығарғыш элементтер
- ✓ реттегіш біліктер
- ✓ бридерлар
- ✓ ядролық энергетика

### Бүгінгі сабақта:

- ядролық реакторлардың құрылысы мен жұмыс істеу принципімен танысасыздар;
- ядролық энергетиканың даму кезеңдері жөнінде мағлұмат аласыздар.



Басқарылатын тізбекті бөліну реакциясын жүзеге асыратын қондырғыны **ядролық реактор** деп атайды. Тұңғыш ядролық реактор АҚШ-та Э. Фермидің басшылығымен 1942 жылы іске қосылды. Екінші реакторды Ресейде И. В. Курчатов бастаған ғалымдар тобы 1946 жылы іске қосты.

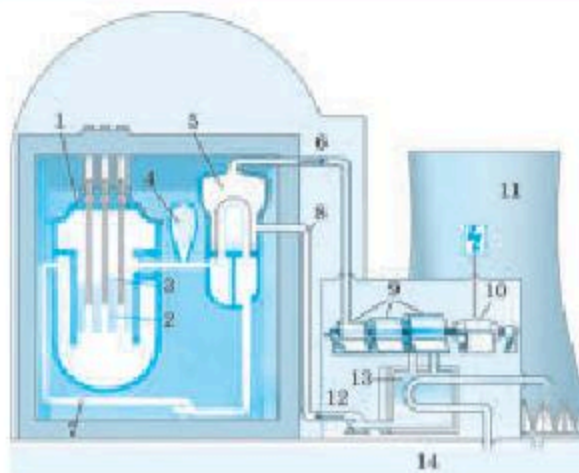
Қазіргі кезде Әлемнің көптеген дамыған елдерінде ядролық реакторлары бар қондырғылар пайдаланылады. Реакторлар өздерінің қуаты бойынша және қолданылу мақсаттарына қарай бірнеше түрлерге бөлінеді:

- ғылыми-зерттеу реакторлары;
- өндірістік, яғни радиоактивті изотоптарды өндіретін реакторлар;
- ядроның энергиясын электр энергиясына түрлендіретін энергетикалық реакторлар.

**Жылулық нейтронды-ядролық реактор.** Энергетикалық қондырғысы бар ядролық реактордың негізгі бөліктері мен құрылысы 67.1-суретте көрсетілген. Кез келген ядролық реактор мынадай негізгі бөліктерден тұрады:

- тізбекті реакция өтетін активті аумақ;
- нейтрондарды баяулатқыш;
- активті аумақта бөлінетін энергияны өкететін жылу тасығыш;
- нейтрондарды шағылдырғыш;
- тізбекті реакцияның жылдамдығын реттегіш біліктер;





67.1-сурет

1 — реактордың қазаңдығы; 2 — жылу шығарғыш элемент (ЖЭ); 3 — реттегіш біліктер; 4 — қысымды реттегіш; 5 — бу генераторы; 6 — бу; 7 — бірінші контур; 8 — екінші контур; 9 — турбиналар; 10 — генератор; 11 — градирня; 12 — су; 13 — конденсатор; 14 — салқындатқыш

- болаттан жасалған қорғаныш қабық;
- темір-бетонды биологиялық қорған;
- автоматты басқару жүйесі.

Жылулық нейтронды реактордың активті аумағында ядролық отын ретінде уран-235 пайдаланылады. Табиғи урандағы 235-изотопының мөлшері 0,7%, сондықтан оның мөлшерін 5% -ға дейін көбейтіп, байытады. Байытылған ураннан жасалған *жылу шығарғыш элементтер* деп аталатын ядролық отын герметикалық жабық болат құбырдың ішіне орнатылады. Жылу шығарғыш элементтері бар құбырды нейтрондарды *баяулатқыш* су немесе ауыр су қоршап тұрады. Баяулатқыш ретінде, реактордың түріне байланысты графит те қолданылады.

Реакция кезінде бөлінетін энергияны жылу тасығыштың көмегімен шығарады. Көбінесе жылу тасығыш үшін өте жоғары қысымдағы кәдімгі суды пайдаланады. Өте жоғары қысым суды қайнап кетуден сақтайды. Жақсы жылу тасығыштар қатарына *ауыр су, су буы, гелий газы, сұйық натрийлер* жатады.

Активті аумақты нейтрондардың сыртқы ортаға сейілуін азайтып, шағылдыратын *бериллий* қабатымен қоршайды. Оның сыртынан өтімділігі жоғары  $\gamma$ -сәулелері мен нейтрондардан қорғау үшін болат сауытпен, оны тағы да қалыңдығы бірнеше метрлік темір-бетонмен қаптайды. Нейтрондарды жақсы жұтатын *бордан* немесе *кадмийден* жасалынған реттегіш біліктер арқылы реакцияның жылдамдығын басқарады. Реттегіш біліктер активті аумаққа толығымен еніп тұрғанда реактор жұмыс істемейді.



67.2-сурет

Нейтрондардың басым бөлігі жұтылатындықтан, тізбекті бөліну реакциясы өрбімейді. Активті аумақта тізбекті реакция басталып, тұрақтанғанша реттегіш біліктер біртіндеп шығарыла береді. Реактордың қуаты белгіленген межеден аса бастағанда авариялық реттегіш біліктер автоматты түрде активті аумаққа енгізіледі.

Жылулық нейтрондардағы тізбекті реакция 67.2-суретте көрсетілген. Жылу шығарғыш элементтердегі тізбекті ядролық реакцияда босаған энергияның басым бөлігі жарықшақтардың және нейтрондардың кинетикалық энергиясына, қалғаны  $\gamma$ -сәулелердің электромагниттік энергиясына айналады.

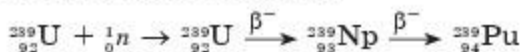
Жарықшақтар мен нейтрондар су арқылы өткенде, оны жоғары температураға ( $330^{\circ}\text{C}$ -қа) дейін қыздырады. Аса қызған суды сорғының көмегімен реактор мен құбырлардан, бу генераторынан тұратын бірінші контур бойымен қозғалысқа түсіреді. Бу генераторында екінші контурдағы су буға айналады. Жоғары қысымдағы бу қуатты генератордың роторына қосылған турбиналарды айналдырады.

**Шапшаң нейтронды реактор.** Құрамындағы  $^{235}_{92}\text{U}$  изотопының қоспасы 15% — 20% -дан кем емес байытылған уранда тізбекті реакция шапшаң нейтрондарды баяулатпаса да жүре алады. Баяулатқышсыз мұндай реакторды *шапшаң нейтронды реактор* деп атайды.

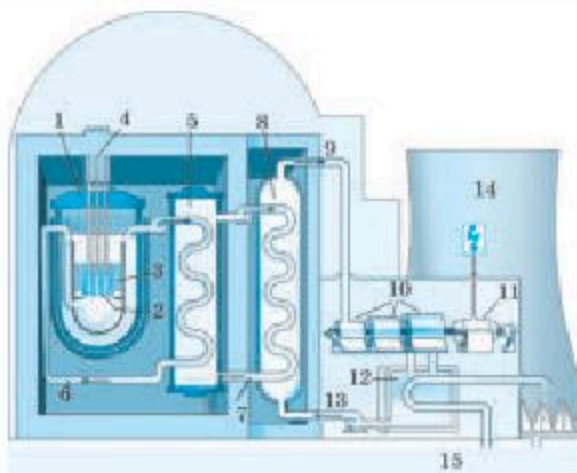
Тізбекті реакцияда бөлінетін шапшаң нейтрондардың  $\frac{1}{3}$ -іне жуық бөлігі уран-238 изотопының ядроларында жұтылады. Шапшаң нейтронды жұтып алған уран-238 изотопы төмендегі рет бойынша плутоний  $^{239}_{92}\text{Pu}$  изотопына айналады:  $^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0n \rightarrow ^{239}_{92}\text{U}$ . Пайда болған  $^{239}_{92}\text{U}$  изотопы 23 мин-тан соң  $\beta^-$ -ыдыраудың нәтижесінде нептунийдің  $^{239}_{93}\text{Np}$  изотопына түрленеді:  $^{239}_{92}\text{U} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + {}^0_{-1}e$

$^{239}_{93}\text{Np}$  — жасанды жолмен алынған *бірінші трансурандық химиялық элемент*. Нептунийдің өзі  $\beta^-$ -радиоактивті, ыдырау процесінде екінші трансурандық элемент — плутоний пайда болады:  $^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow ^{239}_{94}\text{Pu} + {}^0_{-1}e$

Сипатталған реакцияларды жазайық:







67.3-сурет

1 — реактордың қазандығы; 2 — жылу шығарғыш элемент; 3 — қайта өндіргіш элемент; 4 — реттегіш біліктер; 5 — аралық жылуалмастырғыш; 6 — бірінші натрийлік контур; 7 — екінші натрийлік контур; 8 — бу генераторы; 9 — бу; 10 — турбиналар; 11 — генератор; 12 — конденсатор; 13 — су; 14 — градирня; 15 — салқындатқыш

Плутоний де  $^{235}_{92}\text{U}$  изотопы сияқты жылулық нейтрондардың әсерінен бөлініп, тізбекті реакция жүреді және көп мөлшерде энергия шығарады. Шапшаң нейтронды реакторда активті зона ретінде  $^{238}_{92}\text{U}$  немесе  $^{234}_{90}\text{Th}$  изотоптарымен байытылған уран қорытпасы қолданылады. Бұл нейтрондарды аз мөлшерде жұтады. Осындай реакторда баяулатқыш болмайды. Осы өңірді *қайта өндіру аумағы* дейді. Сол себепті шапшаң нейтронды реакторларды *көбейткіш-реакторлар* немесе *бридерлер* (ағылш. *to breed* — көбею) деп атайды. Көбейткіш-реактордың сұлбасы 67.3-суретте көрсетілген.

Реакторда жылу тасығыш қызметін сұйық натрий атқарады. Бұл реакторларда 1 кг уран-235 изотопы бөлінгенде 1,5 кг-ға дейін плутоний өндіріледі.

**Ядролық энергетика.** *Тізбекті* реакцияда бөлінетін ядроның энергиясын практикалық мақсатта пайдаланудың ең тиімді жолы — электрэнергиясына түрлендіру. Ол реактордың көмегімен атомдық электр стансыларында (АЭС) жүзеге асырылады. КСРО-да 1954 жылы Обнинск қаласында қуаты 5 000 кВт болатын тұңғыш атом электрстансысы іске қосылды. 1971 жылдан Қазақстанда Ақтау қаласында шапшаң нейтронды реакторы бар атом электрстансысы және теңіз суын тұщыту қондырғысы жұмыс істей бастады. Өнеркәсібі жоғары дамыған елдерде су электрстансыларын салудың және органикалық отын қорының мүмкіндігі қиындай бастағандықтан ядролық энергетика саласы қарқынды дамуда. Органикалық отынмен жұмыс істейтін жылу электрстансыларына қарағанда атомдық электрстансыларының артықшылығы бар. Атом электрстансылары ортаны түтінмен және күлмен ластамайды, ауадағы оттекті қажет етпейді. Дегенмен ядролық



энергетиканың қоршаған ортаға зиянды және қауіпті өсерлері бар. АЭС-те қызмет атқаратын адамдарды үсәулелері мен нейтрондар ағынының жағымсыз өсерлерінен қорғау мәселелеріне қатты көңіл бөлінеді. Себебі радиоактивті ластану өте қауіпті. Уран ядросының бөлінуі кезінде пайда болатын радиоактивті қалдықтарды, қолдану мерзімі біткен жылу шығарғыш элементтерді және т.б. заттарды көму кезінде күрделі қиыншылықтар туындайды. АЭС-тің қызмет істеу мерзімі 20 жыл шамасында, осы мерзім өткен соң ұзақ жылдар бойы оның барлық бөліктері мен материалдарына радиация өсер еткендіктен оны қайта қалпына келтіру мүмкін емес. 1986 жылы Чернобыль АЭС-те болған апат жүз мыңдаған адамдардың баспаналарын тастап, қоныс аударуға мәжбүр етті, оның зардабы әлі де ондаған, тіпті жүздеген жылдар бойы сезіледі.

Өрине, ядролық энергетиканың адамзат үшін маңызы зор. Қазіргі кезде ядролық реактордың қауіпсіздігін арттыру мақсатында жан-жақты зерттеулер жүргізіліп, оған үлкен мән берілуде.



1. Ядролық реактордың негізгі бөліктерін атаңдар және әрқайсысының қызметтерін сипаттаңдар.
2. Жылулық нейтронды реакторда не үшін нейтрондарды баяулатқыш қолданылады?
3. Тізбекті реакция қалай басқарылады?
4. Жылулық және шапшаң нейтронды реакторларда ядролық отын ретінде не пайдаланылады?
5. Реактордағы уранның сындық массасын азайтуға бола ма?
6. Көбейткіш-реакторлар деп қандай реакторларды айтады?
7. Ядролық энергия электр энергиясына қалай түрленеді?
8. Ядролық энергетиканың басқа энергетика түрлеріне қарағанда қарқынды дамуының себебі неде?

### Есеп шығару мысалы

ПӨК-1 25% болатын атом электрстансысының қуаты 1 млн кВт. Бір жылға жұмсалатын уран-235 изотопының массасын анықтаңдар. Уранның бір ядросы ыдырағанда 200 МэВ энергия бөлінеді.

*Берілгені:*

$$P = 10^9 \text{ Вт}$$

$$t = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Дж}}{\text{ядро}}$$

$$\eta = 0,25$$

$$M = 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$m = ?$$

*Шешуі.* Ядролардың санын молекулалар санын анықтайтын формула арқылы табамыз:

$$N = \frac{m}{M} N_A,$$

мұндағы  $m$  — уран-235 изотопының бір жылда жұмсалатын массасы,  $M$  — изотоптың мольдік массасы,  $N_A$  — Авогадро саны. Ыдырау кезінде бөлінетін энергия:

$$E = E_0 \cdot N = E_0 \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A.$$

Тұтынушыға берілетін энергия  $W = P \cdot t$ ,

$$\eta E = W \text{ немесе } \eta E_0 \frac{m}{M} N_A = P \cdot t,$$

$$\text{осыдан } m = \frac{PtM}{\eta E_0 N_A} = \frac{10^9 \text{ Вт} \cdot 3,16 \cdot 10^7 \text{ с} \cdot 0,235 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{0,25 \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Дж}}{\text{ядро}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 1650 \text{ кг.}$$

*Жауабы:* 1650 кг.



### 34-жаттығу

1. ПӘК-і 20% болатын атом электрстансысының қуаты 1000 МВт. Төулігіне жұмсалатын уран-235 изотопының массасын анықтаңдар.

*Жауабы:* 5,3 кг.

2. АҚШ-тың “Наутилус” атомдық сүңгуір қайығының жылулық қондырғысының қуаты 14,7 МВт, ПӘК-і 25%. Отын ретінде байытылған уран қолданылады, оның 1 кг массасындағы ядролар бөлінгенде  $6,9 \cdot 10^{13}$  Дж энергия шығады. Қайық бір жыл бойы жүзуі үшін қанша отын қоры қажет?

*Жауабы:* 26,9 кг.

3. Егер атом мұзжарғышы қозғалтқышының қуаты  $3,2 \cdot 10^4$  кВт және атом реакторы төулігіне 200 г уран-235-ті пайдаланса, атом мұзжарғышы қозғалтқышының ПӘК-ін есептеңдер. Уран атомының бір ядросының бөлінуі кезінде 200 МэВ энергия босап шығады.

*Жауабы:*  $\eta = 17\%$ .

## § 68. Термоядролық реакциялар



### Тірек ұғымдар:

- ✓ термоядролық реакция
- ✓ термоядролық синтез
- ✓ Токомак

### Бүгінгі сабақта:

- термоядролық реакция туралы мағлұмат ала-сындар.



Ядролық реакция кезінде мол энергия бөлініп шығатын реакцияның бір түрі *жеңіл элементтер* ( ${}^1_1\text{H}$ ;  ${}^2_1\text{H}$ ;  ${}^3_1\text{H}$  және т.б.) ядроларының синтезі (бірігуі) болып табылады. Жеңіл элементтер ядроларының синтезі миллиондаған градус ( $10^7$  —  $10^9$ К) температурада ғана жүзеге асады.

Өте жоғары температурада жеңіл ядролардың бірігіп ауырлау ядроны түзу реакциясын *термоядролық реакция* деп атайды. Екі жеңіл элементтің ядроларының тыныштық массаларының қосындысы олардың бірігуінен пайда болған ядроның тыныштық массасынан артық. Масса ақауының нәтижесінде көп мөлшерде энергия босап шығуы тиіс.

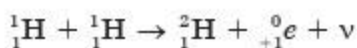


Есептеулер бұл пайымдаудың дұрыстығын дәлелдеді. Мысалы, сутектің изотоптары дейтерий  ${}^2_1\text{D}$  мен тритий  ${}^3_1\text{T}$  ядроларының бірігу реакциясында гелий  ${}^4_2\text{He}$  атомының ядросы түзіледі және 17,6 МэВ энергия бөлінеді:  ${}^2_1\text{D} + {}^3_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + 17,6 \text{ МэВ}$ .

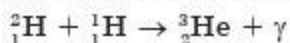
Термоядролық синтез кезінде бір нуклонға  $\frac{17,6}{5} = 3,5$  МэВ энергияның, ал уран ядросының бөліну реакциясында бір нуклонға 0,9 МэВ энергияның бөлінуі сәйкес келеді. Демек, жеңіл ядролардың синтезінде бөлінетін меншікті энергия ядролардың бөліну реакциясындағы меншікті энергиядан 4 есе артық. Термоядролық синтезді жүзеге асырудың қиыншылығы мынаған байланысты.

Оң зарядталған жеңіл ядролардың бірігуіне кулондық тебіліс күштері кедергі жасайды. Оны тек жоғары температураға дейін қыздырылған плазмалардағы бөлшектерге зор кинетикалық энергия беру арқылы жеңеді. Бір-біріне  $10^{-14}$  м-ге жуық қашықтыққа жақындағанда ядролық күштің әсер ету аймағына енген ядролар бірігіп жаңа ядроны түзеді және аса көп энергия босайды. Қазіргі көзқарас бойынша Күн мен жұлдыздар қойнауындағы энергияның қайнар көзі — термоядролық реакция. Күн ядросындағы температура 15 млн ( $1,5 \cdot 10^7$  К) градусқа жуық, қысымы 200 млрд атмосфера болады. Күн затының атомдары осындай температурада сыртқы электрондарынан айырылып, ядролардан (протоннан) және еркін электрондардан тұратын иондалған газ — *плазмаға* айналады.

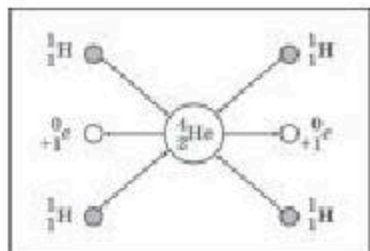
Американдық физик Х. Бете 1938 жылы *протон-протонды термоядролық цикл* нәтижесінде сутектің гелийге айналуы жұлдыздардағы ең басты реакция екенін ашты. Екі протонның бірігуі кезінде дейтерий пайда болады және позитрон мен нейтрино шығарылады:



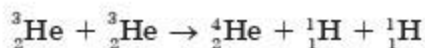
Енді дейтерийдің өзі протонмен әсерлесіп, нәтижесінде гелий изотопының  ${}^3_2\text{H}$  ядросы түзіледі өрі  $\gamma$ -квант түрінде энергия бөлінеді:



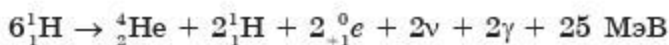
Реакцияларда пайда болған  ${}^3_2\text{He}$  изотопының екі ядросының бірігуі  ${}^4_2\text{He}$  ядросын туғызады:



68.1-сурет



Қорыта келгенде, сутектің төрт ядросы гелийдің бір ядросын түзеді және реакция барысында 25 МэВ энергия босайды (68.1-суретте осы процесс бейнеленген):





Жұлдыздарда басқа да термоядролық синтез өтуі мүмкін. Сутектің “жанып” бітуіне орай жұлдыздың центрінде гелийден құралған ядро түзіледі. Енді *көміртек-азот циклі* басталып, реакцияның соңғы өнімдерінің бірі  ${}^4_2\text{He}$  изотопы синтезделеді. Цикл барысында 26,7 МэВ энергия босап шығады.

Күн әр секунд сайын сәуле шығару арқылы  $4 \cdot 10^{26}$  Дж энергиясынан айырылады, яғни оның массасы 4,3 млн т-ға кемиді. Дегенмен Күндегі “отын” қоры әлі 6 млрд жылға жетеді.

Демек, жұлдыздар эволюциясында термоядролық реакциялар шешуші рөл атқарады.

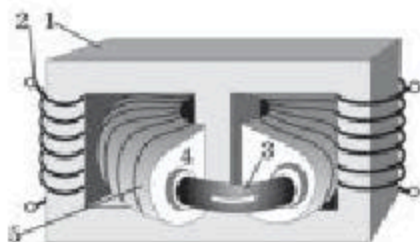
**Сутекті бомба (H-бомба).** Жер бетінде алғашқы термоядролық реакция 1952 жылы 1 қарашада Тынық мұхитының оңтүстік бөлігінде жүзеге асырылса, келесі реакция 1953 жылы Қазақстанда (Семей полигоны) сутекті бомбаны жару арқылы жүргізілді. Дейтерий мен тритийдің қоспасы атом бомбасымен ( ${}^{235}_{92}\text{U}$  немесе  ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ ) бірге ортақ қабықтың ішінде орналасады. Басқарылмайтын термоядролық реакцияны жүзеге асыруға қажетті температура мен қысым атомдық бомбаны жару арқылы алынады. Осылайша атом бомбасының жарылысы ( $\approx 10^{-6}$  с) термоядролық (сутекті) бомбаның жойқын қопарылысына ұласады.

**Басқарылатын термоядролық синтез.** Термоядролық реакция энергиясын бейбіт мақсатқа пайдалану — қазіргі замандағы әлі шешімі табылмаған күрделі мәселе. Жер қойнауындағы көмірсутекті отынның қоры 200 жылға, уранның қоры бір мың жылға ғана жететінін ескерсек, адамзат үшін басқарылатын термоядролық реакторларды жасау, оны игеру ұлы мақсат. Өйткені Жерде сутектің іс жүзінде таусылмас қоры бар.

Сутектің ауыр изотоптары дейтерий мен тритийдің синтезі — ең тиімді реакцияның бірі. Ол үшін плазманың температурасын ондаған миллион градусқа ( $\approx 5 \cdot 10^7$  К) көтеру қажет және плазмадағы дейтерий мен тритийдің қоспасының тығыздығы  $1 \text{ м}^3$  көлемде  $10^{22}$  бөлшектен кем болмауы тиіс. Жоғары температураны плазма арқылы өте қуатты электр разрядын (1 млн А) тудыра отырып алуға болады.

Миллиондаған градусқа дейін қызған плазмадағы реакцияны ұстап тұру — негізгі қиыншылықтың бірі. Мұндай температураға реактордың қабырғасын жасайтын ешбір заттың шыдамайтыны түсінікті, ол буға айналып кетеді. Жоғары температурадағы плазманы салқын қабырғаларға тигізбей *күшті магнит өрісінде* ұстап тұру тәсілін 1950 жылы Ресей физиктері А. Д. Сахаров пен И. Е. Тамм ұсынды. Осы идеяға негізделіп жасалған тәжірибелік қондырғыны “Токомак” деп атаған. Оның негізгі бөліктері 68.2-суретте көрсетілген.

Токомак болат өзекшелері бар трансформатордан (1), айнымалы магнит өрісін тудыратын орамадан (2), тороидальды вакуумдық каме-



68.2-сурет

радан (4), плазмадан (3) және қума магнит өрісін тудыратын (5) орамадан тұрады. Термоядролық синтезді жүзеге асырудың екінші тәсілі — дейтерий мен тритийдің қоспасынан тұратын газы бар шыны шарды аса қуатты импульстік лазерлер сәулелерімен қыздыру. Тәжірибеде плазманың температурасы ондаған миллион кельвинге көтерілген. Плазмада жарылыс

болғанға дейін реакция өтіп үлгереді.

Бұл тәсілді *инерциялы* деп атайды. Дүниежүзі ғалымдарының ХХІ ғасырда басқарылатын термоядролық реакторлардың іске қосылып, энергетикалық қиыншылықтар толығымен шешілетініне сенімі мол.



1. Термоядролық синтез дегеніміз не?
2. Реакциядағы энергетикалық шығу қай жағдайда артық болады: ядролардың бөлінуінде ме, әлде синтезінде ме?
3. Неліктен жұлдыздарда термоядролық реакция өздігінен жүреді?
4. Жұлдыздар сөне ме?
6. Басқарылатын термоядролық реакцияны жүзеге асыру жолдары қандай?
7. Неліктен термоядролық энергетиканың болашағы зор?



### 35-жаттығу

1.  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He}$  термоядролық реакциясы кезінде қандай энергия бөлініп шығады?

*Жауабы:* 23,8 МэВ.

2. Дүниежүзінде жылына  $3 \cdot 10^{20}$  Дж-ға жуық энергия тұтынылады. Адамзаттың энергетикалық қажеттілігін қамтамасыз ету үшін термоядролық реакторда жылына қанша дейтерий “жағу” қажет?

*Жауабы:* 6300 т.

3. Егер  $\alpha$ -бөлшек 19,7 МэВ энергияға ие болса,  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma$  термоядролық реакциясы кезінде пайда болатын  $\gamma$ -сәуле шығару жиілігін табындар.

*Жауабы:*  $10^{21}$  Гц.



## 10-тараудың ең маңыздысы

*Ядролық физика* атом ядросының құрылымын, қасиеттерін, оның түрленулерін зерттейді, микродүниеде болып жататын құбылыстарды қарастырады.

Резерфорд тәжірибелер негізінде атомның ядролық моделін ұсынды. Ядроның өлшемі  $10^{-15}$  м болып шықты.

Резерфорд алғаш рет атом ядроларын  $\alpha$ -бөлшектерімен атқылап, олардың жасанды түрленулерін іске асырған. Ол 1919 жылы *протонды* ашты, ал Чедвик 1932 жылы ядроның құрамына кіретін екінші бөлшек — *нейтронды* ашты.

В. Гейзенберг пен Д. Иваненко атом ядросының *протон-нейтрондық моделін* ұсынды. Бұл модель бойынша ядро протондар мен нейтрондардан, яғни нуклондардан тұрады:  $A = Z + N$ .

Ядроның ішінде нуклондарды қысқа қашықтықта ғана әсер ететін ядролық күштер ұстап тұрады.

Ядролық физикада нуклондардың байланыс энергиясы аса маңызды сипаттама болып табылады. Байланыс энергиясы ядроны жеке нуклондарға ыдырату үшін жұмсалатын энергияға тең.

1896 жылы А. Беккерель табиғи радиоактивтік құбылысын ашты. Радиоактивті деп аталатын элементтер өздігінен  $\alpha$ -сәуле,  $\beta$ -сәуле және  $\gamma$ -сәуле шығарады. Бұл сәулелердің табиғаты анықталды:  $\alpha$ -сәулелер — гелий атомдарының ядролары,  $\beta$ -сәулелер — электрондар ағыны, ал  $\gamma$ -сәулелер ұзындығы аса қысқа электромагниттік толқындар.

Атом ядроларының өртүрлі бөлшектер мен сәулелер шығара отырып өздігінен түрлену заңын, яғни радиоактивті ыдырау заңын Резерфорд ашқан еді:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \text{ немесе } N = N_0 e^{-\lambda \cdot t}.$$

Атом ядролары мен элементар бөлшектердің бір-біріне айналуы мен соқтығысуын зерттеу өрі тіркеу үшін Гейгер санағышы, Вильсон камерасы, көпіршікті камера, фотоэмульсия, сцинтилляциялық санағыш қолданылады.

Атом ядроларының бір-бірімен және элементар бөлшектермен өзара әсерлесуі кезіндегі өзгерісін *ядролық реакциялар* деп атайды. Ядролық реакциялар кезінде энергияның бөлінуі немесе жұтылуы болады.

Ауыр ядролар (U, Th, Pu және т.б.) нейтрондардың әсерінен бөліне алады. Бөліну кезінде екі-үш нейтрон және 200 МэВ-қа шамалас энергия бөлініп шығады. Ядролық реакторларда басқарылатын тізбекті ядролық реакция кезінде бөлінетін энергияны пайдалану жүзеге асырылды.



Аса жоғары температурада жеңіл ядролардың синтезделу реакциясы — термоядролық реакция жүзеге асырылады. Термоядролық энергия есебінен Күн мен жұлдыздарда миллиардтаған жылдар бойы энергия шығарылуда.

Радиоактивті сәулелер белгілі бір шекті шамадан асып кетсе, тірі ағзаға үлкен зиян келтіреді.

## VI бөлім. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

### 11-тарау. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

#### § 69. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері, өзекті мәселелері мен даму кезеңдері. Наноматериалдар



##### Тірек ұғымдар:

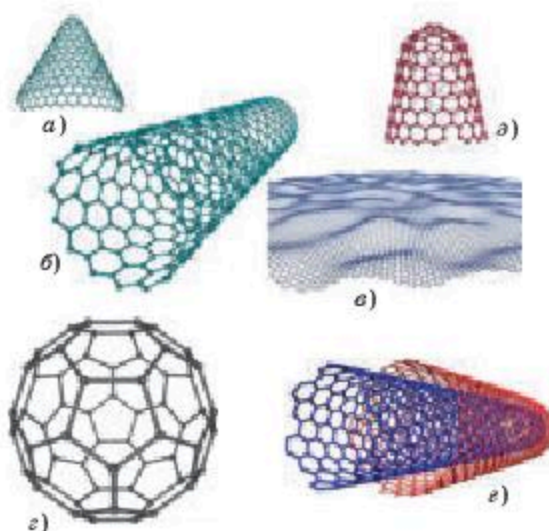
- ✓ нанотехнология
- ✓ наноматериалдар
- ✓ 3D принтер
- ✓ нанороботтар

##### Бүгінгі сабақта:

- наноматериалдардың физикалық қасиеттерін және оларды алудың жолдарын түсінесіңдер;
- нанотехнологияның қолданылуын талқылайсыңдар.



*Нанотехнология деп ерекше және жаңа қасиеттер алу мақсатында материямен (затпен) атомдық, молекулалық және супрамолекулалық (бірнеше молекула) деңгейлерде амалдар жасау әдістерін айтады. Әдетте, ол амалдар ең болмағанда заттың бір өлшемі 1—100 нм шамасындағы құрылымдармен әрекет жасау болып табылады. Мысалы, өйгілі графен жазық наноматериал: яғни екі өлшемі өте үлкен, ал үшінші өлшемі біратомдық көміртек нанотүтікшесі сызықты наноматериал, ал фуллерен нүктелік наноматериал болып табылады (69.1-сурет).*



69.1-сурет

- а) нанокон; б) нанохори; в) нанотүтікше; г) графен;  
д) фуллерен; е) қос қабатты нанотүтікше



Ричард Фейнман  
(1918—1988)

**Наноматериал** дегеніміз — нанобөлшектерден тұратын немесе нанотехнология негізінде жасалған макроскопиялық зат. Бірдей химиялық құрамды заттың нанобөлшегі оның ірі сұлбасынан физикалық, химиялық, оптикалық, биологиялық қасиеттері бойынша өте ерекшеленеді. Мысалы, өлшемі 5 нм алтын нанобөлшегінің балқу температурасы қалыпты алтыннан 250°С-қа төмен. Бұның бір себебі — бөлшек бетіндегі атомдардың саны бөлшектегі толық атомдар санымен салыстырғанда елеулі болуында (беттік эффекттер). Тағы бір елеулі себеп — кванттық қасиеттер үлесінің артуы.

Нанотехнологияларды жасаумен наноғылымдар айналысады. Оларға наномеханика, наноионика, наноэлектроника, нанопотоника, нанороботика, нанотоксикология, наномедицина және т.б. жатады. Наноғылымдардың қарқынды дамуына байланысты оларға соңғы жылдары көптеген жаңа салалар қосылуда.

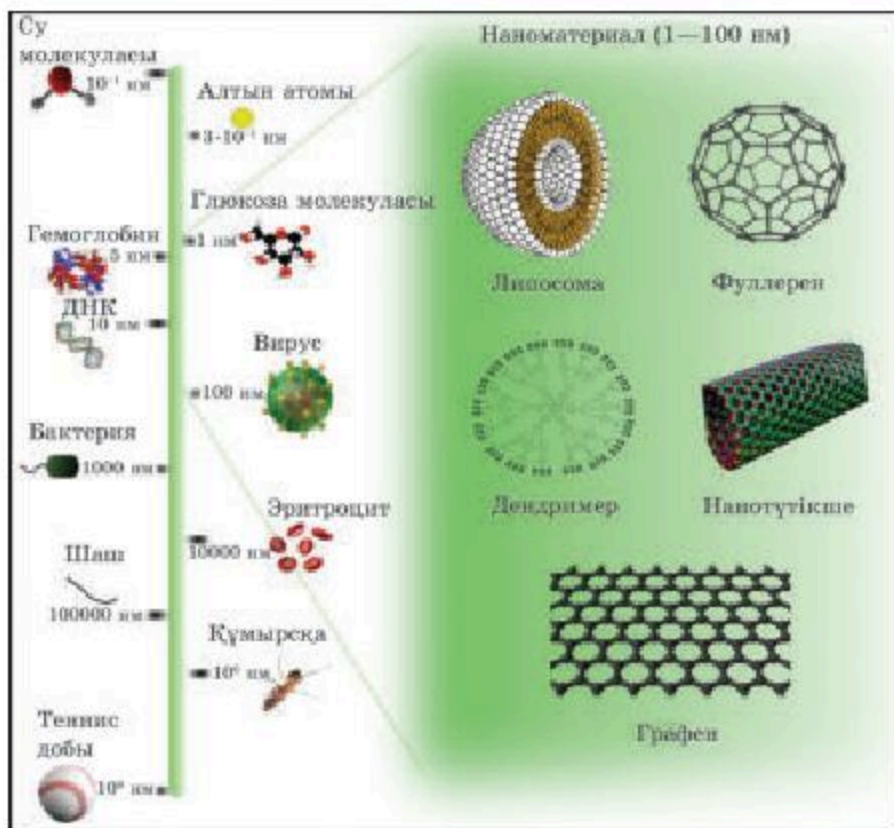
“Нано” қосымшасы миллиардтан бір бөлігі мағынасын береді (1 нм =  $10^{-9}$  м), ол грекшеден аударғанда “ергежейлі” дегенді білдіреді. Айта кететін жайт — кейбір жағдайларда нано қосымшасы салыстырмалы түрде өлдеқайда кіші, ергежейлі мағынасында қолданылады. Мысалы, наноспутник — массасы бірнеше килограмм болатын серік, ал нанотираннус — бойы бір-екі метр болатын ергежейлі тиранозавр.

Нанодеңгейдегі заттардың басқа өлшемдердегі заттардан айырмашылығын 69.2-суреттен көруге болады.

Нанотехнологиялар жайлы алғаш рет ғылыми түрде америкалық ғалым Ричард Фейнман Калифорниялық технологиялық институттағы Америка физикалық қоғамы жиналысында 1959 жылы 29 желтоқсанында берген “There’s Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics” (“Төменде көп орын бар: Жаңа физика саласына кіруге шақыру”) деген дәрісінде баяндаған. Бірақ ол кезде нанотехнология термині болмаған еді. “Нанотехнология” терминін алғаш рет 1974 жылы жапон ғалымы Норио Танигути ұсынды. Ал ғылым саласы түрінде нанотехнология ұғымы 1980 жылдан бастап қалыптаса бастады. 1981 жылы неміс ғалымы Герд Карл Бинниг пен швейцариялық ғалым Генрих Рорер атомдарды кескіндеумен қатар, олармен амалдар жасауға мүмкіндік беретін сканерлеуші туннельдік микроскоп ойлап тауып, наноғылымдар үшін нақты құрал жасады (69.3-сурет). Нанотехнологиялар дәуірі осыдан басталды десек болады.

Ал адамзат нанотехнологиялардың қолданылуын 2000 жылдан бастап сезіне бастады. Осы уақыттан бастап дамыған елдер нанотехнологияны дамытудың мемлекеттік бағдарламаларын құрып, қаржы бөле бастады. Нанотехнология физика, химия, биология, медицина,

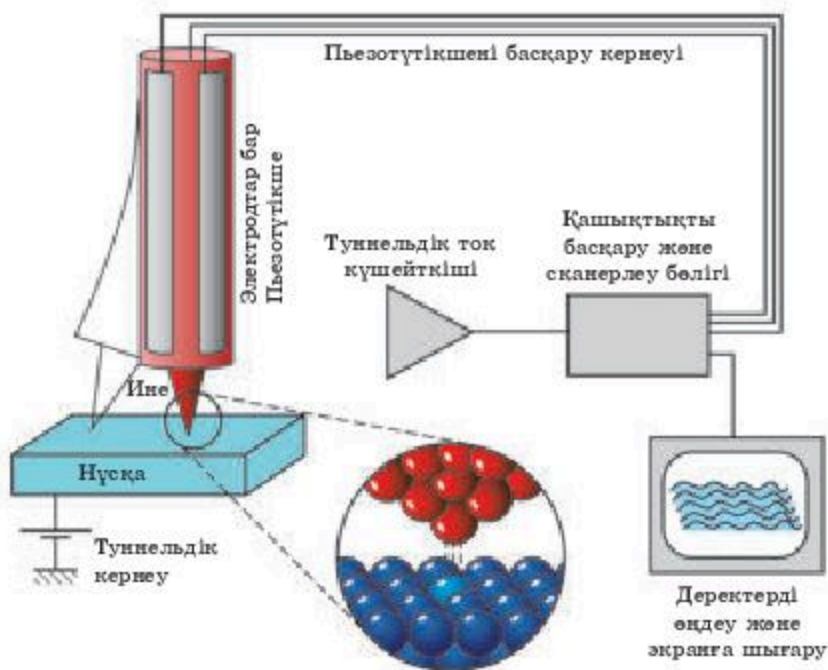




69.2-сурет. Нанодоңгейдің басқа өлшемдерге қатынасы

электроника салаларында және ауылшаруашылығында кең қолданысқа ие болып, наноматериалдар мен нанобөлшектер күнделікті тұтынатын заттардың құрамына ене бастады. Заманауи нанотехнология бойынша алдыңғы қатарда ең көп патенттері бар Samsung корпорациясы тұр. Ол компания 2021 жылы процессор жасаудың бүгінгі күндегі (2019 ж.) ең озық 3 нм технологиясын коммерциялық қолданысқа жіберетінін жариялады. Сондай-ақ осы салада ғылыми зерттеулер бойынша LG (Корея), IBM (АҚШ) және Toshiba (Жапония) компаниялары, АҚШ, Еуропа Одағы, Қытай, Жапония, Ресей ғылыми зерттеу ұйымдары көш бастап тұр.

Нанотехнологиялар жалпылама әдістері бойынша жоғарыдан төменге және төменнен жоғарыға болып екіге бөлінеді. Жоғарыдан төменге әдісі бойынша нанометрлік бөлшектерді ірі бөлшектердің немесе қатты дененің түйірлерін ұнтақтау немесе басқа амалдар қолдану арқылы жүзеге асырылады. Мұндай типтегі технологияларға наноматериалдар мен наноқұрылымдарды көлемді заттардан алу үшін қолданылатын әдістер: арнайы ұнтақтағыштар; аморфты қорытпалардың кристалдануы; жылдам пластикалық деформация; электр



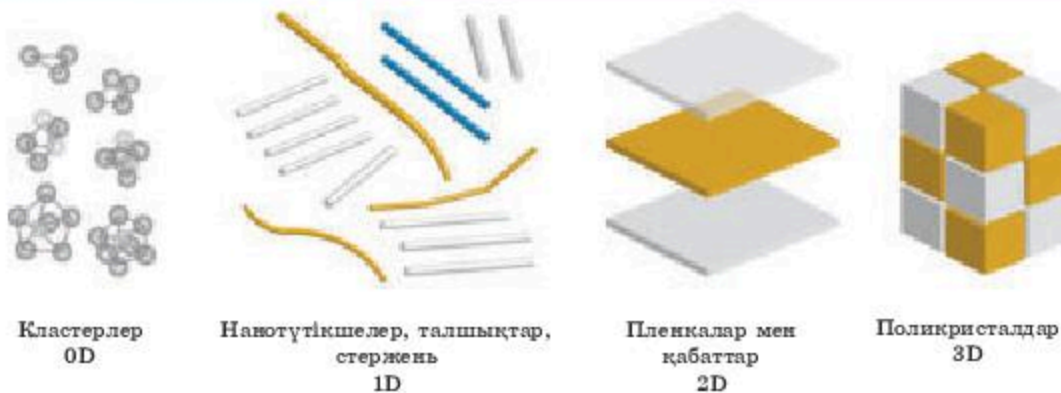
69.3-сурет. Сканерлеуші туннельдік микроскоп

жарылысы және т.б. жатады. Төменнен жоғарыға әдісі бойынша нанобөлшектерді атомдар мен молекулалардан қалыптастыру, яғни ең кіші өлшемді құрылымдарды нанометрлік өлшемдерге дейін ірілендіру жүзеге асырылады. Мұндай типтегі технологияларға конденсациялық газфазалық синтез; плазмохимиялық синтез; коллоидтік ерітінділерді тұндыру; газ фазасынан қабықшаларды химиялық және физикалық тұндыру (CVD және PVD), қабықшаларды электрлік тұндыру және т.б. жатады.

Жалпы наноматериалдар 3D өлшемді, 2D өлшемді, 1D өлшемді және 0D өлшемді болып бөлінеді (69.4-сурет).

**3D принтерлер.** 3D принтерлер — көлемді затты қабаттарды жанастыру арқылы жасап шығаратын аддитивті технология негізінде жұмыс жасайтын құрылғы. Қазіргі уақытта қабаттарды нанобөлшектерді лазермен балқытып қалыптастыратын 3D принтерлер жасалуда. Бұл құрылғылар наноматериалдарды жасауда қуатты құрал болып табылады.

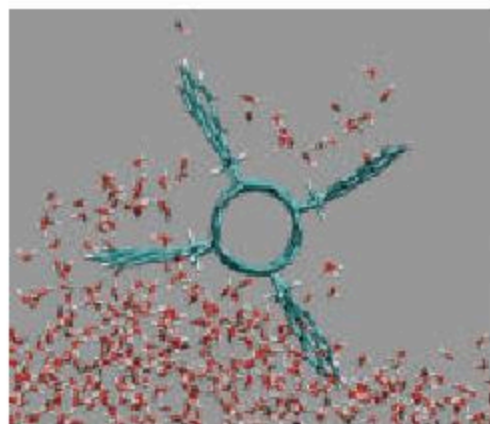
**Нанороботтар.** 1986 жылы америкалық ғалымы Эрик Дрекслер “Жарату машиналары: келе жатқан нанотехнология дәуірі” (Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology) кітабында өлшемдері 100 нм аспайтын, қозғалу, амалдар жасау, бағдарламалану, ақпарат алмасу мен өңдеу қабілеттері бар машиналарды құрастыру мүмкіндігін қарастырып, “наноробот” терминін енгізді. Мұндай машиналар жасалған жағдайда адам-



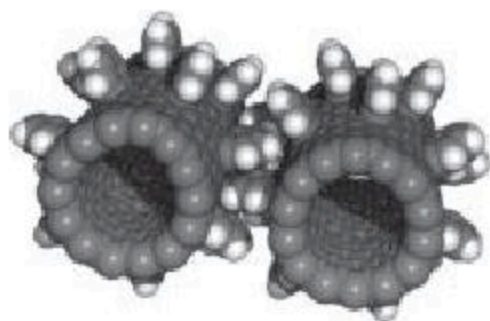
69.4-сурет. Наноматериалдар түрлері

зат дамуының келесі сатысына өтетініне күмән жоқ. Қазіргі уақытта нанороботтарды жасау бойынша қарқынды зерттеулер жүргізілуде. Тіпті оның құрама бөліктерінің біраз бөлігі жасалды да. Нанодеңгейінде науқас адамды емдейтін (зиянды бактериялар мен вирустарды жойып, улы заттарды залалсыздандыратын, ағзаны жөндейтін, дәрілерді қажет жерге тасымалдайтын, диагностика жасайтын) медициналық нанороботтарды жасау жоспарлануда.

Нанотехнологияны қолдану пайдасынан өзге қауіптерді де туғызуда. Нанобөлшектердің тірі ағзаға әсері алуан түрлі. Нанобөлшек өлшеміне, пішініне, концентрациясына және әсер ету нысанасына байланысты әртүрлі әсер береді: бірде емдік қасиет берсе, бірде улы болып табылады. Мысалы, фуллерен белгілі бір майлармен араластырғанда денсаулыққа пайдалы болса, суға салынған өте аз концентрациядағы коллоиді тері мен бүйрек жасушалары үшін улы (69.5-сурет). Ал көміртек нанотүтікшелерінің көбі тірі мутацияға ұшыратып, жасушаның апоптозына себеп болады (69.6-сурет). Сондықтан наноматериалдарды өндіргенде қоршаған ортаны залалсыздандырмау, халықаралық ұйымдар мен мемлекеттер тарапы-



69.5-сурет. Нанопропеллер



69.6-сурет. Нанотүтікшелерден жасалған тісті доңғалақ



нан нанотехнологияларға қатысты қауіпсіздік шараларын жасауға ерекше назар аударылуда.

Қазақстанда нанотехнологиялық зерттеулер барлық техникалық және зерттеу университеттерінде қарқынды жүргізілуде. Мысалы, Назарбаев университеті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Бекетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті жанындағы нанозертханалар жан-жақты ғылыми зерттеулер жүргізуде.



1. *Нанотехнология заттың қандай қасиеттерін пайдалануға негізделген?*
2. *Нанотехнология әдістері немен ерекшеленеді?*
3. *Наноматериалдар үлкен бола ала ма?*
4. *Нанобөлшектер ағзаға қалай әсер етеді?*
5. *Нанороботтар жасалса, қай салаларда қолданыла алады?*

## 11-тараудың ең маңыздысы

**Нанотехнология** — ерекше және жаңа қасиеттер алу мақсатында материямен (затпен) атомдық, молекулалық және супрамолекулалық (бірнеше молекула) деңгейлерде амалдар жасау әдістерін айтады.

**Наноматериал** — нанобөлшектерден тұратын немесе нанотехнология негізінде жасалған макроскопиялық зат.

**Сканерлеуші туннельдік микроскоп** — атомдарды кескіндеумен қатар, олармен амалдар жасауға мүмкіндік беретін наноғылымдар үшін аса маңызды құрал.

**3D принтерлер** — көлемді затты (наноматериалды) кішкене өлшемді қабаттарды жанастыру арқылы жасап шығаратын аддитивті технология негізінде жұмыс жасайтын құрылғы. Бұл құрылғылар наноматериалдарды жасауда қуатты құрал болып табылады.

**Нанороботтар** — өлшемдері 100 нм-ден аспайтын, қозғалу, амалдар жасау, бағдарламалану, ақпарат алмасу мен өңдеу қабілеттері бар машиналар.

## VII бөлім. КОСМОЛОГИЯ

## 12-тарау. КОСМОЛОГИЯ

## § 70. Астрономия, астрофизика және космология



## Тірек ұғымдар:

- ✓ астрономия
- ✓ астрофизика
- ✓ астрометрия
- ✓ космология

## Бүгінгі сабақта:



- ғарышты зерттейтін ғылым — астрономияның зерттеу аймағы мен оның бөлімдерінің өзара байланысымен танысасындар.

Табиғат заңдарын зерттеудегі заманауи жетістіктер адамның Өлемге деген көзқарасын едәуір тереңдетіп, көп ғылымдар арасындағы шекараны жуық түрде тағайындайтындай жағдайға жеткізді. Астрономияның соңғы жетістіктері негізінде оның зерттеу нысандары қатары ғарыштағы материяның көрінбейтін түрінен бастап тірі ағзаларға дейінгі аралықты қамтиды деуге болады. Егер физиканы табиғаттың, оны құрайтын материяның ең негізгі (фундаменталды), мейлінше жалпылама өрі іргелі заңдылықтарын зерттейтін ғылым десек, астрономияны физиканың әдістерін пайдалана отырып Өлемді жан-жақты зерттейтін ғылым деп айтсақ болады.

Астрономия сөзі гректің “*астрон*” — “*жұлдыз*” және “*номос*” — “*атау, заң*” деген сөздерінің тіркесінен шыққан. Осы тараудың қарастырылу шеңберіне сәйкес астрономия — аспан денелерінің, олардың жүйелерінің және тұтас Өлемнің физикалық құрылысын, пайда болуын, қозғалысын және дамуын зерттейтін ғылым. Астрономияның әдеттегі негізгі зерттейтін нысандары — Күн, планеталар және олардың серіктері, метеорлық денелер, тұмандықтар, жұлдыздар, жұлдыздар шоғырлары, галактикалар және т.б. ғарыштық нысандар. Жерді Күн жүйесінің бір планетасы ретінде аспан денесі деп қарастырсақ, ол да астрономияның зерттеу нысаны болып табылады. Астрономияның ерекше зерттеу мәселелерінің бірі — жерден тыс өркениеттерді іздестіру және олармен байланыс орнату. Бұл сұрақ адамзаттың алдындағы ең негізгі мәселелердің бірі болып табылады.

## Мұны білесіңдер

Зодиақтық шоқжұлдыздар эклиптика бойында орналасқан. Күн, Ай және планеталар аспан сферасында эклиптика маңында қозғалады.

Астрономияның негізгі зерттеу әдісі — бақылау. Бақылаулар, негізінен, түрлі телескоптар көмегімен жүргізіледі. Оптикалық диапазоннан



тыс электромагниттік сәулелерді тіркеу, спектралдық талдау, фотосуретке және бейнетаспаға түсіру, электронды-есептегіш машиналарды пайдалану бақылау жүргізудің және оны сараптаудың мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті. Ғарышкерліктің дамуына байланысты астрономияда тәжірибе жасау мүмкіндігі пайда болды. Ғарышкемелері мен жасанды Жер серіктері көмегімен астрономдар Әлемді зерттеудің жаңа деңгейіне көтерілді. Күн жүйесін зерттеуде планетааралық ғарышкемелерін қолдану астрономияда көптеген жаңалықтар ашуға мүмкіндік берді. Аспан денелерін зерттеудің тағы бір жолы — ғарыш сәулелері мен метеориттерді зерттеу.

### БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Астрономияда зодиактық шоқжұлдыздар саны 13. Бірақ көпшілік олардың санын 12 деп біледі. Себебі: ежелде бұл шоқжұлдыздар саны 12 болған. Көпшілік хабардар астрология осы ескі жүйені пайдаланады. Астрономдар 1928 жылы шоқжұлдыздар шеғарасын қайта қарастырған соң, олардың саны 13 болды.

Аспан денелерін зерттегенде негізгі үш мәселе қойылады:

1. **Аспан денелерінің көрінетін орны мен қозғалысы.** Осы мәліметтер негізінде олардың шын орны мен қозғалысын тауып, өлшемдері мен пішінін анықтау.

2. **Аспан денелерінің физикалық құрылысы.** Химиялық құрамын, ондағы физикалық жағдайды (қысым, температура, тығыздық) анықтау.

3. **Аспан денелері мен олардың жүйелерінің пайда болуы және дамуы мәселелерін шешу.**

Астрономияны қолданатын мәліметтер сипатына байланысты, негізінен, төрт бөлімге бөледі: *астрометрия, аспан механикасы, астрофизика және космология.*

*Астрометрия* — аспан денелерінің көрінетін орнын және қозғалысын, Жердің айналуын өлшеудің теориялық және техникалық әдістерін табумен, оларды математикалық өңдеудің тәсілдерін шығарумен және әрі қарай жетілдіруін зерттейді. Астрометрия аспан координаталар жүйелерін тағайындау, Жердің айналуын мейлінше толық сипаттайтын параметрлер жиынын табу, астрономиялық бақылаулар негізінде дәл уақытты анықтау (уақыт қызметі), күнтізбе құру, жер бетінің географиялық координаталарын бақылаулар негізінде дәл анықтау сияқты маңызды мәселелерді зерттейді. Астрометрияны, негізінен, уақыт өлшеу жүйелері және аспан денелерінің көрінетін орны мен қозғалысын анықтаудың математикалық әдістерін зерттейтін “Сфералық астрономия” және бақылаулар мен астрономиялық құрылғыларды жасау теориясы “Практикалық астрономиясы” деп екі бөлікке бөлуге болады.



**Аспан механикасы** — аспан денелері мен олардың жүйелерінің өзара әсерлесу (негізінен, Бүкіләлемдік тартылыс заңы) салдарынан болатын қозғалысын зерттейді. Аспан механикасының негізгі практикалық мәселелері — бақылаулардан алынған мәліметтерге сүйене отырып, аспан денелері (сондай-ақ жасанды серіктер мен ғарышкемелері) орбиталарының элементтерін анықтап, олардың траекториясын табу, қозғалысының орнықтылығын зерттеу. Аспан механикасының “Теориялық астрономия” деп аталатын бөлігі аспан денелерінің көрінетін орындары (эфемеридалары) мен орбиталарын есептеумен айналысады. Ғарышкемелерін ұшыру қажеттілігі аспан механикасының қарқынды дамуына ықпал етуде.

**Астрофизика** — ол аспан денелерінің пайда болуын («Космология»), ондағы физикалық күйді, физикалық құрылысы мен химиялық құрамын, оның бетіндегі және қойнауындағы жүріп жатқан процестерді, олардың арасындағы ортаның (жұлдызаралық және т.б.) қасиеттерін зерттейді. Жұлдыздар мен жүйелердің жан-жақты зерттейтін “Жұлдыздық астрономия” астрофизиканың бір бөлігі болып табылады. Жалпы алғанда, астрофизиканы теориялық және бақылаулық бөліктерден тұрады деп қарастырсақ болады. Бақылаулық астрофизикаға оптикалық астрофизикадан өзге астроспектроскопия, радиоастрономия, сондай-ақ астрофизиканың XX ғасырдың екінші жартысында пайда болған салалары ретінде инфрақызыл, ультракүлгін, рентген, гамма-астрономия, нейтринолық астрономия және XXI ғасырда пайда болған гравитациялық-толқындық астрономияны атап кетсек болады.

Астрофизикада ерекше орны бар, соңғы кезде жеке бағыт ретінде қарастырылып жүрген космология бөлімі өте қарқынды дамуда. Заманауи космология Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясы жасалған соң негізі қаланды. Космология Өлемді тұтастай алғандағы оның пайда болуы мен дамуын, геометриялық құрылымын, ондағы заттың қалай пайда болғанын, қараңғы энергия мен қараңғы материяның табиғаты мен олардың Өлем дамуындағы орнын зерттейді.

Біздің елімізде астрономия саласындағы ғылыми зерттеулер 1940 жылы қыркүйек айында Күннің толық тұтылуын бақылаудан басталды. Алматы қаласында күннің толық тұтылуын бақылап, зерттеу үшін Кеңес Одағының түкпір-түкпірінен астрономдар келді. Қазақ Ғылым академиясының бірінші президенті академик Қаныш Имантайұлы Сәтпаевтың қолдауымен Академия жанынан Астрономия және астрофизика ғылыми институты құрылды (кейін Фесенков атындағы астрофизика институты болып аталды). Ол институт осы күнге дейін жұмыс істейді.



1. Космология дегеніміз не?
2. Астрономия нені зерттейді?
3. Астрономия қанша бөлікке бөлінеді?
4. Космология туралы шағын эссе жазыңдар.

## § 71. Жұлдыздар әлемі. Жұлдызға дейінгі қашықтық. Айнымалы жұлдыздар



### Тірек ұғымдар:

- ✓ шоқжұлдыздар
- ✓ зодиак
- ✓ жарқырау
- ✓ жарық жылы
- ✓ Вин және Стефан-Больцман заңдары
- ✓ Погсон формуласы
- ✓ Герцшпрунг-Рассел диаграммасы
- ✓ протожұлдыз
- ✓ ақ ергежейлі
- ✓ нейтрондық жұлдыз
- ✓ қара құрдым



### Бүгінгі сабақта:

- жұлдыздарға дейінгі арақашықтықты қалай анықтайтынын біліп, жұлдыздардың қалыптасуы мен дамуы қалай жүріп, немен аяқталатынымен танысасындар.

*Жұлдыз деп, негізінен, сутек пен гелийден тұратын, өзегіндегі термоядролық реакциялар жүруі арқасында айналасына тұрақты энергия (жарық пен бөлшектер түрінде) шығаратын плазма күйіндегі массасы үлкен шар пішінді аспан денесін айтады. Жұлдыздарға олардың эволюциясының соңғы бөлігі болып табылатын ақ ергежейлі және нейтронды жұлдыздарды да жатқызады.*

Жұлдыздардың негізгі сипаттамалары: жарқырауы, беттік температурасы, радиусы, химиялық құрамы және массасы. Олардың көбі Күн сипаттамалары бірлігінде беріледі (71.1-кесте).

71.1-кесте

### Күннің негізгі сипаттамалары

| Аталуы        | Белгіленуі  | Мөні                     |
|---------------|-------------|--------------------------|
| Күн массасы   | $M_{\odot}$ | $1,989 \cdot 10^{30}$ кг |
| Күн радиусы   | $R_{\odot}$ | $6,957 \cdot 10^8$ м     |
| Күн жарқырауы | $L_{\odot}$ | $3,827 \cdot 10^{26}$ Вт |

Бұған қоса аса алып жұлдыздар өлшемін астрономиялық бірлікпен (1 а.б. = 149597870700 м) өлшейді. Жұлдыздарға дейінгі қашықтық жарық жылымен (жарық бір Юлиан жылында (356,25 тәул) ұшып өтетін қашықтық — 1 ж.ж. =  $9,46 \cdot 10^{15}$  м = 63241,1 а.б. = 0,306 пк)

$$1 \text{ ж.ж.} = 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с} \cdot 2,99 \text{ м/с} = 9460730472580800 \text{ м}$$

не парсекпен (көлденеңінен қарағанда 1 а.б. 1 с бұрыш болып көрінетін қашықтық — 1 пк =  $3,09 \cdot 10^{16}$  м = 206264,8 а.б. = 3,262 ж.ж.) өлшенеді:

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ радиан}}{1''} \text{ а.б.} = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{2\pi} \text{ а.б.} = 3,0856776 \cdot 10^{16} \text{ м.}$$

Жұлдыздар, негізінен, галактика ішінде орналасып, оның орталығын айнала қозғалады. Галактика ішіндегі жұлдызаралық ортадан (газ-тозаңды тұмандықтан (бұлттардан)) пайда болуынан бастап жұлдыз өмір сүруі барысында түрлі эволюциялық сатылардан өтеді.

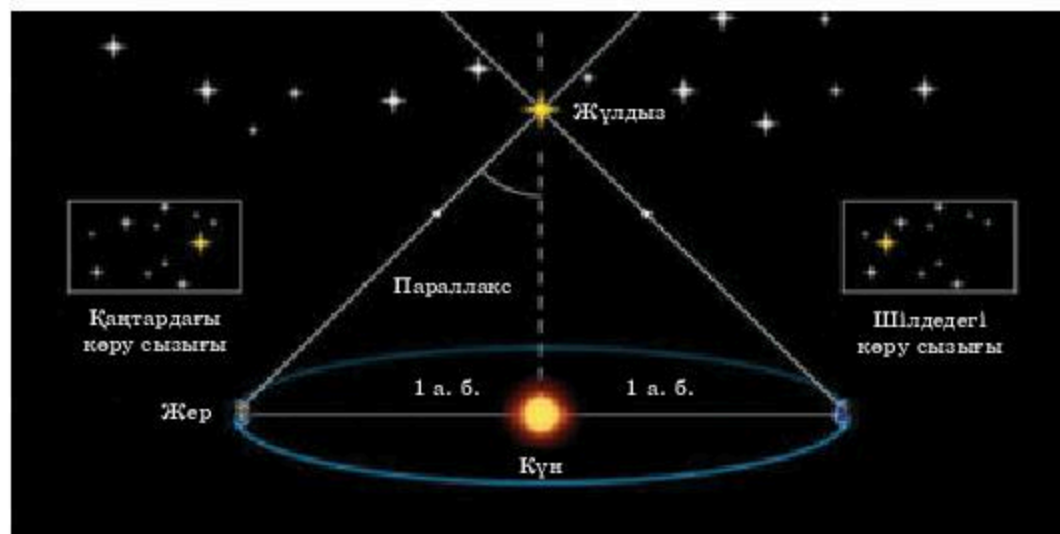
**Жұлдыздарға дейінгі қашықтық.** Күн — бізге ең жақын орналасқан жұлдыз. Күнге ең жақын жұлдыз — Центавр шоқжұлдызының Проксима жұлдызы. Оған дейінгі қашықтық 4,244 жарық жылы.

Бізге жақын жұлдыздарға дейінгі қашықтықтарды параллакс әдісімен анықтайды (71.1-сурет). Қазіргі оптикалық телескоптар параллаксты ~0,001% салыстырмалы қателікпен өлшей алады. Орбитадағы Жер серігі телескобынан 1000 пк дейінгі қашықтықты өлшеуге болады. Жер бетінен атмосфералық ұйтқуларға байланысты 100 пк дейінгі қашықтықты өлшеуге болады. Радиотелескоптар көмегімен 10 Мпк қашықтыққа дейін өлшеулер жүргізіледі.

### Мұны білесіңдер

Күннен Жерге жарық 8 мин шамасындағы уақытта келіп жетеді.

Жұлдыздарды зерттеу үшін фотокамера, спектрограф, магнитограф және тағы басқа көптеген құралдармен жабдықталған арнайы телескоптар қолданылады. Жұлдыздар жайлы мәліметтерді ғалымдар, негізінен, олардан келген жарықты спектрге жіктеу арқылы алады.



71.1-сурет. Жұлдыздың бір жылдық параллаксы



Спектр арқылы жұлдыз бетінің (жұлдыз фотосферасы) температурасы мен химиялық құрамы анықталады. Жұлдыздың үздіксіз спектрде шығаратын ең көп мөлшердегі энергиясына сәйкес келетін толқын ұзындығын **Виннің ығысу заңы** бойынша анықтауға болады:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2900}{T},$$

мұндағы  $\lambda_{\max}$  — микрометрмен алынған толқын ұзындығы,  $b$  — Вин тұрақтысы,  $T$  — абсолют температура. Бақылаулар негізінде жұлдыз спектрінде максимум сәуле шығару аймағын анықтап, оның температурасын Винн заңы арқылы есептеуге болады.

Температурасы белгілі болған жағдайда **Стефан—Больцман заңы** арқылы жұлдыздың толық энергетикалық жарқырауын (бірлік ауданнан бірлік уақытта спектрдің барлық аумағы бойынша шығатын сәуле энергиясының шамасы, өлшем бірлігі [Вт/м<sup>2</sup>]) табуға болады:

$$S_{\text{tot}} = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} T^4,$$

мұндағы  $\sigma$  — Стефан—Больцман тұрақтысы.

### БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Күн ядросында пайда болған фотон Күн бетіне жүз мың жылдан аса уақытта жетеді.

*Көрінерлік жұлдыздық шама* деген түсінікті грек астрономы Гиппарх б.з.д. II ғасырда енгізген. Көрінерлік жұлдыздық шама жұлдыздың жарықтығы (жұлдыздың бірлік уақытта шығаратын жарық энергиясы) шамасын көрсетеді. Екі жұлдыздың көрінерлік жұлдыздық шамалары  $m$  және олардың жарықтығы  $L$  болса, олардың қатынасын **Погсон формуласы** арқылы өрнектеуге болады:

$$m_2 - m_1 = -2,5 \lg \frac{L_2}{L_1}.$$

Бұдан 1<sup>м</sup> жұлдызының жарықтығы 6<sup>м</sup> жұлдызының жарықтығынан 100 есе артық екенін көреміз. Жарқырауы мен жарықтығы белгілі жұлдыздарға дейінгі қашықтықты кері квадрат заңдылығы бойынша табуға болады. Жарқырауы белгілі жарық көздерін астрономияда *қарапайым майшамдар* деп атайды.

Жұлдыздар бізден өртүрлі қашықтықтарда орналасқан, сондықтан олардың көрінерлік жұлдыздық шамалары жұлдыздың сәуле шығару қуатын (оның шын мәніндегі жарқырауын) тікелей анықтай алмайды. Жұлдыздың шын жарқырауын (астрономияда “абсолютті” деп айту келісілген) анықтау үшін оған дейінгі қашықтықты табу керек.

Егер жұлдыздың көрінерлік шамасы және оған дейінгі қашықтық парсекпен берілсе, төмендегі формула көмегімен ол жұлдыздың абсолют жұлдыздық шамасын есептеп табуға болады:

$$M = m + 5 - 5Lgr.$$

**Айнымалы жұлдыздар.** Бақылаулар нәтижесінде қалыпты жұлдыздармен қатар, жылтырауы уақыт өте өзгертін жұлдыздар да ашылды. Мұндай жұлдыздар айнымалы жұлдыздар деп аталады. Олар үш топқа бөлінеді: лүпілдеуші айнымалылар, эруптивті айнымалылар және тұтылмалы айнымалылар.

**Лүпілдеуші айнымалы жұлдыздар.** Лүпілдеуші айнымалы жұлдыздарға айнымалылығы олардың қойнауларындағы процестермен байланысты жұлдыздарды жатқызады. Бұл процестер жұлдыз жылтырауының периодтық өзгерісіне және онымен қатар жұлдыздың басқа да сипаттамалары — бетінің температурасы, фотосфераның радиусы және т.б. өзгерісіне алып келеді.

Цефеидтер —  $\delta$  Цефей жұлдызы құрметіне аталған периодты-жарқырау тәуелділігі жеткілікті дәрежеде дәл болатын лүпілдеуші айнымалы жұлдыздар тобы. Ең танымал цефеидтердің бірі — Темірқазық жұлдызы. Астрономдар үшін цефеидтер период-жарқырау тәуелділігінің арқасында алыстағы нысандарға дейінгі қашықтықты анықтау кезіндегі жарқырау эталоны ретінде пайдаланылады.

**Эруптивті айнымалы жұлдыздар.** Бұл топқа жылтырауы ретсіз өзгертін немесе бақылаулар барысында бір-ақ рет өзгерген жұлдыздар жатады. Эруптивті жұлдыздардың жылтырауының барлық өзгерістері олардың бетіндегі не айналасындағы жарылыстық процестермен немесе жұлдыздардың өздерінің жарылыстарымен байланысты. Айнымалы жұлдыздардың бұл класы екі қосалқы топқа бөлінеді: диффузиялық тұмандықтармен байланысты және жылдам бұрыс, сондай-ақ жаңа және жаңа жұлдыздарға ұқсас айнымалы жұлдыздар.

**Тұтылмалы айнымалы жұлдыздар.** Бұл айнымалы жұлдыздарға қорытқы жылтырауы уақыт өте периодты түрде өзгертін екі жұлдызды жүйелерді жатқызады. Жылтырауының өзгеруі себептері жұлдыздардың бір-бірімен тұтылуынан немесе жақын жүйелердегі өзара тартылыс күші әсерінен пішіндерінің өзгеруінен, яғни айнымалылығы физикалық өзгерістерге емес, геометриялық факторлардың өзгеруіне байланысты болады.

**Айнымалы жұлдыздар және олардың жұлдыздар сипаттамасын анықтаудағы рөлі.** Эталонды айнымалы жұлдыздарды “стандартты шамшырақ” деп атайды. Зерттеу үшін қызықты нысандар — периодты айнымалы жұлдыздар. Мұндай жұлдыздар жылтырауының өзгеру периодынан олардың абсолютті жарқырауын, массаларын, өлшемдерін және басқа да сипаттамаларын анықтайды. Мысалы, цефеидтің орта-



ша абсолютті жұлдыздық шамасы мен периоды келесі заңдылықпен сипатталады:

$$M = -2,43LgT - 1,62,$$

мұндағы  $T$  тәулікпен алынған. Сәйкесінше қашықтық:

$$5Lgr = m + 5 - M.$$

**Жұлдыздардың пайда болуы.** XX ғасырдың екінші жартысында астрономдар бақылаулардың нәтижесіне сүйеніп жұлдыздардың жұлдызаралық ортадағы, негізінен, сутек пен гелийден тұратын молекулалық бұлттардан пайда болатынын ашты.

Кездейсоқ күштер әсерінен (мысалы, гравитациялық өрістің ауытқуынан, сыртқы соққы толқынынан және т.б.) бұл бұлт өздік тартылу арқасында центрге сығыла бастайды. Тығыздығы едәуір үлкейгенде сығылушы аймақ *глобулага* (қараңғы газ-тозаңды тұмандыққа) айналады (71.2-сурет). Глобула ішінде сфера тәрізді аймақ түзіліп, зат сол жерге құлай бастағанда (аккреция) *протожұлдыз* пайда болады.



71.2-сурет.  $\lambda$  Центавр тұмандығындағы Тәкери глобулалары

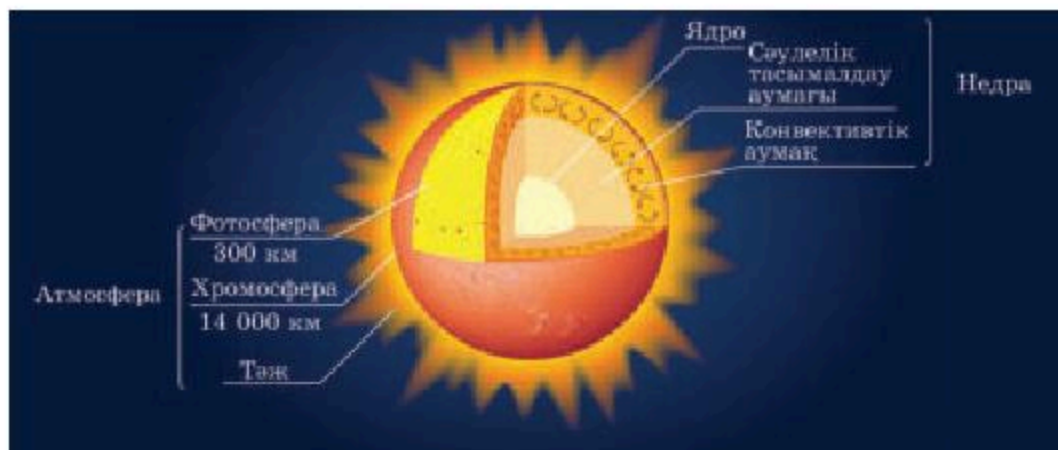


Сығылушы протожұлдыздың гравитациялық энергиясы оның ішкі қабаттарын қыздырады. Температураның жоғарылауымен тозақ газға айналады, ал газ иондалып, молекулалар диссоциацияланады. Протожұлдыз ортасының температурасы сутектің гелийге синтезделуінің термоядролық реакциясы жүретіндей 15—20 млн К-ге жеткенде қысым күрт өсіп, сығылу тоқтайды, протожұлдыз жұлдызға айналады.

Бұл процесс Күн төріздес жұлдыз үшін шамамен 50 млн жыл уақыт алады. Сығылу аймағы үлкен болған сайын нәтижесінде пайда болған жұлдыз массасы үлкен болады. Жұлдыздың кейінгі тағдырын оның массасы мен құрамы анықтайды, себебі жұлдыздық ортада сутек пен гелийден өзге басқа да элементтер болуы мүмкін, ал олар термоядролық реакция жүрісін жылдамдатып, жұлдыз эволюциясына ықпал етеді.

Жұлдыздың ядросында бөлінген энергияның салдарынан пайда болған қысым беттік қабатқа жетіп, жұлдыз ұлғаяды, ұлғаюдан температура төмендеп, қысым азаяды да, гравитациялық күштің әсерінен жұлдыз қайта сығылады: жаңадан пайда болған жұлдыздардың айнымалы болу периодының ұзақтығы миллиондаған жылдарға созылуы мүмкін. Ақырында тербеліс өшіп, жұлдыз бұл екі күш теңгерілген орнықты күйге өтеді де, қалыпты жарық шығаратын жұлдызға айналады.

Жұлдыздар өмірінің қалыпты сатысындағы (сутектің жанып таусылу периоды) құрылымы үш аумақтан тұрады: термоядролық реакция аумағы (ядро); сәуле арқылы энергияны тасымалдау аумағы (радиациялық аумақ) және конвективті аумақ. Массалары Күн массасына жуық жұлдыздардың бұл аумақтары шамалас болады (71.3-сурет).



71.3-сурет. Күннің құрылымы



71.4-сурет. Түсіне және массасына байланысты жұлдыздың конвекциялық және радиациялық энергия тасымалдау аймақтарының орналасуы

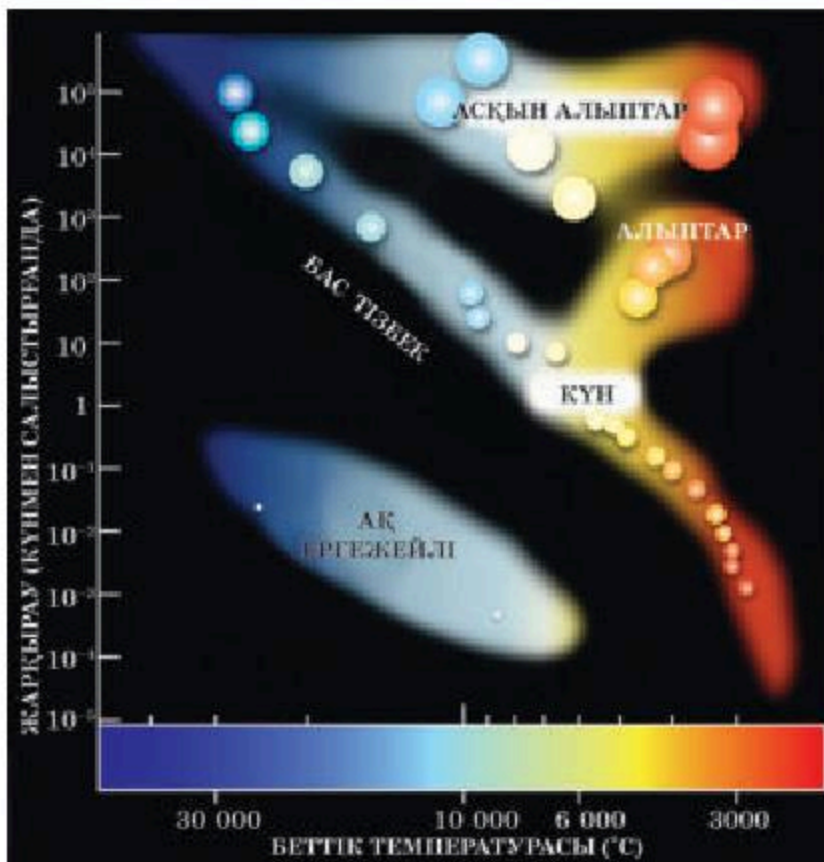
Жұлдыздың массасы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым оның жарқырауы үлкен болады. Оның беткі қабатының температурасы неғұрлым жоғары болса, оның конвективті аумағы кіші болады (71.4-сурет).

**Жұлдыздардың спектрлік кластары.** Жұлдыз спектрлерін ала бастаған соң олардың спектрлік классификациясы жасалды. XX ғасырдың басында Герцшпрунг және Рассел жұлдыздарды “абсолютті жұлдыздық шама” — “спектралдық класс” шкалалары бойынша үйлестіріп, диаграмма жасады. Астрономияда спектрлік класты өріптермен белгілеу қабылданған: *O* — көгілдір, *B* — ақ, *A*, *F*, *O* — жасыл-сары, *K*, *M* — қызғылт-сары). Жұлдыздардың жарқырауы абсолюттік жұлдыздық шамаларымен беріледі.

Бұл диаграммада (71.5-сурет) жұлдыздар белгілі бір сызықтар бойында орналасады екен. Олардың көбі (70%) бас тізбек деп аталатын сызық бойында жатыр. Бұл жұлдыздарда сутек жануы орын алады. Уақыт өте бұл жұлдыздар қызыл алыптарға айналып, басқа сызықтарға көшеді. Жалпы Герцшпрунг-Рассел диаграммасы жұлдыздар эволюциясын сипаттайды.

Диаграммаға назар салып қараса, жұлдыздар эволюциясына қатысы бар тағы да бір заңдылықты байқауға болады. Үш аймақ жұлдыздар өмірінің үш сатысын көрсетеді: бас тізбек — жұлдыздар өмірінің қалыпты сатысы, алыптар және асқын алыптар аймағы — жұлдыздардың “қартайған шағы” және ақ ергежейлілер аймағы “жұлдыздар моласы” (сөнген жұлдыздар). Бұл диаграмма тағы да бір заңдылықты көрсетеді: жұлдыз неғұрлым ірі, үлкен болса, соғұрлым ол бас тізбектің жоғары жағында орналасады.

Жұлдыздардың қалыпты периоды олардың массаларына да тәуелді. Жұлдыздардың өмірі миллиондаған жылдардан миллиардтаған жылдарға дейін созылуы мүмкін. Жұлдыздың массасы неғұрлым



71.5-сурет. Герцшпрунг-Рассел диаграммасы

үлкен болса, соғұрлым оның өмірі қысқа болады. Күннен массасы он есе артық жұлдыздар Күнге қарағанда миллион есе артық жарық шығарады. Нәтижесінде олардағы сутектің қоры бірнеше ондаған миллион жылдарға ғана жетеді. Ал массалары Күн массасына шамалас жұлдыздар өздерінің сутек отынын әлдеқайда баяу жұмсап, миллиардтаған жылдар бойы тұрақты жарық шығарып тұрады.

**Жұлдыздардың сөнуі.** Жұлдыздар пайда болуы кезіндегі сияқты сөну кезінде де тұрақсызданады екен.

Жұлдыз ядросында сутек жанып гелийге айналады. Гелий сутектен ауыр болғандықтан жұлдыз өзегіне жиналып, жану аймағы ядро сыртына ығысады. Жану аймағы жұлдыз бетіне жақындағанда қысым гравитациядан басым түсіп, затты сыртқа ығыстырады, жұлдыз өлшемдері ұлғаяды, ал беттік температурасы азаяды. Ол түсін өзгертіп қызыл алыпқа айналады. Қызыл алып ядросы энергия бөліп шығаратын жұқа қабаттармен қоршалған, ал қалған бөлігі конвективті аумақ болып табылатын, өлшемдері 100—800 Күн радиусы аралығындағы алып өлшемді жұлдыз.



Ядроның ішкі температурасы өсіп, жұлдыздың массасы оның ядросының температурасы 100 млн градусқа дейін көтерілуіне жеткілікті болған жағдайда гелий жана бастайды (гелий жарқылы массасы  $\sim 2,25 M_{\odot}$  дейінгі жұлдыздарда орын алады).

Жұлдыз эволюциясының соңғы кезеңі оның массасымен анықталады (71.2-кесте).

71.2-кесте

## Жұлдыздардың массасына сәйкес эволюциясы

| Масса, $M_{\odot}$ | Ядролық реакциялар жүруі   | Эволюция барысындағы процестер   | Эволюциясының соңы   |
|--------------------|--|--|--|
| 0,1—0,5            | Сутек қабатты энергия көзі   | Айныған He ядро түзіліп, уақыт өте сыртқы қабығы сейіліп кетеді  | 0,5 $M_{\odot}$ дейінгі гелийлі ақ ергежейлі   |
| 0,5—8              | Сутек қабатты, кейін қос қабатты энергия көзі  | Айныған CO ядро түзіліп, уақыт өте жарылыс нәтижесінде сыртқы қабығы планетарлық тұмандық түзеді ( $\sim 10^4$ жыл шамасында сейіліп кетеді)   | 0,5—1,2 $M_{\odot}$ аралығындағы көміртек-оттек ақ ергежейлі және планетарлық тұмандық                                 |
| 8—12               | Сутектік қабатты, кейін қос қабатты энергия көзі, кейін көміртектің жануы                        | Айныған O-Ne-Mg ядро түзіліп, жарылыс нәтижесінде сыртқы қабығы сейіліп кетеді<br>Көміртек ядроның детонациясы — II типті асқын жаңа жұлдыз бақыланады   | Массасы $\sim 1,38—1,44 M_{\odot}$ оттек-неон-магнийлі ақ ергежейлі<br>Жарылыс кезінде жұлдыз толығымен сейіліп кетеді |
| 12—30              | Ядродағы термоядролық реакция темір тобының (Fe, Co, Ni) элементтері пайда болғанға дейін жүреді | Массасы 1,5—2 $M_{\odot}$ ядро нейтрондық жұлдызға айналады, коллапс II типті немесе Ib/c асқын жаңа жұлдыз бақыланады. Сыртқы қабығы асқын жаңа жұлдыз қалдығы ретінде $\sim 10^4$ жыл шамасында бақыланады | Нейтронды жұлдыз   |
| > 30               | Белгісіз   | Белгісіз   | Қарақұрдым   |

**Ақ ергежейлі дегеніміз** — айныған электрондық газ қысымымен тепе-теңдікте тұратын заттан түзілген (қасиеттері металдарға сәйкес келеді), өлшемдері Жер шамалас, массасы 0,1—1,44  $M_{\odot}$  аралығындағы аспан денесі. Ақ ергежейлілер энергия көзі болмағандықтан бастапқы  $\sim 10^4$  K температурадан ондаған миллиард жылдар бойында суып, ыстық ақ ергежейлі күйден қоңыр күй сатысына ауысады, содан кейін уақыт өте көзге көрінбейтін қара ергежейлі күйге өтеді. Ақ ергежейлінің тығыздығы шамамен  $10^5—10^9$  г/см<sup>3</sup> аралығында, яғни бір сантиметр кубқа 100 кг-нан бастап (гелийден түзілген болса) миллион тоннаға дейінгі аралықта.  $10^5$  Тл, дейін магнит өрісіне ие бола алады.



71.6-сурет. Нейтронды жұлдыз құрылысы,  $\rho_0$  — атом ядросы тығыздығы

### Мұны білесіңдер

Галактиканың ортасында аса ірі қара құрдым бар.

**Нейтронды жұлдыз** — негізінен, нейтрондардан тұратын, өлшемдері 10 км шамасында, бақыланған массасы (теорияда 0,1—2,8)  $1,3—1,5 M_{\odot}$  аралығында, тығыздығы атом ядросының тығыздығындай ( $2,8 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$ ) болатын аспан денесі (71.6-сурет). Оның бір сантиметр куб көлеміндегі зат массасы шамамен 10 млрд т магнит өрісі  $10^{11}$  Тл-ға дейін.

Массасы  $30 M_{\odot}$  астам алып жұлдыздар ядросы оның өмірінің соңында Қарақұрдымға айналады. Қарақұрдым радиусы мына өрнекпен анықталады:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2},$$

мұндағы  $r_g$  — “гравитациялық радиус”, ал радиусы  $r_g$  болатын сфера “Шварцшильд сферасы” деп аталады.  $M$  — жұлдыз массасы,  $G$  — гравитациялық тұрақты, ал  $c$  — жарық жылдамдығы. Нейтронды жұлдыздардың радиустары олардың гравитациялық радиустарынан бірнеше есеге ғана үлкен. Шварцшильд сферасына енген кез келген зат (тіпті жарық сәулесі де) қайта орала алмайды, сондықтан ол “Қарақұрдым” деген атаққа ие болған.

### БҰЛ ҚЫЗЫҚ!

Қара құрдымның радиусы оның массасына тура пропорционал. Демек, егер масса екі есе артса, онда радиусы да екі есе өседі. Ал ақ ергежейлілердің радиусы массасына кері пропорционал, яғни оның массасы өскен кезде өлшемі керісінше азаяды.



1. Жұлдыздар жарық шығару үшін қажет энергияны қайдан алады?
2. Асқын жаңа жұлдыз жарылған соң оның орнында не қалады?
3. Герцшпрунг-Расселл диаграммасының бастізбегіндегі жұлдыздардың орны неге тәуелді?
4. Жұлдыздарда қандай реакцияның есебінен сутек элементінен басқа жеңіл химиялық элементтер пайда болады?
5. Жұлдыздың түсі арқылы беткі қабатының температурасын қалай анықтауға болады?
6. Күн мен Жерді “Қарақұрдым” шамасына дейін сығуға бола ма?

### Есеп шығару мысалы

Жұлдыздың жылдық параллаксы  $1''$  болса, оған дейінгі қашықтықты астрономиялық бірлікпен есептеңдер.

*Шешуі.*  $r = 206265'' a/p$  формуласын пайдаланамыз, мұндағы  $p = 1''$ ,  $a = 150\,000\,000$  км = 1 а.б. Бұл берілгендерді формулаға қойып,  $r = 206265'' \cdot 1 \text{ а.б.} / 1'' = 206\,265$  а.б. аламыз.



#### 36-жаттығу

1. Веганың жылдық параллаксы  $0,12''$ -ге тең. Оған дейінгі қашықтық парсекпен, жарық жылымен, астрономиялық бірлікпен, километрмен өлшегенде қандай болады?

*Жауабы:* 8,3 пк., 27,17 ж.ж., 1718875 а.б.,  $2,58 \cdot 10$  км.

2. Күннің абсолютті жұлдыздық шамасы  $M = +4,8^m$ . Оның көрінерлік жұлдыздық шамасын табыңдар. Күнге дейінгі қашықтықты 150 млн км деп есептеңдер. Егер жұлдыздың абсолют жұлдыздық шамасы 5 болса, оның Күн массасымен салыстырғандағы массасы қандай?
3. Күн мен Жердің “гравитациялық радиусы” қандай болатынын есептеңдер.
4. Егер жұлдыздың сөуле шығару максимумы 400 нм толқын ұзындығына сөйкес келсе, оның температурасын табыңдар.
5. Жұлдыз 30 км/с жылдамдықпен қозғалады. 300 000 жыл ішінде оның парсекпен есептегенде қандай қашықтықты жүріп өтетінін анықтаңдар.

*Жауабы:* 9,2 пк.

6. Аса жаңа жұлдыздар жылтырауының өзгеруі неден болады?
7. Цефейлер арқылы жұлдыздың массасын анықтауға бола ма?
8. Пульсарлар айнымалы жұлдыздардың қандай түріне жатады?
9. Жұлдыздық шамасы 15, ал жылтырауының тербеліс периоды 5 күн болатын цефейге дейінгі қашықтықты анықтаңдар.

*Жауабы:* = 41 687 пк.

10. Цефейдің толықсу периоды 20 күн болса, оның тығыздығы қандай?

*Жауабы:* 0,0029 кг/см<sup>3</sup>.



11. Жаңа жұлдыз тұтанған кезде оның жарқырауы 10 000 есе артады. Оның көрінерлік жұлдыздық шамасы қаншаға өзгереді?
12. 1987 жылы Үлкен Магелланда тұтанған аса жаңа жұлдыздың абсолют жұлдыздық шамасын бағалаңдар және оны өдеттегі аса жаңа жұлдыздың абсолют шамасымен салыстырыңдар. Максимум жылтырауы кезіндегі көрінерлік жұлдыздық шамасы  $3^m$ -ке тең.

*Жауабы:  $-18^m$ .*

13. Күннен 10 пк қашықтықта атмосферасы 10000 км/с жылдамдықпен шашырай қозғалған аса жаңа жұлдыз тұтанды. 50 жылдан кейін не байқалады?

*Жауабы: Аспанда өлшемі  $20^\circ$  жарық тұмандық болады.*

14. Жаңа жұлдыздардың жалтырауы, өдетте, фотосфераның кеңеюі салдарынан тұрақты температурада артады. Егер жаңа жұлдыздың жалтырауының өзгерісі 5 жұлдыздық шама болса, жұлдыздың тығыздығы қалай өзгереді.
15. Күнге дейінгі қашықтық 150 млн км болса, абсолют жұлдыздық шамасын есептеңдер?

*Жауабы: +4,8.*

16. Күнде болған тұтану нәтижесінде плазма сыртқа лақтырылды. Лақтырылған Күн плазмасы 3 тәул өткен соң Жерге жетіп, магнитосферада күшті ауытқу туғызды. Плазманың қандай жылдамдықпен қозғалғанын анықтаңдар ( $1 \text{ а.б} = 150 \text{ млн км}$ ).

*Жауабы: 578 км/с.*

## § 72. Күн-Жер байланыстары



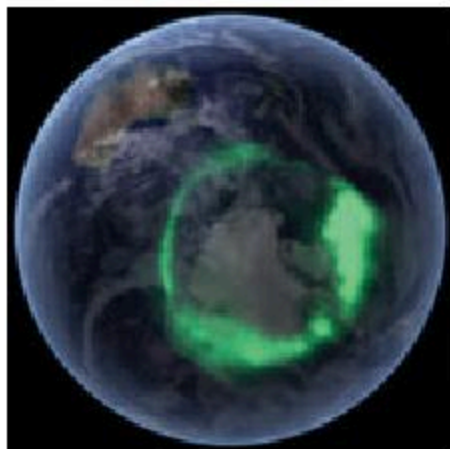
### Тірек ұғымдар:

- ✓ шұғыла
- ✓ Күн желі
- ✓ магнитосфера
- ✓ ионосфера
- ✓ Күн белсенділігі
- ✓ Күндік ғарыш сәулелері
- ✓ магниттік дауыл
- ✓ ғарыштық ауа райы

### Бүгінгі сабақта:

- Күн мен Жер арасында қандай байланыстар бар екенін, шұғыла, магниттік дауыл, Күн желі жайлы мәліметтер аласыңдар.

Жер бетінде Күннің әсеріне байланысты көптеген процестер жүреді. Күн — Жер бетіндегі барлық тіршілік үшін жарық және жылу көзі. Жердегі климат Күнге толық тәуелді. Жел, су айналымы Күн энергиясы арқасында жүреді. Жердегі ауа, су қабаттарының және Жер қыртысының тәуліктік тасу (прилив) құбылысы Ай мен Күннің қосарласқан әсеріне байланысты.



72.1-сурет. Ғарыштан түсірілген Антарктида үстіндегі шұғыла

Күн энергиясын үйлерді электрлендіру және жылыту үшін қолданылады. Ол үшін күн батареялары (электр тогы) мен күн коллекторлары (жылыту) пайдаланылады. Бұл — болашағы зор арзан, экологиялық таза энергия көзі.

Бұдан өзге күннен шығатын жарықтан басқа сәулелер мен бөлшектер көптеген құбылыстар туғызады. Мысалы, әдетте, жердің полюстеріне жақындағанда түнгі аспанда көрінетін шұғыла.

Күннен шығатын зарядталған бөлшектер ағыны (Күн желі) Жердің магнит өрісімен (магнитосфера) әсерлесуінен полюстерге ығысады. Олар атмосфераның иондалған жоғары қабатына (ионосфера 50—1000 км) жеткенде ондағы оттегі мен азот молекулаларымен соқтығысады да, қозып, жарық шығарады (люминесценция). Полярлық люминесценцияның түсі жарықты қай молекулалар шығаратынына тәуелді: оттегі сары және жасыл түсті, ал азот қызыл және күлгін түсті береді. Бұл ерекше көркем табиғи құбылыс Жердің солтүстік және оңтүстік магнит полюстеріне жақын орналасқан белдеулер үшін ғана ғана тән (72.1-сурет). Алайда Күн желі өте күшті болған кездерде басқа жерлерде де көрінуі мүмкін. Шұғыланың биіктігі 80—1000 км аралығында (72.2-сурет).



72.2-сурет. Шұғыла



Күн желі Жер бетіндегі жоғары технологиялық жүйелерге, электр желілеріне, сонымен қатар Жер бетіндегі өсімдіктер мен жан-жануарларға және ауа райына әсер етеді.

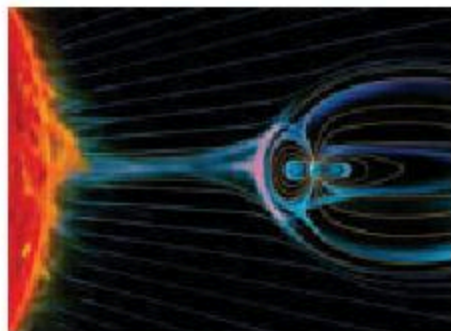
Күн белсенділігі — Күн бетіндегі көптеген құбылыстардың жиынтығы. Күн дағы — осы құбылыстардың бірі, оны қара шыны арқылы кез келген бақылаушы байқай алады. Күн белсенділігі жоғары кезде күн жарқылдары күн желін күшейтумен қатар, қуатты бөлшектер ағынын туғызады (Күндік ғарыш сәулелері). Бұлардың әсерінен, негізінен, жоғары биіктікте радиациялық ахуал нашарлайды (биік таулар мен ауадағы ұшақтарда елеулі болады). Күн белсенділігінен туындайтын магниттік дауылдар әсерінен шұғыланың қарқындылығы арта түседі (72.3-сурет). Бұл кезде ионосфераның қалыпты күйінің бұзылуынан радиобайланыс нашарлап, электр желілерінде геоиндукциялық ток туындаудан олар істен шығуы мүмкін. Магниттік дауыл кезінде ағзасы геомагнит өрісінің өзгерісіне сезімтал адамдар өзін нашар сезінеді. Осы тұрғыдан алғанда Күннің белсенділігін зерттеу үшін маңызды нысан болып табылады. Бұл мәселелермен қазіргі уақытта жаңадан қалыптасып келе жатқан ғарыштық ауа райы қызметі айналысады.

Қазіргі кезде “Ғарыштық ауа райы” деп Жер маңайындағы ғарыштық кеңістік пен Күндегі құбылыстардың белсенділігімен анықталатын атмосфераның жоғары қабаттарындағы жағдайды атаймыз. Қоршаған ортаны зерттеу ең өзекті мәселелердің бірі болып тұрған уақытта Күн-Жер байланысының ғылыми және ғылыми-қолданбалы мәні зор.

Күнде болып жатқан процестердің Жерге қалай әсер ететінін білу үшін Күнге арнайы зондтар жібереді. Сондай зондтардың бірі — “Улисс” (72.4-сурет).

Ол Жерден тікелей бақыланбайтын Күннің полюстері мен арғы жағы жайлы ұдайы мәліметтер жинап, зерттеулер жүргізу мақсатында ұшырылған.

Күнге байланысты көптеген шешілмеген мәселелер бар. Осы кезге дейін Күн нейтриносының құпиясы, дәлірек айтсақ, оның өлшенген мөлшерінің есептеу нәтижелерінен аз болу себебі белгісіз. Сол сияқты сан алуан жұмбақ-



72.3-сурет. Күн желі және магнитосфера



72.4-сурет. Улисс ғарыш аппараты



тарды шешу үшін көптеген жаңа тәжірибелер жүргізу және жаңа ғарыш аппараттарын жіберу қажет.

Қазір Күн орта жасқа келді. Енді бірнеше миллиард жылдар өткеннен кейін Күн сөнеді. Бірақ оның алдында қызыл алып сатысын өткен кезде Меркурий мен Шолпан планеталарын жұтып алады. Жерде мұхиттар қайнайды, алыс Сатурн серігі Титанда мұздар еріп, бетін су басады да, онда уақыт өте тіршілік пайда болуы мүмкін. Бірақ Күннің өзі ұзаққа бармай сөне бастайды. Баяу сығыла отырып жұлдыз өмірінің соңғы бөлігіне жетеді. Сыртқы қабаттары жойылып, өлшемі Жермен шамалас ақ ергежейлі жұлдыз қалады. Баяу салқындап, температурасы бос кеңістіктегі өте төмен температураға дейін төмендеген Күн өзінің өмірін көрінбейтін қара дене ретінде аяқтайды.

Адамзат Күн мен жұлдыздардың табиғатын дұрыс түсіну мен олардың әлемдегі шын алатын орнын білу үшін ұзақ жылдар еңбек етті. Бүгін Күннің сары ергежейлі Жұлдыз екенін, оның соңғы 5 млрд жыл бойы жылу мен жарық шығарғанын білеміз. Күн 200 млрд шамасында жұлдыздары бар галактиканың шет жағына жақын орналасқан шырақ. Ол тек біздің планеталар жүйесі үшін ғана негізгі жұлдыз өрі оның жарық көзі мен өмірі болып есептеледі. Ол Күн жүйесіндегі барлық денелердің өмір сүруін қамтамасыз етеді.

Қазіргі уақытта Күн жайлы мынадай мәліметтер белгілі: Күннің массасы Жердің массасынан 332940 есе үлкен; Күннің сызықтық диаметрі Жердікінен 109 есе, көлемі 1301019 есе үлкен; бетіндегі температурасы  $5772^{\circ}\text{C}$ , центріндегі температурасы  $15\,700\,000^{\circ}\text{C}$ ; Күн секундына 4 млн т затын жоғалтады; Күн бетіндегі еркін түсу үдеуі жердікінен 27,9 есе көп; Күн тұрақтысы  $1,4\text{ кВт}/\text{м}^2$ ; жарқырауы  $3,8 \cdot 10^{26}\text{ Вт}$ ; абсолют жұлдыздық шамасы  $4,83^m$ , көрінерлік жұлдыздық шамасы  $-26,8^m$ .



1. Шұғыланың пайда болуын түсіндіріңдер.
2. Магниттік дауылдардың Жерге қандай әсерлері бар?
3. “Ғарыштық ауа райы” дегеніміз не?



Өте биікте ұшып бара жатқан ұшақтағы адамдарға күн жарқылы мен ғарыштың радиациясы қауіпті болады ма?

## § 73. Жұлдыздардың планеталық жүйелері. Жер топтарындағы планеталар және алып планеталар. Күн жүйесіндегі кіші денелер



### Тірек ұғымдар:

- ✓ жұлдыздың өмір сүру аймағы
- ✓ экзопланеталар
- ✓ Койпер белдеуі
- ✓ Оорт бұлты
- ✓ астероид
- ✓ метеороид
- ✓ метеорит
- ✓ комета
- ✓ Тициус-Боден ережесі

### Бүгінгі сабақта:



- Күн жүйесі құрылысы, планеталардың түзілуі, басқа жұлдыздар планеталары, астероидтер мен кометалар жайлы мәліметтер аласыңдар.

Заманауи мәліметтерге сәйкес жұлдыздардың басым бөлігінің планеталық жүйелері бар. 2009 жылы 7 наурызда ұшырылып, 2018 жылы 30 қазанда жұмысын тоқтатқан Кеплер ғарыш телескобы жинаған мәліметтерге сәйкес 3000-нан аса планеталық жүйелерде 4000-нан аса планеталар (экзопланеталар) ашылған (73.1-сурет).

Ғалымдарды аса қызықтырған — жұлдыздың өмір сүру аймағында (температуралық жағдайы су сұйық күйде бола алатындай қашықтықта) орналасқан жер тәрізді планеталар.

Мұндай планеталарда тіршілік болу ықтималдығы жоғары. Бақылаулар нәтижесінде осындай аймақтарда Жер тәрізді 30-ға жуық планета ашылды.



73.1-сурет. Кеплердің ғарыш телескопы

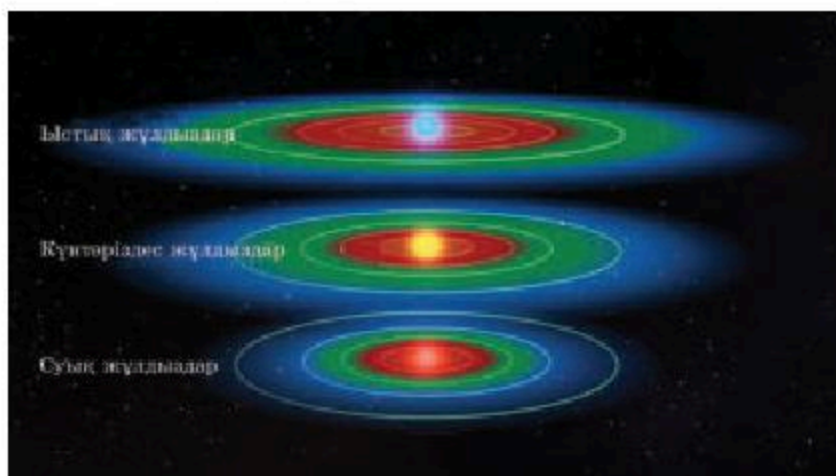


73.2-сурет. Алғашқы ашылған Жер тәрізді планеталардың салыстырмалы өлшемдері

Қазіргі уақытта Күн тәріздес жұлдыздардың 23% өмір сүру аймағында Жер тәрізді планета бар деп есептеледі (73.2-сурет).

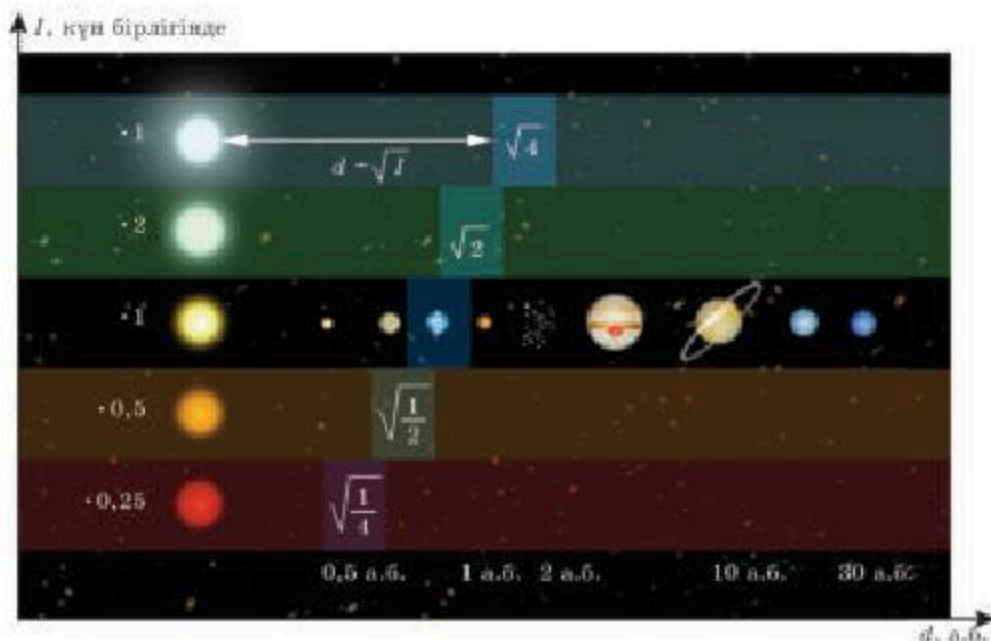
**Күн жүйесі.** Күн жүйесі, басқа планеталық жүйелер тәрізді, газ-тозаңды бұлттан пайда болған. Ол 4,57 млрд жыл бұрын, Күнді және Күн жүйесінің планеталарын түзу үшін қажетті барлық элементтері бар, ғарышта қалқып жүрген, массасы  $1,0014 M_{\odot}$  өлшемі  $15 \cdot 10^{11}$  км-ден аз емес газ-тозаңды тұмандықтан бастау алған (73.3-сурет).

Жаңадан түзілген Күн мен оны қоршаған газ-тозаңды шар тәрізді дөңгелек бұлттың химиялық құрамдары бірдей болған. Сутек пен гелийдің жалпы массасы оларда 98%, ал қалған ауыр элементтер тек 2%. Газ-тозаңды бұлт құрамында тозаңды аса жеңіл қосылыстар, көміртек, азот және оттек, метан, аммиак, су, көмірқышқыл газы



73.3-сурет. Сары және қызыл ергежейлі жұлдыздың өмір сүру аймағы

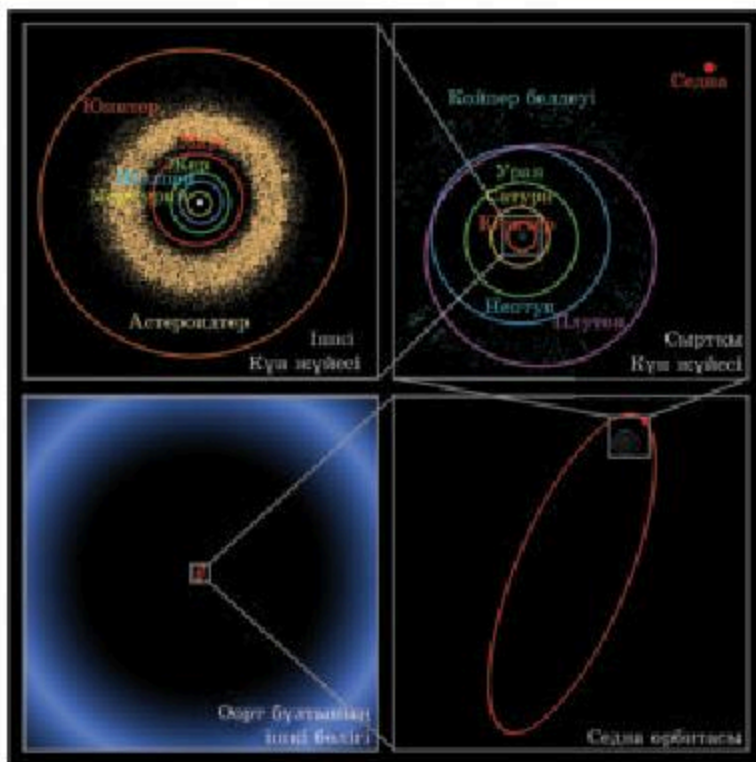




73.4-сурет. Жұлдыздың спектрлік класына байланысты өмір сүру аймағы қашықтығы мен өлшемдері

болған. Бұл құрам жұлдызаралық тұмандықтардың бақылаулардан алынған 99% газ және 1% тозаңды бөлшектен тұратын құрамына сәйкес келеді. Уақыт өте бұлттың айналу жазықтығында жұқа тозаң қабаты түзіледі. Бұлттың концентрлі қабаттарға бөлінуі бөлшектер өлшемінің бірнеше сантиметрге дейін үлкеюімен қатар жүреді (73.4-сурет). Эволюцияның келесі кезеңінде көптеген қоймалжың ұсақ бөліктер түзіледі. Дискінің айналымы қозғалысының нәтижесінде қоймалжың бөліктер бір-бірімен соқтығыса келе тығыздалып, үлкейе түседі. Өлшемі бір километр шамасына жеткен протопланетаның түзілуі планетаға дейінгі бұлттарда кездесетін бөлшектер мен тозаңның бірігуін жылдамдатып, нәтижесінде планета түзіледі. Күннің сәуле шығаруы басталған соң бөлшектер желі Күннің маңынан газ-тозаңды затты ығыстырады (73.5-сурет). Сол себепті Күннің жанынан тығыз 4 кремнийлік планеталар, ал Марс орбитасынан әрі қарай, негізінен, сутек пен гелийден тұратын 4 алып планеталар пайда болды. Заттардың бір бөлігі планеталар құрамына кірмей, планеталардың серіктеріне, астероидтерге, кометаларға (құйрықты жұлдыздарға) айналды. Жалпы Күн жүйесі Күн және планеталармен қоса *Койпер белдеуі* мен *Оорт бұлтынан* тұрады.

Құрамында силикаттар мен металдар басым Жер тобындағы 4 планеталардың (Меркурий, Шолпан, Жер, Марс) өлшемдері шағын және серіктері жоқ дерлік (73.6-сурет). Ал сутек мен гелийден тұратын газ алып планеталардың (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) серіктері көп және тығыздығы аз (73.7-сурет).



73.5-сурет. Күн жүйесі



73.6-сурет. Жер тобындағы планеталар



73.7-сурет. Газды алып планеталар

Күн жүйесі планеталарының орбиталары (Нептуннан басқалары) Тициус—Боден заңымен сипатталады:

$$R_i = 0,4 + 0,3 * 2^i.$$

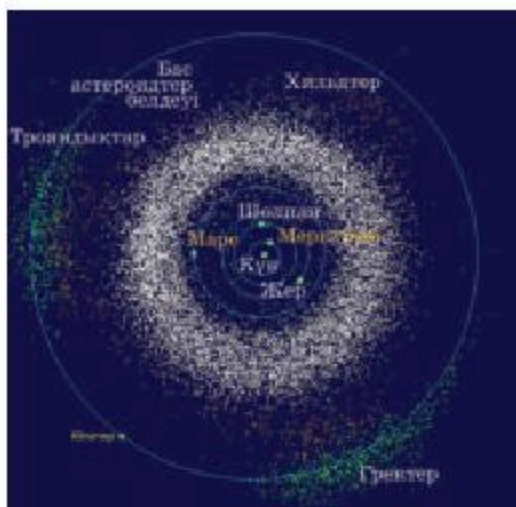
73.1-кесте

Күн жүйесі планеталарының Тициус—Боден заңына сәйкестігі

| Планета             | i | Орбита радиусы (а.б.) |                 |
|---------------------|---|-----------------------|-----------------|
|                     |   | Формула бойынша       | Бақылау бойынша |
| Меркурий            |   | 0,4                   | 0,39            |
| Шолпан              | 0 | 0,7                   | 0,72            |
| Жер                 | 1 | 1,0                   | 1,00            |
| Марс                | 2 | 1,6                   | 1,52            |
| Астероидтер белдеуі | 3 | 2,8                   | 2,2—3,6         |
| Юпитер              | 4 | 5,2                   | 5,20            |
| Сатурн              | 5 | 10,0                  | 9,54            |
| Уран                | 6 | 19,6                  | 19,22           |
| Нептун              |   |                       | 30,06           |

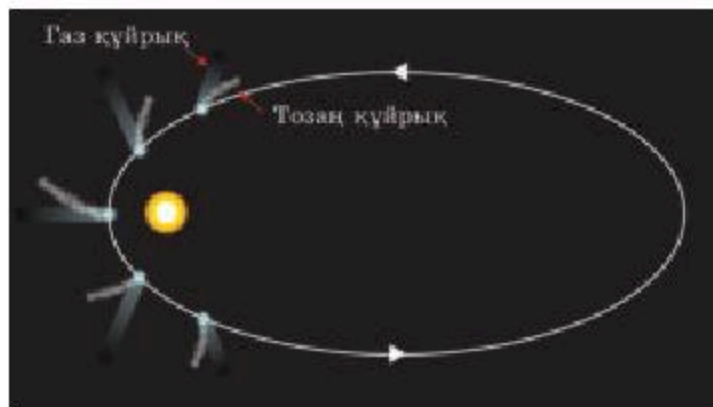
Күннен 2,2—3,6 а.б. қашықтықтағы аймақты *астероидтер белдеуі* деп атайды. Астероидтер деп өлшемдері 30 м-ден үлкен аспан денелерін атайды. 30 м-ден кіші денелер метеороидтер, ал Жерге құлап түскен денелер метеорит деп аталады. Метеориттердегі заттың құрамы (карбонаттар, силикаттар және металдар) астероидтердің жеке дене болып шамамен 4,6 млрд жыл бұрын, яғни планеталармен қатар пайда болғанын көрсетеді. Астероидтер Юпитер орбитасының Лагранж үшбұрыш нүктелерінде шоғырланған. Ірі астероидтер Күн жүйесінің кіші планеталарына жатады (74.8-сурет).

Күн жүйесінің аспан денелеріне, негізінен, су мен көмір диоксиді мұздарымен байланған тозақ мен қатты шағын денелерден тұратын, өлшемдері 10 км-ден аспайтын кометалар (құйрықты жұлдыздар) жатады. Олар Күн жүйесінің қиыр шегіндегі Оорт бұлтында шоғырланған деп есептеледі. Комета Күнге созылмалы эллипстік орбитамен қозғала отырып жақындағанда мұз



73.8-сурет. Астероидтер топтары: Астероидтер белдеуі, Хильдтер, Гректер және Троийдықтар



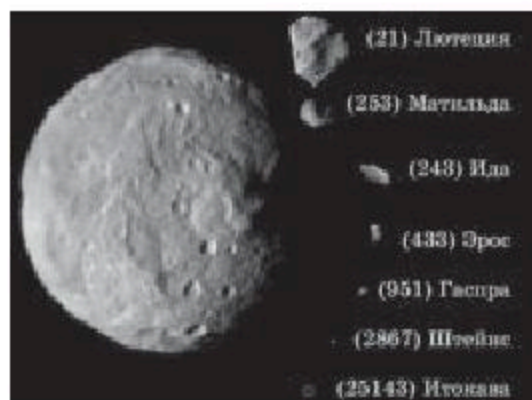


73.9-сурет. Комета траекториясындағы құйрықтардың бағыттары Күнге және қозғалыс бағытына байланысты

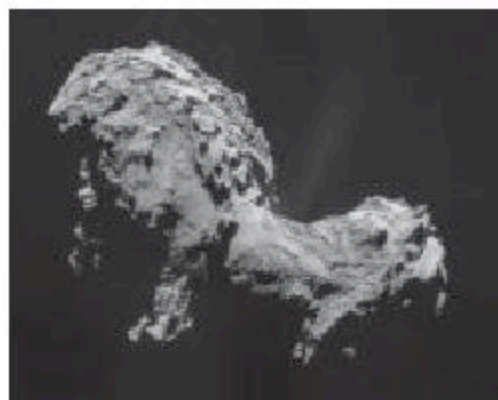
еріп, газ бен тозаңнан тұратын екі құйрығы қалыптасады (73.9-сурет). Тіркелген кометалардың жалпы саны 6339. Планетааралық кеңістік аз концентрациядағы газ бен тозаңнан тұрады (73.10, 73.11-суреттер).

Күн жүйесіне төн заңдылықтар:

- барлық планеталардың орбиталары Күн экваторының жазықтығында жатыр;
- Күнді айнала қозғалатын планеталардың орбиталары шеңберге жақын;
- планеталардың Күнге дейінгі орташа қашықтығы Тициус—Боде заңына бағынады;
- планеталар Күнді айнала Күннің өз осінен айналу және планетаның өз осінен айналу бағытында қозғалады (Шолпан мен Ураннан басқалары);



73.10-сурет. Астероидтердің салыстырмалы өлшемдері (Вестаның диаметрі 525 км)



73.11-сурет. 67P/Чурюмов-Герасименко кометасының Розетта ғарыш-кемесінен түсірілген фотосуреті

- Күн жүйесі массасының 99% -ы Күнде жинақталған;
- қозғалыс моментінің 98% -ы планеталардың үлесіне тиеді.

73.2-кесте

Күн жүйесі планеталарының сипаттамалары

| Планета<br>(ергежейлі<br>планета) | Диаметрі,<br>Жер радиусымен | Массасы, Жер<br>массасымен | Орбита<br>радиусы,<br>а.б. | Период,<br>жыл | Тәулік<br>ұзақтығы | Тығыздығы,<br>кг/м <sup>2</sup> | Серіктер<br>саны |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------|------------------|
| Меркурий                          | 0,382                       | 0,055                      | 0,38                       | 0,241          | 58,6               | 5427                            | 0                |
| Шолпан                            | 0,949                       | 0,815                      | 0,72                       | 0,615          | 243                | 5243                            | 0                |
| Жер                               | 1,0                         | 1,0                        | 1,0                        | 1,0            | 1,0                | 5515                            | 1                |
| Марс                              | 0,53                        | 0,107                      | 1,52                       | 1,88           | 1,03               | 3933                            | 2                |
| Церера                            | 0,074                       | 0,00015                    | 2,76                       | 4,6            | 0,378              | 2161                            | 0                |
| Юпитер                            | 11,2                        | 318                        | 5,20                       | 11,86          | 0,414              | 1326                            | 79               |
| Сатурн                            | 9,41                        | 95                         | 9,54                       | 29,46          | 0,426              | 687                             | 62               |
| Уран                              | 3,98                        | 14,6                       | 19,22                      | 84,01          | 0,718              | 1270                            | 27               |
| Нептун                            | 3,81                        | 17,2                       | 30,06                      | 164,79         | 0,671              | 1638                            | 14               |
| Плутон                            | 0,186                       | 0,0022                     | 39,2                       | 248,09         | 6,387              | 1860                            | 5                |
| Хаумеа                            | -0,11                       | 0,00066                    | 43                         | 281,1          | 0,163              | -2600                           | 2                |
| Макемаке                          | 0,116                       | -0,0005                    | 45,4                       | 306,28         | 0,324              | -1700                           | 1                |
| Эрида                             | 0,182                       | 0,0028                     | 67,8                       | 558,04         | 1,1                | 2520                            | 1                |



1. Күн жүйесінің құрылысы қандай?
2. Қандай планеталарды білесіңдер?
3. Астероид пен метеороидтердің қандай айырмашылығы бар?
4. Қандай кометаларды білесіңдер?



Көкжиекке жақын биіктіктен көрінетін Ай неге үлкейіп көрінеді?

## §74. Біздің галактика. Басқа галактикалардың ашылуы. Кварзарлар



### Тірек ұғымдар:

- ✓ галактика
- ✓ жұлдыздар шоғыры
- ✓ кварзарлар
- ✓ спектрі қызыл ығысуы



### Бүгінгі сабақта:

- галактиканың құрылысы, құрамы, түрлері, пішіндері мен өлшемдері және кварзарлар жайлы мәліметтер аласыңдар.

Күн жүйесі — шар тәріздес ядросының (балдж) ортасында алып қарақұрдым бар, қалған бөлігі диск тәріздес, диаметрі 100 мың жарық жылы, шамамен 200 млрд жұлдыздардан, газ-тозаңды тұмандықтардан және қараңғы материядан тұратын жүйенің — “Құсжолы” галактикасының құрама бөлшегі (74.1-сурет). Күн галактика центрін айнала қозғала отырып, шамамен 200 млн жылда бір айналым жасайды. Жер пайда болғалы Күн жүйесі галактика центрін 23 рет айналып шыққан.



74.1-сурет. Күн жүйесінің галактикадағы орны

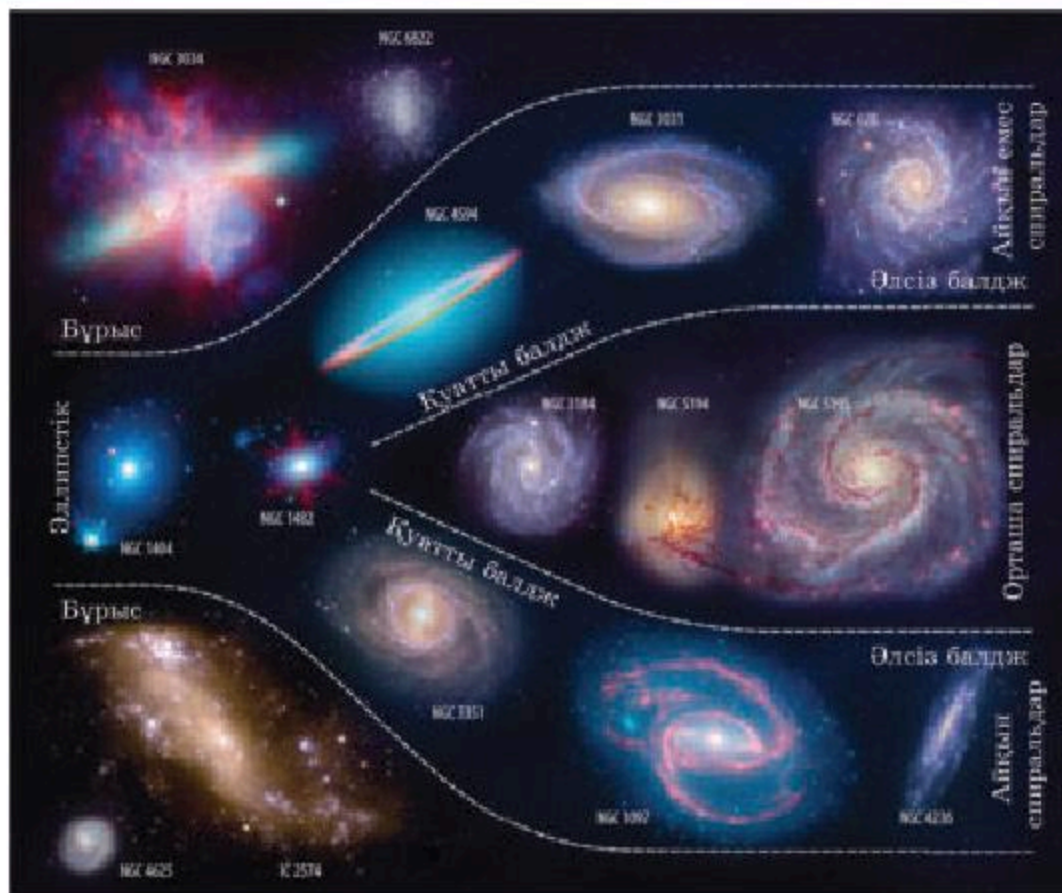
Галактикалар пішіндері мен өлшемдері өртүрлі. Бақыланған ең кіші галактика диаметрі 5 кпк, ал ең үлкені 600 кпк шамасында.

74.1-кесте

### Галактикалар сипаттамалары

| Сипаттама                  | Интервалы                             | Құсжолы                              |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Диаметрі $D_{25}$          | 5—250 кпк                             | 30 кпк                               |
| Диск қалыңдығы             | 0,3—1 кпк                             | 0,7 кпк                              |
| Жарқырауы                  | $10^7—10^{11} L_{\odot}$              | $5 \cdot 10^{10} L_{\odot}$          |
| Массасы                    | $10^7—10^{12} M_{\odot}$              | $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$          |
| Газ массасының үлесі       | 0,1—30%                               | 2%                                   |
| $v$ , айналу жылдамдығы    | 50—300 км/с                           | 220 км/с (Күн айналасында)           |
| Период                     | $10^8—10^9$ жыл                       | $2 \cdot 10^8$ жыл (Күн айналасында) |
| Орталық қарақұрдым массасы | $3 \cdot 10^5—3 \cdot 10^9 M_{\odot}$ | $4 \cdot 10^6 M_{\odot}$             |





74.2-сурет. Галактикалардың түрлері

Галактикалардың негізгі төрт түрі бар (74.2-сурет):

1. **Эллипстік галактикалар (E)** — диск құраушысы жоқ галактикалар.
2. **Спиральды галактикалар (S)** — спиральды жеңдері бар диск тәріздес галактикалар.
3. **Линза тәріздес галактикалар (S0)** — спиральды жеңдері жоқ диск тәріздес галактикалар.
4. **Бұрыс галактикалар (Irr)** — буылтық тармақ пішіндес бұрыс құрылымдары бар, массасының 50%-ы жұлдызаралық газдан тұратын галактикалар.

Көзге көрінетін төрт галактика ғана бар. Олар: Андромеда M31, Үшбұрыш M33, Үлкен және Кіші Магеллан бұлттар галактикалары.

Галактиканың дискісіндегі газ, негізінен, оның жазықтығына жақын жинақталған және біркелкі орналаспаған. Олардың ішінде құрылымы біртекті емес ұзындығы бірнеше мың жарық жылы болатын алып бұлттардан басқа шамалары бір парсектен аспайтын шағын бұлттар

бар. Біздің галактиканың химиялық құрамы, негізінен, сутек пен гелийден тұрады. Осы екі элементпен салыстырғанда қалған элементтер өте аз мөлшерде кездеседі.

Біздің галактикада Күн тәрізді дара жұлдыздар 30%-дан көп емес. Негізінен, жұлдыздар қос немесе бірнеше жұлдыздар жүйесінің бөлігі болып келеді. Галактикада жұлдыздар шашыранды (ондаған жұлдыздардан тұратын) және шар тәрізді (жүз мыңдаған жұлдыздардан тұратын) жұлдыздар шоғырлары құрамына кіреді.

*Шар тәрізді жұлдыздар шоғыры* галактиканың центріне жақын орналасқан. Орталыққа жақын аймақта әрбір куб парсек көлемдегі жұлдыздар саны бірнеше мыңға жетеді. Егер біз галактика ядросына жақын орналасқан жұлдыз маңындағы планетада өмір сүрсек, онда аспанда жарықтығы Айдың жарықтығындай ондаған жұлдыздар мен қазіргі аспанымыздағы ең жарық жұлдыздан да жарық жұлдыздар саны бірнеше мың болар еді.

*Шашыранды жұлдыздар шоғырларының* саны шар тәрізді жұлдыздар шоғырынан әлдеқайда көп, олар, негізінен, галактика (спиральды галактика жайлы сөз болып отыр) спиралінің тармағында орналасқан.

Галактика ядросы Мерген шоқжұлдызы бағытында орналасқан. Галактиканың айналу жылдамдығы центрде нөлден басталып, одан 2 мың жарық жылындай қашықтықта 200—240 км/с-қа дейін артып, әрі қарай тұрақты болып қалады. Галактиканың жасы 12 млрд жылдан асады.

**Басқа галактикалардың ашылуы.** Шамамен жүз жыл бұрын барлық көрінетін тұмандықтар Біздің галактикаға жатады деп саналады. Бұл оларға дейінгі қашықтықтарды анықтаудың қиындықтарына байланысты. Жаңа өлшеу әдістері арқасында көрінетін Өлем галактикаларға толы екені анықталды. Қазіргі уақытта бақыланатын Өлемде 2 трлн шамасында галактикалар бар. Олар топтасып орналасқан және ең сезімтал құралдардың көмегімен анықтайтын қашықтықта жан-жаққа таралып, бір-бірінен алшақтап барады. Галактикалардың жергілікті шоғырында жоғарыда аталған галактикалармен қоса 50-ден астам мүше бар. Оңтүстік жартышардың түнгі аспанынан бізге ең жақын галактикалар — “Магеллан бұлттарын” бақылай аламыз. “Магеллан бұлттары” Құсжолынан көп кіші. Олар Біздің галактиканың серіктері.

2,52 млн жарық жылы қашықтықта Андромеда галактикасы орналасқан. Ол топтағы ең ірі галактика — өлшемі Біздің галактикадан екі еседей үлкен (1 трлн шамасында жұлдыздары бар). Үшбұрыш галактикасы өлшемі Біздің галактикадан 2 есе кіші және бізден 2,8 млн жарық жылы қашықтықта орналасқан.

Өлемдегі ең ірі галактикаларға эллипстік галактикалар жатады. Олардың кейбіреуі шар тәрізді, ал кейбіреуі созылыңқы болып келеді.



800 мың галактикалардан тұратын каталогке сәйкес галактикалардың ішінде шамамен 80% спиральды, 17% эллипсті және 3% бұрыс галактикалар. Галактикаларға дейінгі қашықтықтарды өртүрлі әдістермен анықтайды: цефейлер, жаңа және асқын жаңа жұлдыздар және т.с.с.

**Квazarлар.** Квazarлар (ағылш. *quasar, quasistellar radiosourse* — радиосәуленің квазижұлдыздық көзі) — әлемдегі ең қуатты сәуле көзі. Бұл аспан денелері минутына Күннің 10 млн жылда шығаратын энергиясынан артық энергия шығарады. Олардың жарқырауы тұтас галактиканың жарқырауынан жүз есе артық бола алады. Көптеген квazarлар — рентген сәулесінің қуатты көздері. Квazarлар ғарыштағы ең алыс денелер болып саналады (оларға дейінгі қашықтық миллиардтаған жарық жылын құрайды), олардың спектрі қызыл ығысуы  $z = 7,5$  шамасына дейін барады. Квazarлар өте алыс галактикалардың жас, белсенді ядролары деп есептеледі.



1. Біздің ғаламның қай жерінде жұлдыздардың шар тәрізді шоғырлары орналасқан?
2. Әдеттегі галактикадан квazarлар қалай ерекшеленеді?
3. Алматы қаласында бұлтсыз ашық түнде Магеллан бұлтындағы галактиканы бақылай аласыңдар ма?
4. Квazarдың жылтырау периодының өзгерісі арқылы оған дейінгі қашықтықты анықтауға бола ма?



### 37-жаттығу

1. Галактика центрінен жұлдыз 5,5 кпк қашықтықта орналасқан және 200 км/с жылдамдықпен қозғалады. Жұлдыздың галактика центріне айнала қозғалысы кезіндегі толық бір айналым жасау уақытын табындар.

*Жауабы: 10<sup>7</sup> ж.*

2. 1987 жылы ақпанның 23-інен 24-іне қараған түні астрономдар 55 кпк қашықтықтағы Үлкен Магеллан бұлтында аса жаңа жұлдыздың тұтануын тіркеді. Бұл құбылыстың шын болған жылын анықтаңдар.

*Жауабы: 179 300 жыл бұрын.*



## § 75. Үлкен жарылыс теориясы. Қараңғы ығысу және Галактикаларға дейінгі қашықтықты анықтау. Әлемнің ұлғаюы

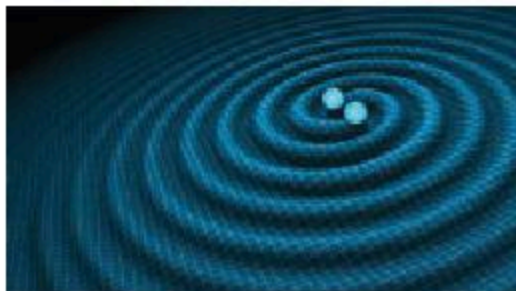


### Тірек ұғымдар:

- ✓ жалпы салыстырмалылық теориясы
- ✓ гравитациялық толқындар
- ✓ Үлкен жарылыс
- ✓ қараңғы энергия
- ✓ қараңғы материя

### Бүгінгі сабақта:

- үлкен жарылыс теориясымен, қараңғы энергия мен қараңғы материя ұғымдарымен танысасыздар, Хаббл заңы, Әлемнің моделі жайлы мәліметтер аласыздар.



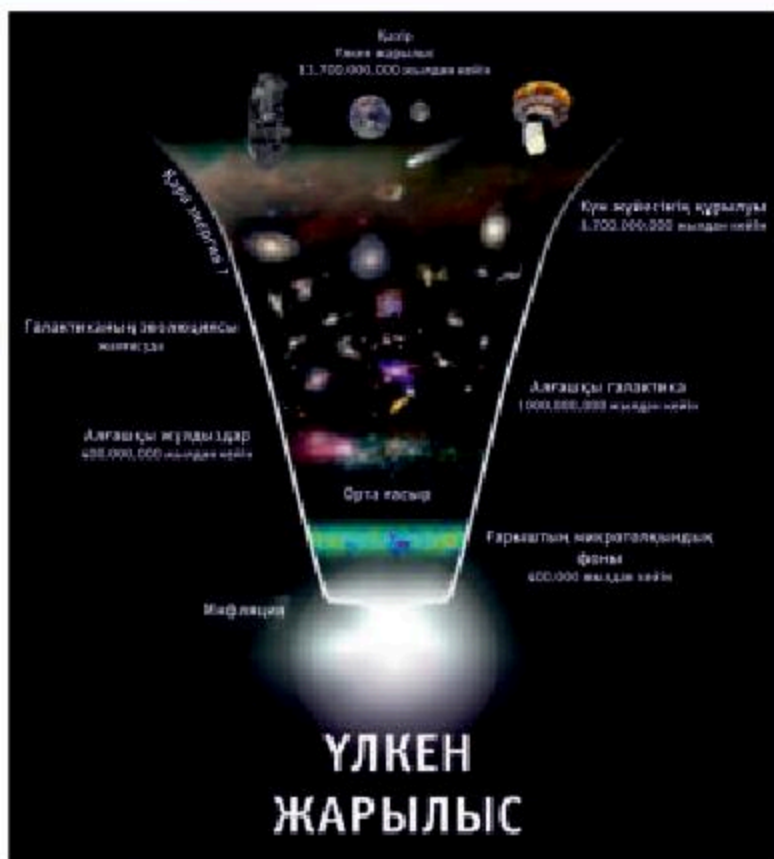
75.1-сурет. Қосарланған жұлдыздардың гравитациялық толқынды шығаруы

дылықтарын тұжырымдайды. Зат маңында кеңістік созылып, уақыт баяулайды. Мысалы, нейтрондық жұлдыз маңында көзге көрінетін көлемнен шын көлем үлкен болады. Ал уақыт жүрісі жұлдыз бетіне жақындаған сайын баяулай береді. Бұл теория сондай-ақ гравитациялық толқындарды болжайды (75.1-сурет). 2017 жылы американдық ғалымдарға физика саласындағы Нобель сыйлығы гравитациялық толқындарды ашқаны үшін берілді.

Гравитациялық толқын кеңістіктік уақыт қисаюының таралуы болып табылады. Оларды тіркеу мүмкіндігі Әлем жайлы көптеген жаңа мәліметтер алуға көмектеседі.

Осы теория (ЖСТ) шеңберінде Әлемді тұтастай зерттейтін космология жұмыс істейді. Қазіргі түсініктер бойынша, Әлем Үлкен жарылыстан басталып, инфляция деп аталатын өте жылдам ұлғаю кезеңінен өткен (75.2-сурет). Кейін, 13,7 млрд жыл өткен соң қазіргі уақытта бақыланып отырған баяу үдемелі ұлғаю кезеңіне ұштасқан. Әлем жазық болғандықтан, оның шегі жоқ, бірақ біз бақылай алатын қашықтық Әлем жасымен байланысты, себебі шектік жарық жылдамдығының болуы біздің бақылау аймағымызға шектеу қояды.

Бұл жерде қараңғы энергия және қараңғы материя жайлы да айта кеткен дұрыс. *Қараңғы энергия* деп Әлемнің үдемелі ұлғаюына себепші,

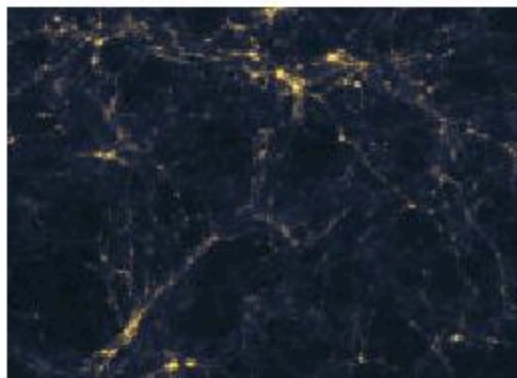


75.2-сурет. Әлем эволюциясы

табиғаты өзінше белгісіз, барлық жерде бірдей таралған өрісті айтамыз. Ал *қараңғы материя* — галактикалар маңында шоғырланған, белгісіз, электромагниттік және күшті әсерлесуге түспейтін материя. Бүгінде бүкіл Әлемдегі заттың 68,3% -ы қараңғы энергиядан, 26,8% -ы қараңғы материядан, тек 4,9% -ы белгілі заттан тұратыны анықталды. Қазір осы бағыттағы зерттеулерге көп көңіл бөлінуде. Шындығында, белгілі зат мардымсыз бес пайыздан аз болғаны дұрыс.

Үлкен жарылыстан кейін Әлем кеңейіп, салқындай бастады. Әлем жасы 400 мың жыл болғанда қараңғы энергия мен қараңғы материядан басқа зат электрондардан, протондардан, нейтрондардан және электромагниттік сәуледен тұрды. Әрі қарай Әлемнің кеңею процесінде температурасы 4000 К шамасына дейін суып, материя жарық үшін мөлдір күйге өтті де, қазір *реликті микротолқынды фондық сәулелену* деп аталатын электромагниттік сәуле пайда болады. Әлемнің кеңеюінің басталғанына шамамен миллион жыл өткеннен соң тұрақты атомдардың қалыптасу уақыты келді. Атомдар әрі қарай бірігіп молекулаларға айналды. Жүздеген миллион жыл бойы гравитация материяны ора-





75.3-сурет. Әлемнің аса ірі масштабтағы құрылымы — филаменталар

құрылымды, ал одан үлкен масштабтарда *филаменталарға* (ұзындығы 50—80 Мпк талшықтар) жинақталады (75.3-сурет). Біртекті және изотропты болып табылатын өте үлкен масштабта пайда болған Метагалактиканың құрылымы осындай.

Галактикалардың ішіндегі гравитациялық өрістер бұл материяны ыстық жұлдыздарға айналдырды. Мұнда жұлдыздар пайда болып сөніп жатты. Алып жұлдыздар өздерінің өмір сүруінің соңғы сатысында асқын жаңа жұлдыздар жарылысына ұшырап, өмірдің негізі болып табылатын элементтерді, атап айтқанда, біз дем алатын оттекті, ағзаға қажетті көміртекті, қанның құрамындағы темірді ғарыш кеңістігіне жіберді. Жарылыстан кейін газ бен тозаңнан тұратын бұлт пайда болғанда бұл элементтер гравитациялық күштің әсерінен жиналды да, жаңа жұлдыз — Күн пайда болды. Олардың жанында планеталар түзіле бастады. Бұл шамамен 4,6 млрд жыл бұрынғы оқиға. Сондай планеталардың бірінде тіршілік иелері эволюцияны бастарынан өткізді, енді олардың ішіндегі санасы ең жоғары тұрғындары өмірдің қалай пайда болғанын түсінуге ұмтылуда. Үлкен жарылыстан бері шамамен 13,7 млрд жыл өтті. Әлемнің бүгінгі бейнесі пайда болды.

*Әлемнің пайда болуының жарылыстық сипатын дәлелдейтін деректерді ғалымдар осы уақытта да тауып жатыр. Олар:*

— ғарышта Әлемнің пайда болу кезінен реликті микротолқынды фондық сәулеленудің бар болуы;

— Әлемнің кеңеюінен пайда болған галактика спектрлеріндегі қызыл ығысу;

— Әлемдегі гелий мөлшерінің Үлкен жарылыс теориясы болжап айтқандай сутектің 12 атомына гелийдің бір атомы сәйкес келуі.



## Әлем дамуының кезеңдері

| Уақыт                     | Температура          | Әлемнің күйі  |
|---------------------------|----------------------|---|
| $10^{-45}$ — $10^{-37}$ с | $10^{26}$ К жоғары   | Кеңею   |
| $10^{-6}$ с               | $10^{13}$ К жоғары   | Кварктар мен электрондардың пайда болуы             |
| $10^{-5}$ с               | $10^{12}$ К          | Протондар мен нейтрондардың пайда болуы             |
| $10^{-4}$ с — 3 мин       | $10^{11}$ — $10^9$ К | Дейтерий, гелий, литий ядроларының пайда болуы      |
| 400 мың жыл               | 4000 К               | Атомдардың пайда болуы                              |
| 15 млн жыл                | 300 К                | Газды бұлттың кеңеюінің жалғасуы                    |
| 1 млрд жыл                | 20 К                 | Бірінші жұлдыздар мен галактикалардың пайда болуы   |
| 3 млрд жыл                | 10 К                 | Жұлдыздар жарылған кездегі ауыр ядроның пайда болуы |
| 10—13 млрд жыл            | 3 К                  | Планетаның және саналы тіршіліктің пайда болуы      |

Сонда Әлем жасы 13,7 млрд жыл  $10^{18}$  с, ал бақыланатын кеңістік өлшемдері 93 млрд жарық жылы  $10^{27}$  м екен. Болжауларға сәйкес бұл аймақтан тыс басқа параллель әлемдер болуы мүмкін (мультиәлемдер гипотезасы). Ол жерлерде іргелі тұрақтылар өзгеше болып, Әлем көрінісі тіпті өзгеше болуы тиіс. Шындығында, осы тұрақтылар сәл өзгеше болғанда біз білетін Әлем болмас еді, онда адам өмір сүруі екіталай болар еді. Бұл жағдай Антроптық қағидамен түсіндіріледі. Әлемдер саны шексіз, бірақ бақылап тұрған Әлемнің ерекше қасиеттері оның іргелі тұрақтыларын бақылаушы пайда болуына себепкер болғандықтан. Болашақ зерттеулер бұл жағдайды нақтылай алады деп сенеміз (75.4-сурет).

**Хаббл заңы.** 1929 жылы американдық астрономы Эдвин Хаббл галактика неғұрлым алыс қашықтықта болса, соғұрлым жылдамырақ алшақтайды және соғұрлым оның спектрі қызыл жаққа ығысатынын ашты:

$$v = Hr,$$

мұндағы  $v$  — галактиканың алыстау жылдамдығы,  $r$  — оған дейінгі қашықтық,  $H$  — Хаббл тұрақтысы ( $67,80 \pm 0,77$  (км/с · Мпк)). Хаббл заңы тек алыс галактикалар үшін ғана қолданылады. Хаббл заңы Әлемнің ұлғаюын, яғни Үлкен жарылыс нәтижесінде Әлемнің пайда болғанын растайды.



75.4-сурет. Бақыланатын Әлем ауқымы (логарифмдік масштабта)

Қызыл ығысу шамасы:

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda}$$

мұндағы  $\lambda_0$  — өлшенген толқын ұзындығы,  $\lambda$  — спектрдегі бастапқы ұзындық. Қазіргі ең үлкен қызыл ығысу шамасы 11,09, ол 13,39 млрд жарық жылы қашықтығындағы GN-z11 галактика сипаттамасы.

**Әлемнің моделі.** Біздің Әлемнің заманауи моделі  $\Lambda$ CDM (Lambda-Cold Dark Matter) деп аталады.  $\Lambda$ CDM моделі 1998 жылы Әлемнің үдемелі кеңеюі ашылған соң стандартты модельге айналды, өйткені бұрынғы модельдердің қарама-қайшылықтары бұнда

қарапайым және табиғи түрде шешілді. Бұл модель Әлем барионды материядан бөлек лямбда мүше — қараңғы энергия және суық қараңғы материядан тұрады деп ұйғарады. Кейбір  $\Lambda$ CDM-ды кеңітетін балама модельдер бойынша Әлемнің ұлғаюы оның қайтадан сығылуымен алмасады да, Әлем жойылып кетеді. Ал басқа модель болжамы бойынша Метагалактиканың сығылуы кейін қайта ұлғаюға алып келеді. Үшінші бір гипотеза бойынша Әлемнің ұлғаюы мәңгі жалғаса береді. Барлық жұлдыздардың жарығы уақыт өткен сайын сейіліп, галактикалар қараңғыға сіңіп жоғалады.



1. *Метагалактиканың өлшемдері қандай?*
2. *Үлкен жарылыс теориясына қазіргі кезде қандай дәлелдемелер бар?*
3. *Күннің жасы қандай?*
4. *Біздің галактиканың жасы нешеде?*
5. *Метагалактиканың құрылымы қандай?*
6. *Галактикалардың спектріндегі қызыл ығысу нені көрсетеді?*
7. *Температурасы 3к болатын сәуле шығару аясы неге реликтивтік деп аталған?*
8. *Егер галактиканың қашықтау жылдамдығы 1000 км/с болса, осы галактикадан Әлемге дейінгі қашықтық қандай?*
9. *Хаббл заңы нені растайды?*



## § 76. Өмір және Әлем туралы ойлар. Адамзаттың ғарыштық болашағы және ғарышты игеру



### Тірек ұғымдар:

- ✓ іргелі ғылым
- ✓ қолданбалы ғылым
- ✓ үлкен жарылыс
- ✓ қараңғы энергия
- ✓ қараңғы материя

### Бүгінгі сабақта:

- әлемдегі өмір мен сана, заманауи ғылым салалары мен ауқымы, адамзаттың ғарыштық болашағы жайлы ойлармен танысасындар.

Бүгінгі қоғамның жетістіктері де, қиындықтары да ғылым мен техниканың дамуымен тығыз байланысты. Адам өмірінің орташа ұзақтығының соңғы жүз жыл ішінде екі есеге өсуі мен адам санының жеті миллиардтан асуы да, адамның мұхит түбіне жетіп, ғарышқа шыққаны да, орасан зор көлемдегі ақпаратты өңдеп, лезде кез келген адамды бір-бірімен байланыстыра алуы ғылым дамуының арқасы. Сонымен қатар адамды жаппай жоюға арналған ядролық, химиялық және биологиялық қарулар мен көптеген экологиялық апаттар да ғылымсыз болмас еді. Осы және одан да басқа көптеген мысалдар ғылым қуаттылығының, алуантүрлілігі мен күрделілігінің көрінісі бола алады.

Бір жағынан, әлемнің таңғаларлық құпиялары жасырылған тұңғықтағы асыл тастай тартымды, екінші жағынан жержүзін күл талқан етіп, адамзатты, тіпті бүкіл тіршілік иелерін жалмайтын құдіреті бар қауіпті нәрсе өзіне ерекше қарауды қажет етеді. Дегенмен, оң мен солын таразыға салып таңдайтын болсақ, ғылымнан алған пайдамыз одан көрген зияннан әлдеқайда көп болып шығады, сондықтан қазіргі қоғам ғылымды дамытуға үлкен күш салуда.

Кез келген болашағынан үміті зор мемлекет ғылымға аса жоғары көңіл аударып, дарынды жастарды онымен айналысуға баулуда. Біз де осы көштен қалмай, ғылыммен өркендеуіміз керек. Елдің болашағы заманауи ғылымды шаруашылықтың барлық салаларында жетік игере алуымен тығыз байланысты. Демек, мемлекет ғылымының деңгейі кем дегенде әлемдегі енді ашылған жаңалықтарды түсіне алып, оны игеруге біліктілігі жетуі қажет.

**Әлемдегі өмір мен сана.** Әлем жөніндегі біздің біліміміздің шектелгенін еске ала отырып белгілі астроном Шепли Харлоу адамзаттың алдағы уақытта жауап беруге тиісті негізгі үш мәселесі бар деді. Олар: Әлем деген не? Оның болмысы қандай? Ол неге өмір сүреді?

Бұл сұрақтарды осы өмірге қатысты қойсақ, олардың біреуіне де толық жауап бере алмаймыз. Өмір деген не? Ол қалай пайда болған? Жалпы алғанда, өмірдің проблемалары дүниедегі ең әйгілі ойшылдарды қызықтырып, өзіне тартқан және тарта береді.

Аспан денелерінің пайда болуы мен даму теориясында астрономия ғылымы үлкен жетістіктерге жеткенмен, тіршіліктің және сананың



пайда болуы және оның дамуын түсіндіру жөнінде әлі де көптеген белгісіз мәселелер бар. Саналы тіршілік тек біздің ғана планетамызда емес, басқа да көптеген дүниеде таралған болуы керек деген пікір бұдан көптеген уақыт бұрын астрономия ғылымының өзі қалыптаса қоймаған кезде де болды.

Жерден тыс саналы өмір бар аспан денелерінің болуы және ол көп пе, аз ба деген сұраққа жауап беру үшін бақылау құралдарын жетілдіру керек немесе алдымен төмендегі сұрақтарға жауап берген жөн: Өлемде тіршілік түрлерінің пайда болуына қолайлы жағдайлар жиі кездесе ме және осы жағдайлардың бәрінде де тіршілік пайда бола ала ма? Оған қанша уақыт керек? Жердегі тіршіліктен басқа тіршілік түрінің болуы мүмкін бе? Өмір эволюциясының болуы әр уақытта да саналы тіршілікке әкелуі мүмкін бе? Және саналы тіршіліктің пайда болуына қажетті уақыттың ұзақтығы қандай?

Сана дегеніміз не? Кейбір ғалымдардың болжамдары бойынша, адамның санасы — адам тілінің синонимі. Екіншілердің пікірінше, сана адамдардың танымдық қасиеттерінің бірі болғандықтан, сананың дамуы өртүрлі дәрежеге жете алуы мүмкін және оның кемшілігі мен жетістігі бар. Ал үшінші пікірге сүйенсек, сана — адамзат дамуының тұйық тармағы.

Егер Өлемнің бір жерінен тіршілік иелері табылса, барлық айтылған болжамдарымыз не расталып немесе жоққа шығар еді.

Сөйтіп, жоғарыда келтірілген пікірталастардан кейін мынадай қорытынды жасауға болады.

Күрделі молекулалардың табылуынан саналы тіршіліктің өмір сүруіне қолайлы біздің планетамыз сияқты серігі бар жұлдыздар табылды. Ол планеталарға ғарыштық саяхат жасауға әбден болады.

Саналы өмірді іздеудің тиімді жолы — радиосигналдарды зерттеу. Оларды басқа планеталарда тұратын саналы тіршілік иелері жіберуі ғажап емес. Бір күні Жерде немесе Айға орнатылған радиотелескоптар келген радиосигналдарды қатесіз ұстауы, ғарыштық радиобайланысты ашуы мүмкін.

Бірақ адамның өзі көзбен көріп, қолмен істеген нәрсеге ештеңе де тең келмейді. Жақын ондаған жылдар ішінде адам баласы басқа планеталардың бетіне не оның серіктеріне өзі баруы және оны зерттеп, тіпті игеруі мүмкін. Адамзаттың ғарышқа ұшу дәуірі XX ғасырда басталды, атап айтсақ, жерді бірінші ғарышкер айналып ұшып өтті, бірінші ғарышкер әйел ғарышқа ұшты. Ай бетінде бірінші адамдар аяқ басты.

1961 жылдың 12 сәуір күні қазақтың ғарышайлағы Байқоңырдан ұшқан Юрий Гагарин Жер шарын айналып шықты. Жерге оралғаннан кейін айтқан оның бірінші сөзі мынадай: “Мен осы планетаның тұрғынымын”. Осы жылы Джон Гленн жерді 3 рет айналып шықты. 1963 жылы ғарышқа әйел-ғарышкер В.Терешкова ұшырылып, 1965 жылдың 18 наурызында Леонов бірінші рет ашық ғарышқа

шықты. 1969 жылдың 20 шілдесінде бірінші рет Ай бетіне Американдық ғарышкер Нил Армстронг із тастады. 1975 жылы 15 шілдеде Америка және Кеңес Одағы ғарышкерлері ғарышта бірінші рет қол алысып сәлемдесті. Қазіргі кезде Жер орбитасында аса зор орбиталық стансылар ұшып жүр. Онда ғарышты зерттейтін ұлтаралық экипаждар жұмыс істеп жатыр.

Күн жүйесін зерттеудегі ақтаңдақтарды жою үшін ғарышқа “Вояджер”, “Кассини”, “Улисс” және т.б. автоматты зондтар ұшырылды. Автоматты кеме “Вояджер-2” Жерден 1977 жылы 20 тамызда Канаверал мүйісіндегі ғарышайлағынан ұшырылды. Ол Нептун планетасына 12 жылдан соң жетті.

Нептунмен кездескеннен кейін “Вояджер-2” стансысының траекториясы оңтүстікке ауытқыды. Енді ол оңтүстік жартышардағы эклиптикаға  $48^\circ$  бұрышпен және  $15,9$  км/сағ жылдамдықпен ұшып өтеді. “Вояджерлердің” болашақ ғылыми зерттеулерінде алдыңғы қатарға гелиопаузаны қиып өтуі күтіліп отыр.

Күн желінің (Күннен таралатын атомның иондалған бөлшектері) жылдамдығы  $400$  км/с шамасында. Оның динамикалық қысымы жұлдызаралық магнит өрісімен қай жерде теңесетіні әзірге белгісіз. Бірақ “Вояджер” гелиопаузаны 2012 жылы кесіп өтті деп ұйғарылып отыр. Радиоизотопты термоэлектрлік батареялардың энергиясы аппараттардың минималды жұмыс істеуі үшін 2025 жылға дейін жетеді. Осы кезде батареяның қуаты  $240$  Вт-қа түседі. Миллион жылдан кейін “Вояджерлер” Жерден  $50$  жарық жылына тең қашықтыққа алшақтайды.

“Вояджер-2” Жерге алып планеталар мен олардың серіктерінің суреттері, құнды мәліметтер жіберіп ғылымның дамуына үлкен үлес қосты.

XX—XXI ғасырларда Күн жүйесінің кіші денелері, оның ішінде ергежейлі планеталар, плутино, олардың кейбір серіктері мен алып планеталардың серіктері ашылды.

Барлық планеталар жалпы түрде, ал Ай, Шолпан, Марс беттері тікелей зерттелді. Басқа жұлдыздарда планеталық жүйелер ашылды.

Жұлдызды астрономияда жұлдыздардың эволюциясы мен ішкі құрылысының негізін қалайтын теориялар құрылды. Болжанған ақ ергежейлілер мен нейтронды жұлдыздар ашылды.

Галактикалық және галактикадан тыс астрономияда Әлемнің моделі жасалып, кеңеюі анықталды. Әлемнің ең алыс нысанына дейінгі қашықтықты анықтау тәсілдері табылды. Біздің Галактиканың ядросының құрылымы мен негізгі түрлері, олардың шоғырлары зерттелді. Әлемнің үлкен масштабты құрылымы ұсынылды.

Жыл сайын Жерден ондаған автоматтандырылған планетааралық серіктер (АПС) ұшырылып жатыр. Олар жақын және алыс ғарышты зерттейді. Алғашқы жер адамдарының басқа планетаның бетіне





76.1-сурет. АФИ-дің Асы-Түрген обсерваториясы



76.2-сурет. АФИ-дің Тянь-Шань обсерваториясы

Адамзат өзінің қуатты ақыл-ойына сүйеніп Өлемді танып қана қоймай, оны игеріп те жатыр. Күн жүйесін зерттейтін ғарышкемелері, ғылыми орбиталық кемелер осының дәлелі болып табылады.

Фесенков атындағы Астрофизикалық институт Қазақстандағы астрономия мен астрофизика саласындағы іргелі зерттеулерді жүргізетін негізгі ғылыми мекеме болып табылады. АФИ-дің ғылыми жұмысына астрономиялық бақылаулар, теориялық зерттеулер мен компьютерлік модельдеу жатады (76.1- және 76.2-суреттер). Теориялық зерттеулердің басты салаларына жұлдыздар динамикасы мен астрофизикалық есептеулер, аспан механикасы, сандық модельдеу негізінде галактикалардың белсенді ядроларын зерттеу, Өлемнің жас кезіндегі космологиялық моделін дамыту, Өлемдегі құрылымдардың пайда болуы мен эволюциясын зерттеу, қара материялар мен қара энергиялардың табиғатын зерттеу жатады.

Өлемдегі астрономиялық обсерваториялардың ішінде Алматының маңындағы биік таулар ішінде орналасқан екі бақылау обсерваториясы елге танымал. Бұл обсерваториялардағы зерттеу жұмыстары бірнеше ондаған мың жарықсезгіш элементтерден тұратын матрицасы бар ПЗС-камера деп аталатын, кескіндердің панорамалық қабылдағышы болып табылатын жаңа құралдармен жабдықталған телескоптармен

аяқ басуы мүмкін, тіпті адамдар ғарышта өз демалыстарын өткізуі де ғажап емес.

Жер адамдарының тарихында алғаш рет басқа жұлдыздардың планеталық жүйелерінің бар екеніне дәлел бар. Ғалымдардың ұйғарымынша, тек біздің Галактикада Жерге ұқсас миллиондаған планеталардың бар болуы мүмкін. Ал солай болған күнде оларда тіршіліктің болуы да мүмкін. Жер бетінде орналастырылған радиотелескоптар радиоспанға құлақ салып, басқа планеталықтардың жіберуі мүмкін радиосигналдарды іздеп жатқанына көп уақыт болды. Алып обсерваториялардың телескоптары, уақыт машинасы іспетті, ғарыштық кеңістікте саяхаттап жүрген жарықты бақылайды. Астрономдар Өлемге терең үңілген сайын уақыттың да тереңіне бойлай береді.



жүргізіледі. Басты жұмыс Күн мен алып планеталардың атмосфераларында болып жатқан процестерді, кометалар мен жұлдызаралық орта және тұмандықтарды, белсенді галактикалардың спектроскопиясын зерттеуге бағытталған.



1. Планетада қолайлы жағдай туғанда тіршіліктің пайда болуы барлық жағдайда мүмкін бе?
2. Сана деген не?
3. Ақуыз өмір сүру формасы болуы мүмкін бе?
4. Қазіргі ғарышкерлері арқылы басқа жұлдыздарға саяхат жасау мүмкін бе?
5. Жерден тыс сана иелерімен байланыс жасау үшін санасы бізден жоғары немесе төмен дамыған сана иесінің қайсысымен байланыс жасаған дұрыс деп ойлайсыңдар?
6. Сығыла бастаған Әлемде тіршілік болуы мүмкін бе?
7. Жақын арадағы 100 жыл ішінде Жердегі цивилизация қалай дамуы мүмкін?
8. Ғарыш Әлеміне бірінші рет ұшқан кім?
9. Ай бетінде бірінші болған кім?
10. Ғарыш кеңістігіне бірінші шыққан кім?
11. Бірінші әйел-ғарышкер кім?
12. Юпитердің қай серігінде су табылды?
13. Қазақстандық ғарышкерлер жайлы эссе жазыңдар.

## 12-тараудың ең маңыздысы

**Астрономия** — аспан денелерінің, олардың жүйелерінің және тұтас Әлемнің физикалық құрылысын, пайда болуын, қозғалысын және дамуын зерттейтін ғылым.

**Космология** — Әлемді тұтастай алғандағы оның пайда болуы мен дамуын, геометриялық құрылымын, ондағы заттың қалай пайда болғанын, қараңғы энергия мен қараңғы материяның табиғаты мен олардың Әлем дамуындағы орнын зерттейтін астрономия саласы.

**Қараңғы энергия** — Әлемнің үдемелі ұлғаюына себепші, табиғаты өзірше белгісіз, барлық жерде бірдей таралған өріс.

**Қараңғы материя** — галактикалар маңында шоғырланған белгісіз, электромагниттік және күшті әсерлесуге түспейтін материя.

**Хаббл заңы** — галактика неғұрлым алыс қашықтықта болса, соғұрлым жылдамырақ алшақтайды және соғұрлым оның спектрі қызыл жаққа ығысады:

$$v = Hr,$$

мұндағы  $v$  — галактиканың алыстау жылдамдығы,  $r$  — оған дейінгі қашықтық,  $H$  — Хаббл тұрақтысы ( $67,80 \pm 0,77$  (км/с · Мпк)).

## ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

### 6-зертханалық жұмыс.

#### Сәуле шығарудың тұтас және сызықтық спектрлерін бақылау

*Жұмыстың мақсаты:* спектроскоптың көмегімен тұтас және сызықтық шығару спектрлерін бақылау.

*Құрал-жабдықтар:* электр шамы; сынапты шам; сутек, гелий, криптон толтырылған газразрядты түтікшелер; спектроскоп (1-сурет); түрлі түсті қарындаштар.

*Жұмыстың теориясы.*

Шығару спектрі деп берілген зат шығаратын жарық құрамындағы барлық толқын ұзындықтарының немесе жиіліктерінің жиынтығын айтады.

Шығару спектрлері тұтас, сызықтық және жолақ болып бөлінеді.

Қатты немесе сұйық күйдегі заттардың спектрлері тұтас болып табылады. Тұтас спектрдің құрамында көрінетін жарықтың барлық жиіліктері кездеседі, сондықтан ол бір-біріне үздіксіз, біртіндеп ауысатын түрлі түсті жолақтар түрінде көрінеді. Спектрдегі түстер қызыл, қызғылт, сары, жасыл, көгілдір, көк, күлгін ретін сақтап алмасады.

Сызықтық спектрлерді атомдық газ күйіндегі заттар береді. Кез келген заттың жеке атомдары тек сол затқа ғана тән жиіліктер жиынтығынан тұратын спектрді береді. Әр адамның өзіне ғана тән саусақтарының таңбасы болатыны сияқты, әрбір заттың атомдарының да тек сол затқа ғана тән сызықтық спектрі болады. Сызықтық спектрлер аралары айқын бөлінген, түрлі түсті жіңішке сызықтар түрінде көрінеді.

Жолақ спектрлерді заттың бір-бірімен әлсіз байланысқан немесе мүлдем әсерлеспейтін молекулалар шығарады. Жолақ спектрлер қара аралықтармен бөлінген жарық жолақтар түрінде көрінеді.



1-сурет. Екі түтікті спектроскоп

*Жұмыс барысы:*

**Шығару спектрлерінің заңдылықтарын бақылау**

*1-тапсырма.* Тұтас шығару спектрін бақылау.

1. Спектроскоптың окулярын көзге жақындатып, күндізгі жарықтың спектрін қарап шығындар да, көргендеріңді суретке салындар.

2. Спектрометр саңылауының алдына электр шамын орналастырып, шамды жағындар. Спектроскоптың саңылауын шамға бағыттай отырып, жарықтың шығару спектрін айқындап алындар. Оған зер салып, суретін дәптерге салындар.

*2-тапсырма.* Сызықтық шығару спектрлерін бақылау.

1. Спектрометр саңылауының алдына оптикалық тұғырға сынап шамын орнатып, оны жағындар. Көрінген сызықтық спектрдің бөрің қарап шығындар.

2. Сынап шамының орнына газразрядты түтікшелерді (сутек, неон, гелий толтырылған) кезегімен орналастырып, олардың әрқайсысының сызықтық спектрлерін көріп шығындар. Сутек спектрін сызындар.

Қорытынды жасаңдар.

### *7-зертханалық жұмыс.*

**Дайын фотосуреттер бойынша бөлшектердің өзара әсерлесуін зерттеу**

*Құрал-жабдықтар:*

1. Зарядталған бөлшектердің траектері түсірілген фотосурет (2-сурет).

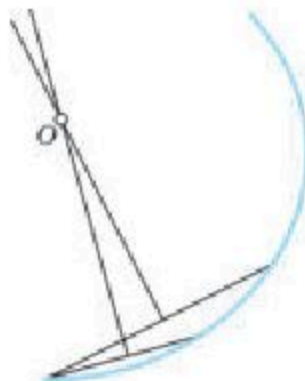
2. Вильсон камерасында түзілген  $\alpha$ -бөлшектердің ағыны көрсетілген фотосурет (3-сурет).

3. Сызғыш, мөлдір қағаз (калька), циркуль.

*1-тапсырма.* *Жұмыстың мақсаты:* магнит өрісінде қозғалған зарядталған бөлшектердің траектері түсірілген фотосуретті сараптау,

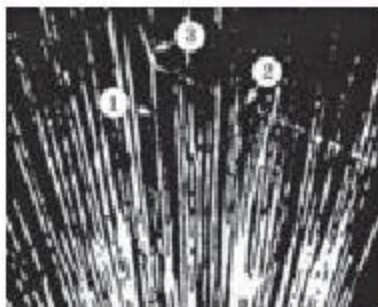


2-сурет



3-сурет





4-сурет

зарядталған бөлшектің трегін протонның трегімен салыстыра отырып осы бөлшекті анықтау.

*Жұмыстың теориясы.* Магнит өрісінде орналасқан Вильсон камерасында түсірілген фотосуретте (4-сурет) екі зарядталған бөлшектің қозғалыс траекториясы берілген. Бірінші I трек (1з) протондікі, ал екінші II трек анықтауға тиісті бөлшектікі.

Магнит өрісінің индукциясы фотосурет жазықтығына перпендикуляр. Бөлшектердің бастапқы жылдамдықтары бірдей және фотосурет шетіне перпендикуляр. Массасы  $m$  және заряды  $q$  болатын белгісіз бөлшекті ұқсастыру оның меншікті зарядын  $\frac{q}{m}$  протонның меншікті зарядымен салыстыру жолымен жүргізіледі. Оны былай орындайды: бөлшектердің тректерінің бастапқы бөлігіндегі радиустарын өлшейді және салыстырады. Лоренц күшінің әсерінен зарядталған бөлшек радиусы  $R_2$  шеңбер бойымен қозғалады. Ньютонның екінші заңы бойынша:

$$qvB = m \frac{v^2}{R_2}, \text{ осыдан } \frac{q}{m} = \frac{v}{B \cdot R_2}, \quad (1)$$

ал протон үшін

$$\frac{e}{m_p} = \frac{v}{BR_1}. \quad (2)$$

Бөлшектердің меншікті зарядтарының қатынасы олардың траекториясының радиустарының қатынасына кері пропорционал:

$$\frac{q/m}{e/m_p} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (2)$$

Бөлшектер трегінің қисықтық радиустарын анықтау үшін 2-суреттегі фотосуреттің бетіне мөлдір қағаз (калька) салып, тректерді қағазға көшіреді. 3-суретте көрсетілгендей екі хорда сызады және олардың ортасынан перпендикуляр жүргізіледі. Перпендикулярдың қиылысу нүктесі шеңбердің центрі болып табылады, осы радиусты сызғышпен өлшейді.

*Жұмыс барысы:*

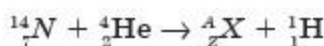
1. Фотосуреттегі бөлшектердің трегтерін калькаға көшіріңдер.
2. Фотосуреттегі белгісіз бөлшектер трегінің  $R_2$  радиусын өлшеңдер.
3. Фотосуреттегі протон трегінің  $R_1$  радиусын өлшеңдер.
4. Белгісіз бөлшек пен протонның меншікті зарядтарын салыстырыңдар:

$$\frac{q / m}{e / m_p} = \frac{R_1}{R_2}.$$

5. Белгісіз бөлшектің электр зарядының таңбасын анықтаңдар.
6. II трегі бар бөлшекті ұқсастығы бойынша табыңдар.
7. Магнит индукциясының  $B$  векторының бағытын анықтаңдар.
8. Өлшеу мен есептеу нәтижелерін кестеге толықтырыңдар.

**2-тапсырма.** *Жұмыстың мақсаты:* фотосурет бойынша  $\alpha$ -бөлшегінің азот атомымен өзара әсерлесуінің ядролық реакциясы мен реакция енімін анықтау.

*Жұмыстың теориясы.* Вильсон камерасында түсірілген фотосуретте (9-сурет) тұңғыш рет Резерфорд жүзеге асырған  $\alpha$ -бөлшектің азот атомының ядросымен өзара әсерлесу процесі бейнеленген:



Ядролық реакцияның нәтижесінде пайда болған екі бөлшек, оның біреуі протон болса, екіншісі белгісіз элементтің атомының ядросы  ${}^A_Z\text{X}$ . Бұл бөлшектің  $A$  массасының саны мен  $Z$  зарядтық санын электр зарядының және массалық санның сақталу заңы бойынша анықтауға болады. Өзара әсерлесу бейнеленген фотосуретте  $\alpha$ -бөлшектің трегіне 1, протондікіне жіңішке ұзын трек 2, белгісіз элементтің ядросына жуан қысқа трек 3 жатады.

*Жұмыс барысы:*

1. Теориялық материалдарды пайдалана отырып, фотосуреттегі зарядталған бөлшектердің ұқсастығын анықтаңдар.
2. Электр зарядының және массалық санның сақталу заңдарына сүйене отырып,  $A$  және  $Z$  индекстерін анықтаңдар.
3. Реакция кезінде қандай элементтің ядросы пайда болғанын көрсетіңдер. Ядролық реакция теңдеуін толықтырып жазыңдар.
4. Пайда болған бөлшектердің тректерінің ұзындығы мен жуандығының ертүрлі болу себебін түсіндіріңдер.
5. Фотосуреттегі сараптау нәтижесі бойынша мына сұраққа жауап беріңдер:  $\alpha$ -бөлшектің азот атомының ядросымен әсерлесуі жиі бола ма?
6. Қорытынды жасаңдар.

## Физика курсында қолданылатын терминдер

| Қазақ тілінде                              | Орыс тілінде                                 | Ағылшын тілінде                     |
|--|--|-------------------------------------|
| 1  | 2  | 3                                   |
| Радиоактивті заттың активтігі              | Активность радиоактивного вещества           | Activity of a radioactive substance |
| Астрономия                                 | Астрономия                                   | Astronomy                           |
| Атом ядросы                                | Атомное ядро                                 | Atomic nucleus                      |
| Голография                                 | Голография                                   | Holography                          |
| Массалық ақау                              | Дефект масс                                  | Mass defect                         |
| Виннің ығысу заңы                          | Закон смещения Вина                          | Wien's displacement law             |
| Стефан—Больцман заңы                       | Закон Стефана—Больцмана                      | Stefan-Boltzmann law                |
| Хаббл заңы                                 | Закон Хаббла                                 | Hubble's law                        |
| Жасанды радиоактивтілік                    | Искусственная радиоактивность                | Artificial radioactivity            |
| Дененің жарық шығару қабілеті              | Испускательной способностью тела             | Emissivity of the body              |
| Когерентті толқын көздері                  | Когерентные источники волн                   | Coherent wave sources               |
| Космология                                 | Космология                                   | Cosmology                           |
| Нейтрондардың көбею коэффициенті           | Коэффициент размножения нейтронов            | Neutron multiplication coefficient  |
| Сындық масса                               | Критическая масса                            | Critical mass                       |
| Лазерлер                                   | Лазеры                                       | Laser                               |
| Наноматериал                               | Наноматериал                                 | Nanomaterial                        |
| Нанороботтар                               | Нанороботы                                   | Nanorobots                          |
| Нанотехнология                             | Нанотехнология                               | Nanotechnology                      |
| Нуклондар                                  | Нуклоны                                      | Nucleons                            |
| Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясы | Общая теория относительности Эйнштейна (ОТО) | Einstein's General Relativity (GR)  |
| Жартылай ыдырау периоды                    | Период полураспада                           | Half-life                           |
| Планк тұрақтысы                            | Постоянная Планка                            | Planck constant                     |
| Ыдырау тұрақтысы                           | Постоянная распада                           | Decay constant                      |
| Спектрлік құрылғылар                       | Спектральные приборы                         | Spectral instruments                |
| Гюйгенс принципі                           | Принцип Гюйгенса                             | Huygens principle                   |
| Ферма принципі                             | Принцип Ферма                                | Fermat's principle                  |



| 1                                  | 2                           | 3                              |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Бойлық толқындар                   | Продольные волны            | Longitudinal waves             |
| Радиоактивтілік                    | Радиоактивность             | Radioactivity                  |
| Радиоактивті ыдырау                | Радиоактивный распад        | Radioactive decay              |
| Реактивті кедергі                  | Реактивное сопротивление    | Reactive resistance            |
| Рентген сәулесі                    | Рентгеновское излучение     | Light ray                      |
| Сигнал                             | Сигнал                      | Signal                         |
| 3D принтерлер                      | 3D принтеры                 | 3D printers                    |
| Тұрғын толқындар                   | Стоячие волны               | Standing waves                 |
| Телескоп                           | Телескоп                    | Telescope                      |
| Қараңғы материя                    | Темная материя              | Dark matter                    |
| Қараңғы энергия                    | Темная энергия              | Dark energy                    |
| Жылулық сәуле шығару               | Тепловое излучение          | Thermal radiation              |
| Термоядролық реакциялар            | Термоядерные реакции        | Thermonuclear reactions        |
| Ығысу тогы                         | Ток смещения                | Displacement current           |
| Меншікті байланыс энергиясы        | Удельная энергия связи      | Binding energy per nucleon     |
| Фазалық жылдамдық                  | Фазовая скорость            | Phase velocity                 |
| Фотон                              | Фотон                       | Photon                         |
| Фотоэлектрондар                    | Фотоэлектроны               | Photoelectrons                 |
| Фотоэффект                         | Фотоэффект                  | Photoelectric effect           |
| Ішкі фотоэффект                    | Внутренний фотоэффект       | Internal photoelectric effect  |
| Тізбекті ядролық реакция           | Цепная ядерная реакция      | Nuclear chain reaction         |
| Электромагниттік толқындар шкаласы | Шкала электромагнитных волн | Scale of electromagnetic waves |
| Ядроның байланыс энергиясы         | Энергия связи ядра          | Binding energy of a nucleus    |
| Ядролық реакциялар                 | Ядерные реакции             | Nuclear reactions              |
| Ядролық күштер                     | Ядерные силы                | Nuclear forces                 |
| Ядролық реактор                    | Ядерный реактор             | Nuclear reactor                |
| $\alpha$ -ыдырау                   | $\alpha$ -распад            | $\alpha$ -decay                |
| $\beta$ -ыдырау                    | $\beta$ -распад             | $\beta$ -decay                 |
| $\gamma$ -ыдырау                   | $\gamma$ -распад            | $\gamma$ -decay                |

## Глоссарий

**Абсолют қара дене** — барлық жиілікте түскен сәуленің энергиясын түгел жұтып алатын дене.

**Астрономия** — аспан денелерінің, олардың жүйелерінің және тұтас Әлемнің физикалық құрылысын, пайда болуын, қозғалысын және дамуын зерттейтін ғылым.

**Виннің ығысу заңы.** Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығының максимумына сәйкес келетін толқын жиілігі дененің абсолют температурасына тура пропорционал.

**Голография** (грек. *holos* — толық және *graphie* — жазамын) — бұл нәрселердің көлемдік кескіндерін фотопластинада (голограммада) когерент лазер сәулелерінің көмегімен алу тәсілі.

**Дененің сәулелену қабілеті** деп оның беттік аудан бірлігінен жиілік интервалының бірлік енінде шығатын сәулелік қуатын айтады.

**Жартылай ыдырау периоды** — радиоактивті ядролар санының жартысы ыдырайтын уақыт аралығы.

**Жылулық сәулелену** — бұл қызған денелердің электромагниттік сәулеленуі.

**Изобаралар** — массалық сандары  $A$  бірдей, зарядтық сандары  $Z$  өртүрлі нуклидтер.

**Изотоптар** — ядролық зарядтары бірдей, ал массалық сандары өртүрлі элемент атомдары.

**Кирхгоф заңы.** Барлық денелер үшін сәулелену қабілетінің сәулені жұту қабілетіне қатынасы дененің материалына байланысты емес, жиілік пен температураның универсал функциясы болып табылады.

**Космология** — Әлемді тұтастай алғандағы оның пайда болуы мен дамуын, геометриялық құрылымын, ондағы заттың қалай пайда болғанын, қараңғы энергия мен қараңғы материяның табиғаты мен олардың Әлем дамуындағы орнын зерттейтін астрономия саласы.

**Қараңғы материя** — галактикалар маңында шоғырланған белгісіз, электромагниттік және күшті әсерлесуге түспейтін материя.

**Қараңғы энергия** — Әлемнің үдемелі ұлғаюына себепші, табиғаты әзірше белгісіз, барлық жерде бірдей таралған өріс.

**Лазер** (ағылш. Light amplification by stimulated emission of radiation сөзтізбегінің алғашқы әріптерінен құралған) — жарықтың кванттық генераторы, жұмыс істеу принципі еріксіз (ынталандырылған) сәулелену құбылысына негізделген.

**Масса ақауы** — ядролық тарту күшінің жұмысы есебінен нуклондардан атом ядросы түзілгенде пайда болатын массалар айырымы.

**Меншікті байланыс энергиясы** — ядроның байланыс энергиясының  $A$  массалық санға қатынасын, яғни бір нуклонға сәйкес келетін байланыс энергиясы.

**Наноматериал** — нанобөлшектерден тұратын немесе нанотехнология негізінде жасалған макроскопиялық зат.

**Нанороботтар** — өлшемдері 100 нм-ден аспайтын, қозғалу, амалдар жасау, бағдарламалану, ақпарат алмасу мен өңдеу қабілеттері бар машиналар.

**Нанотехнология** — ерекше және жаңа қасиеттер алу мақсатында материямен (затпен) атомдық, молекулалық және супрамолекулалық (бірнеше молекула) деңгейлерде амалдар жасау әдістерін айтады.

**Нейтрондардың көбею коэффициенті** — нейтрондардың кез келген “буынындағы” нейтрондардың санына қатынасын айтады.

**Нуклидтер** — атом ядросының балама термині.

**Нуклондар** — ядроның құрамына кіретін оң зарядты протон мен электрлік бейтарап нейтрондардың жалпы саны.

**Планк тұрақтысы.**  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж/с — бұл 1900 жылы М. Планк жылулық сәулелену заңдарын түсіндіру барысында енгізген іргелі физикалық тұрақтылардың бірі.

**Радиоактивті заттың активтілігі** — уақыт бірлігі ішінде ыдырайтын ядролар санымен анықталатын шама.

**Радиоактивтік** — тұрақсыз атом ядросының өздігінен ыдырап сәулелер шығару қабілеті.

**Радиоактивті ыдырау** дегеніміз — тұрақсыз атом ядросының өздігінен ыдырап басқа атом ядросына түрленуі және сәулелер шығару қабілеті.

**Резерфорд тәжірибесі.** Резерфордтың альфа-бөлшектердің жұқа алтын фольгадан шашырауын зерттеген тәжірибесі (1911 ж.) атомның ядролық үлгісін жасауға мүмкіндік берді.

**Рентген сәулеленуі** — бұл жиілігі өте жоғары (толқын ұзындығы өте қысқы  $\lambda = 10^{-4} - 10^3$  м) электромагниттік сәулелену. Оны неміс физигі В. Рентген ашқан.

**Сканерлеуші туннельдік микроскоп** — атомдарды кескіндеумен қатар, олармен амалдар жасауға мүмкіндік беретін наноғылымдар үшін аса маңызды құрал.

**Стефан — Больцман заңы.** Абсолют қара дененің интегралдық энергетикалық жарқырауы абсолют температураның төртінші дәрежесіне тура пропорционал.

**Сындық масса** — тізбекті бөліну реакциясын тұрақты қамтамасыз ететін бөлінетін заттың (уранның) ең аз массасы.

**Термоядролық реакциялар** — өте жоғары температурада жеңіл ядролардың бірігіп ауырлау ядроны түзу реакциясы.

**Тізбекті ядролық реакция** — белгілі ядролық реакция келесі дәл сондай реакцияны туғызатын процесті айтады.

**Фотон** — бұл электромагниттік сәулеленудің корпускулалық қасиеттерін түсіндіру үшін енгізілген квазибөлшек. Фотондар — электромагниттік өрістің кванттары.

**Фотоэлектрондар** — бұл сыртқы фотоэффект кезінде металл бетіне түскен жарықтың әсерінен ұшып шығатын электрондар.

**Фотоэффект** дегеніміз — электромагниттік сәулеленудің затпен әсерлесуі барысында байқалатын құбылыстар. Сыртқы фотоэффект кезінде сәулелену әсерінен электрондар металдан жұлып шығарылады, ішкі фотоэффект кезінде сәулелену нәтижесінде жартылай өткізгіштің электр кедергісі артады.

**Хаббл заңы** — галактика неғұрлым алыс қашықтықта болса, соғұрлым жылдамырақ алшақтайды және соғұрлым оның спектрі қызыл жаққа ығысады.



**Ыдырау тұрақтысы** — уақыт бірлігі ішінде ядроның ыдырау ықтималдығы. **Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясы (ЖСТ)** — заманауи гравитация теориясы.

**Ядролық күштер** — ядродағы нуклондарды ыдырап кетуден сақтап, оның берік байланысын қамтамасыз ететін күштер.

**Ядролық реактор** — басқарылатын тізбекті бөліну реакциясын жүзеге асыратын қондырғы.

**Ядролық реакциялар** — атом ядросының басқа ядромен, элементар бөлшектер және кванттармен өзара әсерлесуі кезінде болатын түрленулер.

**Ядроның байланыс энергиясы** — атом ядросын түгелімен жеке нуклондарға ыдырату үшін қажетті минимал энергиясы.

**$\alpha$ -ыдырау** — радиоактивті ядроның өздігінен ыдырау процесінде  $\alpha$ -бөлшектердің ядродан ұшып шығуы.

**$\beta$ -ыдырау** — радиоактивті ядроның өздігінен ыдырау процесінде ядродан электрон мен позитронның, нейтрино мен антинейтриноның ұшып шығуы.

**$\gamma$ -ыдырау** — радиоактивті ядроның өздігінен ыдырау процесінде кванттардың ядродан ұшып шығуы.

**3D принтерлер** — көлемді затты (наноматериалды) кішкене өлшемді қабаттарды жанастыру арқылы жасап шығаратын аддитивті технология негізінде жұмыс жасайтын құрылғы. Бұл құрылғылар наноматериалдарды жасауда қуатты құрал болып табылады.

## Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Касьянов В. А. Физика. 11 класс. М.: Дрофа, 2018.
2. Кокс Ф. Г., Парсондейдж М. Энциклопедия окружающего мира. Атомы и молекулы. М.: Росмэн, 1997.
3. Мухаметов М., Есжанов А. и др. Физика: Учебник для 11 классов общеобразовательных школ. Алматы, 2008.
4. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика: Учебник для 11 классов общеобразовательных учреждений. М.: Просвещение, 2002.
5. Мякишев Г. Я., Синяков А. З. Физика: Колебания и волны. Учебник для 11 классов для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2001.
6. Мякишев Г. Я., Синяков А. З. Физика: Оптика и квантовая физика. Учебник для 11 классов для углубленного изучения физики. М.: Дрофа, 2002.
7. Павленко Ю. Г. Начало физики. Учебник. М.: “Экзамен”, 2005.
8. Тарасов Л. В. Физика в природе: Книга для учащихся. М.: Просвещение, 1988.
9. Турчина Н. В. Физика в задачах для поступающих в вузы. 2500 задач. Москва: Оникс, Мир и образование, 2009.
10. Универсальный справочник школьника / Сост. Г. П. Шалаева. М.: Филологическое общество “Слово”. Олма-Пресс образование, 2005.
11. Факты. Люди. Даты. События. Малый энциклопедический справочник. М.: Астрель, 2002.
12. Физика. Учебник для 11 классов с углубленным изучением физики. Профильный уровень. / Под. ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабарейна. М.: Просвещение, 2007.
13. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики под редакцией Ю. И. Дика, О. Ф. Кабардина. М.: Просвещение, 2002.
14. Шутов В. И., Сухов В. Г., Подлесный Д. В. Эксперимент в физике. Физический практикум.
15. Энциклопедический словарь юного физика / Сост. В. А. Чуянов. М.: Педагогика, 1991.
16. Элементарный учебник физики. Том I, II. III. Под редакцией академика Г.С. Ландсберга. М.: АОЗТ “Шрайк”, 1995.
17. Тұяқбаев С., Насохова Ш., т. б. Физика: Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сыныбына арналған оқулық. Алматы: Мектеп, 2015.
18. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>

## МАЗМҰНЫ

Алғы сөз..... 4

### IV бөлім. САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

#### 8-тарау. Салыстырмалылық теориясының элементтері

|  |    |
|--|----|
| §42. Салыстырмалылық теориясының постулаттары. Лоренц түрлендірулері .....   | 5  |
| §43. Энергия. Релятивтік механикадағы импульс және масса. Материалдық дене үшін энергия мен массаның байланыс заңы ..... | 14 |
| 8-тараудың ең маңыздысы .....  | 21 |

### V бөлім. КВАНТТЫҚ ФИЗИКА

#### 9-тарау. Атомдық және кванттық физика

|   |    |
|---|----|
| §44. Сәулелену түрлері .....  | 23 |
| §45. Спектрлер. Спектрлік анализ, спектрлік аппараттар.....   | 27 |
| §46. Инфрақызыл және ультракүлгін сәулелер. Рентген сәулелері.<br>Электромагниттік толқындар шкаласы .....        | 32 |
| §47. Жылулық сәуле шығару .....   | 37 |
| §48. Фотоэффект .....   | 44 |
| §49. Фотоэффектінің қолданылуы. Фотон .....   | 50 |
| §50. Жарықтың қысымы .....  | 55 |
| §51. Жарықтың химиялық әсері .....  | 58 |
| §52. Рентген сәулелер .....   | 63 |
| §53. Жарықтың корпускулалық-толқындық табиғатының біртұтастығы.....   | 67 |
| §54. Альфа-бөлшектердің шашырауы туралы Резерфорд тәжірибелері.<br>Бор постулаттары. Франк-Герц тәжірибелері..... | 71 |
| §55. Лазерлер. Сызықтық емес оптика туралы түсінік .....  | 78 |
| §56. Бор теориясының қиындықтары. Бөлшектердің толқындық қасиеттері. Де Бройль толқындары.....                    | 86 |
| 9-тараудың ең маңыздысы.....  | 90 |

#### 10-тарау. Атом ядросының физикасы

|   |     |
|---|-----|
| §57. Табиғи радиоактивтік .....   | 91  |
| §58. Радиоактивті ыдырау заңы.....  | 99  |
| §59. Атом ядросы.....   | 106 |
| §60. Ядроның нуклондық моделі .....                                       | 109 |
| §61. Ядродағы нуклондардың байланыс энергиясы .....                       | 113 |
| §62. Иондаушы сәулелерді тіркеу әдістері.....                             | 118 |
| §63. Ядролық реакциялар. Жасанды радиоактивтік .....                      | 123 |
| §64. Ауыр ядролардың бөлінуі .....  | 128 |
| §65. Тізбекті ядролық реакциялар .....                                    | 131 |
| §66. Радиоактивті сәулелердің биологиялық әсері. Радиациядан қорғану..... | 134 |
| §67. Ядролық реактор. Ядролық энергетика .....                            | 136 |
| §68. Термоядролық реакциялар.....   | 141 |
| 10-тараудың ең маңыздысы .....  | 145 |



## VI бөлім. НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ НАНОМАТЕРИАЛДАР

### 11-тарау. Нанотехнология және наноматериалдар

|   |     |
|---|-----|
| §69. Нанотехнологияның негізгі жетістіктері, өзекті мәселелері мен даму кезеңдері. Наноматериалдар..... | 147 |
| 11-тараудың ең маңыздысы .....  | 152 |

## VII бөлім. КОСМОЛОГИЯ

### 12-тарау. Космология

|   |     |
|---|-----|
| §70. Астрономия, астрофизика және космология .....  | 153 |
| §71. Жұлдыздар өлемі. Жұлдызға дейінгі қашықтық. Айнымалы жұлдыздар ....  | 156 |
| §72. Күн-Жер байланыстары .....   | 167 |
| §73. Жұлдыздардың планеталық жүйелері. Жер топтарындағы планеталар және алып планеталар. Күн жүйесіндегі кіші денелер ..... | 171 |
| §74. Біздің галактика. Басқа галактикалардың ашылуы. Кварзарлар .....   | 178 |
| §75. Үлкен жарылыс теориясы. Қызыл ығысу және Галактикаларға дейінгі қашықтықты анықтау. Өлемнің ұлғаюы.....                | 182 |
| §76. Өмір және Өлем туралы ойлар. Адамзаттың ғарыштық болашағы және ғарышты игеру .....                                     | 187 |
| 12-тараудың ең маңыздысы .....  | 191 |

### Зертханалық жұмыстар

|   |     |
|---|-----|
| 6-зертханалық жұмыс. Сәуле шығарудың тұтас және сызықтық спектрлерін бақылау .....          | 192 |
| 7-зертханалық жұмыс. Дайын фотосуреттер бойынша бөлшектердің өзара әсерлесуін зерттеу ..... | 193 |
| Физика курсына қолданылатын терминдер.....  | 196 |
| Глоссарий .....   | 198 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі .....   | 201 |