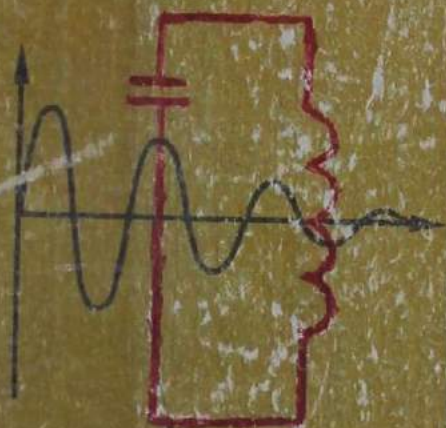


Г. Я. МЯКИШЕВ Б. Б. БУХОВЦЕВ

# ФИЗИКА



ББК 22. 3я 72  
М 99

Маселелер чыгарууга мисалдар түзүүгө  
физика мугалими А. З. Синяков катышты

Которгондор:

*Карашев Ташмат, Ибраимов Жумабек, Шаршекеев Өзгөрүш*

4306021200—118

М————— 75.89.

М 452 (17)—88

ББК 22. 3я 72

ISBN 5-658-00307-5

Рецензенти *С. Жумабаев* — физика-математика илимдеринин кандидаты

© Издательство «Просвещение», 1987  
© «МЕКТЕП» басмасы, 1988-ж. кайра иштелгенинен кыргызчага которулду



# Термелүүлөр жана толкундар

## Киришүү

Биз буга чейин физиканы окуп үйрөнүүдө белгилүү бир удаалаштыкты сактап келгенбиз. Убакыттын өтүшү менен мейкиндикте телолордун (же алардын бөлүктөрүнүн) абалдарынын бири бирине карата өзгөрүшү — *механикалык кыймыл* VII класста окулган болучу. IX класста термодинамика жана молекулалык физиканы окуп үйрөнүп, жылуулук процесстери менен таанышканбыз. IX класстын физика курсунун экинчи жарымы *электромагниттик кубулуштарга* арналган болучу. Бирок электродинамиканы үйрөнүү аягына чейин жеткирилген эмес. Өзгөрмө ток, радиотолкундар (электромагниттик толкундар) ж. у. с. маанилүү процесстерди да карап чыгуу керек. Ошентсе да эгерде окуу китебинин башынан бир нече баракты барактасанар, анда X класстын физика курсу кайра эле механикадан — *механикалык термелүүлөрдү* үйрөнүүдөн башталарын көрөсүңөр. Мына ушундан кийин гана IX класста бүтпөй калган электродинамика бөлүмү андан ары улантылат. Бул жерде иштин жайы төмөнкүчө. Физикалык табияты ар түрдүү (механикалык жана электромагниттик) термелүүлөрдү жана толкундарды бирге кароого орчундуу негиз бар.

Маятниктин термелүүсү менен индуктивдүүлүк катушкасы аркылуу конденсатордун разряддалышынын эмне жалпылыгы бар? Бирок андай жалпылык бар. Кийинчерээк силер механикалык жана электромагниттик термелүүлөр *бирдей сандык законго* баш ие тургандыгын билесинер. Бул, эмненин термелип жаткандыгына (пружинага илинген жүкпү же чынжырдагы электр тогубу ж. у. с.) эмес, термелүүлөр кандайча болуп жаткандыгына кызыга турган болсок ачык байкалат. Ар түрдүү толкун процесстери да бирдей законго баш иет.

Азыркы физикада атайын бөлүм *термелүүлөрдүн физикасы* бөлүнүп чыкты. Анда ар түрдүү термелүүлөр бирдей көз карашта каралат. Термелүүлөрдүн физикасы өтө чоң практикалык мааниге ээ. Ал машиналардын жана механизмдердин вибрацияларын изилдөөнү жүргүзөт; анын жыйынтыктары өзгөрмө токтун ~~электр~~ тротехникасынын, радиотехниканын ж. у. с. тармактардын ~~негизинде~~ гизинде жатат.

С.Ш. И.М. *5/18*  
АЛМАТЫ АЭРОКОСМОС  
ОБЪЕКТИВНОСТИ  
190 91

## Механикалык термелүүлөр

### 1. Эркин жана аргасыз термелүүлөр

Термелүү кыймылдары же термелүүлөр жаратылышта өтө кеңири таралган. Нерселерди термелүүгө аргасыз кылуу эң жөнөкөй.

Штативге пружинаны бекитип, анын төмөнкү бош учуна металл шаригин илебиз. Бул учурда пружина созулат да пайда болгон  $\vec{F}_0$  серпилгич күчү шарикке аракет кылган  $\vec{F}$  оордук күчүн тең салмактап калат (1-а, сүрөт). Эгерде, эми шарикти акырын төмөн тартып, тең салмактуу абалынан чыгарып коё берсек, анда ал өйдө-төмөн, өйдө-төмөн болуп өзүнчө бир кызык кыймыл жасай баштайт (1-б, сүрөт). Ирети менен бирде бир жакка, бирде карама-каршы жакка кеткен телонун мындай мүнөздөгү кыймылы *термелүү* деп аталат. Убакыт өткөн сайын термелүү акырындык менен басандап (өчүп), аягында шарик токтойт.

Эгерде шарикти жипке иле турган болсок, анда аны мындан да оңой термелүүгө келтирүүгө болот. Тең салмактуу абалында жип вертикалдуу болуп, шарикке аракет эткен  $\vec{F}$  оордук күчү, жиптин  $\vec{F}_0$  серпилгич күчү менен тең салмактанып турат (2-а, сүрөт). Эгерде шарикти тең салмактуу абалынан кыйшайтып коё бере турган болсок, анда ал токтоп калганга чейин оңго-солго, оңго-солго термеле берет (2-б, сүрөт). Жипке байланган шарик — бул эң жөнөкөй *маятник*<sup>1</sup>. Жалпысынан *маятник* деп, жипке илинген окко бекитилген оордук күчүнүн аракети астында термелүүчү телону айтабыз. Бул учурда ок телонун оордук борбору аркылуу өтпөшү керек. Мыкка илинген сызгычты, люстраны, рычагдуу таразалардын апкечин ж. б. маятник деп атоого болот.

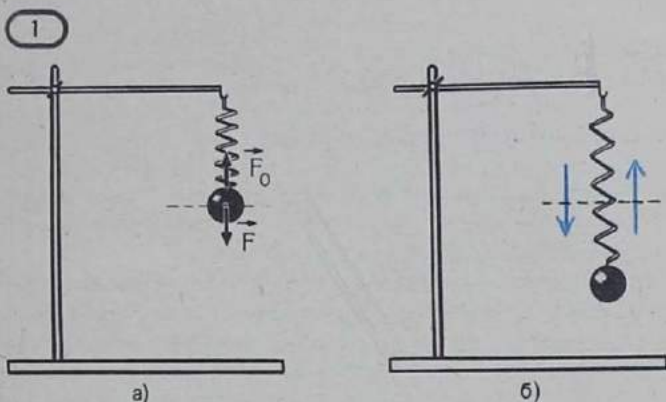
Термелүү кыймылынын бир кыйла мүнөздүү белгилери болуп эмнелер эсептелет? Баарынан мурда термелүүдө телонун кыймылынын кайталанышы же дээрлик кайталанып турушу байкалат. Бир толук термелүү жасап, б. а. сол жактагы четки абалдан, оң жактагы четки абалга чейин жана тескерисинче жолду өтүп, маятник дагы эле ошол кыймылын улантат. Эгерде кыймыл так кайталана берсе, анда аны *мезгилдүү кыймыл* деп аташат.

*Термелүү — бул белгилүү убакыт аралыгында так же болжол менен кайталануучу кыймыл.*

Автомобилдин кыймылдаткычындагы поршендер, толкун учурундагы калкыгычтар, шамал учурундагы дарактын бутактары,

<sup>1</sup> Жипке илинген шарик ага оордук күчү аракет кылганда гана маятник болорун эске алуу керек. Бул күчтү пайда кылуучу жер шары термелүүчү системага кирет, биз ал системаны кыскача, жөн эле маятник деп коёбуз.



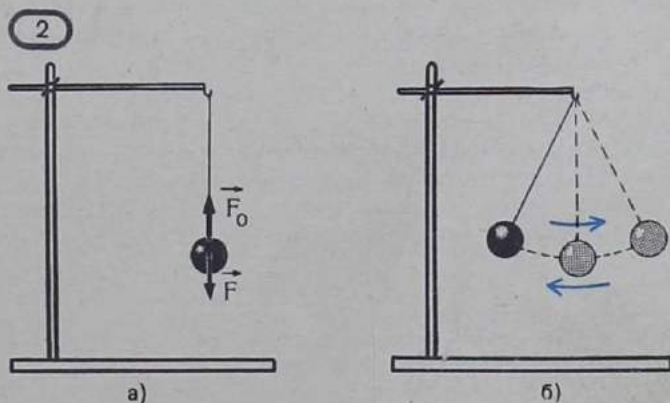


биздин жүрөгүбүз — булардын бардыгы кайталанып туруучу кыймыл жасашат. Булардын бардыгы термелүүнүн ар түрдүү мисалдары.

**Эркин термелүүлөр.** Механикада кыймылдарын үйрөнүп жаткан телолордун группасы *телолордун системасы* же жөн эле *система* деп аталат. Системадагы телолордун арасындагы аракет кылган күчтөр *ички күчтөр* деп аталат. Системадагы телолорго, ал системага кирбеген сырткы телолор тарабынан кылган аракет *сырткы күчтөр* деп аталат.

Термелүүнүн эң жөнөкөй түрү болуп эркин термелүүлөр эсептелет. Система тең салмактуулук абалынан чыгарылгандан кийин ички күчтөрдүн аракети астындагы анын термелүүсү *эркин термелүүлөр* деп аталат.

Пружинага бекитилген жүктүн, же жипке илинген жүктүн термелүүлөрү эркин термелүүнүн мисалдары. Бул системалар тең салмактуулук абалдан чыгарылгандан кийин, телого мезгил-мез-



гили менен өзгөрүүчү сырткы күчтөр аракет кылбаса да, термелүүлөрү улантылуучу шарттар пайда болот.

**Аргасыз термелүүлөр.** Эгер столдун үстүндө жаткан китепти колубуз менен ары-бери жылдырсак, анда китеп термелүү жасаган болот. Бирок бул эркин термелүү эмес, аргасыз термелүү болот. Бул учурда китептин термелүүсү модулу жана багыты боюнча мезгили өзгөрүп туруучу колубуздун аракетинен пайда болот.

Мезгили менен өзгөрүүчү сырткы күчтүн-аракети астындагы телолордун термелүүсү *аргасыз термелүү* деп аталат.

Аргасыз термелүүлөргө, атап айтканда ичинен күйүүчү кыймылдаткычтардын цилиндриндеги поршендердин, тигүүчү машинанын ийненинин ж. у. с. термелүүлөрү кирет.

## 2. Эркин термелүүлөрдүн пайда болуш шарттары

Эркин термелүүнүн пайда болушу үчүн система кандай касиеттерге ээ болушу керек экендигин тактайбыз. Адегенде шариктин горизонталь боюнча пружинанын серпилгич күчүнүн аракетин астындагы термелүүсүн кароодон баштоо ыңгайлуу<sup>1</sup>.

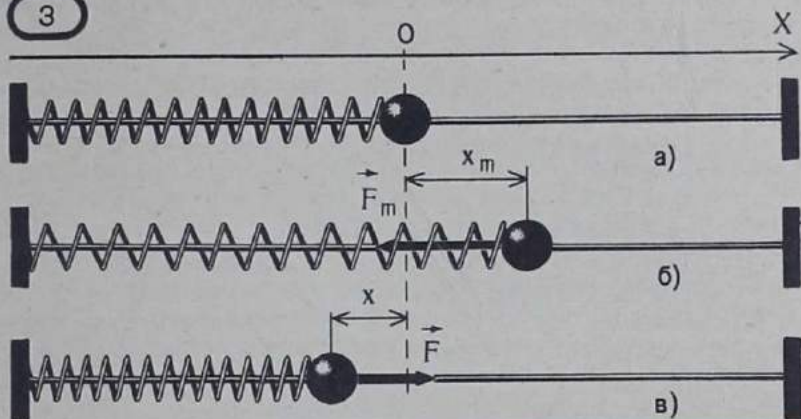
Эгерде шарикти тең салмактуулук абалынан оң жакты көздөй жылдырсак (3-а, сүрөт), анда пружинанын узундугу  $x_m$ ге узарат (3-б, сүрөт) жана пружина тарабынан шарикке серпилгич күч аракет эте баштайт. Бул күч Гук закону боюнча пружинанын деформацияланышына пропорциялуу жана сол жакты көздөй багытталган. Серпилгич күчтүн аракетин астында шарик ылдамдыгын арттырып, ылдамдануу менен сол жакты көздөй жыла баштайт. Серпилгич күчү пружинанын деформациясы кичирее баштагандыктан азай берет. Шарик тең салмактуу абалына жеткен кезде, пружинанын серпилгич күчү нөлгө барабар болот. Демек, Ньютондун экинчи законуна ылайык, шариктин ылдамдануусу да нөлгө барабар болуп калат.

Бул учурда шариктин ылдамдыгы эң чоң мааниге жетет. Ал тең салмактуу абалында токтоп калбастан, өзүнүн инерттүүлүгүнүн эсебинен сол жакты көздөй кыймылын уланта берет. Натыйжада оң жакты көздөй багытталган жана шариктин кыймылын акырындатуучу серпилгич күчү пайда болот (3-в, сүрөт). Бул күч, демек, оң жакты көздөй багытталган ылдамдануу, модулдары боюнча тең салмактуу абалына салыштырмалуу шариктин жылышынын  $x$  модулуна түз пропорциялуу чоңоёт. Ал эми ылдамдык болсо, сол жактагы эң четки абалында нөл болгонго чейин азайып отурат. Андан кийин шарик оң жакты көздөй ылдамдануу менен кыймылдай баштайт. Жылыш модулуна  $x$

<sup>1</sup> Вертикаль пружинага илинген шариктин термелүүсүн талдоо бир кыйла татаал. Бул учурда бир эле убакта пружинанын өзгөрмөлүү серпилгич күчү жана туруктуу оордук күчү аракет этет. Бирок, термелүүнүн жүрүшү анда да, мында да бирдей.



3

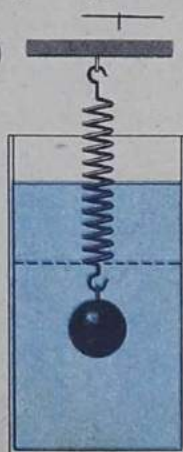


кичирейиши менен  $\vec{F}$  күчү да модулу боюнча кичирейип отуруп тең салмактуулук абалында кайрадан нөлгө барабар болот. Бирок шарик бул учурга чейин белгилүү ылдамдыкка ээ болууга жетишет, демек, оң жакты көздөй кыймылын уланта берет. Бул кыймыл пружинанын чоюлушуна, ошону менен бирге сол жакты көздөй багытталган күчтүн пайда болушуна алып келет. Шариктин кыймылы оң жаккы, эң четки абалында токтогонго чейин акырындап, андан кийин бардык процесс кайра башынан кайталанат.

Эгерде сүрүлүү болбосо, анда шариктин кыймылы эч качан токтомок эмес. Бирок, сүрүлүү бар (айрым алганда, абанын каршылыгы) болгондо да, сүрүлүү күчүнүн багыты шариктин оң жакты карай болгон кыймылында да, сол жакты карай болгон кыймылында да дайыма ылдамдыкка каршы багытталган. Ошондуктан сүрүлүү шариктин кыймылын акырындатат, термелүү кыймылы болсо токтоп калганга чейин акырындик менен азайып отурат. Сүрүлүү аз болгондо термелүүнүн өчүшү шарик көп термелүү жасагандан кийин гана билинет. Эгерде шариктин кыймылын кыска убакыт аралыгында карасак, анда анын термелишинин басандоосуна көңүл бурбаса да болот. Бул учурда сүрүлүү күчүнүн кыймылга көрсөткөн таасирин эсепке алуунун зарылдыгы деле жок.

Эгерде сүрүлүү күчү чоң болсо, анда анын аракетин из убакыт аралыгында да эсепке албай коюуга болбойт. Пружинага илинген шарикти илээшкек суюктук, мисалы, глицерин куюлган стаканга салгыла (4-сүрөт). Эгерде пружина жумшак болсо, анда

4



тең салмактуу абалынан чыгарылган шарик таптакыр термелүүгө келбейт. Серпилгич күчтүн аракети менен ал жөн эле тең салмактуу абалына (4-сүрөттө пунктир сызыгы) чейин келет. Каршылык күчүнүн аракетинен анын тең салмактуу абалындагы ылдамдыгы дээрлик нөлгө барабар болот.

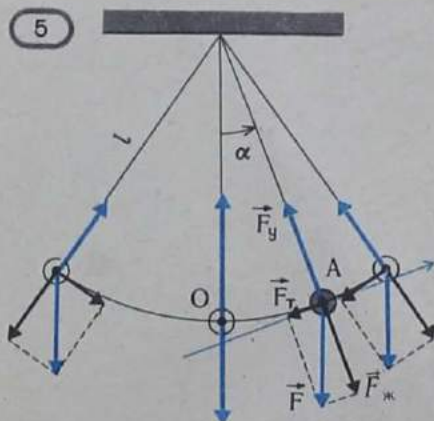
Эми, системада эркин термелүүнүн пайда болушу үчүн эмне маанилүү экендигин билүүгө болот. Ал үчүн эки шарттын аткарылышы зарыл. *Биринчиден*, телону тең салмактуу абалдан чыгарганда, системада тең салмактуу абалды көздөй багытталган, демек, телону тең салмактуу абалына алып келүүгө умтулган күчтүн пайда болушу керек. Биз карап жаткан системада пружина так ушундай аракет кылат: шариктин сол жакты карай жылышында да, оң жакты карай жылышында да серпилгич күчү тең салмактуу абалын көздөй багытталган. *Экинчиден*, системада сүрүлүү өтө аз болууга тийиш. Андай болбогондо, термелүү бат өчөт же пайда болбой калышы да мүмкүн. Өчпөөчү термелүү сүрүлүү жокто гана болушу мүмкүн.

Эки шарт тең эркин термелүүлөр пайда болуучу ар кандай системалар үчүн жалпы жана туура болуп эсептелет. Муну башка жөнөкөй системада — маятникте текшерели.

### 3. Математикалык маятник

Узун жипке илинген оор шарикти — жөнөкөй маятникти карап көрөлү. Эгерде шариктин өлчөмү жиптин узундугунан көп эсе кичине болсо, анда анын өлчөмүн эсепке албай, шарикти материалдык чекит деп кароого болот. Жиптин созулушу өтө кичине болгондуктан, аны да эсепке албай коюуга болот. Ошондой эле шариктин массасына салыштырмалуу жиптин массасын эсепке алуунун зарылдыгы жок. Мына ошентип, кыймыл учурунда аз да болсо деформациялануучу, массасы бар жипке илинген, белгилүү өлчөмдөгү шариктин — чыныгы маятниктин ордуна, биз анын жөнөкөйлөштүрүлгөн моделин: салмаксыз жана созулбас жипке илинген материалдык чекитти караганыбыз максатка ылайыктуу. Маятниктин мындай модели *математикалык маятник* деп аталат.

Маятникти тең салмактуу абалынан чыгарып, анан коё берели. Шарикке эки күч: тик ылдый багытталган  $\vec{F} = m\vec{g}$  оордук күчү жана жипти бойлото багытталган жиптин серпилгич күчү  $\vec{F}_y$  (5-сүрөт) аракет этет. Албетте, маятник кыймылга





келгенде ага дагы сүрүлүү күчү аракет этет. Бирок, биз аны өтө кичине деп көңүлгө албайбыз.

Маятниктин кыймылынын динамикасын өзүбүзгө даана элестетүү үчүн оордук күчүн эки түзүүчүгө: жипти бойлото багытталган  $\vec{F}_n$  жана шариктин траекториясына жаныма боюнча жипке перпендикулярду багытталган  $\vec{F}_t$  күчтөрүнө ажыратуу ыңгайлуу.  $\vec{F}_n$  жана  $\vec{F}_t$  күчтөрүнүн суммасы  $\vec{F}$  күчүн берет. Жиптин  $\vec{F}_y$  серпилгич күчү менен оордук күчүнүн  $\vec{F}_n$  түзүүчүсү маятниктин ылдамдыгына перпендикулярдуу жана ага борборго умтулуучу ылдамданууну берет. Бул ылдамдануу айлананын жаасынын — маятниктин кыймылынын траекториясынын борборуна багытталган. Бул күчтөрдүн аткарган жумушу нөлгө барабар. Ошондуктан, кинетикалык энергия жөнүндөгү теоремага ылайык алар маятниктин ылдамдыгын модулу боюнча өзгөртүшпөйт. Алардын аракети, убакыттын ар кандай моментинде ылдамдык, айлананын жаасына жаныма боюнча багытталгандай кылып, ылдамдык векторунун үзгүлтүксүз өзгөрүп турушуна гана алып келет.  $\vec{F}_t$  түзүүчүсүнүн аракети астында маятник айлананын жаасы боюнча модулу жагынан өсүүчү ылдамдык менен төмөн көздөй кыймылдай баштайт. Маятниктин кыймылына карата тең салмактуулук абалын көздөй багытталган оордук күчүнүн бул түзүүчүсү модулу боюнча кичирейип отурат жана маятник тең салмактуулук абалынан өтүп бараткан моментте нөлгө барабар болот. Өзүнүн инерттүүлүгүнүн натыйжасында маятник жогору көтөрүлүү менен андан ары кыймылдайт. Бул учурда  $\vec{F}_t$  түзүүчүсү ылдамдыкка карама-каршы багытталган болот. Ошондуктан маятниктин ылдамдыгынын модулу кичиреет. Маятник жогорку чекитте токтогон моментте анын  $\vec{F}_t$  түзүүчүсүнүн модулу максималдуу жана тең салмактуулук абалын көздөй багытталган. Андан ары маятниктин ылдамдыгы модулу боюнча чоңоёт да, ал кайрадан тең салмактуулук абалын көздөй кыймылдайт. Эгерде каршылык күчү гана кичине болуп, анын анчалык чоң эмес убакыт интервалындагы аткарган жумушу эске алынбагандай болсо, маятник тең салмактуулук абалын өтүп, өзүнүн баштапкы абалына кайра келет. Маятникти илээшкектүү суюктук куюлган идишке салып, термелүү ошол замат эле таптакыр болбогондугун же тез эле өчө тургандыгын байкайбыз.

#### Суроолор

1. Кандай термелүүнү эркин термелүү деп айтабыз? Текстте айтылбаган эркин термелүүлөргө мисалдар келтиргиле.  
2. Системада кандай шарттарда эркин термелүүлөр пайда болот?

3. Кандай термелүүнү аргасыз термелүү деп айтабыз? Аргасыз термелүүлөргө мисалдар келтиргиле.

#### 4. Термелүү кыймылынын динамикасы

Серпилгич күчүнүн аракети астында термелүүчү телонун кыймылынын теңдемеси. Пружинанын серпилгич күчүнүн аракети

астында телонун термелүү процессин сан жагынан мүнөздөө үчүн Ньютондун механика закондорун пайдаланабыз.

Ньютондун экинчи законуна ылайык телонун  $m$  массасынын  $\vec{a}$  ылдамдануусуна болгон көбөйтүндүсү телого аракет эткен бардык күчтөрдүн  $\vec{F}$  тең аракет этүүчүсүнө барабар:

$$m\vec{a} = \vec{F}. \quad (1.1)$$

Горизонталды бойлото пружинанын  $\vec{F}$  серпилгич күчүнүн таасири астында түз сызыктуу кыймылга келген шариктин кыймылынын теңдемесин жазыбыз (3-сүрөттү кара).  $X$  огу оң жакты көздөй багыттайбыз. Координаталардын эсептөө башталышы тең салмактуулук абалына (3-а, сүрөттү карагыла) туура келсин дейли.

(1.1) теңдемеси  $X$  огуна карата алынган проекциялар аркылуу  $ma_x = F_x$  деп жазылат, мында  $a_x$  жана  $F_x$ — ылдамдануу менен серпилгич күчтүн тиешелүү проекциялары.

Гук законуна ылайык  $F_x$  проекциясы шарчанын тең салмактуу абалынан жылышына түз пропорциялаш. Жылыш шарчанын  $x$  координатасына барабар. Күчтүн проекциясы менен координата карама-каршы белгиде болоорун белгилеп кетели (3-б жана  $b$  сүрөттөрүн карагыла). Демек,

$$F_x = -kx, \quad (1.2)$$

мында  $k$ — пружинанын катуулугу.

Шарчанын кыймылынын теңдемеси төмөнкүдөй жазылат:

$$ma_x = -kx. \quad (1.3)$$

(1.3) теңдемесинин сол жана оң жактарын  $m$  ге бөлүп

$$a_x = -\frac{k}{m} x \quad (1.4)$$

алабыз.

Масса  $m$  жана катуулук  $k$  турактуу чоңдуктар болгондуктан, алардын катышы  $\frac{k}{m}$  да турактуу чоңдук.

Биз серпилгич күчүнүн аракети астында термелүүчү телонун кыймылынын теңдемесин алдык. Ал өтө жөнөкөй: **телонун ылдамдануусунун  $a_x$  проекциясы карама-каршы белги менен алынган анын  $x$  координатасына түз пропорциялаш.**

**Математикалык маятниктин кыймылынын теңдемеси.** Созулбас жипке илинген шариктин термелүүсүндө ал дайыма радиусу жиптин узундугу  $l$  ге барабар болгон айлананын жаасы боюнча кыймылдайт. Ошондуктан шариктин убакыттын ар кандай моментиндеги абалы бир эле чоңдук — жиптин вертикалдан кыйшайган  $\alpha$  бурчу менен аныкталат. Эгерде маятник тең салмактуулук абалынан оң жакты көздөй кыйшайса, анда  $\alpha$  бурчун оң деп, эгерде сол жакты көздөй кыйшайса  $\alpha$  бурчун терс деп алабыз (5-сүрөттү карагыла). Траекторияга жүргүзүлгөн жаныманы



бурчту эсептөөнүн оң жагын көздөй багытталган деп эсептейбиз.

Маятниктин траекториясынын жанымасына түшүрүлгөн оордук күчүнүн проекциясын  $F_T$  менен белгилейбиз. Бул проекция качан маятниктин жиби тең салмактуулук абалынан  $\alpha$  бурчуна кыйшайган моментте төмөнкүчө туюнтулат:

$$F_T = -F \sin \alpha = -mg \sin \alpha. \quad (1.5)$$

$F_T$  менен  $\alpha$  карама-каршы белгиге ээ болушкандыктан бул жерде «—» белгиси турат. Маятник оң жакты көздөй кыйшайганда, ( $\alpha > 0$ ) оордук күчүнүн  $F_T$  түзүүчүсү сол жакты карай багытталган жана анын проекциясы терс:  $F_T < 0$ . Маятник сол жакты көздөй кыйшайганда, ( $\alpha < 0$ ) бул проекция оң:  $F_T > 0$ .

Маятниктин ылдамдануусунун анын траекториясынын жанымасына түшүрүлгөн проекциясын  $a_T$  менен белгилейли. Бул проекция маятниктин ылдамдыгынын модулуна өзгөрүшүнүн тездигин мүнөздөйт.

Ньютондун экинчи законуна ылайык

$$ma_T = F_T \quad (1.6)$$

же

$$ma_T = -mg \sin \alpha.$$

Бул теңдеменин оң жана сол жактарын  $m$ ге бөлүп, төмөнкүнү алабыз:

$$a_T = -g \sin \alpha. \quad (1.7)$$

Ушул кезге чейин маятниктин жибинин вертикалдан кыйшаюу бурчу ар кандай болушу мүмкүн деп божомолдонуп келген. Мындан ары аны кичине деп эсептейбиз. Кичине бурчтар үчүн, эгерде бурчту радиан менен ченесек,

$$\sin \alpha \approx \alpha.$$

Демек

$$a_T = -g\alpha \quad (1.8)$$

деп алууга болот.  $OA$  жаасынын узундугун (5-сүрөттү карагыла)  $s$  аркылуу белгилеп,

$$s = \alpha l$$

деп жазууга болот, мындан

$$\alpha = \frac{s}{l} \quad (1.9)$$

Бул туюнтманы (1.8) барабардыгындагы  $\alpha$  нын ордуна коюп, төмөндөгүнү алабыз:

$$a_T = -\frac{g}{l}s. \quad (1.10)$$

Бул теңдеме пружинага бекитилген шариктин кыймылынын (1.4) теңдемесиндей түргө келет. Мында ылдамдануунун проекциясы  $a_x$  тин ордунда ылдамдануунун проекциясы  $a_T$  жана  $x$  коор-

динатасынын ордуна  $s$  чоңдугу гана турат. Ошону менен бирге пропорциялаштык коэффициентин да пружинанын катуулугунан жана шариктин массасынан эмес, эркин түшүүнүн ылдамдануусу менен жиптин узундугунан көз каранды болуп жатат. Бирок ылдамдануу мурдагыдай эле шариктин тең салмактуулук абалынан болгон жылышуусуна (жаа менен аныкталган) түз пропорциялаш.

Биз жогоруда айтылгандардан: *пружинага бекитилген шарик жана маятник сыяктуу ар түрдүү системалардын термелүүлөрүн мүнөздөөчү кыймылдын теңдемелери бирдей болушат* деген эң сонун корутундуга келдик. Бул, шариктин кыймылы жана маятниктин термелиши бирдей мүнөздө болот дегенди түшүндүрөт.

Пружинага бекитилген шариктин жана маятниктин шаригинин тең салмактуулук абалынан жылышуулары, термелүүнү пайда кылуучу күчтөр өздөрүнүн физикалык жаратылышы боюнча ар башка экендигине карабастан, убакыттын өтүшү менен бир эле закон боюнча өзгөрүшөт. Биринчи учурда бул пружинанын серпилгич күчү, ал эми экинчи учурда — оордук күчүнүн түзүүчүсү.

Кыймылдын теңдемеси (1.4) сырткы көрүнүшү боюнча (1.10) теңдемеси сыяктуу өтө жөнөкөй: *ылдамдануу координатага түз пропорциялаш*. Бирок аны чыгаруу, б. а. термелүүчү телонун мейкиндиктеги абалынын убакыттын өтүшү менен кандайча өзгөрө тургандыгын аныктоо жөнөкөй деп айтууга болбойт.

## 5. Гармоникалык термелүүлөр

Термелүүчү телонун ылдамдануусу жана координатасы өз ара кандай байланышта экендигин билүү менен математикалык анализдин негизинде координатанын убакыттан көз карандылыгын табууга болот.

**Ылдамдануу — координатадан убакыт боюнча алынган экинчи туундусу.** Кирпик каккычактагы ылдамдык координатадан убакыт боюнча алынган туунду экендиги силерге математика курсунан белгилүү. Ылдамдануу — бул ылдамдыктан убакыт боюнча алынган биринчи же координатадан убакыт боюнча алынган экинчи туунду. Ошондуктан (1.4) теңдемесин мындайча жазууга болот.

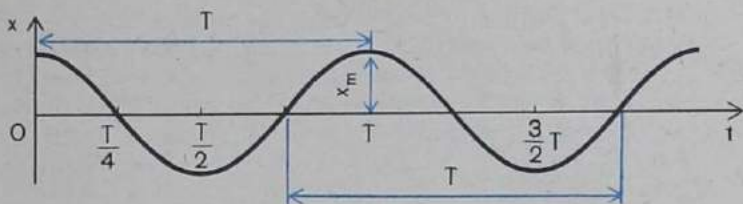
$$x'' = -\frac{k}{m} x, \quad (1.11)$$

мында  $x''$  — координатадан убакыт боюнча алынган экинчи туунду. (1.11) теңдемесине ылайык, эркин термелүүлөрдө  $x$  координатасы убакыттын өтүшү менен, убакыт боюнча алынган координатанын экинчи туундусу анын өзүнө пропорциялаш жана белгиси боюнча ага карама-каршы болгондой болуп өзгөрөт.

<sup>1</sup> Кыскачалатыш үчүн ылдамдануу жана ылдамдык деп жазабыз. Чындыгында бул вектордук чоңдуктардын проекциялары жөнүндө айтылып жатат.



6



**Гармоникалык термелүүлөр.**  $x$  координатасы убакыттан кандайча көз каранды? Убакыттын өтүшү менен ал мезгилдүү өзгөрө тургандыгы анык. Силерге синус жана косинус мезгилдүү функциялары белгилүү. Мисалы, косинус аргументтин нөлдөн баштап чоңоюшунда адегенде жай (6-сүрөт), улам барган сайын нөлгө тез жакындап отурат. Нөлдөн өткөндөн кийин модулу боюнча адегенде тез чоңоюп, андан кийин кайра эң чоң маанисине жеткенге чейин акырындап чоңоёт. Тең салмактуулук абалынан чыгарылган, пружинага бекитилген шариктин координатасынын өзгөрүшү да так ушундай болот. Координата адегенде жай, андан кийин шариктин тең салмактуулук абалына жакындашы менен тез кичиреет. Тең салмактуулук абалын эң чоң ылдамдык менен өтүп, шарик карама-каршы жакка жылат да, анын координатасы шарик токтогонго чейин улам акырындап өзгөрүп отурат.

Мына ошентип, косинус аргументинин чоңоюшунда шариктин координатасы убакыттан кандай көз карандылыкта өзгөрсө, ал да болжол менен ошондой өзгөрөт. Ошону менен бирге, косинус жана синус, эң негизгиси,  $X$  класстын математика курсунан белгилүү болгондой төмөнкү касиетке ээ болушат: ал функциялардын экинчи туундулары карама-каршы белги менен алынган ошол функциялардын өздөрүнө пропорциялаш. Математикалык анализде башка эч бир функция мындай касиетке ээ болбой турганы далилденген. Мына ушулардын бардыгы эркин термелүү жасаган телолордун координатасы убакыттын өтүшү менен синус жана косинус закону боюнча өзгөрөт деп айтууга толук негиз түзөт.

Убакыттан көз каранды болгон физикалык чоңдуктардын синус жана косинус закону боюнча мезгилдүү өзгөрүүсү гармоникалык термелүү деп аталат.

Адегенде координатанын гармоникалык өзгөрүшүн карайбыз. Кийинчерээк башка чоңдуктардын гармоникалык өзгөрүүлөрү менен таанышабыз.

**Термелүү амплитудасы.** Термелүү кыймылынын эң маанилүү мүнөздөмөлөрүнүн бири болуп амплитуда эсептелет.

Гармоникалык термелүүнүн амплитудасы деп, телонун тең салмактуулук абалынан эң чоң жылышуусунун модулуна айтабыз.

Амплитуда убакыттын баштапкы моментинде телону тең салмактуулук абалынан канчалык жылдырганыбызга жана анын

натыйжасында ага кандай ылдамдык берилгендигине жараша ар кандай маанилерге ээ болушу мүмкүн. Амплитуда баштапкы шарттар менен аныкталат. Бирок синустун жана косинустун модулдарынын максималдык маанилери бирге барабар. Ошондуктан (1. 11) теңдемесинин чыгарылышы косинус же синус менен гана туюнтулбайт. Ал  $x_m$  амплитудасынын синуска же косинуска болгон көбөйтүндүсүнүн түрүн алууга тийиш.

**Эркин термелүүнү мүнөздөөчү кыймылдын теңдемесин чыгаруу.** (1. 11) теңдемесинин чыгарылышы кандай формада болушу мүмкүн? Жөн эле  $x = x_m \cos t$  же  $x = x_m \sin t$  деп эсептөөгө болбойт, себеби бул учурда

тин ордуна

$$\begin{aligned}x'' &= -\frac{k}{m} x \\x'' &= -x_m \cos t = -x\end{aligned}$$

барабардыгы болуп калмак.

Бирок теңдеменин чыгарылышынын формасын бир аз татаалдаштыруу биз көздөгөн максатка алып келет.  $x''(t)$  экинчи тундунун туюнтмасында  $\frac{k}{m}$  көбөйтүүчүсү болушу үчүн (1. 11) теңдемесинин чыгарылышын төмөнкү түрдө жазабыз:

$$x = x_m \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t. \quad (1.12)$$

Бул учурда биринчи туунду

$$x' = -\sqrt{\frac{k}{m}} x_m \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$$

түрүнө келет, ал эми экинчи туундусу төмөнкүдөй болот:

$$x'' = -\frac{k}{m} x_m \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t = -\frac{k}{m} x.$$

Биз (1.11) теңдемесинин дал өзүн алдык. Демек, (1.12) функциясы, (1.11) алгачкы теңдеменин чыгарылышы болот. Акырында алгачкы теңдеменин чыгарылышы болуп

$$x = x_m \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$$

функциясы да эсептелет.

Системанын касиетинен көз каранды болучу  $\sqrt{\frac{k}{m}}$  турактуу чоңдугун  $\omega$  аркылуу белгилейли:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (1.13)$$

Анда (1.11) теңдемесинин чыгарылышын жыйнагыраак түрдө төмөнкүчө жазууга болот:

$$x = x_m \cos \omega_0 t. \quad (1.14)$$



(1.11) кыймылдын теңдемесинин өзү

$$x'' = -\omega_0^2 x \quad (1.15)$$

түрүнө келет. Телонун координатасынын убакыттан көз карандылыгынын графиги (1.14) боюнча (6-сүрөттү кара) косинусоиданы берет.

**Гармоникалык термелүүнүн мезгили жана жыштыгы.** Эми  $\omega_0$  чоңдугунун физикалык маанисин айкындайбыз.

Термелүүдө телонун кыймылы толугу менен кайталанат. Телонун кыймылы толугу менен кайталануучу убакыттын эң аз аралыгы  $T$  термелүүнүн мезгили деп аталат.

Мезгилди билүү менен, термелүү жыштыгын, б. а. убакыт бирдигиндеги, мисалы, бир секундадагы термелүүнүн санын аныктоого болот. Эгерде бир термелүү  $T$  убакыт ичинде болсо, анда бир секундадагы термелүү саны  $\nu$  төмөнкүчө аныкталат:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.16)$$

Бирдиктердин эл аралык системасында (СИ) 1 секундада бир термелүү болсо, термелүү жыштыгы бирге барабар. Жыштыкты ченөөнүн бирдиги немец физиги Генрих Герцтин урматына герц (кыскача: Гц) деп аталат.

$T$  мезгилине барабар болгон убакыт аралыгы өткөндөн кийин, б. а. косинустун аргументин  $\omega_0 T$  га чоңойткондо, кыймыл кайталанып, косинус кайра баштапкы маанисин алат. Бирок, косинустун эң кичине мезгили  $2\pi$ ге барабар экендиги математикадан белгилүү. Демек,

$$\omega_0 T = 2\pi,$$

же

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (1.17)$$

Ошентип  $\omega_0$  чоңдугу — телонун бир секундадагы эмес,  $2\pi$  секунддагы термелүүсүнүн саны. Ал *циклдик же айлануу жыштыгы*<sup>1</sup> деп аталат.

Эркин термелүүлөрдүн жыштыктарын *термелүүчү системанын өздүк жыштыктары* деп атайбыз.

Эркин термелүүлөрдүн жыштыгы менен мезгилинин системанын касиетине көз карандылыгы. Пружинага бекитилген телонун термелүүсүнүн өздүк жыштыгы (1.13) боюнча төмөнкүгө барабар:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

<sup>1</sup> Мындан ары дайыма циклдик жыштыкты кыскартып жөн эле жыштык деп айтабыз. Циклдик жыштык  $\omega$  ны жыштык  $\nu$  дан белгилениши боюнча ажыратууга болот.

Пружинанын катуулугу канчалык чоң болсо, ал ошончолук чоң жана телонун массасы канчалык чоң болсо, ошончолук кичине. Анын ошондой болору шексиз: катуу пружина телого чоңураак ылдамдануу берип, анын ылдамдыгын тезирээк өзгөртөт. Ал эми тело канчалык массивдүү болсо, берилген күчтүн аракети менен ал ылдамдыгын ошончолук жай өзгөртөт. Термелүү мезгили төмөнкүгө барабар:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.18)$$

Ар кандай катуулуктагы пружиналардын жана ар түрдүү массадагы телолордун тобун алып, (1.13) жана (1.18) формулалары  $\omega_0$  жана  $T$ нын  $k$  менен  $m$ ден болгон көз карандылыгынын мүнөзүн туура көрсөтө тургандыгына ишенүү кыйын эмес.

Маятниктин термелүүсүн мүнөздөөчү (1.10) теңдемесиндеги  $a$ , ылдамдануу менен  $s$  жылышуунун арасындагы пропорциялаштык коэффициенти да (1.11) теңдемесиндеги сыяктуу эле циклдик жыштыктын квадратын берет. Демек, математикалык маятниктин өздүк жыштыгы, жиптин вертикалдан кичине бурчка кыйшаюусунда, маятниктин узундугуна жана эркин түшүүнүн ылдамдануусуна көз каранды:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1.19)$$

Термелүүнүн мезгили:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.20)$$

Бул формула Ньютондун замандашы голландиялык окумуштуу Гюйгенс тарабынан биринчи жолу алынып, тажрыйба жүзүндө текшерилген.

Термелүү мезгили маятниктин жибинин узарышы менен чоңоёт. Ал маятниктин массасына көз каранды эмес. Муну ар түрдүү маятниктер менен жүргүзүлгөн тажрыйбада оңой эле текшерсе болот. Ошондой эле мезгилдин эркин түшүүнүн ылдамдануусунан көз карандылыгын да байкоого болот.

$g$  канчалык кичине болсо, маятниктин термелүү мезгили ошончолук чоң, демек, маятниктүү сааттар ошончолук жай жүрөт. Мисалы, стерженине жүк илинген түрдөгү маятниктүү саатты Москва университетинин подвалынан анын эң жогорку кабатына (бийиктиги 200 м) көтөрсөк, ал бир суткада дээрлик 3 с га артта калат. Бул жалгыз гана эркин түшүү ылдамдануусунун бийиктик боюнча азайышынын эсебинен болот.

Маятниктин термелүү мезгилинин  $g$ нын маанисинен көз каран-



дылыгы практикада пайдаланылат. Термелүү мезгилин өлчөө менен  $g$  нын маанисин өтө так аныктоого болот. Эркин түшүү ылдамдануусу, силерге VIII класста белгилүү болгондой географиялык кендик боюнча өзгөрөт. Бирок, берилген кендикте да ал бардык орундарда турактуу эмес. Себеби, жер кыртышынын тыгыздыгы бардык орундарда бирдей эмес. Катуу тектер жаткан райондордо  $g$  ылдамдануусу бир кыйла чоң. Муну пайдалуу кен байлыктарды изилдөөдө колдонууга болот.

Мисалы, темир кендери кадимки тектерге караганда чоңураак тыгыздыкка ээ. Академик А. А. Михайловдун жетекчилиги астында жүргүзүлгөн Курскинин жанында эркин түшүү ылдамдануусун өлчөө темир кендери жаткан орундарды тактоого мүмкүндүк берди. Мурда ал магниттик өлчөөлөрдүн жардамы менен табылган болучу.

Пружинага бекитилген телонун термелүү мезгили жана маятниктин термелүү мезгили кыйшаюу бурчу кичине болгондо, термелүү амплитудасынан көз каранды болбосун баса белгилеп кетели. Аны өзүбүзгө төмөнкүдөй көрсөтмөлүү кылып элестетүүгө болот. Амплитуданы эки эсеге чоңойткондо, тең салмактуулук абалын көздөй багытталган күч да эки эсеге чоңоёт. Ылдамдануу эки эсеге чоңоюп, ээ болгон ылдамдыктын мааниси да 2 эсе чоң болот. Натыйжада тең салмактуулук абалына чейинки эки эсе чоң жолду ошол эле убакыттын ичинде, б. а. баштапкы амплитуда менен (эки эсе кичине) болгон термелүүлөрдөгү убакыт ичинде басып өтөт.

Акырында, гармоникалык закон маятниктин кичине бурч менен термелишинде гана аткарыла тургандыгын белгилеп кетели.

## 6. Термелүүнүн фазасы

Биз гармоникалык термелүүлөрдү мүнөздөөчү термелүүнүн амплитудасы  $x_m$ , мезгили  $T$ , термелүү жыштыгы  $\nu$  жана циклдик жыштык  $\omega_0$  сыяктуу негизги чоңдуктар менен таанышканбыз. Дагы бир өтө маанилүү чоңдук — фаза<sup>1</sup> менен таанышып кетүү гана калды.

Гармоникалык термелүүлөрдүн берилген амплитудасында термелүүчү телонун координатасы убакыттын ар кандай моментинде косинустун (же синустун) аргументи  $\varphi = \omega t$  менен бир мааниде аныкталат.

Косинустун же синустун белгиси астында туруучу  $\varphi$  чоңдугун ушул функциялар менен мүнөздөлүүчү термелүүнүн фазасы деп айтабыз. Фаза бурчтук бирдик — радиан менен ченелет.

Фаза координатанын маанисин гана эмес, гармоникалык закон боюнча өзгөрүүчү башка физикалык чоңдуктарды, мисалы, ылдамдыкты жана ылдамданууну да аныктайт. Ошондуктан фаза

<sup>1</sup> Гректин *phasis* — көрүнүш деген сөзүнөн, кандайдыр бир кубулуштун өнүгүү арымын түшүндүрөт.

берилген амплитудада термелүүчү системанын убакыттын ар кандай моментиндеги абалын аныктайт деп айтсак болот. Фаза түшүнүгүнүн мааниси мына ушунда.

Амплитудалары жана жыштыктары бирдей болгон термелүүлөр бири биринен фазалары боюнча айырмаланышы мүмкүн.

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad \text{болгондуктан,}$$

$$\varphi = \omega_0 t = 2\pi \frac{t}{T}. \quad (1.21)$$

$\frac{t}{T}$  катышы термелүү башталган моменттен баштап, мезгилдин кандай бөлүгү өткөндүгүн көрсөтөт. Мезгилдин үлүшү менен туюнтулган убакыттын ар кандай маанисине радиан менен туюнтулган фазанын мааниси туура келет.  $t = T/4$  убакыты (чейрек мезгили) өткөндө  $\varphi = \pi/2$ , жарым мезгил убакыты өткөндө  $\varphi = \pi$ , толук мезгил убакыты өткөндө  $\varphi = 2\pi$  ж. у. с. болот.

Графикте термелүүчү чекиттин координатасынын убакыттан эмес, фазадан болгон көз карандылыгын көрсөтүүгө болот. 7-сүрөттө 6-сүрөттөгү косинусоиданын өзү эле көрсөтүлгөн, бирок горизонталь окто убакыттын ордуна  $\varphi$  фазанын ар кандай маанилери жайгаштырылган.

**Гармоникалык термелүүлөрдү синус же косинустардын жардамы менен туюндуруу.** Силер гармоникалык термелүүлөрдө телонун координатасы убакыт өткөн сайын синус же синус закону боюнча өзгөрө тургандыгын билесиңер. Фаза жөнүндөгү түшүнүк киргизилгенден кийин буга толугураак токтолуп кетүү керек.

Синус косинустан аргументинин чейрек мезгилге, б. а.  $\pi/2$  ге жылышы менен айырмаланат:

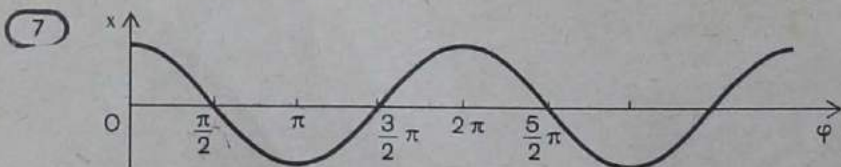
$$\cos\varphi = \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right). \quad (1.22)$$

Ошондуктан,  $x = x_m \cos\omega_0 t$  формуласынын ордуна гармоникалык термелүүлөрдү мүнөздөө үчүн

$$x = x_m \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.23)$$

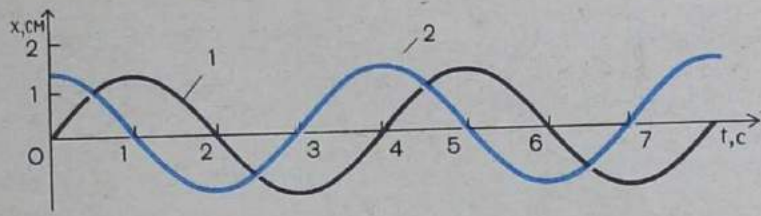
формуласын пайдаланууга болот. Бирок бул учурда баштапкы фаза, б. а.  $t=0$  моментиндеги фазанын мааниси нөлгө эмес,  $\pi/2$  ге барабар.

Адатта пружинага бекитилген телону (же маятникти) термелүүгө келтирүү үчүн тең салмактуулук абалынан чыгарып,





8



анан коё беребиз. Баштапкы моментте тең салмактуулук абалдан жылышуу эң чоң. Ошондуктан термелүүнү туюнтуу үчүн косинус колдонулган (1.14) формуласын пайдалануу синусту пайдаланган (1.23) формуласына караганда ыңгайлуу.

Эгерде тынч турган телону тез козгоо менен термелүүгө келтирген болсок, анда башкача болор эле. Анда координата баштапкы моментте нөлгө барабар болуп, синус катышкан

$$x = x_m \sin \omega t \quad (1.24)$$

формуласын колдонуу ыңгайлуу болмок, себеби бул учурда баштапкы фаза нөлгө барабар.

**Фазанын жылышы.** (1.23) жана (1.24) формулалары менен мүнөздөлүүчү термелүүлөр бири биринен фазалары боюнча гана айырмаланышат. Бул термелүүлөрдүн фазаларынын айырмасы же көбүрөөк айтылып жүргөндөй фазаларынын жылышы  $\pi/2$ ни түзөт. 8-сүрөттө фазалары боюнча  $\pi/2$ ге жылышкан эки гармоникалык термелүүнүн координаталарынын убакыттан көз карандылыгынын графиктери көрсөтүлгөн. 1 графиги синусоида закону

$$x = x_m \sin \omega t,$$

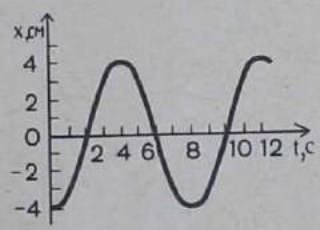
ал эми 2 графиги косинусоида закону

$$x = x_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = x_m \cos \omega t$$

боюнча болгон термелүүлөргө дал келет.

Эки термелүүнүн фазаларынын айырмасын аныктоо үчүн термелүүчү чоңдуктарды эки учурда тең бир эле тригонометриялык функция — косинус же синус менен туюндуруу керек.

9



**Суроолор**

1. Кандай термелүүлөрдү гармоникалык термелүүлөр дейбиз?

2. Гармоникалык термелүүлөрдө ылдамдануу жана координата кандай байланышкан?

3. Циклдик жыштык менен мезгил кандай байланышкан?
4. Эмне үчүн пружинага илинген телонун термелүү жыштыгы анын массасынан көз каранды, ал эми математикалык маятниктин термелүү жыштыгы массадан көз каранды эмес?
5. Сантиметр менен өлчөнгөн телонун координатасы убакыттын өтүшү менен

төмөнкүчө өзгөрөт:  $x = 3,5 \cos 4\pi t$ . Термелүүнүн амплитудасы жана циклдик жыштыгы эмнеге барабар? Термелүү башталып, 5 с өткөндөн кийин фаза эмнеге барабар?

6. Графиктери 8-жана 9-сүрөттөрдө көрсөтүлгөн үч ар түрдүү гармоникалык термелүүлөрдүн амплитудалары жана мезгилдери кандай?

## 7. Гармоникалык термелүүлөрдөгү энергиянын айланышы

**Сүрүлүү болбогон системадагы энергиянын айланышы.** Пружинага бекитилген шарикти (3-сүрөттү карагыла) оң жакты көздөй  $x_m$  аралыгына жылдыруу менен биз термелүүчү системага потенциалдык энергиянын төмөнкүдөй запасын беребиз:

$$W_{pm} = \frac{kx_m^2}{2}$$

Шарик сол жакты көздөй кыймылга келгенде пружинанын деформацияланышы азайып, потенциалдык энергия кичиреет. Бирок бир эле убакта ылдамдык өскөндүктөн кинетикалык энергия чоңоёт. Шарик тең салмактуулук абалынан өтүү моментинде потенциалдык энергия минимумга жетет. Ал эми кинетикалык энергия болсо максимумга жетет.

Тең салмактуулук абалынан өткөндөн кийин ылдамдык кичирее баштайт. Демек, кинетикалык энергия азаят. Потенциалдык энергия кайрадан өсөт. Сол жаккы эң четки чекитте ал максимумга жетип, ал эми кинетикалык энергия нөлгө барабар болуп калат. Ошентип, термелүүдө мезгил-мезгили менен потенциалдык энергия кинетикалык энергияга жана тескерисинче өтүп турушат. Ушунун өзүн эле маятниктин термелүүсүндө байкоого болот.

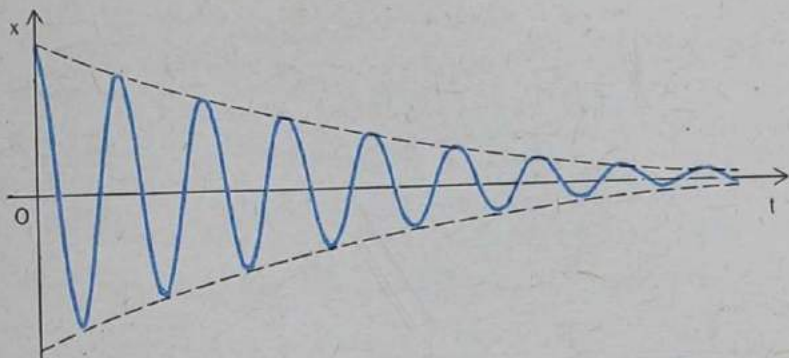
Пружинага бекитилген телонун термелишиндеги толук механикалык энергия кинетикалык жана потенциалдык энергиялардын суммасына барабар:

$$W = W_k + W_p = \frac{mv_x^2}{2} + \frac{kx^2}{2} \quad (1.25)$$

Кинетикалык жана потенциалдык энергиялар мезгил-мезгили менен өзгөрүп турушат. Бирок энергиянын сакталуу закону боюнча каршылык күчү болбогон туюк системада толук механикалык энергия өзгөрүүсүз калат. Ал тең салмактуулук абалдан максималдуу четтеген кездеги потенциалдык энергияга, же тело тең салмактуулук абалынан өтүп бараткандагы кинетикалык энергияга барабар:

$$W = \frac{kx_m^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2} \quad (1.26)$$





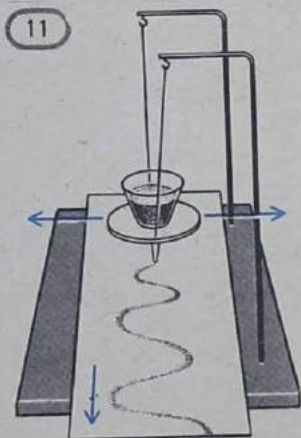
Ошентип термелүүчү телонун энергиясы координатанын термелүү амплитудасынын квадратына же ылдамдыктын термелүү амплитудасынын квадратына түз пропорциялаш болот.

└ **Өчүүчү термелүүлөр.** Пружинага бекитилген жүктүн же маятниктин эркин термелүүлөрү сүрүлүү жок болгондо гана гармоникалык термелүү болуп эсептелишет. Бирок сүрүлүү күчү, же тагыраак айтканда каршылык күчү аз болсо да, термелүүчү телого ар дайым аракет кылып турат.

Каршылык күчү терс жумуш аткаргандыктан, ал системанын механикалык энергиясын азайтат. Ошондуктан, убакыт өткөн сайын телонун тең салмактуулук абалынан максималдуу четтөөсү бара-бара азайып отурат. Эң акырында, качан системада механикалык энергиянын запасы түгөнгөндө, термелүү таптакыр токтоп калат. Каршылык күчү бар учурдагы термелүү *өчүүчү термелүү* болуп эсептелет.

Өчүүчү термелүүдө телонун координатасынын убакыттан көз карандылыгынын графиги 10-сүрөттө көрсөтүлгөн. Мындай графикти термелүүчү нерсенин, мисалы, маятниктин өзү сызуусуна жетишүүгө болот.

11-сүрөттө куму бар маятник көрсөтүлгөн. Маятник анын алдында бир калыпта кыймылга келтирилген картондун бетине кумду чубуртуп, координатанын убакыттан көз карандылыгынын графигин чизет. Термелүүнү «убакыт боюнча созуу» деп аталган бул метод термелүү процесси жөнүндө толук элести бере алат. Каршылык аз болгондо термелүүнүн басандашы бир нече мезгил бою байкалбай кала берет. Эгерде каршылык күчүн чоңойтуу үчүн жүк илинген жипке тыгыз кагазды байлап термелүүгө келтирсек, анда өчүү бир кыйла ачык байкалат.



Тегиз эмес жолдордо жүргөндө рессорго орнотулган кузовдун термелүүсүн өчүрүү үчүн автомобилдерде атайын амортизаторлор пайдаланылат. Кузовдун термелишинде аны менен байланышкан поршень суюктук куюлган цилиндрдин ичинде кыймылга келет. Суюктук поршендеги атайын көзөнөкчө аркылуу агып өтөт, ал болсо чоң каршылык күчүнүн пайда болушуна жана термелүүнүн тез өчүшүнө алып келет.

## 8. Аргасыз термелүүлөр. Резонанс

Эркин термелүүлөр дайыма аздыр-көптүр убакыт өткөндөн кийин өчөт.

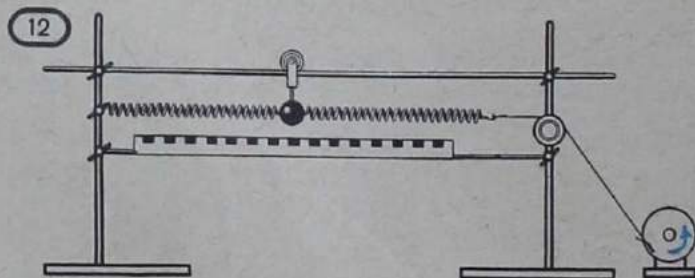
Ошол себептен алар практикада дээрлик пайдаланылбайт. Каалаганчалык узак убакытка созулуучу өчпөөчү термелүүлөр өзгөчө чоң мааниге ээ.

Өчпөөчү термелүүнү пайда кылуунун эң жөнөкөй жолу болуп системага сырттан мезгилдүү күч менен аракет кылуу болуп эсептелет. Мындай термелүүлөр *аргасыз термелүүлөр* деп аталат (§ 1 ты карагыла).

Системага жумшалган бул күчтүн жумушу системага сырттан келүүчү энергияны камсыз кылат. Энергиянын берилиши, сүрүлүү күчү аракет кылса да, термелүүнүн өчүшүнө жол бербейт.

Эркин термелүүнү жасоого жөндөмдүү системадагы аргасыз термелүүлөр өтө кызыктуу. Мындай учур менен ким селкинчекте баланы термелткен болсо, тааныш.

Селкинчек — бул маятник, б. а. белгилүү өздүк жыштыкка ээ болгон система. Убакыт боюнча турактуу күчтүн жардамы менен селкинчекти тең салмактуулук абалынан чоң бурчка кыйшайтууга болбойт. Эгерде селкинчекти ар тарапка башаламан түртө берсе, анда аны чоң киши да термелте албайт. Бирок селкинчек тушубузга келген сайын, биз аны илгери карай түртүп, туура ритм менен иштей баштасак, анда анчалык чоң эмес аракетиниз да селкинчекти өтө чоң күү менен термелтет. Ырас, бул үчүн кандайдыр бир убакыт талап кылынат. Ар бир түртүү, өзүнчө караганда анчалык деле чоң эмес болушу мүмкүн. Биринчи түртүүдөн кийин селкин-





чек бир аз эле термелүү жасайт. Бирок, эгерде бул термелүү менен сырткы түртүүлөрдүн темптери бирдей болсо, анда экинчи түртүү так ушул учурга туш келип, биринчи аракетти бир кыйла күчөтөт. Үчүнчү түртүү термелүүнү андан да көбүрөөк күчөтөт ж. у. с. Ар бир түртүүлөрдүн аракеттери чогулуп, натыйжада селкинчектин термелүү амплитудасы чоңоёт. Бирок түртүүлөр биринин артынан бири иретсиз уланса, анда биринин аракетин кийинкиси жоюп, байкаларлык эффект болбой калат.

Мына ошол мүмкүнчүлүк, б. а. сырткы күчтүн жыштыгы термелүүчү системанын өздүк жыштыгы менен дал келгенде, эркин термелүү жасоого жөндөмдүү болгон ар кандай системалардын термелүү амплитудаларынын кескин чоңоюу мүмкүндүгү өтө чоң мааниге ээ.

### **Пружинага бекитилген шариктин аргасыз термелүүсү.**

Өздүк термелүү жыштыгына ээ болгон системадагы аргасыз термелүүнү карап көрөлү. Маятниктин ордуна пружинага бекитилген шарикти алуу ыңгайлуу. Бирок эми пружиналардын биринин учу блокко арта салынып коюлган жипке бекитилген болсун дейли (12-сүрөт). Жиптин экинчи учу дискадагы стерженче менен туташтырылган. Эгерде дисканы электр кыймылдаткычынын жардамы менен айландыра баштасак, анда шарикке мезгилдүү сырткы күч аракет эте баштайт.

Шарик акырындык менен күүлөнө баштайт. Анын термелүү амплитудасы чоңоюп отурат. Кандайдыр убакыт өткөндөн кийин термелүү *калыптанган* мүнөзгө өтөт; алардын амплитудасы убакыт өткөн сайын өзгөрбөй калат. Силер кунт коюп байкасаңар, шариктин термелүү жыштыгы пружинанын учунун термелүү жыштыгына, б. а. сырткы күчтүн өзгөрүү жыштыгына барабар экендигин көрсүнөр. (Бул жыштык дисканын бир секундадагы айлануу санына барабар.)

Калыптанган аргасыз термелүү кезинде термелүү жыштыгы ар дайым сырткы күчтүн жыштыгына барабар.

**Резонанс.** 12-сүрөттө көрсөтүлгөн түзүлүштү пайдаланып, калыптанган аргасыз термелүүнүн амплитудасы сырткы күчтүн жыштыгынан кандайча көз каранды болорун текшерип көрөлү. Сырткы күчтүн жыштыгын бир калыпта чоңойтуу менен термелүү амплитудасынын чоңоюшун байкайбыз. Качан сырткы күч шариктин эркин термелүүсү менен бир тактта болгондо амплитуда эң чоң маанисине жетет.

Жыштыкты андан ары чоңойтууда калыптанган термелүүнүн амплитудасы дагы кичиреет. Термелүү амплитудасынын жыштыктан көз карандылыгы 13-сүрөттө берилген. Сырткы күчтүн жыштыгы өтө чоң болгондо ал нөлгө умтулат, себеби тело өзүнүн инерттүүлүгүнүн натыйжасында аз убакыт ичинде байкалаарлык которула албай, «бир орунда титиреп» калат.

<sup>1</sup> Системанын  $\omega$  өздүк термелүү жыштыгынан айырмалап, аргасыз термелүүнүн жыштыгын  $\omega$  тамгасы менен белгилейбиз.

Системага аракет кылган сырткы күчтүн өзгөрүү жыштыгы эркин термелүү жыштыгы менен дал келген учурда аргасыз термелүүнүн амплитудасынын кескин чоңоюшу *резонанс*<sup>1</sup> деп аталат (латындын *resonans* — үндөшүү деген сөзүнөн алынган).

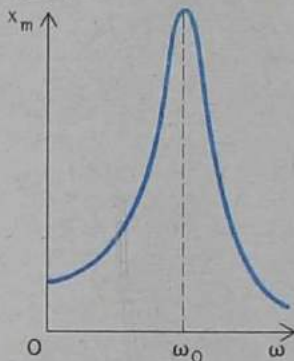
Эмне үчүн резонанс пайда болот? Бул кубулушту анын энергетикалык жагына ой жүгүртүүлөрдүн негизинде оңой түшүндүрүүгө болот.

Резонанс учурунда аргасыз термелүүнүн амплитудасынын эң чоң болушу, мезгилдүү сырткы күчтүн булагынан системага энергия көбүрөөк ыңгайлуу шартта берилиши менен түшүндүрүлөт. Сырткы күч резонанс учурунда эркин термелүү менен бир тактта аракет кылат. Мезгилдин бардык аралыгында анын багыты термелүүчү телонун ылдамдыгынын багыты менен дал келет. Ошондуктан мезгилдин бардык аралыгында бул күч оң гана жумуш аткарат. Калыптанган термелүүдө сырткы күчтүн оң жумушу модулу боюнча каршылык күчүнүн терс жумушуна барабар.

Эгерде сырткы күчтүн жыштыгы системанын термелүүсүнүн өздүк жыштыгы  $\omega_0$ го барабар эмес болсо анда сырткы күч мезгилдин кандайдыр бир бөлүгүндө гана оң жумуш аткарат. Мезгилдин башка бөлүгүндө күчтүн багыты ылдамдыктын багытына карама-каршы, демек, сырткы күчтүн жумушу терс болот. Жалпысынан, бул мезгил ичиндеги сырткы күчтүн жумушу чоң эмес, ага жараша калыптанган термелүүлөрдүн амплитудасы да чоң эмес. Системадагы сүрүлүү резонанска олуттуу таасир этет. Резонанс учурунда сырткы күчтөрдүн оң жумушу толук бойдон каршылык күчүнүн терс жумушунун эсебинен энергиянын сарпталышын толуктоого жумшалат. Ошондуктан сүрүлүү коэффициенттери канчалык кичине болсо, калыптанган термелүүлөрдүн амплитудасы ошончолук чоң болот.

Термелүүлөрдүн амплитудасынын өзгөрүшүнүн сүрүлүү коэффициенттери ар башка жана сырткы күчтөрдүн амплитудалары бирдей болгон учурдагы жыштыктан көз карандылыгы 14-сүрөттө көрсөтүлгөн. 1 ийри сызыгына эң аз сүрүлүү, ал эми 3 ийри сызыгына эң чоң сүрүлүү туура келет. Бул сүрөттөн системада сүрүлүү канчалык аз болсо, резонанс учурундагы аргасыз термелүүнүн амплитудасынын чоңоюшу ошончолук даана болору көрүнүп турат.

Сүрүлүү аз болгондо резонанс «курч», ал эми чоң болгондо



<sup>1</sup> Чындыгында сүрүлүүнүн таасиринен сырткы күчтүн жыштыгы термелүүчү системанын өздүк жыштыгынан бир аз гана айырмаланганда эле резонанс башталат.

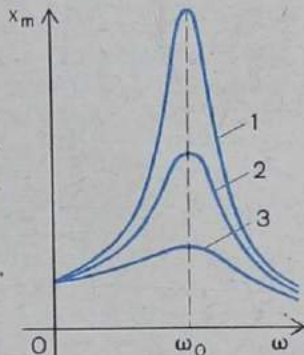


«мокок» болот. Эгерде термелүү жыштыгы резонанстык жыштыктан көп айырмаланса, анда термелүү амплитудасы кичине жана системадагы каршылык күчүнөн дээрлик көз каранды болбойт.

Сүрүлүүсү аз болгон системада резонанс учурундагы термелүүнүн амплитудасы сырткы күч кичине болгондо да өтө чоң болушу мүмкүн. Бирок чоң амплитуда сырткы күч аракет кылгандан бир топ убакыт өткөндөн кийин гана калыптанат. Энергиянын сакталуу закону боюнча системага термелүүнүн чоң амплитудасын берүү, демек, анчалык чоң эмес сырткы күчтүн аракети менен чоң энергияны берүү узак убакыт ичинде гана берилиши мүмкүн. Эгерде сүрүлүү чоң болсо, анда термелүүнүн амплитудасы анчалык чоң болбойт жана термелүүнүн калыптанышы үчүн көп убакыт талап кылынбайт.

Системада эркин термелүүнүн өчүшү кичине болсо, резонанс жөнүндө сөз кылуунун мааниси бар. Болбосо,  $\omega = \omega_0$  болгондо аргасыз термелүүнүн амплитудасы жыштыктын калган маанилериндеги термелүүнүн амплитудасынан аз эле айырмаланып калат.

14



## 9. Резонанстын колдонулушу жана аны менен күрөшүү

Эгерде кандайдыр бир термелүүчү система мезгилдүү сырткы күчтүн аракети астында болсо, анда резонанс жана аны менен байланышкан термелүү амплитудасынын кескин чоңоюшу башталышы мүмкүн.

Серпилчтүү телонун бардыгы, мейли көпүрө, машинанын станинасы, анын валы, кеменин корпусу термелүүчү система катары эсептелет жана термелүүнүн өздүк жыштыгы менен мүнөздөлүшөт. Кыймылдаткычтардын иштешинде, анын бөлүктөрүнүн кыймылы менен (мисалы, поршендин) же кыймылдаткычтын айлануучу тетиктеринин жетишээрлик так эмес борборлоштурулушу менен (мисалы, валдын) байланышкан мезгилдүү аракеттердин пайда болушу кезикпей койбойт. Эгерде мезгил-мезгили менен болгон бул аракеттердин жыштыгы эркин термелүүнүн жыштыгына туура келсе, анда резонанс пайда болот. Материалдагы чыңалуу анын статикалык нагрузкага ээ болгон кезиндеги бышыктык чегинен ашпаса да, термелүү ушунчалык чоңоюп, машинанын талкаланышына алып келиши мүмкүн. Себеби, темир, болот жана башка материалдар өзгөрмөлүү нагрузкада бышыктыгын аздыр-көптүр тез жоготушат, андан кийин кокусунан талкаланышы да мүмкүн.

Мындай учурлардын бардыгында резонанстын болушуна мүмкүндүк бербөөгө же анын аракетин начарлатууга багытталган



атайын чаралар көрүлөт. Ал үчүн системада сүрүлүүнү көбөйтүшөт же термелүүнүн өздүк жыштыгын сырткы күчтүн жыштыгы менен дал келтирбөөгө жетишишет. Титирөөнү (вибрацияны) азайтуу үчүн океанда сүзүүчү лайнерлерди кайра курууга туура келген учурлар да белгилүү.

Көпүрөлөрдөн өтүү учурунда аскерлерге бутту иреттүү алып басууга тыюу салынат. Себеби, бирдей кадам шилтөөлөр көпүрөгө мезгилдүү аракет жасайт. Эгерде кокусунан ушул аракеттин жыштыгы көпүрөнүн термелүүсүнүн өздүк жыштыгы

менен дал келип калса, анда көпүрө кыйрап кетиши мүмкүн.

Биз резонанстын зыяндуу аракеттерине мисалдар келтирдик. Бирок анын пайдалуу жактары да бар.

Резонанс кубулушуна *частотомер* — өзгөрмө токтун жыштыгын өлчөөчү прибор негизделген. Ал прибор серпилгичтүү пластиналардын тобунан турат. Пластиналар жалпы планкага бекитилген (15-сүрөт). Ар бир пластина анын серпилгичтүү касиетинен, узундугунан жана массасынан көз каранды болгон термелүүнүн белгилүү өздүк жыштыгына ээ.

Пластиналардын термелүүсүнүн өздүк жыштыктары белгилүү. Электромагниттин аракетин астында планка, ал эми аны менен бирге бардык пластиналар аргасыз термелүү жасашат. Бирок пластиналардын ичинен термелүүнүн өздүк жыштыгы планканын термелүү жыштыгына дал келген пластина гана чоң термелүү амплитудасына ээ болот.

Бул болсо, өзгөрмө токтун жыштыгын аныктоого мүмкүндүк берет.

Резонанстын мындан башка бир кыйла маанилүү колдонулуштары менен кийинчерээк таанышабыз.

\* \* \*

Ушуну менен механикалык термелүүлөрдү кароону аяктайбыз. Бардык термелүүлөрдү механикалык кыймылдын башка түрлөрүнөн ажыратып турган мүнөздүү бир жалпы белгисине көңүл буруу керек.

Эреже катары, телолордун механикалык кыймылын (мисалы, космос кемелери же бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчүнүн аракетиндеги планеталарды) кароодо, маселе убакыттын ар кандай моментиндеги телонун абалын жана анын ылдамдыгын табууда турат. Бирок *мезгилдүү термелүү процесстерин үйрөнүүдө башкы көңүл, термелүүчү телонун убакыттын ар кандай моментиндеги абалына жана ылдамдыгына бурулбастан, кыймылдын кайталануучулугу менен мүнөздөлүүчү жалпы белгилерге бурулат*. Амплитуданы, термелүү мезгилин, б. а. процессти бүт бойдон мүнөздөөчү



чондуктарды билүү маанилүү. Аргасыз термелүүлөрдө аргасыз кылуучу күчтүн жыштыгы менен эркин термелүү жыштыгынын катышын билүү зарыл. Анткени ушул катыш процесстердин өтүшүнүн мүнөзүн аныктайт.

### Суроолор

1. Бирдей узундуктагы эки жипке радиустары барабар болгон эки шарик илинген. Алардын массалары ар түрдүү. Бул эки маятниктин кайсынысынын термелүүсү мурда токтойт: оорунукубу же жеңилиникиби?

2. Силердин резонанс кубулушун үйдө же көчөдө байкаган учурунар болду беле?

3. Метронун вестибулундагы ачык каалганы токтотуп туруу үчүн (каалга

эки жакка ачылат да, кайра пружинанын жардамы менен тең салмактуулук абалына келет), анын туткасына 50 Н чамасындагы күчтү жумшоо керек. Ошол эле туткага 0,005 Н күчтү жумшап каалганы ачууга мүмкүнбү? Каалганын илмектериндеги сүрүлүүнү эске албагыла.

4. Кандай шартта термелүүчү системанын резонанстык касиети даана байкалат?

### Маселе чыгаруунун мисалдары

1. Жибинин узундугу  $l=4,9$  м болгон математикалык маятник  $t=5$  мин ичинде канча термелүү жасайт?

Чыгарылышы. Термелүү мезгили

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

формуласы боюнча аныкталат.

Изделип жаткан термелүү саны төмөнкүчө табылат:

$$n=\frac{t}{T}=\frac{t}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}\approx 68.$$

2. Вертикаль илинген пружина ага илинген жүктөн  $\Delta l=0,8$  см ге созулат. Жүктүн эркин термелүү мезгили  $T$  эмнеге барабар? Пружинанын массасын эсепке албагыла.

Чыгарылышы. Пружинага бекитилген жүктүн термелүү мезгили

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

формуласы менен аныкталат, мында  $m$  жүктүн массасы,  $k$ — пружинанын катуулугу. Жүккө  $\vec{F}$  оордук күчү,  $\vec{F}_y$  серпилгич күчү аракет этет. Жүк тең салмактуулук абалында турганда бул күчтөр модулдары боюнча барабар:

$$F=F_y.$$

$F=mg$  жана  $F_y=k\Delta l$  (Гук закону боюнча) болгондуктан  $mg=k\Delta l$  болот. Мындан

$$\frac{m}{k}=\frac{\Delta l}{g}$$

Демек,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta l}{g}} \approx 0,2 \text{ с.}$$

3. Пружинага бекитилген жүк горизонталь стерженге жайгаштырылган (3-сүрөттү карагыла). Пружинанын экинчи учу кыймылсыз карматылган. Убакыттын кандайдыр баштапкы моментинде жүк тең салмактуулук абалынан  $x_m = 10$  см аралыкка жылдырылып коё берилет. Көрсөтүлгөн баштапкы моменттен термелүүнүн  $1/8$  мезгили өткөндөн кийинки жүктүн координатасын аныктагыла.

Чыгарылышы. Жүктүн координатасынын убакыттан көз карандылыгы төмөнкүдөй туюнтулат:

$$x = x_m \cos \omega t.$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \text{ жана } t = \frac{T}{8} \text{ болгондуктан}$$

$$x = x_m \cos \left( \frac{2\pi}{T} \frac{T}{8} \right) = x_m \cos \frac{\pi}{4} \approx 0,071 \text{ м.}$$

4. Массасы  $m = 200$  г, ал эми туурасынан кесилиш аянты  $S = 50$  см<sup>2</sup> болгон бөтөлкө, суунун бетинде вертикаль абалда сүзүп жүрөт. Бөтөлкөнүн термелүү мезгилин аныктагыла.

Чыгарылышы. Бөтөлкө суунун бетинде эркин сүзүү абалында болгондо, ага аракет этүүчү оордук күчү менен архимед күчү өз ара теңдешет, б. а. алардын тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар. Бирок, бөтөлкөнү тең салмактуулук абалынан  $x$  аралыгына жылдырсак, анда тең аракет этүүчү күч нөлгө барабар болбой калат.

Анын тик өйдө багытталган  $X$  огуна түшүрүлгөн проекциясы

$$F_x = -\rho g S x$$

формуласы менен туюнтулат, мында  $\rho$ —суунун тыгыздыгы. «Минус» белгиси тең аракет этүүчү күчтүн багыты бөтөлкөнүн жылышуу багытына карама-каршы багытталгандыгын көрсөтөт. Ньютондун экинчи законунан ылайык

$$a_x = \frac{F_x}{m}$$

Демек,

$$a_x = -\frac{\rho g S}{m} x.$$

Бул теңдеме

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\rho g S}{m}}$$



циклдик жыштыгы менен болуучу гармоникалык термелүүнү туюндурат. Бөтөлкөнүн гармоникалык термелүүсүнүн  $T$  мезгили төмөнкүчө табылат:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\rho g S}} \approx 0,4 \text{ с.}$$

5. Пружинага бекитилген жүк горизонталь жылмакай стерженде (3-сүрөттү карагыла) термелүү жасайт. Жүк четки абалдар менен тең салмактуулук абалынын ортосунда жаткан чекиттен орун алган моменттеги анын кинетикалык энергиясынын системанын потенциалдык энергиясына болгон катышын аныктагыла.

Чыгарылышы. Аталган чекиттин координатасы термелүүнүн амплитудасынын жарымына барабар:  $x = \frac{x_m}{2}$ . Бул чекит аркылуу өтүү учурунда системанын

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_m^2}{8}$$

потенциалдык энергиясы болот. Бирок энергиянын сакталуу законуна ылайык убакыттын каалаган учурунда

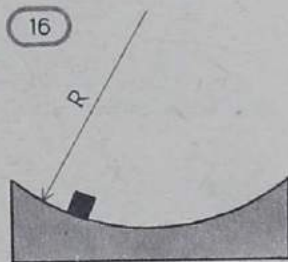
$$W_k + W_p = \frac{kx_m^2}{2}$$

барабардыгы орун алат. Ошондуктан жүктүн кинетикалык энергиясы аталган чекитти өтүү учурунда

$$W_k = \frac{kx_m^2}{2} - W_p = \frac{kx_m^2}{2} - \frac{kx_m^2}{8} = \frac{3}{8} kx_m^2.$$

менең аныкталат. Демек,

$$\frac{W_k}{W_p} = 3.$$



### 1-көнүгүү

1. Массасы 100 г болгон жүк пружинанын аракетин астында жыштыгы 2 Гц термелүү жасайт. Пружинанын катуулугун тапкыла.
2. Ленинграддагы Исаакиев соборундагы Фуко маятникнин узундугу 98 м. Маятниктин термелүү мезгили эмнеге барабар?
3. Маятниктердин бирөө  $n_1 = 10$  термелүү жасайт. Экинчиси ушул эле убакытта  $n_2 = 6$  термелүү жасайт. Маятниктердин узундуктарынын айырмасы

$\Delta l = 16$  см. Маятниктердин узундуктарынын табыла.

4. Жерден Айга алып барганда маятниктин термелүү мезгили кандай өзгөрөт? Айдын массасы Жердин массасынан 81 эсе кичине, ал эми Жердин радиусу Айдын радиусунан 3,7 эсе чоң.
5. Узун жипке илинген шарик тең салмактуулук абалынан кичине бурчка кыйшайтылып, коё берилди. Экинчи шарик илинген чекиттен баштапкы ылдамдыксыз эркин түшөт. Эгерде экөө тең

кыймылды бир убакта баштаса, шариктердин кайсынысы биринчи шариктин тең салмактуулук абалына мурда жетет?

6. Пружинага бекитилген шарикти тең салмактуулук абалынан 1 см жылдырып, коё бердик. Эгерде анын термелүү жыштыгы  $\nu=5$  Гц болсо, 2 с ичинде кандай жолду өтөт? Термелүүнүн басаңдашын эске албагыла.

7. Массасы 200 г тело, катуулуугу 16 Н/м болгон пружинанын аракетин астында горизонталь тегиздикте 2 см лик амплитуда менен термелүү жасайт. Телонун термелүүсүнүн циклдик жыш-

тыгын жана системанын энергиясын аныктагыла.

8. Сфералык идиштин түбү боюнча кичинекей кубик сүрүлүүсүз эркин термелүү жасайт (16-сүрөт). Эгерде идиштин ийрилик радиусу  $R$  болсо, анын термелүү мезгили кандай?

9. Дөнсөөлөрдүн аралыгы болжол менен 8 м болгон тегиз эмес жол боюнча автомобиль бара жатат. Автомобилдин рессордогу эркин термелүүсүнүн мезгили 1,5 с. Автомобилдин кандай ылдамдыгында анын вертикаль тегиздиктеги термелүүсү өзгөчө билинет?

## 1-главанын кыскача жыйынтыктары

Жаратылышы ар башка термелүүлөр (механикалык, электрдик ж. б.) бирдей сандык закондор менен туюнтулат. Термелүүлөрдү эркин жана аргасыз термелүүлөр деп айырмалайбыз.

Эркин термелүүлөр системада, ал система тең салмактуулук абалынан чыгарылгандан кийин, ички күчтөрдүн таасири астында пайда болот. Механикалык эркин термелүүнү, мисалы, пружинага бекитилген жүк жана маятник жасашы мүмкүн. Убакыттын өтүшү менен эркин термелүү сүрүлүүнүн натыйжасында өчөт.

Аргасыз термелүү системага мезгилдүү сырткы күч аракет кылганда пайда болот. Бул термелүүлөр аракет кылган күч токтомоюнча өчпөй улана берет. Аргасыз термелүүнүн мисалы болуп, мезгили менен түртүүнүн натыйжасында селкинчектин термелиши эсептелет.

Пружинага бекитилген жүктүн эркин термелүүсү Ньютондун экинчи закону менен туюнтулат; берилген учурда бул закон төмөнкү түрдө болот:

$$x' = -\omega_0^2 x,$$

мында  $x$ — жүктүн тең салмактуулук абалынан жылышуусу,  $x''$  — жүктүн ылдамдануусу, ал эми  $\omega_0^2$ — системанын касиетинен көз каранды болгон турактуулук. Математикалык маятниктин термелүүсү ушундай эле теңдемени (ылдамдануунун жана жылышуунун башкача белгилениши менен) туюндурат.

Эркин термелүүнү мүнөздөөчү теңдеменин чыгарылышы косинус аркылуу төмөнкүдөй туюнтулат:

$$x = x_m \cos \omega_0 t$$

же синус аркылуу да туюнтулат.

Косинус (синус) закону боюнча болуучу термелүүлөр гармоникалык термелүүлөр деп аталат.

Тең салмактуулук абалынан четтегендеги  $x_m$  максималдык жылышуусунун модулу термелүүнүн амплитудасы деп аталат.



$\omega_0$  чоңдугу термелүүнүн циклдик жыштыгы деп аталат жана термелүү саны  $\nu$  аркылуу төмөнкүчө туюнтулат:

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

Телонун кыймылы толугу менен кайталануучу убакыттын аралыгы термелүүнүн мезгили деп аталат. Мезгилди циклдик жыштык аркылуу төмөнкүчө туюндурууга болот:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Косинустун же синустун белгиси астындагы чоңдук термелүүнүн фазасы деп аталат. Фаза убакыттын каалаган учурунда термелүүнүн берилген амплитудасында термелип жаткан телонун абалын аныктайт.

Пружинага бекитилген жүктүн өздүк циклдик термелүү жыштыгы ал телонун  $m$  массасынан жана пружинанын  $k$  катуулугунан көз каранды:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Математикалык маятниктин термелүүсүнүн өздүк жыштыгы төмөнкү формула менен аныкталат:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}},$$

мында  $g$  — эркин түшүү ылдамдануусу, ал эми  $l$  — маятниктин узундугу. Гармоникалык термелүүнүн жыштыгы (жана мезгили) алардын амплитудасынан көз каранды эмес.

Сүрүлүү күчү болбосо, термелип жаткан телонун энергиясы өзгөрбөстөн калат:

$$W = \frac{mv_z^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2}.$$

Эркин термелүү болуучу системага мезгилдүү күч аракет кылган учурдагы аргасыз термелүү гана өзгөчө маанилүү болуп эсептелет. Бул учурда резонанс: сырткы күчтүн өзгөрүшүнүн жыштыгы термелүүчү системанын өздүк жыштыгы менен дал келгенде аргасыз термелүүнүн амплитудасынын кескин чоңоюшу байкалат. Резонанс сүрүлүүсү аз системаларда гана ачык байкалат.

## Электрдик термелүүлөр

## 10. Эркин жана аргасыз электрдик термелүүлөр

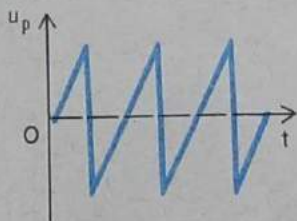
Электрдик термелүүлөр чындыгында кокусунан ачылган. Лейден банкасы (биринчи конденсатор) ойлоп табылгандан кийин, ага электростатикалык машинанын жардамы менен чоң заряд берүүнү үйрөнүп, банканын электрдик разрядын байкай башташкан. Лейден банкасынын обкладкаларын зым катушкасы менен бириктиргенде, катушканын ичиндеги болот таякчалар магниттелип калгандыгын байкашкан. Мында эч кандай таң калардык нерсе жок, электр тогу катушканын болот өзөгүн магниттөөгө тийиш болучу. Баарынан таң каларлыгы катушканын өзөгүнүн кайсы учу түндүк, ал эми кайсы учу түштүк уюлдары болорун алдын ала айтууга мүмкүн эместигинде эле. Тажрыйбаны болжол менен бирдей эле шарттарда кайталап, биринчи учурда бир, экинчи учурда андан бөлөк натыйжа алышкан. Конденсаторду разряддоодо катушка аркылуу термелүүлөр пайда болорун көпкө чейин түшүнүшкөн эмес. Разряддоо учурунда конденсатор бир нече жолу кайра (алмашып) заряддалууга үлгүрөт жана ток да багытын көп жолу өзгөртөт. Ушул себептен өзөкчө ар кандай түрдө магниттеле алат.

Заряддын, ток күчүнүн жана чыңалуунун мезгилдүү же дээрлик мезгилдүү өзгөрүшү *электрдик термелүүлөр* деп аталат.

Электрдик термелүүлөрдү алуу, пружинага илинген жүктү термелүүгө келтирген сыяктуу эле эң жөнөкөй. Бирок электрдик термелүүлөрдү байкоо жөнөкөй эмес. Биз түздөн-түз конденсатордун кайра заряддалышын дагы, катушкадагы токту дагы көрө албайбыз. Анын үстүнө бул термелүүлөр, адатта өтө чоң жыштыкка ээ болушат.

Электрдик термелүүлөр электрондук осциллографтын жардамы менен байкалат жана изилденет. Горизонталь кыйшайтуучу пластиналарга «араа тишиндей» формага ээ болгон өзгөрмө чыңалуу  $u_p$  берилет (17-сүрөт). Чыңалуу адегенде салыштырмалуу жай өсөт, андан кийин кескин төмөндөйт. Пластиналар арасындагы электр талаасы экранда электрондук шооланы горизонталь багытта турактуу ылдамдык менен өтүүгө, андан кийин дээрлик кирпич каккыча артка кайтууга аргасыз кылат. Мындан кийин бардык процесс кайра кайталанат. Эгерде вертикаль кыйшайтуучу пластиналарды эми конденсаторго туташтырсак, анда анын разряддалышындагы чыңалуунун термелүүсү шооланын верти-

17

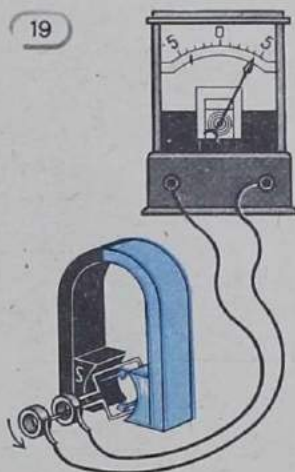




18



19



каль багытта термелишине алып келет. Натыйжада экранда, куму бар маятник кыймылдагы кагаз баракчасына сызган сыяктуу термелүүнүн убакыт боюнча «созулушу» пайда болот (18-сүрөт).

Термелүү убакыттын өтүшү менен өчөт<sup>1</sup>.

Бул термелүүлөр эркин термелүүлөр болушат. Алар системаны тең салмактуулук абалынан чыгаруучу зарядды конденсаторго бергенден кийин гана пайда болушат. Конденсатордун заряддалышы маятниктин тең салмактуулук абалдан кыйшаюусуна эквиваленттүү болуп саналат.

Электр чынжырында аргасыз электр термелүүлөрүн да алууга болот. Мындай термелүүлөр электр чынжырында мезгилдүү электр кыймылдаткыч күчү болгондо пайда болот. Индукциянын өзгөрмө ЭКК бир нече оромдон турган зым рамкасын магнит талаасында айландырууда пайда болот (19-сүрөт). Мында рамканы кесип өтүүчү магнит агымы мезгил-мезгили менен өзгөрүп турат. Электромагниттик индукция законуна ылайык («Физика-9», VII гл. кара) пайда болгон индукциялык ЭКК да мезгили менен өзгөрүп турат. Чынжырды гальванометр аркылуу туюктоодо, өзгөрмө ток өтүп, анын жебеси тең салмактуулук абалынын аймагында термеле баштайт.

## 11. Термелүү контуру

Эркин электрдик термелүүлөр пайда боло турган эн жөнөкөй система конденсатордон жана конденсатордун обкладкаларына

<sup>1</sup> Адатта контурдагы термелүү секунданын кичине үлүштөрүндө эле өчүп калат. Ошондуктан аларды байкоо үчүн электрондук нур тийгизгенден кийин, көп убакытка чейин жарыктанып турууга жөндөмдүү болгон атайын экрандуу осциллографты пайдалануу ыңгайлуу.

туташтырылган катушкадан турат (20-сүрөт). Мындай система *термелүү контуру* деп аталат.

Контурда эмне үчүн термелүүлөр пайда болорун карап көрөлү. Туташтырып-ажыраткычтын (переключатель) жардамы менен кандайдыр убакытка конденсаторду батарея менен туташтырып, заряддайбыз (21-а, сүрөт). Мында конденсатор

$$W_p = \frac{q_m^2}{2C} \quad (2.1)$$

энергиясын алат,  $q_m$  — конденсатордун заряды,  $C$  — анын электр сыйымдуулугу. Конденсатордун обкладкаларынын арасында  $U_m$  потенциалдар айырмасы пайда болот. Туташтырып-ажыраткычты 2 абалына которобуз (21-б, сүрөт). Конденсатор разряддала баштайт да, чынжырда электр тогу пайда болот. Ток күчү эң чоң маанисине дароо жетпестен, акырындык менен чоңоёт. Бул өзүнчө индукция кубулушуна байланыштуу. Ток пайда болгондо өзгөрмө магнит талаасы пайда болот. Бул өзгөрмө магнит талаасы өткөргүчтө куюндуу электр талаасын пайда кылат. (Бул жөнүндө IX класста айтылган болучу.) Куюндуу электр талаасы магнит талаасынын өсүшүндө токко карама-каршы багытталган жана токтун кирпик каккычакты чоңоюшуна тоскоолдук кылат.

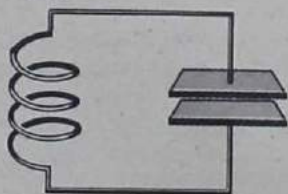
Конденсатордун разряддалышына жараша электр талаасынын энергиясы төмөндөйт, бирок ошол эле убакта төмөнкү формула менен аныкталуучу токтун магнит талаасынын энергиясы көбөйөт:

$$W_m = \frac{Li^2}{2} \quad (2.2)$$

мында  $i$  — токтун күчү,  $L$  — катушканын индуктивдүүлүгү. Конденсатор толугу менен разряддалган моментте ( $q=0$ ) электр талаасынын энергиясы нөлгө барабар болуп калат. Токтун энергиясы (магнит талаасынын энергиясы) энергиянын сакталуу законунуна ылайык эң чоң болот. Демек, бул моментте ток күчү да  $I_m$  эң чоң маанисине жетет.

Бул моментте катушканын учтарында потенциалдардын айырмасы нөлгө барабар болуп калганына карабастан, электр тогу дароо токтой албайт. Буга өзүнчө индукция кубулушу тоскоолдук кылат. Качан токтун күчү жана ал түзгөн магнит талаасы кичирее баштаганда, токтун багыты боюча багытталган жана анын дагы эле агып турушуна түрткү болгон куюндуу электр талаасы пайда боло баштайт.

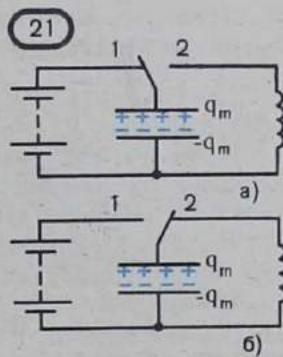
20



Натыйжада ток акырындап кичирейип, нөлгө барабар болгонго чейин конденсатор кайра заряддала берет. Магнит талаасынын энергиясы да бул моментте нөлгө барабар, ал эми конденсатордун электр талаасынын энергиясы кайра эң чоң болуп калат.

Мындан кийин конденсатор кайра ал-





машып заряддалат да, система баштапкы абалына келет. Эгерде энергия коромжуга учурабаса, анда бул процесс узак убакытка чейин улана бермек. Термелүү өчпөөчү термелүү болмок. Термелүү мезгилине барабар убакыттан кийин системанын абалы толугу менен кайталанып турган болор эле.

Бирок чындыгында, энергиянын коромжу болушу шексиз. Атап айтканда, катушка жана туташтыруучу өткөргүчтөр  $R$  каршылыгына ээ болушат, бул болсо электромагниттик талаанын энергиясынын өткөргүчтүн ички энергиясына айланышына алып келет.

**Механикалык жана электрдик термелүүлөр арасындагы окшоштук.** Контурдагы электрдик термелүүлөр, механикалык эркин термелүүлөргө, мисалы, пружинага бекитилген шариктин термелүүсүнө окшош. Бул окшоштук мезгилдүү өзгөрүүчү чоңдуктардын өздөрүнүн жаратылышына тиешелүү эмес. Механикалык термелүүлөрдө телонун координатасы  $x$  жана анын ылдамдыгынын проекциясы  $v_x$  мезгилдүү өзгөрсө, ал эми электрдик термелүүлөрдө конденсатордун заряды  $q$  жана чынжырдагы ток күчү  $i$  өзгөрөт. Окшоштук аталган чоңдуктардын мезгилдүү өзгөрүү процесстерине тиешелүү. Чоңдуктардын (механикалык жана электрдик) өзгөрүшүнүн бирдей мүнөздө болушу, механикалык жана электрдик термелүүлөрдү пайда кылуучу шарттарда окшоштук бар экендиги менен түшүндүрүлөт. Пружинага бекитилген шариктин тең салмактуулук абалына келиши, тең салмактуулук абалынан четтеген шариктин жылышуусуна пропорциялаш болгон  $F$  серпилгич күчтүн аракетин менен аткарылат. Пропорциялаштык коэффициенти болуп пружинанын катуулугу  $k$  эсептелет. Конденсатордун разряддалышы (токтун пайда болушу) заряд  $q$  га пропорциялуу болгон конденсатордун пластиналарынын арасындагы  $u$  чыңалуу менен шартташкан. Пропорциялаштык коэффициенти болуп, сыйымдуулукка тескери чоңдук  $\frac{1}{C}$  эсептелет, себеби  $u = \frac{1}{C}q$ .

Шарик өзүнүн инерттүүлүгүнүн натыйжасында, күчтүн аракети астында ылдамдыгын акырындык менен чоңойтуп, күчтүн аракети токтогондон кийин телонун ылдамдыгы заматта нөлгө барабар болбогон сыяктуу, чыңалуунун аракети менен катушкадагы электр тогу өзүнчө индукция кубулушунун эсебинен акырындан чоңоюп, чыңалуу нөлгө барабар болгондо ал дароо жок болуп кетпейт. Контурдун  $L$  индуктивдүүлүгү механикадагы жүктүн  $m$  массасы сыяктуу ролду ойнойт. Бул жүктүн кинематикалык энергиясы  $\frac{mv^2}{2}$  менен токтун энергиясы  $\frac{Li^2}{2}$  ни салыш-

тырууда ачык байкалат.

**12. Термелүү контурундагы процесстерди туюндуруучу теңдеме. Эркин электрдик термелүүлөрдүн мезгили**

Эми термелүү контурундагы процесстердин сандык теориясына өтөбүз.

**Термелүү контурундагы процесстерди туюндуруучу теңдеме.** Каршылыгы  $R$  ди эсепке албай коюуга мүмкүн болгон термелүү контурун (22-сүрөт) карап көрөлү. Контурдагы эркин электрдик термелүүнү туюндуруучу теңдемени, энергиянын сакталуу законунун негизинде алууга болот.

Убакыттын каалаган учурундагы контурдун толук электромагниттик энергиясы  $W$  магниттик жана электрдик талаалардын энергияларынын суммасына барабар:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}. \quad (2.3)$$

Эгерде контурдун каршылыгы  $R$  нөлгө барабар болсо, бул энергия убакыттын өтүшү менен өзгөрбөйт.

Энергия турактуу болгондуктан, толук энергиядан убакыт боюнча алынган туунду нөлгө барабар. Демек, магниттик жана электрдик энергиялардын убакыт боюнча алынган туундуларынын суммасы да нөлгө барабар:

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0,$$

же

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)'. \quad (2.4)$$

(2.4) теңдемесинин физикалык мааниси төмөнкүдө: магниттик талаанын энергиясынын өзгөрүү ылдамдыгы модулу боюнча электрдик талаанын энергиясынын өзгөрүү ылдамдыгына барабар; «минус» белгиси электр талаасынын энергиясы чоңойсо, магнит талаасынын энергиясы кичирее тургандыгын (жана тескерисинче) көрсөтөт. Мына ушуга жараша толук энергия өзгөрбөйт.

(2.4) теңдемесиндеги эки туундуну чыгарып:

$$\frac{L}{2} \cdot 2ii' = -\frac{1}{2C} \cdot 2qq' \quad (2.5)$$

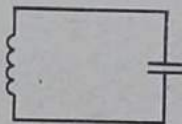
ти алабыз.

Бирок заряддан убакыт боюнча алынган туунду убакыттын берилген учурундагы ток күчүн берет:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = q'. \quad (2.6)$$

Ошондуктан (2.5) теңдемесин төмөнкү түрдө жазууга болот:

22





$$Li'i = - \frac{qi}{C} \quad (2.7)$$

Ток күчүнөн убакыт боюнча алынган туунду, ал ылдамдыктын туундусу (ылдамдануу), координатадан убакыт боюнча алынган экинчи туундусу сыяктуу, заряддан убакыт боюнча алынган экинчи туундусун берет. (2.7) теңдемесине  $i' = q''$  ти коюп, анын оң жана сол жагын  $Li$  ге бөлүп, контурдагы эркин электрдик термелүүнү туюндуруучу негизги теңдемени алабыз:

$$q'' = - \frac{1}{LC} q. \quad (2.8)$$

Эми, акырында, силер пружинага бекитилген шариктин жана маятниктин термелүүлөрүн үйрөнүү үчүн жумшалган аракеттердин маанисин толук өлчөмдө баалай аласынар. (2.9) теңдеменин өзүнүн белгиленишинен башка, пружинага бекитилген шариктин термелүүсүн туюнтуучу (1.11) теңдемесинен эч кандай айырмасы жок. (1.11) теңдемесиндеги  $x$  ти  $q$  менен,  $x''$  ти  $q''$  менен,  $k$  ны  $1/C$  жана  $m$  ди  $L$  менен алмаштырып, (2.8) теңдемесинин так өзүн алабыз. Бирок (1.11) теңдемесин эбак эле чыгарганбыз. Ошондуктан шариктин кандай термелишин билүү менен контурдагы термелүү кандайча боло тургандыгын дароо эле айта алабыз.

**Томсондун формуласы.** (1.11) теңдемесинде  $k/m$  коэффициенти термелүүнүн өздүк жыштыгынын квадратын туюндурат. Ошондуктан (2.8) теңдемесиндеги  $1/LC$  коэффициенти да эркин электрдик термелүүнүн циклдик жыштыгынын квадратын туюндурат:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (2.9)$$

Контурдагы эркин термелүүнүн мезгили төмөнкүгө барабар:

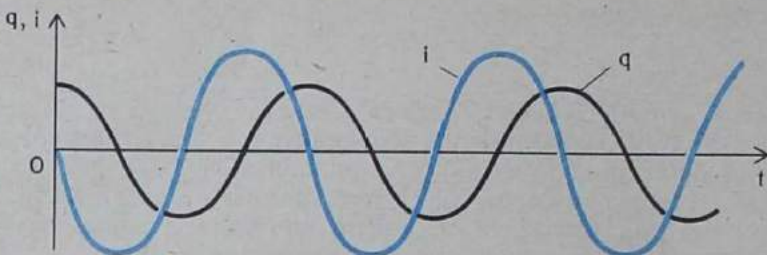
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (2.10)$$

(2.10) формуласы, аны биринчи жолу киргизген англиялык физик У. Томсондун (Кельвиндин) урматына Томсондун формуласы деп аталат.

$L$  жана  $C$  нын чоңоюшу менен термелүү мезгилинин чоңоюшун төмөнкүчө түшүндүрүүгө болот. Индуктивдүүлүктүн чоңоюшунда ток күчү убакыттын өтүшү менен жай чоңоёт жана нөлгө чейин жай төмөндөйт.

Ал эми сыйымдуулук канчалык чоңойсо, конденсаторду кайра заряддоо үчүн ошончолук көп убакыт талап кылынат.

**Заряддын жана токтун гармоникалык термелүүлөрү.** Механикалык термелүүлөр убакыттын баштапкы учурунда тең салмак-



туулук абалынан четтөө эң чоң болуп, координата убакыттын өтүшү менен

$$x = x_m \cos \omega_0 t$$

гармоникалык закону боюнча өзгөргөн сыяктуу, конденсатордун заряды да убакыттын өтүшү менен ошол эле закон боюнча өзгөрөт:

$$q = q_m \cos \omega_0 t, \quad (2.11)$$

мында  $q_m$  — заряддын термелүү амплитудасы.

Ток күчү да гармоникалык термелүү жасайт:

$$i = q' = -q_m \sin \omega_0 t = I_m \cos \left( \omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.12)$$

мында  $I_m = q_m \omega_0$  — ток күчүнүн термелүүсүнүн амплитудасы. Ток күчүнүн термелүүсү фазасы боюнча заряддын термелүүсүнөн  $\pi/2$ ге алдыда болот (23-сүрөт).

Так ушунун өзүндөй эле пружинага бекитилген шариктин же математикалык маятниктин кыймылында ылдамдыктын термелиши координатанын (жылыштын) термелишинен  $\pi/2$ ге алдыда болот.

Чындыгында энергиялык жоготуулар болгондуктан, термелүүлөр басандоочу болушат. Каршылык  $R$  канчалык чоң болсо, термелүү мезгили ошончолук чоң болот. Каршылык жетишээрлик чоң болгондо, термелүү таптакыр пайда болбойт. Конденсатор разряддалат, бирок анын кайра заряддалуусу болбойт.

#### Суроолор

1. Эркий жана аргасыз электрдик термелүүлөрдүн арасындагы айырмачылык эмнеде?
2. Контурдун сыйымдуулугу  $C$  болгон конденсаторду сыйымдуулугу андан эки эсе чоң же эки эсе кичине болгон конденсаторлор менен алмаштырганда, эр-

кий термелүүлөрдүн мезгилдери кандайча өзгөрөт?

3. Конденсатордун катушка аркылуу разряддалышында заряд менен токтун термелүүлөрүнүн амплитудалары кандайча байланышкан?



### 13. Өзгөрмө электр тогу

Контурда эркин электрдик термелүүлөр бат өчөт, ошондуктан алар практикада колдонулбайт. Ага тескерисинче, өчпөөчү аргасыз термелүүлөр өтө чоң практикалык мааниге ээ.

Заводдордун, фабрикалардын жана квартиралардын жарык берүүчү тармактарындагы өзгөрмө ток, аргасыз электрдик термелүүлөрдүн так өзү болуп эсептелет. Токтун күчү жана чыңалуусу убакыттын өтүшү менен гармоникалык закон боюнча өзгөрөт.

*Ток күчүнүн же чыңалуунун термелүү мезгили деп*, ток күчүнүн (же чыңалуунун) мааниси, модулу жана белгиси боюнча кайталанган эң кичине убакыт аралыгы айтылат.

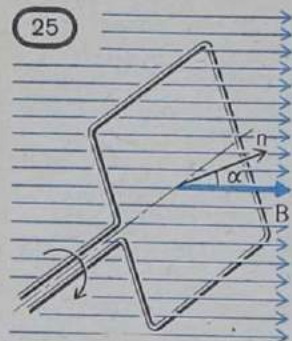
Чыңалуунун термелүүсүн осциллографтын жардамы менен оңой эле байкоого болот. Эгерде осциллографтын вертикаль кыйшаюучу пластиналарына тармактан чыңалуу берсек, анда анын экрандагы убакыт боюнча созулуусу синусоиданы элестетет (24-сүрөт). Экран боюнча шооланын горизонталь багыттагы кыймылынын ылдамдыгын (ал «араа сыяктуу» чыңалуунун жыштыгы менен аныкталат) билүү менен термелүүнүн жыштыгын аныктоого болот. *Өзгөрмө токтун жыштыгы* — 1 с дагы термелүүнүн саны. Ал 50 Гц ке барабар. Бул, бир секунданын ичинде ток 50 жолу бир багытты көздөй жана 50 жолу ага карама-каршы багытты көздөй агат дегенди билдирет. Жыштыгы 50 Гц болгон электр тогу өнөр жайлык ток катарында дүйнөнүн көпчүлүк өлкөлөрүндө кабыл алынган.

Эгерде чынжырдын учтарындагы чыңалуу гармоникалык закон боюнча өзгөрсө, анда өткөргүчтүн ичиндеги электр талаасынын чыңалышы да гармоникалык түрдө өзгөрөт. Талаанын чыңалышынын бул гармоникалык өзгөрүшү заряддалган бөлүкчөлөрдүн иреттелген кыймылынын ылдамдыгынын гармоникалык термелишин, демек, ток күчүнүн гармоникалык термелишин пайда кылат.

Чынжырдын учтарындагы чыңалуунун өзгөрүшү менен, электр талаасы бүт чынжыр боюнча кирпич каккыча эле өзгөрүп кетпейт. Талаанын өзгөрүшү чексиз чоң ылдамдык менен болбосо да, өтө чоң ылдамдык менен таралат.

Эгерде чынжырда талаанын өзгөрүшүнүн таралуу убакыты чыңалуунун термелүү мезгилинен көп кичине болсо, анда чынжырдын учтарындагы чыңалуунун өзгөрүшү менен дароо эле электр талаасы бүт чынжыр боюнча өзгөрөт деп эсептөөгө болот. Бул учурда убакыттын берилген учурундагы ток күчү иш жүзүндө тармак-





танбаган чынжырдын бардык кесилиштеринде бир эле мааниге ээ болот.

Жарык берүү тармагындагы розетка-нын көзөнөктөрүндөгү өзгөрмө чыңалуу электр станциядагы генераторлор аркылуу түзүлөт. Турактуу магнит талаасында айлануучу зым рамкасын өзгөрмө токтуу генераторунун жөнөкөй модели катары кароого болот (§ 10 ты карагыла). Аянты  $S$  болгон зым рамкасынан өтүп кетүүчү магниттик индукциянын агымы  $\Phi$  (IX класс үчүн физика окуу китебин кара-

гыла) рамкага жүргүзүлгөн нормаль менен магниттик индукция векторунун арасындагы  $\alpha$  бурчунун косинусуна пропорциялаш (25-сүрөт):

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

Рамканы бир калыпта айландырганда  $\alpha$  бурчу убакытка түз пропорциялаш болуп чоңоёт:

$$\alpha = 2\pi nt,$$

мында  $n$  — айлануунун жыштыгы. Ошондуктан магниттик индукциянын агымы гармоникалык түрдө өзгөрөт:

$$\Phi = BS \cos 2\pi nt.$$

Мындагы  $2\pi n$  көбөйтүндүсү  $2\pi$  секунддагы магниттик агымдын термелүү санын көрсөтөт. Бул  $\omega = 2\pi n$  термелүүнүн циклдик жыштыгынын өзү эмес. Демек,

$$\Phi = BS \cos \omega t.$$

Электромагниттик индукциянын законуна ылайык рамкадагы индукциялык ЭКК «минус» белгиси менен алынган магниттик индукция агымынын өзгөрүү ылдамдыгына, б. а. магниттик индукция агымынын убакыт боюнча алынган туундусуна барабар:

$$e = -\Phi' = -BS(\cos \omega t)' = BS\omega \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \omega t,$$

мында  $\mathcal{E}_m = BS\omega$  — индукциялык ЭККнүн амплитудасы.

Биз мындан ары  $\omega$  жыштыгы менен синусоида же косинусоида закону боюнча гармоникалык өзгөрүүчү чыңалуунун аракетин астында чынжырда болуучу аргасыз электрмагниттик термелүүлөрдү карайбыз:

$$u = U_m \sin \omega t \text{ же } u = U_m \cos \omega t, \quad (2.13)$$

мында  $U_m$  — чыңалуунун амплитудасы, б. а. чыңалуунун модулу боюнча максималдуу мааниси<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Синусту косинуска алмаштыруу чыңалуунун баштапкы фазасын  $\pi/2$ ге өзгөртүү дегенди билдирет. Аргасыз термелүүлөрдү кароодо бул анчалык маанилүү эмес.



Эгерде чыңалуу  $\omega$  жыштыгы менен өзгөрсө, анда чынжырдагы ток күчү ошол эле жыштык менен өзгөрөт. Бирок аргасыз механикалык термелүүлөрдө ылдамдыктын термелүү фазасы, жалпы айтканда, күчтүн фазасы менен дал келбеген сыяктуу, токтун термелүү фазасы чыңалуунун фазасына дал келиши милдеттүү эмес. Ошондуктан жалпы учурда убакыттын ар кандай моментинде токтун күчү (ток күчүнүн кирпик каккычактагы мааниси)  $i$  төмөнкү формула менен аныкталат:

$$i = I_m(\sin \omega t + \varphi_{ж}). \quad (2.14)$$

Бул жерде  $I_m$  — ток күчүнүн амплитудасы,  $\varphi_{ж}$  — ток менен чыңалуунун термелүүлөрүнүн арасындагы фазалардын айырмасы (жылышуусу).

#### 14. Активдүү каршылык. Ток күчүнүн жана чыңалуунун аракеттүү маанилери.

**Резисторлуу чынжырдагы ток күчү.** Өзгөрмө чыңалуунун булагына туташтырылган чынжырда эмнелер болоору менен дааналап таанышууга өтөлү.

Чынжыр, туташтыруучу зымдардан жана индуктивдүүлүгү аз жана каршылыгы жетишерлик чоң болгон  $R$  нагрукадан турсун дейли (26-сүрөт). Ушул мезгилге чейин электр каршылыгы же жөн эле каршылык деп атап келген бул чоңдукту, эми *активдүү каршылык* деп атайбыз.

Анын себеби, өзгөрмө токтун чынжырында башкача мүнөздөгү каршылыктын болушу да мүмкүн.  $R$  каршылыгынын активдүү деп аталышынын себеби, бул каршылык болгон учурда, чынжыр генератордон келген энергияны өзүнө жутат.

Бул энергия өткөргүчтөрдүн ички энергиясына айланат — алар ысыйт, биз буга кийинчерээк ишенебиз.

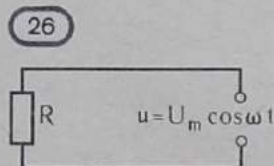
Чынжырдын учтарындагы чыңалуу гармоникалык закон боюнча төмөнкүдөй өзгөрөт деп эсептейбиз:

$$u = U_m \cos \omega t.$$

Турактуу ток учурундагыдай эле токтун кирпик каккычактагы мааниси чыңалуунун кирпик каккычактагы маанисине пропорциялаш. Ошондуктан, ток күчүнүн кирпик каккычактагы маанисин аныктоо үчүн Ом законун колдонууга болот:

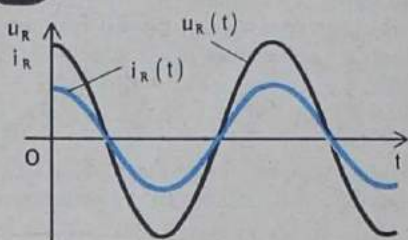
$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t. \quad (2.15)$$

**Активдүү каршылыктуу өткөргүчтө ток күчүнүн термелүүсү фазасы боюнча чыңалуунун термелүүсү менен дал келет** (27-сүрөт), ал эми ток күчүнүн амплитудасы төмөнкү барабардык менен аныкталат:

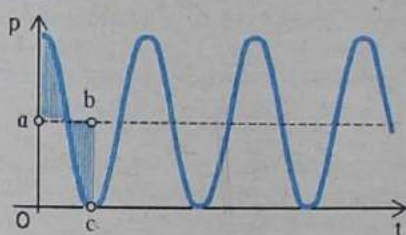


$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (2.16)$$

27



28



**Резисторлуу чынжырдын кубаттуулугу.** Өнөр жай жыштыгындагы (50 Гц) өзгөрмө токтун чынжырында ток күчү жана чыңалуу салыштырмалуу тез өзгөрөт. Ошондуктан өткөргүч аркылуу, мисалы, электр лампочкасынын зымы аркылуу ток өткөн учурда бөлүнүп чыккан энергиянын саны да убакыттын өтүшү менен тез өзгөрүп турат. Бирок биз бул тез өзгөрүүлөрдү байкабайбыз.

Эреже катары, бардык учурларда эле бизге бир нече мезгилди ичине алган, убакыттын жетишээрлик чоң аралыгы үчүн чынжырдын участкасындагы токтун орточо кубаттуулугун билүү керек. Ал үчүн бир мезгилдеги орточо кубаттуулукту табуу жетиштүү. Өзгөрмө токтун мезгил ичиндеги орточо кубаттуулугу деп, бир мезгил ичинде чынжырга келген энергиялардын суммасынын мезгилдеринин узактыгына болгон катышын түшүнөбүз.

Турактуу токтун чынжырында каршылыгы  $R$  болгон участкасындагы кубаттуулук төмөнкү формула менен аныкталат:

$$p = I^2 R \quad (2.17)$$

Убакыттын өтө кичине интервалында өзгөрмө токтун өзгөрбөйт деп кароого болот. Ошондуктан, активдүү каршылыгы  $R$  болгон участкада өзгөрмө токтун чынжырындагы кирпик каккычактагы кубаттуулук төмөнкү формула менен аныкталат:

$$P = i^2 R \quad (2.18)$$

Бир мезгил ичиндеги кубаттуулуктун орточо маанисин табабыз. Ал үчүн адегенде (2.15) тен ток күчүнүн мааниси  $i = I_m \cos \omega t$  ны (2.18) формуласына коюп жана математикадан белгилүү

болгон  $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$  катышын пайдаланып,

(2.18) ди өзөртөбүз:

$$p = \frac{I_m^2}{2} R (1 + \cos 2\omega t) = \frac{I_m^2 R}{2} + \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\omega t \quad (2.19)$$



Кирпик каккычактагы кубаттуулуктун убакыттан көз карандылыгынын графиги толкундуу сызык менен 28-сүрөттө көрсөтүлгөн. Бир чейрек мезгилдин аралыгында  $\cos 2\omega t > 0$  болгондо, кубаттуулук ар кандай моментинде  $\frac{I_m^2 R}{2}$  чоңдугунан чоң болот.

Бирок кийинки чейрек мезгилде  $\cos 2\omega t < 0$  болгондо, кубаттуулук убакыттын ар кандай моментинде  $\frac{I_m^2 R}{2}$  чоңдугунан кичине болот. Натыйжада жарым мезгил ичинде бөлүнүп чыккан энергия

*Oabc* тик бурчтугунун аянтына, ал эми орточо кубаттуулук  $\frac{I_m^2 R}{2}$  ге барабар.

Бул жыйынтык  $\cos 2\omega t$  нын бир мезгил ичинде орточо мааниси нөлгө барабар болгондуктан келип чыгат. Бул функция ар бир чейрек мезгилдин ичинде оң маанилердин катарына ээ болсо, мезгилдин кийинки чейрегинде ушундай эле терс маанилердин катарына ээ болот.

Ошондуктан орточо кубаттуулук  $P$  (2.19) формуласындагы биринчи мүчөгө барабар:

$$\bar{p} = \bar{i}^2 R = \frac{I_m^2}{2} R. \quad (2.20)$$

**Ток күчүнүн жана чыңалуунун аракеттүү маанилери.** (2.20) формуласынан  $I_m^2/2$  чоңдугу мезгил ичиндеги ток күчүнүн квадратынын орточо мааниси экендиги көрүнүп турат:

$$\bar{i}^2 = \frac{I_m^2}{2} \quad (2.21)$$

Квадраттык тамыр алдындагы ток күчүнүн квадратынын орточо маанисине барабар болгон чоңдук өзгөрмө ток күчүнүн аракеттүү мааниси деп аталат. Өзгөрмө ток күчүнүн аракеттүү мааниси  $I$  аркылуу белгиленет:

$$I = \sqrt{\bar{i}^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.22)$$

Кандайдыр убакыт ичинде каршылыгы  $R$  болгон турактуу токтун бөлүп чыгарган энергиясы, ошол эле убакыт ичинде өзгөрмө ток бөлүп чыгарган энергияга барабар болгон турактуу токтун маанисин дайыма тандап алууга болот. Ал үчүн турактуу ток күчү өзгөрмө ток күчүнүн аракеттүү маанисине барабар болушу зарыл. Өзгөрмө ток күчүнүн аракеттүү мааниси өткөргүчтө өзгөрмө ток жылуулук санын бөлүп чыгаргандай убакыт ичиндеги турактуу ток күчүнө барабар.

Өзгөрмө чыңалуунун аракеттүү мааниси ток күчүнүн аракеттүү маанисин аныктагандай эле аныкталат:

$$U = \sqrt{\bar{u}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (2.23)$$

(2.16) формуласындагы ток күчүнүн жана чыңалуунун амплитудалык маанилерин алардын аракеттүү маанилери аркылуу алмаштырып төмөнкүнү алабыз:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.24)$$

Бул резисторлуу өзгөрмө токту чынжырынын бөлүгү үчүн Ом закону.

Механикалык термелүүлөр сыяктуу эле, электр термелүүлөрүндө да бизди убакыттын ар бир моментиндеги ток күчү, чыңалуу жана башка чоңдуктардын маанилери кызыктырбайт. Бизге амплитуда, мезгил, жыштык, токту жана чыңалуунун аракеттүү маанилери, орточо кубаттуулук сыяктуу термелүүнүн жалпы мүнөздөмөлөрүн билүү маанилүү. Өзгөрмө токту амперметрлери жана вольтметрлери чынында эле ток күчүнүн жана чыңалуунун аракеттүү маанилерин каттайт.

Ошону менен бирге, аракеттүү маанилердин ыңгайлуулугу, дал алардын өздөрү түздөн-түз өзгөрмө токту кубаттуулугунун орточо мааниси  $P$  ны же айтылып жүргөндөй чынжырдын бөлүгүндөгү өзгөрмө токту  $P$  кубаттуулугу

$$P = I^2 R = UI$$

ни аныктайт.

#### Суроолор

1. Кандай шарттарда электр чынжырында аргасыз электр термелүүсү пайда болот?
2. Активдүү каршылыгы бар чынжырдагы өзгөрмө ток күчү менен чыңалуу кандай байланышкан?
3. Өзгөрмө токту жарык берүүчү тармактарында 220 В жана 127 В чыңалуу колдонулат. Бул тармактардагы чыңалуунун амплитудалары кандай?
4. Токту жана чыңалуунун аракеттүү маанилери деп эмнени айтабыз?

### 15. Өзгөрмө токту чынжырындагы конденсатор

Конденсатору бар чынжырда турактуу ток болбойт. Себеби бул учурда конденсатордун обкладкалары диэлектрик менен бөлүнүп тургандыктан чынында эле чынжыр ажыралган болот.

Өзгөрмө ток конденсатору бар чынжыр аркылуу өтүүгө жөндөмдүү. Буга жөнөкөй тажрыйбаны жардамы менен ишенүүгө болот. Бизге булактын кыскачтарындагы турактуу чыңалуусу өзгөрмө чыңалуунун аракеттүү маанисине барабар болгон турактуу жана өзгөрмө чыңалуунун булактары берилсин дейли. Чынжыр удаалаш туташтырылган конденсатор менен кызытма лампочкадан турат (29-сүрөт). Турактуу чыңалууну туташтырууда лампочка күйбөйт. Бирок конденсатордун сыйымдуулугу жетишээрлик чоң болсо, өзгөрмө чыңалууну туташтырууда лампочка күйөт.

Эгер чындыгында чынжыр ажыратылган болсо (конденсатордун пластиналарынын арасында заряддар которула алышпайт), ал аркылуу өзгөрмө ток кантип ага алат? Бул жерде негизинен, өзгөрмө чыңалуунун аракети астында конденсатордун мезгилдүү



заряддалышы жана разряддалышы болуп турат. Конденсатордун алмашып заряддалышындагы чынжыр боюнча өтүүчү ток лампочканын зымын ысытат.

Эгерде өткөргүчтөрдүн жана конденсатордун обкладкаларынын каршылыгын эсепке албасак, анда конденсаторду гана ичине алган чынжырдагы токтун убакыттын өтүшү менен кантип өзгөрө тургандыгын табабыз (30-сүрөт).

Конденсатордогу чыңалуу чынжырдын учтарындагы чыңалууга барабар:

$$u = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{C}.$$

Демек,

$$\frac{q}{C} = U_m \cos \omega t. \quad (2.25)$$

Конденсатордун заряды гармоникалык закон менен өзгөрөт:

$$q = CU_m \cos \omega t. \quad (2.26)$$

Заряддын убакыт боюнча алынган туундусунан турган токтун күчү төмөнкүгө барабар:

$$i = q' = -U_m C \omega \sin \omega t = U_m C \omega \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2.27)$$

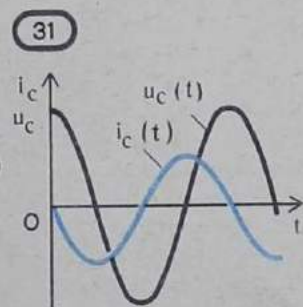
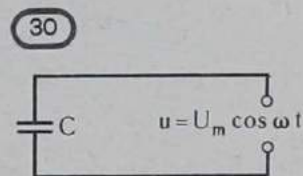
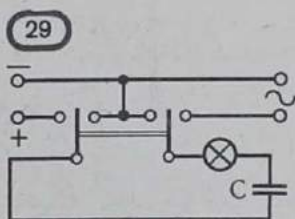
Демек, ток күчүнүн термелүүсү конденсатордогу чыңалуунун термелүүсүнөн  $\pi/2$ ге алдыга жылышкан (31-сүрөт). Бул болсо, качан конденсатор заряддала баштаган кезде, ток күчү эң чоң, ал эми чыңалуу нөлгө барабар дегенди билдирет. Качан чыңалуу эң чоң маанисине жеткенде, ток күчү нөлгө барабар болот ж. у. с.

Ток күчүнүн амплитудасы төмөнкүгө барабар:

$$\text{Эгерде} \quad I_m = U_m \omega C. \quad (2.28)$$

$$\frac{1}{\omega C} = X_C \quad (2.29)$$

деп белгилеп, ток күчүнүн жана чыңалуунун амплитудасынын ордуна алардын аракеттүү маанилерин пайдалансак, анда



$$I = \frac{U}{X_C} \quad (2.30)$$

ны алабыз.

Циклдик жыштыктын конденсатордун электрдик сыйымдуулугуна болгон көбөйтүндүсүнө тескери чоңдук  $X_C$  ны *сыйымдуулук каршылыгы* деп айтабыз. Бул чоңдуктун ролу Ом законундагы (2.16) активдүү  $R$  каршылыгынын ролуна окшош. Ом законуна ылайык турактуу токтун чынжырларынын бөлүгү үчүн ток күчү менен чыңалуу кандай байланышта болсо, ток күчүнүн аракеттүү мааниси менен конденсатордогу чыңалуунун аракеттүү мааниси да ошондой байланышкан. Бул болсо  $X_C$  чоңдугун өзгөрмө ток үчүн конденсатордун каршылыгы (сыйымдуулук каршылыгы) катары кароого мүмкүндүк берет.

Конденсатордун сыйымдуулугу канчалык чоң болсо, кайра заряддалуучу ток да (2.28) формуласына ылайык ошончолук чоң болот. Муну, конденсатордун сыйымдуулугун чоңойтууда лампочканын зымынын акырындык менен кызарышы боюнча оңой эле байкоого болот. Ошол эле мезгилде конденсатордун каршылыгы турактуу ток үчүн чексиз болгон сыяктуу анын каршылыгы өзгөрмө ток үчүн  $X_C$  чектүү мааниге ээ. Сыйымдуулуктун өсүшү менен ал азаят. Ал жыштыктын чоңоюшу менен да азаят.

Биз аны 29-сүрөттө көрсөтүлгөн чынжырды азыктандыруу үчүн, жыштыгы башкарылуучу өзгөрмө токтун генераторун пайдалануу менен байкай алабыз. Өзгөрмө токтун жыштыгын бир калыпта чоңойтуу менен лампанын акырындап кызарышын байкайбыз. Ал конденсатордун  $X_C$  сыйымдуулук каршылыгынын азайышынын эсебинен ток күчүнүн чоңоюшунан болот. Лампанын кызарышы конденсатордун сыйымдуулугу чоңойгондо да байкалат.

Эгерде эки нурдуу осциллографтын бир кыскачына конденсатордон алынган чыңалууну, ал эми экинчисине — чынжырдагы ток күчүнө кирпик каккыча мааниси пропорциялаш болгон чыңалууну (бул чыңалуу резистордон алынат) бириктирсек, анда экранда чыңалуунун жана ток күчүнүн бир убакта эки термелүү осциллограммасы байкалат. Мындай байкоолор конденсатордун чынжырындагы ток күчүнүн термелүүсү фазасы боюнча чыңалуунун термелүүсүнөн алдыга жылышкан болот деген жогорудагы корутундуу ырастайт. Ал 31-сүрөттө көрсөтүлгөн.

Жыйынтыктаганда, чейрек мезгил бою, качан конденсатор заряддалып, максималдык чыңалууга жеткенге чейин, энергия чынжырга келип турат жана конденсаторлордо ал электр талаасынын энергиясы катарында запастала (сактала) тургандыгын белгилеп кетели. Кийинки чейрек мезгилде, конденсатордун разряддалышында, бул энергия кайра тармакка кайтарылат.



## 16. Өзгөрмө токтун чынжырындагы индуктивдүүлүк катушкасы

Чынжырдагы индуктивдүүлүк өзгөрмө ток күчүнө таасирин тийгизет. Муну жөнөкөй тажрыйбанын жардамы менен далилдөөгө болот. Индуктивдүүлүгү чоң болгон катушкадан жана кызытма электр лампасынан турган чынжыр түзөлү (32-сүрөт). Коммутатордун жардамы менен бул чынжырды же турактуу чыңалуунун булагына, же өзгөрмө чыңалуунун булагына туташтырууга болот. Мында турактуу чыңалуу жана өзгөрмө чыңалуунун аракеттүү мааниси өз ара барабар болууга тийиш. Тажрыйба, турактуу чыңалуу кезинде лампанын жарыгыраак күйгөндүгүн көрсөтөт. Демек, каралган чынжырда өзгөрмө ток күчүнүн аракеттүү мааниси турактуу ток күчүнөн кичине.

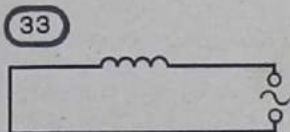
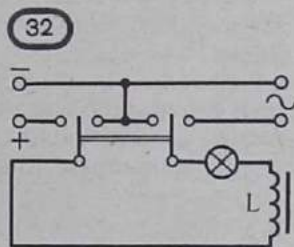
Бул өзүнчө индукция кубулушу менен түшүндүрүлөт. IX класс-тын физика курсунан силер, катушканы турактуу чыңалуунун булагына туташтырганда чынжырдагы ток күчү акырындап чоңоё тургандыгын билесинер. Ток күчүнүн чоңоюшунда пайда болгон куюндуу электр талаасы электрондордун кыймылын тормоздойт. Кандайдыр бир убакыт өткөндөн кийин гана ток күчү берилген турактуу чыңалууга туура келген эң чоң (калыптанган) мааниге жетет.

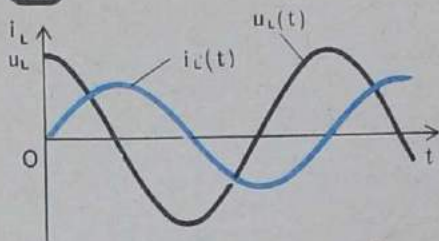
Эгерде чыңалуу тез өзгөрсө, анда ток күчү убакыттын өтүшү менен өзгөрмө чыңалуунун максималдык маанисине барабар болгон турактуу чыңалууда ээ болуучу калыптанган маанисине жетишип үлгүрө албай калат.

Демек, өзгөрмө ток күчүнүн максималдык мааниси (анын амплитудасы) чынжырдын  $L$  индуктивдүүлүгү менен чектелип, индуктивдүүлүк жана берилген чыңалуунун жыштыгы канчалык чоң болсо, ал ошончолук кичине болот.

Активдүү каршылыкты эске албай коюуга мүмкүн болгон катушкасы бар электр чынжырындагы ток күчүн аныктайбыз (33-сүрөт). Ал үчүн адегенде катушкадагы чыңалуу менен андагы өзүнчө индукциянын ЭЭКнүн арасындагы байланышты табабыз.

Эгерде катушканын каршылыгы нөлгө барабар болсо, анда өткөргүчтүн ичинде убакыттын ар кандай моментинде электр талаасынын чыңалышы да нөлгө барабар болууга тийиш. Андай болбогондо, ток күчү Ом законуна ылайык чексиз чоң болуп кетмек. Талаанын чыңалуусунун нөлгө барабар болушунун мүмкүндүгү өзгөрмө магнит талаасы пайда кылуучу куюндуу электр талаасынын чыңалышы  $E_i$  ар бир чекитте булактын кыскачтарында жана чынжырдын өткөргүчтөрүндө жайланышкан заряддардан түзүлгөн кулондук талаа





белгиси боюнча карама-каршы экендиги келип чыгат. Кулондук талаанын салыштырма жумушу катушканын учтарындагы чыңалууга барабар экендигин эске алып, төмөнкүчө жазууга болот:

$$e_i = -u.$$

Ток күчүнүн гармоникалык закон менен өзгөрүшүндө

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Өзүнчө индукциянын ЭКК төмөнкүгө барабар:

$$e_i = -Li' = -L\omega I_m \cos \omega t. \quad (2.31)$$

$u = -e_i$  болгондуктан катушканын учтарындагы чыңалуу төмөнкүгө барабар:

$$u = L\omega I_m \cos \omega t = L\omega I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.32)$$

мында  $U_m = L\omega I_m$  — чыңалуунун амплитудасы.

Демек, катушкадагы чыңалуунун термелүүсү ток күчүнүн термелүүсүнөн  $\pi/2$ ге алдыда, же ошонун өзү эле ток күчүнүн термелүүсү чыңалуунун термелүүсүнөн  $\pi/2$ ге артта калат дегендик.

Катушкада чыңалуу максимумга жеткен моментте ток күчү нөлгө барабар болот (34-сүрөт). Качан чыңалуу нөлгө барабар болгон моментте ток күчү модулу боюнча максималдуу.

Катушкадагы ток күчүнүн амплитудасы төмөнкүгө барабар:

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L}. \quad (2.33)$$

Эгерде

$$\omega L = X_L \quad (2.34)$$

белгилөөсүн киргизип, ток күчүнүн жана чыңалуунун амплитудаларынын ордуна алардын аракеттүү маанилерин пайдалансак, анда төмөнкүнү алабыз:



Циклдик жыштыктын индуктивдүүлүккө болгон көбөйтүндүсүнө барабар  $X_L$  чоңдугун *индуктивдүүлүк каршылыгы* деп атайбыз.

(2.35) формуласына ылайык токтун аракеттүү мааниси, чыңалуунун аракеттүү мааниси менен индуктивдүүлүк каршылыгына, турактуу токтун чынжыры үчүн Ом законуна окшош катыш менен байланышкан.

Индуктивдүүлүк каршылыгы жыштыктан көз каранды. Турактуу ток катушканын индуктивдүүлүгүн таптакыр эле «сезбейт».  $\omega = 0$  болгондо индуктивдүүлүк каршылык нөлгө барабар ( $X_L = 0$ ). Чыңалуу канчалык тез өзгөрсө, өзүнчө индукциянын ЭКК ошончолук чоң жана токтун амплитудасы ошончолук кичине болот.

Эгерде 32-сүрөттө көрсөтүлгөн чынжырды азыктандыруу үчүн, жыштыгы башкарылуучу өзгөрмө токтун генераторун туташтырсак, аны оңой эле байкай алабыз. Бул учурда катушканын индуктивдүүлүгүн өзгөртүү жолунун (мисалы, ар кандай сандагы оромду кошуу менен) мүмкүндүгүн да алдын ала эске алуу керек. Жыштыкты же индуктивдүүлүктү чоңойткондо чынжырдагы ток күчү төмөндөйт да лампанын жарыктанышы начарлайт. Бул  $L$  жана  $\omega$ нын чоңоюшу менен чынжырдагы каршылыктын чоңоюшуна күбө болот.

Ток менен чыңалуунун ортосундагы фазанын жылышын өткөн параграфта айтылып кеткен методдун жардамы менен байкоого болот.

---

#### Суроолор

1. Сыйымдуулук жана индуктивдүүлүк каршылыктары кандай формулалар менен эсептелет?
2. Өзгөрмө токтун чынжырындагы конденсатордо ток күчү менен чыңалуунун аракеттүү маанилери өз ара кандайча байланышкан?
3. Активдүү каршылыгы эске алынбаган индуктивдүүлүк катушкасында ток күчү менен чыңалуунун аракеттүү маанилери өз ара кандайча байланышкан?

### 17. Электр чынжырындагы резонанс

Механикалык аргасыз термелүүлөрдү үйрөнүүдө биз өтө маанилүү кубулуш — *резонанс* менен тааныштык. Резонанс системанын термелүүсүнүн өздүк жыштыгы сырткы күчтүн жыштыгы менен дал келген учурда байкалат. Эгер сүрүлүү аз болсо, анда калыптанган аргасыз термелүүнүн амплитудасы кескин чоңоёт.

Механикалык жана электромагниттик термелүүлөрдүн закондорунун дал келиши, электр чынжырында резонанс болот деп жыйынтык чыгарууга мүмкүндүк берет. Ал үчүн бул чынжыр термелүүнүн белгилүү өздүк жыштыгына ээ болгон термелүү контуру болууга тийиш.

Механикалык термелүүлөрдө резонанс  $\mu$  сүрүлүү коэффициентинин кичине маанилеринде ачык байкалат. Электр чынжырында

$$I = \frac{U}{X_L}$$

сүрүлүү коэффициентинин ролун  $R$  активдүү каршылыгы аткарат. Бул каршылыктын болушу токтун энергиясынын өткөргүчтүн ички энергиясына айланышына (өткөргүчтүн ысышына) алып келет. Ошондуктан электрдик термелүү контурундагы резонанс  $R$  активдүү каршылыгынын кичине маанисинде ачык байкалууга тийиш.

Эгерде активдүү каршылык кичине болсо, анда контурдун термелүүсүнүн өздүк жыштыгы төмөнкү формула менен аныкталат:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Аргасыз термелүүдө ток күчү контурга берилген өзгөрмө чыңалуунун жыштыгы термелүү контурунун өздүк жыштыгына барабар болгондо максималдуу мааниге жетүүгө тийиш:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.36)$$

*Электрдик термелүү контурундагы резонанс* деп, сырткы өзгөрмө чыңалуунун жыштыгы термелүү контурунун өздүк жыштыгы менен дал келгенде аргасыз термелүүнүн амплитудасынын кескин чоңоюу кубулушу аталат.

**Резонанс учурундагы ток күчүнүн амплитудасы.** Механикалык резонанс учурундагыдай эле термелүү контурундагы резонанста да сырткы булактан термелүү контуруна энергиянын келишине оптималдык шарт түзүлөт. Контурдагы кубаттуулук ток күчү фазасы боюнча чыңалуу менен дал келгенде максималдуу болот. Бул жерде механикалык термелүүлөр менен толук аналогия орун алган: резонанс учурунда механикалык термелүү системасында сырткы күч (аналогиясы чынжырдагы чыңалуу) фазасы боюнча ылдамдык (аналогиясы ток күчү) менен дал келет.

Сырткы өзгөрмө чыңалууну туташтырганда эле чынжырда ток күчүнүн резонанстык мааниси калыптанбайт. Термелүүнүн калыптанышы акырындык менен болот. Ток күчүнүн термелүү амплитудасы мезгил ичинде резистордо бөлүнүп чыккан энергия, ушул убакыт ичинде контурга келүүчү энергияга барабар болгонго чейин чоңоюп отурат:

$$\frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m I_m}{2}$$

Мындан резонанс кезиндеги ток күчүнүн калыптанган амплитудасы төмөнкү теңдеме менен аныкталат:

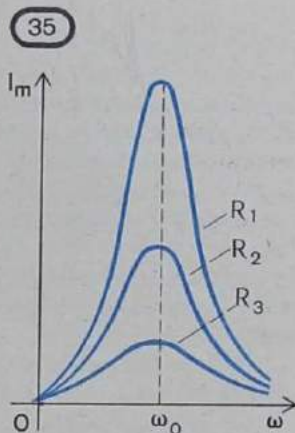
$$I_m R = U_m \quad (2.37)$$



(2.37) теңдемесине ылайык ток күчүнүн термелүүсүнүн резонанстык амплитудасы төмөнкүгө барабар:

$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (2.38)$$

$R \rightarrow 0$  болгондо токтуун резонанстык мааниси чексиз өсөт:  $I_{\text{рез.}} \rightarrow \infty$ . Тескерисинче,  $R$ дин чоңоюшу менен ток күчүнүн максималдык мааниси кичирейт да  $R$ дин чоң маанисинде резонанс жөнүндө сөз кылуунун кажети жок болот. Ар кандай каршылыктарда  $R_1 < R_2 < R_3$  ток күчүнүн амплитудасынын жыштыктан көз карандылыгы 35-сүрөттө көрсөтүлгөн.



**Резонанс учурундагы чыңалуунун амплитудасы.** Резонанс учурунда ток күчүнүн өсүшү менен бир убакта конденсатордогу жана индуктивдүүлүк катушкасындагы чыңалуулар да кескин чоңоюшат. Бул чыңалуулар сырткы чыңалуу менен бирдей болуп, же андан бир нече эсе ашып кетиши мүмкүн.

Чынында эле

$$U_{Cm} = I_m \frac{1}{\omega_0 C} = I_m \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad U_{L,m} = I_m \omega_0 L = I_m \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Сырткы чыңалуу резонанстык ток менен төмөнкүчө байланышкан:  $U_m = I_m R$ .

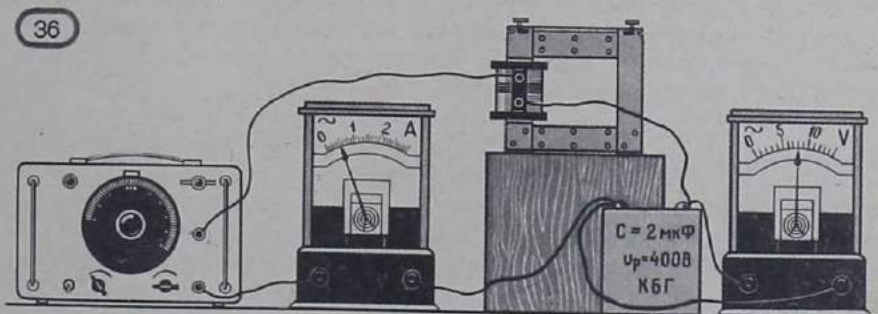
Эгерде

$$R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$$

болсо, анда

$$U_{C,m} = U_{L,m} \geq U_m.$$

Электр чынжырында резонансты байкоо үчүн 37-сүрөттө көрсөтүлгөн схема боюнча түзүлүштү (36-сүрөт) чогултуу керек.



Анда жыштыгы жөнгө салынуучу өзгөрмө чыңалуунун сырткы булагы пайдаланылат. Сырткы чыңалуунун термелүү жыштыгын акырындык менен чоңойтуп, амперметр менен өлчөнүүчү чынжырдагы ток күчү, вольтметр менен өлчөнүүчү конденсатордогу же индуктивдүүлүк катушкасындагы чыңалуу кандайча өзгөрө тургандыгын байкоого болот. Резонанс учурунда бул чоңдуктар ондогон эсеге ал гана турсун жүздөгөн эсеге чоңоюп кетишет.

**Радиобайланыштарында резонансты пайдалануу.** Электрдик резонанс кубулушу радиобайланыштарды иш жүзүнө ашырууда пайдаланылат. Ар кандай берүүчү станциялардан келген радиотолкундар радио кабыл алгычтын антеннасында

ар түрдүү жыштыктагы өзгөрмө токтун дүүлүктүрөт (38-сүрөт), анткени ар бир берүүчү радиостанция өзүнүн белгилүү жыштыгында иштейт. Термелүү контуру антенна менен индуктивдүү байланышкан.

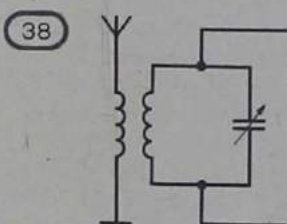
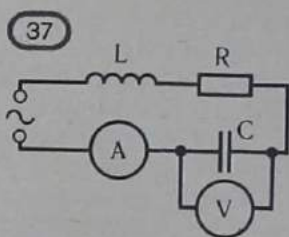
Электромагниттик индукциянын натыйжасында, контурдук катушкада тиешелүү жыштыктагы өзгөрмө ЭКК жана ушул эле жыштыкта токтун аргасыз термелүүсү пайда болот. Бирок резонанс учурунда гана контурдагы токтун жана конденсатордогу чыңалуунун термелүүсү жетишээрлик чоң боло алат. Антеннада дүүлүккөн бардык жыштыктагы термелүүлөрдөн, контур өзүнүн өздүк жыштыгына барабар болгон жыштыктагы термелүүнү гана бөлүп алат. Контурду керектүү  $\omega_0$  жыштыгына тууралоо, конденсатордун сыйымдуулугун өзгөртүү менен аткарылат. Радио кабылдагычты радиостанцияга тууралоонун негизи мына ушунда.

**Электр чынжырында резонанстын болуу мүмкүндүгүн эсепке алуунун зарылдыгы.** Электр чынжырындагы резонанс айрым учурларда зыяндуу болушу мүмкүн. Эгер чынжыр резонанс шартындагы жумушка эсептелбеген болсо, анда резонанстын пайда болушу аварияга алып келет. Ток күчү абдан чоң болгондо өткөргүчтөр эрип кетиши мүмкүн. Чоң чыңалуулар изоляторлорду иштен чыгарат. Бул өндүү авариялар өткөн кылымда, электрдик термелүүлөрдүн закондорун жетишээрлик билбегендиктин натыйжасында көп кездешүүчү.

## 18. Транзисторлуу генератор. Автотермелүү<sup>1</sup>

Ушул кезге чейин биз карап өткөн аргасыз термелүүлөр электростанциядагы генераторлордо иштелип чыккан өзгөрмө

<sup>1</sup> Бул параграфты окуп үйрөнүүдөн мурда § 81 «Физика-9» «Транзистор» деген теманы кайталап чыгуу керек.





чыналуунун аракети астында болгон. Мындай генераторлор радиобайланыштары үчүн зарыл болгон жогорку жыштыктагы термелүүлөрдү бере албайт. Ал үчүн роторду чон ылдамдык менен айландырууга туура келет.

Жогорку жыштыктагы термелүүлөрдү башка түзүлүштөрдүн жардамы менен, мисалы, *транзисторлуу генератор* менен алууга болот. Анын мындай аталып калышы, бул түзүлүштүн негизги бир бөлүгү болуп эсептелген жарым өткөргүчтүк прибор — транзистор менен байланыштуу.

**Автотермелүү системасы.** Чынжырда өчпөөчү аргасыз термелүү сырткы мезгилдүү чыналуунун аракети менен кармалып турат. Бирок өчпөөчү термелүүнү алуунун башка жолдору да болушу мүмкүн.

Эркин термелүү аткарылуучу системада энергиянын булагы болсун дейли. Эгерде системанын өзү каршылыгы  $R$  болгон резистордо коромжу болгон энергияны компенсациялоо үчүн термелүү контуруна келүүчү энергияны жөнгө салып тургандай болсо, анда мындай системада өчпөөчү термелүү болушу мүмкүн.

Системанын ичиндеги булактан алынган энергиянын эсебинен өчпөөчү термелүү генерациялануучу система *автотермелүү системасы* деп аталат. Мезгилдүү сырткы күчтүн аракеттисиз системада улануучу термелүүлөр *автотермелүүлөр* деп аталат.

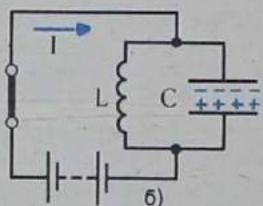
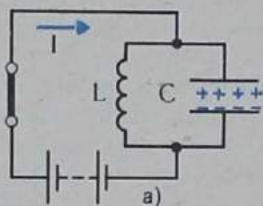
Транзисторлуу генератор — автотермелүү системасынын мисалы боло алат. Ал өзүнүн ичине сыйымдуулугу  $C$  болгон конденсаторду жана индуктивдүүлүгү  $L$  болгон катушкалуу контурду, энергиянын булагын жана транзисторду камтыйт.

**Контурда өчпөөчү термелүүнү кантип пайда кылууга болот?** Эгерде термелүү контурундагы конденсатор заряддалган болсо, анда контурда өчүүчү термелүү пайда болот. Ар бир термелүү мезгилинин аягында конденсатордун пластинасындагы заряддын мааниси, башталышындагыга караганда азайып отурат. Заряддар, албетте, сакталат, бирок бир пластинадагы оң заряддын азайышына модулу боюнча бирдей маанидеги экинчи пластинадагы терс заряддын азайышы туура келет. Натыйжада термелүүнүн энергиясы азаят, себеби (2.1) формуласы ал заряддын квадратына пропорционалдуу. Термелүү өчпөшү үчүн энергиянын коромжуланууларын ар бир мезгил сайын толуктап туруу керек.

Контурдагы энергияны конденсаторду кошумча заряддоо менен толуктоого болот. Ал үчүн контурду мезгили менен турактуу чыналуунун булагына туташтырып туруу керек. Булакка конденсатор качан ток булагынын оң уюлуна туташтырылган пластина оң заряддалган, ал эми терс уюлуна туташтырылган пластина терс заряддалган убакыт интервалдарында бириктирилген болууга тийиш (39-а сүрөт). Ушундай учурда гана булак конденсаторду кошумча заряддап, анын энергиясын толуктап турат.

Эгерде булактын оң уюлуна туташтырылган пластина терс зарядга, ал эми терс уюлга туташтырылган пластина оң зарядга ээ болгон моментте ачкычты туюктасак, анда конденсатор булак

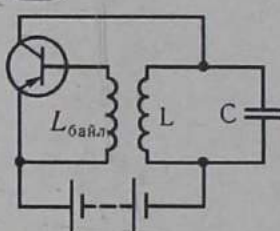
39



40



41



аркылуу разряддалып турат (39-б, сүрөт). Бул учурда конденсатордун энергиясы азаят.

Демек, контурдун конденсаторуна дайыма эле туташылып турган турактуу чыңалуунун булагы, андагы өчпөөчү термелүүнү кармап тура албайт. Мезгилдин биринчи жарымында энергия контурга берилсе, ал эми экинчи жарымында андан кайта булакка кайтарылат. Конденсаторго энергия берилиши мүмкүн болгон убакыт интервалында контурга булак бириктирилгендей шартта гана контурда өчпөөчү термелүү калыптанат. Ал үчүн ачкычтын (же көпчүлүк учурда *клапан* деп да аталат) автоматтык иштешин камсыз кылуу керек. Термелүүнүн жогорку жыштыгында ачкыч өтө тез иштөөгө тийиш. Мына ушундай дээрлик инерциясыз иштөөчү ачкыч катары транзисторлор пайдаланылат.

Транзистор: эмиттер, база жана коллектор деп аталуучу үч түрдүү жарым өткөргүчтөрдөн турарын эске салалы. Эмиттер менен коллектор бирдей негизги заряддарды алып жүрүүчүлөргө, мисалы, көзөнөктөргө (ал  $p$ -тибиндеги жарым өткөргүчтөр) ээ болушса, ал эми база карама-каршы белгидеги негизги заряддарды алып жүрүүчүлөргө, мисалы, электрондорго ( $n$ -тибиндеги жарым өткөргүч) ээ болушат. Транзистордун схема түрүндө сүрөттөлүшү 40-сүрөттө көрсөтүлгөн.

**Транзисторлуу генератордун иштеши.** Транзисторлуу генератордун жөнөкөйлөтүлгөн схемасы 41-сүрөттө көрсөтүлгөн. Термелүү контуру чыңалуунун булагы жана транзистор эмиттерге оң потенциал, ал эми коллекторго терс потенциал берилгендей кылып удаалаш туташтырылган. Бул учурда эмиттер — база (эмиттердик өтүү) өтүүсү түз, бирок база коллектор (коллектордук өтүү) өтүүсү тескери болуп, эсептелет да чынжыр боюнча ток жүрбөйт. Бул болсо, 39-а,б сүрөттөгү ачкычтын туюкталбаган учуруна туура келет.



Чынжырда ток пайда болсун үчүн жана контурдун конденсатору термелүү учурунда заряддалып турушу үчүн, базага эмиттерге салыштырмалуу терс потенциал берилиши керек. Бул конденсатордун үстүнкү пластинасы (41-сүрөт боюнча) оң заряддалып, ал эми астынкысы — терс заряддалган убакыт интервалдарына туш келүүгө тийиш. Эми ал 39-а, сүрөттөгү ачкычтын жабылган (туюкталган) учуруна туура келет.

Конденсатордун жогорку пластинасы оң заряддалган убакыт интервалдарында контурдун чынжырында ток болбоого тийиш. Ал үчүн база, эмиттерге салыштырмалуу оң потенциалга ээ болушу керек.

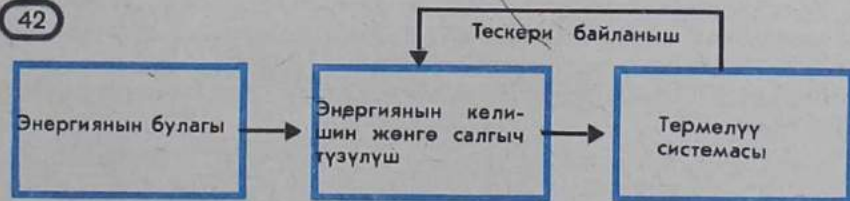
Мына ошентип, контурдагы энергиянын коромжуланышын толуктоо үчүн эмиттердик өтүүдөгү чыңалуу контурдагы чыңалуунун термелүүсүнө өтө так дал келишүүдө мезгили менен белгисин өзгөртүп турушу керек. Адатта айтылып жүргөндөй тескери байланыштын болушу зарыл.

Каралып жаткан генератордогу тескери байланыш индуктивдүүлүк байланыш болот. Эмиттердик өтүү, индуктивдүүлүгү  $L$  болгон контурдун катушкасы менен индуктивдүү байланыш түзүлгөн индуктивдүүлүгү  $L_{\text{байл.}}$  болгон катушкага бириктирилген. Контурдагы термелүү электромагниттик индукциянын натыйжасында биринчи катушканын учтарында, аны менен бирге эмиттердик өтүүдө чыңалуунун термелүүсүн пайда кылат. Эгерде эмиттердик өтүүдө чыңалуунун термелүү фазасы туура тандалган болсо, анда контурдун чынжырындагы токту «терметкичи» контурга керектүү убакыт интервалдарында аракет кылып термелүү өчпөйт. Ал гана турсун, контурдагы термелүү амплитудасы контурдагы энергиянын коромжуланышы булактан келген энергия менен так компенсацияланышы башталмайынча чоңоёт. Булактын чыңалуусу канчалык чоң болсо бул амплитуда да ошончолук чоң болот. Чыңалуунун чоңоюшу конденсаторду заряддоочу токту «терметкичинин» күчөшүнө алып келет.

Контурдагы термелүүнүн жыштыгы Томсондун формуласына ылайык индуктивдүүлүк  $L$  жана конденсатордун сыйымдуулугу  $C$  менен аныкталат:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

42



$L$  жана  $C$  кичине болгондо термелүү жыштыгы өтө чоң болот. Генератордо термелүүнүн пайда болгондугун (генератордун иштешин) вертикаль кыйшайтуучу пластинасына конденсатордон чыңалуу берилген осциллографтын жардамы менен байкоого болот.

Транзистордук генераторлор көптөгөн радиотехникалык түзүлүштөрдө: радио кабыл алгычтарда берүүчү радиостанцияларда, күчөткүчтөрдө ж. у. с. кеңири пайдаланылат. Алар азыркы электрондук эсептөөчү машиналарда да кеңири колдонулат.

**Автотермелүү системасынын негизги элементтери.** Транзисторлуу генератордун мисалында, көпчүлүк автотермелүү системалары үчүн мүнөздүү негизги элементтерди бөлүп көрсөтүүгө болот (42-сүрөт):

1. Өчпөөчү термелүүнү кармап туруучу энергиянын булагы (транзисторлуу генератордо бул турактуу чыңалуунун булагы).

2. Термелүү системасы, б. а. түздөн-түз термелүү болуп жаткан автотермелүү системасынын бөлүгү (транзисторлуу генератордо бул термелүү контуру).

3. Термелүү системасына берилүүчү энергияны жөнгө салып туруучу түзүлүш, — «клапан» (каралып жаткан генератордо «клапандын» ролун транзистор аткарат).

4. Термелүү системасы «клапанды» башкарып туруучу тескери байланыш (транзистордук генератордо бул контурдун катушкасы менен эмиттер — база чынжырындагы катушканын ортосундагы индуктивдүүлүк байланыш).

**Автотермелүү системасынын башка мисалдары.** Автотермелүү электрдик системада гана эмес, механикалык системада да болот. Мындай система болуп, маятниги же балансири (айланма термелүү жасоочу пружиналуу дөңгөлөкчө) бар кадимки сааттар эсептелет. Сааттарда энергиянын булагы болуп, көтөрүлгөн жүктүн же кысылган пружинанын потенциалдык энергиясы эсептелет.

Автотермелүү системаларына ажыратып-кошкучу бар электр конгуроосу, ышкырык, органдык трубалар жана ушуга окшогон көп нерселер кирет. Биздин жүрөгүбүз менен өпкөбүздү да автотермелүү системасы катары кароого болот.

\* \* \*

Мына ушуну менен биз механикалык жана электрдик термелүүлөрдү үйрөнүүнү аяктайбыз. Жаратылышы ар кандай болгон процесстердин жалпы мүнөздөрүнүн жана аларды туюндуруучу математикалык теңдемелеринин теңдештиги эң сонун. Бул теңдештиктик, биз көргөндөй термелүүнү окуп үйрөнүүнү абдан эле жеңилдетет.

#### Сууроолор

1. Активдүү каршылыгы  $R$  болгон термелүү контурунда резонанс учурунда ушундай эле активдүү каршылыгы болгон жана өзгөрмө чыңалуунун амплиту-



дасына барабар болгон турактуу чыңалуусу бар чынжырда ток күчүнүн амплитудасы турактуу токтон ашып кетиши мүмкүнбү?

2. Резонанс учурунда ток күчү менен чыңалуунун термелүүсүнүн фазалар айырмасы эмнеге барабар?

3. Кандай шартта контурдун резонанстын касиети даана байкалат?

4. Автотермелүү системасы деген эмне?

5. Автотермелүүнүн аргасыз жана эркин термелүүлөрдөн айырмасы эмнеде?

6. Жарым өткөргүчтөрдөгү  $p$ - $n$ -өтүүсүнүн касиеттерин баяндап бергиле.

7. Транзистор кандай түзүлгөн?

8. Автотермелүүнү генерациялоодо транзистордун ролу кандай?

9. Транзисторлуу генератордо тескери байланыш кантип жүзөгө ашырылат?

10. Автотермелүү системасынын негизги элементтерин көрсөткүлө.

11. Текстте айтылбаган автотермелүү системасынын мисалдарын келтиргиле.

## Маселелер чыгаруунун мисалдары

1. Термелүү контурундагы конденсатордун обкладкаларындагы максималдык заряд  $q_m = 10^{-6}$  Кл. Контурдагы ток күчүнүн амплитудалык мааниси  $I_m = 10^{-3}$  А. Термелүү мезгилин аныктагыла. Өткөргүчтөрдү ысытууга кеткен энергиянын коромжулануусун эске албагыла.

Чыгарылышы. Энергиянын сакталуу закону боюнча конденсатордун электр талаасынын энергиясынын максималдык мааниси катушканын магнит талаасынын энергиясынын максималдык маанисине барабар:

$$\frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2}$$

Мындан

$$LC = \frac{q_m^2}{I_m^2} \text{ же } \sqrt{LC} = \frac{q_m}{I_m}$$

Демек,

$$T = 2\pi \sqrt{LC} = 2\pi \frac{q_m}{I_m} \approx 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

2. Аянты  $S = 3000 \text{ см}^2$  рамка  $N = 200$  оромго ээ жана индукциясы  $B = 1,5 \cdot 10^{-2}$  Тл болгон бир тектүү магнит талаасында айланат. Рамкадагы максималдык ЭКК  $\varepsilon_m = 1,5$  В. Бир айлануунун убакытын аныктагыла.

Чыгарылышы. Бир оромдогу индукциянын ЭККнүн амплитудасы  $B S \omega$  га барабар.

Рамканын айрым оромдорунда пайда болгон ЭККтөрүн кошууга мүмкүн болгондуктан  $N$  оромго ээ болгон рамкадагы ЭККнүн амплитудасы үчүн

$$\varepsilon_m = NBS\omega$$

ны алабыз. Мындан

$$\omega = \frac{\varepsilon_m}{NBS}$$

Рамканын бир айлануусунун убакытын төмөнкүчө табууга болот:

$$1 \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi NBS}{\varepsilon_m} \approx 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ с.}$$

3. Индуктивдүү каршылыгы  $X_L = 500$  Ом катушка, жыштыгы  $\nu = 1000$  Гц болгон өзгөрмө чыңалуунун булагына туташтырылган. Чыңалуунун аракеттүү мааниси  $U = 100$  В. Чынжырдагы ток күчүнүн  $I_m$  амплитудасын жана катушканын  $L$  индуктивдүүлүгүн аныктагыла. Катушканын активдүү каршылыгын эске албагыла.

Чыгарылышы. Катушканын индуктивдүү каршылыгы

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L$$

формуласы менен туюнтулат. Мындан

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = 0,08 \text{ Гн.}$$

Чыңалуунун амплитудасы анын аракеттүү мааниси менен  $U_m = U\sqrt{2}$  катышы аркылуу байланышкандыктан, ток күчүнүн амплитудасы үчүн төмөнкүнү алабыз:

$$I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U\sqrt{2}}{X_L} = 0,28 \text{ А}$$

4. Жыштыгы  $\nu = 500$  Гц болгон өзгөрмө токту чынжырына индуктивдүүлүгү  $L = 10$  мГн катушка туташтырылган. Бул чынжырга кандай сыйымдуулуктагы конденсаторду туташтырганда резонанс байкалат?

Чыгарылышы. Маселенин шартында сөз кылынган электр чынжыры термелүү контурун элестетет. Бул чынжырда резонанс качан өзгөрмө токту жыштыгы термелүү контурунун өздүк жыштыгына барабар болгондо ( $\nu = \nu_0$ ) башталат.

Бирок

ошондуктан

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

болот. Мындан

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L \nu^2} \approx 10^{-5} \text{ Ф} = 10 \text{ мкФ.}$$

2-көнүгүү.

1. Термелүү контурунун конденсаторуна  $q = 10^{-5}$  Кл зарядын бергенден кийин өчүүчү термелүү пайда болот. Термелүү толук өчкөнгө чейин контурда

кандай жылуулук саны бөлүнүп чыгат? Конденсатордун сыйымдуулугу  $C = 0,01$  мкФ.

2. Термелүү контуру индуктивдүүлүгү



$L=0,003$  Гн болгон катушкадан жана бири биринен  $d=0,3$  мм аралыкта жайланышкан, радиусу  $r=1,2$  см диска түрүндөгү эки пластиналуу жалпак конденсатордон турат. Контурдагы эркин термелүүнүн мезгилин аныктагыла. Конденсатордун обкладкаларынын арасындагы мейкиндикти диэлектрдик өткөрүмдүүлүгү  $\epsilon=4$  болгон диэлектрик менен толтурганда мезгил кандай болот?

3. Термелүү жыштыгы 400 Гц тең 500 Гц ке чейин өзгөрүшү үчүн термелүү контурундагы катушканын индуктивдүүлүгү кайсы чекте өзгөрүүгө тийиш? Конденсатордун сыйымдуулугу 10 мкФ.

4. Эгерде айлануу жыштыгы 50 айл/с, рамканын аянты 100 см<sup>2</sup>, магниттик индукциясы 0,2 Тл болсо, бир тектүү магнит талаасында айлануучу рамкада

пайда болгон ЭККнүн амплитудасын тапкыла

5. Аянты  $S=100$  см<sup>2</sup> болгон зым рамкасында амплитудасы  $\epsilon_m=1,4$  В болгон индукциянын ЭКК дүүлүктүрүлөт, рамкадагы оромолордун саны  $N=200$ . Рамка индукциясы  $B=0,15$  Тл болгон бир тектүү магнит талаасында турактуу айлануу саны менен айланат. Рамканын тегиздиги баштапкы моментте  $\vec{B}$  векторуна перпендикулярдуу. Кыймыл башталгандан  $t=0,1$  с убакыт өткөндөн кийин рамкадагы индукциянын ЭКК ени аныктагыла.

6. Индуктивдүүлүгү  $L=0,08$  Гн катушка, жыштыгы  $\nu=1000$  Гц болгон өзгөрмө чыңалуунун булагына туташтырылган. Чыңалуунун аракеттүү мааниси  $U=100$  В.

Чынжырдагы токун амплитудасы  $I_m$ ди аныктагыла.

## 2-главанын кыскача жыйынтыктары

Электрдик термелүүлөрдө электр зарядынын, ток күчүнүн жана чыңалуунун мезгилдүү өзгөрүшү болуп турат.

Электрдик термелүүлөр эркин, аргасыз жана автотермелүүлөргө бөлүнөт.

Эркин электр термелүүсү байкалган жөнөкөй система болуп, термелүү контуру эсептелет. Ал зым катушкасынан жана конденсатордон турат. Конденсатордун сыйымдуулугуна тескери болгон чоңдук механикалык термелүүлөрдөгү пружинанын катуулугунун ролуна окшош ролду, ал эми катушканын индуктивдүүлүгү — термелүүчү телонун массасынын ролун аткарат. Электр термелүүлөрүн туюндуруучу теңдемелер механикалык термелүүлөрдү туюндуруучу теңдемелер сыяктуу эле формага ээ. Кичине активдүү каршылыгы  $R$  болгон контурдагы эркин гармоникалык термелүүнүн мезгили Томсон формуласы боюнча аныкталат:

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

мында  $L$  — катушканын индуктивдүүлүгү,  $C$  — конденсатордун электр сыйымдуулугу.

Контур каршылыкка ээ болгондуктан убакыттын өтүшү менен термелүү өчөт.

Аргасыз термелүү, б. а. өзгөрмө электр тогу чынжырда мезгилдүү сырткы чыңалуунун аракети астында пайда болот. Чыңалуу менен ток күчүнүн ортосунда, жалпы учурда, фазалык жылышуу орун алат.  $R$  активдүү каршылыкта бул фазалык жылышуу нөлгө барабар. Конденсатордо ток күчүнүн термелүүсү чыңалуунун термелүүсүнөн  $\frac{\pi}{2}$  ге алдыда, ал эми катушкадагы ток кү-

чүнүн термелүүсү чыңалуунун термелүүсүнөн  $\frac{\pi}{2}$  ге артта калат. Өзгөрмө токко карата конденсатордун каршылыгы (сыйымдуулук каршылыгы) төмөнкү формула менен аныкталат:

$$X_C = \frac{1}{C\omega},$$

ал эми өзгөрмө токко карата катушканын индуктивдүү каршылыгы (индуктивдүү каршылык)

$$X_L = L\omega$$

формуласы менен аныкталат.

Сырткы өзгөрмө чыңалуунун жыштыгы термелүү контурунун өздүк жыштыгы менен дал келгенде резонанс — ток күчүнүн аргасыз термелүүсүнүн амплитудасынын кескин чоңоюшу байкалат. Резонанс контурдун активдүү каршылыгы кичине болсо гана ачык байкалат. Ток күчүнүн термелүүсү менен чыңалуунун термелүүсүнүн фазалык жылышуусу резонанс учурунда нөлгө барабар. Резонанс учурундагы ток күчүнүн калыптанган термелүүсүнүн амплитудасы

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

байланышы менен аныкталат.

Ток күчүнүн чоңоюшу менен бирге конденсатордогу жана катушкадагы чыңалуулар да кескин чоңоёт. Электрдик резонанс кубулушу радиобайланыштарында пайдаланылат. Радио кабыл алгычтын термелүү контуру антеннада дүүлүккөн бардык термелүүлөрдүн ичинен жыштыгы контурдун өздүк жыштыгына барабар болгон термелүүлөрдү бөлүп алат.

Автотермелүү транзисторлуу генератордун термелүү контурунда турактуу чыңалуудагы булактын энергиясынын эсебинен пайда болот. Генератордо транзистор, б. а. эмиттер, база, коллектор жана эки  $p-n$ - өтүүсү бар жарым өткөргүчтүк түзүлүш пайдаланылат. Контурдагы термелүү эмиттер менен базанын ортосундагы чыңалуунун термелүүсүн пайда кылса, ал өз кезегинде термелүү контурундагы ток күчүн жөнгө салып турат (тескери байланыш). Чыңалуунун булагынан контурдун резисторундагы коромжуланган энергияны компенсациялоочу энергия берилип турат.



## Электр энергиясын өндүрүү, аралыкка берүү жана пайдалануу

### 19. Электр энергиясын өндүрүү

Электр энергиясы энергиялардын башка түрлөрүнө караганда талашсыз артыкчылыктарга ээ. Аны өткөргүчтөр аркылуу анчалык чоң эмес жоготуу менен өтө алыс аралыктарга берүүгө болот, ошондой эле ал талап кылынуучу жерлерге оной бөлүштүрүлөт. Эң негизгиси, бул энергияны жетишээрлик жөнөкөй түзүлүштөрдүн жардамы менен башка формадагы энергияларга: механикалык, ички (жылуулук), жарык энергиясы ж. б. энергияларга айландырууга болот. *Өзгөрмө токтун* турактуу токтон айырмасы аны дээрлик коромжуга учуратпай туруп чыңалууну жана ток күчүн эң кеңири өлчөмдө өзгөртүп түзүүгө (трансформациялоого) болгондугунда. Мындай өзгөртүүлөр көпчүлүк электрдик жана радиотехникалык түзүлүштөр үчүн зарыл. Чыңалуунун жана токтуун трансформацияланышынын өзгөчө зарылдыгы электр энергиясын алыс аралыктарга берүүдөн келип чыгат.

Электр тогу — тигил же бул түрдөгү энергияны электр энергиясына айландыруучу түзүлүштө — *генераторлордо* иштелип чыгат. Генераторлорго гальваникалык элементтер, электростатикалык машиналар, термобатареялар<sup>1</sup> күн батареялары ж. у. с. кирет. Генераторлордун принципалдуу жаңы типтерин түзүү мүмкүндүгү изилденип жатат. Мисалы, суутектин кычкылтек менен болгон реакцияларында химиялык энергия түздөн-түз электр энергиясына айлануучу отун элементтери деп аталган генераторду түзүү жүргүзүлүп жатат. Магнетогидродинамикалык генераторлорду (МГД-генераторлору) түзүү иштери ийгиликтүү жүрүп жатат. МГД-генераторунда магнит талаасында кыймылдоочу өтө ысытылып иондоштурулган газ агымынын (плазманын) механикалык энергиясын түздөн-түз электр энергиясына айландырат.

Жогоруда саналып кеткен электр энергиясынын генераторлорунун түрлөрүнүн ар биринин колдонулуу областы алардын мүнөздөмөлөрү менен аныкталат. Мисалы, электростатикалык машиналар бир топ чоң потенциалдардын айырмасын пайда кылат, бирок алар чынжырда жетишээрлик өлчөмдөгү ток күчүн пайда кылууга жөндөмсүз. Гальваникалык элементтер чоң ток бере алышат, бирок алардын аракети аз гана убакытка созулат.

Азыркы кезде өзгөрмө токтуун *электромеханикалык индукция-*

<sup>1</sup> Термобатареяларда ЭККүн түзүү үчүн, контакттардагы температуралардын эсебинен бирдей эмес материалдардын эки контактуу касиетин пайдаланышат.

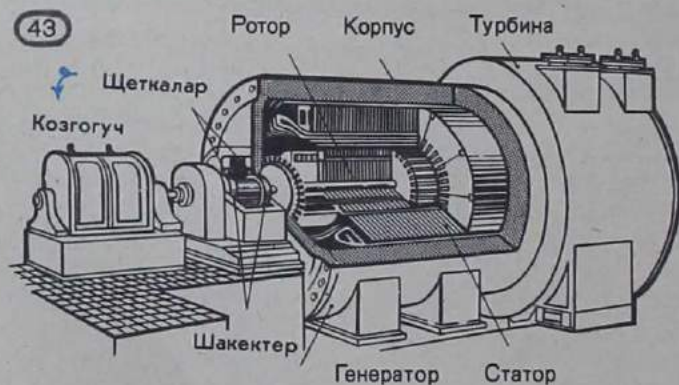
лык генератору өзгөчө мааниге ээ. Бул генераторлордо механикалык энергия электр энергиясына айланат. Алардын аракети электромагниттик индукция кубулушуна негизделген. Мындай генераторлор салыштырмалуу жөнөкөй түзүлүштө болушуп, жетишээрлик жогорку чыналууда чоң токту алууга мүмкүндүк берет.

Мындан ары, биз генератор жөнүндө сөз кылганда, индукциялык электромеханикалык генераторлор деп гана түшүнөбүз.

**Өзгөрмө токтун генератору.** Өзгөрмө токтун генераторунун иштөө принциби § 10 та каралып кеткен болучу.

Азыркы кезде индукциялык генераторлордун ар кандай көп типтери бар. Бирок алардын бардыгы бирдей негизги бөлүктөрдөн турат. Бул, *биринчиден*, магнит талаасын пайда кылуучу турактуу магнит же электромагнит, *экинчиден*, өзгөрмө ЭКК индукциялануучу түрмөк (каралып өткөн генератордун моделинде ал айлануучу рамка). Удаалаш туташтырылган оромолордогу ЭКК кошулгандыктан, рамкадагы индукциянын ЭККнүн амплитудасы андагы оромолордун санына пропорциялаш. Ошондой эле ал ар бир оромо аркылуу өтүүчү өзгөрмө магнит агымынын амплитудасы  $\Phi_m = BS$ ке пропорциялаш (§ 13 ты карагыла).

Генераторлордо чоң магниттик агымды алуу үчүн электротехникалык болоттон жасалган эки өзөгү бар атайын магниттик система колдонулат. Магнит талаасын түзүүчү оромолор өзөкчөнүн бирөөнүн оюгунда, ал эми ЭКК индукциялануучу оромолор экинчисинин оюгунда жайланыштырылган. Өзөкчөлөрдүн бирөө (адатта ичкиси) өзүнүн оромосу менен бирге горизонталь же вертикаль октун айланасында айланат. Ошондуктан ал *ротор* (же *якорь*) деп аталат. Кыймылсыз өзөкчө, анын оромосу менен бирге *статор* (же индуктор) деп аталат. Статор менен ротордун арасындагы жылчыкты мүмкүн болушунча кичине жасоо керек. Муну менен магниттик индукциянын агымынын эң чоң мааниси камсыз кылынат.



(3.2)



Болот өзөкчөлөр өткөргүчтөр болгондуктан, генератор иштеген кезде, аларда зыян келтирүүчү куюндуу токтор индукцияланат. Бул токтор өзөкчөнү пайдасыз ысытат. Энергиянын мындай коромжуланышы генератордун ПАКнин кичирейишине алып келет. Куюндуу токторду начарлатуу жана энергиянын коромжуланышын азайтуу үчүн генераторлордун өзөкчөлөрүн бири биринен изоляцияланган болоттун айрым-айрым пластиналарынан бириктирип жасашат.

19-сүрөттө көрсөтүлгөн генератордун моделине *ротор* болуп эсептелген зым рамкасы (темир өзөкчөсү жок) айланат. Магнит талаасын кыймылсыз турактуу магнит түзөт. Албетте, тескерисинче жасоого, б. а. магнитти айландырып, ал эми рамканы кыймылсыз, ордунда калтырууга да болор эле.

Өндүрүштүк ири генераторлордо ротор болуп кызмат кылган электромагнит айланат. Ал эми ЭКК пайда болуучу оромолор статордун оюктарында жайгаштырылып, кыймылсыз калышат. Иштин жөнү мындай. Токту роторго алып келүүнү, же аны ротордун түрмөктөрүнөн сырткы чынжырга алып кетүүнү жылмышып туруучу контакттын жардамы менен аткарууга туура келет. Бул үчүн ротор түрмөктөрүнүн учтарына бириктирилген *контакттык шакекчелер* менен жабдылат (43-сүрөт). Шакекчелерге кысылып турган кыймылсыз пластиналар — *щёткалар* ротордун түрмөктөрү менен сырткы чынжырды байланыштырат. Магнит талаасын түзүүчү электромагниттин оромосундагы ток күчү генератор сырткы чынжырга берүүчү ток күчүнөн бир кыйла кичине. Ошондуктан, пайда болуучу токту кыймылсыз оромолордон алып кетүү, ал эми жылмышуучу контакт аркылуу айлануучу электромагнитке салыштырмалуу начар токту алып келүү ыңгайлуу. Бул ток ошол эле валга жайгаштырылган турактуу токту бөлөк генератору (дүүлүктүргүчү) тарабынан иштелип чыгат<sup>1</sup>.

Кичине кубаттуу генераторлордо магнит талаасын айлануучу турактуу магнит пайда кылат. Мындай учурда шакекче менен щётканын таптакыр кереги жок.

Статордун кыймылсыз оромолорунда ЭККнүн пайда болушу, ротордун айлануу учурунда магниттик агымдын өзгөрүшүнөн аларда куюндуу электр талаасынын келип чыгышы менен түшүндүрүлөт.

Эгерде бир тектүү магнит талаасында жалпак рамка айланса, анда генерацияланган ЭККнүн мезгили рамканын айлануу мезгилине барабар болот. Бул дайыма эле ыңгайлуу эмес. Мисалы, жыштыгы 50 Гц болгон өзгөрмө токту алуу үчүн рамка бир тектүү магнит талаасында 50 айл/с, б. а. 3000 айл/мин жасоого тийиш. Ушундай эле айлануу жыштыгы эки уюлдуу турактуу магнитти, же эки уюлдуу электромагнитти айландырганда талап кылынат. Чынында эле, статордун түрмөгүнүн оромолорун кесип

<sup>1</sup> Азыркы кезде ротордун түрмөгүнө турактуу токту көп учурда ушул эле генератордун статорунун түрмөгүнөн түзөткүч аркылуу беришет.

өтүүчү магниттик агымдын өзгөрүү мезгили  $1/50$  с болуу керек. Ал үчүн ротордун ар бир уюлу, оромолордун жанынан секунда-сына 50 жолу өтүүгө тийиш. Эгерде ротор үчүн 2, 3, 4 ... жуп уюлдуу электромагниттерди пайдалансак, анда айлануу ылдамдыгын тиешелүү өлчөмдө төмөндөтүүгө болот. Бул учурда пайда болгон токтун мезгили ротордун айлануусу үчүн зарыл болгон айлананын  $1/2, 1/3, 1/4, \dots$  үлүштөрүнө туура келүүчү убакытка дал келет. Демек, роторду 2, 3, 4, ... эсе жайыраак айландырууга болот. Бул генераторду жай жүрүүчү кыймылдаткычтар менен, мисалы, гидравликалык турбиналар менен айлануу кыймылына келтирилгенде чоң мааниге ээ. Волгадагы Углич ГЭСинин генераторлорунун роторлору 62,5 айл/мин жасайт жана 48 жуп уюлдуу.

## 20. Трансформатор

**Трансформатордун арналышы.** Электростанциялардын кубаттуу генераторлорунун ЭКК адатта өтө чоң болушат. Бирок, практикада көпчүлүк учурда анчалык чоң эмес чыңалуу талап кылынат. Өзгөрмө токту, анын кубаттуулугун дээрлик жоготпой чыңалуусун бир нече эсе жогорулатып же төмөндөтүп өзгөртүү, *трансформаторлордун* жардамы менен ишке ашырылат.

Биринчи жолу трансформаторлор 1878-жылы орус окумуштуусу П. Н. Яблочков тарабынан, ал өзү ойлоп чыгарган жана ошол кезде жарыктын жаңы булагы болгон «электр шамын» азыктандыруу үчүн пайдаланган. П. Н. Яблочковдун идеясын Москва университетинин кызматкери И. Ф. Усагин улантып, ал өркүндөтүлгөн трансформаторлорду түзгөн.

**Трансформатордун түзүлүшү.** Трансформатор зым орому бар эки катушка (кээде андан да көбүрөөк) кийгизилген туюк болот өзөкчөсүнөн турат (47-сүрөт). *Биринчи* деп аталган түрмөктүн бири өзгөрмө чыңалуунун булагына туташтырылат. «Нагрузка», б. а. электр энергиясын талап кылуучу приборлор жана түзүлүштөр туташтырыла турган экинчи түрмөк, *экинчи* деп аталат. Эки оромдуу трансформатордун түзүлүш схемасы 45-сүрөттө, ал эми анын шарттуу белгилениши 46-сүрөттө келтирилген.

**Трансформатордун курулай иштеши.** Трансформатордун иштеши электромагниттик индукция кубулушуна негизделген. Биринчи түрмөк боюнча өзгөрмө ток өткөндө темир өзөкчөдө түрмөктүн ар биринде индукциянын ЭККүн дүүлүктүрүүчү өзгөрмө магнит агымы пайда болот.

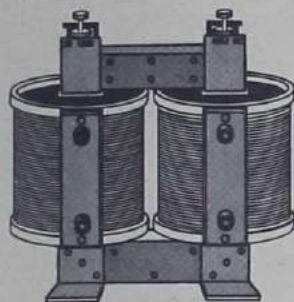
Трансформатордук болоттон жасалган өзөкчө, магниттик агым дээрлик бүт бойдон өзөкчөнүн ичинде жана анын бардык кесилиштеринде бирдей болгондой кылып магниттик талааны концентрациялайт.

Индукциянын ЭККүн кирпик каккыча болгон  $e$  мааниси биринчи же экинчи түрмөктүн кайсынысында болсо да бирдей. Фарадей законуна ылайык ал төмөнкү формула менен аныкталат:

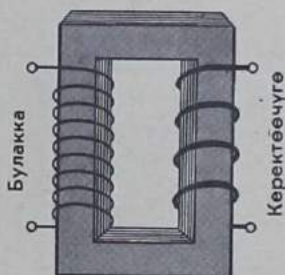
$$e = -\Phi', \quad (3.1)$$



44



45



мында  $\Phi'$  — магниттик индукция агымынын убакыт боюнча туундусу. Эгерде  $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$  болсо, анда

$$\Phi' = -\omega \Phi_m \sin \omega t. \quad (3.2)$$

Демек, 
$$e = \omega \Phi_m \sin \omega t,$$

же 
$$e = \mathcal{E}_m \sin \omega t, \quad (3.3)$$

мында  $\mathcal{E}_m = \omega \Phi_m$  — бир оромдогу ЭККнүн амплитудасы.

$N_1$  оромго ээ болгон биринчи түрмөктөгү  $e_1$  индукциянын толук ЭКК  $N_1 e$  ге барабар. Экинчи түрмөктө толук ЭКК  $e_2$  болсо,  $N_2 e$  ге барабар (мында  $N_2$  — бул түрмөктөгү оромдун саны). Мындан төмөнкү келип чыгат:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3.4)$$

Адатта трансформатордун оромдорунун активдүү каршылыгы аз, демек, аны эске албасак да болот. Бул учурда катушканын кыскачтарындагы чыңалуунун модулу болжол менен индукциянын ЭКК модулуна барабар:

$$|u_1| \approx |e_1|. \quad (3.5)$$

Трансформатордун экинчи түрмөгү ажыратылган учурда ток андан өтпөйт жана төмөнкү катыш орун алат:

$$|u_2| = |e_2|. \quad (3.6)$$

ЭККнүн кирпик каккыча болгон  $e_1$  жана  $e_2$  маанилери синфазалуу өзгөрүшөт (бир убакта максимумга жетишет жана бир убакта нөл аркылуу өтүшөт). Алардын (3.4) формуласы боюнча катышын бул ЭККнүн аракеттүү маанилеринин  $\mathcal{E}_1$  жана  $\mathcal{E}_2$  катышы менен алмаштырууга же (3.5) жана (3.6) барабардыктарын эске алып,  $U_1$  жана  $U_2$  чыңалууларынын аракеттүү маанилеринин катышы менен алмаштырууга болот:

46



$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} = K. \quad (3.7)$$

К чоңдугу трансформациялоо коэффициенттери деп аталат.  $K > 1$  болгондо трансформатор төмөндөтүүчү, ал эми  $K < 1$  болгондо жогорулатуучу болуп эсептелет.

**Нагрузкалуу трансформатордун иштеши.** Эгерде экинчи оромдун учтарына электр энергиясын керектөөчү чынжырды туташтырсак, же айтылып жүргөндөй, трансформаторго нагрузка берсек, анда экинчи оромдогу ток күчү нөлгө барабар болбой калат. Пайда болгон ток Ленц эрежеси боюнча өзөкчөдө баштапкы магниттик агымдын өзгөрүшүн азайтуучу өзүнүн өзгөрмө магниттик агымын пайда кылат.

Бирок натыйжалоочу магниттик агымдын термелүү амплитудасынын кичирейиши, өз кезегинде, биринчи оромдогу индукциянын ЭКК кичирейтүүгө тийиш. Бирок бул мүмкүн эмес, анткени (3.5) ке ылайык  $|u_1| \approx |e_1|$ . Ошондуктан экинчи оромдун чынжыры туюкталганда автоматтык түрдө биринчи оромдогу ток күчү чоңоёт. Анын амплитудасы натыйжалоочу магниттик агымдын термелүү амплитудасынын мурдагы маанисин калыбына келтиргендей болуп чоңоёт.

Биринчи оромдун чынжырындагы ток күчүнүн көбөйүшү энергиянын сакталуу законуна ылайык келет: трансформатордун экинчи оромуна туташтырылган чынжырга электр энергиясынын берилиши менен биринчи оромго ошондой эле энергиянын тармактардан керектөөсү коштолот. Трансформаторго нагрузка берген кездеги биринчи чынжырдагы кубаттуулук, болжол менен экинчи чынжырдагы кубаттуулукка барабар болууга тийиш:

$$\text{Мындан} \quad U_1 I_1 \approx U_2 I_2. \quad (3.8)$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}. \quad (3.9)$$

Бул болсо трансформатордун жардамы менен чыңалууну канча эсеге жогорулатсак, ошончо эсеге ток күчү кичирее тургандыгын (жана тескерисинче) билдирет.

Азыркы кездеги кубаттуу трансформаторлордо энергиянын суммардык коромжуланышы 2—3% тен ашпайт.

## 21. Электр энергиясын өндүрүү жана пайдалануу

Биз жашап жаткан доордо энергияны өндүрүү жана керектөө деңгээли<sup>1</sup> — коомдун өндүргүч күчтөрүнүн өнүгүшүнүн башкы

<sup>1</sup> Албетте, энергиянын өзү жоголбойт. Энергетиктердин милдети болуп керектөө үчүн көбүрөөк ыңгайлуу формадагы энергияны алуу эсептелет. Энергияны керектөө процессинде ал эң акырында, негизинен ички энергияга өтөт.



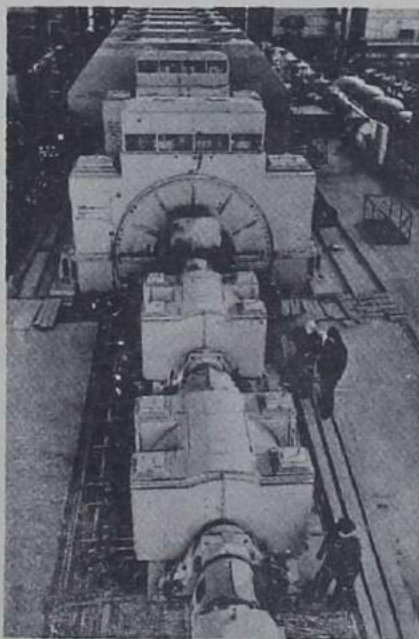
көрөткүчү болуп эсептелет. Мында башкы ролду — эң универсалдуу жана пайдаланууга ыңгайлуу болгон энергиянын формасы — электр энергиясы ээлейт. Эгерде дүйнөдө энергияны керектөө болжол менен 25 жылдын ичинде эки эсе көбөйсө, анда электр энергиясын керектөө орто эсеп менен 10 жылдын ичинде эки эсе көбөйөт. Бул энергия ресурстарын сарп кылуу менен байланышкан көп сандаган процесстер улам барган сайын электр энергиясын пайдалануу менен алмаштырылып жаткандыгын билдирет.

**Электр энергиясын өндүрүү.** Электр энергиясы чоң жана кичине электр станцияларында негизинен индукциялык генераторлордун жардамы менен өндүрүлөт. Электр станциянын эки негизги тиби бар: жылуулук жана гидроэлектрдик. Бул электр станциялар генераторлордун роторлорун айландыруучу кыймылдаткычтардын мүнөзү менен айырмаланышат.

*Жылуулук электр станцияларында* энергиянын булагы болуп отундар: көмүр, газ, нефть, мазут, күйүүчү сланецтер эсептелет. Электр генераторлорунун роторлору буу жана газ турбиналары, же ичинен күйүүчү кыймылдаткычтар менен айланууга келтирилет. Ири буу турбиналуу жылуулук электр станциялары (кыскача ТЭС) бир кыйла үнөмдүү болуп эсептелет. Биздин өлкөдөгү көпчүлүк ТЭСларында отун катары көмүр чандары пайдаланылат. 1 кВт·саат электр энергиясын өндүрүү үчүн бир нече жүз грамм көмүр сарп кылынат.

Отун бөлүп чыгарган энергиянын 90%тен ашыгыраагы буу казанында бууга берилет. Турбинада буунун агымынын кинетикалык энергиясы роторго берилет. Турбинанын валы генератордун валы менен бекем бириктирилген. Буу турбогенераторлору өтө тез айланат: айлануу саны минутасына бир нече миңди түзөт.

IX класстын физика курсунан жылуулук кыймылдаткычтарынын ПАК жумушчу телонун баштапкы температурасынын өсүшү менен көбөйөрү белгилүү. Ошондуктан турбинага келүүчү буу жогорку параметрлерге чейин: температурасы 550°C ге жана басымы 25 МПа га чейин жеткирилет. ТЭСтин пайдалуу аракет коэффициенти 40%ке жетет. Энергиянын басымдуу бөлүгү иштелип чыккан



Кубаттуулугу 1 млн. 200 миң кВт болгон Костромск ГРЭСинин энергоблугу

ысык буу менен кошо жоголот. Энергиянын айланышы 47-сүрөттө келтирилген схемада көрсөтүлгөн.

*Теплоэлектроцентрль* (ТЭЦ) деп аталган атайын жылуулуку станциялары, иштелген буунун энергиясынын орчундуу бөлүгүн өнөр жай ишканалары менен тиричилик керектөөлөрү (үйлөрдү жылытуу жана ысык суу менен жабдуу) үчүн пайдаланууга мүмкүндүк берет. Натыйжада ТЭЦтин ПАК 60—70%ке чейин жетет. Азыркы кезде биздин өлкөдө ТЭЦтер бардык электр энергияларынын 40%ке жакын бөлүгүн берет жана 800 дөн ашык шаарларды электр энергиясы жана жылуулуку менен камсыз кылат.

Советтер Союзу теплофикациялоо боюнча дүйнөлүк энергетикада алдыңкы орунда турат.

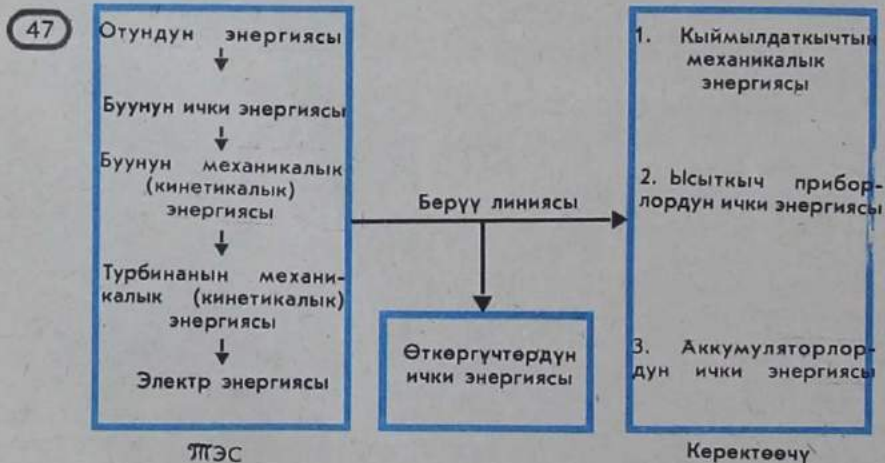
*Гидроэлектр станцияларында* (ГЭС) генераторлордун роторлорун айландыруу үчүн суунун потенциалдык энергиясы пайдаланылат. Электр генераторлорунун роторлору гидравликалык турбиналар менен айланууга келтирилет. Станциянын кубаттуулугу плотина түзгөн суунун деңгээлинин айырмасына (напор — кысылган суунун басымы) жана бир секундада турбина аркылуу өткөн суунун массасына (суунун сарпталышы) көз каранды. Энергиянын айланышы 48-сүрөттө келтирилген схемада көрсөтүлгөн.

Гидроэлектр станциялар биздин өлкөдө өндүрүлгөн бардык электр энергиясынын 20%ин берет.

Энергетикада чоң ролду улам барган сайын *атом электр станциялары* (АЭС) ойноп жатат.

Азыркы кезде биздин өлкөнүн АЭС бардык өндүрүлгөн электр энергиясынын 10%ке жакынын берет.

**Электр энергиясын пайдалануу.** Биздин өлкөдө электр энер-







гиясынын башкы керектөөчүсү болуп, өнөр жайы эсептелет. Анын үлүшүнө электр энергиясынын 70% туура келет. Ошондой эле ири керектөөчүлөрдөн болуп транспорт эсептелет. Темир жол линиясынын улам көбүрөөк саны электр менен иштөөгө өткөрүлүп жатат. Дээрлик бардык колхоздор менен совхоздор өндүрүштүк жана тиричилик керектөөлөрү үчүн электр энергиясын мамлекеттик электр станциялардан алышат. Турак жайларды жарыктандырууда жана тиричилик электр приборлорунда электр энергиясынын пайдаланыла тургандыгы жөнүндө ар бирибиз билебиз.

Пайдаланылуучу электр энергиясынын басымдуу бөлүгү азыр механикалык энергияга айландырылат. Өнөр жайындагы дээрлик бардык механизмдер электр кыймылдаткычтары менен кыймылга келтирилет. Алар ыңгайлуу, компакттуу, өндүрүштү автоматташтырууга мүмкүндүк берет.

Өнөр жайы керектөөчү электр энергиясынын үчтөн бир бөлүгүнө жакыны технологиялык максаттар (электр менен ширетүү, электрдик ысытуу жана металлдарды эритүү, электролиз ж. у. с) үчүн пайдаланылат.

## 22. Электр энергиясын аралыкка берүү

Электр энергиясын керектөөчүлөр бардык жерде бар. Ал эми электр энергиясы отундун жана гидроресурстардын булактарына жакын жерде гана өндүрүлөт. Электр энергиясын көп өлчөмдө сактап турууга болбойт. Ал өндүрүлгөндөн кийин ошол замат эле пайдаланылууга тийиш. Ошондуктан электр энергиясын алыскы аралыктарга берүү зарылдыгы келип чыгат. Мындай берүү бир кыйла жоготуулар менен байланыштуу. Анткени электр берилүүчү линиядагы өткөргүчтөр аркылуу электр тогу өткөндө аны ысытат. Джоуль — Ленц законуна ылайык линиядагы өткөргүчтү

ысытууга кеткен энергия

$$Q = I^2 R t$$

формуласы менен аныкталат, мында  $R$  — линиянын каршылыгы. Линия өтө узун болгондо энергияны берүү экономикалык жактан таптакыр пайдасыз болуп калышы мүмкүн. Практикада линиянын каршылыгын жетишээрлик азайтуу өтө кыйын. Ошондуктан ток күчүн азайтууга туура келет.

Токтун кубаттуулугу ток күчүнүн чыңалууга болгон көбөйтүндүсүнө пропорциялаш болгондуктан, берилүүчү кубаттуулукту сактоо үчүн берүү линиясындагы чыңалууну жогорулатуу керек. Берүү линиясы канчалык алыс болсо, жогорку чыңалууну пайдалануу ошончолук үнөмдүү болот. Мисалы, *КПССтин XXII съезди атындагы Волжск ГЭСи менен Москванын арасындагы жогорку вольттуу электр берүү линиясында 500 кВ чыңалуу пайдаланылат. Ал эми өзгөрмө токту генератору 16—20 кВ тон ашпаган чыңалууга гана эсептелип турат. Анткени чыңалуу андан чоң болгондо оромду жана генератордун башка бөлүктөрүн изоляциялоо үчүн бир кыйла татаал чараларды көрүүгө туура келмек.*

Ошондуктан ири электр станцияларда жогорулатуучу трансформаторлорду коюшат. Трансформатор линиядагы чыңалууну канча эсе жогорулатса ток күчүн ошончо эсе төмөндөтөт.

Станоктордун электр менен кыймылга келтирилүүчү кыймылдаткычтарында, жарык берүүчү тармактарда жана башка максаттарда электр энергиясын түздөн-түз пайдалануу үчүн, линиянын учтарындагы чыңалууну төмөндөтүү керек. Бул, төмөндөтүүчү трансформаторлордун жардамы менен жетишилет.

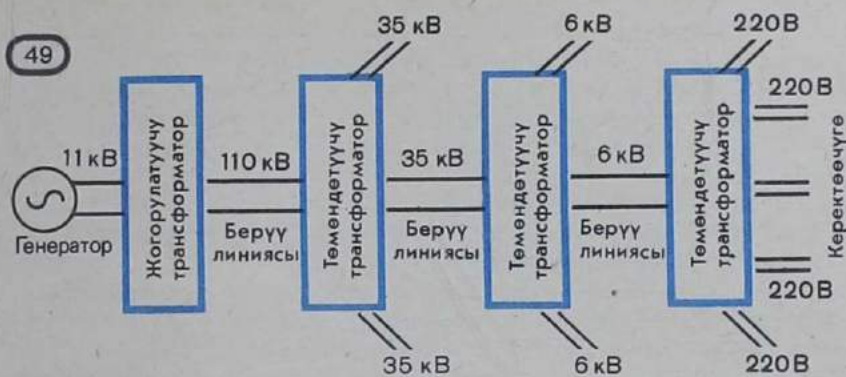
Чыңалууну төмөндөтүү жана ага жараша ток күчүн көбөйтүү бир нече этап менен жүргүзүлөт. Ар бир этап сайын чыңалуу улам төмөндөп, ал эми электр тармагы кучагына алган аймак улам кеңейип отурат. Электр энергиясынын берилишинин жана бөлүштүрүлүшүнүн схемасы 49-сүрөттө келтирилген.

Өтө жогорку чыңалууларда өткөргүчтөрдүн арасында энергияны коромжуга алып келген таажылуу разряд башталат. Өзгөрмө чыңалуунун мүмкүн болгон амплитудасы, өткөргүчтүн берилген жоондугунда энергиянын таажылуу разряддан бол-



Саяно-Шушенск ГЭСинин электр энергиясын берүүнүн таяныч линиясы.





гон коромжусу эң аз болгондой кылып алынышы керек. Өлкөбүздүн бир катар райондорунун электр станциялары жогорку вольттуу линиялар менен туташтырылып, аларга электр энергиясын керектөөчүлөр бириктирилген жалпы электр тармагын түзүшөт. Мындай биригүү *энергосистема* деп аталат. Ал эртен мененки жана кечки сааттарда энергияны керектөөнүн «өркөчүн» тегиздөөгө мүмкүндүк берет. Энергосистема энергияны керектөөчүлөргө алардын жайланышкан орундарына карабастан, үзгүлтүксүз камсыз кылып турат. Азыр Советтер Союзунун дээрлик бардык территориясын биргелешкен энергетикалык системалар электр энергиясы менен камсыз кылып турат. СССРдин Европа бөлүгүндө Бирдиктүү энергетикалык система ишке киргизилген.

Электр энергиясынын 1%ке коромжуланышы биздин өлкө үчүн жарым миллион сомго жакын зыян келтирет.

### 23. СССРди электрлештирүүнүн ийгиликтери жана келечеги

1920-жылы биринчи жолу адам баласынын тарыхында электрлештирүүнүн негизинде эл чарбасын өнүктүрүүнүн перспективдүү планы — ГОЭЛРО (Государственный план электрификации России — Россияны электрлештирүүнүн мамлекеттик планы) кабыл алынган. Планды иштеп чыгуунун демилгечиси жана шыктандыруучусу В. И. Ленин болгон. Ал өлкөнүн экономикасын кайра курууда электрлештирүүгө чечүүчү маани берген.

В. И. Ленин мындай деген: «Өлкөбүз электрлешкен кезде гана, өнөр жай, айыл чарба жана транспорт азыркы замандын ири өнөр жайлык техникасынын базасында куралданган кезде гана, дал ошол кезде гана биз биротоло жеңип чыгабыз»<sup>1</sup>.

Өткөн жарым кылым — лениндик идеялардын улуу күчүнүн ишенимдүү күбөсү. Өнөр жай өндүрүшүн эки эсеге жана 1913-жылга салыштырмалуу электр энергиясын иштеп чыгууну 4 эсеге

<sup>1</sup> Ленин В. И. Чыгармалар, кыргызча басылышы. — Фрунзе: Кыргызстан мамлекеттик басмасы, 1958, 31-т., 572-бет.

көбөйтүүнү караган ГОЭЛРО планы, белгиленген мөөнөттө (10 жылдан кийин) бардык көрсөткүчтөрү боюнча ашыгы менен аткарылды. Электрлештирүүнүн темпин жылдан жылга жогорулатып, Советтер Союзу 1947-жылы электр энергиясын өндүрүү боюнча Европада биринчи орунга жана дүйнөдө экинчи орунга чыкты.

Азыр бир күндө биздин өлкөдө 1921-жылга — ГОЭЛРО планын аткарууну биринчи жылына салыштырганда электр энергиясы болжол менен 6 эсе көп өндүрүлүп жатат.

Биздин өлкөдө өтө чоң кубаттуулуктагы гидравликалык, жылуулук жана атом электр станциялары курулду.

Азыркы эң ири ГЭС болуп Саяно-Шушенск ГЭСи эсептелет. Бул станциянын жалпы кубаттуулугу 6400 млн. Вт ка жетет. Азыр Советтер Союзунда кубаттуулугу 3 млн. Вт тан ашкан көп сандагы электр станциялар эксплуатацияланып жатат. Экибастуз ГРЭС-1<sup>1</sup> и 4000 млн. Вт кубаттуулукка ээ. Ал биздин өлкөдөгү азыркы кездеги эң ири жылуулук электр станциясы болуп эсептелет.

Сибирдин жана Орто Азиянын энергосистемаларын өлкөнүн Европа бөлүгүнүн энергосистемасына бириктирүү менен Советтер Союзунун Бирдиктүү энергетикалык системасын түзүү иштелип жатат. Ал өлкөбүздүн эбегейсиз зор аймагын электр менен камсыз кылуунун ишенимдүүлүгүн жана маневрдүүлүгүн жогорулатат. Бул маселени чечүү, 750 000В, 1150 000 жана 1500 000 В болгон электр берүүнүн магистралдык линияларын курууну талап кылат.

СССРдин европалык бөлүгүндө атом энергетикасынын озу менен өнүктүрүлүшү каралган СССРдин узаккы перспективалуу энергетикалык программасы иштелип чыккан.

## Сууроолор

1. Өзгөрмө ток турактуу токко караганда кандай артыкчылыктарга ээ?
2. Өзгөрмө токтун генераторунун иштеши кайсы принципке негизделген?
3. Трансформациялоо коэффициенти деп эмнени айтабыз?
4. Электр энергиясын алыс аралыкка берүү кандайча аткарылат?

## 3-көнүгүү

1. Куюндуу токту азайтуу үчүн индукциялык генератордун роторунун өзөк-

чөсүндөгү пластиналардын арасындагы изоляциялоочу катмарлар кандайча жайланышы керек?

2. Зымдан жасалган тик бурчтуу рамка бир тектүү магнит талаасында айланат. Кайсы учурда рамкадагы ЭКК максималдуу болот: рамканын тегиздиги магниттик индукциянын сызыктарына перпендикуляр болгондобу, же ал ага параллель болгондобу?

3. Трансформатордун түрмөктөрү жоондугу ар түрдүү болгон зымдардан

<sup>1</sup> ТЭЦ тен айырмаланып ГРЭСте иштетилген буу, өнөр жай жана турмуш-тиричилик керектөөлөрүнө пайдаланылбастан конденсаторго жиберилип, андан суу буу казанына сордурулуп алынат.



жасалган. Кайсы түрмөктө оромдун саны көп?

4. Трансформатордун катушкаларын жандырбай туруп, түрмөктүн оромунун санын аныктоочу жолду ойлонуп көргүлө.

5. Эгерде трансформаторду кокусунан турактуу ток булагына туташтырса, эмне болор эле?

6. Эгерде трансформатордун түрмөгүн-

дө бир ором туюкталып калса, трансформатор иштен чыгат. Эмне үчүн?  
7. 49-сүрөттө көрсөтүлгөн схема боюнча генератордон керектөөчүлөргө электр энергиясын берүү үчүн пайдаланылуучу бардык трансформаторлордун трансформация коэффициенттерин тапкыла. (Энергиянын сарпталышын эске албагыла.)

### 3-главанын кыскача жыйынтыктары

Электр тогу көбүнчө электромеханикалык индукциялык генераторлор менен иштелип чыгат. Бул генераторлор механикалык энергияны электр тогунун энергиясына айландырат. Алардын иштеши электромагниттик индукция кубулушуна негизделген.

Өзгөрмө электр тогу трансформаторлордун жардамы менен өзгөртүлөт. Трансформатор болот өзөкчөгө кийгизилген эки түрмөктөн турат. Анын милдети чыңалууну жана ток күчүн энергиянын минималдык коромжуланышы менен чоңойтууда же кичирейтүүдө турат.

Алынган чыңалуунун өзгөрүшү биринчи түрмөктөгү  $N_1$  оромдун санынын, экинчи түрмөктөгү  $N_2$  оромдун санына болгон катыш менен аныкталат:

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

Чыңалуу канча эсе чоңойсо (кичирейсе), ток күчү ошончо (болжол менен) эсе кичиреет (чоңоёт):

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Өткөргүчтөрдөгү энергиянын коромжуланышы ток күчүнүн квадратына пропорциялаш. Берилүүчү кубаттуулук болсо, ток күчү менен чыңалуунун көбөйтүндүсүнө пропорциялаш. Ошондуктан өткөргүчтөр боюнча энергияны аралыкка берүүнү чыңалуунун жогорку, ток күчүнүн кичине маанисинде ишке ашыруу пайдалуу. Электр станцияларындагы трансформаторлор энергияны алыскы аралыктарга берүүнүн алдында чыңалууну жогорулатышат. Электр берүү линиясынын учтарында чыңалуу трансформатордун жардамы менен төмөндөтүлүп, электр тогу керектөөчүлөргө жеткирилет.

Электр энергиясы жылуулук, гидравликалык жана атомдук электр станцияларында иштелип чыгат.

Иштелип чыккан электр энергиясынын саны — өлкөнүн экономикалык кубаттуулугунун маанилүү көрсөткүчү. Биздин өлкөбүз электр энергиясын өндүрүү боюнча дүйнөдө экинчи орунду ээлейт.

## Механикалык толкундар. Үн

### 24. Толкун кубулуштары

Тынч жаткан көлчүккө же көлгө ыргытылган таштан толкун канча тегерек түспөлүндө тараларын ар бирибиз байкаганбыз (50-сүрөт). Көбүнөр жээкке таралып келген деңиз толкундарын да көргөн чыгарсыңар. Бардыгыбыз эле деңиз саякаттары жөнүндөгү, чоң кораблдерди жеңил эле чайпалтуучу деңиз толкундарынын укмуштуудай зор күчү жөнүндөгү аңгемелерди окуган болушубуз керек. Бирок, бул кубулуштарды байкоодо, суунун шарпылдаган дабышы кулагыбызга өзүбүз дем алган абанын толкуну менен жетээрин, ошондой эле бизге көрүү мүмкүндүгүн берген жарык да толкундуу кыймыл экендигин баарыбыз эле түшүнө бербейбиз. Толкун процесстери жаратылышта өтө кеңири таралган. Толкун кыймылдарын пайда кылуучу физикалык себептер ар түрдүү. Бирок, термелүү сыяктуу толкундардын бардык түрү сан жагынан бирдей же дээрлик бирдей болгон закондор менен туюнтулат. Түшүнүүгө кымбат болгон көпчүлүк суроолор, эгер ар түрдүү толкун кубулуштарын бири-бири менен салыштырса, бир топ түшүнүктүү болуп калат.

Толкун деп эмнени айтабыз? Эмне үчүн толкундар пайда болот?

Ар кандай телонун — катуу, суюктук жана газ түрүндөгү бөлүкчөлөрү бири-бири менен аракеттенет. Ошондуктан эгер телонун кандайдыр бир бөлүкчөсү термеле баштаса, анда бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенүүсүнүн натыйжасында, кыймыл кандайдыр ылдамдык менен бардык жакка таралат.

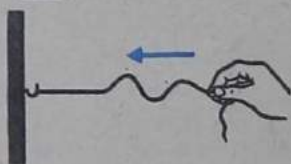
Убакыттын өтүшү менен мейкиндикте таралуучу термелүүлөр *толкундар* деп аталат.

Абада, катуу телолордо жана суюктуктун ичинде механикалык толкундар серпилгичтүү күчтүн натыйжасында пайда болот. Бул күчтөр телонун айрым бөлүкчөлөрүнүн арасындагы байланышты камсыз кылат. Суунун бетиндеги толкундун пайда болушуна оордук күчү жана беттик тартылуу күчү себепкер болушат.

50



51





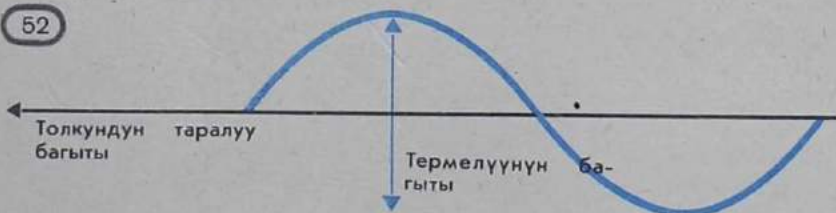
Толкун кыймылдарынын негизги өзгөчөлүктөрүн көрсөтмөлүүрөөк түрдө суунун бетинде пайда болгон толкундардын мисалынан байкоого болот. Толкундар кырка тегерек жалдар болуп илгери көздөй таралып бараткандай көрүнөт. Жалдардын же өркөчтөрдүн арасындагы аралыктар болжол менен бирдей. Эгерде сууга жеңил нерсени, мисалы, ширенкенин кутусун таштасак, анда ал толкун менен кошо илгери көздөй кетпестен, бир орунда эле өйдө-төмөн термелүү кыймылын жасай баштайт.

Толкун таралган кезде термелүүчү чөйрөнүн белгилүү бир абалынын жылышуусу байкалат. Суунун бир жеринде, мисалы, ыргытылган таштан пайда болгон термелүү, коңшу участкаларга берилип, чөйрөнүн улам жаңы бөлүкчөлөрүн термелүү кыймылына келтирип, акырындык менен бардык тарапты көздөй таралып отурат. Мында суунун агымы пайда болбойт, анын бетинин формасы гана жылышат.

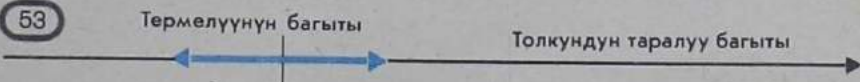
**Толкун ылдамдыгы.** Толкундун эң маанилүү мүнөздөмөсү болуп анын ылдамдыгы эсептелет. Кандай гана толкун болбосун мейкиндикте көз ачып-жумгуча таралып кетпейт. Алардын ылдамдыгы чектүү. Мисалы, деңиздин үстүндө ак чардак толкундун бир эле өркөчүнүн үстүндө болгондой учуп жүрөт деп элестетели. Бул учурда толкундун ылдамдыгы ак чардактын ылдамдыгына барабар. Суунун бетиндеги толкундарды байкоонун оной болушунун себеби, алардын таралуу ылдамдыгынын чоң эместигинде.

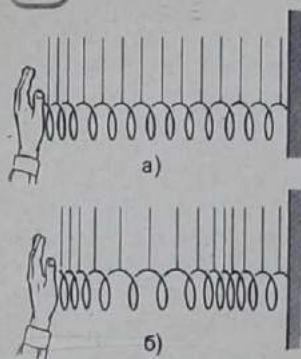
**Туурасынан жана узатасынан кеткен толкундар.** Резина жиби (шнур) боюнча таралуучу толкунду байкоо да кыйын эмес. Эгерде жиптин бир учун бекитип, экинчи учунан жипти колубуз менен бир аз керип, термелүү кыймылына келтирсек, анда жип боюнча толкун таралат (51-сүрөт). Жип канчалык керилген болсо, толкундун ылдамдыгы ошончолук чоң болот. Толкун таралып, жип бекитилген чекитке жеткенде, андан чагылып, кайра артын көздөй кетет. Бул жерде толкундун таралышы менен жиптин формасы өзгөрөт. Жиптин ар бир бөлүгү өзүнүн өзгөрүүсүз тең салмактуулук абалына салыштырмалуу термелет. Толкундун жип боюнча таралышында, жиптин ар бир бөлүгү толкундун

52



53





таралуу багытына *перпендикулярдуу* багытта термелүү жасагандыгына көңүл бургула (52-сүрөт). Мындай толкундар *туурасынан кеткен толкундар* деп аталат.

Бирок, бардык эле толкундар туурасынан кеткен толкундар боло бербейт. Термелүү, толкундун таралуу багытын *бойлото* да болушу мүмкүн (53-сүрөт). Анда толкун *узатасынан кеткен* деп аталат. Узатасынан кеткен толкунду узун, жумшак жана диаметри чоң пружина менен байкоо ыңгайлуу. Пружинанын бир жак учун алаканыбыз менен уруп (54-а, сүрөт),

пружина боюнча кысылуу (серпилгичтүү импульс) кандайча таралаарын байкоого болот. Удаасы менен бир нече жолу уруп, биринин артынан экинчиси таралган, пружинанын кысылышын жана чоюлушун элестеткен толкунду пайда кылууга болот (54-б, сүрөт). Пружинанын каалаган оромунун термелүүсү толкундун таралуу багытын бойлото жүрөт.

#### Толкундун энергиясы.

Механикалык толкундун таралышында, кыймыл телонун бир бөлүгүнөн экинчи бөлүгүнө берилет. Кыймылдын берилиши менен энергиянын берилиши байланышкан<sup>1</sup>.

Бардык толкундардын негизги касиети, алардын жаратылышына карабастан, бир жерден экинчи жерге затты которуштурбай, энергияны берүүдө турат. Энергия жиптин, кылдын ж. у. с. башкы учун термелүүгө келтирүүчү булактан, толкун менен кошо таралат. Ар кандай туурасынан кесилиш, мисалы, шнур аркылуу энергия үзгүлтүксүз агып турат. Жипте бул энергия жиптин бөлүктөрүнүн кыймылынын кинетикалык энергиясы менен анын серпилгичтүү деформациясынын потенциалдык энергиясынан кошулуп түзүлөт. Толкундун таралышында термелүү амплитудасынын акырындык менен кичирейип отурушу механикалык энергиянын бир бөлүгүнүн ички энергияга айланышы менен байланышкан.

## 25. Механикалык толкундардын таралышы

Толкундардын таралуу процессин бир кыйла толугу менен карап көрөлү. Толкун кыймылындагы заттын айрым бөлүкчөлөрүнүн кыймылы кандай болорун байкайлы. Адегенде *туурасынан кеткен* толкунду, мисалы, резина жибин бойлото таралуучу толкунду карайбыз.

Жиптин ар бир бөлүгү массага жана серпилгичтүүлүккө ээ. Жиптин деформацияланышында анын бардык кесилиштеринде

<sup>1</sup> Энергиянын таралышы жөнүндөгү түшүнүктү физикага биринчи жолу киргизген орус окумуштуусу Н. А. Умов (1846—1915) болгон.





серпилгичтүү күчү пайда болот. Бул күчтөр жипти баштапкы абалына келтирүүгө умтулушат. Инерттүүлүктүн эсебинен жиптин термелип жаткан бөлүгү тең салмактуулук абалында токтоп калбастан, андан ары өтүп, серпилгичтүү күч бул бөлүктү тең салмактуулук абалынан максималдык четтеген моментинде токтотуп калганга чейин кыймылын улантат.

Реалдуу жиптин ордуна, жипке илинип коюлган бирдей металл шарларынын тизмегин алалы. Шарлар өз ара пружиналар менен байланыштырылган (55-сүрөт). Пружиналардын массасы шарлардын массасына караганда абдан кичине. Бул моделде жиптин инерттүүлүк (массасы) жана серпилгичтүүлүк касиеттери бөлүнүп каралат: масса негизинен шарларда, ал эми серпилгичтүүлүк — пружиналарда топтолгон. Мындай бөлүп кароо толкун кыймылын изилдөөдө маанилүү эмес.

Эгерде горизонталь тегиздиктеги сол жаккы эң четки шарды кыйшайта турган болсок, пружина деформацияланып, экинчи шарга күч аракет эте баштайт. Бул күч ал шарды 1-шар кыйшайган жакка кыйшаюуга аргасыз кылат. Инерттүүлүктүн натыйжасында 2-шардын кыймылы 1-шар менен бирдей жүрбөйт. 1-шардын кыймылын кайталаган анын кыймылы убакыт боюнча кечигип отурат.

Эгерде 1-шарды  $T$  мезгили менен термелүүгө аргасыз кылсак (колубуз менен же кандайдыр бир механизмдин жардамы менен), анда 2-шар 1-шардын артынан фазасы боюнча кандайдыр кечигүү менен термелүү кыймылына келет. Үчүнчү шар да 2-шар тарабынан аракет кылынган серпилгичтүү күчтүн таасири астында фазасы боюнча андан да көбүрөөк кечигүү менен термеле баштайт ж. у. с. Акырында, бардык шарлар бирдей эле жыштык менен, бирок ар кандай фазада термелүү кыймылын жасашат. Бул учурда шарлардын тизмегин бойлото туурасынан кеткен толкундар таралат.

56-а, б, в, г, д, е сүрөттөрдө толкундардын таралуу процесси көрсөтүлгөн. Бири биринен термелүүнүн чейрек мезгилине айырмаланган удаалаш убакыт моменти үчүн шарлардын абалдары келтирилген (үстүнөн караганда). Шарлардагы жебелер — тиешелүү убакыт моментиндеги алардын кыймылдарынын ылдамдык векторлору.

Пружиналар менен байланышкан массивдүү шарлардан турган серпилгичтүү телонун моделинде (57-а, сүрөт), узатасынан кеткен толкундун таралуу процессин байкоого болот. Шарлар

тизмекти *бойлото* гана термеле тургандай кылып илинип коюлган. Эгерде биринчи шарды  $T$  мезгили менен термелүүгө келтирсек, анда тизмек боюнча топтолуу менен сейректелүүлөрдүн удаалаштыгынан турган узатасынан кеткен толкун таралат (57-б, сүрөт). Бул сүрөт туурасынан кеткен толкундун таралуу учурун көрсөткөн 56-е, сүрөткө туура келет.

## 26. Толкундун узундугу. Толкундун ылдамдыгы

Туурасынан кеткен толкундун таралышында термелүү 13-шарга жеткенден кийин 1-жана 13-шарлар бирдей термелишет. 11-шар тең салмактуулук абалында болуп, сол жакты көздөй кыймылдаса (эгер шарлардын тизмегин бойлото караган болсок; 56-д, сүрөт), 13-шар да тең салмактуулук абалында болуп, сол жакты көздөй кыймылдайт. Чейрек мезгил өткөндөн кийин 1-шар максималдуу сол жакка кыйшайган болот, ошондой эле абалда 13-шар да болот (56-е, сүрөттү кара). Бул шарлардын термелүүлөрү бирдей фазада<sup>1</sup> болушат. Бирдей фазада термелүүчү бири бирине жакын чекиттердин арасындагы аралыкты *толкун узундугу* деп айтабыз. Натыйжада 1- менен 13-, 2- менен 14-, 3- менен 15-шарлардын арасындагы аралыктар толкун узундугуна барабар (56-д, е сүрөттөрдү карагыла). Толкун узундугу гректин  $\lambda$  (лямбда) тамгасы менен белгиленет.

Узатасынан кеткен толкундун узундугу 57-б, сүрөткө ылайык 2- менен 14-шардын, же 4- менен 16-шардын арасындагы аралыкка барабар.

Эгерде телонун бөлүкчөлөрүнүн арасындагы аралык  $n\lambda$ га ( $n$ — бүтүн сан) барабар болбосо, толкундун таралышында анын ар кандай чекити (каралып жаткан моделдеги шарлар) ар түрдүү фазада термелишет.

$\lambda/2$  аралыгында жатышкан 1- жана 7-шарлар (56-сүрөттү карагыла) карама-каршы фазада термелишет; качан гана 1-шар сол жакты көздөй жылганда, 7-шар оң жакты көздөй жылат жана тескерисинче.

Толкун бир мезгил ичинде  $\lambda$  аралыгына таралат (56-д, сүрөттү карагыла). Ошондуктан анын ылдамдыгы формуласы менен аныкталат.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (4.1)$$

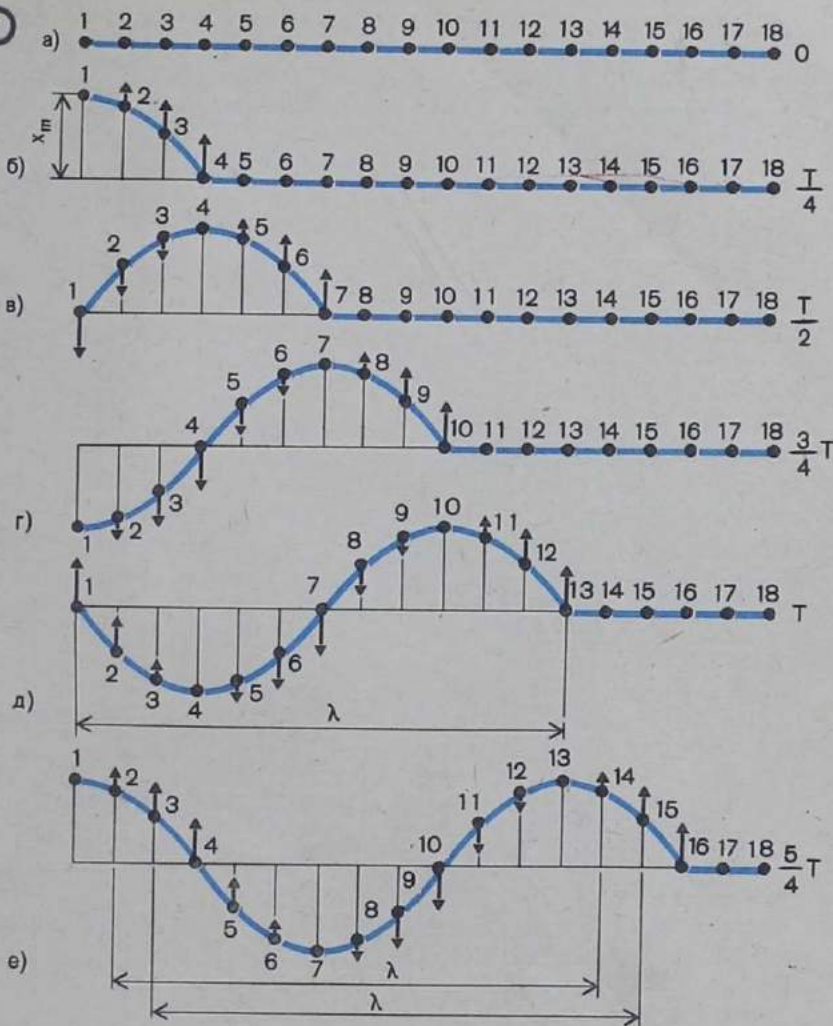
$T$  мезгили менен  $v$  жыштыгы өз ара

$$T = \frac{1}{v}$$

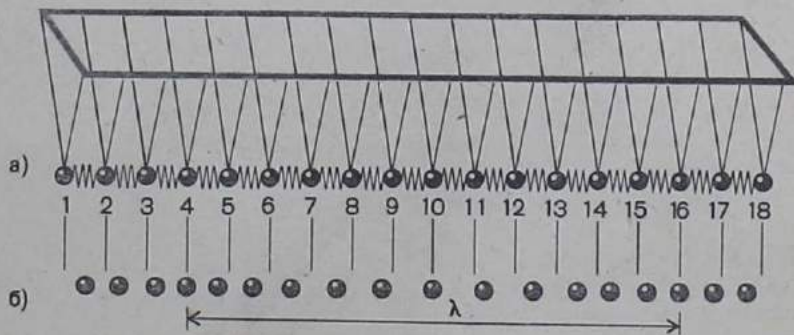
<sup>1</sup> Тагыраак айтканда, 13-шардын термелүүсү 1-шардын термелүүсүнөн фазасы боюнча  $2\lambda$ ге артта болот. Бирок  $\cos(\omega t - 2\lambda) = \cos \omega t$  болгондуктан фазалардын бул айырмасы термелүүчү шарлардын абалдарындагы айырмачылыкка алып келбейт. Ошондуктан бул шарларды бирдей фазада термелишет деп айтууга болот.

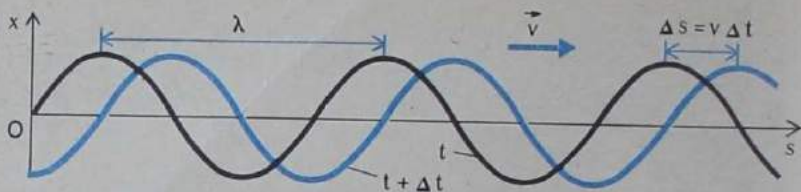


56



57





катышы менен байланышкандыктан

$$v = \lambda \nu$$

(4.2)

болот. Толкундун ылдамдыгы толкундун узундугу менен термелүүнүн жыштыгынын көбөйтүндүсүнө барабар.

Жип боюнча толкундун таралышында эки түрдүү мезгилдүүлүккө кездешебиз.

*Биринчиден*, жиптин ар бир бөлүкчөсү убакыт боюнча мезгилдүү термелүү жасайт. Гармоникалык термелүү (бул термелүүлөр синусоида, же косинусоида закону боюнча болот) учурунда термелүүнүн жыштыгы жана амплитудасы бардык чекиттерде бирдей. Термелүүлөр фазасы боюнча гана айырмаланышат.

*Экинчиден*, убакыттын берилген моментинде толкундун формасы мейкиндикте  $\lambda$  узундуктагы кесиндиден кийин жипти бойлото кайталанат. 58-сүрөттө белгилүү убакыт моментиндеги толкундун профили көрсөтүлгөн (кара сызык). Убакыттын өтүшү менен бул көрүнүштүн бардыгы солдон оң жакты көздөй  $v$  ылдамдыгы менен которулат.

$\Delta t$  убакыт аралыгы өткөндөн кийин толкун ошол эле сүрөттө көрсөтүлгөн көк сызык түрүнө ээ болот.

Толкундун таралуу ылдамдыгын, узундугун жана термелүү жыштыгын байланыштыруучу (4.2) формула узатасынан кеткен толкун үчүн да туура.

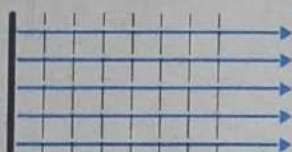
**Суроолор**

1. Толкун деп эмнени айтабыз?
2. Туурасынан жана узатасынан кеткен толкундардын айырмасы эмнеде? Туурасынан жана узатасынан кеткен толкундардын мисалдарын келтиргиле.
3. Толкундук кыймылдын негизги өзгөчөлүктөрү кайсылар?
4. Толкун узундугу деп эмнени айтабыз?
5. Толкундун ылдамдыгы толкун узундугу менен кандайча байланышкан?
6. 56-сүрөт боюнча жанаша эки шардын; толкун узундугуна барабар аралыкта турган эки шардын термелүү фазаларынын айырмасын аныктагыла.

## 27. Чөйрөдөгү толкундар

Резина жибинде, керилген кылда же стерженде пайда болгон толкундар бир эле багыт боюнча, б. а. алардын өздөрүн бойлото гана таралышы мүмкүн.





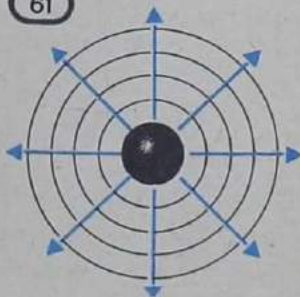
Эгерде газ, суюктук же катуу тело мейкиндиктин кандайдыр бөлүгүн бүтүндөй ээлеп турса (туташ чөйрө), анда бир орунда пайда болгон толкун бардык багыт боюнча таралат.

Туташ чөйрөдөгү кандайдыр бир булактан таралган толкун мейкиндиктин улам чонураак аймагын кучагына алып отурат. Бул 50-сүрөттө сууга ыргытылган таштан анын бети боюнча таралган толкундун көрүнүшүнөн ачык байкалып турат. Мында толкун булактан өзү менен алып жүрүүчү энергия убакыт өткөн сайын мейкиндиктин улам чоң аймагына таралып отурат. Ошондуктан булактан алыстаган сайын бир секунда ичинде беттин аянт бирдиги аркылуу өткөн энергия да азайып отурат. Демек, булактан алыстаган сайын термелүүнүн амплитудасы да кичиреет. Анткени термелүүчү телонун энергиясы амплитуданын квадратына пропорциялаш (§ 7 ты карагыла). Бул пружинага илинген жүк же маятник үчүн гана эмес, термелүү кыймылында болгон чөйрөнүн ар кандай бөлүкчөсү үчүн да туура болуп эсептелет.

Ошеңтип чөйрөдө сүрүлүү күчүнүн аракетинен толкундун механикалык энергиясы ички энергияга айланбаса да, булактан алыстаган сайын чөйрөдө толкундун амплитудасы шексиз кичиреет.

**Жалпак толкун. Толкундук бет жана нур.** Ал жалпак толкун деп аталган толкундарга тиешелүү эмес. Мындай толкундарды серпилгичтүү чөйрөгө чоң пластинаны жайгаштырып, аны нормалдын багыты боюнча термелүүгө келтирүү менен алууга болот. Пластинага жанаша жаткан чөйрөнүн бардык чекиттери бирдей амплитудалар менен жана ошондой эле фаза менен термелүү жасай башташат. Бул термелүүлөр пластинага нормалдын багыты боюнча толкун түрүндө таралат, бирок пластинага параллель жаткан тегиздиктеги чөйрөнүн бардык бөлүкчөлөрү бир фазада термелишет. Бирдей фазадагы беттер *толкундук беттер* деп аталышат. Жалпак толкундар үчүн толкундук беттер тегиздикти элестетишет (59-сүрөт). Реалдуу толкундар болжолдуу гана жалпак толкундар деп эсептелиши мүмкүн (толкундук беттер четтеринде ийриленишет).

Толкундук бетке нормаль болгон сызыктар *нурлар* деп аталат. Толкундун таралуу багыты деп нурдун багытын



түшүнөбүз. Жалпак толкундар үчүн нурлар параллель түз сызык-тарды элестетишет. Нурларды бойлото энергиянын которулушу жүрөт.

Жалпак толкундун таралышында пластинадан алыстаган сайын толкундук беттин өлчөмү өзгөрбөйт (же дээрлик өзгөрбөйт). Ошондуктан толкундун энергиясы мейкиндикке чачырабайт жана термелүүнүн амплитудасы сүрүлүү күчүнүн аракетинен гана кичиреет.

Суунун бетинде мейкиндиктеги жалпак толкундар жөнүндө көрсөтмөлүү элести берүүчү *сызыктуу толкундарды* алуу кыйын эмес. Ал үчүн суунун бетине тиер-тиймексен абалдагы стерженди суунун бетине перпендикуляр багытта термелүүгө мажбурлоо керек. Стерженге параллель болгон түз сызыкта жаткан суунун бардык бөлүкчөлөрү бир фазада термелишет (60-сүрөт).

**Сфералык толкун.** Туташ чөйрөдөгү толкундун экинчи мисалы — бул *сфералык толкундар*. Мындай толкундар чөйрөгө пульсациялоочу сфера коюлганда пайда болот (61-сүрөт). Бул учурда толкундук беттер сфера болуп эсептелишет. Нурлар пульсациялоочу сферанын радиустарынын уландысын бойлото багытта-лышкан.

Сфералык толкун учурунда бөлүкчөлөрдүн термелүүлөрүнүн амплитудасы булактан алыстаган сайын сөзсүз кичирейип отурат. Толкун булагы тарабынан чыгарылган энергия толкундун таралышы менен радиусу үзгүлтүксүз чоңоюп туруучу сферанын бети боюнча бир калыпта бөлүнүшөт.

**Чөйрөлөрдөгү туурасынан жана узатасынан кеткен толкундар.** Толкундар туурасынын жана узатасынан кеткен толкундар болорун билесинер! Туурасынан кеткен толкундарда чөйрөнүн айрым бөлүктөрүнүн жылышуусу толкундун таралышына перпендикулярдуу багытта болот. Бул учурда жылышуу деформациясы деп аталган серпилгичтүү деформация келип чыгат. Заттын айрым катмарлары бири бирине салыштырмалуу жылышат. Телонун көлөмү өзгөрбөйт. Жылышуу деформациясы учурунда катуу телодо баштапкы абалына алып келүүгө умтулган серпилгич күчү пайда болот. Чөйрөнүн бөлүкчөлөрүн термелүүгө келтирген мына ушул күчтөр болот.

Газдарда жана суюктуктарда катмарлардын бири бирине салыштырмалуу жылышуусу серпилгич күчтү пайда кылбайт. Ошондуктан газдарда жана суюктуктарда туурасынан кеткен толкундар болбойт. Туурасынан кеткен толкундар катуу телолордо гана пайда болот<sup>1</sup>.

Узатасынан кеткен толкундарда кысылуу деформациясы болуп өтөт (§ 24 ты карагыла). Бул деформация менен байланышкан серпилгич күч катуу телолордогудай эле газдарда жана суюктуктарда да пайда болот. Бул күчтөр чөйрөнүн айрым бөлүктөрүнүн

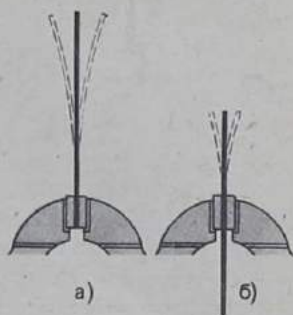
<sup>1</sup> Туурасынан кеткен толкундар суюктуктардын ичинде эмес, бетинде да пайда болот.



термелишин пайда кылат. Ошондуктан узатасынан кеткен толкундар бардык чөйрөлөрдө тарала алышат.

Катуу телолордо узатасынан кеткен толкундун ылдамдыгы туурасынан кеткен толкундун ылдамдыгынан чоң. Бул, жер титирөөнүн булагынан сейсмикалык станцияга чейинки аралыкты аныктоого мүмкүндүк берет. Адегенде станцияда узатасынан кеткен толкун катталат, анткени жер кыртышында анын таралуу ылдамдыгы туурасынан кеткен толкунга караганда чоң. Кандайдыр убакыт өткөндөн кийин жердин титирөөсүндө узатасынан кеткен толкун менен бир эле убакта пайда болгон туурасынан кеткен толкун катталат. Узатасынан жана туурасынан кеткен толкундардын, жердин кыртышындагы ылдамдыгын жана туурасынан кеткен толкундун кечигүү убакытын билип, жер титиреген булакка чейинки аралыкты аныктоого болот.

62



## 28. Үн толкундары

**Үн толкундарын пайда кылуу.** Суунун бетиндеги же резина жибин бойлото таралган толкундарды түздөн-түз көрүүгө болот. Турук чөйрөдө — абада же суюктуктарда — толкундар көрүнбөйт. Бирок, белгилүү бир шарттарда аларды угууга болот. Эгерде узун темир сызгычтын бир жак учун кыскачка же столдун четине бекем кысып, анын экинчи учун тең салмактуулук абалынан чыгарып коё берсек, анда биз аны термелүүгө келтиребиз (62-а, сүрөт). Бирок бул термелүүлөр кулагыбызга угулбайт. Эгерде кыскачтан чыгып турган сызгычтын учун кыскартып (62-б, сүрөт),



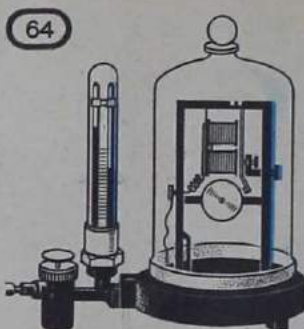
андан кийин термелүүгө келтирсек, анда сызгычтан үн чыга баштаганын байкайбыз.

Пластина, анын бир жак четине чектеш жаткан абанын катмарын кысып, ошол эле убакта анын экинчи жагындагы абаны сейректетет. Абанын мындай кысылышы жана сейректелиши убакыт боюнча алмашып, пластинанын эки жагын көздөй серпилгичтүү узатасынан кеткен толкундар түрүндө таралат. Ал биздин кулагыбызга чейин жетип, анын жанында угуу аппаратыбызга аракет кылуучу басымдын мезгилдүү термелүүсүн пайда кылат.

Биздин кулагыбыз жыштыгы 17 Гц тен 20000 Гц ке чейинки термелүүлөрдү үн катары кабыл алат. Мындай термелүүлөр акустикалык деп аталышат. Акустика — бул үн жөнүндөгү окуу. Сызгычтын чыгып турган учу канчалык кыска болсо, анын термелүү жыштыгы ошончолук чоң болот. Ошондуктан биз сызгычтын чыгып турган учу жетишээрлик кыскарганда гана үндү уга баштайбыз.

Үн жыштыгы менен термелүүчү ар кандай тело (катуу, суюктук же газ түрүндөгү) курчап турган чөйрөдө үн толкунун пайда кылат.

**Ар түрдүү чөйрөлөрдөгү үн толкундары.** Үн толкундары биздин кулагыбызга көпчүлүк учурларда аба аркылуу келип жетет. Биз суунун ичинде толук бойдон өтө сейрек чөмүлөбүз. Бирок, албетте, үн толкундарынын таралуу мүмкүндүгү боюнча, аба башка чөйрөлөргө салыштырганда кандайдыр бир өзгөчө артыкчылыкка ээ эмес. Үн сууда жана катуу телолордо да таралат. Сууга түшүп



64



65

а)



жаткан кезинерде башынар менен суунун ичине чөмүп, силерден алыс аралыктагы суунун ичиндеги эки таштын кагылышынан чыккан үндү уга аласыңар (63-сүрөт).

Жер үндү жакшы өткөрөт. Белгилүү тарыхчы Н. М. Карамзин Куликов салгылашуусунун алдында Дмитрий Донской жерге кулагын төшөп душмандын атчан аскерлеринин аттарынын дүбүртүн алар көрүнө электе эле уккан деп билдирет.

Эгерде узун жыгач сызгычтын бир жак учун кулакка такай кармап, экинчи учун колубуз менен акырын черткилесек, андан чыккан үн кулагыбызга ачык угулат. Силер сызгычты кичине эле алыстатсаңар, үн дээрлик угулбай калгандыгын байкайсыңар.

Вакуумда үн толкундары тарала албайт. Муну далилдөө үчүн электр конгуроосун аба насосунун колоколунун ичине жайгаштыруу керек (64-сүрөт). Колоколдун ичиндеги абанын басымы төмөндөгөн сайын, таптакыр угулбай калганча үн начарлай берет.

Үндү кийиз, көзөнөктүү панелдер, пресстелген пробка ж. у. с. материалдар начар өткөрүшөт. Бул материалдар үн изоляциясы үчүн, б. а. имараттардын ичинде сырткы үндөрдүн угулушунан сактоо үчүн пайдаланылат.

**Үндүн мааниси.** Айлана-чөйрөбүздөгү багытты ишенимдүү аныктоо үчүн, биздин мээбиз айланабызда эмне болуп жаткандыгы жөнүндөгү информация алып турууга тийиш. Көрүү жана угуу органдары бул жерде негизги ролду ойношот. Сезүү, жыт алуу жана даам татуу сезимдери анчалык маанилүү эмес.

Албетте, информациялардын көпчүлүгүн жарыктын жардамы менен алабыз. Булактан (Күндөн, лампочкадан ж. у. с.) чыккан жарык айланабыздагы курчап турган нерселерден чагылып көзүбүзгө келип түшөт да, алардын абалы жана кыймылдары жөнүндө билүүгө мүмкүндүк берет. Көп нерселер өздөрү жарыктанышат.

Нерселерден чагылган үн толкундары, же үн чыгаруучу нерсе-



б)

лер чыгарган толкундар да бизди курчап турган дүйнө жөнүндө көп маалыматтарды берет. Негизгиси — биздин сүйлөө речибиз. Биз үн толкундарын пайда кылып жана аны кабыл алуу менен, бири бирибизге мамиле жасайбыз.

Атайын түзүлүштөрдүн, мисалы, медициналык фонендоскоптун жардамы менен жүрөктүн жана башка ички органдардын иштеши жөнүндө баалуу маалыматтарды алууга болот.

**Үндүн ылдамдыгы.** Үн толкундары бардык башка толкундар сыяктуу эле чектүү ылдамдык менен таралат. Муну төмөнкүчө байкоого болот. Жарык өтө чоң — 300 000 км/с ылдамдык менен таралат. Ошондуктан, мылтык атылганда пайда болгон жаркыроо көзгө заматта жетет. Ал эми атылууда чыккан үн байкалаарлык кечигүү менен угулат. Ошонун эле өзүн алыс аралыктан футбол оюнун карап отурганда да байкоого болот. Силер топ тебилгендигин көрөсүңөр, ал эми бир канча убакыт өткөндөн кийин гана тебүүдөн келип чыккан үндү уга аласыңар. Мүмкүн бардыгыңар эле чагылган жарк эткенден кийин күркүрөгөнүн байкаган чыгарсыңар. Эгерде чагылган алыс жерде болсо, анда анын күркүрөөсүнүн кечигүүсү бир нече ондогон секундага чейин жетет. Акырында, үндүн ылдамдыгынын чектүүлүгүнөн жаңырык пайда болот. Жаңырык — бул токойдун чет жакасынан, жардуу жээктерден, үйлөрдөн ж. б. дан чагылган үн толкундары.

0°C температура кезинде абадагы үндүн ылдамдыгы 331 м/с га барабар. Бул жетишерлик чоң ылдамдык. Жакындан бери эле самолёттор үн ылдамдыгынан жогорку ылдамдык менен уча башташты.

Абадагы үндүн ылдамдыгы анын тыгыздыгынан көз каранды эмес. Ал болжол менен молекулалардын жылуулук кыймылынын орточо ылдамдыгына барабар жана ага окшоп, квадрат тамыр алдындагы абсолюттук температурага пропорциялаш. Газдын молекуласынын массасы канчалык чоң болсо, андагы үндүн ылдамдыгы ошончолук кичине. Мисалы, 0°Cде суутектеги үндүн ылдамдыгы 1270 м/с, ал эми көмүр кычкыл газында — 258 м/с.

Суудагы үндүн ылдамдыгы абадагыга караганда чоң. Ал 1827-жылы биринчи жолу Швейцариядагы Женева көлүндө ченелген. Кайыктын биринде дары от алдырылып, аны менен бир мезгилде суу алдындагы коңгуроо урулган (65-а, сүрөт). Экинчи кайык биринчидей 14 км аралыкта турган. Үн сууга матырылып коюлган рупор аркылуу тыңшалган (65-б, сүрөт). Дарынын от алышынан чыккан жарык менен үн келип жеткен сигналдын ортосундагы убакыттын айырмасы боюнча үн ылдамдыгы аныкталган. 8°C температура кезинде үндүн суудагы ылдамдыгы 1435 м/с га барабар.

Катуу телолордо үндүн ылдамдыгы суюктуктардагыга караганда да чоң. Мисалы, болотто 15°Cде үндүн ылдамдыгы 4980 м/с га барабар. Катуу телолордо үндүн ылдамдыгы абадагыга салыштырганда чоң болорун төмөнкүчө байкоого болот. Эгерде силердин жолдошуңар рельстин бир учун ура турган болсо,



ал эми силер экинчи учуна кулагынарды тозсонор, анда эки жолу урулган үндү угасынар. Үн кулакка адегенде рельс боюнча, андан кийин аба менен келип жетет.

Абадагы үндүн белгилүү термелүү жыштыгы жана ылдамдыгы боюнча үн толкунунун узундугун аныктоого болот (§ 26 ты карагыла). Кулак кабыл алуучу эң узун толкундун узундугу  $\lambda \approx 19$  м, ал эми эң кыскасыныкы  $\lambda \approx 17$  мм.

## 29. Музыкалык үндөр жана чуу. Үндүн катуулугу жана бийиктиги

Күнүгө биз угуп жүргөн үндөр өтө эле ар түрдүү. Ар бирибиз музыкалык үндөрдү чуудан айырмалай алабыз. Музыкалык үндөргө ырдоо, музыкалык инструменттердин керилген кылдарынан чыккан үндөр, ышкырык ж. б. кирет. Чуу жарылууда, ичинен күйүүчү кыймылдаткычтардын иштешинде, жылан ышкырганда, эшиктин майланбаган илмектери чыйкылдаганда ж. б. пайда болот. Сүйлөө органдарыбыздын жардамы менен, аздыр-көптүр гармоникалык үндөрдү жана албетте, чууну да пайда кыла алабыз.

**Музыкалык үндөр.** Физикалык жактан алып караганда музыкалык үндөр чуудан кандайча айырмаланат? Кандай себептерден музыкалык үндөр өз ара окшош болбой калышы мүмкүн?

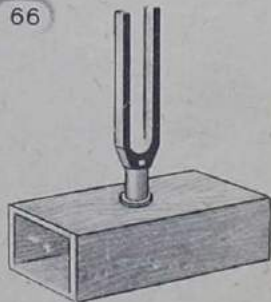
Таза музыкалык үндү камертон деп аталган жөнөкөй куралдын жардамы менен алууга болот.

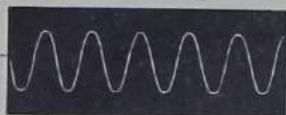
Камертон ортосунан туткага (бутка) бекитилген иймек металл стерженди элестетет. 66-сүрөттө бир жагы ачык, жыгач ящикке орнотулган камертон көрсөтүлгөн. Камертондун салааларынын бирөөнү кичинекей балка менен уруп, музыкалык үндү угабыз. Салаалардын термелүүсүнүн өчүшү менен үн акырындап өчөт. Үн толкуну камертондун салааларынын термелүүсүнөн келип чыгат. Бул термелүүлөрдүн мүнөзүн, камертондун салаасына ийнени бекитип, аны ышталган айнек пластинкасынын бети боюнча бир калыптагы ылдамдык менен жылдырып аныктоого болот. Пластинкада синусоидага абдан окшош сызык пайда болот (67-сүрөт). Ал кум чубурма маятник аркылуу алынуучу термелүүнүн убактылуу созулмасына окшош. Мындан камертондун термелүүсү гармоникалык термелүүгө абдан жакын деп корутунду чыгарууга болот.

Гармоникалык термелүүчү тело чыгарган үн музыкалык тон же жөн эле тон деп аталат.

Музыкалык тондор угулушу жагынан катуулугу жана бийиктиги боюнча айырмаланышат. Тондун катуулугу жана бийиктиги кайсы физикалык чоңдуктардан көз каранды болушат?

66





**Үндүн катуулугу.** Үндүн катуулугу термелүүнүн амплитудасы менен аныкталат. Кичинекей балка менен камертонду канчалык чоң күч менен урсак, ал ошончолук катуу үн чыгарат. Ал эми абдан катуу урганда чоң амплитудадагы термелүү пайда болот.

Бирок, биздин кулагыбыздын сезгичтиги үндүн жыштыгынан көз каранды экендигин эске алышыбыз керек. Бирдей амплитудадагы үн термелүүлөрүнүн жыштыктары ар башка болсо, бизге бирдей катуулукта угулбайт. Биздин кулагыбыз жыштыгы 3500 Гц болгон термелүүлөргө көбүрөөк сезгич келет.

**Үндүн бийиктиги.** Үндүн белгилүү бийиктиги эмне менен (тактап айтканда, тондун бийиктиги) байланыштуу экендигин аныктоо үчүн ар кандай өлчөмдөгү бир нече камертонду катар коюу керек. Үн чыгаруучу камертондун салаасына ийнени бекитип, анын учун ышталган пластинканын бети боюнча жылдырып, камертон чыгарган үн канчалык жогору болсо, пластинкада пайда болгон синусоиданын мезгили ошончолук кичине болорун, натыйжада камертондун термелүү жыштыгынын ошончолук чоң болорун байкоого болот. *Тондун бийиктиги термелүүнүн жыштыгы менен аныкталат.*

Ушунун эле өзүн кылдын термелишинен да байкоого болот. Кылды абдан керүү менен эркин термелүүлөрдүн жыштыгы чоңойтулат. Ошондуктан биз комуздун кулагын толгоо менен кылды керип, үндүн бийиктигин жогорулатабыз.

Ошону менен бирге, кылдын термелүү жыштыгы (берилген керилүүдө) анын узундугунан да көз каранды. Күү чертилип жатканда комузчу кылды салаасы менен комуздун бетине басат. Муну менен ал үндүн бийиктигин өзгөртөт.

Кишинин үнүнүн диапазонунан 70 Гц тен 10 000—12 000 Гц ке чейинки интервалдагы жыштык туура келет.

**Чуу дегенибиз эмне?** Чуу музыкалык тондордон кандайдыр бир белгилүү термелүү жыштыгы жана ошого жараша үндүн белгилүү бийиктиги туура келбегендиги менен айырмаланат. Чуу болгондо ар кандай жыштыктагы термелүүлөрдү кездештиребиз.

#### Суроолор

1. Кандай толкундарды жалпак деп, кандайын сфералык толкундар деп айтабыз?  
2. Эмне үчүн газдарда жана суюктуктарда туурасынан кеткен толкундар болбойт?

3. Кандай термелүүлөр акустикалык термелүүлөр деп аталат?

4. Абадагы үндүн ылдамдыгы эмнеден көз каранды?

5. Үндүн катуулугу жана анын бийиктиги эмне менен аныкталат?



### 30. Толкундардын интерференциясы

**Толкундарды кошуу.** Ушул кезге чейин булактан таралуучу бир эле толкун жөнүндө сөз кылып келгенбиз. Бирок, көпчүлүк учурларда чөйрөдө бир эле убакытта бир нече ар түрдүү толкундар таралышы мүмкүн. Мисалы, бөлмөдө бир нече киши сүйлөшкөн кезде, бир нече үн толкундары бири-бири менен катталышат. Мындай учурда эмне болуп өтөт?

Бул кубулушту суунун бетинде пайда болгон толкундарды байкоо аркылуу оңой түшүнүүгө болот. Эгерде сууга эки таш ыргыткан болсок, анда ал орундарда эки тегерек толкун пайда болуп, бири бири аркылуу өтүп, андан ары өзүнүн жолунда башка эч кандай толкун жок сыяктуу таралуусун уланта берет. Ушул сыяктуу, абада да бир эле убакта ар кандай сандагы үн толкундары бири бирине тоскоолдук кылбай тарала алышат. Оркестрдеги музыкалык инструменттердин же хордогу үндөрдүн көптүгү кулагыбызга бир эле мезгилде кабыл алынуучу үн толкундарын пайда кылышат. Ошону менен бирге кулагыбыз бул үндөрдү бири биринен ажыратууга жөндөмдүү.

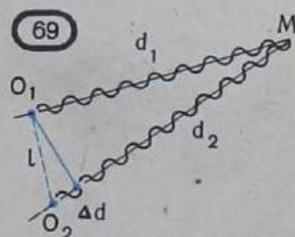
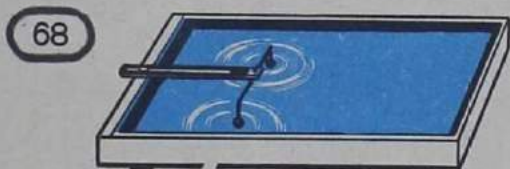
Эми толкундар катталышкан жерлерде эмне болоруна өзгөчө көңүл коюп көрөлү. Эки таштан пайда болгон суунун бетиндеги толкундарды байкоо менен беттин айрым бөлүктөрүндө козголуулар болбогонун, ал эми башка бөлүктөрүндө козголуулардын күчөп калгандыгын сезебиз.

Эгерде кандайдыр бир орунда эки толкундун өркөчтөрү бири-бири менен кездешсе, анда ал жерде суунун бетинин термелүүсү күчөйт.

Эгерде тескерисинче, бир толкундун өркөчү менен экинчи толкундун ойдуңу кездешсе, анда суунун бетинде термелүү болбойт.

Жалпысынан алганда чөйрөнүн ар бир чекитинде, эки толкундан пайда болгон термелүүлөр кошулушат. Чөйрөнүн ар кандай бөлүкчөсүнүн натыйжалоочу жылышуусу болуп, толкундардын биринин таралышында, экинчиси жок кезде болгон жылышуулардын суммасы эсептелет.

**Интерференция.** Убакыт ичинде натыйжалоочу термелүүлөрдүн амплитудаларынын туруктуу жайланышы түзүлгөн толкундардын мейкиндикте кошулушу *интерференция* деп аталат.



68

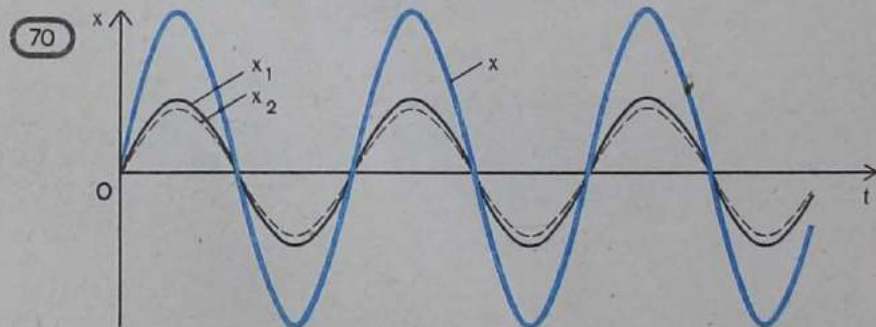
69

Эми кандай шарттарда толкундардын интерференциясы боло тургандыгын карап көрөбүз. Ал үчүн суунун бетинде толкундарды кошууну бир топ кененирээк карап чыгалы.

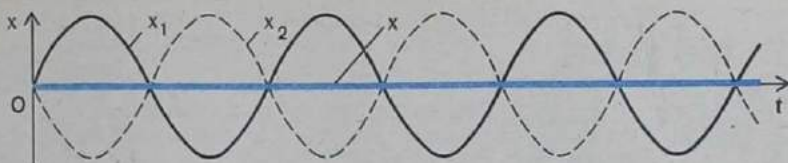
Ваннадагы суунун бетинде гармоникалык термелүү жасоочу стерженге бекитилген эки шариктин жардамы менен, бир эле мезгилде эки тегерек толкунду пайда кылууга болот (68-сүрөт). Суунун бетиндеги ар кандай  $M$  чекитинде (69-сүрөт) эки толкун тарабынан ( $\theta_1$  жана  $\theta_2$  булактарынан) пайда болгон термелүүлөр кошулушат.  $M$  чекитинде эки толкун пайда кылган термелүүнүн амплитудалары, жалпысынан, толкундар  $d_1$  жана  $d_2$  ар түрдүү жолду өткөндүктөн, айырмаланышат. Бирок, эгерде булактардын ортосундагы  $l$  аралык бул жолдордон абдан кичине болсо ( $l \ll d_1$  жана  $l \ll d_2$ ), анда бул эки амплитуданы практикалык жактан бирдей деп эсептөөгө болот.

$M$  чекитине келүүчү толкундардын кошулушунун натыйжасы негизинен алардын ортосундагы фазалардын айырмасынан көз каранды. Толкундар ар түрдүү  $d_1$  жана  $d_2$  аралыктарын өтүп,  $\Delta d = d_2 - d_1$  жүрүш аралыгынын айырмасына ээ болушат. Эгерде жүрүш аралыгынын айырмасы  $\lambda$  толкун узундугуна барабар болсо, анда экинчи толкун биринчи толкунга караганда толук бир мезгилге (толкун бир мезгил ичинде толкун узундугуна барабар болгон жолду басып өтөт) кечигип келет. Демек, бул учурда эки толкундун тең өркөчтөрү (же ойдуңдары) бири-бири менен дал келишет.

**Сызыктардын эң чоң болуу шарты.** 70-сүрөттө  $\Delta d = \lambda$  кезинде эки толкун пайда кылган  $x_1$  жана  $x_2$  жылышууларынын убакыттан көз карандылыгы көрсөтүлгөн. Термелүүлөрдүн фазаларынын айырмасы нөлгө барабар (же  $2\lambda$ нин өзү, себеби синустун мезгили  $2\lambda$ ге барабар). Бул термелүүлөрдүн кошулушунан амплитудасы эки эселенген натыйжалоочу термелүү пайда болот. Натыйжалоочу жылышуу  $x$  тин термелүүсү сүрөттө көк түстө көрсөтүлгөн. Эгерде  $\Delta d$  кесиндисине бир эмес, каалагандай толкун узундугунун бүтүн саны туура келсе, анда да ушундай болот.







Эгерде берилген чекитте термелүүнү пайда кылуучу эки толкундун жүрүш аралыгынын айырмасы толкун узундугунун бүтүн санына барабар болсо, чөйрөнүн берилген чекиттеги термелүүсүнүн амплитудасы эң чоң болот<sup>1</sup>:

$$\Delta d = k\lambda, \quad (4.3)$$

мында  $k=0, 1, 2, \dots$ .

**Сызыктардын эң кичине болуу шарты.** Эми  $\Delta d$  кесиндисине жарым толкун узундугу туура келсин дейли. Анда экинчи толкун биринчи толкундан жарым мезгилге артта калары ачык. Фазалардын айырмасы лге барабар, б. а. термелүүлөр карама-каршы фазада болушат. Бул термелүүлөрдү кошуунун натыйжасында натыйжалоочу термелүүнүн амплитудасы нөлгө барабар, б. а. каралып жаткан чекитте термелүү болбойт (71-сүрөт). Эгерде кесиндиге каалагандай так сандагы жарым толкун узундугу туура келсе деле ушундай болот.

Эгерде берилген чекитте термелүүнү пайда кылуучу эки толкундун жүрүш аралыгынын айырмасы жарым толкун узундугунун так санына барабар болсо, чөйрөнүн ал чекиттеги термелүүсүнүн амплитудасы эң кичине болот:

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

Эгерде  $d_2 - d_1$  жүрүш аралыгынын айырмасы  $\lambda$  менен  $\lambda/2$ нин арасында аралык мааниге ээ болсо, анда натыйжалоочу термелүүнүн амплитудасы да эки эселенген амплитуда менен нөлдүн ортосунда кандайдыр бир аралык мааниге ээ болот. Бирок, термелүүнүн амплитудасы каалаган чекитте убакыттын өтүшү менен өзгөрбөгөндүгү бир кыйла маанилүү. Суунун бетинде интерференциялык картина деп аталуучу термелүүнүн амплитудаларынын убакыт боюнча өзгөрбөгөн амплитудаларынын белгилүү бөлүштүрүлүшү пайда болот. 72-сүрөттө эки булактан чыккан эки тегерек толкундун интерференциялык картинасынын (кара тегерекчелер) фотографиясы көрсөтүлгөн. Фотографиянын орто бөлүгүндөгү агарган участкалар термелүүлөрдүн эң чоң абалына, ал эми карарган жерлери — эң кичине абалына туура келет.

<sup>1</sup> Бул эки булактын термелүү фазалары дал келишкен шартта гана туура болот.





**Гюйгенс Христиан (1629—1695)** — белгилүү голландиялык физик жана математик, жарыктын толкундук теориясын биринчи түзүүчү. Бул теориянын негизин Гюйгенс «Жарык жөнүндө баяндама» деген эмгегинде берген (1690). Гюйгенс биринчи жолу сааттын регулярдуу жүрүшүнө жетишүү үчүн маятникти пайдаланган, математикалык жана физикалык маятниктердин термелүү мезгилдеринин формуласын чыгарган. Гюйгенстин математикалык эмгектери конустук кесилиштерге, циклоиддерге жана башка ийри сызыктарды изилдөөгө тиешелүү болгон. Ага ыктымалдуулук теориясынын биринчи эмгектери да таандык. Гюйгенс Сатурндун Титан спутнигин жана Сатурндун шакекчеси анын бети менен тийишпей тургандыгын белгилеген.

**Когеренттүү толкундар.** Туруктуу интерференциялык картинаны пайда кылуу үчүн толкун булактары бирдей жыштыкка ээ болуп, алардын термелүүлөрүнүн фазаларынын айырмасы туруктуу болууга тийиш.

Бул шартты канааттандыруучу булактар когеренттүү деп аталат. Алар пайда кылган толкундар да когеренттүү толкундар деп аталат. Когеренттүү толкундарды кошууда гана туруктуу интерференциялык картина түзүлөт.

Эгерде булактардын термелүүлөрүнүн фазаларынын айырмасы туруктуу бойдон калбаса, анда бул эки толкун пайда кылган чөйрөнүн ар кандай чекиттеринде термелүүнүн фазаларынын айырмасы өзгөрөт. Ошондуктан натыйжалоочу термелүүнүн амплитудасы убакыттын өтүшү менен өзгөрүп турат. Натыйжада максимумдар менен минимумдар мейкиндикте которулуп, интерференциялык картина жоюлуп кетет.

Интерференция ар кандай жаратылыштагы толкундук процесстерге мүнөздүү. Айрым учурда үндүн интерференциясын байкоого болот. Интерференциянын чоң мааниси төмөндөгүдө турат: эгерде кандайдыр бир процессти үйрөнүүдө интерференция кубулушу байкалган болсо, анда бул, биздин толкундук кыймылдарды карап жаткандыгыбыздын талашсыз далили болот.

**Интерференция учурунда энергиянын бөлүштүрүлүшү.** Толкундар энергия алып жүрүшөт. Толкундар бири бирин өчүрүшкөндө бул энергиялар эмне болушат? Мүмкүн ал башка формага айланып, интерференциялык картинанын минимумунда жылуулук бөлүнүп чыгып жүрбөсүн? Такыр андай эмес. Интерференциялык картинанын берилген чекитинде минимумдун болушу, бул жерге энергия таптакыр берилбейт дегенди билдирет. Интерференциянын натыйжасында мейкиндикте энергиянын кайра бөлүштүрүлүшү болот. Ал чөйрөнүн бардык бөлүкчөлөрү боюнча бир калыпта бөлүнбөйт да, минимумга такыр берилбеген энергиянын эсебинен максимумдарда көбүрөөк топтолот.



### 31. Гюйгенстин принциби. Толкундардын чагылуу закону

Биз азырынча бир тектүү чөйрөдө таралуучу толкундар менен тааныштык. Эми толкун өзүнүн жолунда тоскоолдукту, мисалы, катуу дубалды жолуктурса эмне болорун карап көрөлү.

Толкундардын кыймыл мүнөзүн түшүндүрүүчү жалпы принцип Ньютондун замандашы голландиялык окумуштуу Христиан Гюйгенс тарабынан сунуш кылынган. Гюйгенстин принцибине ылайык, **толкун таралып жеткен чөйрөнүн ар бир чекитинин өзү экинчи толкун булагы болуп калат.**  $t$  убакыт моментиндеги толкундук беттин абалын билүү менен, анын андан кийинки  $t + \Delta t$  убакыт моментиндеги абалын табуу үчүн, толкундук беттин ар бир чекитин экинчи толкундун булагы катарында кароо керек. **Бардык экинчи толкундарды жануучу бет убакыттын кийинки моментиндеги толкундук беттин өзүн элестетет** (73-сүрөт). Бул принцип бирдей өлчөмдө ар кандай толкундардын: үн, жарык ж. б. таралышын түшүндүрүүгө жарактуу. Гюйгенс аны адегенде жарык толкуну үчүн формулировкалаган.

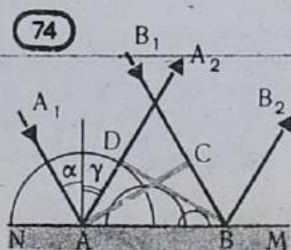
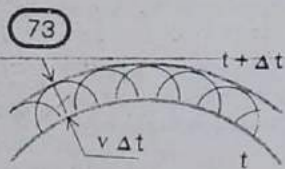
Механикалык толкундар үчүн Гюйгенстин принциби көрсөтмөлүү түшүндүрүлөт: термелүү жеткен чөйрөнүн бөлүкчөсү; өз иретинде термелүү менен, алар өз ара аракеттенишкен чөйрөнүн коңшулаш бөлүкчөлөрүн кыймылга келтирет.

Гюйгенстин принцибин пайдаланып эки чөйрөнү бөлүп туруучу беттен чагылган учурдагы толкундар баш ийүүчү закону табууга болот.

Жалпак толкун кандайча чагыларын карап көрөлү. 74-сүрөттө  $MN$  — чагылдыруучу бет,  $A_1A$  жана  $B_1B$  түз сызыктары — түшүүчү жалпак толкундардын эки нуру (алар бири бирине параллель).  $AC$  тегиздиги — бул толкундун толкундук бети.

Түшүүчү нур менен нур түшкөн чеките чагылдыруучу бетке тургузулган перпендикулярдын арасындагы  $\alpha$  бурчу түшүү бурчу деп аталат.

Чагылган толкундардын толкундук бетин алуу үчүн, борборлору чөйрөлөрдү бөлүп туруучу чекте жаткан экинчи толкунду жанып өтүүчү бетти жүргүзөбүз.  $AC$  толкундук беттин ар кандай бөлүктөрү чагылдыруучу чекке бирдей эмес убакытта жетишет. Демек,  $A$  чекитинде термелүүнүн козголушу,  $B$  чекитиндегиге



караганда  $\Delta t = \frac{CB}{v}$  убакытка эрте башталат ( $v$  — толкундун ылдамдыгы).

Толкун  $B$  чекитине жетип, бул чекитте термелүү башталган моментте, борбору  $A$  чекитинде жаткан экинчи толкун радиусу  $R = AD = \Delta t v = CB$  болгон жарым сфераны элестетет.  $A$  жана  $B$  чекиттеринин арасында жаткан экинчи толкундардын булактан баштап эсептелген радиустары 74-сүрөттө көрсөтүлгөндөй өзгөрүшөт. Экинчи толкундардын жанып өтүүлөрү болуп, сфералык беттерге жаныма болгон  $DB$  тегиздиги эсептелет. Ал чагылган толкундардын толкундук бетин элестетет.  $AA_2$  жана  $BB_2$  чагылган нурлар  $DB$  толкундук бетке перпендикулярдуу. Чагылдыруучу бетке тургузулган перпендикуляр менен чагылган нурдун ортосундагы  $\gamma$  бурчу *чагылуу бурчу* деп аталат.

$AD = CB$  жана  $ADB$  менен  $ACB$  үч бурчтуктары тик бурчтуу үч бурчтуктар болушкандыктан  $\angle DBA = \angle CAB$  болот. Бирок,  $\alpha = \angle CAB$  жана  $\gamma = \angle DBA$  бурчтары перпендикулярдуу жактардын арасындагы бурчтар. Демек, *чагылуу бурчу түшүү бурчуна барабар*<sup>1</sup>:

$$\alpha = \gamma. \quad (4.5)$$

Мындан тышкары Гюйгенстин түзүүлөрүнөн *түшүүчү нур, чагылган нур жана түшүү чекитинде тургузулган перпендикуляр бир тегиздикте жатышат* деген корутунду келип чыгат. Бул эки жобо *толкундардын чагылуу законун* берет.

Үндүн дубалдан, астанадан жана шыптан чагылышы үйдүн ичиндеги үндүн угулушуна чоң таасирин тийгизет. Чагылган үн баштапкы сүйлөнгөн сөздөр менен биригип, чоң имараттардын ичинде аны сезилерлик бузуп жиберет. Ошондуктан, сүйлөнгөн сөз түшүнүксүз болуп калат. Отургучтардын жумшак каптамалары, портьерлер чагылган толкундардын интенсивдүүлүгүн азайтып, үндүн сапатына сезилерлик таасир кылат. Булардын бардыгы көрүү залдарын долбоорлоодо эске алынат. *Архитектуралык акустика* \* деп аталган атайын техникалык дисциплина бар.

## 32. Толкундардын сынышы

Түрдүү касиетке ээ болгон эки чөйрөнүн чегинде толкундардын чагылуусу гана эмес, алардын *сынышы* да байкалат. Толкун бир чөйрөдөн экинчи чөйрөгө өтүү менен өзүнүн таралуу багытын өзгөртөт — сынат.

*Дениз жээгинде*, жээкке удургуп жеткен толкундардын өркөчтөрү, көзгө жээктин кырына параллель сыяктанып сезилет. Анын мындай болушу суунун бетиндеги толкундардын таралуу ылдамдыгы суунун тереңдиги менен байланыштуулугунан келип чыгат.

<sup>1</sup> Мында жана мындан ары алгебралык катыштарда *бурч* жөнүндө сөз болгондо анын радиандык (же градустук) чени деп түшүнүлөт.



Сызыктуу толкун жээкке жакындаганда, анын тайыз жерине адепки жеткен бөлүгү, биринчи кезекте акырындай баштайт. Натыйжада толкун, анын толкундук бети жээкке параллель болгондой болуп бурулат (сынат).

**Толкундун сынуу законун чыгаруу.** Бир чөйрөдөн экинчи чөйрөгө өтүүдө толкундардын сынышы тигил же бул чөйрөдө алардын таралуу ылдамдыктарынын айырмаланышына байланыштуу. Эки чөйрөнүн бөлүнгөн чеги тегиздик болгон учурдагы толкундардын сынышын Гюйгенстин принцибинин жардамы менен карап көрөлү. Толкундардын биринчи чөйрөдөгү таралуу ылдамдыгын  $v_1$ , экинчи чөйрөдөгү ылдамдыгын  $v_2$  менен белгилейли.

Чөйрөлөрдүн бөлүнүү чегине жалпак толкун келип түшсүн дейли (75-сүрөт). Чагылуу учурундагыдай эле, түшүүчү нур менен чөйрөлөрдүн бөлүнгөн беттерине түшүрүлгөн перпендикулярдын ортосундагы бурчту *түшүү бурчу* деп айтабыз.  $AC$  толкундук бет  $A_1A$  жана  $B_1B$  нурларына перпендикулярдуу.  $MN$  бетине адегенде  $A_1A$  нуру жетет.  $B_1B$  нуру ал бетке

$$\Delta t = \frac{CB}{v_1}$$

убактысынан кийин келип жетет. Ошондуктан  $B$  чекитинде экинчи толкун пайда боло баштаган моментте  $A$  чекитинен таралган экинчи толкун

$$AD = v_2 \cdot \Delta t$$

радиустуу сфера болуп калат.

Сынган толкундардын толкундук бетин, борбору бөлүнүү чегинде жаткан экинчи чөйрөдөгү бардык экинчи толкундарга жаныма бетти жүргүзүү менен алууга болот. Берилген учурда ал  $BD$  тегиздиги. Ал бурулган (айланып өткөн) экинчи толкундардын өзү болуп эсептелет.

$\alpha$  түшүү бурчу  $ABC$  үч бурчтугундагы  $CAB$  бурчуна барабар (бул бурчтардын биринин жагы экинчисинин жактарына перпендикулярдуу). Демек,

$$CB = v_1 \Delta t = AB \sin \alpha. \quad (4.6)$$

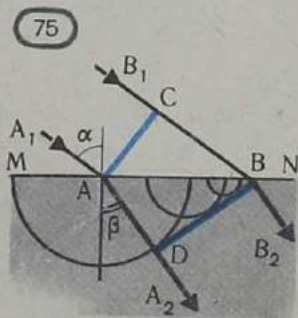
*Сынуу бурчу* деп сынган нур менен бөлүнүү чегинин бетине түшүрүлгөн перпендикулярдын арасындагы бурчту айтабыз.  $\beta$  сынуу бурчу  $ABD$  үч бурчтугунун  $ABD$  бурчуна барабар. Ошондуктан

$$AD = v_2 \Delta t = AB \sin \beta. \quad (4.7)$$

(4.6) ны (4.7) ге бөлүп, төмөнкүнү алабыз:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n, \quad (4.8)$$

мында  $n$  — түшүү бурчунан көз каранды болгон турактуу чоңдук. Ал *сынуу көрсөткүчү* деп аталат.



Жогоруда түзүлгөн чиймеден (75-сүрөттү карагыла) түшүүчү нур, сынган нур жана түшүү чекитинде тургузулган перпендикуляр бир тегиздикте жатаары көрүнүп турат. Бул жобо түшүү бурчунун синусунун сынуу бурчунун синусуна болгон катышы эки чөйрө үчүн турактуу чоңдук деген (4.8) теңдемеси менен бирге толкундардын сынуу закону болуп эсептелет.

### 33. Толкундардын дифракциясы

§ 31 та толкундардын чагылышын кароо менен, биз чагылдыруучу бет абдан чоң деп эсептегенбиз. Бирок, толкун өздөрүнүн жолунда көпчүлүк учурларда анчалык чоң эмес (толкун узундугуна салыштырмалуу) тоскоолдуктарды жолуктурат. Толкун узундугу менен тоскоолдуктун өлчөмүнүн ортосундагы байланыш негизинен толкундун кыймыл-аракетин аныктайт.

Толкундар тоскоолдуктан айланып өтүүгө жөндөмдүү. Тоскоолдуктун өлчөмү кичине болгондо толкундар анын четтеринен ийилип өтүп, кайра биригишет. Мисалы, деңиз толкундары суудан чыгып турган таштарды, эгер ал таштардын өлчөмдөрү толкун узундугуна салыштырмалуу кичине же барабар болсо, айланып өтүшөт. Таштан өткөндөн кийин толкун, таш жок болгон сыяктуу өзгөрүүсүз тарала берет (76-сүрөттө кичинекей таштар). Ушул эле сыяктуу, көлмөгө ыргытылган таштан пайда болгон толкундар да андан чыгып турган чырпыктарды айланып өтүп тарала берет. Өлчөмү толкун узундугуна салыштырмалуу чоң болгон тоскоолдуктар гана (76-сүрөттөгү чоң таш) өзүнүн артында көлөкө калтырат: анын артына толкун өтпөйт.

Тоскоолдукту айланып өтүү жөндөмдүүлүгүнө үн толкундары да ээ болушат. Силер, машинанын өзүн көрбөсөңөр да, үйдүн ары жагынан анын үнүн угасынар. Токойдо силердин жолдошуңарды бак-дарактар тосуп көрсөтпөйт дейли. Аларды жоготпос үчүн силер кыйкырасыңар. Үн толкуну жарыктан айырмаланып, дарактардын сөңгөктөрүнөн эркин айланып өтүшөт да, силердин үнүңөрдү жолдошуңарга жеткирет.

Толкундардын түз сызыктуу таралуудан четтеши, тоскоолдуктарды айланып өтүшү *дифракция* деп аталат (бул термин латындын *diffractus* — *сынган* деген сөзүнөн келип чыккан). Дифракция да интерференция сыяктуу ар кандай толкундук процесстерге мүнөздүү. Дифракция учурунда толкундук беттер тоскоолдуктун четтеринде ийриленип кетет.

76



Толкундун дифракциясы толкундун таралуу жолуна өлчөмү толкундун узундугунан кичине же аны менен салыштырмалуу тоскоолдук болуп калган учурда даана байкалат.

Суунун бетиндеги толкундун дифракция кубулушу, эгерде толкундун таралуу

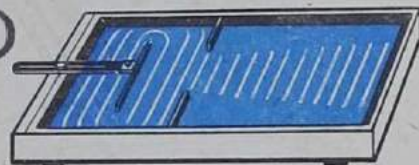


жолуна өлчөмү толкун узундугунан кичине болгон жылчыктуу экранды койсок, эң сонун көргөзмөлүү байкалат (77-сүрөт). Экрандын жылчыгына термелүүчү тело — толкундун булагы жайгаштырылса, экрандын арт жагында тегерек толкундардын таралып жаткандыгы жакшы көрүнөт. Гюйгенстин принцибине ылайык так ушундай болууга тийиш. Кууш жылчыктагы экинчи толкун булактары бири-бирине өтө жакын жайланышкандыктан, аларды бир эле чекиттик булак деп кароого болот.

77



78



Эгерде жылчыктын өлчөмү толкун узундугуна салыштырмалуу чоң болсо, анда экрандын артында толкундардын таралуу картинасы таптакыр башкача (78-сүрөт). Толкун жылчык аркылуу өзүнүн формасын дээрлик өзгөртпөстөн өтүп кетет. Анын четтеринде гана толкундук беттердин бир аз ийриленишин ага байланыштуу толкундун экрандын артындагы мейкиндикке анча-мынча өтүшүн байкоого болот.

Гюйгенстин принциби дифракциянын эмне үчүн болорун түшүндүрүүгө мүмкүндүк берет. Чөйрөнүн бөлүктөрү тарабынан чыгарылган экинчи толкундар, толкундун таралуу багытына коюлган тоскоолдуктун четтеринен имерилип кетишет.

Гюйгенстин принциби дифракциянын эмне үчүн болорун түшүндүрүүгө мүмкүндүк берет. Чөйрөнүн бөлүктөрү тарабынан чыгарылган экинчи толкундар, толкундун таралуу багытына коюлган тоскоолдуктун четтеринен имерилип кетишет.

#### Сураолор

1. Кандай толкундарды когеренттүү деп айтабыз?
2. Интерференция деп эмнени айтабыз?
3. Интерференциялык картинанын максимум жана минимум шарттарын айтып бергиле.
4. Интерференциялык картинанын минимумундагы толкундардын өз ара жоюлушун, толкундун энергиясынын

башка түрдөгү энергияга айланышы деп түшүнүүгө болобу?

5. Гюйгенстин принциби кандайча айтылат?
6. Толкундардын чагылуу жана сынуу закондору кандайча айтылат?
7. Кандай шартта толкундун дифракциясы өзгөчө даана байкалат?

#### 4-көнүгүү

1. Мылтыктын атылышынан пайда болгон жаңырык, атуучуга ок атылгандан 4 с өткөндөн кийин жетет. Үн чагылган тоскоолдук байкоочудан канчалык аралыкта турат? Үндүн абадагы ылдамдыгы 330 м/с га барабар.
2. Байкоочудан  $s=1060$  м аралыкта темир жол рельсин балка менен урат. Байкоочу кулагын рельске төшөп, үндү аба менен келген үндөн  $t=3$  с мурда угат. Болоттогу үндүн ылдамдыгы эм-

неге барабар? Абадагы үндүн ылдамдыгы 330 м/с га барабар деп кабыл алыңдар.

3. Эгерде мезгили  $T=0,005$  с болгон термелүү, узундугу  $\lambda=7,175$  м болгон үн толкунун пайда кылса, суудагы үндүн ылдамдыгын аныктагыла.
4. Эгерде булактан эсептелген аралыктарынын айырмасы 25 см, ал эми термелүүнүн жыштыгы  $\nu=680$  Гц болсо, үн толкунунун эки чекитинин ара-

сындагы фазалар айырмасын аныктагыла. Үндүн ылдамдыгы 340 м/с га барабар деп кабыл алынган.

5. Абадан сууга өткөндө үндүн толкун узундугу канча эсеге өзгөрөт? Суудагы үндүн ылдамдыгы 1435 м/с, абадагы ылдамдыгы 340 м/с.

#### 4-главанын кыскача жыйынтыктары

Толкун деп убакыттын өтүшү менен мейкиндикте термелүүнүн таралышын айтабыз. Толкун бир орундан экинчи орунга чөйрөнүн затын эмес, энергияны ташыйт.

Толкундар туурасынан жана узатасынан кеткен толкундар болуп айырмаланышат. Туурасынан кеткен толкундарда термелүү алардын таралуу багытына перпендикулярдуу багытта, ал эми узатасынан кеткен толкундарда термелүү таралуу багытын бойлото болот.

Термелүүлөрү бирдей фазадагы толкундун жакынкы эки чекинин ортосундагы аралык толкун узундугу деп аталат.

Бардык толкун чектүү ылдамдык менен таралат. Толкун узундугу, толкундун таралуу ылдамдыгы  $v$  дан жана термелүүнүн жыштыгы  $\nu$  дан көз каранды:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}.$$

Термелүү жыштыгы 17 Гц тен 20 000 Гц ке чейинки чөйрөдөгү узатасынан кеткен толкундар үн толкундары же акустикалык толкундар деп аталат. Үн толкундарынын ылдамдыгы чөйрөнүн касиетинен жана температурасынан көз каранды.

Үндүн катуулугу термелүүнүн амплитудасы, ал эми бийиктиги — термелүүнүн жыштыгы менен аныкталат.

Бир нече толкундардын бири-бири менен катталышуусунда, ал толкундар тарабынан пайда болгон термелүүлөр кошулушат. Натыйжалоочу термелүүлөрдүн амплитудаларынын убакыт боюнча туруктуу бөлүштүрүлүшүн берүүчү мейкиндикте толкундардын кошулушу интерференция деп аталат. Эгерде эки толкундун жүрүш аралыгы толкун узундугунун бүтүн санына барабар болсо, анда толкундар бири бирин күчөтүшөт. Жүрүш аралыгы жарым толкун узундугунун так санына барабар болсо, толкундар бири бирин өчүрүшөт.

Туруктуу интерференциялык картина когеренттүү толкундардын кошулушунда гана пайда болот. Когеренттүү толкундар бирдей жыштыкка жана убакыттын өтүшү менен өзгөрбөгөн термелүү фазаларынын айырмасына ээ.

Толкундар тоскоолдуктарды айланып өтүүгө жөндөмдүү. Толкундардын түз сызыктуу таралуудан четтеп, алардын тоскоолдуктарды айланып өтүшү дифракция деп аталат. Толкундардын дифракциясы тоскоолдуктардын өлчөмдөрү толкун узундугунан кичине, же ага салыштырмалуу болгон учурларда даана байкалат.

Гюйгенс толкундардын кыймыл мүнөзүн баяндоочу жалпы



принципти формулировкакалаган. Гюйгенстин принциби боюнча тер-мелүү таралып жеткен чөйрөнүн ар бир чекитинин өзү экинчи толкундардын булагы болуп калат. Гюйгенстин принцибинин жар-дамы менен чагылуу жана сынуу закондорун чыгарууга болот.

## 5-глава

# Электромагниттик толкундар

## 34. Электромагниттик талаа

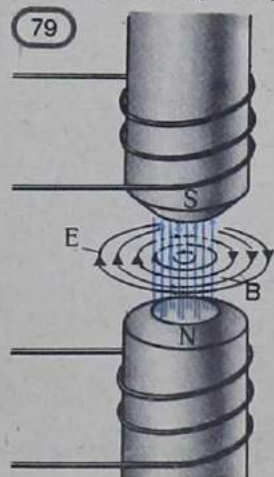
Электромагниттик толкундарды окуп үйрөнүүдө IX класстын физика курсунда айтылган электродинамиканын закондорун пайдаланганбыз. Бирок бул билимдер электромагниттик толкун-дардын пайда болуу жана таралуу процесстерин түшүнүү үчүн жетишсиз. Ошондуктан IX класста өтүлгөн электродинами-канын негизги жоболорун кайталагандан кийин гана жаңы факты-лар менен таанышабыз.

**Электродинамиканын негизги жоболору.** Электр зарядына ээ болуп тынч абалда турган бөлүкчөлөрдөй эле кыймылдагы бөлүк-чөлөр да өз айланасында электр талаасын түзүшөт. Бул талаанын чыналыш сызыктары оң заряддан башталат да терс заряддан бүтөт. Электр талаасы заряддалган бөлүкчөлөрдүн кыймылда же кыймылсыз экендигине карабастан аларга таасир этет.

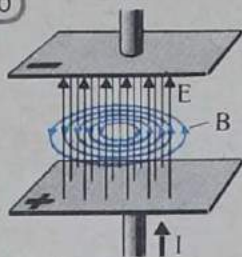
Электр тогу (багытталган кыймылдагы заряддалган бөлүкчө-лөрдүн жыйындысы) өз айланасында магнит талаасын түзөт. Магниттик индукциянын сызыктары тогу бар өткөргүчтү өз ичине алат жана ар дайым туюк болот. Мындай талаа куюндуу талаа деп аталат. Магнит талаасы электр тогуна, б. а. кыймылдагы заряддалган бөлүкчөгө гана таасир этет. Турактуу электр тогу убакыттын өтүшү менен индукция өзгөр-бөгөн магнит талаасын түзөт.

Электр жана магнит талаалары үзгүл-түксүз болушат. Бул болсо, заряддардын электр талаасынын чыналышы жана ток-тун магниттик индукцияны мейкиндиктин бардык чекиттеринде белгилүү мааниге ээ болот жана бул маанилер чекиттен чекитке өткөн кезде үзгүлтүксүз өзгөрөт дегенди билдирет.

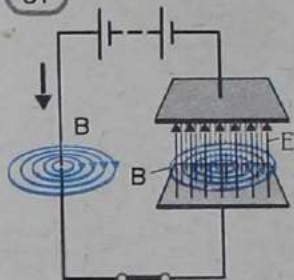
Электромагниттик индукцияны окуп үйрөнгөндөн кийин гана убакыт өткөн сайын өзгөргөн талаа менен таанышууга өттүк. Мында фундаменталдык жаңы факт белгилүү болду: өзгөрмө магнит талаасы чыналышынын сызыктары туюк болгон электр талаасын пайда кылат. Мына



80



81



ошентип, электр талаасы электр зарядынан гана эмес, өзгөрмө магнит талаасынан да пайда болот.

$\vec{B}$  магниттик индукциясы убакытка жараша өзгөргөндө, чыңалышынын сызыктары магниттик индукциянын сызыктарын өз ичине алган электр талаасы пайда болот (79-сүрөт). Магниттик индукция канчалык тез өзгөрсө, электр талаасынын чыңалышы ошончолук чоң болот.

Ленцтин эрежеси боюнча магниттик индукция чоңойгон кезде ( $\frac{\Delta B}{\Delta t} > 0$ ) электр талаасынын  $\vec{E}$  чыңалышынын багыты,  $\vec{B}$  векторунун багыты менен сол бураманы түзөт. Бул болсо, сол сайлуу бураманы электр талаасынын сызыктары боюнча бураган кезде, бураманын алга умтулган кыймылы магниттик индукциянын багыты менен дал келет дегенди билдирет.

Тескерисинче, магниттик индукция азайган кезде ( $\frac{\Delta B}{\Delta t} < 0$ )  $\vec{E}$  векторунун багыты  $\vec{B}$  векторунун багыты менен оң бураманы түзөт.

**Электр талаасы өзгөргөн кезде магнит талаасынын пайда болушу.** Максвелл электромагниттик талаанын касиеттерин окуп үйрөнүүдө мындай суроо койгон: эгерде өзгөрмө магнит талаасы электр талаасын пайда кылса, анда жаратылышта буга тескери процесстин болушу мүмкүнбү?

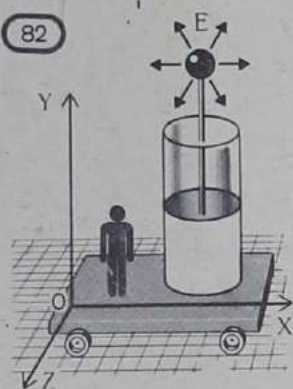
Өзгөрмө электр талаасы өз кезегинде магнит талаасын пайда кылып жүрбөсүн? Жаратылыштын жалпылыгы жөнүндө ишенимдүү айтылган ойлор, жаратылыштын закондорунун ички түзүлүшү жана гармониясы Максвеллдин гипотезасынын негизин түзөт.

Максвелл мындай процесс жаратылышта реалдуу болот деп божомолдогон. Бардык учурларда, *убакыттын өтүшү менен электр талаасы өзгөргөндө, ал магнит талаасын пайда кылат.*

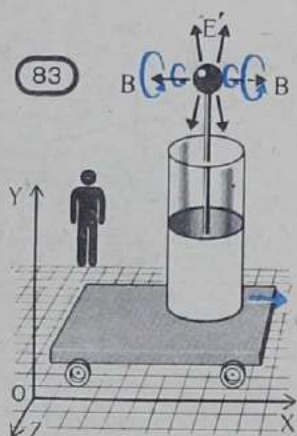
Электр талаасынын чыңалышынын сызыктары өзгөрмө магнит талаасынын индукция сызыктарын өз ичине алган сыяктуу эле, магниттик индукция сызыктары электр талаасынын чыңалыш сызыктарын өз ичине алат (80-сүрөт). Бирок эми электр талаасынын чыңалышы көбөйө баштаган кезде ( $\frac{\Delta E}{\Delta t} > 0$ ) пайда



82



83



болгон магнит талаасынын  $\vec{B}$  индукция векторунун багыты  $\vec{E}$  векторунун багыты менен оң бураманы түзөт.

Электр талаасынын чыналышы азайган кезде ( $\frac{\Delta E}{\Delta t} < 0$ ) магниттик индукция вектору  $\vec{B}$  нын багыты  $\vec{E}$  векторунун багыты менен сол бураманы түзөт.

Максвеллдин гипотезасы боюнча магнит талаасы, мисалы, конденсаторду заряддаган кезде өткөргүчтөгү токтон гана пайда болбостон, конденсатордун обкладкаларынын арасындагы мейкиндиктеги электр талаасынын өзгөрүшүнөн да пайда болот (81-сүрөт). Ошондой болсо да, обкладкалардын арасында өткөргүчтөгү токко барабар болгондой электр тогу болсо, анда өзгөрмө электр талаасы ошондой эле магнит талаасын түзөт. Максвеллдин гипотезасынын туура экендиги, электромагниттик толкундун эксперименталдык түрдө байкалышы менен далилденген. Өзгөрмө магнит талаасы өзгөрмө электр талаасын пайда кылып, ал эми ал өз кезегинде магнит талаасын пайда кылгандыктан гана электромагниттик толкундар болуп турат.

**Электромагниттик талаа.** Өзгөрмө электр жана магнит талааларынын арасындагы өз ара байланыштар ачылгандан кийин, бул талаалардын бири экинчисинен көз карандысыз обочолонуп жашай албай тургандыгы түшүнүктүү болуп калды.

Бир эле убакта мейкиндикте электр талаасы пайда болбой туруп, өзгөрмө магнит талаасын түзүүгө болбойт. Тескерисинче, өзгөрмө электр талаасы магнит талаасысыз боло албайт.

Электр талаасы магнит талаасысыз же болбосо магнит талаасы электр талаасысыз белгилүү бир эсептөө системасына карата гана болушу мүмкүн экендиги өзгөчө мааниге ээ. Мисалы, тынч турган заряд электр талаасын гана түзөт (82-сүрөт). Бирок, заряд белгилүү бир эсептөө системасына салыштырмалуу гана тынч турат. Башка эсептөө системасына карата заряд кыймылда болот, демек, ал магнит талаасын да түзөт (83-сүрөт).

Дал ушул сыяктуу эле магнит менен байланышкан эсептөө

Handwritten notes in blue ink at the bottom of the page, including the date "19/11/2019" and some illegible scribbles.

системасында магнит талаасы гана байкалат. Бирок, магнитке карата кыймылдагы байкоочу электр талаасынын да бар экендигин байкайт. Себеби, магнитке карата кыймылда болгон эсептөө системасында, байкоочунун магнитке жакындашына же алысташына карата магнит талаасы убакыттын өтүшү менен өзгөрүп турат. Убакыт боюнча өзгөргөн магнит талаасы куюндуу электр талаасын (электромагниттик индукция кубулушу) пайда кылат.

Демек, *мейкиндиктин берилген чекитинде жалгыз гана электр жөдө магнит талаасы бар деп айтуу, эгерде бул талаалар кайсы эсептөө системасына салыштырмалуу каралып жаткандыгы көрсөтүлбөсө, маанисиз болуп калат*. Тынч турган магнитти өз ичине алган эсептөө системасында электр талаасы болбосо, электр талаасы таптакыр жок дегендикке жатпайт. Магнитке карата кыймылдагы ар кандай эсептөө системасында бул талаанын бар экендигин байкоого болот.

Электр жана магнит талаалары *электромагниттик талаа* деп аталган бүтүндөй бир көрүнүш. Электромагниттик талаа — материянын өзгөчө формасы. Ал реалдуу, б. а. биздин билимбизге көз карандысыз болот. Бирок электромагниттик процесстер кайсы эсептөө системасында каралып жаткандыгына байланыштуу, электромагниттик талаанын бирдиктүү бул же тигил жактары көрүнөт/ Бардык инерциялык эсептөө системасы бирдей мааниге ээ. Ошондуктан электромагниттик талаанын байкалган кубулушунун бирине да артыкчылык берүүгө мүмкүн эмес.

### 35. Электромагниттик толкундар

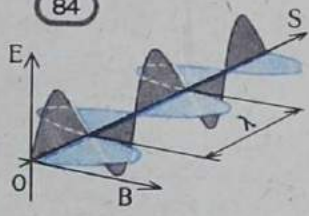
Жаратылыштын фундаменталдык закондору, анын ичинде Максвелл тарабынан ачылган электромагнетизм закондору төмөнкүдөй сонун өзгөчөлүккө ээ: *алар, өздөрү негизделип алынган фактылардагыга караганда көбүрөөк тыянактарды берет*.

Электромагниттик талаанын максвеллдик закондорунан келип чыгуучу көп сандаган, өтө кызыктуу жана маанилүү натыйжаларынын ичинен, бирөө өзгөчө көңүл бурууну талап кылат. Бул, *электромагниттик өз ара аракеттенүүнүн чектүү ылдамдык менен таралышы* жөнүндөгү корутунду.

Алыстан аракет этүү теориясына ылайык электр зарядына аракет этүүчү кулондук күч, заряддын бирөө эле өзүнүн ордунан жылдырылса, ошол замат өзгөрөт. Аракет кирпич каккыча берилет. Аралыктан аракет этүү көз карашы менен алганда, мындан башкача болушу мүмкүн эмес: анткени, бир заряд боштук аркылуу экинчи заряддын болушун «сезип» турат.

Жакындан аракет этүү жөнүндөгү көз караштын негизинде иш таптакыр башкача жана бир кыйла татаал. Заряддын которулушу анын жанындагы электр талаасын өзгөртөт. Бул өзгөрмө электр талаасы мейкиндиктин коңшу аймактарында өзгөрмө магнит талаасын пайда кылат. Өзгөрмө магнит талаасы, өз кезегинде өзгөрмө электр талаасын пайда кылат ж. у. с.





Ошентип, заряддын которулушу электромагниттик талаанын «бүркүмүн» пайда кылат. Ал таралуу менен курчап турган мейкиндиктин улам чоңураак аймагын ээлеп, жолундагы заряд жылганга чейинки талааны кайра өзгөртүп жүрүп отурат. Акырында, бул «бүркүм» экинчи зарядга жетип, ага аракет кылгаң күчтүн өзгөрүшүнө алып келет. Бирок, ал биринчи заряд жылышкан кездеги убакыт моментинде пайда болбойт. Механизми Максвелл тарабынан ачылган бул электромагниттик козголуунун таралуу процесси өтө чоң ылдамдык менен болсо да чектүү таралат. Талаанын реалдуулугунда шек жок экендигинин фундаменталдык касиети мына ушунда турат.

Максвелл математикалык жол менен бул процесстин таралуу ылдамдыгы, жарыктын вакуумдагы ылдамдыгына барабар экендигин көрсөттү.

**Электромагниттик толкун.** Силер электр заряды бир чекиттен экинчи чекитке жөн эле жылдырылбастан, кандайдыр бир түз сызыкты бойлото тез термелүүгө келтирилди деп элестеткиле. Заряд пружинага илинген жүк сыяктуу кыймылдайт, бирок анын термелүүсү абдан чоң жыштыкта болот. Анда зарядга өтө жакынкы электр талаасы мезгили менен өзгөрүп турат. Бул өзгөрүүлөрдүн мезгили заряддын термелүү мезгилине барабар экендиги айкын. Өзгөрмө электр талаасы мезгили менен өзгөрүүчү магнит талаасын пайда кылат, ал эми магнит талаасы өз кезегинде заряддан алыс аралыкта өзгөрмө электр талаасын пайда кылууга алып келет ж. у. с.

Биз заряддын термелүүсүнөн пайда болгон электромагниттик талаанын татаал кубулушун толугу менен карап отурбайбыз. Анын акыркы гана жыйынтыгын келтиребиз.

Зарядды курчап турган мейкиндикте, анын улам чоңураак аймагын кучагына алган жана бири бирине перпендикуляр болгон мезгил-мезгили менен өзгөрүүчү электр жана магнит талааларынын системасы пайда болот. 84-сүрөттө мындай системадагы талаалардын «тез тартылган сүрөтү» көрсөтүлгөн.

Термелүүчү заряддан бардык багыт боюнча таралуучу *электромагниттик толкун* деп аталуучу толкун пайда болот.

84-сүрөттө көрсөтүлгөн электромагниттик толкундарды кандайдыр бир чөйрөгө таасир этүүдөн пайда болгон суунун бетиндеги толкундар сыяктуу кароого болбойт. Бул сүрөттө убакыттын белгилүү бир моментиндеги  $\vec{E}$  жана  $\vec{B}$  векторлорунун мейкиндиктеги  $Ox$  сызыгынын ар кандай чекиттериндеги маанилери белгилүү бир масштаб боюнча берилген. Суу бетинде пайда болгон механикалык толкундардыкы сыяктуу чөйрөдө эч кандай ойдуң жана дөңсөө көрүнүштөр пайда болбойт.

Мейкиндиктин ар бир чекитинде электр жана магнит талаалары убакыт боюнча мезгили менен өзгөрүп турушат. Чекит заряд-

дан канчалык алыс жатса, ага талаанын термелиши ошончолук кеч жетет. Демек, заряддан ар кандай аралыктагы термелүүлөр ар түрдүү фазада болушат.

$E$  жана  $B$  векторлорунун термелүүлөрү каалаган чекитте фазалары боюнча дал келишет<sup>1</sup>. Термелүүлөрү бирдей фазада болгон коңшу эки чекиттин ортосундагы аралык  $\lambda$  толкун узундугун берет. Убакыттын берилген моментинде  $E$  жана  $B$  векторлорунун маанилери мейкиндикте  $\lambda$  мезгили менен мезгилдүү өзгөрүп турат.

Электр талаасынын чыналыш вектору менен магнит талаасынын индукция векторунун термелүү багыты толкундардын таралуу багытына перпендикуляр болот. **Электромагниттик толкундар туурасынан кеткен толкундар болуп эсептелишет.**

Мына ошентип, электромагниттик толкунда  $E$  жана  $B$  векторлору бири бирине перпендикулярдуу жана ал толкундардын таралуу багыттарына перпендикулярдуу болушат. Эгерде бураманы оң сайы менен  $E$  векторунан  $B$  векторун көздөй айландырсак, анда бураманын алга умтулуу кыймылы толкундардын  $c$  ылдамдык вектору менен дал келет.

Электромагниттик толкундарды термелүүдө болгон заряддар нурдантышат. Бул учурда, мындай заряддардын кыймылынын ылдамдыгынын убакыттын өтүшү менен өзгөрүшү, б. а. алардын **ылдамдануу** менен кыймылда болушу өтө маанилүү. **Ылдамданууга ээ болуу — электромагниттик толкундардын нурдануусунун негизги шарты.** Электромагниттик талаа заряддар термелүү кыймылында болгондо гана нурданбастан, ылдамдыктын ар кандай тез өзгөрүшүнөн да нурданат жана заряддын ылдамдануусу канчалык чоң болсо, нурдануунун интенсивдүүлүгү ошончолук жогору болот.

Аны төмөнкүчө көрсөтмөлүү элестетсек болот. Заряддалган бөлүкчө турактуу ылдамдык менен кыймылга келген кезде, ал түзгөн электр жана магнит талаалары чубалып анын артында бөлүкчөлөрдү коштогон болот. Бөлүкчөлөр ылдамдатылган кезде магнит талаасына таандык болгон инерттүүлүк келип чыгат. Талаа бөлүкчөдөн «үзүлүп» кеткенден кийин электромагниттик толкун формасында өз алдынча болуп калат.

Толкундун электромагниттик талаасынын энергиясы  $E$  жана  $B$  векторлорунун өзгөрүшү менен убакыттын берилген моментинде мейкиндикте мезгилдүү өзгөрөт. Таралуучу толкун өзү менен кошо, толкундун таралуу багыты боюнча  $c$  ылдамдыгы менен которулуучу энергияны алып жүрөт. Ошонун натыйжасында электромагниттик талаанын энергиясы мейкиндиктин каалаган

<sup>1</sup> Термелүү контурундагы заряд менен токту термелүүсү сыяктуу, термелген заряддын жанында  $E$  жана  $B$ нын термелүүлөрү фазалары боюнча  $\frac{\pi}{2}$  ге жылышкан. Эмне үчүн заряддан алыстаган кезде толкундар фазалары боюнча жылышууга ээ болбостугун ачык түшүндүрүүгө мүмкүн эмес. Бул болсо электромагниттик толкундардын математикалык теориясынын натыйжасы.



областында убакыттын өтүшү менен мезгилдүү өзгөрүп турат.

Максвелл электромагниттик толкундардын реалдуулугуна терең ишенген. Бирок ал электромагниттик толкундун эксперименталдык алынышына чейин жашаган эмес. Максвелл дүйнөдөн кайткандан 10 жыл өткөндөн кийин гана электромагниттик толкундар Герц тарабынан эксперименталдык жол менен алынган.

### 36. Электромагниттик толкундарды нурдантуу

Электромагниттик толкундар өзгөрмө электр жана магнит талааларынын өз ара байланышынан пайда болот. Бир талаанын өзгөрүшү экинчисинин пайда болушуна алып келет. Магниттик индукция убакыттын өтүшү менен канчалык тез өзгөрсө, пайда болгон электр талаасынын чыңалышы ошончолук чоң болот. § 34 та айтылган. Өз учурунда электр талаасынын чыңалышы канчалык тез өзгөрсө, магниттик индукция ошончолук чоң болот.

Демек, *интенсивдүү электромагниттик толкунду түзүү үчүн жетишээрлик жогорку жыштыктагы электромагниттик термелүүнү түзүү керек.* Мындай шарттарда электр талаасынын чыңалышы  $E$  жана магниттик индукция  $B$  тез өзгөрүп турат.

Жыштыгы өнөр жай тогунун жыштыгынан (50 Гц) бир канча жогору болгон жогорку жыштыктагы термелүүнү термелүү контурунун жардамы менен алууга болот. Контурдун индуктивдүүлүгү жана сыйымдуулугу канчалык кичине болсо, термелүүнүн жыштыгы  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  ошончолук чоң болот.

**Туюк термелүү контуру.** Ошентсе да жогорку жыштыктагы электромагниттик термелүүлөр электромагниттик толкундардын интенсивдүү нурданышын камсыз кыла албайт. 20-сүрөттө көрсөтүлгөн кадимки контур (аны жабык контур деп айтууга болот), туюк электр чынжыры түрүндө болот жана убакыттын берилген моментинде чынжырлардын бардык бөлүгүндө электр тогу бирдей. Мындай контур электромагниттик толкундарды начар нурдантат.

Контурдагы катушканын оромунун ар бир бөлүгүнө, оромдун диаметринин учтарына карама-каршы багытталган жакын жайланышкан бөлүк туура келет, андагы электр тогу тескери багытты көздөй агат (85-сүрөт). Оромдон алыскы аралыкта бул бөлүктөр, индукциялары дээрлик модулдары боюнча барабар жана карама-каршы жактарга багытталган магнит талааларын түзүшөт. Натыйжада контурдан алыскы аралыкта талаа бири бирин начарлатат, ошондуктан магнит талаасы катушканын ички бөлүгүндө гана топтолгон болот.

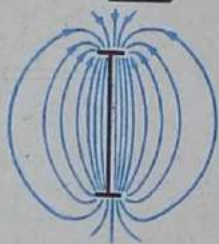
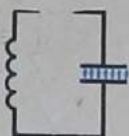
Конденсатордун обкладкаларындагы заряддардын электр талаасы деле так ушундай абалда. Заряддар модулдары боюнча барабар жана белгилери боюнча карама-каршы. Электр талаасынын дээрлик бардыгы пластиналардын арасына

85

Катушканын орому



86

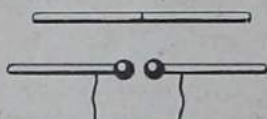


топтолгон, ал эми алардын алыскы аралыктарда карама-каршы белгидеги заряддардын электр талаалары дээрлик бүт бойдон бири бирин жоюшат.

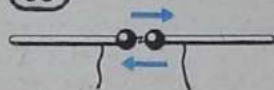
**Ачык термелүү контуру.** Электромагниттик толкунду алуу үчүн Герц азыркы кезде Герцтин вибратору деп аталган жөнөкөй түзүлүштү пайдаланган. Бул түзүлүш ачык термелүү контурун элестетет.

Конденсатордун пластиналарынын аянтын кичирейтүү менен аларды бири биринен акырындык менен алыстатып жана бир эле убакта катушкадагы оромдун санын азайтуу аркылуу туюк контурдан ачык контурга өтүүгө болот (86-сүрөт). Эң акырында жөнөкөй түз өткөргүч пайда болот. Ушунун өзү ачык термелүү контуру болот. Герцтин вибраторунун сыйымдуулугу жана индуктивдүүлүгү кичине. Ошондуктан термелүүнүн жыштыгы өтө чоң.

87



88



Ачык термелүү контурунда заряддар өткөргүчтүн учтарына топтолбостон башынан аягына чейин бөлүштүрүлгөн. Электр тогу убакыттын берилген моментинде өткөргүчтүн бардык кесилишинде бир жакты көздөй багытталат, бирок ток күчү өткөргүчтүн ар кандай кесилишинде түрдүүчө болот. Ток өткөргүчтүн учтарында нөлгө барабар, ал эми анын ортосунда максималдык мааниге жетет. (Өзгөрмө

токтун кадимки чынжырында ток күчү убакыттын берилген моментинде бардык кесилиштеринде бирдей экенин эске сала кетебиз).

Мындай контурда термелүүнү пайда кылуу үчүн Герцтин убагында төмөнкүдөй иш жүргүзүшкөн. Өткөргүчтү ортосунда учкун аралыгы деп аталуучу кичинекей аба боштугу калгандай кылып тең ортосунан кесишкен (87-сүрөт). Өткөргүчтүн эки бөлүгүн тең жогорку потенциалдар айырмасына чейин заряддашкан. Потенциалдар айырмасы кандайдыр бир чектик маанисинен ашкандан кийин учкун жарк этип, чынжыр туюкталат да ачык контурда термелүү пайда болгон (89-сүрөт).

Вибратордун айрым бөлүктөрүнөн түзүлгөн (электр жана магнит) талаалары, вибратордон алыскы аралыкта бири бирин жоюштурбайт.

Контурдагы термелүү эки себептен: *биринчиден*, контурда активдүү каршылык болбогондуктан, *экинчиден*, вибратор электромагниттик толкундарды нурдантуу менен өзүнүн энергиясын



Герц Генрих (1857—1894)— биринчи жолу 1886-жылы эксперименталдык жол менен электромагниттик толкундун бар экендигин далилдеген немецтик көрүнүктүү окумуштуу. Электромагниттик толкундарды изилдеп: Герц электромагниттик толкундар менен жарык толкундарынын негизги касиеттери бирдей экендигин далилдеген. Герцтин эмгектери, электромагниттик талаанын теориясынын, атап айтканда, жарыктын электромагниттик теориясынын туура экендигинин эксперименталдык далилдениши болуп калды. Максвеллдин теңдемелеринин азыркы кездеги формасы Герц тарабынан жазылган. 1886-жылы Герц фотоэффектини биринчи жолу байкаган. Герц «Принципы механики» (1894-ж.) деген китебинде, күч түшүнүгү пайдаланылбаган, классикалык механиканын закондоруна жаңы формулировка берген.

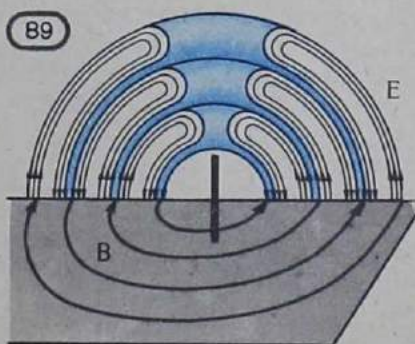


сарп кылгандыктан өчүүчү термелүү болот. Термелүү токтогондон кийин, токтуң булагы эки өткөргүчтү тең учкундуу аралыктын агымы пайда болгонго чейин кайра заряддайт жана бардыгы башынан кайталанат.

Азыркы кезде ачык термелүү контурунда өчпөөчү термелүүнү алуу үчүн транзистор генераторунун термелүү контуру же болбосо башка типтеги генераторлор менен индуктивдүү байланыштырат.

**Герцтин тажрыйбалары.** Жогорку жыштыктагы булактын жардамы менен вибратордо тез өзгөрүүчү токтуң импульстарынын сериясын дүүлүктүрүү аркылуу Герц электромагниттик толкундарды пайда кылган. Электр заряддарынын вибратордо термелүүсү электромагниттик толкундарды түзөт. Вибратордогу термелүүнү бир гана заряддалган бөлүкчө түзбөстөн, ыкташып кыймылга келе турган көп сандаган электрондор түзөт. Электромагниттик толкунда  $\vec{E}$  жана  $\vec{B}$  векторлору бири бирине перпендикулярдуу, мында  $\vec{E}$  вектору вибратор аркылуу өткөн тегиздикте жатат, ал эми  $\vec{B}$  вектору бул тегиздикке перпендикулярдуу болот. 89-сүрөттө убакыттын белгиленген моментинде вибратордун айланасындагы электр жана магнит талааларынын сызыктары көрсөтүлгөн. Горизонталь тегиздикте магнит талаасынын индукция сызыктары, ал эми вертикаль тегиздикте электр талаасынын чыңалыш сызыктары жайланышкан. Толкундардын нурданышы максималдуу интенсивдүүлүктө вибратордун огуна перпендикулярдуу багыт боюнча жүрөт. Вибратордун огун бойлото нурдануу болбойт.

Герц электромагниттик толкунду тараткыч вибратор сыяк-



туу эле түзүлүштөгү кабыл алгыч вибратордун жардамы менен кармай алган.

Өзгөрмө электр талаасынын электромагниттик толкунунун таасиринде кабыл алгыч вибратордо токтун термелүүсү пайда болот. Эгерде кабыл алгыч вибратордун өздүк жыштыгы электромагниттик толкундун жыштыгы менен дал келсе резонанс байкалат. Кабыл алгыч вибратор нурдантуучу вибраторго параллель жайланышкан кезде кабыл алгыч вибратордо чоң амплитудадагы термелүү пайда болот. Герц аларды кабыл алгыч вибратордун өткөргүчтөрүнүн арасындагы эң кичине аралыктагы учкундарды байкоо аркылуу билген.

Герц электромагниттик толкундарды гана албастан алар дагы башка толкундар сыяктуу касиеттерге ээ экендигин байкаган. Тактап айтканда, ал электромагниттик толкундардын металл листтен чагыларын жана толкундун интерференциясын байкаган. Вибратордон таралган толкун менен металл листтен чагылган толкун кошулганда максимумдар жана минимумдар пайда болот (§ 30 ты карагыла). Кабыл алгыч вибраторду жылдыруу менен максимумдардын абалдарын таап, толкундун узундугун аныктоого болот.

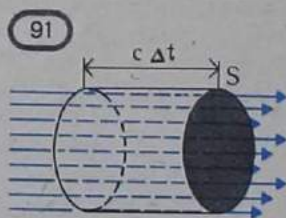
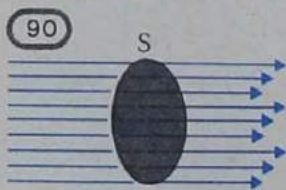
**Электромагниттик толкундардын ылдамдыгы.** Герцтин тажрыйбаларында толкундун узундуктары бир канча ондогон сантиметрлерди түзгөн. Вибратордун электромагниттик термелүүсүнүн өздүк жыштыгын эсептеп алып, Герц  $v = \lambda \nu$  формуласы боюнча электромагниттик толкундун ылдамдыгын аныктай алган. Ал жарыктын ылдамдыгына барабар болгон:  $c = 300\,000$  км/с.

Герцтин тажрыйбалары Максвеллдин теориялык алдын ала айткандарын эң сонун бекемдеген.

### 37. Электромагниттик нурдануу агымынын тыгыздыгы

Нурданган электромагниттик толкундар өзү менен кошо энергия ташып кетишет. Нурдануунун энергия боюнча мүнөздөлүшү чоң мааниге ээ, себеби анын жардамы менен нурдануу булагынын кабыл алгычка жасаган аракетин билүүгө болот. Биз нурдануунун бирден бир негизги мүнөздөмөсү менен таанышабыз.

**Нурдануу агымынын тыгыздыгы.** Аянты  $S$  болгон бетти карайлы жана ал бет аркылуу электромагниттик толкун энергия алып өтсүн дейли. 90-сүрөттө ошондой бет көрсөтүлгөн; түз сызыктар





электромагниттик толкундун таралуу багытын көрсөтөт. Бул нурлар — сызыктар, толкун бетине перпендикулярдуу (§ 27 ты карагыла).

$\Delta t$  убактысы ичинде нурлардын таралуу багытына перпендикулярдуу болгон  $S$  аянттагы бет аркылуу өтүүчү электромагниттик энергия  $\Delta W$ нын,  $S$  аянттын  $\Delta t$  убакытка көбөйткөн көбөйтүндүсүнө болгон катышы *электромагниттик нурдануунун агымынын тыгыздыгы*  $I$  деп аталат:

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t}. \quad (5.1)$$

Чындыгында бул бирдик бет аркылуу өткөн электромагниттик нурдануунун кубаттуулугу (убакыт бирдигиндеги энергия). СИ системасында нурдануу агымынын тыгыздыгы ватт бөлүнгөн квадрат метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) менен туюнтулат. Кээде бул чоңдук *толкундун интенсивдүүлүгү* деп аталат.  $I$ ни электромагниттик толкундун энергиясы жана анын таралуу ылдамдыгы  $c$  менен туюнтабыз. Нурларга перпендикулярдуу болгон  $S$  аянттагы бетти тандап алабыз жана  $S$ ти негиз кылып алып, түзүүчүсү  $c \cdot \Delta t$  болгон цилиндр түзөбүз (91-сүр.) Цилиндрдин көлөмү:  $\Delta V = c \Delta t S$ . Цилиндрдин ичиндеги электромагниттик талаанын энергиясы энергиянын тыгыздыгы менен көлөмдүн көбөйтүндүсүнө барабар:  $\Delta W = \omega c \Delta t S$ .

Бул энергиянын бүт баары убакыт ичинде цилиндрдин оң жактагы негизи аркылуу өтөт. Ошондуктан (5.1) ден төмөнкүнү алабыз:

$$I = \frac{\omega c \Delta t S}{S \Delta t} = \omega c \quad (5.2)$$

*б. а. нурдануунун агымынын тыгыздыгы электромагниттик энергиянын тыгыздыгынын анын таралуу ылдамдыгына болгон көбөйтүндүсүнө барабар.*

Нурдануу агымынын тыгыздыгынын булакка чейинки аралыкка көз карандылыгын табабыз. Ал үчүн дагы бир жаңы түшүнүк киргизүү керек.

**Нурдануунун чекиттик булагы.** Электромагниттик толкундардын нурдануу булактары өтө эле ар түрдүү болушу мүмкүн. Эң жөнөкөйү болуп *чекиттик* булак эсептелет.

Эгерде булактын өлчөмү, анын аракети аныктала турган аралыкка салыштырганда бир канча кичине болсо, анда нурдануу булагы *чекиттик булак* деп аталат. Мындан тышкары, мындай булактар бардык багыттар боюнча электромагниттик толкундарды бирдей интенсивдүүлүктө чыгарат деп эсептелет<sup>1</sup>. Физикада кабыл алынган кайсы бир моделдерди, мисалы, материалдык чекит,

<sup>1</sup> Герцтин вибратору чекиттик булак боло албайт. Анын чыгарган энергиясы вибратордун огунун багытына жараша болот.

идеалдык газ ж. б. сыяктуу эле чекиттик булак — чыныгы булакты идеалдаштырып кароого болот.

Жылдыздар жарыкты, б. а. электромагниттик толкундарды чыгарат. Жылдыздарга чейинки аралык алардын өлчөмүнөн бир канча сан эсе чоң болгондуктан, жылдыздар чекиттик булактардын эң жакшы модели боло алат.

**Нурдануу агымынын тыгыздыгынын булакка чейинки аралыкка көз карандылыгы.** Электромагниттик толкундар алып жүргөн энергия убакыттын өтүшү менен барган сайын чоң бет боюнча таралат. Ошондуктан бирдик убакыт ичинде бирдик бет аркылуу өткөн энергия, б. а. нурдануу агымынын тыгыздыгы булактан алыстаган сайын азая берет.

Нурдануу агымынын тыгыздыгынын булакка чейинки аралыкка көз карандылыгын, чекиттик булакты  $R$  радиустуу сферанын борборуна жайгаштыруу аркылуу түшүндүрүүгө болот. Сферанын бетинин аянты:  $S = 4\pi R^2$ . Эгерде булак бардык багыт боюнча  $\Delta t$  убакыты ичинде  $\Delta W$  энергия чыгарат десек, анда

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t} = \frac{\Delta W}{4\pi \Delta t} \cdot \frac{1}{R^2}. \quad (5.3)$$

**Чекиттик булактын нурдануу агымынын тыгыздыгы булакка чейинки аралыктын квадратына тескери пропорциялаш азаят<sup>1</sup>.**

Нурдануу агымынын тыгыздыгынын жыштыкка көз карандылыгы. Электромагниттик толкундардын нурдануусу заряддалган бөлүкчөлөрдүн ылдамдатылган кыймыл кезинде пайда болот (§ 35 ты карагыла). Электр талаасынын чыңалышы жана электромагниттик толкундардын магниттик индукциясы нур чыгаруучу бөлүкчөнүн ылдамдануусуна пропорциялаш болот. Гармоникалык термелүүдө ылдамдануу жыштыктын квадратына пропорциялаш (1.15 тендемесин карагыла). Ошондуктан электр талаасынын чыңалышы жана магниттик индукция жыштыктын квадратына пропорциялаш:

$$E \sim a \sim \omega^2, \quad B \sim a \sim \omega^2. \quad (5.4)$$

Электр талаасынын энергиясынын тыгыздыгы талаанын чыңалышынын квадратына пропорциялаш («Физика-9»ду карагыла). Магниттик талаанын энергиясы магниттик индукциянын квадратына пропорциялаш экендигин көрсөтүүгө болот. Электромагниттик талаанын энергиясынын толук тыгыздыгы электр талаасы менен магниттик талаанын энергияларынын тыгыздыктарынын суммасына барабар болот. Ошондуктан нурдануу агымынын тыгыздыгы (5.2)ни эсепке алсак төмөнкүгө пропорциялаш болот:

$$I \sim \omega \sim (E^2 + B^2).$$

Себеби, (5.3) түн негизинде  $E \sim \omega^2$  жана  $B \sim \omega^2$ , анда  $I \sim \omega^4$ . (5.5)

<sup>1</sup> Герцтин вибратору чыгарган нурдануу агымынын тыгыздыгы деле аралыкка карата так ушундай азаят.



## **Нурдануу агымынын тыгыздыгы жыштыктын төртүнчү даражасына пропорциялаш.**

Заряддалган бөлүкчөлөрдүн термелүү жыштыгы эки эсе көбөйгөн кезде анын чыгарган энергиясы 16 эсе көбөйөт. Ошондуктан радиостанциянын антеннасынан он миңден он миллион герцке чейинки жыштыктагы термелүүлөр чыгарылат. Өнөр жаындагы 50 Гц жыштыктагы ток такыр эле нурданбайт.

### **Суроолор**

1. Кандай кубулуштардын натыйжасында магниттик талаа пайда болот?
2. Мейкиндиктин берилген чекитинде электр гана же магниттик гана талаа пайда болот деген ырастоо эмне үчүн толук айкын эмес?
3. Электромагниттик толкунда  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$ , жана  $\vec{c}$  векторлору бири бирине карата кандай жайланышкан?
4. Электромагниттик толкунду нурдандырыш үчүн бөлүкчө кандай кыймылда болушу керек?
5. Электромагниттик нурдануу агымынын тыгыздыгы деп кандай чоңдукту айтабыз?
6. Нурдануунун кандай булагын чекиттик булак деп айтабыз?
7. Нурдануунун интенсивдүүлүгү нурданткычтан болгон аралыкка кандай көз каранды?
8. Вибратордун бирдик убакытта чыгарган энергиясы термелүү жыштыгынан кандай көз каранды?

## **38. Радионун А. С. Попов тарабынан ойлонуп табылышы**

Түшүндүрмөсү 1888-жылы жарыкка чыккан Герцтин тажрыйбалары бүткүл дүйнөнүн физиктерин кызыктырды. Окумуштуулар электромагниттик толкундарды таратып чыгаргычтарды жана кабыл алгычтарды өркүндөтүүнүн жолдорун издей башташты.

Россияда биринчилерден болуп электромагниттик толкунду үйрөнүүгө Кронштадттагы офицердик курстун окутуучусу Александр Степанович Попов киришкен. Ал Герцтин тажрыйбасын калыбына келтирүүдөн баштап электромагниттик толкундарды кабыл алуунун абдан ишенимдүү жана сезгич жолун тапкан.

Электромагниттик толкундарды түздөн-түз «сезе турган» тетик катары А. С. Попов *когерерди* пайдаланган. Бул прибор эки электроду бар айнек түтүкчөнү элестетет. Түтүкчөгө металлдын майда таарындылары салынып коюлган. Прибордун аракетин электр разряддарынын металл күкүмдөрүнө болгон таасирине негизделген. Кадимки шарттарда когерер чоң каршылыкка ээ, анткени таарындылар бири-бири менен начар контактта болушат. Кабыл алынган электромагниттик толкун когерерде жогорку жыштыктагы өзгөрмө токту пайда кылат. Таарындылардын арасында пайда болгон эң майда учкундар таарындыларды өз ара ширетет. Ошондуктан когерердин каршылыгы тез төмөндөйт (А. С. Поповдун тажрыйбаларында — 100 000 Ом дон 1000—500 Ом го чейин, б. а. 100—200 эсе төмөндөгөн). Приборду силкүү менен ага чоң каршылыкты кайрадан берүүгө болот. Зымсыз байланышты иш жүзүнө ашыруу үчүн зарыл болгон кабыл алууну автоматташ-



**Попов Александр Степанович** (1859—1906) — орусун атактуу физиги, ал радиону ойлоп тапкан. А. С. Попов Кронштадттагы мина боюнча офицердик класста окутуучу болуп иштеген, андан кийин профессор болгон жана Россиядагы биринчи уюстурулган граждандык электротехникалык окуу жайынын — электротехникалык институттун шайлоо жолу менен дайындалган директору болгон. Электромагниттик толкундун жардамы менен өткөргүчсүз байланыштын болушуна ишенген Попов дүйнөдө биринчи жолу радио кабыл алгычты түзгөн жана ал өзүнүн схемасында сезгич элемент — когерерди колдонгон.

тыруу максатында А. С. Попов кабарды кабыл алгандан кийин когерерди силкүүгө коңгуроолук түзүлүштү пайдаланган. Электр коңгуроосунун чынжыры сезгич реле аркылуу электромагниттик толкун кабыл алынган учурда туюкталган. Толкун кабыл алынып бүтөрү менен коңгуроонун үнү дароо токтолгон, анткени коңгуроонун балкасы коңгуроону гана эмес, когерерди да ургулап турган. Когерерди акыркы жолу ургулоодон кийин аппарат жаңы толкунду кабыл алууга даяр болгон.

А. С. Попов аппараттын сезгичтигин чоңойтуу үчүн когерерден сыртка чыгуучу өткөргүчтөрдүн бирин жерге бириктирип, ал эми экинчи учун жогору көтөрүлүп коюлган өткөргүчкө туташтырган да, зымсыз байланыш үчүн биринчи *кабыл алуучу антеннаны* түзгөн. Өткөргүчтү жерге туташтыруу Жердин бетин термелүүчү ачык контурдун бөлүгүнө айландырат, бул болсо кабыл алуунун алыстыгын чоңойтот. А. С. Поповдун кабыл алгычынын схемасы 92-сүрөттө көрсөтүлгөн.

Азыркы кездеги радио кабыл алгычтар А. С. Поповдун кабыл алгычына анчалык окшобогону менен алардын иштешинин негизги принциптери анын приборундагыдай эле. Азыркы кездеги кабыл алгычтарда дагы антенна бар, ага келип жеткен толкундар анда эң начар электр термелүүлөрүн пайда кылат. Поповдун кабыл алгычындагыдай бул термелүүлөрдүн энергиясы түздөнтүз кабыл алуу үчүн колдонулбайт. Начар сигналдар, кийинки чынжырды азыктандыруучу энергия булактарын гана башкарат. Азыр мындай башкаруу жарым өткөргүчтүү приборлордун жардамы менен жүргүзүлөт.

1895-жылы 7-майда Петербургдагы Орус физика-химия коомунун заседаниесинде А. С. Попов өзүнүн приборунун иштешин демонстрациялап көрсөттү, бул иш жүзүндө дүйнөдөгү биринчи радио кабыл алгыч эле. 7-май радионун туулган күнү болуп калды. Азыр бул күн жыл сайын биздин өлкөдө белгиленет.

А. С. Попов кабыл алгыч жана бергич аппараттарын өркүндөтүүнү туруктуулук менен уланткан. Ал өзүнүн алдына сигналдарды алыскы аралыктарга бере ала турган приборду түзүүнү милдет кылып койгон.



Адегенде радио байланыш 250 м аралыктан жүргүзүлгөн болучу. Өзүнүн ойлоп тапкандарынын үстүндө тынымсыз иштеп, Попов тез эле байланышуунун алыстыгын 600 м ден ашырууга жетишкен Андан кийин 1899-жылы Кара деңиз флотунун маневрлеринде окумуштуу радио байланышты 20 км ден ашык аралыктан, ал эми 1901-жылы радио байланыштын алыстыгы 150 км аралыктан жүргүзүлгөн. Бул иштерде маанилүү ролду бергичтин жаңы конструкциясы ойноду. Учкун аралыгы, берүүчү антенна менен индуктивдүү байланыштырылган жана ал антенна менен резонанска туура келтирилген термелүүчү контурга жайгаштырылган. Кабарды кабыл алуунун жолдору дагы бир кыйла өзгөртүлгөн болучу. Коңгуроого параллель кылып телеграф аппараты бириктирилип, ал кабарларды автоматтык түрдө жаза алган. 1899-жылы телефон аркылуу кабарды кабыл алуу мүмкүнчүлүгү байкалган. 1900-жылдын башында радио байланышы Фин булуңунда чөгүүдөн сактоо иштеринде ийгиликтүү пайдаланылган. А. С. Поповдун катышуусу менен радио байланышты Россияда флотто жана армияда пайдалана баштаган.

Кийинчерээк чет өлкөлөрдө бул сыяктуу приборлорду өркүндөтүүнү италиялык инженер Г. Маркони тарабынан уюштурулган фирма жүргүзгөн. Кеңири масштабда коюлган тажрыйбалар радиотелеграфтык берүүнү Атлантика океанынын үстүнөн жүргүзүүгө мүмкүндүк берди.

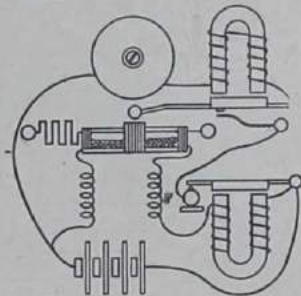
### 39. Радио байланыштын принциптери

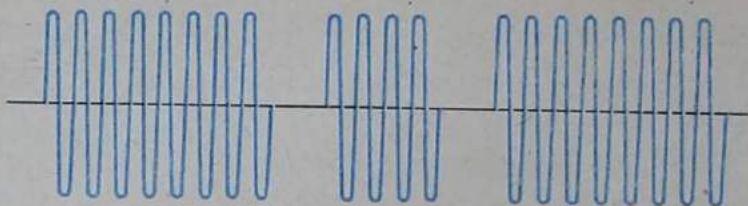
Радио байланыштын принциби төмөнкүдөн турат. Берүүчү антеннада түзүлгөн жогорку жыштыктагы өзгөрмө ток курчап турган мейкиндикте тез өзгөрүп туруучу электромагниттик талааны түзөт, бул талаалар электромагниттик толкундар түрүндө таралышат. Кабыл алуучу антеннага жеткен электромагниттик толкун ал антеннада бергичтеги ток кандай жыштыкта болсо, ошол эле жыштыктагы өзгөрмө токту пайда кылат.

Радио байланышын өнүктүрүүнүн маанилүү этабы 1913-жылы түзүлгөн өчпөөчү электромагниттик толкундардын генераторун түзүү болду.

Электромагниттик толкундардын кыска жана узакка созула турган импульстарынан түзүлгөн (93-сүрөт) телеграфтык сигналдарды берүүдөн тышкары, электромагниттик толкундун жардамы менен жогорку сапаттагы жана ишеничтүү радиотелефондук байланышты — сөздөрдү же музыканы берүүгө мүмкүндүктөр түзүлдү.

**Радиотелефондук байланыш.** Радиотелефондук байланыш учу-

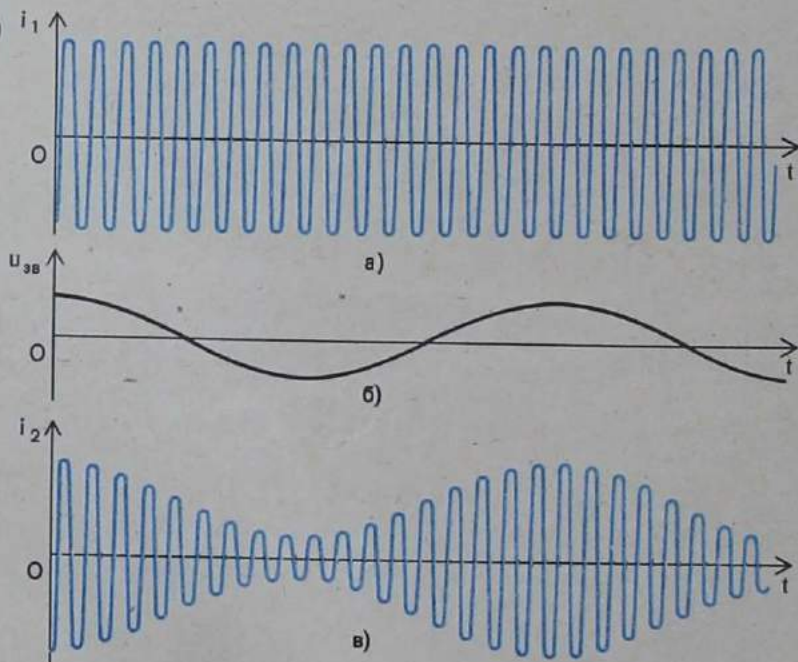




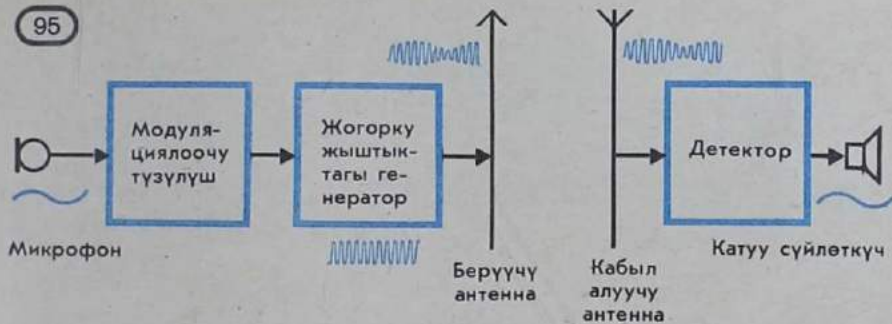
рунда аба басымынын термелүүлөрү үн толкунунда микрофондун жардамы аркылуу ошол эле формадагы электр термелүүлөрүнө өтөт. Эгерде ушул термелүүлөрдү күчөтүп, анан антеннага берсе сөздү жана музыканы алыс аралыкка электромагниттик толкун түрүндө берүүгө боло тургандай болуп көрүнүшү мүмкүн. Бирок иш жүзүндө бул жол менен берүүнү жүргүзүүгө болбойт. Үн жыштыгынын термелүүсү бир кыйла жай термелүү болуп саналат, ал эми төмөнкү (үн) жыштыктагы электромагниттик толкундар мейкиндикке дээрлик таралбайт.

**Модуляция.** Радиотелефондук байланышты иш жүзүнө ашыруу үчүн антеннадан интенсивдүү түрдө таралуучу жогорку жыштыктагы термелүүнү пайдаланыш керек.

Жогорку жыштыктагы басандабоочу гармоникалык термелүүнү генератор, мисалы транзисторлуу генератор иштеп чыгарат.







Үндү аралыкка берүү үчүн ал термелүү өзгөртүп түзүлөт, же төмөнкү жыштыктагы (үн жыштыгындагы) электр термелүүсүнүн жардамы менен *модуляцияланат*. Маселен, үн жыштыгы аркылуу жогорку жыштыктагы термелүүлөрдүн амплитудасын өзгөртүүгө болот. Бул жол *амплитудалык модуляциялоо* деп аталат. 94-сүрөттө үч график: а) *алып жүрүүчү жыштык* деп аталган жогорку жыштыктагы термелүүлөрдүн графиги, б) үн жыштыгындагы термелүүлөрдүн графиги, в) амплитудасы боюнча модуляцияланган термелүүлөрдүн графиги көрсөтүлгөн. Советтик физик, академик Л. И. Мандельштамдын сөзү боюнча модуляция болбосо биз, ашып кетсе станциянын иштеп жатканын же иштебей турганын белгилөө менен гана чектелебиз. Модуляция болбосо телеграфтык, телефондук же телекөрсөтүү берүүлөрдүн болушу эч мүмкүн эмес.

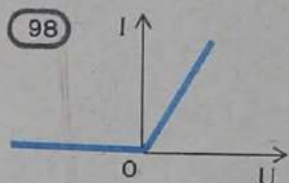
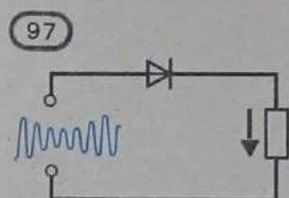
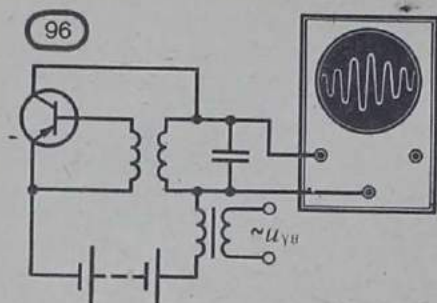
Модуляция — бул *жай* процесс. Бул термелүүнүн амплитудасы бир аз билинерлик өзгөргөнчө, эң көп жолу жогорку жыштыктагы термелүүлөрдү жасоого жетише турган жогорку жыштыктагы термелүүчү системадагы өзгөрүүлөрдүн процесси болот.

**Детектирлөө.** Кабыл алгычта жогорку жыштыктагы модуляцияланган термелүүдөн төмөнкү жыштыктагы термелүүнү бөлүп алышат. Сигналды өзгөртүүнүн мындай процессин *детектирлөө* деп айтабыз.

Детектирлөөдөн кийин алынган сигнал, берүүчү аппараттын микрофонуна таасир эткен үн сигналы менен туура келет. Төмөнкү жыштыктагы термелүүнү күчөткөндөн кийин аны үнгө айландырууга мүмкүн болот. Радио уктуруу системасынын блок-схемасы 95-сүрөттө көрсөтүлгөн.

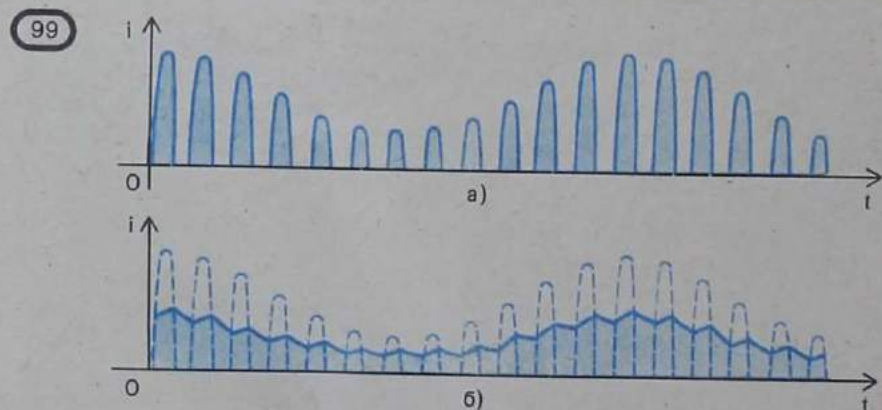
#### 40. Модуляциялоо жана детектирлөө кандайча жүргүзүлөт

Жогорку жыштыктагы термелүүлөрдүн **амплитудалык модуляциясына** өчпөөчү термелүүнүн генераторуна атайын аракет кылуу менен жетишүүгө болот. Айрым алганда, булак түзгөн термелүү контурундагы чыңалууну өзгөртүү аркылуу модуляция-

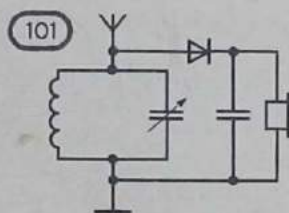
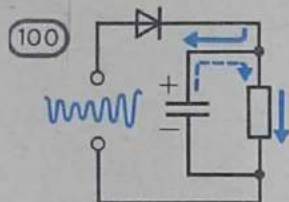


ны жүргүзүүгө болот (§ 18 ты карагыла). Генератордун контурунда чыңалуу канчалык чоң болсо, ошол мезгилдин ичинде булактан контурга энергия ошончолук көп берилет. Бул болсо контурдагы термелүүнүн амплитудасынын чоңоюшуна алып келет. Чыңалууну азайтканда контурга келүүчү энергия да азаят. Ошондуктан контурдагы термелүүнүн амплитудасы да кичиреет.

Эгерде контурдагы чыңалуунун генератор иштеп чыккан термелүүнүн жыштыгынан бир канча кичине жыштыкка өзгөртсөк, анда бул термелүүнүн амплитудаларынын өзгөрүшү болжол менен чыңалуунун өзгөрүшүнө түз пропорциялаш болот. Эң жөнөкөй түзүлүштөрдө амплитудалык модуляцияны иш жүзүнө ашыруу үчүн турактуу чыңалуунун булагына удаалаш кылып төмөнкү жыштыктагы өзгөрмө чыңалуунун кошумча булагы бириктирилет. Мындай булакка, эгерде трансформатордун биринчи түрмөгү аркылуу үн жыштыгындагы ток өтсө, анда анын экинчи түрмөгү ошол ток булагынын кызматын аткара тургандыгы мисал боло алат (96-сүрөт). Натыйжада генератордун термелүү контурундагы термелүүлөрдүн амплитудасы аноддук







чыналуунун өзгөрүүсү менен бирдей такта өзгөрөт. Бул болсо жогорку жыштыктагы термелүүлөр төмөнкү жыштыктагы сигналдардын амплитудасы боюнча модуляцияланат дегенди билдирет.

Эгерде термелүү контурунан осциллографка чыналууну берсек, анда модуляцияланган термелүүнүн убакыт боюнча өзгөрүшүн осциллографтын экранынан түздөн-түз көрүүгө болот.

Амплитудалык модуляциядан башка да, кээ бир учурда башкаруучу сигналга карата термелүү жыштыгынын өзгөрүшүн — жыштык модуляциясын колдонушат. Анын артыкчылыгы кабарларды бузуучу ар кандай тоскоолдуктарга карата өтө туруктуулугунда болуп саналат.

**Детектирлөө.** Кабыл алгыч кабыл алган жогорку жыштыктагы сигнал күчөтүлгөндөн кийин деле телефондун мембранасын же катуу сүйлөгүчтүн рупорун үн жыштыгы менен термелүүгө жөндөмсүз болот. Ал биздин кулагыбыз кабыл ала албаган жогорку жыштыктагы термелүүлөрдү гана пайда кылат. Ошондуктан кабыл алгычта эң мурда үн жыштыгындагы сигналды жогорку жыштыктагы модуляцияланган термелүүдөн бөлүп алуу зарыл.

Детектирлөө бир жактуу өткөрүмдүүлүк жөндөмдүүлүгү бар элементтен турган түзүлүш — *детектор* аркылуу иш жүзүнө ашырылат. Мындай элементтерге электрондук лампа (вакуумдук диод), же жарым өткөргүчтүү диод кирет.

Жарым өткөргүчтүү детектордун иштөө принцибин карап көрөлү. Бул прибор чынжырда модуляцияланган термелүүнүн булагы жана нагрузка менен удаалаш бириктирилсин дейли<sup>1</sup> (97-сүрөт). Бул чынжырдагы ток көбүнчө сүрөттө жебе менен белгиленип коюлган бир гана багыт боюнча агат анткени, диоддун түз багыттагы каршылыгы тескери багыттагысына караганда бир кыйла аз. Тескери токту биз эске албай эле, диод бир жактуу өткөрүмдүүлүккө ээ деп эсептейбиз. Диоддун вольт-ампердик мүнөздөмөсүн болжол менен эки түз кесиндиден түзүлгөн сызык сызык түрүндө элестетүүгө болот (98-сүрөт).

Чынжырда (97-сүр. кара) пульсацияланган ток агып өтөт, анын графиги 99-а, сүрөттө көрсөтүлгөн. Бул пульсацияланган ток фильтрдин жардамы менен текшиленет. Нагрузкага бирик-

<sup>1</sup> Детектордун наргузкасы деп үн жыштыгындагы термелүү берилүүчү резисторду айтабыз.

тирилген конденсатор жөнөкөй фильтр болуп саналат (100-сүрөт). Фильтрдин иштеші төмөнкүдөй болот. Дiod токтү өткөрүп жаткан учурда токтун бир бөлүгү нагрузка аркылуу өтөт, ал эми экинчи бөлүгү конденсаторго бөлүнөт да, аны заряддайт (100-сүрөттөгү туташ жебелерди карагыла). Токтун экиге бөлүнүшү каршылык аркылуу өтүүчү импульстарды азайтат. Анткени менен диод өткөрбөй турган учурдагы импульстардын арасындагы аралыкта, конденсатор каршылык аркылуу бир аз разряддалат.

Ошондуктан импульстардын арасындагы интервалда ток нагрузка аркылуу ошол эле багытта агып өтөт (100-сүрөттөгү пунктирдүү жебени карагыла). Ар бир жаңы импульс конденсаторду заряддайт. Мунун натыйжасында каршылык аркылуу үн жыштыгындагы ток агып өтөт, анын термелүүсүнүн формасы берүүчү станциядагы төмөнкү жыштыктагы сигналдын формасын (99-б, сүрөттү карагыла) дээрлик кайталап чыгат.

Өтө татаал фильтрлер анча чоң болбогон жогорку жыштыктагы пульсацияны жылмалай алат жана үн жыштыгынын термелүүсү 99-б, сүрөттөгүгө караганда бир канча жылма болот.

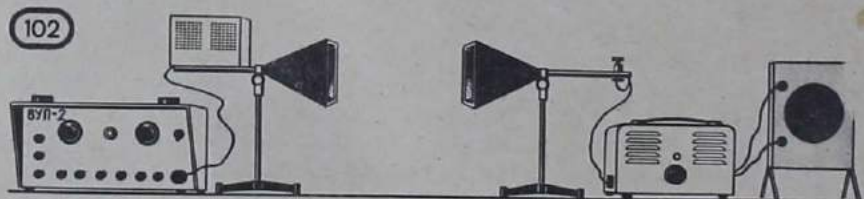
Жөнөкөй радио кабыл алгыч антенна менен байланышкан термелүү контурунан жана контурга туташтырылган детектор, конденсатор жана телефон чынжырынан турат (101-сүрөт).

Термелүү контурунда радио толкундарынын жардамы менен модуляцияланган термелүү дүүлүктүрүлөт. Телефондун орому каршылыктын милдетин аткарат. Ал аркылуу үн жыштыгындагы ток өтөт. Жогорку жыштыктагы анча чоң эмес пульсациялар мембрананын термелүүсүнө таасир эте алышпайт жана угуу органдарында кабыл алынбайт.

#### 41. Электромагниттик толкундардын касиеттери

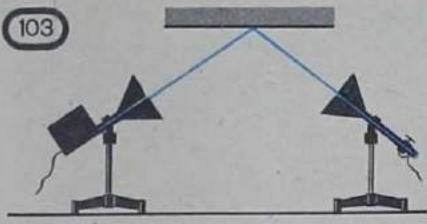
Азыркы кездеги радиотехникалык түзүлүштөр электромагниттик толкундардын касиеттерин билүү боюнча эң көрсөтмөлүү тажрыйбаларды жүргүзүүгө мүмкүндүк берет. Бул учурда сантиметрдүү диапазондогу толкундардан пайдалануу баарынан ыңгайлуу. Ал толкундарды өтө жогорку жыштыктагы (ӨЖЖ) атайын генератор чыгарат. Генератордун электрдик термелүүсү үн жыштыгы боюнча модуляцияланат. Кабыл алынган сигнал детектирленгенден кийин катуу сүйлөгүчкө берилет.

Электромагниттик толкундар рупордук антеннадан анын огу

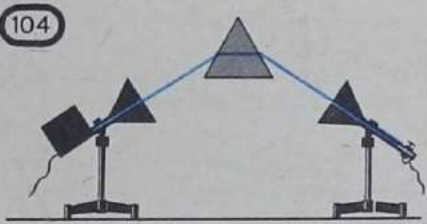




103



104



боюнча таралат. Кабыл алуучу антенна да ошондой эле рупор болуп саналат жана анын жардамы аркылуу рупордун огу боюнча таралган толкундар кабыл алынат. Түзүлүштүн жалпы көрүнүшү 102-сүрөттө көрсөтүлгөн.

**Электромагниттик толкундардын жутулушу.** Рупорлорду бири биринин тушуна жайланыштырышат да катуу сүйлөгүчтө үндүн жакшы угулушуна жетишет, андан кийин рупордун ортосуна ар түрдүү диэлектрик телолорду коюп көрүшөт. Мында үндүн катуулугунун басандашы байкалат.

**Электромагниттик толкундардын чагылышы.** Эгерде диэлектрик металл пластинкасы менен алмаштырылса, анда үн угулбай калат. Себеби чагылуунун натыйжасында толкундар кабыл алгычка жетпей калат. Механикалык толкундар (§ 31 ты карагыла) сыяктуу эле чагылуу, түшүү бурчуна барабар бурч менен жүрөт. Буга ишенүү үчүн рупорлорду чоң металл листине бирдей бурч менен жайлаштырышат (103-сүрөт). Эгерде металл листти алып салсак же аны бурсак үн жок болуп калат.

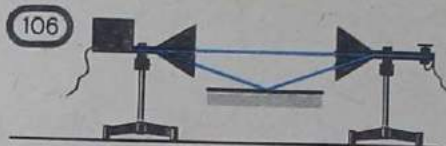
**Электромагниттик толкундардын сынышы.** Электромагниттик толкундар өздөрүнүн таралуу багытын диэлектриктердин чегинде өзгөртөт (*сынат*). Муну парафинден жасалган үч бурчтуу чоң призманын жардамы менен байкоого болот. Рупорлорду бири бирине бурч боюнча, чагылууну демонстрациялаган учурдагыдай жайгаштырышат. Металл листти призма менен алмаштырабыз (104-сүрөт). Призманы алып салып же аны айландырып, үндүн жок болуп кетишин байкашат.

**Электромагниттик толкундар туурасынан кеткен толкун.** Электромагниттик толкундар *туурасынан кеткен толкундар* болушат. Бул, толкундун электромагниттик талаасынын  $\vec{E}$  жана  $\vec{B}$  вектор-

105



лорунун толкундун таралуу багытына перпендикулярдуу экендигин билдирет. Рупордон чыккан электромагниттик толкундардын электр талаасынын чыңалышы белгилүү бир тегиздик боюнча термелүү жасайт, ал эми магниттик индукция вектору анын тегиздигине перпендикулярдуу болгон тегиздикте термелет. Белгилүү бир багытта термелүү жасаган толкундар *поляризацияланган толкундар* деп аталышат. 84-сүрөттө поляризацияланган толкундун өзү көрсөтүлгөн. Детекторлуу кабыл алгыч рупор, белгилүү багыт боюнча поляризацияланган гана толкунду кабыл алат. Муну берүүчү же кабыл алуучу рупорду  $90^\circ$ ка буруу аркылуу билүүгө болот. Үн бул учурда жок болуп кетет.



Поляризацияланган генератор менен кабыл алгычтын ортосуна жайгаштырылган параллель металл стержендеринен жасалган торчо аркылуу байкоого болот (105-сүрөт). Торчону, анын стержендери горизонталь же вертикаль багыт боюнча болгудай кылып жайгаштырышат. Бул абалдын биринде электр вектору стержендерге параллель болот. Натыйжада аларда ток пайда болот да, торчо металл пластинкасы сыяктуу толкундарды чагылдырат.

$\vec{E}$  вектору стерженге перпендикуляр болгон кезде, аларда электр тогу пайда болбойт жана электромагниттик толкундар өтүп кете берет.

**Электромагниттик толкундардын интерференциясы.** ӨЖЖ генератору менен болгон тажрыйбаларда, интерференция сыяктуу маанилүү толкундук кубулуштарды байкоого болот.

Генератор менен кабыл алгыч бири бирине карама-каршы жайгаштырылат (106-сүрөт). Андан кийин металл пластинка горизонталь абалда төмөн жагына коюлат. Пластинканы акырындап жогору жылдырып, үндүн кезек менен начарлагандыгын жана күчөгөндүгүн байкоого болот.

Бул кубулуш төмөнкүчө түшүндүрүлөт. Толкундун бир бөлүгү генератордун рупорунан кабыл алгыч рупоруна келет. Ал эми толкундун башка бөлүгү металл пластинкадан чагылат. Пластинканын абалын өзгөртүү менен түз келген жана чагылган толкундардын жүрүү жолунун айырмасын өзгөртөбүз. Ошонун натыйжасында, толкундардын жүрүү жолдорунун айырмасы толкун узундугунун бүтүн санына же жарым толкун узундуктун так санына барабар болушуна карата, толкундар бири бирин күчөтөт же начарлатат. Электромагниттик толкундардын дифракциясын да байкоого болот.

## 42. Радио толкундардын таралышы

Электромагниттик толкундарды радио байланышы үчүн пайдаланган кезде булакты жана радиотолкундарды кабыл алгычты



дагы көпчүлүк учурларда жер бетине жакын жайгаштырышат. Жер бетинин формасы жана физикалык касиеттери, ошондой эле атмосферанын абалы радио толкундардын таралышына зор таасирин тийгизет.

Радио толкундардын таралышына өзгөчө орчундуу таасирди Жер бетинен 100—300 км бийиктикте жайланышкан атмосферанын жогорку бөлүктөрүндөгү иондошкон газдын катмарлары тийгизишет. Бул катмар *ионосфера* дей аталат. Атмосферанын жогорку катмарындагы абанын иондошуусу Күндүн электромагниттик нурдануусу менен андан чыгуучу заряддалган бөлүкчөлөрдүн агымынын натыйжасында пайда болот.

Электр тогун өткөрүүчү ионосфера толкун узундугу  $\lambda > 10$  м болгон радио толкундарды, кадимки металл пластинка сыяктуу чагылтат. Бирок ионосферанын радио толкундарды чагылтуу жана жутуу жөндөмдүүлүгү сутканын ичинде жана жыл мезгилине<sup>1</sup> жараша бир кыйла өзгөрөт.

Жер бетиндеги түздүктөн көрүнбөгөн пункттардын арасындагы туруктуу радио байланыштар толкундардын ионосферадан чагылуусунун жана радио толкундардын жердин томпок бетин айланып өтүү жөндөмдүүлүгүнүн (б. а. дифракциянын) натыйжасында гана болуп турат. Толкун узундугу канчалык чоң болсо, дифракция ошончолук жакшы болот. Мына ошондуктан алыскы аралыктар менен толкундардын жердин айланып өтүшүнүн натыйжасында болгон радио байланыштар 100 м ден бир кыйла жогору болгон (*орто жана узун толкундар*) толкундар аркылуу гана иш жүзүнө ашырылат.

*Кыска толкундар* (толкун узундуктун диапозону 10 м ден 100 м ге чейин) алыскы аралыктарга ионосфера менен Жер бетинен бир нече жолу чагылуунун натыйжасында гана тарала алат (107-сүрөт). Кыска толкундардын жардамы менен Жер бетиндеги радиостанциялардын арасында ар кандай аралыктан радио байланыштарды жүргүзүүгө болот.

Жердин кыртышына жана ионосферага көп жутулгандыктан узун радио толкундар ушундай максаттарга пайдалануу үчүн анчалык жарамдуу эмес. Ошондой болсо дагы берүүчү радиостанция кубаттуу болсо, анчалык чоң эмес аралыктарда абдан ишенимдүү радио байланыштар узун толкундар аркылуу да камсыз кылынат.

*Ультракыска радио толкундар* ( $\lambda < 10$  м) ионосфера аркылуу өтүп кетишет да, Жер бети боюнча дээрлик ийилишпейт. Ошондуктан бул толкундар гүз көрүнүүчү чектердеги пункттардын,



<sup>1</sup> Мына ошондуктан толкундун орточо узундугунун диапозонундагы (100—1000 м) радио байланыш түн ичинде жана кыш мезгилинде алда канча так болот.

ошондой эле космос кемелеринин арасындагы радио байланыштар үчүн пайдаланылат.

### 43. Радиолокация

Азыркы кездеги техникада радио толкундардын ар түрдүү тоскоолдуктардан чагылуу кубулушун кеңири колдонушат. Өтө сезгич кабыл алгычтар, толкунду чагылткан нерсе кайсы жерде тургандыгы жөнүндө информация алуу максатында чагылган сигналды кабыл алып жана күчөтүшөт.

Радио толкундардын жардамы менен объектилердин турган жерин билүүнү жана так аныктоону радиолокация деп айтабыз. Радиолокациялык түзүлүш *радиолокатор*<sup>1</sup> — берүүчү жана кабыл алуучу бөлүктөрдөн турат. Радиолокацияда өтө жогорку жыштыктагы ( $10^8$ — $10^{11}$  Гц) электр термелүүлөрү колдонулат. ӨЖЖ кубаттуу генератору бир гана тарапка багытталган толкундарды тарата турган антенна менен байланыштырылат. 10 см жана андан кыска толкун узундуктарында иштей турган радиолокаторлордо мындай толкун параболалык күзгү түрүндөгү антенна аркылуу түзүлөт. Метрдик диапазондогу толкундар үчүн антенналар вибраторлордун татаал системасы түрүндө болот. Мында таралуунун бир тарапка багытталышы толкундардын интерференциясынын натыйжасында болот. Антенна ар бир вибратор тарабынан жиберилген толкундар өз ара кошулганда бири бирин белгилүү бир багытта гана күчөтө алгандай кылып түзүлгөн. Ал эми башка багыттар боюнча толкундар кошулган кезде алар өз ара бири бирин толугу менен же жарым-жартылай жоёт.

Чагылган толкундар ошол эле таратуучу антенна аркылуу, же ошондой эле бир гана тарапка багытталган кабыл алуучу антенна аркылуу кабыл алынат. Толкундун таралышындагы айрыкча багыттуулук жөнүндө сөз болгондо радиолокатордун «шооласы» жөнүндө айтпай кетүүгө болбойт. Ошондуктан объектинин багыты чагылган сигналды кабыл алуу учурундагы шооланын багыты боюнча багытталат.

Бутага чейинки аралыкты аныкташ үчүн таратуунун импульс-

<sup>1</sup> Көпчүлүк учурларда башкача аталышы — *радар* колдонулат.

108



109





тук режими колдонулат. Бергич толкундарды кыска убакытка созулган импульстар түрүндө таратат. Ар бир импульстун узактыгы секунданын миллиондон бир үлүшүн түзөт, ал эми импульстардын арасындагы аралык болжол менен 1000 эсе чоң. Тынуу учурунда кайра чагылган толкундарды кабыл алуу жүргүзүлөт.

$R$  аралыгын аныктоо радиотолкундун бутага чейин барып кайра келгенге кеткен  $t$  убакытын ченөө аркылуу жүргүзүлөт. Радио толкундун атмосферадагы ылдамдыгы  $c=3 \cdot 10^8$  м/с иш жүзүндө турактуу болгондуктан  $R = \frac{ct}{2}$  болот.

Радиотолкундардын чачырап кетүүсүнүн натыйжасында кабыл алгычка чейин бергич тараткан энергиянын бир аз гана бөлүгү жетет. Ошондуктан радиолокаторлордун кабыл алгычтары кабыл алынган сигналдарды миллиондун миллион даражасына ( $10^{12}$ ) күчөтөт. Мындай өтө сезгич кабыл алгыч бергич тарабынан жиберилген импульстардын аралыгында иштебей турууга тийиш.

Жиберилген жана кабыл алынган сигналдарды аныктоо үчүн электрон-нур түтүгү колдонулат. Электрон-нур түтүгүнүн экраны боюнча бир калыпта жылып бараткан жарык чекит, импульсту берүү моментинде кыйшайт. Экрандагы алыстык шкаласынын нөл белгисинин үстүндө өйдө чыккан белги пайда болот (108-сүрөт). Экранда жарык чыгарган так, шкаланы бойлоп бир калыпта жыла берет да, чагылган начар сигналды кабыл алган учурда кайрадан кыйшайт. Экрандагы өйдө чыккан белгилердин арасындагы аралык сигналдын өтүү убактысы  $t$  га пропорциялаш, демек, бутага чейинки  $R$  аралыгына да пропорциялаш болот. Бул болсо шкаланы түздөн-түз километр боюнча көрсөтүүчү бөлүктөргө бөлүүгө мүмкүндүк берет.

Радиолокациялык түзүлүштөр кемелерди жана самолётторду бир нече жүздөгөн километрдеги аралыктардан байкап турушат. Алардын иштешине аба ырайы жана сутканын алмашышы анчалык таасир эте албайт. Локаторлор чоң-чоң аэропорттордо самолёттордун учуп чыгышына жана конушуна көз салып турат. Жерде кызмат кылуулар радио аркылуу учкучтарга зарыл болгон көрсөтмөлөрдү берип, учуулардын коопсуздугун камсыз кылышат. Аэродромдогу радиолокатордун тышкы көрүнүшү 109-сүрөттө көрсөтүлгөн. Кемелер менен самолёттор да навигациялык максаттарда пайдаланыла турган радиолокаторлор менен жабдылган. Мындай локаторлор радио толкундарды чачыратуучу объектилердин жайланышуу картинасын экранда пайда кылышат. Ошондуктан станциянын операторунун көз алдында ошол жерлердин радиолокациялык картинасы турган сыяктуу болот.

Азыркы кезде радиолокацияны пайдалануу улам ар башка болуп бара жатат. Локаторлордун жардамы менен атмосферанын жогорку катмарларындагы метеорлорду байкашат. Локаторлор аба ырайын тактоо кызматында булуттарга байкоо жүргүзүү үчүн колдонулат. Акырында локаторлор космостук изилдөөлөр үчүн дагы пайдаланылат. Ар бир космос кемесинин бортунда

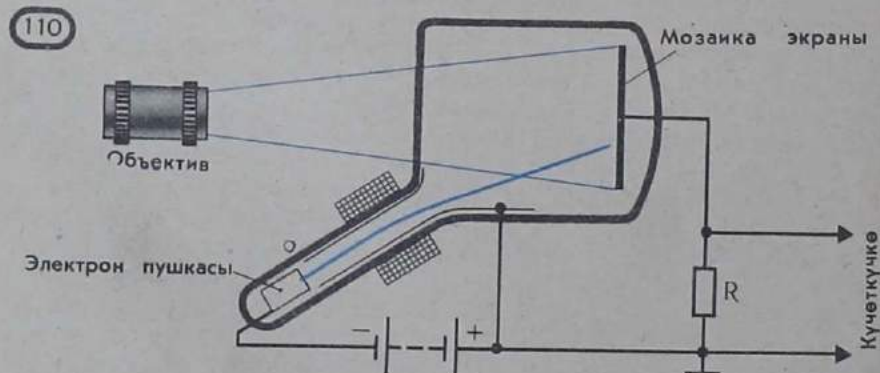
бир нече радиолокатор болот. 1946-жылы АКШда жана Венгрияда Айдын бетинен чагылган сигналды кабыл алуу боюнча эксперимент жүргүзүлгөн. 1961-жылы советтик окумуштуулар тарабынан Чолпон планетасын радиолокациялоо жүргүзүлгөн; бул болсо планетанын өз огунун айланасында айлануу мезгилин тактоого мүмкүндүк берди. Азыркы учурда күн системасынын башка планеталарын локациялоо ишке ашырылды.

#### 44. Телекөрсөтүү жөнүндө түшүнүк

(Тааныштыруу иретинде окуу үчүн)

Сүрөттөлүштөрдү аралыкка берүүнүн принциби төмөнкүдөй. Берүүчү станцияда электр сигналдарынын иреттүүлүгүнүн сүрөттөлүшүнүн өзгөрүшүн түзүү жүргүзүлөт. Андан кийин бул кабарлар жогорку жыштыктагы генератордун термелүүсүн модуляциялайт. Модуляцияланган электромагниттик толкун информацияны алыскы аралыктарга алып кетет. Кабыл алгычта, тескерисинче, кайра өзгөртүп түзүү жүргүзүлөт. Жогорку жыштыктагы модуляцияланган термелүүлөр детектирленет да, кабыл алынган сигнал көрүнө турган сүрөттөлүштөргө өзгөртүлүп түзүлөт. Кыймылды берүү үчүн кинонун принциби колдонулат. Кыймылга келүүчү объектинин (кадрлардын) бири биринен аз эле айырмалана турган сүрөттөлүштөрүн секундасына ондогон жолу беришет.

Кадрдын сүрөттөлүштөрүн электр сигналдарынын сериясына өзгөртүп түзүү абасыз электрондук түтүкчө — *иконоскоп* аркылуу иш жүзүнө ашырылат (110-сүрөт). Иконоскоптун башка да берүүчү түзүлүштөр бар. Иконоскоптун ичине мозаикалык экран жайгаштырылган, ага объектинин сүрөттөлүшү оптикалык системанын жардамы менен проекцияланат. Мозаиканын ар бир ячейкасы заряддалган, алардын заряды ячейкага түшкөн жарыктын энергиясына жараша болот. Электрон аткычынан чыккан электрондук агым ячейкага тийген кезде бул заряд өзгөрөт. Электрондук





агым удаасы менен мозаиканын бир саптагы бардык элементтерине, андан кийин башка саптагыларына ж. б. тийип турат. Ячейканын зарядынын ошончолук күчтүү өзгөрүшү  $R$  резисторундагы токтун күчүнө жараша болот. Мына ошондуктан резистордогу чыңалуу, кадрдын саптарын бойлото жарыктануунун өзгөрүшүнө пропорциялаш өзгөрөт. Детектирленгенден кийин телевизиондук кабыл алгычта ушундай эле сигнал пайда болот. Бул видеосигнал деп аталат. Ал кабар абасыз электрондук түтүкчө — кинескоптун экранында көрүнө турган сүрөттөлүшкө өзгөртүп түзүлөт. Мындай түтүкчөнүн электрондук аткычы агымдагы электрондордун санын башкаруучу, ошонун натыйжасында ичке агымдын тийген жериндеги экрандын жаркыроосун берген электрондор менен жабылган. Горизонталь жана вертикаль абалга кыйшайтуучу катушкалардын системалары, электрондук нурлар берүүчү түтүкчөдөгү мозаикалык экранды кандайча айланып өтсө, кабыл алуучу түтүкчөнүн экранында так ошондой айланып өтүүгө мажбур кылат. Берүүчү жана кабыл алуучу түтүкчөдөгү нурлардын кыймылынын синхрондуулугу атайын синхрондоочу сигналды жиберүү аркылуу камсыз кылынат.

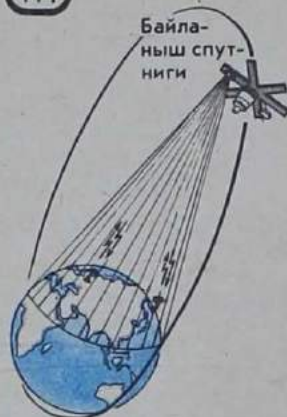
Телевизиондук радиосигналдар ультракыска (метрдик) толкундардын диапазонунда гана бериле алат<sup>1</sup>. Мындай толкундар адатта антенналар түздөн-түз көрүнүп турган аралыктарга чейин гана таралат. Ошондуктан, телевизиондук берүүлөр менен чоң территорияны жабыш үчүн телебергичтерди көбүрөөк жайгаштырып, алардын антенналарын жогору көтөрүү зарыл. Москвадагы Жалпы союздук Октябрьдин 50 жылдыгы атындагы телеборбордук мунаранын бийиктиги 540 м, анын телеберүүлөрү радиусу 120 км аралыктан ишенимдүү кабыл алууну камсыз кылат. Азыркы кезде биздин өлкөнүн телевизиондук тармагында 3500дөн ашык берүүчү станциялар бар, алардын берүүлөрүн 100 миллионго жакын телевизиондук кабыл алгычтар (телевизорлор) кабыл алат. Ретрансляциялык спутниктерди пайдалануунун натыйжасында телекөрсөтүүнү ишенимдүү кабыл алуу аймагы чексиз өсүүдө.

Түстүү телекөрсөтүү барган сайын кеңири таралып бара жатат. Түстүү сүрөттөлүштөрдү алуу үчүн сүрөттөлүштөрдүн компоненттерин камтыган жана ага негизги түскө туура келүүчү (кызыл, жашыл, көк) ар түрдүү үч видеосигналдарды берүү менен жүрөт.

#### 45. СССРде байланыш каражаттарынын өсүшү

Биздин өлкөдө байланыштын автоматташтырылган бирдиктүү системасы түзүлүп жатат. Ал үчүн ар кандай техникалык бай-

<sup>1</sup> Үн сигналына караганда видеосигнал кыйла көп информацияны таратат. Ошондуктан ал, жыштыктын кыйла кеңири аймагын ээлейт. Төмөнкү жыштыктарда бул аймактар басылып калмак жана берүүчү станциялар бири бирине «жолтоо» болушмак.



ланыш каражаттары өркүндөтүлүп, кеңири колдонулуп, үзгүлтүксүз өсүп жана жакшыртылууда.

Алып айтсак, жакында эле шаарлар арасындагы телефондук байланыштар, аларга чагылган жана жаан, муздар таасир эткендигине карабастан бир гана абдагы линиялар аркылуу жүргүзүүлүүчү. Азыркы кезде кабелдик жана радиорелелик линиялар улам кеңири колдонулуп жатат жана байланышты автоматташтыруунун деңгээли жогорулоодо.

Байланыштын радиорелелик линияларында ультракыска (дециметрдик жана сантиметрдик) толкундар пайдаланылат. Бул толкундар түздөн-түз көрүнүп турган

аралыктарга чейин таралат. Ошондуктан линиялар улам бирине эстафетадагы сыяктуу кабарларды берип тура турган аз кубаттуулуктагы радиостанциялардан турушат. Мындай станциялардын бири биринен болгон аралыгы 40—60 км болуп, мачталарынын бийиктиги 60—80 м ге жетет.

Космостук радио байланыш областындагы жетишкендиктер байланыштын жаңы системасы «Орбитаны» түзүүгө мүмкүндүк берди. Бул системада байланыштын ретрансляциялык спутниги колдонулат (111-сүрөт). «Молния» сериясындагы байланыш спутниги абдан сүйрү болуп созулган орбитага чыгарылат. Анын айлануу мезгили 12 саатка жакын.

Сибирдин жана Ыраакы Чыгыштын райондорун телекөрсөтүүлөр менен камсыз кылуучу кубаттуу жана ишенимдүү системалар түзүлдү жана ал система биздин өлкөнүн алыскы райондору менен телефон-телеграф байланыштарын түзүүгө мүмкүндүк берди. Байланыш спутнигинин жаңы сериясы «Радуга» радиусу болжол менен 36 000 км болгон орбитага чыгарылат. Бул орбитада спутниктин айлануу мезгили 224 саат болгондуктан спутник бардык убакытта Жер бетинин бир гана чекитинде турат.

Телеграф жана фототелеграф сыяктуу, азыркыга салыштырганда байланыштын эски каражаттары дагы өркүндөтүлүп жана улам жаңы колдонуштарга ээ болуп жатат.

Кыймылсыз сүрөттөлүштөрдү фототелеграф боюнча берүүнүн өскөндүгүн төмөнкүдөй цифралардын негизинде билүүгө болот: бир жылда фототелеграф боюнча 70 миңге чейинки газета тилкелери берилет, алардан жер-жерлерде 3 миллиарддан ашык нускадагы борбордук газеталар басылып чыгарылат.

### Суроолор

1. Жогорку жыштыктагы сигналдарды амплитудалык модуляциялоо эмнеге колдонулат?
2. Жогорку жыштыктагы модуляцияланган сигналдарды детектирлөө процесси кандай?



3. Электромагниттик толкундардын өзүнөргө белгилүү касиеттерин айтып чыккыла.

4. Радиолокатордун иштөөсү кандай принципке негизделген?

### 5-көнүгүү

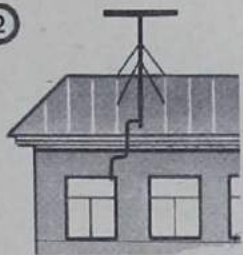
1. Тогу бар өткөргүчтүн айланасындагы магниттик индукция нөлгө барабар болуп кала турган эсептөө системасын тандап алууга болобу?

2. Берүүчү жана кабыл алуучу вибраторлор өз ара перпендикуляр жайгаштырылган. Кабыл алуучу вибратордо термелүү пайда болобу?

3. 101-сүрөттө көрсөтүлгөн радио кабыл алгычтын системасында  $L=2 \cdot 10^{-4}$  Гн, өзгөрмө конденсатор  $C$ нын сыйымдуулугу 12 пФдан 450 пФга чейин өзгөрөт. Бул радио кабыл алгыч кандай толкун узундугуна эсептелип жасалган?

4. 112-сүрөттө телевизордун кабыл алуучу антеннасы сүрөттөлгөн. Телеборборлордон келүүчү толкундун магниттик индукциясынын векторунун тер-

112



мелүү тегиздигинин ориентациясы жөнүндө эмнени айтууга болот?

5. Айда жана Жерде радио толкундардын таралуу шарттарынын арасында маанилүү айырма болобу?

### 5-главанын кыскача жыйынтыктары

Өзгөрмө магнит талаасы чыңалыш сызыктары туюк болгон куюндуу электр талаасын пайда кылат. Бул жыйынтыкты Максвелл электромагниттик индукция кубулушун анализдөөнүн негизинде жасаган. Андан кийин Максвелл, ошондой эле өзгөрмө электр талаасы куюндуу магнит талаасын пайда кылат деп божомолдогон. Мына ушул процесстин натыйжасында электромагниттик козголуу чектүү ылдамдык менен таралып жана электромагниттик толкун түрүндө болот.

Электромагниттик толкунда электр талаасынын чыңалышы  $\vec{E}$  жана магниттик индукция  $\vec{B}$  термелүү жасап турат.  $\vec{E}$  жана  $\vec{B}$  векторлору өз ара перпендикулярдуу жана толкундун таралуу багытына перпендикулярдуу болушат. Электромагниттик толкундар туурасынан кеткен толкундар болушат.

Электромагниттик толкундар, заряддалган бөлүкчө ылдамдануу менен кыймылдап тез термелүүгө келген кезде нурданат. Нурдануунун энергиялык мүнөздөмөсү болуп, нурдануунун агымынын тыгыздыгы эсептелет.  $\Delta t$  убактысы ичинде нурлардын таралуу багытына перпендикулярдуу коюлган  $S$  аянттуу бет аркылуу өтүүчү  $\Delta W$  электромагниттик энергиянын,  $S$  аянты менен  $\Delta t$  убактысынын көбөйтүндүсүнө болгон катышы электромагниттик нурдануунун агымынын тыгыздыгы  $I$  деп аталат:

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

Агымдын тыгыздыгы булактан болгон аралыкка карата  $\frac{1}{R^2}$  закону боюнча азаят жана ал термелүү жыштыгынын төртүнчү даражасына пропорциялаш:

$$I \sim \frac{\omega^4}{R^2}.$$

Электромагниттик толкундар биринчи жолу Г. Герц тарабынан алынган. Герцтин тажрыйбаларынын негизинде А. С. Попов радиону ойлоп тапкан.

Радиотелефондук байланыш төмөнкүчө ишке ашырылат. Генератор иштеп чыккан жогорку жыштыктагы термелүү, төмөнкү жыштыктагы термелүү (үн) менен модуляцияланат. Берүүчү станциянын антеннасы модуляцияланган электромагниттик толкунду чыгарат. Радио кабыл алгычында модуляцияланган жогорку жыштыктагы термелүү төмөнкү жыштыктагы термелүүгө кайрадан өзгөртүлүп түзүлөт. Бул процесс детектирлөө деп аталат.

Торон Ду район Эгон  
улусы Ленин  
Дом 35 квартирка  
№-8 Я ишу. А э роду!!!  
Я товбу в Куршаде



## 46. Жарыктын табиятына карата көз караштардын өнүгүшү

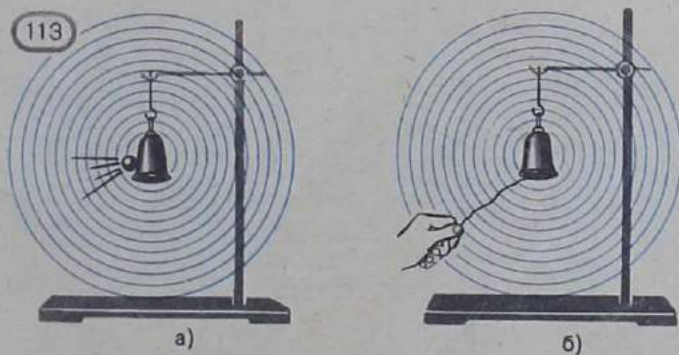
(Кошумча окуу үчүн)

Жарыктын эмне экендиги жөнүндөгү байыркы окумуштуулардын биринчи эсептөөлөрү алда канча туура эмес болгон. Көздөн чыккан өтө ичке өзгөчө сезгичтер буюмдарга урунган кезде көрүү сезими пайда болот деп эсептешкен. Азыр мындайча көз караштарга толугураак токтолуунун зарылчылыгы жоқ экендиги белгилүү. Биз, жарыктын эмне экендиги жөнүндөгү илимий элестөөлөрдүн өнүгүшүнө кыскача токтолобуз.

**Таасирлердин берилишинин эки жолу.** Жарык булагынан, маселен, лампочкалардан жарык бардык жакка таралат да, курчап турган буюмдарга тийип аларды жылыта баштайт. Жарык көзгө келип тийгенде көрүү сезимин пайда кылат — биз көрөбүз. Жарык таралган кезде анын таасири бир телодон (булактан) экинчиге (кабыл алгычка) берилет деп айтууга болот.

Чындыгында, бир телонун экинчи телого болгон таасири эки түрдүү жол менен аткарылат: же булактан кабыл алгычка *заттын берилиши* менен, же телолор арасындагы *чөйрөнүн абалынын өзгөрүшү* менен (зат которулбастан эле) болот.

Маселен, кандайдыр бир аралыкта турган коңгуроону ага кичине шарикти даана тийгизүү аркылуу шынгыратууга болот (113-а, сүрөт). Биз мында заттын которулушу менен иш жүргүзөбүз. Бирок мындан башкача: коңгуроонун тилине жип байлап, ал боюнча тилди термелте турган толкун жиберип коңгуроодон үн чыгарууга да болот (113-б, сүрөт). Бул учурда заттын которулушу болбойт. Жип боюнча толкун таралат, б. а. жиптин абалынын (формасынын) өзгөрүүсү болуп өтөт.



Мына ошентип, бир телонун экинчи телого кылган аракетин толкундун жардамында да берилет.

**Жарыктын корпускулалык жана толкундук теориялары.** Булактан кабыл алгычка таасирлердин берилишинин мүмкүн болгон эки жолуна жараша жарык деген эмне жана анын жаратылышы кандай деген таптакыр эки башка теория пайда болуп өнүгө баштады. Болгондо да алар дээрлик бир мезгилде XVII кылымда пайда болушту.

Бул теориялардын бири Ньютондун ысымы менен, ал эми экинчиси — Гюйгенстин ысымы менен байланышкан.

Ньютон *корпускулалык*<sup>1</sup> деп аталган *жарыктын теориясын* жактаган, ал теория боюнча *жарык* — булактан баардык жакка тараган *бөлүкчөлөрдүн агымы* (заттын которулушу).

Гюйгенстин түшүнүгү боюнча *жарык* — бул бүткүл мейкиндикти каптап турган жана бардык телолордун ичине кирген өзгөчө гипотетикалык чөйрөдө — эфирде тарала турган *толкундар*.

Эки теория тең узак убакыт бою параллель колдонулуп келген. Алардын эч бири көрүнүктүү жеңишке ээ боло албады. Ньютондун авторитети гана көпчүлүк окумуштууларды корпускулалык теорияны артыкча колдоого аргасыз кылды. Ошол мезгилде тажрыйбадан белгилүү болгон жарыктын таралуу закондору аздыр-көптүр эки теория менен тең түшүндүрүлүүчү.

Корпускулалык теориянын негизинде, эмне үчүн жарыктын агымдары мейкиндикте кесилишкен кезде бири бирине эч бир таасир этишпесин түшүндүрүү кыйын болучу. Жарыктын бөлүкчөлөрү кагылышууга жана чачырап кетүүгө тийиш эле да.

Толкундук теория муну оңой эле түшүндүргөн. Толкундар, маселен, суунун бетинде бири биринин жанынан өз ара таасир этишпестен эле эркин кетишет.

Бирок да, жарыктын түз сызык боюнча таралып, даана көлөкөлөрдүн түшүшүнө алып келишин толкундук теория боюнча түшүндүрүү кыйын болгон. Корпускулалык теория боюнча болсо жарыктын түз сызыктуу таралышы инерция законунун эле натыйжасы болуп саналган.

Жарыктын таралышы жөнүндөгү мындай аныкталбаган абал XIX кылымдын башына чейин, жарыктын дифракция кубулушу (жарыктын тоскоолдуктарды айланып өтүшү) жана жарыктын интерференция кубулушу (жарыктын агымы бири бирине кабатталгандан жарыктануунун күчөшү же начарлашы) ачылган кезге чейин созулду. Бул кубулуштар жалгыз гана толкундук кыймылга таандык. Аларды корпускулалык теориянын жардамы менен түшүндүрүүгө болбойт. Ошондуктан толкундук теория биротоло жана толук жеңишке ээ болгон сыяктанган.

Мындай ишеним, өзгөчө Максвелл тарабынан XIX кылымдын

<sup>1</sup> *Корпускула* деген латын сөзү, анын кыргызча котормосу «бөлүкчө» дегенди түшүндүрөт.



экинчи жарымында, жарык — бул электромагниттик толкундардын айрым учуру экендиги көрсөтүлгөндөн кийин бекемделип калды. Максвеллдин эмгектери менен *жарыктын электромагниттик теориясынын* негизи түзүлдү.

Герц тарабынан электромагниттик толкун тажрыйба жүзүндө белгилүү болгондон кийин *жарык таралган кезде толкундук касиетке* ээ боло тургандыгына шек болбой калды. Андай шектенүү азыр да жок.

Бирок ХХ кылымдын башында жарыктын жаратылышы жөнүндөгү түшүнүк түп-тамырынан бери өзгөрө баштады. Күтүлбөгөн жерден эле кабыл алынбай калган корпускулалык теория баары бир чындыкка жакын экендиги байкалды. *Нурданган жана жутулган кезде жарык бөлүкчөлөрдүн агымы сыяктуу болот.*

Жарыктын үзгүлтүктүү же кванттык деп аталуучу касиети байкалды. Адаттагыдай эмес кырдаал пайда болду: интерференция жана дифракция кубулуштарын мурдагыдай эле жарыкты толкун катары эсептеп түшүндүрүүгө, ал эми жарыктын нурданышын жана жутулушун — жарыкты бөлүкчөлөрдүн агымы деп кароо менен түшүндүрүүгө болот. Жарыктын касиетинин корпускулалык-толкундук дуализми (эки жактуулугу) жөнүндө мындан ары айтылат. Алдын ала биз, *геометриялык же нурдук* оптика деп аталуучу мазмунду түзгөн жарыктын таралуу законун карайбыз.

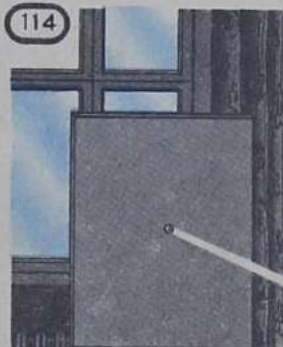
## 6-глава

### Геометриялык оптика

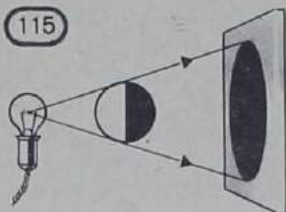
#### 47. Жарыктын түз сызыктуу таралышы

**Жарык нурлары.** Ар кандай толкундардын, ошондой эле жарык толкунундагы таралуу багыты — *нурлардын* — толкундук беттерге перпендикуляр болушкан жана толкун энергиясынын таралуу багытын көрсөткөн сызыктардын жардамы менен аныкталат (§ 27 ты карагыла). Жарык нурунун таралуу багытын эксперимент жолу менен табууга болот. Ал үчүн жарыктын жолуна анча чоң эмес көзөнөгү бар (114-сүрөт) тунук эмес экран коюу керек. Алдын ала бөлмөгө түтүн таратып, жарыктын түз сызыктуу ичке каналчасын — *жарыктын ичке агымы* түрүндөгү жолун көрөбүз. Жарыкты түтүндүн бөлүкчөлөрү менен чачыратып ичке агымды көрүүгө болот.

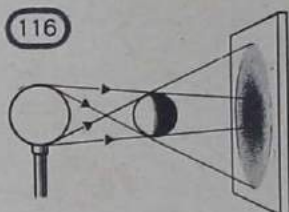
Көзөнөктү кичирейтип отуруп, бул агымды ичке сызык болгонго чейин ич-



115



116



кертп, ушундай жол менен жарыктын таралуу багытын каалагандай тактыкта билүүгө болот. Чындыгында, көзөнөктү кичирейте баштаган кезде жарык агымы, көзөнөктүн диаметри жарык толкунунун узундугунан бир кыйла чоң бойдон калганга чейин гана ичкерет. Качан гана көзөнөктүн диаметри чоңдугу боюнча толкундун узундугу менен салыштырарлык болгон кезде дифракция кубулушунун натыйжасында жарык агымы кеңее баштайт. Суу бетиндеги толкундар сыяктуу жарык нурлары экрандын кырларынан ийилип өтө баштайт (77-сүрөттү карагыла). Ошондуктан биз жарыктын нуру деп атоого мүмкүн болгон, өтө эле ичке жарыктын агымын ала албайбыз.

*Жарык нуру деп жарыктын ичке агымын эмес, жарыктын энергиясынын таралуу багытын көрсөтүүчү сызыкты түшүнөбүз.* Жарыктын таралуу багытын аныктоо үчүн, диаметри толкун узундугунан бир канча чоң болгон жарыктын ичке агымын бөлүп алабыз. Андан кийин биз бул агымдарды ошол жарык агымдарынын огу боло турган сызыктар менен алмаштырабыз. Мына ошол сызыктар жарык нурларын сүрөттөйт. Демек, жарык нурларынын чагылуусу же сынуусу жөнүндө сөз болгон кезде, жарыктын таралуу багытынын өзгөрүшүн түшүнөбүз.

Жарык нуру деген түшүнүктү киргизүүнүн негизги пайдасы, жарык нурунун мейкиндиктеги багыты жөнөкөй закондор менен — *геометриялык оптиканын закондору* менен аныкталгандыгында болуп саналат.

Жарык нурлары деген түшүнүктүн негизинде жарык энергиясынын тунук чөйрөдө таралуу закондорун үйрөтүүчү оптиканын бир бөлүгүн *геометриялык оптика* деп атайбыз.

Бул закондор жарыктын жаратылышы белгилүү болгонго чейин эле эксперименттик жол менен белгиленген болучу. Эгерде толкундун узундугу тоскоолдуктардын өлчөмдөрүнөн бир кыйла кичине болуп жана ал байкоо жүргүзүлүп жаткан жерден алыс эмес жайланышкан болсо, бул закондор жарыктын толкундук теориясынын чыныгы болжолдоосу катарында келип чыгат.

Бул главада геометриялык оптиканын закондору жана көз айнек, фотоаппарат, лупа, микроскоп ж. б. оптикалык приборлорду жасоо үчүн керек болуучу көп сандаган колдонулуштар менен таанышабыз.

**Жарыктын түз сызык боюнча таралуу закону.** Байкоолор көрсөтүп жаткандай *бир тектүү чөйрөдө жарык түз сызык боюнча*



таралат. Башкача айтканда, бир тектүү чөйрөдө жарык нурлары түз сызыктарды элестетишет<sup>1</sup>.

Жарыктын түз сызыктуу таралышы көлөкөнүн пайда болушун, б. а. жарык энергиясы барып түшпөгөн аймактын болушу менен түшүндүрүлөт. Кичине өлчөмдөгү булактан (жарык чыгаруучу чекит) даана көлөкө пайда болот (115-сүрөт). Чоң өлчөмдөгү булактар даана эмес көлөкөлөрдү түзүшөт (116-сүрөт).

Көпчүлүк учурларда көлөкө такыр эле жок болот. Маселен, күн бүркөк кезде зым карагайлардын, үйлөрдүн ж. б. буюмдардын көлөкөлөрүн көрүүгө болбойт. Хирургиялык операция убагында операциялык столду көлөкөсүз лампа деген өзгөчө лампа менен жарыктандырышат.

**Жарык энергиясы.** Жарык энергияга ээ болгондуктан телого таасир этет. Максвеллдин теориясына ылайык жарыктын энергиясы — бул электромагниттик толкундардын энергиясы болот. Ошондуктан, § 37 де биз киргизген электромагниттик нурдануунун агымынын тыгыздыгы, жарыктын толкунунун энергиясын да мүнөздөй алат. Ал болсо булактан алыстаган сайын  $\frac{1}{R^2}$  закону боюнча азаят.

#### 48. Жарыктын чагылуусу

Бир тектүү чөйрөдө тарала турган жарык нуру экинчи чөйрөнүн чек арасына жеткенге чейин түз сызыктуу болот. Эки чөйрөнүн чегинде нур өзүнүн багытын өзгөртөт. Жарыктын бир бөлүгү (кайсы бир учурларда бардык жарык) кайра биринчи чөйрөгө кайрылат. Бул кубулуш *жарыктын чагылышы* деп аталат. Бир эле убакта жарыктын кандайдыр бир бөлүгү экинчи чөйрөгө өтөт да, өзүнүн таралуу багытын өзгөртүп, жарык нуру *сынат*.

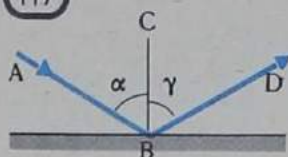
**Күзгүлүү жана диффузиялык чагылуу.** Эки чөйрөнү бөлүп турган чек аранын касиетине жараша чагылуу ар түрдүү мүнөздө болот. Эгерде чек ара бет түрүндө болуп, анын бетинин тегиз эместигинин өлчөмү жарык толкунунун узундугунан кичине болсо, анда мындай бет *күзгүдөй* деп аталат.

Сымаптын тамчысынын бети, жылмакай айнектин бети, же жакшылап жылмаланган металлдын бети өздөрүнүн касиеттери боюнча күзгүдөй бетке мисал катарында жакындаша алат. Мындай бетке жарыктын параллель ичке тобу келип түшкөн кезде болжол менен кайрадан ошол эле багыт боюнча чагылат. Мындай *багытталган чагылуу күзгүлүү чагылуу* деп аталат.

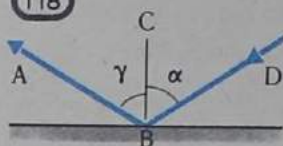
Эгерде беттин тегиз эместигинин өлчөмү жарыктын толкун узундугунан чоң болсо, анда чек арада жарыктын ичке тобу чачырап кетет. Чагылгандан кийин нурлар мүмкүн болгон бардык багыттар боюнча таралат. Мындай чагылуулар *чачыранды же диффузиялык чагылуу* деп аталат. Жарыктын диффузиялык

<sup>1</sup> Геометриядагы *нур* термини, *туз сызык* түшүнүгү сызыктуу эле жарык нурлары жөнүндөгү түшүнүктүн негизинде келип чыккан.

117



118



чагылуусунун натыйжасында гана биз өзүнөн жарык чыгарбаган нерселерди көрө алабыз. Абдан жылма беттен, мисалы, кадимки күзгүдөн чагылган кезде деле жарык нурунун бир аз бөлүгү чачырайт. Ансыз биз күзгүнүн бетин көрө албайт элек.

**Жарыктын чагылуу закону.** Жарыктын чагылуу закону  $AB$  түшүүчү нурдун  $BD$  чагылган нурдун жана беттеги түшүү чекитине тургузулган  $BC$  перпендикулярдын өз ара жайгашуусун аныктайт (117-сүрөт).

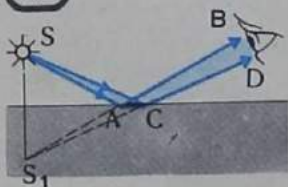
§ 31 та механикалык толкундардын чагылуусу каралган болучу. Толкун чагылган кезде түшүү бурчу чагылуу бурчуна барабар экендигин көргөнбүз. Бул закон жаратылышы ар кандай толкун үчүн туура жана төмөнкүчө айтылат: *түшүүчү нур, чагылган нур жана эки чөйрөнү бөлүп туруучу чек арада, нур түшкөн чекитке тургузулган перпендикуляр бир тегиздикте жатышат: чагылуу бурчу ү түшүү бурчу ага барабар.*

Эгерде жарык нурларынын таралуу багыттарын алмаштырсак, анда чагылган нур түшүүчү, ал эми түшкөн нур чагылган нур болуп орун алмашып калат (118-сүрөт). Жарык нурларынын жүрүшүнүн кайталануучулугу алардын маанилүү касиеттеринен болуп саналат.

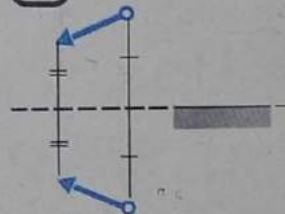
Жарыктын чагылуу законунун туура экендигине тажрыйбадан ишенүүгө болот. Ал үчүн күзгүгө түшкөн нурдун түшүү жана чагылуу бурчтарын өлчөп, аларды салыштыруу керек.

**Жалпак күзгүдөгү сүрөттөлүш.** Жарык чыгаруучу чекит жарыкты чагылта турган беттин, б. а. жалпак күзгүнүн алдыңкы жагында турсун дейли. Эгерде биз күзгүдөн карасак бул чекиттин сүрөттөлүшүн кайдан көрө алабыз? деген суроо коёлу. Бул суроого жооп берүү үчүн  $S$  чекитинен чагылгандан кийин байкоочунун көзүнө келип түшө турган (119-сүрөт) бир нече нурларды түзөлү. Нурлар кишиге  $S_1$  чекитинен чыгып жаткандай болуп көрүнөт. Ал чекит нурларды карама-каршы жакты көздөй өз ара кесилиш-

119



120





кенге чейин созуудан табылат. Ошондуктан  $S_1$  чекити жалпак күзгүдөгү  $S$  чекитинин сүрөттөлүшү болот. Бул сүрөттөлүш *жалган* деп аталат, себеби  $S_1$  чекитинде чыгарылган нурлардын өздөрү эмес, алардын уландылары кесилишет. Жарык энергиясы бул чекитке түшпөйт.

Чачыроочу жарык агымдын ар кандай эки нурун, мисалы, адамдын көзүнө түшкөн  $AB$  жана  $CD$  четки эки нурду карап көрөлү.  $SAC$  жана  $S_1AC$  үч бурчтуктарында  $AC$  жагы жалпы жак. Чагылуу законун пайдаланып, ал үч бурчтуктарда ошол жалпы жакка жанаша жатуучу бурчтар бири бирине конгруэнттүү экендигин далилдөөгө болот. Демек, ал үч бурчтуктар конгруэнттүү жана эгерде сүрөттү күзгүнүн сызыгы боюнча бүктөсө, алар бири-бири менен дал келишет. Бул болсо  $S_1$  чекити күзгүгө карата  $S$  чекити менен *симметриялуу* жайланышканын көрсөтөт. Ошондуктан чекиттин сүрөттөлүшүн табуу үчүн ал чекиттен күзгүгө же анын уландысына перпендикуляр түшүрүп, аны күзгүнүн артына дал ошончолук аралыкка созуу жетиштүү.

Буюмдун жалпак күзгүдөгү сүрөттөлүшү өлчөмү боюнча ал буюмдун өзүнө барабар (120-сүрөт).

#### Суроолор

- |  |   |
|--|---|
| 1. Жарык нурлары деп эмнени айтабыз?       | 3. Жалган сүрөттөлүш деп эмнени айтабыз?                            |
| 2. Жарыктын чагылуу законун айтып бергиле. | 4. Жалпак күзгүдөгү чекиттик булактын сүрөттөлүшү кайда жайланышат? |

#### Маселелер чыгаруунун мисалдары

1. Күндүн нуру менен жарыктанган имарат  $L=36$  м узундуктагы көлөкөнү пайда кылат. Бийиктиги  $h=2,5$  м вертикаль коюлган шырмый  $l=3$  м узундуктагы көлөкөнү пайда кылат (121-сүрөт). Имараттын  $H$  бийиктигин тапкыла.

Чыгарылышы. Күндүн нуру жердин горизонталь бетине  $\alpha$  бурчу менен түшөт. Чиймеден төмөнкүлөрдү алууга болот:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{L}{H} \text{ жана } \operatorname{tg}\alpha = \frac{l}{h}.$$

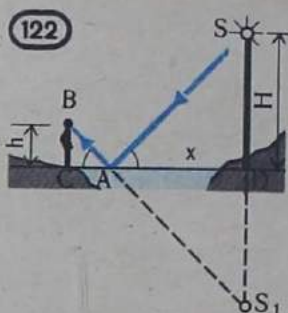
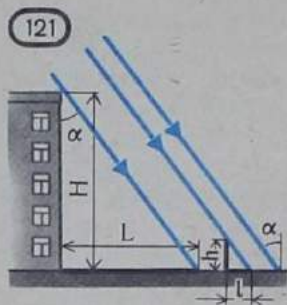
Демек,

$$\frac{L}{H} = \frac{l}{h}.$$

Мындан

$$H = \frac{L}{l} h = 30 \text{ м.}$$

2. Анча чоң эмес көлмөнүн бир жээгинде учуна чырак илинген мамы, ал эми экинчи жээгинде адам турат. Чырактан чыккан жарык нуру, суунун бетинен чагылгандан кийин адамдын көзүнө келип түшөт. Адамдын көзүнө келип түшкөн нур чагылган көлмө-



нүн бетиндеги чекиттин абалын түзүү жолу менен тапкыла. Эгерде мамынын бийиктиги  $H$ , адамдын боюнун узундугу  $h$ , ал эми мамы менен адамдын ортосундагы аралык  $l$  болсо, мамы менен ошол чекиттин арасындагы аралыкты тапкыла.

Чыгарылышы. Суунун  $CD$  бетинен пайда болгон  $S$  чырагынын  $S_1$  сүрөттөлүшүн түзөбүз (122-сүрөт). Аны түзүү үчүн  $S$  чекитинен суунун  $CD$  бетине перпендикуляр тургузабыз.  $S_1$  сүрөттөлүшү  $CD$  бетине карата  $S$  чекитине симметриялуу болгон перпендикулярдын уландысында жатат, б. а.  $S_1D = SD$ . Суунун бетинен чагылган нур, тескери багытта жүргүзүлгөн анын уландысындай багытка ээ болуп  $S_1$  чекити аркылуу өтөт. Ошондуктан, чагылган нурдун багытын аныктоо үчүн, адамдын көзүнө туура келгендей кылып,  $S_1$  чекитинен  $B$  чекитин көздөй түз сызык жүргүзөбүз. Бул түз сызык суунун бетин биз издеген  $A$  чекитинде кесип өтөт.

$ADS$  жана  $ACB$  үч бурчтуктары окшош (тик бурчтуу үч бурчтуктардын тар бурчтары барабар болгондуктан). Демек,

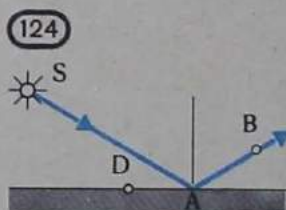
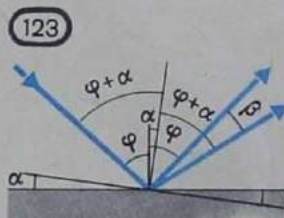
же 
$$\frac{DA}{AC} = \frac{SD}{BC},$$

$$\frac{x}{l-x} = \frac{H}{h}.$$

Мындан

$$x = \frac{lH}{H+h}.$$

3. Күзгүнүн тегиздигинде жаткан октун айланасында жалпак күзгүнү  $\alpha = 17^\circ$  бурчка бурушту. Эгерде түшкөн нурдун багыты





өзгөрбөй калган болсо, чагылган нур кандай  $\beta$  бурчуна бурулган?

Чыгарылышы.  $\varphi$ — нурдун биринчи жолку түшүү бурчу болсун дейли (123-сүрөт). Чагылуу закону боюнча чагылуу бурчу да  $\varphi$  ге барабар. Демек, түшкөн нур менен чагылган нурдун ортосундагы бурч  $2\varphi$  ге барабар. Күзгүнү  $\alpha$  бурчуна бурган кезде, күзгүнүн бетиндеги нурдун түшкөн чекитине тургузулган перпендикуляр дагы  $\alpha$  бурчуна бурулат. Ошондуктан, жаңы түшүү бурчу  $\varphi + \alpha$  га барабар болот. Жаңы чагылуу бурчу да ошондой эле болот. Ошондуктан, түшкөн нур менен чагылган нурдун ортосундагы бурч  $2(\varphi + \alpha)$  га барабар болуп калат; б. а. мурункусуна салыштырганда  $2\alpha$  га өзгөрөт. Демек, чагылган нур  $\beta = 2\alpha = 34^\circ$  бурчка бурулат.

## 6-көңүгүү

1. Жарыктын ичке агымы коробканын капталындагы көзөнөктөн кирип, карама-каршы жагындагы көзөнөктөн чыгып кетет. Эгерде коробкадагы аба таза болсо, коробканын алдыңкы капталындагы көзөнөктөн шыкаалап, жарыктын агымын көрө аласыңарбы?

2. «Иван Иванович кирген бөлмө эң эле караңгы болучу анткени, терезенин капкактары жабык эле. Терезенин капкакындагы тешик аркылуу өткөн күндүн нуру түстүү жаа түрүндө болуп, карама-каршысындагы дубалга тийип анын бетинде үйдүн чатырынын, бактардын жана короодо жайылып турган көйнөк-кечелердин көрүнүшүнөн түзүлгөн кызыл-тазыл сүрөттөлүштөрдү тескери айландырып көрсөтүп турду» (Н. В. Гоголь. «Иван Ивановичтин Иван Никифорович менен кантип чатакташкандыгы жөнүндө повесть»). Бул кубулуштун келип чыгышын түшүндүргүлө.

3. Эмне үчүн фонардын жарыгынан буттун жер бетиндеги көлөкөсү даана, ал эми баштын көлөкөсү болсо бир кыйла күнүрт көрүнөт?

4. Параллель нурлардын агымы проекциялык фонардан горизонталь багытта кетишет. Чагылгандан кийин нурлардын агымы вертикаль багытта кетсин үчүн жалпак күзгүнү горизонталь те-

гиздикке кандай бурч боюнча жайгаштыруу керек? Бул учурда агым параллель бойдон калабы?

5. Анча чоң эмес нерсе бири-бири менен  $\alpha = 30^\circ$  бурч түзгөн эки жалпак күзгүнүн арасына коюлган. Нерсе күзгүлөрдүн кесилишүү сызыгынан  $l = 10$  см аралыкта турат жана ал эки күзгүдөн бирдей аралыкта жайланышкан. Күзгүлөрдө пайда болгон бул нерсенин жалган сүрөттөлүштөрүнүн арасындагы  $x$  аралыгы канчага барабар?

6. Нур  $S$  чекиттик булактан жалпак күзгүнүн  $A$  чекитине түшөт да, чагылгандан кийин  $B$  чекити аркылуу өтөт (124-сүрөт). Эгерде ошол эле булактан чыккан нур күзгүдөн  $A$  га коңшулаш болгон  $D$  чекитинен чагылып,  $B$  чекити аркылуу өтсө, анда: 1) чагылуу закону аткарылбай кала тургандыгын; 2) жарык  $SDB$  жолун  $SAB$  жолуна караганда көбүрөөк убакыт өтөөрүн далилдегиле.

7. Бийиктиги  $H$  болгон киши күзгүдөн өзүн толук көрсүн үчүн вертикаль илинип коюлган жалпак күзгүнүн бийиктиги кандай болууга тийиш?

Күзгүнүн төмөнкү жана жогорку жээги кандай бийиктикте жайгашууга тийиш?

8. Эмне үчүн жалпак күзгүнү киноэкран катарында пайдаланууга болбойт?

## 49. Жарыктын сынышы

Эки чөйрөнүн чегинде жарык өзүнүн таралуу багытын өзгөртөт. Жарык энергиясынын бир бөлүгү биринчи чөйрөгө кайрылат, б. а. жарыктын чагылуусу болуп өтөт. Эгерде экинчи чөйрө

тунук болсо, анда жарыктын кандайдыр бөлүгү, белгилүү бир шартта чөйрөнүн чеги аркылуу өтүп, эреже катарында өзүнүн таралуу багытын өзгөртөт. Бул кубулуш *жарыктын сынышы* деп аталат.

Жарык нурларынын сынышынын натыйжасында нерселердин өлчөмдөрү, формалары жана жайгашуулары өзгөргөн сыяктуу болуп көрүнүшү байкалат. Буга жөнөкөй эле байкоолор ишенидире алат. Куру стакандын түбүнө тыйынды же башка кичирээк нерсени салып коёбуз. Тыйындын борбору, стакандын кыры жана көз бир түз сызыкка жата тургандай кылып, стаканды жылдырабыз. Башыбызды кыймылдатпастан туруп, стаканга суу куябыз. Суунун деңгээли көтөрүлгөн сайын, стакандын түбү тыйын менен бирге көтөрүлүп бара жаткандай көрүнөт. Тыйындын мурда бир бөлүгү эле көрүнүп турса, эми толугу менен көрүнөт.

Суу куюлган идишке карандашты жантайтып салып коёбуз. Эгерде идишти капталынан карасак, анда карандаштын сууда турган бөлүгү бир аз жылышып калгансып көрүнөт (125-сүрөт).

**Жарыктын сынуу закону.** Бул кубулуштар эки чөйрөнүн чегинде нурлардын багытынын өзгөрүшү — нурдун сынуусу менен түшүндүрүлөт.

Жарыктын сынуу закону  $AB$  түзүүчү нурдун (126-сүрөт),  $DB$  сынган нурдун жана беттеги түшүү чекитине тургузулган  $CE$  перпендикулярдын өз ара жайгашуусун аныктайт.  $\alpha$  бурчу түшүү бурчу, ал эми  $\beta$  бурчу — *сынуу бурчу* деп аталат. Ичке жарык агымдарын көзгө көрүнө тургандай кылып алып түшүүчү, чагылган жана сынган нурлардын өз ара жайгашууларын билүү анчалык кыйын эмес. Мындай агымдарды абага бир аз сандагы түтүндү жиберип же нурдун жолуна анча чоң эмес бурч боюнча экран коюу аркылуу байкоого болот. Сынган агым аквариумдун флюоресцендүү боёлгон суусунан көрүнөт (127-сүрөт).

§ 32 та механикалык толкундардын сынуу закондору менен таанышканбыз. Гюйгенстин принцибинин негизинде толкундардын сынуу закону чыгарылган. Бул закон бардык ар кандай толкундар, атап айтканда, жарык толкундары үчүн да туура болот.

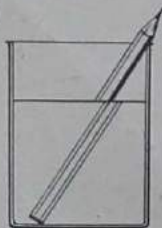
Жарык толкундар үчүн сынуу закону төмөнкүдөй айтылат: *түшүүчү нур, сынган нур жана эки чөйрөнү бөлүп турган чекте, нур түшкөн чекитке тургузулган перпендикуляр бир тегиздикте жатышат; түшүү бурчунун синусунун сынуу бурчунун синусуна болгон катышы берилген эки чөйрө үчүн турактуу чоңдук болот,*

Эгерде  $\alpha$  — түшүү бурчу, ал эми  $\beta$  — сынуу бурчу болсо, анда

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n. \quad (6.1)$$

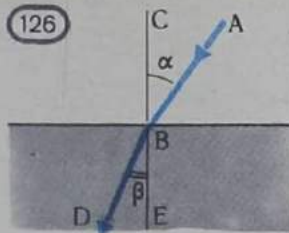
Жарыктын сынуу закону тажрыйба жүзүндө XVII кылымда аныкталган. Сынуу жана түшүү бурчтарын аныктоо боюнча эксперимент жүргүзүп жана түшүү бурчу-

125





126



127



нун ар кандай маанилери үчүн синустун катыштарын эсептеп, сынуу законунун туура экендигине ишенүүгө болот. Бул катыштар турактуу болуш керек.

Бул закондун кандай мааниси бар? (6.1) формуласы сынуунун көп сандаган учурларын мүнөздөй алат. Ал болсо бизди ар бир учур үчүн тажрыйба жасоо зарылчылыгынан бошотот. Ошондой эле, ар бир жолу түшүү бурчунун жана ага туура келген сынуу бурчунун маанилерин таблицкага түшүрүүнүн же болбосо аларды эске тутуунун кереги жок болуп калат.

Тажрыйба жүзүндө аныкталган жаратылыштын ар кандай жөнөкөй закону жөнүндө так ушундай эле айтылары түшүнүктүү.

**Сынуу көрсөткүчү.** Жарыктын сынуу законундагы турактуу чоңдук салыштырмалуу сынуу көрсөткүчү же биринчи чөйрөгө салыштырмалуу экинчи чөйрөнүн сынуу көрсөткүчү деп аталат.

Гюйгенстин принцибинен сынуу закону гана келип чыкпастан, анын жардамы менен сынуу көрсөткүчүнүн физикалык маанисин да көрсөтүүгө болот. Сынуу көрсөткүчү чек арасында сынуу жүрүп жаткан чөйрөдөгү жарыктын ылдамдыктарынын катышына барабар:

$$n = \frac{v_1}{v_2}. \quad (6.2)$$

Ошондуктан (6.1) сынуу закону төмөнкүдөй жазууга болот:

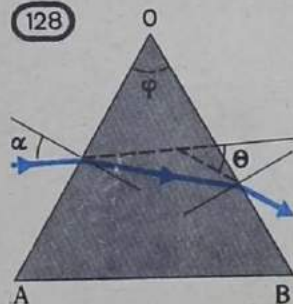
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n. \quad (6.3)$$

Эгерде  $\beta$  сынуу бурчу  $\alpha$  түшүү бурчунан кичине болсо, анда (6.3) формула боюнча экинчи чөйрөдөгү жарык ылдамдыгы биринчи чөйрөдөгүгө караганда кичине.

Чөйрөнүн вакуумга салыштырмалуу сынуу көрсөткүчүн ошол чөйрөнүн абсолюттук сынуу көрсөткүчү деп айтабыз. Ал көрсөткүч жарык нурлары вакуумдан берилген чөйрөгө өткөн кезде түшүү бурчунун синусунун сынуу бурчунун синусуна болгон катышына барабар.

(6.2) формуласын пайдаланып, салыштырмалуу сынуу көрсөткүчүн биринчи жана экинчи чөйрөлөрдүн абсолюттук сынуу көрсөткүчтөрү  $n_1$  жана  $n_2$  аркылуу туюнтууга болот.

128



Чындыгында,  $n_1 = \frac{c}{v_1}$  жана  $n_2 = \frac{c}{v_2}$  (мында  $c$  —

жарыктын абасыз боштуктагы ылдамдыгы) болгондуктан,

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (6.4)$$

Абсолюттук сынуу көрсөткүчү кичине чөйрөнү *оптикалык тыгыздыгы азыраак чөйрө* деп атоо кабыл алынган.

Абсолюттук сынуу көрсөткүчү өз кезегинде жарык тарала турган чөйрөнүн физикалык абалына, б. а. заттын температура-сына, анын тыгыздыгына, анда серпилгичтүү чыңалуунун болушуна көз каранды болот. Сынуу көрсөткүчү жарыктын өзүнүн касиеттерине да көз каранды. Кызыл жарыктын сынуу көрсөткүчү жашылдыкына караганда кичине, ал эми жашыл жарыктыкы кызгыл-көктүкүнө караганда кичине.

Ошондуктан, ар түрдүү заттардын сынуу көрсөткүчтөрүнүн таблицаларында  $n$ дин маанилери кайсы жарык үчүн келтирилгендиги, чөйрө кандай абалда экендиги көрсөтүлөт. Эгерде мындай көрсөтмөлөр жок болсо,  $n$ дин бул көрсөтүлгөн факторлорго болгон көз карандылыгын эске албаса да болот дегенди билдирет.

Көпчүлүк учурларда жарыктын *вакуум — чөйрө* чек арасы эмес, *аба — катуу тело* же *аба — суюктук* чек аралары аркылуу өтүшүн байкоого туура келет. Катуу же суюк заттын абсолюттук сынуу көрсөткүчү  $n_2$  ошол эле заттын абага салыштырмалуу сынуу көрсөткүчүнөн өтө эле аз айырмаланат. Мисалы, аба үчүн абсолюттук сынуу көрсөткүчү (кадимки шарттарда сары жарык үчүн) болжол менен  $n_1 \approx 1,000292$ ге барабар. Демек,

$$n = \frac{n_2}{n_1} \approx n_2. \quad (6.5)$$

1-таблицада кээ бир заттардын абага салыштырмалуу сынуу көрсөткүчтөрүнүн маанилери келтирилген (бул маанилер сары жарыкка таандык).

1-таблица

Заттар	Абага салыштырмалуу сынуу көрсөткүчү
Суу (20°Сде)	1,33
Кедр майы (20°Сде)	1,52
Күкүрттүү көмүртек (20°Сде)	1,63
Муз	1,31
Таш туз	1,54
Кварц	1,54
Рубин	1,76
Алмаз	2,42
Айнектин түрдүү сорттору	1,47 ден 2,04 кө чейин



**Үч бурчтуу призмадагы нурлардын жүрүшү.** Жарыктын сынуу закону ар кандай оптикалык түзүлүштөрдө, мисалы, айнек же башка тунук материалдардан жасалган үч бурчтуу призмаларда жарык нурунун жүрүшүн эсептеп чыгарууга мүмкүндүк берет.

128-сүрөттө айнек призманын, анын каптал кырларына перпендикуляр болгон тегиздик менен кесилиши сүрөттөлгөн. Нурлар призманын негизин көздөй кыйшайып,  $OA$  жана  $OB$  грандарында сынат. Ушул грандардын арасындагы  $\varphi$  бурчу призманын *сынуу бурчу* деп аталат. Нурдун  $\theta$  жантаюу бурчу призманын  $\varphi$  сынуу бурчуна, призманын материалынын  $n$  сынуу көрсөткүчүнө жана  $\alpha$  түшүү бурчуна көз каранды болот.  $\theta$  бурчун сынуу законунун (6.1) формуласы боюнча эсептеп чыгарууга болот.

## 50. Толук чагылуу

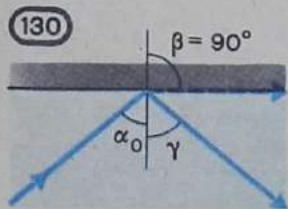
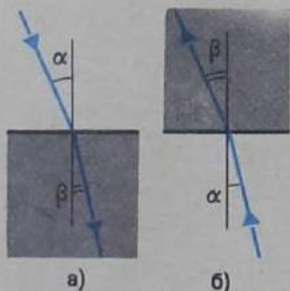
Жарыктын сынуу закону эң кызыктуу жана практикалык чоң мааниси бар — *жарыктын толук чагылуу* кубулушун түшүндүрүүгө мүмкүнчүлүк берет.

Жарык оптикалык тыгыздыгы азыраак чөйрөдөн оптикалык тыгыздыгы көбүрөөк чөйрөгө, мисалы, абадан айнекке же сууга өткөн кезде  $v_1 > v_2$  болот жана (6.3) сынуу закону боюнча сынуу көрсөткүчү  $n > 1$ . Ошондуктан,  $\alpha > \beta$  (129-а, сүрөт): сынган нур эки чөйрөнүн чек арасына тургузулган перпендикулярга жакындайт. Эгерде жарык нурун тескери багытта оптикалык тыгыздыгы көбүрөөк чөйрөдөн оптикалык тыгыздыгы азыраак чөйрөгө сынган нурдун мурдагы изи боюнча жиберсек (129-б, сүрөт), анда сынуу закону төмөнкүдөй жазылат:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{n}. \quad (6.6)$$

Сынган нур оптикалык тыгыздыгы көбүрөөк чөйрөдөн мурдагы түшкөн нурдун изи боюнча чыгып кетет, ошондуктан  $\alpha < \beta$ , б. а. сынган нур перпендикулярдан алыстайт.  $\alpha$  бурчу чоңойгон сайын  $\beta$  сынуу бурчу чоңоёт, ошондой эле ал бардык учурда  $\alpha$  бурчунан чоң бойдон кала берет. Акырында, түшүү бурчунун кандайдыр

129



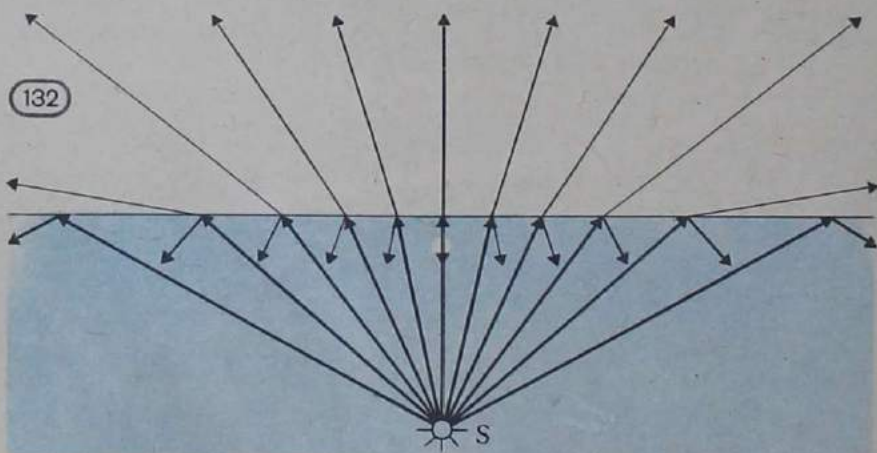


бир маанисинде сынуу бурчу  $90^\circ$ ка жакындайт жана сынган нур эки чөйрөнү бөлүү чегин дээрлик бойлото жүрөт (130-сүрөт). Сынуу бурчунун мүмкүн болгон эң чоң мааниси  $\beta = 90^\circ$ ка түшүү бурчунун  $\alpha_0$  мааниси туура келет

$\alpha > \alpha_0$  болгондо эмне болорун байкап көрөлү. Жарык нуру эки чөйрөнүн бөлүнгөн чегине түшкөн кезде анын бир бөлүгү сынарын, бир бөлүгү андан чагыларын мурда эскертип кеткенбиз.  $\alpha > \alpha_0$  болгондо нур сынууга дуушар болбойт. Демек, нур толугу менен чагылууга тийиш. Бул кубулуш *жарыктын толук чагылуусу* деп аталат.

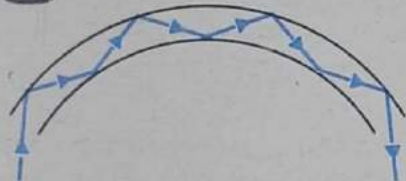
Толук чагылууну байкоо үчүн, арт жагы күнүрт болгон айнек жарым цилиндрди пайдаланууга болот. Жарым цилиндрдин жалпак бетинин борбору дисканын борборуна туура келгендей кылып, жарым цилиндр дисканын бетине бекитилет (131-сүрөт). Жарыктын ичке шооласы жарыктандыргычтан, цилиндрдин каптал бетине перпендикулярдуу түрдө төмөн жагынан жиберилет. Бул беттен нурлар сынбайт. Цилиндрдин жалпак бетинен жарык нурлары жарым-жартылай сынат жана жарым-жартылай чагылат. Чагылуу кадимки эле чагылуу закону, ал эми сынуу — (6.1) сынуу законуна ылайыктуу жүрөт.

Эгерде түшүү бурчун чоңойтсок, анда чагылган нурдун жарыктанышы (демек, энергиясы) көбөйөрүн, ал эми сынган нурдун жарыктанышы (энергиясы) басаңдаарын байкоого болот. Сынган нурдун энергиясы, качан сынуу бурчу  $90^\circ$ ка жакындаганда өзгөчө тез азаят. Эң акырында, түшүү бурчу  $\alpha_0$ го





133



барабар болуп, сынган нур эки чөйрөнү бөлүү чегин бойлото жүргөн учурда чагылган энергиянын үлүшү дээрлик 100%ти түзөт (130-сүрөт).  $\alpha$  түшүү бурчу  $\alpha_0$ дон чоң болгондой кылып жарыктандыргычты бурабыз. Биз сынган нурдун жоголуп кеткендигин жана бардык жарык бөлүү чек арасынан чагылгандыгын байкайбыз, б. а. жарыктын толук чагылуусу пайда болот.

Сынуу бурчу  $90^\circ$  болгон кездеги ага туура келген  $\alpha_0$  түшүү бурчу толук чагылуунун чектик бурчу деп аталат.  $\sin\beta=1$  болгон кезде (6.6) формуласы төмөнкүдөй жазылат:

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n}. \quad (6.7)$$

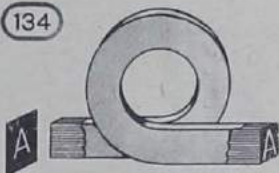
Бул барабардыктан толук чагылуунун чектик бурчу  $\alpha_0$ дун маанисин табууга да болот. Суу үчүн ( $n=1,33$ ) чектик бурч  $48^\circ 35'$  айнек үчүн ( $n=1,5$ )  $41^\circ 50'$ , алмаз үчүн ( $n=2,42$ )  $24^\circ 40'$  га барабар. Бардык учурларда экинчи чөйрө аба болуп эсептелет.

132-сүрөттө суунун ичинде, анын бетинен алыс эмес аралыкта жайгаштырылган жарык булагынан чыккан нурлардын агымы сүрөттөлгөн. Жарыктын чоңураак интенсивдүүлүгү тиешелүү нурларды сүрөттөөчү сызыктардын улам жоонойтулгандыгы менен көрсөтүлгөн.

Толук чагылуу кубулушун жөнөкөй тажрыйбалардан оңой эле байкоого болот. Стаканга суу куябыз да, аны көздүн тушунан бир аз жогору көтөрөбүз. Төмөн жагынан стакандын капталы аркылуу караган кезде суунун бети, жарыктын толук чагылуусунун натыйжасында күмүш сымал жаркылдагансып көрүнөт.

Толук чагылуу була оптикасында жарыкты берүү үчүн жана ийилгич тунук буланын — световоддун агымы боюнча сүрөттөлүшүн алуу үчүн колдонулат. Световод цилиндр формасындагы айнек буладан турат жана ал сынуу көрсөткүчү буланыкына караганда кичине болгон тунук материал менен капталып коюлган болот. Бир нече жолку толук чагылуунун натыйжасында жарык ар кандай жол (түз же ийилген) менен жиберилиши мүмкүн (133-сүрөт). Була эшилген түрдө болот. Ошондуктан, буланын ар бир жиби боюнча сүрөттөлүштүн кандайдыр бир элементи берилет (134-сүрөт). Буладан өрүлгөн жип, мисалы, медицинада ички органдарды изилдөө үчүн колдонулат.

134



Узун шооладагы буланы — световоддорду даярдоонун технологиясын жакшыртуу менен байланыштарды (анын ичинде телекөрсөтүүнү да) жарык нурларынын жардамы менен берүү мүмкүнчүлүгү бар экенине ишенүүгө болот.

### Суруолор

1. Жарыктын сынуу көрсөткүчүнүн физикалык кандай мааниси бар?
2. Жарыктын абсолюттук сынуу көрсөткүчү салыштырмалуу сынуу көрсөткүчүнөн эмнеси боюнча айырмаланат?
3. Толук чагылуунун чектик бурчу эмнеге барабар?

### Маселелер чыгаруунун мисалдары

1. Эгерде түшүү бурчу  $\alpha = 75^\circ$  болсо, анда абадан сууга өткөн кезде жарык нурлары биринчи таралуу багытынан канчалык  $\theta$  бурчуна кыйшайарын аныктагыла.

Чыгарылышы. 135-сүрөттөн  $\theta = \alpha - \beta$  экендиги көрүнүп турат.

Сынуу закону боюнча:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n,$$

мында  $n$  — суунун сынуу көрсөткүчү. Мындан

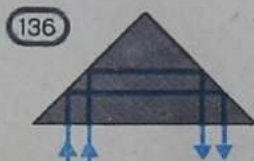
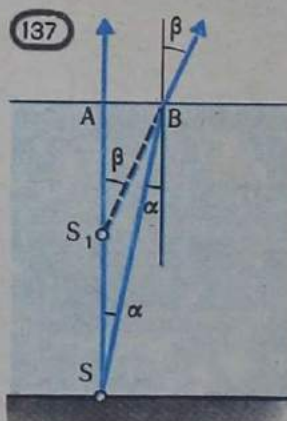
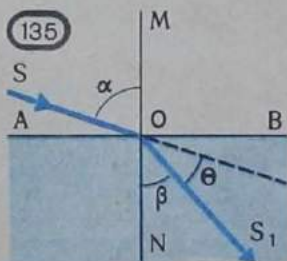
$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \approx 0,727.$$

Синуустар таблицасынан  $\beta$  үчүн төмөнкүнү табабыз:

$$\beta \approx 46^\circ 33'.$$

Демек,  $\theta \approx 75^\circ - 46^\circ 33' \approx 28^\circ 27'$ .

2. Негизи тең капталдуу тик бурчтуу үч бурчтук болуп эсептелген үч бурчтуу айнек призмасы аркылуу өткөн нурлардын





жүрүшүн тарткыла. Нурлар узун гранина перпендикуляр болуп түшөт.

Чыгарылышы. Түшүү бурчу нөлгө барабар болгондуктан, узун грани аркылуу өткөн кезде нурлар өзүнүн багытын өзгөртпөйт (136-сүрөт). Кыска гранинда жарык толук чагылууга учурайт, себеби түшүү бурчу  $45^\circ$ ка барабар, демек, ал айнек үчүн толук чагылуунун чектик бурчунан чоң. Сол гранинан толук чагылгандан кийин, нур оң гранина келип түшөт да, экинчи жолу толук чагылууга учурайт жана узун гранина перпендикуляр багыт боюнча чыгып кетет. Мына ошентип, бул учурда жарык агымынын багыты  $180^\circ$ ка өзгөрөт. Нурлардын мындай жүрүшү, мисалы, призмалуу дүрбүлөрдө колдонулат.

3. Көлмөнүн чыныгы тереңдиги, аны вертикаль боюнча төмөн караган кездеги көрүнгөн жалган тереңдигинен канча эсе чоң экенин аныктагыла.

Чыгарылышы. Көлмөнүн түбүндөгү  $S$  чекитинен чыгып жана байкоочунун көзүнө түшкөн нурлардын жүрүшүн түзөбүз (137-сүрөт). Вертикаль багыт боюнча карап жаткандыктан, ал нурлардын бири  $SA$ ны суунун бетине перпендикуляр кылып, экинчисин —  $SB$ ны перпендикулярга  $\alpha$  кичине бурчу менен багыттайбыз. ( $\alpha$  чоң болсо, нурлар көзгө келип түшпөйт.) Суунун бетинен сынгандан кийин нурлар чачырап таралат. Бул нурлардын чокусу болгон  $S_1$  чекити  $S$  чекитинин жалган сүрөттөлүшү болот.

$ASB$  бурчу  $\alpha$  түшүү бурчуна барабар (ички кайчылаш бурч болгондуктан), ал эми  $AS_1B$  бурчу  $\beta$  сынуу бурчуна (параллель сызыктардын тиешелүү бурчтары болгондуктан) болот.  $ASB$  жана  $AS_1B$  тик бурчтуу үч бурчтуктары  $AB$  жалпы катетке ээ, аны көлмөнүн  $SA=H$  чыныгы тереңдиги же  $S_1A=h$  жалган тереңдиги менен туюнтууга болот:

$$AB = H \operatorname{tg} \alpha = h \operatorname{tg} \beta.$$

Мындан

$$\frac{H}{h} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

$\alpha$  жана  $\beta$  бурчтары кичине болгондуктан

Демек, 
$$\frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = n.$$

$$\frac{H}{h} = n.$$

Көлмөнүн чыныгы тереңдиги көзгө көрүнгөн жалган тереңдигинен  $n = 1,3$  эсе терең.

#### 7-көнүгүү

1. Суунун алмазга, күкүрттүү көмүр-тектин музга салыштырмалуу сынуу көрсөткүчтөрүн эсептеп чыгаргыла.
2. Жалпак-параллель пластинага парал-

дель нурлардын түшүү бурчу  $60^\circ$ ка барабар. Эгерде пластиналар аркылуу өткөн нурлардын арасындагы аралык  $0,7$  см ге барабар болсо, пластинадан

параллель нурлар чыккан чекиттердин арасындагы аралыкты тапкыла.

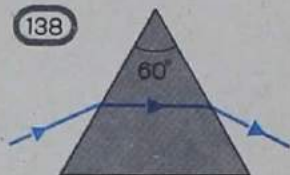
3. Эгерде кандайдыр бир нерсени үч бурчтуу призма аркылуу караса, анда сүрөттөлүшү жылышкансып көрүнөт. Кайсы жагына?

4. Суунун теренинен чыккан нурлар анын бетинде толук чагылууга учурайт. Эгерде суунун бетине кедр майынан куйсак, нурлар абага чыга алабы?

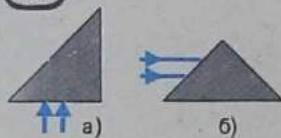
5. Призманын кесилиши тең жактуу үч бурчтукту элестетет. Нурлар призма аркылуу өтүп чокуларынан бирдей алыстыкта жаткан чекиттерде сынышат (138-сүрөт). Призма жасалган заттын  $n$  сынуу көрсөткүчүнүн эң чоң мүмкүн болгон мааниси кандай?

6. Негизи тең капталдуу тик бурчтуу үч бурчтук болуп эсептелген үч бурчтуу айнек призма аркылуу өткөн нурлардын жүрүшүн түзгүлө. Нурлар 139-а, б сүрөттөрдө көрсөтүлгөндөй болуп призмага келип түшөт. Эгерде призманы сууга салсак, анда нурлардын жүрүшү ошол бойдон калабы?

138



139



## 51. Линза

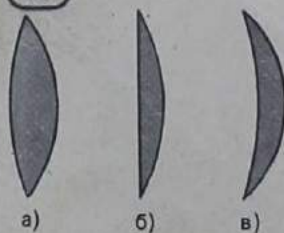
Биз ушул убакка чейин эки чөйрөнүн чегиндеги жалпак беттен жарыктын сынышын карадык. Сфералык беттен сынуулар практикада кеңири колдонулат.

Сфералык беттер менен чектелген тунук телону *линза* дейбиз.

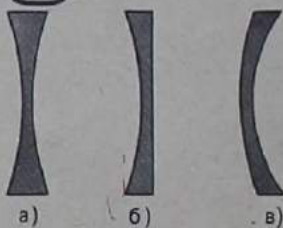
**Линзанын түрлөрү.** Линза эки томпок сфералык бет менен (эки жагы томпок линза — 140-а, сүрөт), бир сфералык бет жана тегиздик менен (жалпак-томпок линза — 140-б, сүрөт), томпок жана иймек сфералык беттер (томпок-иймек линза — 140-в, сүрөт) менен чектелиши мүмкүн. Бул линзалардын ортосу эки четине караганда калың жана алардын баары *томпок линза* деп аталат.

Ортосу эки четине караганда жука линзалар *иймек линза* деп аталат. 141-сүрөттө иймек линзанын үч түрү: эки жагы иймек — а, жалпак-иймек — б жана томпок-иймек — в линзалар көрсөтүлгөн.

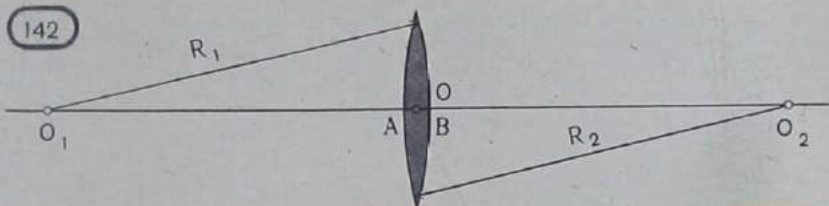
140



141







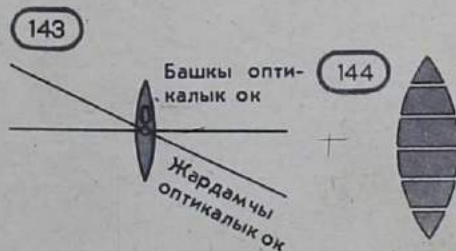
**Жука линза.** Биз эң жөнөкөй учурду, качан линзанын калыңдыгы  $l=AB$  (142-сүрөт) беттердин  $R_1$  жана  $R_2$  радиустарына жана нерседен линзага чейинки аралыкка салыштырмалуу эсепке албай коюуга мүмкүн болгондой кичине болгон бир кыйла жөнөкөй учурларды карайбыз. Мындай линзалар *жука линза* деп аталат. Мындан ары линза жөнүндө сөз кылганда, биз дайыма жука линза деп түшүнөбүз.

Жука линзада — сфералык сегменттин чокулары  $A$  жана  $B$  чекиттери бири бирине өтө эле жакын жайланышкан, ошондуктан аларды бир эле чекит катарында кароого болот. Анын  $O$  тамгасы менен белгилейбиз да, линзанын *оптикалык борбору* деп атайбыз. Линзанын оптикалык борбору аркылуу өткөн жарык нуру иш жүзүндө сынбай өтүп кете берет.

Линзаны чектеп турган сфералык беттин борбору аркылуу өткөн  $O_1 O_2$  түз сызыгы линзанын *башкы оптикалык огу* деп аталат. Жука линзанын башкы оптикалык огу анын оптикалык борбору аркылуу өтөт. Оптикалык борбор аркылуу өтүүчү ар кандай башка түз сызык *кошумча оптикалык ок* деп аталат (143-сүрөт).

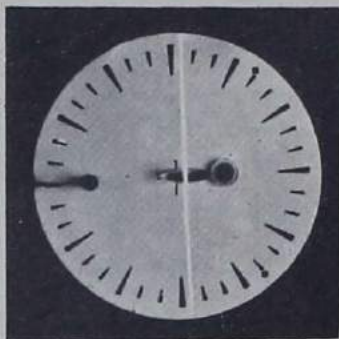
**Линзадагы сүрөттөлүш.** Жалпак күзгү сыяктуу эле линза жарык булагынын сүрөттөлүшүн түзөт. Бул болсо, нерсенин кандайдыр бир чекитинен (булактан) чыккан жарык линзада сынгандан кийин анын кайсы жеринен өткөнүнө карабастан, кайрадан бир чекитте (сүрөттөлүш) чогулат дегенди түшүндүрөт. Эгерде нурлар линзадан чыккандан кийин бир чекитте чогулушса, анда чыныгы сүрөттөлүштү түзөт. Нурлар линзадан чачырап өтсө, анда нурлардын өздөрү бир чекитте кесилишпестен, алардын уландылары кесилишет. Бул учурдагы сүрөттөлүш жалган болот. Аны түздөн-түз көз менен, же оптикалык приборлор менен көрүүгө болот<sup>1</sup>.

**Чогултуучу линза.** Линзаны көбүнчө айнектен жасашат. Томпок линзалар чогултуучу болуп эсептелишет.



<sup>1</sup> Нурлар же алардын уландылары башкы оптикалык ок менен кичине бурч түзүшсө, анда алар иш жүзүндө бир чекитте кесилишет.

145



146



Алардын каалаганын схемалык түрдө, айнек призмалардын тобунан турган сыяктуу элестетүүгө болот (144-сүрөт). Абада ар бир призма жарыкты өзүнүн негизин көздөй сындырат. Линза аркылуу өткөн нурлар, анын башкы оптикалык огун көздөй кыйшайышат.

Чогултуучу линзадагы нурлардын сынышын тажрыйбадан көрүүгө болот. Линза дискага бекитилип коюлат. Адегенде нурду вертикаль боюнча башкы оптикалык окту бойлото жиберибиз жана ал, линза аркылуу сынбай өтөөрүнө ишенебиз (145-сүрөт). Андан кийин нурду кошумча окту бойлото жиберибиз (б. а. дагы эле оптикалык борбор аркылуу) жана сынган нурдун бир аз параллель жылышуусун байкайбыз (146-сүрөт).

Мындан кийин жарыктандыргычтан линзага үч параллель нурду вертикаль боюнча багыттайбыз. Алар сынып, линзадан өткөндөн кийин бир чекитте кесилишет (147-сүрөт).

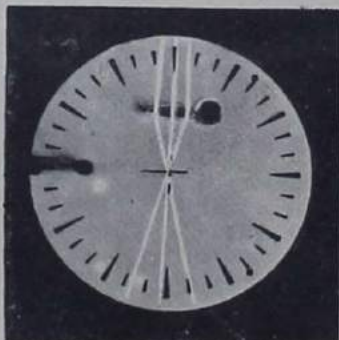
Чогултуучу линзада сынгандан кийин башкы оптикалык окко параллель болуп түшкөн нурлардын кесилишкен чекити *линзанын башкы фокусу* деп аталат. Бул чекит  $F$  тамгасы менен белгиленет (148-сүрөт).

Башкы оптикалык окко параллель болгон нурларды, линзанын экинчи жагынан дагы жиберүүгө болот. Линзадан өтүп, нурлардын чогулган чекити экинчи башкы фокус деп аталат (149-сүрөт).

Мына ошентип, линзада башкы фокус экөө болот. Бир тектүү чөйрөдө алар линзанын эки жагында линзадан бирдей аралыкта жайланышат. Ал аралык *линзанын фокус аралыгы* деп аталат да, ал  $F$  тамгасы (фокус белгиленген тамга) менен белгиленет.

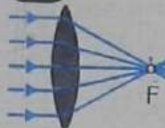
Жарыктандыргычтан үч параллель нурду башкы оптикалык окко бурч боюнча жиберибиз. Нурлар башкы фокустан

147

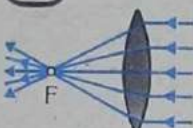




148



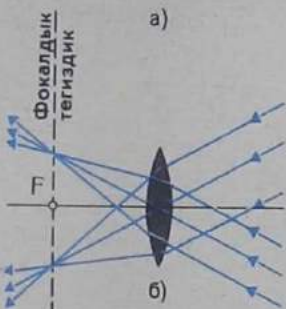
149



150

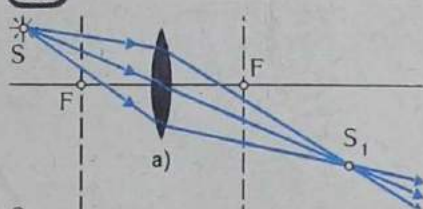


а)

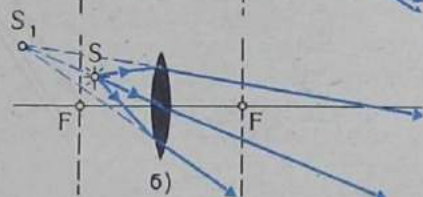


б)

152

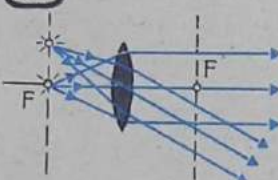


а)



б)

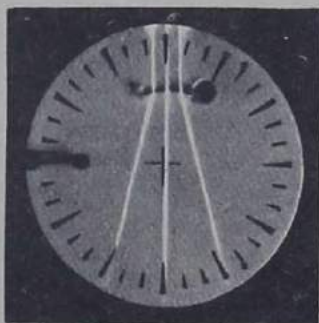
151



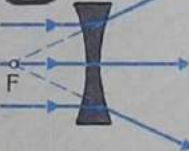
кесилишпестен, башка чекитте кесилишкенин (150-а, сүрөт) байкайбыз. Башкы оптикалык ок менен ар кандай бурч түзгөн параллель нурлардын кесилишкен чекити оптикалык окко перпендикуляр жана башкы фокус аркылуу өткөн тегиздикте жайланышышы өтө кызыктуу (150-б, сүрөт). Ал *фокальдық тегиздик* деп аталат.

Жарык чыгаруучу чекитти линзанын фокусуна (же фокальдық тегиздиктеги каалаган чекитке) коюп, сынгандан кийин параллель нурларга ээ болобуз (151-сүрөт). Эгерде булакты линзадан алыстатып жылдырса, нурлар линзанын артында жайланышат да чыныгы сүрөттөлүштү беришет (152-а, сүрөт). Булак фокускка

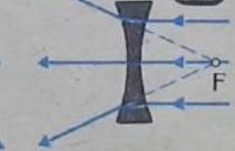
153



154



155



жакын турган кезде, сынган нурлар чачырап кетишет да, сүрөттөлүш жалган болот (152-б, сүрөт).

**Чачыратуучу линза.** Иймек линзалар нурларды чачыратуучу болуп эсептелишет. Линзаны дискага бекитип, башкы оптикалык окко параллель кылып нурларды жиберибиз. Сынган нурлар чачыроочу болушат (153-сүрөт), ал эми алардын уландысы чачыратуучу линзанын башкы фокусунда кесилишет. Бул учурда башкы фокус жалган фокус болот (154-сүрөт) жана линзадан  $F$  аралыгында жайланышат. Эгерде линзанын эки жагында чөйрө бирдей болсо, анда экинчи негизги жалган фокус, ошондой эле аралыкта линзанын экинчи жагында жайланышат (155-сүрөт).

**Линзанын оптикалык күчү.** Фокустук аралыкка тескери чоңдук линзанын оптикалык күчү деп аталат. Ал  $D$  тамгасы менен белгиленет.

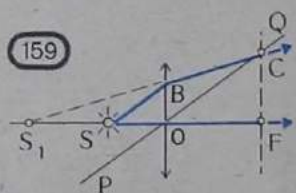
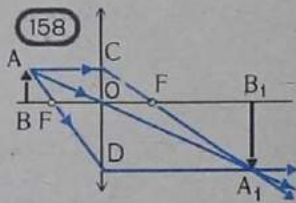
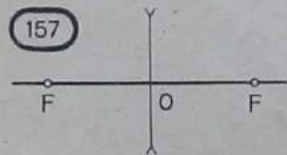
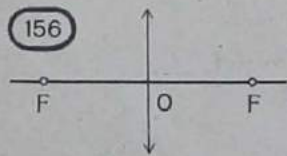
$$D = \frac{1}{F}. \quad (6.8)$$

Линзанын фокустары канчалык ага жакын жатышса, нурларды ошончолук күчтүүрөөк сындырып чогултат же чачыратат жана линзанын оптикалык күчүнүн абсолюттук мааниси ошончолук чоң болот.

Линзанын  $D$  оптикалык күчү диоптрия (дптр) менен туюнтулат. Фокус аралыгы 1 м болгон линзанын оптикалык күчү 1 дптр болот.

## 52. Линзада сүрөттөлүштү түзүү

Жука линзалардын касиеттери негизинен анын фокустарынын жайланышы менен аныкталат. Бул, булактан линзага чейинки аралыкты жана фокус аралыгын (фокустардын абалын) биллип, нурлардын линзанын ичинде жүрүшүн карап отурбастан эле, сүрөттөлүшкө чейинки аралыкты аныктоого болот дегенди бил-





дирет. Мына ушуга байланыштуу линзанын сфералык беттеринин так көрүнүшүн, чиймеде көрсөтүүнүн зарылдыгы жок болуп калат. Чогултуучу линза 156-сүрөттө көрсөтүлгөн, ал эми чачыратуучу линза 157-сүрөттө көрсөтүлгөн символдор боюнча элестетилет.

Нерсенин кандайдыр бир чекитинен чыккан нурлардын бардыгы линза аркылуу өткөндөн кийин, бир чекитте кесилишери бизге белгилүү. Жука линзанын мына ушул касиети нерсенин ар кандай чекитинин сүрөттөлүшүн, демек, бүткүл нерсенин сүрөттөлүшүн берет.

Фокусу жана оптикалык борбору берилген жыйноочу линзанын жардамы менен алынган сүрөттөлүштү түзүү үчүн, көбүнчө биз «ыңгайлуу» нурлардын үч түрүн пайдаланабыз. Башкы оптикалык окко параллель нурлар линзада сынып, анын фокусу аркылуу өтөрүн өткөн параграфта түшүндүргөнбүз. Фокус аркылуу линзага келген нурлар сынгандан кийин, башкы оптикалык окко параллель кетери нурлардын жүрүшүнүн кайталануучулук касиетинен келип чыгат. Эң акырында линзанын оптикалык борбору аркылуу өткөн нурлар өзүнүн багытын өзгөртпөйт. Алар параллель гана жылышат, ал жылышуу жука линзада анчалык чоң эмес, ошондуктан аны эске албай койсо да болот.

*AB* нерсесинин сүрөттөлүшүн түзөлү (158-сүрөт). *A* чекитинин сүрөттөлүшүн алуу үчүн *AC* нурун башкы оптикалык окко параллель багыттайбыз. Сынгандан кийин ал линзанын фокусу аркылуу өтөт. Экинчи — *AD* нурун фокус аркылуу жиберебиз. Ал сынгандан кийин башкы оптикалык окко параллель кетет. Бул эки сынган нурдун кесилишкен чекитинде *A* чекитинин *A*<sub>1</sub> сүрөттөлүшү пайда болот. Сүрөттөлүштүн калган бардык чекиттерин да, ошондой эле түзүүгө болот. Сүрөттөлүш эки же үч нур менен түзүлөт экен деп ойлошко болбойт; сүрөттөлүш *A* чекитинен чыгып *A*<sub>1</sub> чекитинде чогула турган чексиз көп нурлардын көптүгүнөн түзүлөт. Мисалы, линзанын оптикалык борбору *O* аркылуу өтүүчү *AOA*<sub>1</sub> нуру да *A*<sub>1</sub> чекитине келет. Мына ошентип, чекиттин сүрөттөлүшүн түзүү үчүн, линза аркылуу төмөндөгүдөй жүрүштөрү белгилүү болгон «ыңгайлуу» үч нурдун экөөнү пайдалансак болот: 1) оптикалык борбор аркылуу өткөн нур; 2) башкы оптикалык окко параллель болуп линзага түшкөн нур; 3) фокус аркылуу өткөн нур.

Башкы оптикалык окто жаткан чекиттин сүрөттөлүшүн түзүү боюнча дагы бир учурду карап көрөлү. Мындагы кыйынчылык бардык «ыңгайлуу» үч нур тең башкы оптикалык ок менен дал келише турган бир гана *SF* нуруна кошулуп кеткендиктен болот. Ошондуктан, линзанын *B* чекитинен өтө турган каалагандай *SB* нурунун жүрүшүн аныктоонун зарылчылыгы келип чыгат (159-сүрөт). Сынган нурду түзүү үчүн *SB* нуруна параллель болгон жардамчы *PQ* оптикалык огун жүргүзөбүз. Андан кийин фокалдык тегиздикти түзөбүз да, ал тегиздик менен жардамчы оптикалык октун кесилишкен *C* чекитин табабыз. Ушул чекит

аркылуу  $BC$  сынган нуру өтөт. Мына ошентип,  $S$  чекитинен чыгуучу эки нурдун жүрүшү түзүлдү. Линзада сынгандан кийин бул нурлар чачырап кетишет.  $S$  чекитинин  $S_1$  сүрөттөлүшү жалган болот, себеби жарык булагы фокус менен линзанын арасында жайгашкан.

### 53. Жука линзанын формуласы. Линзанын чоңойтушу

Үч чондукту: нерседен линзага чейинки  $d$  аралыгын, сүрөттөлүштөн линзага чейинки  $f$  аралыгын жана  $F$  фокус аралыгын байланыштыруучу формуланы чыгарабыз.

$$\frac{BO}{OB_1} = \frac{AB}{A_1B_1}.$$

$AOB$  жана  $A_1B_1O$  (158-сүрөттү карагыла) үч бурчтуктарынын окшоштугунан төмөнкү катыш келип чыгат:

$COF$  жана  $FA_1B_1$  үч бурчтуктарынын окшоштугунан:

$$\frac{CO}{A_1B_1} = \frac{OF}{FB_1}$$

ди алабыз.  $AB = CO$  болгондуктан

$$\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{OF}{FB_1}.$$

Мындан

$$\frac{BO}{OB_1} = \frac{OF}{FB_1}$$

же

$$\frac{d}{f} = \frac{F}{f-F}.$$

Жөнөкөй өзгөртүп түзүүдөн кийин төмөнкүнү алабыз:  $fF + Fd = fd$ . Алынган туюнтманын бардык мүчөсүн  $Ffd$  көбөйтүндүсүнө бөлүп, төмөнкүнү алабыз:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (6.9)$$

же

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D, \quad (6.10)$$

(6.9) же (6.10) тендемеси жука линзанын формуласы деп аталат.  $d$ ,  $f$  жана  $F$  чондуктары оң да, терс да болушу мүмкүн. Линзанын формуласын пайдаланып, анын мүчөлөрүнүн белгилерин далилдөөсүз эле төмөнкүдөй эреже боюнча коюуга болот. Эгерде линза чогултуучу болсо, анда анын фокусу чын болот



жана  $\frac{1}{|f|}$  мүчөсүнүн алдына «плюс» белгиси коюлат. Чачыратуучу линзада  $F < 0$  жана (6.9) формуласынын оң жагында  $-\frac{1}{|f|}$  терс чоңдугу турат<sup>1</sup>.

Эгерде сүрөттөлүш чын болсо,  $\frac{1}{|f|}$  мүчөсүнүн алдына «плюс», ал эми жалган сүрөттөлүш болсо, «минус» белгиси коюлат. Эң акырында, чыныгы жарыктанган чекит болсо, анда  $\frac{1}{|d|}$  мүчөсүнүн алдына «плюс» белгиси, эгерде ал жалган чекит (б. а. линзага чогулган нурлардын тобу түшүп, алардын уландысы бир чекитте кесилишкен болсо, анын алдына «минус» белгиси коюлат.

Качан гана  $F$ ,  $f$  же  $d$  белгисиз учурда  $\frac{1}{F}$ ,  $\frac{1}{f}$  же  $\frac{1}{d}$  мүчөлөрүнүн алдына «плюс» белгиси коюлат. Эгерде фокус аралыгын же линзадан сүрөттөлүшкө же булакка чейинки аралыкты эсептөөнүн натыйжасында терс чоңдук келип чыкса, анда бул фокус, сүрөттөлүш же жарык булагы жалган дегендикти түшүндүрөт.

**Линзанын чоңойтушу.** Линза аркылуу түзүлгөн сүрөттөлүштөр нерседен өздөрүнүн өлчөмдөрү менен айырмаланышат. Нерсе менен сүрөттөлүштүн өлчөмдөрүнүн айырмачылыгы *чоңойтуш* менен мүнөздөлөт.

*Сызыктуу чоңойтуш* деп сүрөттөлүштүн сызыктуу өлчөмүнүн нерсенин сызыктуу өлчөмүнө болгон катышы айтылат.

Сызыктуу чоңойтушту табуу үчүн кайрадан 158-сүрөткө кайрылабыз. Эгерде  $AB$  нерсесинин бийиктиги  $h$ , ал эми  $A_1B_1$  сүрөттөлүшүнүн бийиктиги  $H$ ка барабар болсо, анда

$$\Gamma = \frac{H}{h} \quad (6.11.)$$

формуласы сызыктуу чоңойтуш болот.

$AOB$  жана  $OA_1B_1$  үч бурчтуктарынын окшоштугунан

$$\frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|}$$

экендиги келип чыгат. Демек, линзанын чоңойтушу сүрөттөлүштөн линзага чейинки аралыктын линзадан нерсеге чейинки аралыкка болгон катышына барабар:

$$\Gamma = \frac{|f|}{|d|} \quad (6.12)$$

Суроолор

1. Кандай линзаны жука линза деп айтабыз?
2. Линзанын башкы фокусу деп эмнени айтабыз?
3. Линзанын формуласын жазгыла.
4. Линзадагы сүрөттөлүштөрдү түзүү үчүн кандай нурларды пайдалануу ыңгайлуу?
5. Линзанын чоңойтушу деп эмнени айтабыз?

<sup>1</sup> Чогултуучу линза үчүн  $D$  оптикалык күчү (§ 51 ты карагыла) оң, ал эми чачыратуучу линза үчүн терс болот.

## 54. Фотоаппарат. Проекциялык аппарат

Ар түрдүү оптикалык приборлордун түзүлүшү жана иштеши геометриялык оптиканын закондоруна негизделген. Биринчи кезекте, алардын ичинен чыныгы сүрөттөлүштү бере тургандарын карап чыгабыз. Бул сүрөттөлүштөрдү каттап калуу жана сактоо үчүн жарыктын химиялык таасири колдонулат.

Фотография XIX кылымдын 30-жылдарында ойлонуп табылган жана өнүгүүнүн узак жолун басып келди. Азыркы кезде фотография форматы кичине, өтө тез, түстүү жана стереоскопияда, турмуш тиричиликтин бардык областтарында кеңири колдонулуп жатат. Жаратылышты изилдөөдө анын ролу чоң. Фотография ар кандай объектилерди (эң майдасынан баштап космостук объектилерге чейин), көзгө көрүнбөгөн нурданууларды ж. б. каттоого мүмкүндүк берет. Көркөм фотографиянын мааниси баарыбызга белгилүү жана анын уландысы болуп кино эсептелет.

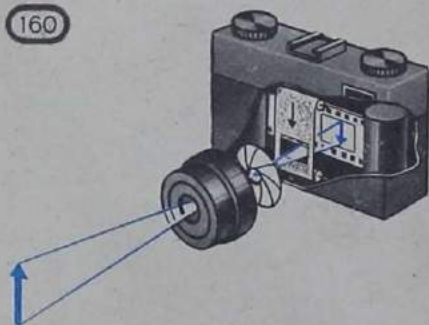
**Фотоаппарат.** Фотоаппараттын негизги бөлүктөрү болуп күңүрт камера жана объектив деп аталган линзалардын системасы эсептелет. Эң жөнөкөй объектив бир гана чогултуучу линзадан турат. Объектив камеранын арткы капталында фотографиялана турган нерсенин тескери жана чыныгы сүрөттөлүшүн пайда кылат. Көпчүлүк учурларда нерсе, эки эселенген фокус аралыгынан алыс аралыкта турат. Ошондуктан сүрөттөлүш кичирейип түшөт (160-сүрөт). Сүрөттөлүш дайда болгон жерге фотопластинка же фотоплёнка жайгаштырылат, ал фотоэмульсия деп аталган жарыкты сезгич зат менен капталган болот.

Фотографиялануучу нерсе аппараттан ар кандай аралыкта турат. Ошондуктан объектив менен плёнканын арасындагы аралыкты дагы өзгөртүү керек. Мында өзгөртүү камераны созуу же кысуу аркылуу (ал үчүн капталын «кыяк» түрүндө жасашат), же объективди сайлуу бураманын жардамы менен жылыштыруу аркылуу жүргүзүлөт.

Жарыкты сезүүчү катмарга түшө турган жарык энергиясы фотографиялык затвор аркылуу чектелет: затвор жарыктын белгилүү бир убакытка — экспозиция убактысына өтүүсүнө жол берет.

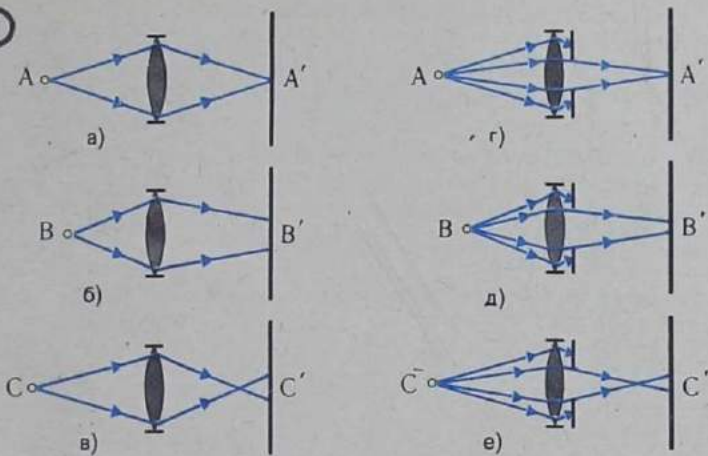
Ал убакыт фотоэмульсиянын сезгичтигине жана плёнканын жарыктанышына көз каранды. Объективдин линзаларынын өлчөмдөрү канчалык чоң болсо, жарыкты сезүүчү катмар объективге жакын турса, плёнка да ошончолук ачык жарыктанышка ээ болорун түшүнүү кыйын эмес. Объективдин аракет этүүчү диаметрин диафрагманын жардамы менен өзгөртүүгө болот жана аны менен фотоплён-

160





161

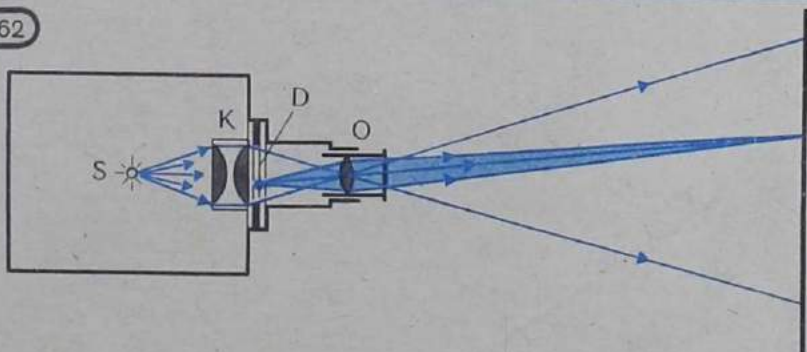


канын жарыктанышын жөнгө салабыз. Бирок диафрагма башка дагы милдет аткарат.

Аппараттан кандайдыр бир аралыкта жайланышкан жарык чыгаруучу  $A$  чекитин сүрөткө тарталы дейли жана бул чекиттин фотоплёнкадагы сүрөттөлүшү да чекит түрүндө түшөт (161-а, сүрөт). Анда объективге жакын жайланышкан  $B$  чекитинин (161-б, сүрөт) сүрөттөлүшү объективден алыс жайланышкан  $C$  чекиттин (166-в, сүрөт) сүрөттөлүшү сыяктуу анча чоң эмес тегерек түрүндө болот. Эгерде объективдин астына диафрагманы жайлаштырсак (161-г, д, е сүрөт), анда объективдин аракет этүүчү бөлүгүнүн диаметри канчалык кичине болсо, бул тегеректин диаметри ошончолук кичине болот (161-б, в сүрөттөрдү 161-д, е сүрөттөрү менен салыштыргыла). Диафрагманын тешигин кичирейтип отуруп, аппараттан ар кандай аралыкта жайланышкан чекиттердин эң даана сүрөттөлүштөрүн алууга жетишүүгө болот. Мындай учурда *дааналыктын тереңдиги* жогорулайт деп коюшат.

**Проекциялык аппарат.** Проекциялык аппарат, нерсенин чыны-

162



гы чоңойтулган сүрөттөлүшүн экранда алууга арналган. Мындай нерсе болуп арт жагынан жарык кылынуучу тунук негизге жасалган сүрөт же фотография — *диапозитив* эсептелиши мүмкүн. Проекциялык аппараттын түзүлүш схемасы 162-сүрөттө көрсөтүлгөн. *D* диапозитивдин сүрөттөлүшү экранда *O* объективинин жардамы менен түзүлөт. Линзалардын системасы *K* конденсор деп аталат да, булактын жарыгын диапозитивге топтоо үчүн колдонулат. Объектив жарыктанган диапозитивди экранга проекциялайт. Нурлардын диапозитивден экранга чейинки жүрүшү сүрөттө көрсөтүлгөн.

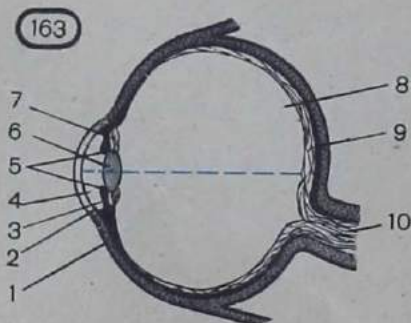
Объективди диапозитивге жакындатып же андан алыстатып, бир эле мезгилде аппараттан экранга чейинки аралыкты өзгөртүү менен проекциялык аппараттын чоңойтуусун өзгөртө алабыз.

Ошондой эле проекциялык аппараттар экранда тунук же тунук эмес объектилердин сүрөттөлүштөрүн алууга да мүмкүндүк берет. Мындай комбинациялуу прибор *эпидиаскоп* деп аталат. Тунук эмес нерселердин, мисалы, китептеги сүрөттүн сүрөттөлүшүн алуу үчүн аны абдан жарыктандырат да экранга проекциялайт.

## 55. Көз. Көз айнектер

**Көз.** Адамдын көзү дээрлик шар сымал формада болот (163-сүрөт). Анын диаметри 2,5 см ге жакын. Сырт жагынан ал ак түстөгү *1* сырткы кабык — *склера* менен капталган. Склеранын алдыңкы тунук бөлүгү *2* көздүн *тунук айнек чели* же *агы* деп аталат. Көздүн түзүлүшүнүн схемасында көздүн агынан кийин белгилүү бир аралыкта өзгөчө зат менен кандайдыр бир түскө боёлгон *түстүү чел* *3* жайланышканы көрүнүп турат. Көздүн агы менен жаалык түстүү челдин арасында *сууга окшош суюктук* *4* бар. Жаалык кабыкчада көзөнөк *5* — *карек* болот. Көзгө түшкөн жарыктын интенсивдүүлүгүнө жараша каректин диаметри рефлектордук түрдө 2 мм ден 8 мм ге чейин өзгөрөт. Бул процесс фотоаппараттын диафрагмасынын өзгөрүшүнө окшош. Каректин артында *чечекей* *6* — линзага окшош тунук катмарлуу нерсе жайгашкан. Өзгөчө булчуң *7* белгилүү бир чектерге чейин чечекейдин

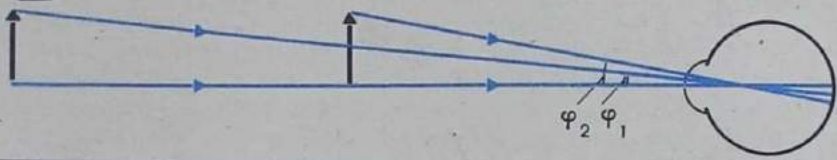
формасын өзгөртүп, жакын нерселерди караганда томпогураак түргө келтире алат. Көз чанагынын ички бөлүгүн бүт бойдон толтуруп турган туптунук *кил-килдөк тело* *8* турат. Көздүн чанагы өтө татаал *тордомо чел* *9* (*торчо*) менен капталган болот, ал *таякча* жана *колбочка* түрүндөгү нервдин учтары бар көргөзгүч нервдери *10* таркалган жери болуп саналат. *Таяк-*





Диоптрия

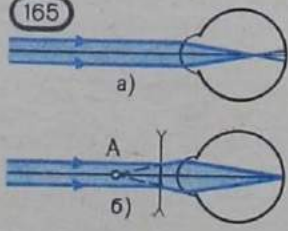
164



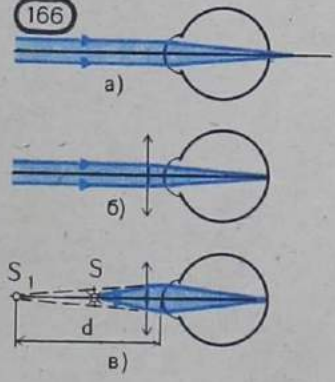
чалар жана колбочкалар жарыкты сезүүчү элементтер болушат. Көзгө түшкөн жарык нурлардын эң көбүрөөк сынышы көздүн агынын бетинде болуп өтөт. Бир аз кошумча сынууну чечекей берет. Жалпы жонунан көздүн оптикалык системасы, фокус аралыгы өзгөрмөлүү болгон жана «терендиги» (линзадан экранга чейинки аралыгы) өзгөрбөй турган жыйноочу линза катарында кароого болот. Карала турган нерсенин чыныгы тескери сүрөттөлүшү түзүлүүчү «экран» катарында торчо кызмат кылат. Көзгө түшкөн жарыктын нервдик учтарды (таякчалардын жана колбочкалардын) дүүлүктүрүүсү көрүү сезимин пайда кылат.

Эгерде нерсе өтө алыс турса, сүрөттөлүш нормалдуу көздүн торчосундагы чечекейдин булчундарынын эч кандай чыңалуусуз эле пайда болот. Нерсе жакындаган сайын чечекей кысыла баштайт да, сүрөттөлүштүн тегиздиги кайрадан торчо менен дал келишкенге чейин көздүн фокус аралыгы кичиреет. Бул болсо, булчун, тарабынан чечекейдин ийрилигин өзгөртө турган, рефлектордук чыңалуунун натыйжасында болот. Көздүн байкалуучу нерсеге чейинки аралыктын өзгөрүшүнө карата мындайча ыңгайлануусу көздүн аккомодациясы деп аталат. Нерсе жакындаган сайын, нерсенин эки жакын чекитин көрө турган көрүү бурчу чоңоёт (164-сүрөт). Качан гана бурч бир минутадан чоң болгондо эки чекиттин сүрөттөлүшү ар түрдүү нервдик учка тиет да, аларды айрым-айрым көрөбүз. Бирок да, нерсенин майда тетиктерин көрүш үчүн ал нерсени көзгө өтө эле жакындатуунун кажети

165



166



жок, анткени көздүн аккомодациясынын чеги — аккомодациянын жакынкы чекити бар.

Нерседен көзгө чейинки нерселердин тетиктерин көрүүгө (көзгө көп күч келтирбей) ыңгайлуу болгон аралык эң жакшы көрүүнүн аралыгы деп аталат. Нормалдуу көз үчүн, эң жакшы көрүү аралыгы 25 см ге барабар деп эсептелет. Мындан кичине аралыкта адам өзүнүн көзүн кыйынчылык менен аккомодациялайт.

Нормалдуу көздүн аккомодациясынын эң алыскы чекити чексиз алыстатылган чекит болуп саналат. Ал көздүн чыңалбаган абалына туура келет.

Адамдын көзү, көздүн огу карала турган нерсени көздөй багыттагандай кылып көздү тегерете турган булчуңдар менен жабдылган. Оң көз менен сол көздүн булчуңдарынын чыналышы нерселер канчалык жакын жайланышса, ошончолук айырмаланат. Мындан тышкары бири бирине жакын жайланышкан нерсенин оң жана сол көздүн тордомо челиндеги сүрөттөлүштөрү бири биринен бир топ айырмаланышат. Бул болсо адамга, нерсеге же анын бөлүктөрүнө чейинки аралыкты баалоого мүмкүндүк берет жана ошондой эле каралып жаткан нерсенин көлөмдүүлүгү жөнүндө оюн пайда кылат.

**Көз айнек.** Көпчүлүк адамдардын көздөрү кадимки эле шарттарда алыста турган нерсенин сүрөттөлүшүн торчонун өзүндө эмес, анын алдында пайда кылат (165-а, сүрөт). Мындай адамдар алыскы нерселерди ачык көрө албайт. Көрүүнүн мындай кемчилиги алыстан көрбөөчүлүк деп аталат. Алыстан көрбөөчүлөр нерсени кандайдыр бир аралыктан баштап гана даана көрүшөт. Көздүн аккомодациясынын алыскы чекити чексиз алыстатылган эмес. Эң жакшы көрүүнүн аралыгы ошого жараша кичине. Алыстан көрбөөчүлүктү чачыратуучу линзадан жасалган көз айнектерди тагынып жүрүп ондошот. Параллель нурлар мындай линза аркылуу өтүп, көзгө аккомодациянын алыскы чекитинен чыккансып көрүнөт (165-б, сүрөттөгү А чекити). Ошондуктан алыстан көрбөөчүлөр мындай көз айнек тагынып, алыста турган нерселерди кадимкидей, б. а. көзгө күч келтирбей эле көрө турган болушат.

Алыста турган нерселердин сүрөттөлүштөрү торчонун сыртында пайда болгон (166-а, сүрөт) көрүүнүн кемчилиги жакындан көрбөөчүлүк деп аталат. Жакындан жакшы көрбөөчүлөр алыстагы нерселерди көрүүдө көздөрүнө күч келтириши мүмкүн, ал эми 25 см ден алыс аралыктагы турган, жакынкы нерселерди караганда аккомодациянын чеги бүтөт.

Жакындан көрбөөчүлүктү чогултуучу линзасы бар көз айнекти тартынып жүрүп ондоого болот. Алыстагы нерселерди көрүү үчүн линзанын оптикалык күчү, ага түшкөн параллель нурлар көздүн торчосунда фокусталгандай болуш керек (166-б, сүрөт). 25 см аралыкта турган нерседен (166-в, сүрөт) түшкөн нурлар линза аркылуу өтүп азыраак чачырай турган болуп калышат да, нерселер  $d > 25$  см ( $S_1$  чекити) аралыкка алыстатылгандай



болуп калат жана бул учурда жакындан көрбөөчүлөр нерсени көзгө күч келтирбей карашат. Демек, эң жакшы көрүүнүн аралыгы, нормалдуу көздүкүндөй болуп калат.

### Маселелер чыгаруунун мисалдары

1. 167-сүрөттө линзанын  $MN$  башкы оптикалык огунун абалы,  $S$  жарык чыгаруучу чекиттин абалы жана анын  $S_1$  сүрөттөлүшү берилген. Түзүү жолу менен линзанын оптикалык борборун жана анын фокусун тапкыла. Бул линзанын чогултуучу же чачыратуучу экенин, сүрөттөлүштүн чыныгы же жалган экенин аныктагыла.

Чыгарылышы. Линзанын оптикалык борбору аркылуу өткөн нур өзүнүн багытынан кыйшайбайт. Ошондуктан  $O$  оптикалык борбор  $SS_1$  жана  $MN$  түз сызыктарынын кесилишүү чекити менен дал келет (168-сүрөт).  $SK$  нурун башкы оптикалык окко параллель кылып жүргүзөлү.  $KS_1$  сынган нуру фокус аркылуу өтөт. Фокус аркылуу линзага түшкөн нур, сынгандан кийин башкы оптикалык окко параллель кетерин билгенден кийин, экинчи фокусту табабыз. Линза чогултуучу, ал эми сүрөттөлүш чыныгы болуп эсептелет.

2. Нерсенин диапозитивдеги сүрөттөлүшүнүн бийиктиги  $h = 2$  см. Берилген нерсенин экрандагы бийиктиги  $H = 1$  м болуш үчүн, экрандан  $f = 4$  м аралыкта турган проекциялык аппараттын объективи кандай  $F$  фокус аралыгына ээ болуш керек?

Чыгарылышы. Линзанын:

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

формуласынан фокус аралыгын табабыз:

$$F = \frac{df}{d+f}$$

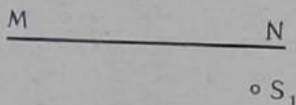
Линзанын чоңойтушу төмөнкүчө аныкталат:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{i}{d}$$

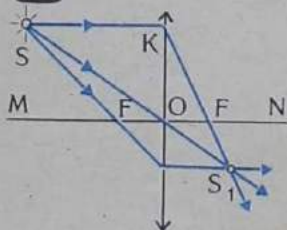
Мындан

$$d = \frac{hf}{H}$$

167



168



Ошондуктан

$$F = \frac{hf}{H+h} \approx 8 \text{ см.}$$

3. Эң жакшы көрүүнүн аралыгы  $d=1$  м болгон алыстан көрбөөчү адамдын көз айнегинин оптикалык күчүн аныктагыла. Нормалдуу көз үчүн эң жакшы көрүүнү аралыгын  $d_0=0,25$  м деп эсептегиле.

Чыгарылышы. Нерсени көз айнек менен караган кезде, көздөн  $d_0$  аралыкта турган нерсени алыстан көрбөй турган адам анын жалган сүрөттөлүшүн көрөт, ал сүрөттөлүш көздөн  $d$  аралыгында болот (166-в, сүрөттү карагыла).

Көз айнектин көздөн болгон аралыгын эске албастан, линзанын формуласын пайдаланып төмөнкүнү табабыз:

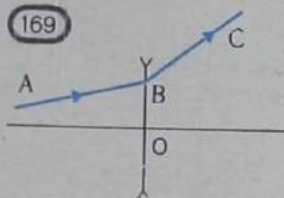
$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d} = \frac{d-d_0}{d_0 d} = 3 \text{ дптр.}$$

#### 8-көнүгүү

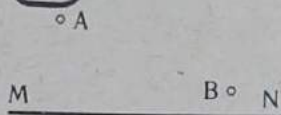
1. Линзанын алдына  $d=12,5$  см аралыкка коюлган шкаланын миллиметрлүү бөлүкчөлөрүнүн сүрөттөлүшү, экранда  $\alpha=2,4$  см узундукка ээ болот. Линзанын фокус аралыгы кандай?
2. Линзанын жардамы менен экранда электр лампочкасынын чыныгы сүрөттөлүшү алынган. Эгерде линзанын оң жаккы жарымын жаап койсо, сүрөттөлүш кандайча өзгөрөт?
3. Фотоаппарат плёнкада адамдын бетинин сүрөттөлүшүн түзөт. Чийменин жардамы менен эмне үчүн адамдын арт жагындагы алыстан көрүнүп турган токойдун сүрөттөлүшү даана эместигин түшүндүргүлө. Токой даана сүрөттөлсүн үчүн объективди кайсы тарапка жылдыруу керек? Бул учурда беттин сүрөттөлүшү даана болобу?
4. Эмне үчүн суучул маскасы жок кезде суунун түбүндөгү нерселерди начар ажыратып көрөт?
5. Төмөнкү учурларда чогултуучу линзанын алды жагына коюлган нерсенин сүрөттөлүшүн түзгүлө: 1)  $d > 2F$ , 2)  $d = 2F$ , 3)  $F < d < 2F$ , 4)  $d < F$ .
6. 160-сүрөттө ABC сызыгы чачыратуучу жука линзадагы нурдун жүрүшүн көрсөтөт. Түзүү жолу менен линзанын башкы фокусунун абалын аныктагыла.
7. Нерсе чогултуучу линзадан  $d=1,8$  м аралыкта турат. Эгерде сүрөттөлүш нерседен 5 эсе кичине болсо, анда линзанын фокус аралыгын аныктагыла.
8. 170-сүрөттө линзанын башкы оптикалык огу, жарык булагы жана анын сүрөттөлүшү көрсөтүлгөн. Түзүү менен линзанын оптикалык борборун жана фокусун тапкыла. Бул кандай линза: чогултуучубу же чачыратуучубу? Сүрөттөлүштөр кандай болот: чыныгыбы же жалганбы? Төмөнкү учурларды карагыла: 1) A — жарык булагы, B — сүрөттөлүш; 2) B — жарык булагы, A — сүрөттөлүш.
9. «Ынгайлуу» үч нурду пайдаланып, чачыратуучу линзадагы жарык чыгаруучу чекиттин сүрөттөлүшүн түзгүлө.
10. Проекциялык фонардын объективинин фокус аралыгы  $F=0,25$  м. Эгер экран объективден  $f=2$  м аралыкка алыстатылган болсо, фонарь диапозитивдин кандай чонойтушун берет?
11. Жарык чыгаруучу чекит чачыратуучу линзанын фокусунда жатат. Сүрөттөлүш линзадан кандай аралыкта жайгашкан? Нурлардын жүрүшүн түзгүлө.
12. Линзанын оптикалык огуна кыйшайган, чогултуучу линзадагы кыс-



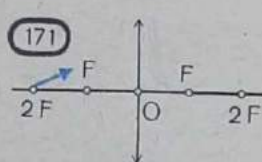
169



170



171



ка жебинин сүрөттөлүшүн түзгүлө. Жебинин төмөнкү учу линзадан кош фокус аралыгында башкы оптикалык окко жайланышкан (171-сүрөт).

13. Окуучу көз айнегин алып, анын

көзүнөн  $d=16$  см аралыкта колуна кармап китепти окуйт. Анын көз айнегинин оптикалык күчү канчага барабар?

## 6-главанын кыскача жыйынтыктары

Жарык электромагниттик толкун болуп саналат. Эгерде жарыктын толкун узундугу, анын таралуу багытына коюлган тоскоолдуктун өлчөмүнөн кичине болсо, анда геометриялык оптиканын методу менен кубулуштарды эң жогорку тактыкта берүүгө болот. Геометриялык оптикада жарык нурларын сызык катарында алуу негизги түшүнүк болуп саналат жана ал жарык энергиясынын таралуу багытын көргөзөт. Жарык бир тектүү чөйрөдө түз сызыктуу таралат.

Геометриялык оптиканын негизги закондору болуп: жарыктын бир тектүү чөйрөдө түз сызыктуу таралуу закону, жарыктын чагылуу жана сынуу закондору болуп эсептелет.

Чагылуу закону боюнча түшүүчү нур, чагылган нур жана эки чөйрөнү бөлүп туруучу чек арада нур түшкөн чекитке тургузулган перпендикуляр бир тегиздикте жатышат жана чагылуу бурчу түшүү бурчуна барабар.

Сынуу закону төмөнкүчө айтылат: түшүүчү нур, сынган нур жана эки чөйрөнү бөлүп туруучу чек арада нур түшкөн чекитке тургузулган перпендикуляр бир тегиздикте жатышат жана  $\alpha$  түшүү бурчунун синусунун  $\beta$  сынуу бурчунун синусуна болгон катышы, берилген эки чөйрө үчүн турактуу чоңдук болот:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad \text{мында } n \text{ — сынуу көрсөткүчү.}$$

Сынуу көрсөткүчү чек арасында сынуу жүрүп жаткан чөйрөдөгү жарык ылдамдыктарынын катышына барабар:

$$n = \frac{v_1}{v_2}.$$

Жарык оптикалык тыгыз чөйрөдөн оптикалык тыгыз эмес чөйрөгө өткөн кезде толук чагылуу байкалат. Ал, качан  $\alpha$  түшүү бурчу  $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$  шарты менен аныктала турган  $\alpha_0$  чектик бурчунан чоң болгон кезде байкалат.

Сфералык беттер менен чектелген тувук тело — линзалар абдан көп колдонулат. Чогултуучу жана чачыратуучу линзалар деп бөлүүгө болот. Чогултуучу линзага түшкөн параллель нурлардын агымы, линзанын фокусу деп аталуучу бир чекитте чогулат. Чачыратуучу линзага түшкөн параллель нурлардын агымы, ошол нурлардын уландысы бир чекитке чогулгандай болуп чачырашат. Бул чекит да фокус деп аталат, бирок бул учурда фокус жалган фокус болуп эсептелет.

Линзанын негизги формуласы анын  $F$  фокус аралыгы (линзадан фокуска чейинки аралык) менен нерседен линзага чейинки  $d$  аралыгын жана линзадан сүрөттөлүшкө чейинки  $f$  аралыкты өз ара байланыштырат:

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

Бул формуладагы  $F$ ,  $f$  жана  $d$  чоңдуктары оң болгондой эле терс да болушу мүмкүн. Чыныгы фокуска, сүрөттөлүшкө жана нерсеге оң маанилер, ал эми жалгандарына терс маанилер туура келет.

Көп сандаган оптикалык приборлордун — лупанын, фотоаппараттын, проекциялык аппараттын, микроскоптун, телескоптун түзүлүштөрү жана аракеттери геометриялык оптиканын закондоруна негизделген. Бул закондор оптикалык система катарында көздүн көрүшүн түшүнүүгө мүмкүндүк берет.

## 7-глава

---

### Жарык толкундары

#### 56. Жарыктын ылдамдыгы

✓ *Геометриялык оптикада жарык нурларынын багыты гана изилденет. Жарыктын убакыт боюнча таралуу процесси кандай жүрө тургандыгы жөнүндөгү маселе геометриялык оптикага кирбейт<sup>1</sup>. Жарыктын касиети жана заттар менен өз ара аракеттенүүсү бир кыйла тереңирээк түрдө физикалык оптикада каралат. Биз бул бөлүмдү жарыктын ылдамдыгы кандайча ченелгендигин түшүндүрүүдөн баштайбыз.*

Качан ажыратып-туташтыргычты бурганыбызда бөлмө бүт бойдон жарык боло түшөт. Жарык дубалга жетиши үчүн эч кандай убакыттын кереги жок сыяктуу сезилет. Жарыктын ылдамдыгын аныктоо үчүн көп сандаган аракеттер жасалган. Бул үчүн

---

<sup>1</sup> Сынуу көрсөткүчүнүн физикалык мааниси түшүндүрүлгөндөн кийин гана жарыктын ар кандай чөйрөдөгү таралуу ылдамдыгы жөнүндө сөз болду.

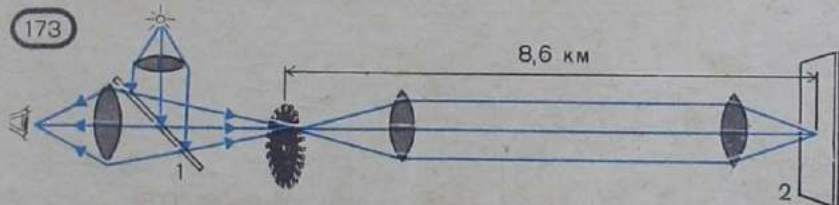




так жүргөн саат менен жарык сигналынын чоң аралыктарга (бир канча километрлеген) таралуу убактысын ченөөгө аракет кылып келишкен. Бирок мындай аракеттер эч натыйжа бербеди. Жарыктын таралуусу эч кандай убакытты албайт, жарык ар кандай чоң аралыкка кирпич каккычакты убакытта эле жетет деп ойлой башташты. Бирок да, жарыктын ылдамдыгы чектүү чондук болуп чыкты жана акырында бул ылдамдык аныкталды.

**Жарыктын ылдамдыгын ченөөнүн астрономиялык методу.** Жарыктын ылдамдыгын дания окумуштуусу О. Рёмер 1676-жылы биринчи болуп ченей алган. Рёмер астроном болгон, анын жеңиши ал ченөө үчүн пайдаланган жарык өтүүчү аралыктын эң эле чоң болгондугу менен түшүндүрүлөт. Бул күн системасындагы планеталардын арасындагы аралык болучу.

Рёмер күн системасынын эң чоң планетасы болгон Юпитердин спутнигинин тутулушун байкаган. Юпитер Жерден айырмаланып он төрт спутникке ээ. Рёмер Юпитердин жакынкы спутниги — Ио нун жүрүшүнө байкоо жүргүзгөн. Рёмер Ио спутниги планетанын алдынан кандайча өтүп, андан кийин анын көлөкөсүнө кандай киргендигин, андан соң көрүнбөй калгандыгын көргөн. Андан кийин ал спутник дароо жылт этип күйгөн лампа сыяктанып, кайра пайда болгон. Эки жолу жылт этүүнүн арасындагы убакыт 42 саат 28 мин га барабар болгон. Мына ошентип, бул Юпитердин «айы» убакыттын бирдей аралыгында өз сигналдарын Жерге жи-



берип тура турган асмандагы эң чоң саат сыяктуу болуп калган...

Адегенде ченөөлөр Жер өзүнүн Күндүн айланасындагы кыймылында Юпитерге баарынан жакын келген учурда жүргүзүлгөн (172-сүрөт). Мындан бир нече ай өткөндөн кийин, Жер Юпитерден алыстаган кезде жүргүзүлгөн ченөөлөр күтүлбөгөн жерден Ио спутниги көлөкөдөн, Ионун айлануу мезгилин билүүнүн негизинде эсептеп алууга боло турган убакыттан 22 минутага кечигип чыккандыгын көрсөттү.

Рёмер муну мындайча түшүндүргөн: «Эгерде мен жердин орбитасынын экинчи жагында болсом, анда Ио көлөкөдөн дайыма белгиленген гана убакта чыгып турат эле; ал жерде турган байкоочу Иону 22 минута эрте көрүп турмак. Бул учурдагы кечигүү, мурда менин биринчи байкоо жасаган ордумдан экинчи ордума чейинки аралыкты жарыктын өтүшү үчүн 22 мин керек болгондугунан болду». Ио спутнигинин көлөкөдөн чыгуудагы кечигишин жана кечигүүнү пайда кылган аралыкты билип, ал аралыкты кечигүү убактысына бөлүү аркылуу жарыктын ылдамдыгын аныктоого болот. Ылдамдык өтө чоң, болжол менен  $300\,000\text{ км/с}^1$  болуп чыккан. Ошондуктан, Жер бетиндеги алыстатылган эки чекиттин арасында жарыктын ири таралуу убактысын байкоо өтө кыйын. Анткени, жарык бир секундада жердин экваторунан 7,5 эсе чоң аралыкты өтөт.

✓ **Жарыктын ылдамдыгын ченөөнүн лабораториялык методдору.** Жарыктын ылдамдыгын биринчи жолу лабораториялык метод менен 1849-жылы француз физиги И. Физо ченей алган.

Физо тажрыйбасында жарык булагынан чыккан нур линза аркылуу фокусталып жыйылат жана 1 күнүрт пластинкага жиберилген (173-сүрөт). Пластинкадан чагылгандан кийин фокусталып жыйылган нурдун ичке тобу тез айланып жаткан тиштүү дөңгөлөктү көздөй жиберилген. Жарык нуру дөңгөлөктүн тиштеринин арасы аркылуу өтүп, дөңгөлөктөн бир нече километр аралыкта турган күзгүгө келип түшкөн. Күзгүдөн чагылган жарык байкоочунун көзүнө келип түшүүдөн мурда, дөңгөлөктүн тиштеринин арасынан дагы бир жолу өтүш керек эле. Дөңгөлөк жай айланып турган учурда, күзгүдөн чагылган жарык көрүнүп турган. Дөңгөлөктүн айлануу ылдамдыгын чоңойткондо чагылган жарык акырындык менен көрүнбөй калган. Эмне себеп болду? Эки тиштин арасынан өтүп жаткан жарык күзгүгө жетип жана кайра келгиче, дөңгөлөк андагы жылчыктын ордуна тиши туура келип калгандай болуп айланууга жетишкен, мына ошондуктан жарык көрүнбөй калган.

Айлануунун ылдамдыгын андан да чоңойткон кезде жарык кайрадан көрүнө баштаган. Мында жарык күзгүгө чейин жетип, кайра дөңгөлөккө келүүгө кеткен убакыттын ичинде дөңгөлөк,

<sup>1</sup> Өзүнүн ченөөлөрү анчалык так болбогондугунан жана Жердин орбитасынын радиусу жөнүндөгү маалыматтын так эместигинен Рёмер жарыктын ылдамдыгы үчүн  $215\,000\text{ км/с}$  деген маанини алган.



мурдагы жылчыктын ордуна бөлөк жаңы жылчык келип туруп калгандай болуп айланууга жетишкендиги көрүнүп турат. Ушул убакытты жана дөңгөлөк менен күзгүнүн арасындагы аралыкты билип, жарыктын ылдамдыгын аныктоого болот. Физонун тажрыйбасында аралык 8,6 км ге барабар жана жарыктын ылдамдыгы үчүн 313000 км/с маани алынган болучу.

Жарыктын ылдамдыгын ченөөнүн башка дагы көп сандаган бир кыйла так лабораториялык методдору иштелип чыккан. Атап айтканда, америкалык физик Майкельсон тиштүү дөңгөлөктүн ордуна айланып туруучу күзгүнү колдонуп, жарык ылдамдыгын ченөөнүн өркүндөтүлгөн методун иштеп чыккан.

Жарык ылдамдыгы ар түрдүү тунук заттарда да ченелген. Жарыктын суудагы ылдамдыгы 1856-жылы аныкталды. Анын чондугу абасыз боштуктагы ылдамдыкка караганда  $\frac{4}{3}$  эсе кичине болгон. Бардык калган заттарда дагы жарыктын ылдамдыгы абасыз боштуктагыга караганда кичине.

Азыркы кездеги маалыматтар боюнча жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы  $299792458 (1,2) \text{ м/с}^1$ га барабар.

Жарыктын ылдамдыгын аныктоо илимде эң маанилүү ролду ойнойт. Бул аныктоо жарыктын жаратылышын билүүгө белгилүү даражада көмөк берди. Чындыгында, дүйнөдө бир да тело жарыктын вакуумдагы ылдамдыгынан чоң ылдамдыкка ээ боло албай тургандыгы өзгөчө мааниге ээ. Бул кийинки главада сөз боло турган салыштырмалуулук теориясы түзүлгөндөн кийин түшүнүктүү болду.

## ✓ 57. Жарыктын дисперсиясы

Сынуу көрсөткүчү жарык нурларынын түшүү бурчуна көз каранды болбостон, анын түсүнө көз каранды<sup>2</sup>. Бул Ньютон тарабынан ачылган.

Ньютон телескопторду өркүндөтүүнүн үстүндө иштеп жатып, объектив аркылуу түзүлгөн сүрөттөлүштүн четтери боёлуп турганына көңүл бурган. Ал, бул кубулушка кызыгып калат да биринчи болуп «жарык нурларынын ар түрдүүлүгүн жана ошондон келип чыга турган түстөрдүн өзгөчөлүгүн изилдеген, мындай болоруна ошол убакытка чейин эч кимдин оюна да келген эмес»

<sup>1</sup> 1983-жылы чен жана салмак боюнча Генеральная ассамблеянын кеңешмесинде метрдин жаңы аныктамасы кабыл алынган: «Метр деген абасыз боштукта  $\frac{1}{299792458}$  секунда убакыт ичинде жарыктын өткөн жолунун узундугу». Бул аныктамадан жарыктын ылдамдыгы азыркы кезде так түрдө  $299792458 \text{ м/с}$ га барабар деп кабыл алынган.

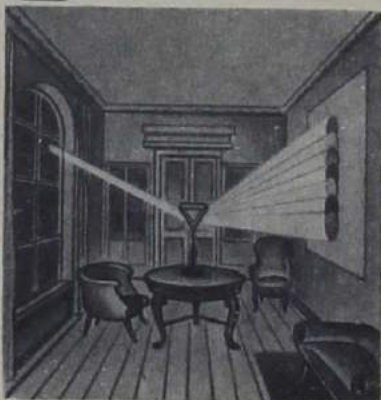
<sup>2</sup> Баардыгыбыздын түстүн эмне экендиги жөнүндө элесибиз бар. Түскө төмөнкүдөй аныктама берилет: түс деген — көрүү сезимине таасир этүүчү материалдуу объектилердин бирден бир касиети. Объектинин тигил же бул түстөрү көрүү сезими кабыл алып жаткан кезде ал объектиге адам тарабынан «ыйгарылат».

(Ньютондун мүрзөсүндөгү эстеликке жазылган сөздөр). Линза аркылуу түзүлгөн сүрөттөлүштүн күндүн желеси сыяктуу боёлушун, албетте, ага чейин эле байкашкан. Призма аркылуу каралуучу нерселердин четтери күндүн желеси сыяктуу болору дагы байкалган. Призма аркылуу өтүүчү жарык нурларынын тобунун чет жактары да боёлгон болот.

Ньютондун негизги тажрыйбасы эң эле жөнөкөй болгон. Ньютон призмага туурасынан кесилиши кичине болгон жарыктын тобун жиберүү керек экендигин сезген. Күн жарыгынын топ нуру караңгылатып коюлган бөлмөгө терезенин капкагындагы кичине көзөнөк аркылуу өткөн. Нур айнек призмага тийип, андан сынган жана карама-каршы дубалда түстөрү күндүн желесиндегидей тартипте жайланышкан узун сүрөттөлүштү берген (174-сүрөт). Күндүн желеси жети түстөн түзүлөт деп эсептелген көп кылымдык традиция боюнча Ньютон дагы жети түстү: кызгылт-көк, көк, көгүлтүр, жашыл, сары, кызгылт-сары жана кызыл түстү алууга жетишкен. Күндүн желесиндей тилкенин өзүн Ньютон *спектр* деп атаган.

Ньютон көзөнөктү кызыл айнек менен тосуп — дубалдан кызыл гана түстү, көк айнек менен тосуп — көк гана түстү ж. у. с. ды байкаган. Мындан мурда божомолдоп жүрүшкөндөй ак жарыкты призманын боёбой тургандыгы аныкталган. Призма жарыкты өзгөртпөстөн, аны составдык бөлүктөргө гана бөлөт (түстүү тиркемедеги I сүрөт). Ак жарык татаал түзүлүшкө ээ. Андан ар түрдүү түстөгү нурлардын тобун бөлүп алууга болот; алардын биргелешкен аракетин гана бизге ак түстүн элесин түзөт. Чындыгында эле, биринчисине карата  $180^\circ$ ка бурулган экинчи призманын жардамы менен спектрдин бардык нурларын чогултса, анда кайрадан ак жарык пайда болот (түстүү тиркемедеги II сүрөт). Спектрдин кандайдыр бир бөлүгүн, маселен, жашылтын бөлүп алып жана жарыкты дагы бир призма аркылуу өткөргөнүбүз менен андан ары боёгун өзгөртө албайбыз.

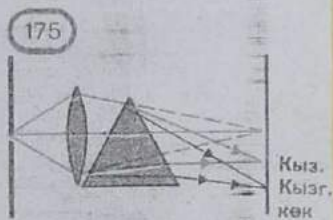
174



Ньютон тарабынан жасалган башка маанилүү корутундуларды, ал «Оптика» боюнча баяндамасында төмөнкүчө формулировкалаган: «Түсү боюнча айырмалануучу нурлар сынуу даражасы боюнча айырмаланышат» (алар үчүн айнек ар түрдүү сынуу көрсөткүчтөрүнө ээ). Кызгылт-көк нурлар көбүрөөк, кызылдары — башкалардан азыраак сынышат. *Жарыктын сынуу көрсөткүчүнүн анын түсүнө көз карандылыгы дисперсия* (латындын *dispergo* — чачамын деген сөзүнөн) деп аталат.



Бир кыйла таза түстү алуу үчүн, Ньютон кийинчерээк өзүнүн спектрди байкоолорун жакшырткан. Анткени призма аркылуу өтүүчү жарык нурларынын түстүү тегерек тактары бири бирине бир аз кабатталып калышкан (174-сүрөттү карагыла). Тегерек көзөнөктүн ордуна, жарык булагы менен жарыктандырылган ичке жылчык пайдаланылган. Экранда ичке ак тилке түрүндөгү сүрөттөлүштү берүүчү линза жылчыктын артына жайгаштырылган. Эгерде нурлардын жолуна призманы койсо (175-сүрөт), анда жылчыктын сүрөттөлүшү спектрге айланат.



Сынуу көрсөткүчү жарыктын заттагы  $v$  ылдамдыгына көз каранды (§ 49 ты карагыла). Абсолюттук сынуу көрсөткүчү

$n = \frac{c}{v}$ . Кызыл жарык зат аркылуу өткөндө чоң ылдамдыкка ээ болгондуктан сынууга аз учурайт, ал эми кызгылт-көк жарыктын ылдамдыгы кичине болгондуктан ал чоң бурчка сынат.

Мына ошондуктан, призма жарыкты түстөргө ажыратат. Боштукта түрдүү түстөгү нурлардын ылдамдыктары бирдей. Эгерде мындай болбогондо, мисалы, Рёмер байкаган Юпитердин Ио спутниги көлөкөдөн чыккан моментте кызыл болуп, ал эми көлөкөгө кирердин алдында кызгылт-көк болуп көрүнөт эле. Бирок мындай болуп көрүнбөйт.

Нурлардын түстөрү, жарык толкундарынын мүнөздөмөлөрүнө, термелүү жыштыгына же толкун узундугуна жараша боло тургандыгы кийинчерээк аныкталды. Ошондуктан, Ньютондун дисперсияга берген аныктамасына толугураак аныктама берүүгө болот. Жарыктын сынуу көрсөткүчүнүн термелүү жыштыгына (же толкун узундугуна) көз карандылыгы дисперсия деп аталат.

Ак жарыктын татаал түзүлүшкө ээ экендигин билип, жаратылыштагы түстөрдүн таң каларлык көп түрдүүлүгүн түшүндүрүүгө болот. Эгерде нерсе, маселен, бир барак кагаз өзүнө түшкөн ар түрдүү түстөгү нурлардын бардыгын чагылтса, анда ал ак болуп сезилет. Кагазга кызыл боёкту сүйкөгөндө жаны түстөгү жарыкты түзгөнүбүз жок, бирок бир барак кагазда мурда болгон жарыктын кандайдыр бир бөлүгүн кармап калабыз. Эми кызыл нурлар гана чагылтат, калгандары кызыл боёктун катмарында жутулат. Чөптөрдүн жана бактардын жалбырактарынын бизге жашыл болуп көрүнгөндүгү, аларга түшкөн бардык күн нурларынын ичинен алар жашылын гана чагылтып, калгандарын жутуп алгандыгынан болот. Эгерде кызыл түстү гана өткөрө турган кызыл айнек аркылуу чөптү караса, анда чөп дээрлик кара болуп көрүнөт.

1. Денерге «эң жакшы» деп кызыл карандаш менен, «жакшы» деп жашыл карандаш менен жазылып коюлган. Кызыл жана жашыл болгон эки айнек бар. «Эң жакшы» деген бааны көрүү үчүн кандай айнек аркылуу кароо керек?

2. Эмне үчүн жарыктын жетишээрлик ичке тобу гана призма аркылуу өткөндө спектрди берет, ал эми жарыктын жазы тобуиун четтери гана бөлгөн болот?

3. Жарыктын дисперсиясы деп эмнени айтабыз?

### 58. Жарыктын интерференциясы.

Физикалык оптика менен таанышаардын алдында биз жарык ылдамдыгын ченөөнүн методдорун жана чөйрөдө жарык абасыз боштукка караганда жай тарала тургандыгын далилдеп өттүк. Бул болсо Гюйгенстин негизги принцибинин туура экендигин ырастайт жана жарыктын чагылуу, сынуу закондорун далилдөө үчүн колдонулат.

Жарыктын толкун түрүндө тараларын ачык түрдө далилдөө керек болуп жатат. Ар кандай толкун кыймылына мурдагы «Механикалык толкундар» деген главада айтып кеткендей, интерференция жана дифракция кубулуштары таандык болот. Жарыктын толкундук жаратылышка ээ экендигине ишениш үчүн, жарыктын интерференция жана дифракция кубулуштарын эксперимент түрдө далилдөө керек болуп жатат.

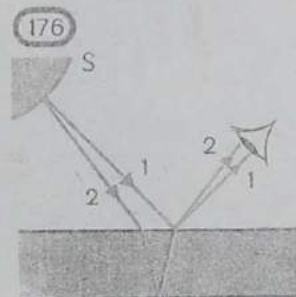
Толкундун интерференциясын байкаш үчүн, суунун бетиндеги толкундун эки булагы пайдаланылган (термелүү кыймылында болгон пружинага бекитилген эки шарик). Бири бирине көз каранды болбогон жарыктын эки булагы, мисалы, эки электр лампочкасынын жардамы менен интерференция (максимум жана минимум жарыктаныштардын кайталанып алмашуусун) картинасын алууга мүмкүн эмес. Дагы бир лампочканы жандыруу беттин жарыктанышын гана күчөтөт, бирок ал жарыктаныштын максимум жана минимумдарынын кайталанып алмашуусуна алып келбейт.

**Жарык толкундарынын когеренттүүлүк шарты.** Мунун себеби ар кандай булактан чыккан жарык толкундары бири-бири менен байланышсыз болот. Турактуу интерференция картинасын алуу үчүн бири-бири менен байланыштагы толкундар керек. Ал толкундар бирдей толкун узундукка жана мейкиндиктин ар кандай чекитинде турактуу фазалар айырмасына ээ болууга тийиш. Ушундай бирдей толкун узундукка жана турактуу фазалар айырмасына ээ болгон бири-бири менен байланыштагы толкундар когеренттүү толкундар деп аталат.

Эки булактан чыккан жарыктын толкун узундуктарынын бири бирине барабар болушуна жетишүү анчалык кыйын эмес. Ал үчүн өтө ичке интервалдагы толкун узундугун өткөрүүчү жакшы жарык фильтрлерди колдонуу жетиштүү болот. Бирок бири-бири менен байланышпаган эки булактын толкундарынын фазаларынын айыр-



масынын турактуу болушуна жетишүү мүмкүн эмес. Булактын атомдору бири бирине көз карандысыз өзүнчө «үзүндү» түрүндө узундугу метрге жакын болгон синусоида түрүндөгү толкундарды чыгарат. Мына ушул эки булактан чыккан толкундардын топтору бири-бири менен жолугушат. Натыйжада мейкиндиктин ар кандай чекиттеринде, термелүүнүн амплитудалары убакыттын берилген моментинде, ар кандай булактардан чыккан толкундарынын тобу бири бирине карата жылышына байланыштуу убакыттын өтүшү менен башаламан өзгөрүп турат. Фазаларынын айырмасы турактуу болбогондуктан, ар кандай булактан чыккан жарык когеренттүү болбойт<sup>1</sup>. Мейкиндикте максимум жана минимум жарыктаныштары белгилүү бир тартипте жайланышкан турактуу картина байкалбайт.



**Жука плёнкадагы интерференция.** Буга карабастан, жарыктын интерференциясын көрүүгө болот. Интерференция кубулушун илгертеден эле байкашкан, бирок ага маани беришкен эмес.

Силер дагы интерференция кубулушун бала кезинерде самын көбүкчөсүн үйлөп коё бергенде, суунун бетине жайылган керосиндин же нефтинин жука плёнкасындагы күн желесинин (жаанын) түсүн байкаганда көп жолу көргөнсүнөр: «Самындын көбүкчөсү абада эргип учуп... курчап турган нерселерге таандык болгон түстөрдүн бардык түрү менен жанып күйөт. Самындын көбүгү балким, табияттагы эң суктанарлык, эң кооз керемет болсо керек» (Марк Твен). Так ошол жарыктын интерференциясынын өзү самындын көбүгүн ага таң калууга татыктуу кылып жатат.

Англиялык окумуштуу Томас Юнг биринчи болуп жука плёнканын түстөрүн 1-жана 2-толкундарды кошуу аркылуу түшүндүрүүгө мүмкүн экендиги жөнүндөгү акылмаң ойго келген, бул толкундардын бири плёнканын сырткы бетинен, ал эми экинчиси ички бетинен чагылат (176-сүрөт). Бул учурда жарык толкундарынын интерференциясы — эки толкундун кошулушуна пайда болот. Анын негизинде мейкиндиктин ар кандай чекиттеринде убакыт боюнча турактуу болгон натыйжалоочу жарык толкунунун күчөшү жана начарлашы байкалат. Интерференциянын натыйжасы (натыйжалоочу термелүүнүн күчөшү же начарлашы) плёнканын бетине түшкөн жарыктын түшүү бурчунан, плёнканын калыңдыгына жана толкун узундугуна көз каранды. Эгерде 2-сынган толкун 1-чагылган толкундан толкун узундугунун бүтүн санына артта калса, анда бул учурда жарыктын күчөшү байкалат. Эгерде экинчи толкун биринчи толкундун толкун узундугунун

<sup>1</sup> 1960-жылы түзүлгөн лазер — жарыктын кванттык булагы когеренттүү болушат.



Юнг Томас (1773—1829) — англиялык эи соңун окумуштуу, илимий кызыгуулары укмуштуудай кенен жана таланты көп кырдуу болгон. Юнг бир эле убакта — белгилүү врач жана зор интуициялуу физик, астроном жана механик, металлург жана египтолог, физиолог, полиглот, таланттуу музыкант жана ал тургай шыктуу гимнаст болгон.

Юнгдун сиңиргеи башкы эмгеги болуп, жарыктын интерференциясын ачышы (*интерференция* деген термин Юнгга таандык) жана дифракция кубулушун толкун теориясынын негизинде түшүндүрүшү эсептелет. Жарык толкунунун узундугун Юнг биринчи өлчөгөн.

жарымына же жарым толкундун так санына артта калса, анда жарыктын *начарлашы* пайда болот.

Плёнканын тышкы жана ички беттеринен чагылган толкундардын когеренттүүлүгү экөө тең бир эле жарык тобунун бөлүктөрү болгондугу менен камсыз кылынат. Ар бир атом нурданткан толкундар плёнкада экиге бөлүнөт да, андан кийин алар кайрадан биригишип интерференцияланышат.

Ошондой эле Юнг *жарыктын түстөрүндөгү айырмачылык жарык толкундарынын узундуктарындагы айырмачылык (же жарык толкундарынын жыштыгы) менен байланыштуу* экендигин түшүнгөн. Ар кандай түстөгү жарык агымына ар кандай толкун узундугу туура келет.

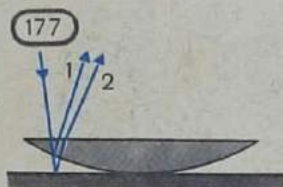
Бири биринен узундуктары менен айырмаланган толкундарды (түшүү бурчтарын бирдей деп болжолдойбуз) күчөтүү үчүн плёнканын калыңдыгынын ар түрдүү болушу талап кылынат. Демек, эгерде плёнка ар кандай калыңдыкка ээ болсо, анда аны ак жарык менен жарыктандырганда ар кандай түстөр пайда болууга тийиш.

**Ньютон шакектери.** Айнек пластина менен анын үстүнө коюлган ийрилик радиусу чоң болгон жалпак-томпок линзанын арасындагы абанын жука катмарынан жөнөкөй интерференциялык картина пайда болот. Бул интерференциялык картина Ньютон шакектери деп аталган борборлош шакектер түрүнө ээ.

Бетинин ийрилик радиусу кичине болгон линзаны алгыла да, аны айнек пластинканын үстүнө жогоруда көрсөтүлгөндөй кылып койгула. Линзанын бетин көңүл буруп карап (дупа аркыдуу караган жакшы) силер, линза менен пластина тийишкен жерде кара так тургандыгы жана анын айланасында кичине жаа түрүндөгү шакекчелердин пайда болгондугун байкасыңар. Көншүлөш эки шакектин арасындагы аралык, алардын радиустары чоңойгон сайын тез эле кичиреет (түстүү тиркемедеги III сүрөт, I). Ньютондун шакектери мына ушулар. Ньютон аларды өтө көңүл буруп байкаган жана изилдеген. Болгондо да ал шакектерди



жеке гана ак жарыкта изилдебестен, линзанын бир түстүү (монохроматикалык) нурлар менен жарыктандырган учурда дагы изилдеген. Бир эле катар номерлүү шакектердин радиустары, спектрдин кызгылт-көк четинен кызыл четин көздөй өткөндөй чоңоёт; кызыл шакектер максималдуу радиуска ээ болушат (түстүү тиркемедеги III сүрөт, 2 жана 3). Мына ушулардын бардыгын силер өз алдынчарча байкоонун жардамы менен текшере аласыңар.



Бирок шакектер эмне үчүн пайда болушарын Ньютон канааттандырарлык даражада түшүндүрө алган эмес. Аны Юнг түшүндүргөн. Анын ой жүгүртүүлөрүн байкап көрөлүк. Ал ой жүгүртүүлөрүндө жарык — бул толкундар болот дегенди негиз кылып алган. Белгилүү бир узундуктагы толкундун жалпак-топмок беттүү линзага перпендикулярдуу түшкөн учурун карап көрөбүз (177-сүрөт). 1-толкун топмок линзанын бетинен айнек — аба чек арасынан чагылуунун натыйжасында пайда болот, ал эми 2-толкун пластинадан аба — айнек чек арасынан чагылуунун натыйжасында пайда болот. Бул толкундар когеренттүү: алар бирдей узундукка жана фазалардын турактуу айырмасына ээ болушат, мындагы айырмачылык 2-толкун 1-толкунга караганда узак аралык өткөндүгүнүн натыйжасында пайда болот. Эгерде экинчи толкун биринчисинен толкун узундугунун бүтүн санына артта калса, анда толкундар кошулушуп бири бирин күчөтүшөт. Алар тарабынан түзүлгөн термелүүлөр бирдей фазада болушат.

Тескерисинче, эгерде экинчи толкун биринчисинен жарым толкун узундугунун так санына артта калса, анда алар тарабынан пайда болгон термелүүлөр карама-каршы фазаларда болушат да, толкундар бири бирин жоюшат.

Эгерде линзанын бетинин  $R$  ийрилик радиусу белгилүү болсо, анда линзанын айнек пластина менен жанышуу чекитинин кандай аралыкта, белгилүү  $\lambda$  толкун узундукка ээ болгон толкундар бири бирин жоготуу тургандай жүрүштөр айырмасына ээ болорун эсептеп чыгарууга болот. Бул аралыктар болуп, Ньютондун күңүрт шакектеринин радиусу эсептелет. Туруктуу калыңдыкка ээ болгон аба катмарынын интерференция сызыктары айлананы элестетишет. Шакектердин радиустарын ченөө менен жарыктын толкун узундугун эсептеп чыгарууга болот.

✓ **Жарык толкунунун узундугу.** Ченөөлөр кызыл жарык үчүн  $\lambda_{\text{кыз.}} = 8 \cdot 10^{-7}$  м ди, кызгылт-көк жарык үчүн  $\lambda_{\text{кыз.-көк}} = 4 \cdot 10^{-7}$  м ди берет. Спектрдин башка түстөрү үчүн толкундардын узундугу ушулардын арасындагы маанилерге ээ. Ар кандай түс үчүн жарык толкунунун узундугу өтө кичине. Узундугу бир нече метр болгон деңиз толкунунун орточо узундугун өтө чоңойтуп, Американын жээгинен Европага чейин ээлеген Атлантика океанын элестетип көргүлөчү. Жарык толкунунун узундугун канчалык чоңойтсок, барактын бетинен бир аз гана жазыраак болмок.

Мына ошентип, интерференцияны изилдөө, жарыкта толкундук касиеттердин бар экендигин гана далилдебестен, толкундун узундугун ченөөгө дагы мүмкүндүк берет. Бир эле мезгилде, үндүн бийиктиги анын жыштыгы менен аныкталган сыяктуу, жарыктын түсү, толкундун узундугу же термелүүнүн жыштыгы менен аныкталат.

Бизден тышкары табиятта эч кандай боёк жок, ар түрдүү узундуктагы толкундар гана бар. Биздин көзүбүз — жарык толкундарынын узундуктарынын анча-мынча айырмачыдыктарына ( $10^{-6}$  см ге жакын) туура келүүчү түстөрдү ажыратууга жөндөмдүү болгон татаал физикалык прибор. Жаныбарлардын көпчүлүгү түстөрдү ажырата көрүүгө жөндөмсүз болушу кызыктуу. Алар, ар дайым ак-кара түстөгү сүрөттөрдү гана көрүшөт.

Жарык бир чөйрөдөн экинчи чөйрөгө өткөндө толкун узундугу өзгөрөт. Муну төмөнкүдөй текшерүүгө болот. Линза менен пластинканын арасындагы аба катмарын суу менен же сынуу көрсөткүчү  $n$  болгон башка тунук суюктук менен толтурабыз. Интерференциялык шакектердин радиустары кичиреет.

Эмне үчүн мындай болот? Биз, жарык вакуумдан кандайдыр бир чөйрөгө өткөндө жарыктын ылдамдыгы  $n$  эсе азаярын билебиз.  $v = \lambda\nu$  болгондуктан же жыштык, же толкундун узундугу  $n$  эсе азаюуга тийиш. Бирок шакектердин радиустары толкундун узундугуна көз каранды. Демек, качан гана жарык чөйрөгө кирген кезде жыштыгы эмес, анын толкун узундугу  $n$  эсе өзгөрөт.

## 59. Интерференциянын айрым колдонулуштары

Интерференция кеңири колдонулушка ээ жана эң маанилүү.

Аракети интерференция кубулушуна негизделген атайы приборлор — *интерферометрлер* бар. Алардын арналышы ар түрдүү болушу мүмкүн: жарык толкундарынын узундуктарын так өлчөө, газдардын ж. б. заттардын сынуу көрсөткүчтөрүн өлчөө. Атайы арналыштагы интерферометрлер да бар.

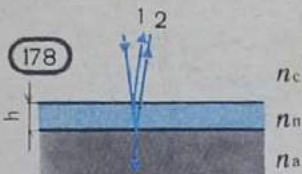
Биз интерференциянын колдонулушунун эки гана түрүнө токтолобуз.

**Беттерди иштетүүнүн сапатын текшерүү.** Интерференциянын жардамы менен буюмдардын бетин жылмалоонун сапатын толкун узундугунун  $1/10$  инчелик тактыкка чейин, б. а.  $10^{-6}$  см ге чейинки тактыкта билүүгө болот. Ал үчүн буюмдун бети менен эң жылма эталондук пластинанын арасында шынаа түрүндөгү абанын эң жука катмарын түзүү керек. Анда беттин  $10^{-6}$  см ге чейинки тегиз эместиктери, жарыктын текшериле турган беттен жана эталондук пластинанын төмөнкү бетинен чагылуусунан пайда болушкан интерференциялык тилкелерде билине турган кыйшаюуларды түзүшөт.

**Оптиканын жаркыроосу.** Азыркы кездеги фотоаппараттардын же кинопроекторлордун объективдери, суу астындагы кайыктардын перископтору жана ар түрдүү башка оптикалык түзүлүштөр



көп сандаган оптикалык айнектерден — линзалардан, призмалардан ж. б. жасалат. Жарык мына ушундай түзүлүштөрдөн өткөн кезде, көп сандаган беттерден чагылат. Азыркы кездеги фотообъективдердеги чагылтуучу беттердин саны 10дон ашат, ал эми суу астындагы кайыктардын перископторунда болсо 40ка чейин жетет. Жарык бетке перпендикуляр болуп түшкөн кезде, ар бир беттен бүткүл энергиянын 5—9% чагылат. Ошондуктан прибор аркылуу көпчүлүк учурда, бардык түшкөн жарыктын 10—20% гана өтөт. Ушунун натыйжасында сүрөттөлүштүн жарыктанышы аз болуп калат. Андан тышкары сүрөттөлүштүн сапаты начарлайт. Нурлардын бир бөлүгү ички беттерден көп сандаган чагылуулардан кийин баары бир оптикалык прибор аркылуу өтөт, бирок чачырап чыккандыктан ал даана сүрөттөлүштү түзүүгө катышпайт. Фотографиялык сүрөттөлүштөрдө, ушул себептен «күнүрттүк» пайда болот.



Оптикалык айнектердин беттеринен жарыктын чагылуусунан түзүлгөн ушундай жетишпегендиктерди жоюу үчүн, чагылган энергиянын үлүшүн азайтуу керек. Мында прибор түзгөн сүрөттөлүш ачык болуп «жаркырайт». *Оптиканын жаркыроосу* деген термин мына ушундан келип чыгат.

Оптиканын жаркыроосу интерференцияга негизделген. Оптикалык айнектин, маселен линзанын бетине сынуу көрсөткүчү  $n_1$  болгон жука плёнканы капташат, анын сынуу көрсөткүчү айнектин  $n_2$  сынуу көрсөткүчүнөн кичине болушу керек. Жөнөкөй болсун үчүн, жарыктын плёнкага нормалдуу түшкөн учурун карайбыз.

Плёнканын үстүнкү жана астынкы беттеринен чагылган 1 жана 2 жарык толкундарынын жүрүштөр айырмасы (178-сүрөт) плёнканын калыңдыгынын эки эселенген калыңдыгы 2  $h$ ка барабар. Плёнкадагы  $\lambda_n$  толкун узундугу вакуумдагы  $\lambda$  толкун узундугунан  $n_n$  эсе кичине:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n_n}$$

1 жана 2 толкундары бири бирин начарлатышы үчүн, жүрүштөр айырмасы плёнкадагы толкун узундугунун жарымына барабар болушу керек:

$$2h = \frac{\lambda}{2n_n} \quad (7.1)$$

Эгерде чагылган эки толкундун амплитудалары барабар же бири бирине жакын болушса, анда жарык толук бойдон өчөт. Ал үчүн плёнканын сынуу көрсөткүчүн ошого ылайыктап тандап алышат, анткени чагылган жарыктын интенсивдүүлүгү чектешкен эки чөйрөнүн сынуу коэффициенттеринин катышы менен аныкталат.

Линзага кадимки шарттарда ак жарык түшөт. (7.1) туюнтмасы

плёнканын талап кылынган калыңдыгы толкундун узундугуна көз каранды экендигин көрсөтөт. Ошондуктан бардык жыштыктагы чагылган толкундарды өчүрүү мүмкүн эмес. Спектрдин ортоңку бөдүгүндөгү толкун узундугу үчүн (жашыл түс,  $\lambda_k = 5,5 \cdot 10^{-5}$  см) жарыктын нормалдуу түшүүсүндө толук өчкөндөй кылып, пленканын калыңдыгын тандап алышат; ал плёнкадагы толкун узундугунун чейрегине барабар болууга тийиш<sup>1</sup>:

$$h = \frac{\lambda_k}{4n_n}$$

Спектрдин четки участкаларындагы чагылган кызыл жана кызгылт-көк нурлар аз эле начарлайт. Ошондуктан, жарыктанган оптикалуу объектив чагылган жарыкта көк-жашыл түскө ээ болот. Азыркы учурда жөнөкөй фотоаппараттарда дагы жарыктанган оптикалар бар.

Корутундубузда, жарыкты жарык менен өчүрүү, жарык энергиясын башка формага айландырууга жатпастыгын белгилей кетелиз. Механикалык толкундардын интерференциясындагыдай эле, мейкиндиктин берилген участкасында толкундардын бири бирин өчүрүшү, жарык энергиясы бул жерге келбегендигин туюнтат. Демек, чагылган толкундардын өчүшү, бардык жарык объектив аркылуу өтүп кете тургандыгын туюнтат.

#### Суроолор

1. Когеренттүү жарык толкундарын кандайча алышат?
2. Жарыктын интерференция кубулушу эмнени түшүндүрөт?
3. Түстөгү айырмачылык жарык толкунунун кандай физикалык мүнөздөмөсү менен байланышкан?
4. Тунук музду таш менен урганда жарака кетет да, күн желесинин бардык түстөрү көрүнөт. Эмне үчүн?
5. Толкундун узундугу сууда  $n$  эсе кичирейт ( $n$  — абага салыштырмалуу суунун сынуу көрсөткүчү). Бул, сууга чөмүлгөн адам табигый жарыкта тегерегиндеги нерселерди көрө албайт дегендикке жатабы?
6. Интерференциянын негизги колдонулуштарын санап бергиле.

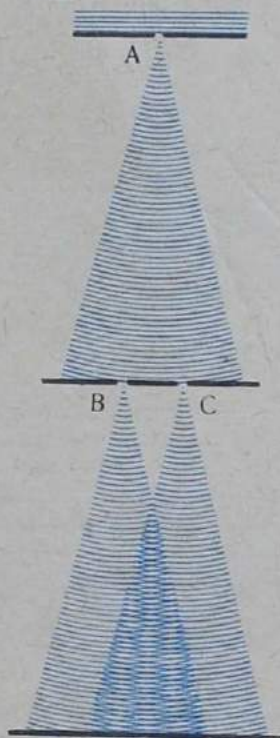
#### ✓ 60. Жарыктын дифракциясы

Эгерде жарык толкундук процессти элестетсе, анда интерференциядан башка *жарыктын дифракциясы* дагы байкалууга тийиш. Анткени, толкундун тоскоолдуктарды айланып өтүшү — дифракция болот, ал ар кандай толкундук кыймылга таандык. Бирок да, жарыктын дифракциясын байкоо оңой эмес. Эгерде тоскоолдуктун өлчөмдөрү жарык толкунунун узундугу менен салыштырмалуу болсо гана толкундар тоскоолдуктарды айланып өтүшөт. Ал эми жарык толкунунун узундуктары эң эле кичине.

<sup>1</sup> Иш жүзүндө калыңдыгы толкун узундугунун бүтүн санына чоң болгон катмарды пайда кылышат. Бул ыңгайдуу болот. Оптикалык айнектердин беттерине жука катмарды пайда кылуунун өндүрүштүк методун советтик окумуштуулар И. В. Гребенщиков, А. Н. Теренин ж. б. лар иштеп чыгышкан.



Жарыктын ичке агымын кичинекей көзөнөк аркылуу жиберип көрүп, жарыктын түз сызык боюнча таралуу законунун бузулушун да байкоого болот. Көзөнөктүн каршысындагы жарыктын тагы, анын түз сызыктуу таралышында пайда болгон өлчөмүнө караганда чоң өлчөмдө болуп калган.



**Юнгдун тажрыйбасы.** 1802-жылы Юнг жарыктын интерференциясын ачуу менен дифракция боюнча классикалык тажрыйба жасаган (179-сүрөт.) Тунук эмес кермеге (экранга) төөнөгүч менен бири биринен анча алыс эмес аралыкта эки кичинекей *B* жана *C* көзөнөктөрүн жасаган. Бул көзөнөктөр өз кезегинде *A* кермесиндеги кичине көзөнөк аркылуу өтүүчү ичке жарык агымы менен жарык кылынган. Атап айтканда ошол учурда ой жетпеген ушул деталь тажрыйбанын ийгилигин чечти. Когеренттүү толкундар гана интерференцияланат. Гюйгенстин принцибине ылайык *A* көзөнөгүнөн пайда болгон сфералык толкун *B* жана *C* көзөнөктөрдөгү когеренттүү термелүүлөрдү козгойт. Дифракциянын натыйжасында *B* жана *C* көзөнөктөрүнөн конус түрүндөгү эки жарык чыгат да, алар бирин бири анча-мынча жаап калат. Жарык толкундарынын интерференциясынын натыйжасында экранда ирети менен алмашып туруучу ачык жана караңгы тилкелер пайда болгон. Көзөнөктөрдүн бирин жаап коюп, Юнг интерференциялык тилкелердин жоюлгандыгын байкаган. Дал ушул тажрыйбанын жардамы менен Юнг тарабынан биринчи жолу түрдүү түстөгү нурларга тиешелүү болгон, жарык толкундарынын узундуктары өтө так ченелген болучу.

**Френелдин теориясы.** Дифракциянын изилдениши, Френелдин эмгектеринде биротоло корутундуланган болучу. Френель дифракциянын түрдүү учурларын абдан терең изилдөө менен гана чектелбестен, дифракциянын сандык теориясын түзүүгө жетишкен; бул теория ич жүзүндө жарык ар кандай тоскоолдукту айланyp өтүүдө пайда боло турган дифракциялык картинаны эсептөөгө мүмкүндүк берген. Френель биринчи болуп толкундук теориянын негизинде жарыктын бир тектүү чөйрөдө түз сызык боюнча таралышын түшүндүргөн.

Френель бул ийгиликтерге Гюйгенстин принцибин экинчи толкундун интерференциясынын идеясы менен бириктирүү аркылуу жетишкен.



Френель Огюстен (1788—1827) — француздук атактуу физик. Френель азыркы толкун оптикасына негиз салган. Гюйгенстин принцибин экинчи толкундардын интерференциялык идеясы менен толуктап, ал дифракциянын сандык теориясын түзгөн.

Ушул принциптин негизинде Френель геометриялык оптиканын закондорун, мисалы, бир тектүү чөйрөдө жарыктын түз сызыктуу таралышын түшүндүргөн. Толкундук беттерди чөйрөлөргө бөлүп, дифракциялык картинаны эсептөөнүн болжолдуу методун түзгөн. Жарык толкунунун туурасынан кеткен толкун экендигин Френель биринчи жолу далилдеген.

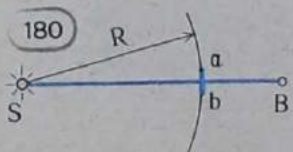
Френелдин идеясы боюнча *толкундук бет убакыттын ар кандай моментинде жөн эле айланып өтүүчү экинчи толкун болбостон, алардын интерференциясынын жыйынтыгы болот* (Гюйгенс — Френелдин принциби).

Жарык толкунунун мейкиндиктин ар кандай чекитиндеги амплитудасын эсептөө үчүн жарык булагын, оюбузда туюк бет менен курчап коюшубуз керек. Бул бетке жайгашкан жарыктын экинчи булагынын толкундарынын интерференциясы, мейкиндиктин каралып жаткан чекитиндеги амплитуданы аныктайт.

Ушул сыяктуу эсептөөлөр, сфералык толкундарды чыгарып туруучу  $S$  чекиттик булактан таралган жарык, мейкиндиктин ар кандай  $B$  чекитине кантип жете тургандыгын түшүнүүгө мүмкүндүк берди (180-сүрөт). Эгерде радиусу  $R$  болгон сфера түрүндөгү толкундук беттеги экинчи булактарды карасак, анда ошол булактардан чыккан экинчи толкундардын интерференцияларынын  $B$  чекитиндеги натыйжасы сфералык кичине сегменттеги  $ab$  экинчи булактар гана жарыкты  $B$  чекитине жибергендегидей болот. Беттин калган бөлүгүндөгү булактардан чыккан экинчи толкундар интерференциянын натыйжасында бири бирин өчүрүшөт. Ошондуктан жарык  $SB$ ны бойлоп, б. а. түз сызык боюнча таралса гана бардыгы айтылгандай болот.

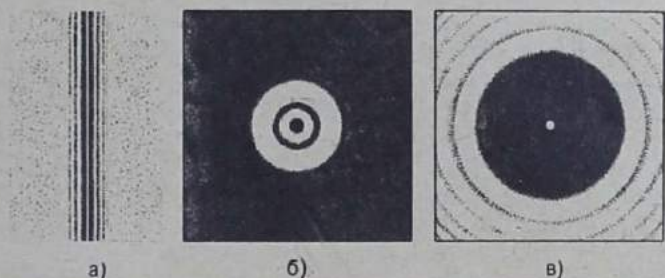
Френель бир эле мезгилде ар кандай тоскоолдуктардагы дифракцияны сан жагынан караган.

1818-жылы Франциянын илимдер академиясынын заседаниенде эң кызыктуу бир учур болгон. Заседаниеге катышкан окумуштуулардын бири Френелдин теориясынан акылга сыйышпай турган факт келип чыга тургандыгына көңүл бурган. Белгилүү



бир өлчөмдөгү көзөнөктөн жарыктын булагына жана экранга чейинки белгилүү бир аралыктарында жарык тактын борборунда күңүрт кичинекей так болууга тийиш. Тунук эмес кичине дисканын артында, тескерисинче көлөкөнүн борборун-





тийиш. Коюлган эксперименттер чындыгында ошондой экендигин далилдеген кезде, окумуштуулар абдан таң калышкан.

Ар түрдүү тоскоолдуктардан пайда болгон дифракциялык картиналар. Жарык толкунунун узундугу эң кичине болгондуктан жарыктын түз сызыктуу таралуу багытынан четтөө бурчу анча чоң эмес. Ошондуктан дифракцияны даана байкоо үчүн жарык айланып өткөн тоскоолдук менен экрандын арасындагы аралык эң чоң болууга тийиш, же болбосо өлчөмү эң кичине болгон тоскоолдук болуш керек. Экран менен тоскоолдуктун арасындагы аралык метрге жакын болсо, анда тоскоолдуктун өлчөмү миллиметрдин жүздөн бир бөлүгүнөн ашпоого тийиш. Эгерде экранга чейинки аралык жүздөгөн метрге же бир канча километрге жетсе, анда дифракция кубулушун өлчөмү бир канча сантиметр же ал түгүл метр болгон тоскоолдуктан көрүүгө болот.

181-сүрөттө ар түрдүү тоскоолдуктардан: а) ичке зымдан; б) тегерек көзөнөктөн; в) тегерек экрандан түзүлгөн дифракциялык картиналардын фотографиялары келтирилген.

Зымдан көлөкөнүн ордуна жарык жана күңүрт тилкелердин группасы көрүнүп турат; көзөнөктөн пайда болгон дифракциялык картинанын борборунда жарык жана күңүрт шакекчелер менен курчалган күңүрт так пайда болот<sup>1</sup>, тегерек экрандан пайда болгон көлөкөнүн борборунда жарык так көрүнүп турат, көлөкөнүн өзү концентрикалык караңгы шакекчелер менен курчалган.

**Геометриялык оптиканын колдонулуш чеги.** Бардык физикалык теориялар жаратылышта реалдуу болуп жаткан процесстерди жакындаштырып гана чагылдырат. Ар кандай теория үчүн анын колдонулушунун чеги көрсөтүлүшү мүмкүн. Берилген теорияны конкреттүү учурга колдонуу же колдонбоо мүмкүнчүлүгү, ал теориянын кандай тактыкта маселени чечүү мүмкүнчүлүгү бар экенине гана карабастан, бул же тигил практикалык маселени кандай тактыкта чечүү керек экенине жараша болот. Теориянын чегин, ошол кубулуштарды өз ичине алган жалпы теория түзүлгөндөн кийин гана коюуга болот.

<sup>1</sup> Көзөнөктүн диаметрин өзгөртүү менен дифракциялык картинанын борборунда күңүрт жана жарык шакекчелер менен курчалган жарык такты алууга болот.

Бардык ушул жалпы эрежелер геометриялык оптикага да тиешелүү. Бул теория жакындаштырылган болуп эсептелет. Ал жарыктын интерференциясын жана дифракциясын түшүндүрө албайт. Толкундар оптикасынын теориясы жалпы жана так теория болуп саналат. *Жарыктын түз сызык боюнча таралуу закону жана геометриялык оптиканын башка закондору, жарыктын таралуу жолундагы тоскоолдуктардын өлчөмдөрү жарык толкунунун узундугунан бир канча чоң болгон учурда гана жетишерлик так аткарылат.* Бирок ал закондор эч убакта так аткарылбайт.

6-главада сөз болгон оптикалык приборлордун иштөө аракеттерин геометриялык оптиканын закондорунун негизинде түшүндүрүүгө болот. Бул теориянын негизинде микроскоптун жардамы менен изилденип жаткан нерсенин өтө кичине деталдарын ажыратып көрө алабыз; телескоптун жардамы менен бурч аралыктары өтө эле кичине болгон жанаша эки жылдыздын бар экенин билебиз. Бирок, чындыгында андай эмес, жарыктын толкундук теориясы гана оптикалык приборлордун ажыратуу жөндөмдүүлүгүнүн пределинин себептерин түшүндүрүүгө мүмкүндүк берет.

**Микроскоп менен телескоптун ажыратуу жөндөмдүүлүктөрү.** Жарыктын толкундук жаратылышы нерселердин деталда же эң кичине нерселерди микроскоп аркылуу байкоодо айырмалоо мүмкүнчүлүктөрүнө чек коёт. Дифракция эң кичине нерселердин ачык-айкын сүрөттөлүшүн алууга мүмкүндүк бербейт анткени, жарык түз сызык боюнча гана тарабастан, нерсени айланып өтөт да, ошонун негизинде «бүдөмүк» сүрөттөлүш пайда болот. Эгер алардын «бүдөмүк» сүрөттөлүштөрү аралашып калса, анда кандай гана чоңойтуу болбосун нерсенин деталын айырмалай албайт. Бул нерселердин сызыктуу өлчөмдөрү жарык толкунунун узундугунан кичине болгондо болот.

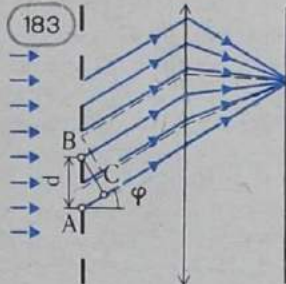
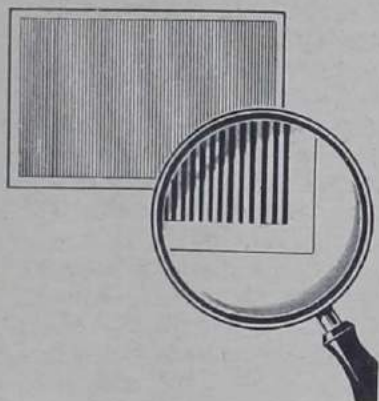
Дифракция телескоптун ажыратуу жөндөмдүүлүгүнө да чек коёт. Толкундардын дифракцияларынын натыйжасында объективдин алкагында жылдыздын сүрөттөлүшү чекит болбостон, жарык жана күңүрт шакекчелердин системасы болот. Эгерде эки жылдыз бири бирине кичине бурчтук аралыкта турушса, бул шакекчелер биринин үстүнө бири дал келет да, жарык чыгарган чекит бирөөбү же экөөбү, көз менен айырмалоого болбойт. Жарык чыгарган чекиттерди айырмалап көрүүгө мүмкүн болгон алардын арасындагы чектүү бурчтук аралык, толкундун узундугунун объективдин диаметрине болгон катышы менен аныкталат.

Бул мисал дифракция кубулушу дайым жана ар кандай өлчөмдөгү тоскоолдуктардан пайда болорун көрсөтүп турат. Өтө так байкоолордо, өлчөмдөрү толкун узундугунан бир канча чоң болгон тоскоолдуктарды эсепке албай коюуга болбойт.

## 61. Дифракциялык торчо

Эң сонун оптикалык прибордун — *дифракциялык торчонун* түзүлүшү дифракция кубулушуна негизделген. Дифракциялык





торчо тунук эмес аралыктар менен бөлүнгөн көп сандаган эң кууш жылчыктардын жыйындысы болуп саналат (182-сүрөт). Жакшы торчолор айнек пластинага параллель сызыктарды түшүрө турган: атайы бөлүүчү машинанын жардамы менен жасалат. 1 мм ге бир нече миңге чейинки сызыктар жүргүзүлөт: сызыктардын жалпы саны 100 000 деп ашат. Эки айнек пластинанын арасына кысылып коюлган мындай сызыктардын желатинге басылган изин даярдоо жөнөкөй болот. *Чагылтуучу торчо* дегендер эң мыкты сапатка ээ болушат. Алар жарыкты чагылтуучу жана аны чачыратуучу участкалардын кезектешүүсүн элестетет. Жарыкты чачыратуучу сызыктар жылмаланган металл пластиналарынын бетине кескич аркылуу жасалат.

Эгерде тунук жылчыктардын (же чагылтуучу тилкелердин) туурасы  $a$  болсо, ал эми тунук эмес аралыктардын (же жарыкты чачыратуучу тилкенин) туурасы  $b$  болсо, анда  $d = a + b$  чоңдугу *торчонун мезгили* деп аталат. Дифракциялык торчонун элементардык теориясын карап көрөлү. Торчого  $\lambda$  узундуктагы монохроматикалык жалпак толкун түшсүн дейлик (183-сүрөт).

Жылчыктардагы экинчи булактар бардык багыт боюнча тарала турган жарык толкундарын түзүшөт. Жылчыктардан келүүчү толкундар бири бирин күчөтө турган шартты табабыз. Ал үчүн  $\varphi$  бурчу менен аныктала турган, багыт боюнча тарала турган толкундарды карайбыз. Коңшулаш жылчыктардын четтеринен чыккан толкундардын арасындагы жүрүштөр айырмасы  $AC$  кесиндисинин узундугуна барабар. Эгер бул кесиндиге толкун узундугунун бүтүн саны сыйса, анда бардык жылчыктардан чыккан толкундар кошулуп бири бирин күчөтөт.  $ABC$  үч бурчтугунан  $AC$  катетинин узундугун табууга болот:

*Максимумдары*

$$AC = AB \sin \varphi = d \sin \varphi.$$

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

(7.2)

шартын канааттандыруучу  $\varphi$  бурчу менен байкалат, мында  $k = 0, 1, 2, \dots$ .

(7.2) шарты аткарылганда жылчыктардын төмөнкү (сүрөт боюнча) четинен чыккан толкундар гана күчөбөстөн, жылчыктын бардык калган чекиттеринен чыккан толкундар дагы күчөй тургандыгын эске алуу керек. Биринчи жылчыктагы ар бир чекитке экинчи жылчыктагы  $d$  аралыгында турган чекит туура келет. Ошондуктан ошол чекиттерден коё берилген экинчи толкундардын жүрүштөр айырмасы  $k\lambda$ га барабар болот да бул толкундар өз ара бирин бири күчөтүшөт.

Торчонун артына чогултуучу линза коюлуп, анын фокалдык тегиздигине экран жайгаштырылат. Линза параллель толкундарды бир чекитке чогултат. Ошол чекитте толкундар кошулушат да өз ара бирин бири күчөтүшөт. (7.2) шартын канааттандыруучу  $\varphi$  бурчу экрандагы максимумдун абалын аныктайт.

Максимумдардын абалы ( $k=0$ гө туура келүүчү борбордук максимумдан башкасы) толкундун узундугуна көз каранды болгондуктан торчо ак жарыкты спектрге ажыратат (түстүү тиркемедеги IV сүрөт, 1).  $\lambda$  канчалык чоң болсо, толкундун ушул узундугуна туура келүүчү тигил же бул максимум борбордук максимумдан ошончолук алыс жайгашат (түстүү тиркемедеги IV сүрөт, 2 жана 3).  $k$  нын ар бир маанисине өзүнүн спектри туура келет.

Максимумдардын арасына жарыктаныштын минимумдары жайланышкан. Жылчыкчалардын саны канчалык көп болсо максимумдар ошончолук так көрүнөт, алар кең минимумдар менен бөлүнүп турат. Торчого келип түшкөн жарык энергиясынын көпчүлүк бөлүгү максимумга, ал эми бир аз бөлүгү минимумга туура келгендей болуп бөлүштүрүлөт.

Дифракциялык торчонун жардамы менен толкундун узундугун эң так ченеп чыгууга болот. Эгерде торчонун мезгили белгилүү болсо, анда толкундун узундугун аныктоо, максимумдун багытына туура келүүчү  $\varphi$  бурчун ченөөгө алып келет.

Болжол менен биздин кирпигибиз дифракциялык торчо болуп саналат. Ошондуктан, жарыктын булагын көздү жүлжүйтүп караса жаалык түстөрдү байкоого болот. Ак жарык кирпиктердин айланасында дифракциянын натыйжасында спектрге ажырайт. Бирин бирине жакын өткөн издери бар узак ойнолуучу пластинка чагылтуучу дифракциялык торчого окшош. Эгерде электр лампочкасынан чагылган жарыкты карасаңар, анда жарыктын спектрге ажырагандыгын көрөсүңөр.  $k$ нын ар түрдүү маанисине туура келүүчү бир нече спектри байкоого болот. Эгерде лампочканын жарыгы пластинага чоң бурч менен түшсө, картина абдан даана болот.



## 62. Жарык толкундары туурасынан таралуучу толкундар. Жарыктын поляризациясы

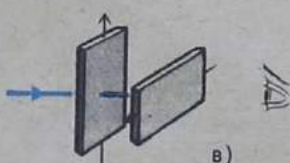
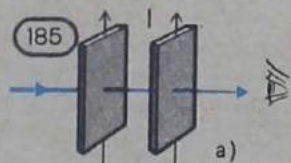
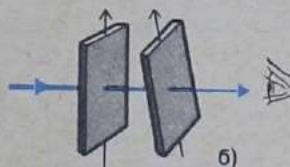
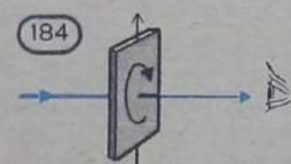
Интерференция жана дифракция кубулуштары таралуучу жарыктын толкундук касиеттерге ээ экендигин шексиз далилдейт. Бирок кандай толкундук касиетке — узатасынан кеткен толкундук касиеткеби же туурасынан кеткен толкундук касиеткеби?

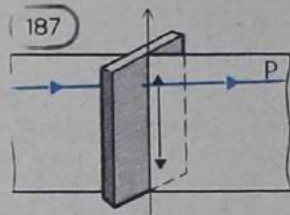
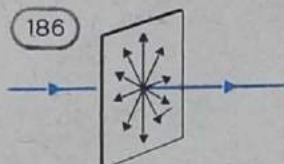
Узак убакытка чейин толкундук оптиканын негиздөөчүлөрү Юнг жана Френель жарык толкундарын үн толкундары сыяктуу узатасынан кеткен толкундар деп эсептеп келишкен. Ал кезде жарык толкундары мейкиндикти бүт каптай турган жана бүткүл нерселердин ичине кире турган эфирдеги серпилгичтүү толкундар деп каралып келген. Туурасынан кеткен толкундар катуу телолордо гана боло алат. (4-главаны карагыла). Ал эми телолор каршылыкка учурабастан катуу эфирде кантип кыймылга келе алат? Анткени, эфир телолордун кыймылына тоскоолдук кылбоого тийиш. Тескерисинче болгондо инерция закону аткарылбай калмак.

Бирок да акырындык менен жарык толкунун узатасынан кеткен толкун деп эсептегенде эч бир түшүндүрүлбөй турган фактылар уламдан-улам көбүрөөк чогула берди.

**Турмалин менен жүргүзүлгөн тажрыйбалар.** Жарык толкундарынын туурасынан таралышы көп сандаган эксперименттер менен далилденген. Эң жөнөкөй жана эң эффективдүү бир гана экспериментти толугураак карайбыз. Бул (жашыл түстөгү турук кристалл) турмалиндин кристаллы менен болгон тажрыйба.

Турмалиндин кристаллы симметрия огуна ээ болот да бир октуу кристалл дегендерге таандык. Бир жагы кристаллдын огу менен дал келише тургандай кылып кесилген турмалиндин тик бурчтуу пластинасын алабыз. Эгерде мындай пластинага электр лампочкасынын же Күндүн жарыгынын агымын тик багыт боюнча жиберсе, анда нур агымынын айланасында пластинанын айлануусу өтүп жаткан жарыктын ургаалдуулугун эч кандай өзгөртө албайт (184-сүрөт). Жарык турмалинге бир аз жутулуп, түсү жашыл болуп башка эч нерсе болгон жок деп ойлоого болот. Бирок андай эмес. Жарык толкуну жаңы касиетке ээ болду!





Эгерде нурдун агымын биринчиге параллель болгон так эле ушундай экинчи турмалин кристаллы аркылуу өтүүгө аргысыз кылса, ушул жаңы касиеттерди билүүгө болот (185-а, сүрөт). Кристаллдардын октору бирдей багытталган учурда баягыдай эле кызыктуу эч нерсе болбойт: жарык агымы экинчи кристаллда жутулуунун эсебинен дагы көбүрөөк начарлайт. Бирок, эгерде биринчи кристаллды кыймылсыз калтырып, экинчисин айландырса (185-б, сүрөт), анда жарыктын таң калаарлык өчүүсү байкалат. Октордун арасындагы бурч чоңойгон сайын жарыктын ургаалдуулугу азаят. Качан гана октор бири бирине перпендикуляр болушканда жарык биротоло өтпөй калат (185-в, сүрөт.) Жарык толугу менен экинчи кристаллда жутулат. Муну кандайча түшүндүрүүгө болот?

**Жарык толкундары туурасынан таралуучу толкундар.** Бул тажрыйбалардан эки факт келип чыгат: *биринчиден*, жарык булагынан чыгуучу жарык толкуну таралуунун багытына карата толук симметриялуу (биринчи тажрыйбада кристалл нурдун айланасында айланган учурда ургаалдуулук өзгөргөн жок), *экинчиден*, биринчи кристаллдан чыккан толкун октук симметрияга ээ эмес (экинчи кристаллды нурга карата бурууга жараша өткөн жарыктын тигил же бул ургаалдуулугу пайда болот).

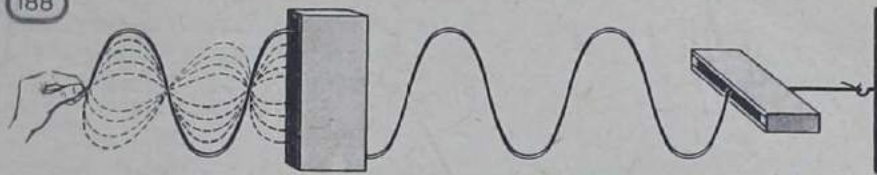
Узатасынан кеткен толкундар таралуу багытына карата толук симметрияга ээ болушат (термелүү ошол багытты бойлоп жүрөт жана ал багыт толкундун симметрия огу болуп саналат). Ошондуктан жарык толкунун узатасынан кеткен толкун деп эсептеп, экинчи пластинканы айландыруу менен жүргүзүлгөн тажрыйбаны түшүндүрүүгө мүмкүн эмес.

Эки божомолдоонун негизинде гана бул тажрыйбаны толук түшүндүрүүгө болот.

*Биринчи божомолдоо жарыктын өзүнө тиешелүү. Жарык — туурасынан таралуучу толкун. Бирок кадимки булактан түшкөн толкундун агымына, толкундардын таралуу багытына перпендикулярдуу болгон ар кандай багыттагы термелүүлөр катышышат* (186-сүрөт).

Бул божомолдоо боюнча жарык толкуну октук симметрияга ээ, ошондой эле туурасынан кеткен толкун болуп саналат. Маселен, суу бетиндеги толкундар мындай касиетке ээ болушпайт анткени, суунун бөлүкчөлөрүнүн термелүүлөрү вертикаль тегиздикте гана болот.





Таралуу багытына перпендикуляр болгон бардык багыт боюнча термелген жарык толкуну *табигый толкун* деп аталат. Мындайча аталышынын жөнү бар анткени, кадимки шарттарда жарыктын булактары так ушундай толкундарды түзүшөт. Ушул божомолдоо биринчи тажрыйбанын натыйжасын түшүндүрөт. Турмалиндин кристаллынын айлануусу өтүүчү жарыктын ургаалдуулугун өзгөртпөйт, анткени түшүүчү толкун октук симметрияга ээ болот (ал туурасынан таралгандыгына карабастан).

Кристаллга тиешелүү болгон экинчи божомолдоо. *Турмалиндин кристаллы белгилүү бир тегиздикте (187-сүрөттөгү P тегиздиги) жата турган термелүүлөрү бар жарык толкундарын өткөрүүгө жөндөмдүү.* Мындай жарык *поляризацияланган же тагыраак айтканда жалпак-поляризацияланган* деп аталат, аны *поляризацияланбаган* деп аталган табигый жарыктан айырмалашат. Бул божомолдоо экинчи тажрыйбанын натыйжаларын толук түшүндүрөт. Биринчи кристаллдан жалпак-поляризацияланган толкун чыгат. Кайчылашкан кристаллдарда (октордун арасындагы бурч  $90^\circ$ ) ал толкун экинчи кристалл аркылуу өтпөйт. Эгерде октор өз ара  $90^\circ$ тан айырмалуу болгон бурчту түзүшсө, анда экинчи кристаллдын огунун багытында биринчи кристалл аркылуу өтүүчү толкундардын амплитудаларынын проекцияларына барабар амплитудадагы термелүүлөр өтүп кетишет.

Ошентип, турмалиндин кристаллы жарыкты поляризациялайт, б. а. табигый жарыкты жалпак-поляризацияланган жарыкка өзгөртүп түзөт.

**Турмалин менен жүргүзүлгөн тажрыйбанын механикалык модели.** Каралып жаткан кубулуштун жөнөкөй жана көрсөтмөлүү механикалык моделин түзүү анчалык кыйын эмес. Туурасынан таралган толкунду резина жипте андагы термелүү өзүнүн мейкиндиктеги багытын тез эле өзгөртүп жибере тургандай кылып түзүүгө болот. Бул табигый жарык толкунуна окшош. Эми жипти кыска жыгач кутучасы аркылуу өткөрөбүз (188-сүрөт). Мүмкүн болгон бардык багыттагы термелүүлөрдөн кутуча аркылуу белгилүү бир гана тегиздиктеги термелүү «бөлүнүп алынат». Ошондуктан кутучадан поляризацияланган толкун чыгат.

Эгерде анын жолуна биринчисине карата  $90^\circ$ ка бурулуп коюлган дагы бир так ушундай кутуча коюлса да термелүү ал аркылуу өтпөйт. Толкун толугу менен өчөт.

**Поляроиддер.** Жарыкты поляризациялоого жөндөмдүү болгон

бир гана турмалиндин кристаллдары эмес. Мындай касиетке, маселен поляроид дегендер дагы жөндөмдүү. Поляриод болуп целлулоидге же айнек пластинкага капталган герпатиттин кристаллдарынын жука (0,1 мм) плёнкасы эсептелет. Турмалиндин кристаллдары менен жүргүзүлгөн тажрыйбаларды поляроид менен да жүргүзүүгө болот. Поляроиддердин артыкчылыгы болуп, жарыкты поляризациялай турган чоң беттерди түзүүсү эсептелет. Поляроиддин кемчилиги болуп анын ак жарыкка кызгылт-көк түстү бергендиги.

### 63. Жарык толкундарынын туурасынан таралышы жана жарыктын электромагниттик теориясы

Жарыктын электромагниттик теориясы Максвеллдин ишинен башталат. Максвелл электромагниттик толкундун бар экендигин теория боюча көрсөткөн (§ 35 ти карагыла) жана ошондой эле толкундун абасыз боштукта таралуу ылдамдыгы ошол убакта белгилүү болгон жарык ылдамдыгына барабар экендигин тапкан. Мына ошонун негизинде Максвелл жарыкты электромагниттик толкун деп болжолдогон.

Мындан башка дагы электромагниттик толкундардын туурасынан таралган толкун экендиги Максвеллдин теориясынан түздөнтүз келип чыгат. Ал убакта жарык толкундарынын туурасынан таралышы эксперименталдык жол менен далилденген болучу. Ошондуктан, Максвелл электромагниттик толкундардын туурасынан таралышы, жарыктын электромагниттик теориясынын тууралыгынын эң маанилүү далилденишинин бири деп эсептелген.

Герц эксперимент аркылуу электромагниттик толкунду алып жана анын ылдамдыгын ченегенден кийин гана жарыктын электромагниттик теориясы биринчи жолу эксперимент боюнча ырасталды. Электромагниттик толкундар таралган кезде жарык толкундары ээ болгон касиеттерге: чагылуу, сынуу, интерференция, дифракция, поляризация ж. у. с. касиеттерине ээ экендиги далилденди (§ 41 ди карагыла). Кыймылдагы атомдордун заряддалган бөлүкчөлөрү жарык толкундарын чыгара тургандыгы XIX кылымдын акырында биротоло белгиленген.

Жарыктын электромагниттик теориясын кабыл алуу менен катуу тело деп эсептөөгө туура келген гипотеталык чөйрөнү — эфирди киргизүү зарылдыгы менен байланышкан бардык кыйынчылыктар жоюлду. Жарык толкундары бул бардыгынан өтө турган өзгөчө чөйрөдөгү — эфирдеги механикалык толкун болбостон электромагниттик толкундар. Электромагниттик процесстер механикалык закондорго эмес, өзүнүн менчик законуна баш иет. Бул закондордун биротоло формасы Максвелл тарабынан белгиленген.

Электромагниттик толкунда  $\vec{E}$  жана  $\vec{B}$  векторлору бири бирине перпендикулярдуу (5-главаны карагыла). Табигый жарыкта электр талаасынын  $\vec{E}$  чыңалышы жана  $\vec{B}$  магниттик индукциясынын термелүүлөрү, толкундун таралуу багытына перпендикуляр



болгон багыттар боюнча болот. Эгерде жарык поляризацияланган болсо, анда  $\vec{E}$  жана  $\vec{B}$  термелүүлөрү бардык эле багыт боюнча боло бербестен, белгилүү эки гана тегиздикте болот. 84-сүрөттө көрсөтүлгөн электромагниттик толкун поляризацияланган болуп эсептелет.

Табигый суроо келип чыгат: качан жарык толкунунда термелүү багыты жөнүндө сөз болгондо, кайсы вектордун термелүүсүн түшүндүк эле —  $\vec{E}$  ниби же  $\vec{B}$  ныбы? Атайын коюлган тажрыйбалар көздүн торчосуна же фотоэмульсияга жарык толкунунун электр талаасы таасир этерин далилдешти.

Мына ушуга байланыштуу жарык толкундарында термелүүнүн багыты үчүн электр талаасынын  $\vec{E}$  чыңалыш векторунун багыты кабыл алынган.

### Суроолор

- |  |   |
|--|---|
| 1. Эмне үчүн микроскоптун жардамы менен атомду көрүүгө болбойт?                              | симумдарынын абалы жылчыктардын санына көз каранды болобу?            |
| 2. Гюйгенс — Френелдин принцибин айтып бергиле.  | 4. Табигый жарык поляризацияланган жарыктан эмнеси менен айырмаланат? |
| 3. Дифракциялык торчонун башкы максимумдарынын абалы жылчыктардын санына көз каранды болобу? | 5. Кайсы учурда геометриялык оптиканын закондору болжол менен туура?  |

### Маселелер чыгаруунун мисалдары

1. Дифракция боюнча Юнгдун тажрыйбасында жылчыктардын арасындагы аралык  $d=0,07$  мм, ал эми кош жылчыктан экранга чейинки аралык  $D=2$  м. Приборду жашыл жарык менен жарыктандырган кезде коңшулаш дифракциондук жарык тилкенин арасындагы аралык  $\Delta h=16$  мм болду. Бул берилгендер боюнча толкун узундугун аныктагыла.

Чыгарылышы. Экрандын кандайдыр бир  $C$  чекитинде (189-сүрөт) төмөнкү шарт аткарылган кезде максимум жарыктаныш байкалат:

$$d_2 - d_1 = k\lambda,$$

мында  $k=0,1,2,\dots$  бүтүн сандар.

$S_1CE$  жана  $S_2CB$  үч бурчтуктарына Пифагордун теоремасын колдонобуз:

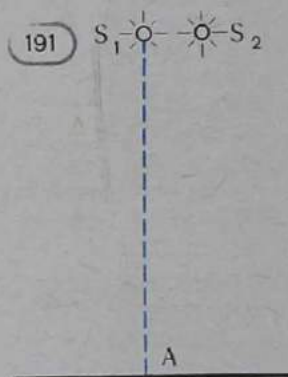
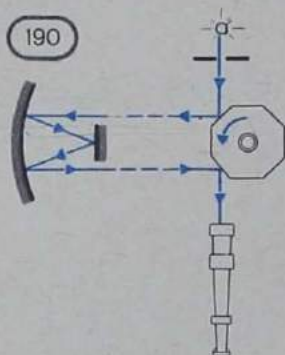
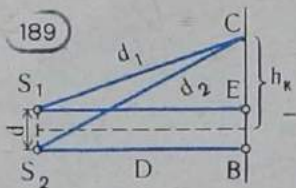
$$d_2^2 = D^2 + \left(h_k + \frac{d}{2}\right)^2, \quad d_1^2 = D^2 + \left(h_k - \frac{d}{2}\right)^2.$$

Биринчи барабардыктан экинчини мүчөлөп кемитип, төмөнкүнү алабыз:

$$d_2^2 - d_1^2 = 2h_k d \quad \text{же} \quad (d_1 + d_2)(d_2 - d_1) = 2h_k d.$$

$d \leq D$  болгондуктан,  $d_1 + d_2 \approx 2D$  болот. Демек

$$d_2 - d_1 \approx \frac{h_k d}{D}.$$



$d_2 - d_1 = k\lambda$  экенин эске алып, төмөнкүнү жазабыз:

$$k\lambda \approx \frac{h_k d}{D}$$

Мындан экрандын борборунан эсептегенде  $k$ -жарык тилкеге чейинки аралыкты табабыз:

$$h_k \approx \frac{k\lambda D}{d}$$

Коңшулаш тилкелердин арасындагы аралык төмөнкүгө барабар:

$$\Delta h = h_{k+1} - h_k \approx \frac{\lambda D}{d}$$

Мындан

$$\lambda \approx \frac{d \cdot \Delta h}{D} \approx 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ см.}$$

2. Бир миллиметрдинде 500 тилкелүү сызыгы бар дифракциялык торчого жалпак монохроматикалык толкун келип түшөт ( $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см). Жарыктын торчонун бетине нормалдуу түшкөн кезинде байкоого мүмкүн боло турган  $k$  спектрдин эң чоң тартибин эсептегиле.

Чыгарылышы.  $k$ нын максималдуу маанисине  $\sin \varphi = 1$  туура келет (7.2 формуласын карагыла). Демек,  $k = \frac{d}{\lambda} = 4$ .



1. 190-сүрөттө жарыктын ылдамдыгын аныктоо боюнча Майкельсондун тажрыйбасынын схемасы көрсөтүлгөн. Эгер жарык нуру болжол менен 71 км аралыкты өтсө, жарык булагы көрүү түтүгүнөн көрүнсүн үчүн сегиз кырдуу күзгүлүү prizma секундасына канча айлануу жасашы керек?

3. Когеренттүү эки жарык булагы  $S_1$  жана  $S_2$  толкун узундугу  $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$  м болгон жарык чыгарышат. Бул жарык булактары бири биринен  $d = 0,3$  см аралыкта жайгашкан. Экран, булактардан 9 м аралыкта жайгашкан. Экрандын (191-сүрөт)  $A$  чекитинде эмне байкалат: ак такпы же кара такпы?

2. Вакуумдагы толкун узундугу  $\lambda_1 = 7 \cdot 10^{-7}$  м болгон кызыл түс үчүн суунун сынуу көрсөткүчү  $n_1 = 1,331$ , ал эми абасыз боштуктагы толкун узундугу  $\lambda_2 = 4 \cdot 10^{-7}$  м болгон кызгылт-көк түс үчүн ал  $n_2 = 1,343$ . Бул толкундардын суудагы узундугун жана алардын таралуу ылдамдыктарын тапкыла.

4. Мезгили  $d = 1,2 \cdot 10^{-3}$  см болгон дифракциялык торчого монохроматикалык толкун нормалдуу түшөт. Эгер жинчи жана үчүнчү катардагы спектрлердин арасындагы бурч  $\Delta\varphi = 2^\circ 30'$  болсо, толкун узундугу  $\lambda$  ны аныктагыла.

## 7-главанын кыскача жыйынтыктары

Вакуумдагы жарыктын ылдамдыгы эксперимент жүзүндө аныкталган. Ал болжол менен 300 000 км/с га барабар. Бардык чөйрөдө жарыктын ылдамдыгы вакуумдагыга караганда кичине.

Эки чөйрөнүн чегинде жарыктын сынышы биринчи чөйрөдөн экинчи чөйрөгө өткөн кезде ылдамдыктын өзгөрүшүнөн пайда болот. Эки чөйрөнүн салыштырмалуу сынуу көрсөткүчү ошол чөйрөдөгү жарык ылдамдыктарынын катышына барабар.

Жарыктын сынуу көрсөткүчү, Ньютон биринчи болуп көрсөткөндөй анын түсүнө көз каранды. Жарыктын түсү термелүүнүн жыштыгы (же жарыктын толкун узундугу) менен аныкталат. Жарыктын сынуу көрсөткүчүнүн термелүүнүн жыштыгынан көз карандылыгы дисперсия деп аталат. Дисперсиянын натыйжасында prizma ак жарыкты спектрге ажыратат.

Жарык ылдамдыгы жана толкун узундугу вакуумдан чөйрөгө өткөн кезде азаят. Термелүүнүн жыштыгы өзгөрбөстөн кала берет. Бирдей толкун узундуктагы жана турактуу фазалар айырмасына ээ болгон жарык толкундары когеренттүү деп аталат.

Когеренттүү толкундар бири бирине капталышкан кезде жарыктын интерференциясы байкалат. Толкундар арасындагы жүрүштөр айырмасына жараша толкундар бири бирин күчөтүшөт же басаңдатышат. Когеренттүү толкундар жука плёнканын эки бетинен жарык толкундар чагылган кезде пайда болот. Интерференциялануучу толкундардын термелүү фазаларынын айырмасы плёнканын калыңдыгына гана көз каранды болбостон, толкун узундугуна да көз каранды болгондуктан, качан плёнканы ак жарык менен жарыктандырган кезде интерференциялык түстүү картина пайда болот.

Жарык толкундары өлчөмү жарык толкунунун узундугу менен салыштырууга мүмкүн болгон тоскоолдуктарды айланып өтөт.

Дифракция кубулушу мына ушундай болот. Жарык толкунунун узундугу өтө кичине болгондуктан ( $10^{-5}$  см тартибинде), жарыктын дифракциясын байкоо кыйынчылыкты туудурат жана атайын түзүлүштөрдү талап кылат. Жарыктын дифракциясы микроскоп менен телескоптун ажыратып көрсөтүү жөндөмдүүлүгүнө чек коёт.

Эгерде жарык толкунунун таралуу жолуна коюлган тоскоолдуктун өлчөмү толкун узундугунан бир канча чоң болсо, анда геометриялык оптиканын закондору жакындатылып орундалат.

Дифракция кубулушуна дифракциялык торчо деген түзүлүш негизделген: ал ичке аралыктар менен бөлүнүп коюлган көп сандаган жылчыктардын тобунан турат. Спектрдеги негизги дифракциялык максимумдун багытын көрсөтүүчү  $\phi$  бурчунун мааниси, дифракциялык торчонун жардамы менен алынган төмөнкү барабардык боюнча аныкталат:

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

мында  $k=0,1,2 \dots$ —торчонун мезгили.

Торчо ак жарыкты спектрге ажыратат; анын жардамы менен жарыктын толкун узундугун ченөөгө болот.

Жарык толкундары туурасынан таралышат. Бул, эксперимент жүзүндө жарыктын анизотропиялуу чөйрө — кристалл аркылуу өтүшүн байкоо менен далилденген. Белгилүү бир тегиздикте термелүү жасаган жарык толкундары поляризацияланган деп аталат. Кадимки булактар (табигый жарык) түзгөн жарык поляризацияланбаган болот. Жарык толкундарынын термелүүсү, анын таралуу багытына перпендикуляр болгон тегиздикте бардык багыттар боюча болот.

Максвелл тарабынан сунуш кылынган жарыктын электромагниттик теориясы боюнча жарык, туурасынан кеткен электромагниттик толкун болот. Жарык толкундарынын туурасынан кеткен толкун экендигинин далилдениши, жарыктын электромагниттик теориясынын чындык экендигинин кабыл алынышынын маанилүү этабы болду.

## 8-глава

### Салыштырмалуулук теориясынын элементтери

#### 64. Электродинамиканын закондору жана салыштырмалуулуктун принциптери

Салыштырмалуулук теориясынын мааниси. Электродинамиканын өнүгүшү мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү түшүнүктөрдү кайра карап чыгууга алып келди.

Көптөгөн кылымдар бою турактуу деп эсептелип келген мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү классикалык түшүнүктөр боюн-



ча кыймыл убакыттын өтүшүнө эч кандай таасир этпейт (убакыт абсолюттуу), ал эми ар кандай телонун сызыктуу өлчөмдөрү нерсенин тынч тургандыгына же кыймылда болушуна көз каранды эмес (узундук абсолюттуу).

*Эйнштейндин атайын салыштырмалуулук теориясы — бул эски (классикалык) түшүнүктөрдү алмаштыруучу мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү жаңы илим.*

**Механикадагы жана электродинамикадагы салыштырмалуулук принциби.** XIX кылымдын экинчи жарымында Максвелл тарабынан электродинамиканын негизги закондору ачылгандан кийин механикалык кубулуш үчүн туура болгон салыштырмалуулуктун принциби электро-магниттик кубулуштарга да колдонулабы же жокпу деген суроо туулду. Башка сөз менен айтканда, электромагниттик процесстер (заряддар менен токтордун өз ара аракетин, электромагниттик толкундардын таралышы ж. б.) бардык инерциялык эсептөө системаларында бирдей болушабы, жокпу? Же балким бир калыптагы түз сызыктуу кыймылдар механикалык кыймылдарга таасир этпестен электро-магниттик процесстерге таасир этип жүрүшпөсүн?

Бул суроого жооп бериш үчүн, электродинамиканын негизги закондору бир инерциялык системадан башка бир инерциялык системага өткөндөн өзгөрөрүн, же болбосо Ньютондун закондору сыяктуу өзгөрбөй каларын билүү керек эле. Кийинки учурдагыдай болгондо гана салыштырмалуулук принцибинин электромагниттик процесстер үчүн да тууралыгы жөнүндөгү эки ойлуулукту четке кагып, бул принципти табияттын жалпы закону катары кароого болот.

Электродинамиканын закондору татаал, ошондуктан бул маселенин туура чечилиши оной эмес. Бирок да, жөнөкөй пикирлер эле туура жооп берүүгө мүмкүндүк берчүдөй болуп көрүнгөнсүйт. Электродинамиканын закондору боюнча электромагниттик толкундардын вакуумда таралуу ылдамдыгы бардык багыт боюнча бирдей  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с га барабар. Бирок экинчи жагынан Ньютондун механикасынын ылдамдыктарын кошуу законуна ылайык бир гана тандалып алынган эсептөө башталуучу системада ылдамдык  $c$  га барабар. Мына ушул тандалып алынган системага карата  $\vec{v}$  ылдамдыгы менен кыймылга келүүчү ар кандай башка эсептөө системасында жарыктын ылдамдыгы  $\vec{c} - \vec{v}$  га барабар болот. Эгерде ылдамдыктарды кошуунун кадимки закону туура болсо, анда бул бир инерциялык эсептөө системасынан экинчисине өткөндө электродинамиканын закондору бул жаңы эсептөө системасында жарыктын ылдамдыгы  $\vec{c}$  га эмес,  $\vec{c} - \vec{v}$  га барабар болуп өзгөрөт дегендикке жатат.

Мына ошентип, закондору салыштырмалуулук принцибине туура келе турган электродинамика менен Ньютон механикасынын арасындагы белгилүү бир карама-каршылыктар аныкталды. Бул тоскоолдуктарды иш жүзүндө үч түрдүү жол менен чечүүгө болот.

*Биринчи* мүмкүндүк, салыштырмалуулук принцибин электромагниттик кубулуштарга колдонууну негизсиз деп жарыялоо эле. Бул көз карашты, электрондук теориянын негиздөөчүсү, голландиялык улуу физик Г. Лоренц жактаган. Электромагниттик кубулуштар Фарадейдин убагынан бери эле бүткүл мейкиндикти каптап туруучу, баарынан өтө ала турган өзгөчө чөйрөдөгү — «дүйнөлүк эфирдеги» процесстер катары каралып келген. Эфирге карата тынч абалда тура турган инерциялык эсептөө системасы Лоренцтин пикири боюнча өзгөчө артыкчылыкка ээ болгон система болучу. Максвелл электродинамикасынын закондору бул системада да туура жана эң эле жөнөкөй формага ээ. Ушул системада гана жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы бардык багыттар боюнча бирдей.

*Экинчи* мүмкүндүк, Максвеллдин закондорун туура эмес деп эсептеп, бир инерциялык системадан экинчи инерциялык системага өткөндө аларды (мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү кадимки классикалык түшүнүктөргө ылайык) *өзгөрбөй* тургандай кылып өзгөртүүгө аракеттенүү эле. Айтсак, мындай аракет Г. Герц тарабынан жасалган. Герцтин пикири боюнча, эфир кыймылга келүүчү телолор менен бирге толук бойдон алынып жүрөт. Мына ошондуктан эфирде кыймылда болгон электромагниттик кубулуштар тело тынч же кыймылда болгонуна көз каранды болбостон дайыма бирдей өтөт. Салыштырмалуулук принциби туура.

Акырында, көрсөтүлгөн кыйынчылыктарды чечүүнүн *үчүнчү* мүмкүндүгү салыштырмалуулук принцибин жана Максвеллдин законун дагы сактап калыш үчүн мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү классикалык түшүнүктөрдөн баш тартуу эле. Бул физикадагы эң негизги, эң терең түшүнүктөрдү кайра карап чыгууну билдирүүчү өтө революциялык жол эле. Ушул көз караш боюнча электромагниттик талаанын тендемелери эмес, мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү эски түшүнүктөр менен туура келише турган Ньютон механикасынын закондору так эмес болуп калышат. Ошондуктан Максвеллдин электродинамика закондорун өзгөртпөстөн, механиканын закондорун өзгөртүү керек эле.

Бирден бир туура жол так ушул үчүнчү мүмкүндүк болучу. Эйнштейн аны улам өнүктүрүүнүн натыйжасында мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү жаңы түшүнүктөргө келген. Биринчи эки жол эксперименттин негизинде жокко чыгарылган.

Герц тарабынан Максвеллдин электродинамика закондорун өзгөртүүгө аракет кылган жаңы тендемелери бир катар фактыларды түшүндүрүүгө жөндөмсүз экендиги аныкталган. Алып айтсак, Герцтин теориясы боюнча агып жаткан суу менен анда таралуучу жарык бүт бойдон алынып кетүүгө тийиш, анткени суу өзү менен кошо жарык таралуучу эфирди ала кетет эмеспи. Тажрыйба чындыгында мындай эмес экендигин көрсөттү.

Абсолюттук тынчтыкта туруучу, дүйнөлүк эфир менен байланыштуу болгон тандалма эсептөө системасы болот деген Ло-



ренцтин көз карашы дагы түздөн-түз жүргүзүлгөн тажрыйбалар аркылуу жокко чыгарылды.

Эгерде жарыктын эфир менен байланыштуу болгон эсептөө системасындагы ылдамдыгы 300 000 км/с га барабар болсо, анда жарыктын ар кандай инерциялык системадагы ылдамдыгын ченеп, ушул системанын эфирге карата кыймылын билүүгө жана бул кыймылдын ылдамдыгын аныктоого болор эле. Абага карата кыймылга келүүчү эсептөө системасында шамал байкалган сыяктуу эфирге карата кыймылга келген кезде (албетте, эгерде эфир бар болсо) «эфир шамалы» билинүүгө тийиш. 1881-жылы, андан 12 жыл мурда Максвелл тарабынан айтылган идея боюнча америкалык окумуштуулар А. Майкельсон жана Э. Морли тарабынан «эфир шамалын» байкоо үчүн тажрыйба коюлган.

Бул тажрыйбада жарык ылдамдыгынын Жердин кыймыл багыты боюнча болгон мааниси менен Жердин кыймыл багытына перпендикуляр болгон маанилери салыштырылган. Өлчөө өтө жогорку тактыкта атайын прибор — Майкельсондун интерферометринде жүргүзүлгөн. Эксперименттер сутканын түрдүү убактарында жана жылдын түрдүү мезгилдеринде жүргүзүлгөн. Бирок, дайыма терс натыйжа алынган: Жердин эфирге карата кыймылы байкалган эмес.

Мына ушулардын бардыгы, эгерде силер 100 км/саат ылдамдыкта бараткан машинанын терезесинен башыңарды чыгарып бет маңдайдан соккон шамалды сезбей калган учурга окшош болгон.

Мына ошентип, артыкчылыкка ээ эсептөө системасынын бар экендиги жөнүндөгү идея тажрыйба жүзүндө аткарылбай калды. Бул болсо мындай артыкчылыкка ээ болгон эсептөө системасын байланыштырган эч кандай өзгөчө чөйрөнүн — «жарыкты алып жүрүүчү эфирдин» — жок экендигин баяндайт.

## 65. Салыштырмалуулук теориясынын постулаттары<sup>1</sup>

Майкельсондун тажрыйбасынын терс натыйжаларын жана Жердин эфирге карата кыймылын билүүгө тийиш болгон башка тажрыйбаларды түшүндүрүү үчүн ар түрдүү гипотезалар киргизилген. Алардын бир гана максаты, артыкчылыгы бар эсептөө системасын табуу боюнча (чындыгында мындай система бар болсо керек деп эсептешкен) эксперименттердин терс натыйжаларын түшүндүрүү болуп саналган.

Бул проблеманы чечүүгө Эйнштейн таптакыр башкача мамиле жасаган: инерциялык системалардын арасында айырмачылыкты билүү боюнча жасалган бардык аракеттердин терс натыйжа-

<sup>1</sup> Аксиома математикада кандай роль ойносо, физикалык теорияга постулат дагы ошондой эле ролду ойнойт. Бул — логикалык жол менен далилденбей турган негизги жобо. Постулат физикада тажрыйбалык фактыларды жалпылоонун натыйжасы болот.



Эйнштейн Альберт (1879—1955)—XX кылымдын улуу физиги. Ал мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү жаңы окууну — салыштырмалуулуктун атайын теориясын түзгөн. Бул теорияны инерциялык эмес эсептөө системасын жыйынтыктап, Эйнштейн азыркы кездеги тартылуу теориясын элестетүүчү салыштырмалуулуктун жалпы теориясын түзгөн. Эйнштейн жарыктын бөлүкчөсү — фотондор жөнүндөгү түшүнүктү биринчи киргизген. Броун кыймылынын теориясы боюнча Эйнштейндин иши заттардын түзүлүшүнүн молекулалык-кинетикалык теориясынын толук жеңишине алып келди.

ларын түшүндүрүү үчүн ар түрдүү гипотезаларды ойлоп табуунун кереги жок болучу. Табияттын закону болуп механикалык гана эмес, электромагниттик процесстерге да карата бардык инерциялык эсептөө системаларынын толук бирдейлиги эсептелет. Тынч абал менен бир калыпта түз сызыктуу кыймылдын арасында эч кандай айырма жок.

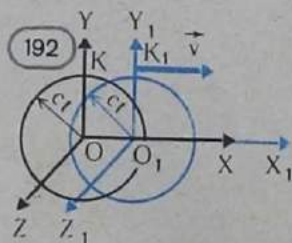
*Салыштырмалуулук принциби* — Эйнштейндин теориясынын башкы постулаты. Ага төмөнкүчө аныктама берүүгө болот: **табияттын бардык процесстери бардык инерциялык эсептөө системасында бирдей болуп өтөт.**

Бул, бардык инерциялык системаларда физикалык закондор бирдей формага ээ болот дегендикке жатат. Мына ошентип, классикалык механиканын салыштырмалуулук принциби табияттагы бардык процесстерге, ошондой эле электромагниттик процесстерге дагы жалпыланат.

Бирок салыштырмалуулук теориясы жеке эле салыштырмалуулук принцибине негизделбейт. Дагы экинчи постулаты бар: **жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы бардык инерциялык эсептөө системалары үчүн бирдей. Ал булактын ылдамдыгына да, жарык сигналын кабыл алгычтын ылдамдыгына да көз каранды эмес.**

Мына ошентип, жарыктын ылдамдыгы айрыкча абалды ээлейт. Мындан башка дагы, жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы, жаратылыштагы өз ара аракеттерди берүүчү мүмкүн болгон максималдуу ылдамдык экендиги салыштырмалуулук теориясынын постулаттарынан келип чыгат. Салыштырмалуулук теориясынын постулатын айтууну чечиш үчүн илимий чоң чечкиндүүлүк керек эле. Себеби, алар мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү классикалык көз карашка түздөн-түз карама-каршы келет.

Чындыгында эле, айталык, бири бирине карата  $\vec{v}$  ылдамдыгы менен кыймылга келүүчү  $K$  жана  $K_1$  инерциялык эсептөө





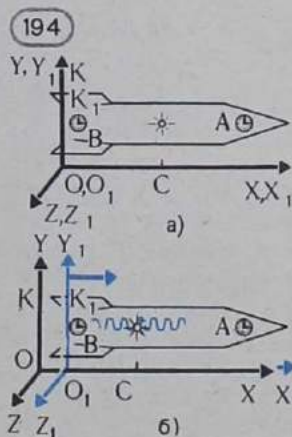
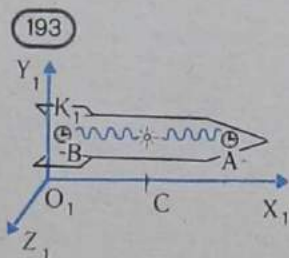
темаларынын координата башталыштары дал келишкен моментте (192-сүрөт), координата башталыштарында жарыктын кыска мөөнөттүү жылт этиши болду дейлик.  $t$  убакыттын ичинде системалар бири бирине карата  $vt$  аралыкка жылышат, ал эми сфералык толкундун бети  $ct$  радиусуна ээ болот.  $K$  жана  $K_1$  системалары барабар мааниде, тигил же бул системада дагы жарык ылдамдыгы бирдей. Демек,  $K$  эсептөө системасы менен байланышкан байкоочунун көз карашы боюнча сферанын борбору  $O$  чекитинде, ал эми  $K_1$  эсептөө системасы менен байланышкан байкоочунун көз карашы боюнча ал борбор  $O_1$  чекитинде болот. Бирок бир эле сфералык бет  $O$  жана  $O_1$  борборлоруна ээ боло албайт. Бул карама-каршылык, салыштырмалуулук теориясынын постулаттарына негизделген талкуулоолордон келип чыгат.

Бул жерде чынында карама-каршылык бар. Бирок бул салыштырмалуулук теориясынын ичиндеги карама-каршылык эмес, кыймылдын чоң ылдамдыктарында туура болбой калуучу мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү классикалык түшүнүктөрдүн ортосундагы карама-каршылыктар.

## 66. Бирдей убакыттуулуктун салыштырмалуулугу

(Кошумча окуу үчүн)

Мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү классикалык түшүнүктөрдүн негизсиздигинин себеби болуп, өз ара аракеттенүүлөрдүн жана сигналдардын мейкиндиктин бир чекитинен экинчисине кирпич каккыча берилүү мүмкүндүктөрү жөнүндөгү туура эмес божомолдоо эсептелет. Өз ара аракеттенүүлөрдү берүүнүн чектүү акыркы ылдамдыгынын бар экендиги күндөлүк тажрыйбага негизделген мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү кадимки түшүнүктөрдүн терең өзгөрүү зарылдыгын туудурат. Материяга жана анын кыймылына такыр көз каранды болбогон, дайыма берилген



темп менен өткөн абсолюттук убакыт жөнүндөгү түшүнүк, көрсө, туура эмес экен.

Эгерде сигналдар кирпич каккычакты убакытта таралат деп эсептесе, анда мейкиндиктеги бөлөк бөлүнгөн  $A$  жана  $B$  эки чекитте окуя бир мезгилде болот деп айтуу абсолюттук мааниге ээ болот.  $A$  жана  $B$  чекиттерине сааттар коюп, аларды өтө тез тарай турган кабарлардын жардамы менен синхрондоштурууга болот. Эгерде мындай кабар, маселен  $A$  чекитинен  $0$  саат  $45$  мин да жиберилсе жана ошол мезгилде  $B$  нын сааты боюнча  $B$  чекитине келсе, анда бул сааттар бирдей убакытты көрсөтөт, б. а. *синхрондуу* жүрүшөт дегендикке жатат. Эгерде мындай дал келүүлөр жок болсо, кабар жиберилген учурда аз убакытты көрсөткөн саатты алга жылдырып *саатты синхрондоштурууга* болот.

Ар кандай окуялар, алсак, чагылгандын эки жолу күркүрөшү, эгерде алар синхрондоштурулган сааттардын бирдей көрсөтүүлөрүндө болуп өтсө гана бирдей убакытта болот.

$A$  жана  $B$  чекиттерине синхрондоштурулган сааттарды койгондон кийин гана, кандайдыр бир эки окуя бул чекиттерде бир мезгилде болгондугун же болбогондугун текшерүүгө болот. Эгерде сигналдардын таралуу ылдамдыгы чексиз чоң болбосо, бири биринен кандайдыр бир аралыкта турган сааттарды кантип синхрондоштурууга болот?

Сааттарды синхрондоштуруу үчүн жарык сигналдарын же электромагниттик сигналдарды колдонуу табигый иш, анткени электромагниттик толкундардын вакуумдагы ылдамдыгы так аныкталган турактуу чоңдук болуп саналат.

Сааттарды радио менен текшерүү үчүн так ушул жол колдонулат. Убакыт сигналы силердин саатыңарды эталондук так жүрүүчү сааттар менен синхрондоштурууга мүмкүндүк берет. Радиостанциядан үйгө чейинки, аралыкты билип, сигналдын кечигүүсүнө кете турган убакытты эсептөөгө болот. Албетте, бул түзөтүү абдан кичине. Күндөлүк турмушта ал эч кандай деле көрүнүктүү ролду ойнобойт. Бирок космостук чоң аралыктар үчүн ал бир кыйла маанилүү болушу мүмкүн.

Сааттарды синхрондоштуруунун эч кандай эсептөөлөрдү талап кылбай турган жөнөкөй методун толугураак карап көрөбүз. Айталык, космонавт космос кораблинин карама-каршы учтарына коюлган  $A$  жана  $B$  сааттарынын бирдей жүрүп жаткандыгын же бирдей эмес экендигин билгиси келди дейлик (193-сүрөт). Бул ал кораблдин ортосундагы, кораблге салыштырмалуу кыймылсыз болгон жарыкты жылт эттирет. Жарык эки жактагы саатка бир мезгилде жетет. Эгерде сааттардын ушул моменттеги көрсөтүүлөрү бирдей болушса, анда сааттар синхрондуу жүрүшөт.

Бирок, корабль менен байланыштагы  $K_1$  эсептөө системасына карата гана ушундай болот. Корабль салыштырмалуу кыймылда болгон  $K$  эсептөө системасында абал башкача. Кораблдин тумшук жагындагы саат булактан алыстап кетет да, жарык  $A$  саатына же-



тиш үчүн кораблдин узундугунун жарымынан чоң аралыкты басып өтүүгө аргасыз болот (194-а, б, сүрөттөр). Тескерисинче, анын арт жагындагы  $B$  сааты булакка жакындайт жана жарык сигналынын жолу кораблдин узундугунун жарымынан кичине. Ошондуктан  $K$  системасындагы байкоочу, сигналдар эки саатка ар түрдүү мезгилде жетет деген тыянакка келет.

Ар кандай эки окуя  $K_1$  системасындагы байкоочунун көз карашы боюнча  $A$  жана  $B$  чекиттеринде бир мезгилде болот, ал эми  $K$  системасында бир мезгилде боло албайт. Бирок салыштырмалуулук принциби боюнча  $K_1$  жана  $K$  системалары бипбирдей, алардын эч бирин өзгөчөлөнтүп кароого болбойт. Ошондуктан биз *мейкиндиктик ажыратылган окуялардын бирдей убакыттуулугу салыштырмалуу* деп корутунду чыгарууга аргасыз болобуз. Бирдей убакыттуулуктун салыштырмалуулугунун себеби болуп биз мурда билгендей эле, сигналдардын таралуу ылдамдыгынын чектүүлүгү эсептелет.

§ 65 та айтылып кеткен сфералык жарык сигналдары менен болгон парадокстун чечилиши бирдей убакыттуулуктун салыштырмалуулугунун дал өзүндө жатат.  $K$  системасына карата тынч абалда турган байкоочунун көз карашы боюнча гана жарык, борбору  $O$  чекитинде болгон сфералык беттин чекиттерине бир мезгилде жетет.  $K_1$  системасы менен байланышкан байкоочунун көз карашы боюнча жарык бул чекиттерге убакыттын ар түрдүү моменттеринде жетет.

Албетте, мунун тескерисинче:  $K$  системасында жарык борбору  $O_1$  болгон сфералык беттин чекиттерине убакыттын ар түрдүү моменттеринде жетет, ал эми  $K_1$  системасындагы байкоочуга сезилген сыяктуу бир убакытта жетпейт деген дагы туура.

Бул айтылгандардан, чындыгында эч кандай парадокс жок экендиги келип чыгат.

## 67. Салыштырмалуулук теориясынын постулаттарынан келип чыккан негизги жыйынтыктар

Салыштырмалуулук теориясынын постулаттарынан, мейкиндик жана убакытка тиешелүү болгон бир нече натыйжалар келип чыгат. Бул натыйжалардын салыштырмалуу татаал негизделишине токтолуп отурбайбыз. Аларды кыскача санап чыгуу менен гана чектелебиз.

**Аралыктын салыштырмалуулугу<sup>1</sup>.** Аралык абсолюттук чоңдук эмес, ал берилген эсептөө системасына карата кыймылдагы телонун ылдамдыгына көз каранды.

$K$  эсептөө системасына карата тынч абалдагы стержендин узундугун  $l_0$  менен белгилейли. Анда  $K_1$  эсептөө системасына салыштырмалуу  $\vec{v}$  ылдамдыгы менен кыймылда болгон бул стержендин  $l$  узундугу төмөнкү формула боюнча аныкталат:

<sup>1</sup> Бул материал кошумча окуш үчүн сунуш кылынат.

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (8.1)$$

Бул формаладан  $l < l_0$  экендиги көрүнүп турат. Кыймылдагы эсептөө системасындагы телонун релятивдик кыскаруусу мына ушундан турат<sup>1</sup>

**Убакыт аралыгынын салыштырмалуулугу<sup>1</sup>.**  $K$  инерциялык системасынын бир эле чекитинде болуп өткөн эки окуянын убактысынын интервалы  $\tau_0$  го барабар болсун дейли. Мындай окуя болуп мисалы, секунданы эсептөөчү метрономдун эки жолку кагышы эсептелиши мүмкүн.

Анда  $K$  системасында  $\bar{v}$  ылдамдыгы менен кыймылдаган  $K_1$  эсептөө системасындагы ошол эле окуялардын  $\tau$  интервалы төмөнкүчө туюнтулат:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8.2)$$

$\tau > \tau_0$  экени көрүнүп турат. Бул, кыймылдуу эсептөө системасындагы убакыттын релятивдик акырындoo эффектиси.

Эгерде  $v \ll c$  болсо, анда (8.1) жана (8.2) формулаларындагы  $\frac{v^2}{c^2}$  чоңдугун эсепке албай койсок болот. Анда  $l \approx l_0$  жана  $\tau \approx \tau_0$ , б. а. телолордун релятивдик кыскартуусун жана кыймылдагы эсептөө системасында убакыттын акырындooсун эсепке албай койсок болот.

**Ылдамдыктарды кошуунун релятивдик закону.** Мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү жаңы релятивдик түшүнүктөргө ылдамдыктарды кошуунун жаңы закону туура келет. Ылдамдыктарды кошуунун классикалык закону чындык боло албастыгы анык, анткени ал жарыктын ылдамдыгынын вакуумда турактуу экендиги жөнүндөгү далилдөөлөргө карама-каршы келет.

Эгерде поезд  $\bar{v}$  ылдамдыгы менен кыймылга келсе жана вагондо поезддин кыймылынын багыты боюнча жарык толкуну таралса, анда ал жарыктын Жерге карата ылдамдыгы  $v + c$  болбостон, кайра эле  $c$  болот. Ылдамдыктарды кошуунун жаңы закону талап кылынган натыйжаларга алып келүүгө тийиш.

Биз ылдамдыктарды кошуунун законун, качан тело  $K_1$  эсептөө системасынын  $X_1$  огун бойлото кыймылга келген айрым учуру үчүн жазабыз. Мында  $K_1$  өз кезегинде  $K$  системасына карата  $\bar{v}$  ылдамдыгы менен кыймылга келет. Болгондо дагы кыймылга келүү процессинде  $X$  жана  $X_1$  координата октору дайыма дал келишет, ал эми  $Y$  жана  $Y_1$ ,  $Z$  жана  $Z_1$  октору параллель бойдон калышат (195-сүрөт).

<sup>1</sup> Ылдамдыгы жарык ылдамдыгына жакын кезде байкалуучу эффект релятивдик эффект деп аталат.



Телонун  $K_1$  ге салыштырмалуу ылдамдыгын  $v_1$  аркылуу, ал эми ошол эле телонун  $K$  га салыштырмалуу ылдамдыгын  $v_2$  аркылуу белгилейбиз. Анда ылдамдыктарды кошуунун релятивдик закону төмөнкү түргө ээ болот:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$$

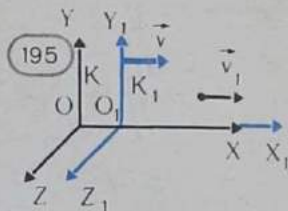
Эгерде  $v \ll c$  жана  $v_1 \ll c$  болсо, анда бөлүмүндө турган мүчөсүн эске албай койсо болот. Анда (8.3) нын ордуна ылдамдыктарды кошуунун классикалык законуна ээ болобуз:

$$v_2 = v_1 + v.$$

$v_1 = c$  болгон кезде  $v_2$  ылдамдыгы дагы  $c$  га барабар, салыштырмалуулук теориясынын экинчи постулаты дагы ушуну талап кылат. Чындыгында:

$$v_2 = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c \frac{c + v}{c + v} = c.$$

Ылдамдыктарды кошуунун релятивдик законунун эң сонун касиети болуп,  $v_1$  жана  $v$  ылдамдыктары ар кандай болгондогу (албетте  $c$  дан чоң эмес) натыйжалоочу  $v_2$  ылдамдыгы  $c$  дан чоң болбогондугу саналат.



### Суроолор

1. Салыштырмалуулук теориясынын негизинде кандай ырастоолор жатат?
2. Механикадагы салыштырмалуулук принцибинен салыштырмалуулук теориясынын биринчи постулатынын айырмасы эмнеде?
3. Кайсы окуялар бирдей убакыттуулук деп аталат?
4. Кыймылдын кандай ылдамдыгында ылдамдыктарды кошуунун релятивдик закону классикалык законуна (Галилейдин законуна) өтөт?
5. Жарык ылдамдыгынын бардык башка телолордун ылдамдыгынан принципалдуу өзгөчөлүгү кайсында?

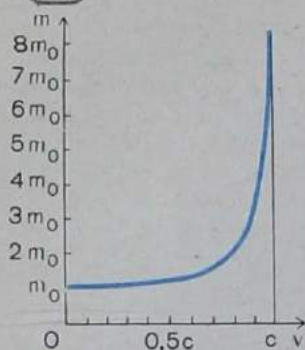
## 68. Массанын ылдамдыктан көз карандылыгы.

### Релятивдик динамика

Чоң ылдамдыкта Ньютондун механикасынын кыймыл закондору жаңы мейкиндик-убакыттык түшүнүктөр менен туура келишпейт. Качан гана мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү классикалык түшүнүктөрү туура келүүчү кыймылдын кичине ылдамдыктарында Ньютондун экинчи закону бир инерциялык эсептөө

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} \quad (8.4)$$

системасынан экинчисине өткөндө өзүнүн формасын өзгөртпөйт (салыштырмалуулук принциби аткарылат).



Ал эми кыймылдын чоң ылдамдыктарында бул закон өзүнүн кадимки (классикалык) формасында туура болбойт.

Ньютондун экинчи законуна (8.4) ылайык турактуу күч узак убакытка таасир этүү менен телого каалагандай чоң ылдамдык бере алат. Бирок чындыгында жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы чектүү болгондуктан, тело эч кандай шарттарда жарыктын вакуумдагы ылдамдыгынан чоң ылдамдык менен кыймылда боло албайт. Бирок бул теңдеме кыймылдын чоң ылдамдыктарында туура болсун үчүн телолордун кыймылдарынын теңдемесин аз эле өзгөртүү талап кылынат. Алдын ала

динамиканын экинчи законунун жазылышынын башка формасына, Ньютон өзү колдонгон формасына өтөбүз:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad (8.5)$$

мында  $\vec{p} = m\vec{v}$  — телонун импульсу. Бул теңдемеде телонун массасы ылдамдыкка көз каранды эмес деп эсептелинген.

Кыймылдын чоң ылдамдыктарында да (8.5) теңдемеси өзүнүн формасын өзгөртпөгөндүгү таң калыштуу. Өзгөртүү массага гана тиешелүү. Телонун ылдамдыгы арткан сайын анын массасы турактуу бойдон калбастан өсөт.

Массанын ылдамдыкка көз карандылыгын, импульстун сакталуу законун мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү жаңы түшүнүктөр боюнча дагы туура деп эсептөө аркылуу табууга болот. Эсептөөлөр өтө эле татаал. Акыркы жыйынтыгын гана келтиребиз.

Эгерде  $m_0$  аркылуу тынч абалдагы телонун массасын белгилесек, анда  $v$  ылдамдыгы менен кыймылга келүүчү телонун  $m$  массасы төмөнкү формула менен аныкталат:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8.6)$$

196-сүрөттө телонун массасынын анын ылдамдыгынан көз карандылыгы көрсөтүлгөн. Телонун ылдамдыгы  $c$  жарык ылдамдыгына жакындаган сайын массанын чоңоюшу арта берери сүрөттөн көрүнүп турат.

Жарыктын ылдамдыгынан көп кичине болгон кыймылдын ылдамдыктарында  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  туюнтмасы бирден эң эле аз айырмаланат. Алсак, азыркы кездеги космос ракетасынын  $v \approx 10$  км/с ылдамдыгында төмөнкүнү алабыз:



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

Ошондуктан кыймылдын мындай салыштырмалуу анча чоң эмес ылдамдыктарында ылдамдыктын чоңоюшуна жараша массанын чоңоюшун байкоо мүмкүн эмес экендиги таң каларлык эмес. Бирок азыркы кездеги тездеткичтерде заряддалган бөлүкчөнүн элементардык бөлүкчөлөрү эң чоң ылдамдыктарга жете алышат. Эгерде бөлүкчөнүн ылдамдыгы жарыктын ылдамдыгынан 90 км/с га гана кичине болсо, анда анын массасы 40 эсе чоңоёт. Электрондук кубаттуу тездеткичтер бул бөлүкчөлөрдү жарыктын ылдамдыгынан 35—40 м/с га кичине болгон ылдамдыкка чейин жеткире алат. Мында электрондун массасы 2000 эсеге чейин чоңоёт да, массасы боюнча протондордон ашып кетет. Мындай электрон тегерек орбитада кармалып турсун үчүн, ага магнит талаасы тарабынан, массанын ылдамдыкка көз карандылыгын эске албаганда болжолдонгонго караганда 2000 эсе чоң күч таасир этүүгө тийиш. Тез кыймылга келүүчү бөлүкчөлөрдүн траекторияларын эсептөө үчүн Ньютон механикасын пайдаланууга болбойт.

(8.6) катышын эске алганда телонун импульсу төмөнкүгө барабар:

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8.7)$$

Релятивдик динамиканын негизги закону мурунку эле формада жазылат:

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

Бирок телонун импульсу тек гана  $m \vec{v}$  көбөйтүндүсү менен эмес (8.7) формуласы менен аныкталат.

Мына ошентип, Ньютондун мезгилинен бери эки жарым кылым бою өзгөрүүсүз деп эсептелинип келген масса чындыгында ылдамдыкка көз каранды.

Кыймылдын ылдамдыгынын өсүшүнө жараша телонун инерттүүлүк касиетин аныктоочу массасы өсөт.  $v \rightarrow c$  учурда (8.6) тендемесине ылайык телонун массасы чексиз өсөт ( $m \rightarrow \infty$ ); ошондуктан ылдамдануу нөлгө умтулат да, ылдамдык иш жүзүндө ага көптөн бери күч таасир этпеген сыяктуу чоңойбой калат.

Заряддалган бөлүкчөлөрдүн тездеткичтерин эсептөөдө кыймылдын релятивдик тендемесин пайдалануунун зарылдыгы азыркы мезгилде салыштырмалуулук теориясынын инженердик илим болуп калгандыгын билгизет.

Ньютондун механикасынын закондорун жарык ылдамдыгынан

көп кичине болгон ылдамдыктагы телолордун кыймылы учурунда туура болгон релятивдик механиканын айрым бир учуру деп кароого болот.

## 69. Масса менен энергиянын байланышы

Эми салыштырмалуулук теориясынын, ядролук физикада жана элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасында эн башкы ролдордун бирин ойнор турган маанилүү натыйжасына өтөбүз. Сөз масса менен энергиянын арасындагы универсалдык байланыш жөнүндө болот.

Энергия менен массанын арасындагы байланыш энергиянын сакталуу законунан жана телонун массасы анын кыймылынын ылдамдыгынан көз каранды деген фактыдан келип чыгат. Бул жөнөкөй мисалдан көрүнүп турат. Идиштеги газды ысыткан учурда ага белгилүү энергия берилет. Башаламан жылуулук кыймылындагы молекуланын ылдамдыгы температурадан көз каранды жана газ ысыган сайын өсөт. Молекуланын кыймылынын ылдамдыгынын өсүшү (8.6) формуласына ылайык бардык молекулалардын массасы өсөт дегендикке жатат. Демек, идиштеги газдын ички энергиясы чоңойгондо анын массасы чоңоёт. Газдын массасы менен анын энергиясынын арасында байланыш бар.

**Жай кыймылда болгон кездеги масса менен энергиянын байланышы.** Жарыктын ылдамдыгы  $c$  дан бир канча кичине болгон  $v$  ылдамдыгы менен кыймылдаган телонун массасынын энергия менен болгон сандык байланышын мисалга көрсөтүү бардыгынан оңой. Мында,  $v \ll c$  болгон учурда массанын ылдамдыкка көз карандылыгы үчүн болжолдуу туюнтманы табабыз. (8.6) формуласындагы бөлүмдү төмөнкүчө жазабыз:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right)^2} - \frac{1}{4} \frac{v^4}{c^4}.$$

Мындагы  $\frac{1}{4} \frac{v^4}{c^4}$  кичине чондугун эске албастан калтырып, төмөнкүгө ээ болобуз:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}.$$

Ошондуктан

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

Алымын жана бөлүмүн  $1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$  ка көбөйтүп, кайрадан  $\frac{1}{4} \frac{v^4}{c^4}$  мүчөсүн эске албай коюп, төмөнкүдөй жакындатылган формулага ээ болобуз:



$$m \approx m_0 + \frac{1}{2} m_0 v^2 \frac{1}{c^2}. \quad (8.8)$$

Мындан, анын ылдамдыгы 0 дөн  $v$  га чейин өзгөргөн кездеги телонун массасынын өзгөрүшү  $\Delta m = m - m_0$  төмөнкүдөй туюнтулат:

$$\Delta m = \frac{\Delta k}{c^2},$$

мында  $\Delta W_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$  — телонун кинетикалык энергиясынын чоңоюшу. Бул, *телонун ылдамдыгы чоңойгондугу анын массасынын өсүндүсү ага берилген кинетикалык энергияны жарык ылдамдыгынын квадратына бөлгөндөгүгө барабар* дегенди билдирет.

**Эйнштейндин формуласы.** Бул тыянак салыштырмалуулук теориясында кеңири жалпыланат. Бул теориянын жардамында Эйнштейн энергия менен массанын арасындагы байланышты туюнткан эң сонун жөнөкөй жана жалпы формуланы аныктаган:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8.9)$$

*Телонун же телолордун системасынын энергиясы массаны жарыктын ылдамдыгынын квадратына көбөйткөндөгүгө барабар.* Фундаменталдуу физикалык чоңдуктарды байланыштыруучу ушундай жөнөкөй универсалдуу формулалардан физиканын башынан аягына чейин эки-үчтү гана кездештирүүгө болот.

Эгерде системанын энергиясы өзгөрсө, анда анын массасы дагы өзгөрөт:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}, \quad (8.10)$$

$\frac{1}{c^2}$  коэффициенти эң кичине болгондуктан, массанын билинерлик өзгөрүшү энергия эң чоң өзгөргөн кезде гана болушу мүмкүн. Химиялык реакцияларда же телолорду кадимки шартта ысыткан кезде энергиянын өзгөрүшү чоң эмес болгондуктан, массанын ага жараша өзгөрүшүн тажрыйбадан билүүгө мүмкүн болбой калат. Ысык чайнек муздак чайнекке караганда чоң массага ээ болот; бирок эң эле сезгич таразалардын жардамы менен да бул айырма аныкталат. Атомдук ядролордун жана элементардык бөлүкчөлөрдүн айланууларында энергиянын өзгөрүшү ушунчалык чоң болгондуктан, аны менен байланыштуу болгон массанын өзгөрүшү билинерлик болот.

Водороддук бомба жарылган кезде эң чоң —  $10^{17}$  Дж га жакын энергия бөлүнүп чыгат. Бул энергия бүт жер шарында бир нече

күнү өндүрүлгөн электр энергиясынан ашып кетет. Бөлүнүп чыккан энергия нурдануу менен бирге кетет.

**Тынч абалдын энергиясы.** Телонун ылдамдыгы кичине ( $v \ll c$ ) учурда (8.9) формуласын төмөнкүчө жазууга болот<sup>1</sup>:

$$E \approx m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2}. \quad (8.11)$$

Мында экинчи мүчө — телонун кадимки эле кинетикалык энергиясы. Көбүрөөк кызыкчылыкты жана жаңылыкты биринчи мүчө туудурат: ал ылдамдыгы нөлгө барабар болгон учурдагы нерсенин энергиясын — *тынч абалдын энергиясы* деп аталган  $E_0$  ду аныктайт:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (8.12)$$

Бул эң мыкты натыйжа. *Ар кандай тело өзүнүн бар экендигинин фактысы аркасында гана энергияга ээ жана бул энергиянын чоңдугу тынч абалдагы масса  $m_0$  го пропорциялаш.*

Тынч абалда массага ээ болгон элементардык бөлүкчө башка бөлүкчөгө айланган кезде,  $m_0 = 0$  болгон бөлүкчөнүн тынч абалдагы энергиясы, толугу менен жаңыдан пайда болгон бөлүкчөнүн кинетикалык энергиясына айланат. Бул факт, тынч абалдагы энергиянын бар экендигинин эксперименталдык эң ачык далилдөөсү болуп эсептелет.

#### Сууроолор

1. Телонун массасынын кыймылдын ылдамдыгынан көз карандылык формуласын жазгыла.
2. Кандай шартта телонун массасын ылдамдыктан көз каранды эмес деп эсептөөгө болот?
3. Масса менен энергиянын өз ара байланыш закону эмнеден турат?
4. Тынч абалдын энергиясы деген эмне?
5. Эмне үчүн тажрыйбада телону ысыткан учурда анын массасынын чоңойгондугун байкоого болбойт?

#### 10-көнүгүү

1. Жүрүп бара жаткан поезддеги байкоочунун көз карашы боюнча  $A$  (поездин алдында) жана  $B$  (поездин артында) чекиттерине чагылган бир убакытта түштү. Жерде турган байкоочунун көз карашы боюнча кайсы чагылган жерге мурун келип тийди?
2. Эгерде электрондун массасы тынч абалдын массасынан 40 000 эсе чоң болсо, анын ылдамдыгы кандай?
3. Массасы 1 кг сууну 50 К ге ысытышты. Бул учурда анын массасы канчага көбөйөт?

#### 8-главанын кыскача жыйынтыктары

Эйнштейндин атайын салыштырмалуулук теориясы эки постулатка негизделет.

<sup>1</sup> Биз бул учурда масса үчүн (8.8) жакындатылган туюнтмасын пайдаланабыз.



Салыштырмалуулук принциби — бул теориянын негизги постулаты. Ал мындай айтылат: жаратылыштын бардык процесстери бардык инерциялык эсептөө системаларында бирдей болуп өтөт.

Экинчи постулат боюнча жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы бардык инерциялык эсептөө системалары үчүн бирдей. Ал булактын ылдамдыгына да, жарык сигналын кабыл алгычтын ылдамдыгына да көз каранды эмес.

Салыштырмалуулук теориясы мейкиндик жана убакыт жөнүндөгү эски классикалык түшүнүктөрдү алмаштыруучу жаңы илим болуп саналат. Салыштырмалуулук теориясы боюнча окуялардын бирдей убакыттуулугу, аралык жана убакыт аралыгы абсолюттуу болбостон салыштырмалуу болушат. Алар эсептөө системасына көз каранды.

Жарыктын вакуумдагы ылдамдыгы жаратылыштагы өз ара аракеттерди берүүчү мүмкүн болгон максималдуу ылдамдык экендиги салыштырмалуулук теориясынан келип чыгат.

Телонун ылдамдыгы өскөн кезде анын  $m$  массасы турактуу бойдон калбастан чоңоёт, анын чоңоюшу төмөнкү формула боюнча аныкталат:

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

мында  $m_0$  — тынч абалдагы телонун массасы. Телонун релятивдик импульсу төмөнкү формула менен туюнтулат:

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

Импульс үчүн болгон бул туюнтманы эсепке алуу менен релятивдик динамиканын негизги законун Ньютондун экинчи законунун формасындай эле жазууга болот:

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

Салыштырмалуулук теориясынын ядролук физика жана элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасы үчүн негизги тыянагы болуп, масса менен энергиянын ортосундагы байланыш жөнүндөгү жыйынтык эсептелет. Телонун же телолордун системасынын  $E$  энергиясы массаны жарык ылдамдыгынын квадратына көбөйткөнгө барабар:

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

$E_0 = m_0 c^2$  туюнтмасы тынч абалдын энергиясын берет.

## Нурдануу жана спектрлер

### 70. Нурдануунун түрлөрү. Жарык булактары

Биз буга чейин жарык толкундарынын таралышын карап көрдүк. Эми телолордун жарыкты нурдантуусу менен таанышабыз.

Жарык — толкун узундугу  $4 \cdot 10^{-7}$  —  $8 \cdot 10^{-7}$  м келген электромагниттик толкундар. Электромагниттик толкундар заряддалган бөлүкчөлөрдүн ылдамдатылган кыймылы кезинде нурданышат. Заттар атомдордон турат да, ал атомдордун составына бул заряддалган бөлүкчөлөр кирет. Бирок атомдун кандай түзүлүштө экендигин билбей туруп, нурдануунун механизми жөнүндө толук ишенимдүү бир нерсени айтууга болбойт. Роялдын кылдары өзүнөн-өзү үн чыгарбаган сыяктуу эле атомдун ичинде да жарыктын жоктугу белгилүү. Балка менен урганда гана үн чыгара баштаган кыл сыяктуу, атомдор да аларды дүүлүктүргөндөн кийин гана жарык чыгара башташат.

*Атом нур чыгара баштасын үчүн ага белгилүү энергиянын берилүүсү зарыл.* Нурдануу менен атом алган энергиясын жоготот, ошондуктан заттын үзгүлтүксүз нур чыгарып туруусу үчүн анын атомдоруна сырттан дайыма энергиянын берилип турушу керек.

**Жылуулук нурдануусу.** Нурдануунун эң эле жөнөкөй жана көп учурай турган түрү болуп *жылуулук нурдануусу* эсептелет. Бул учурда атомдордун жарык нурун чыгарууга кетирген энергиялары нур чыгаруучу телонун атомдорунун (же молекулаларынын) жылуулук кыймылдарынын энергияларынын эсебинен толукталып турат. Телонун температурасы канчалык жогору болсо, атомдор ошончолук тез кыймылда болушат. Тез кыймылдагы атомдор (же молекулалар) бири-бири менен кагылышканда алардын кинетикалык энергиясынын бир бөлүгү атомдорду дүүлүктүрүүчү энергияга айланат. Андан кийин дүүлүккөн атомдор жарыкты нурдантышат.

Күндүн нурдануусу — бул жылуулук нурдануусу. Кадимки кызытма лампа да жарыктын жылуулук булагы болуп эсептелет. Бул абдан ыңгайлуу, бирок үнөмсүз булак болуп саналат. Электр тогу өткөндө лампочканын зымынан бөлүнүп чыккан бардык энергиянын 12% ке жакыны гана жарык энергиясына айланат. Жарыктын жылуулук булагы болуп жалын эсептелет. Көөнүн майда бөлүкчөлөрү (күйүп бүтүүгө жетише элек отундун бөлүкчөлөрү) отун күйгөндө бөлүнүп чыккан энергиядан ысып кызарышат да анан жарык чыгарышат.

**Электролюминесценция.** Жарыкты нурдантыш үчүн керек болгон энергияны атомдор жылуулук чыгарбоочу булактардын эсе-



**Вавилов Сергей Иванович** (1891--1951) — көрүнүктүү советтик физик, мамлекеттик жана коомдук ишмер, СССР илимдер академиясынын 1945—1951-жылдардагы президенти. Вавиловдун негизги илимий эмгектери физикалык оптикага, баарыдан мурда фотолюминесценцияга арналган. Ал люминесценциялык жарыктын поляризациясын изилдеген. Анын жетекчилиги менен күндүзгү жарыкты берүүчү лампаларды даярдоонун технологиясы иштелип чыккан. Вавиловдун жетекчилиги менен П. А. Черенков 1934-ж. чөйрөдө, ошол чөйрөдөгү жарык ылдамдыгынан ашып кеткен ылдамдыктагы кыймылда болгон электрондордун жарыкты нурдантышын ачкан.



бинен да алышы мүмкүн. Газдардагы разряддар кезинде электр талаасы электрондорго кинетикалык чоң энергияны берет. Тез кыймылдагы электрондор атомдор менен серпилгичсиз кагылышууга дуушар болушат. Электрондордун кинетикалык энергиясынын бир бөлүгү атомдорду дүүлүктүрүүгө кетет. Дүүлүккөн атомдор энергияны жарык толкундары түрүндө беришет. Ушул себептен газдагы разряд кезинде жаркыроо пайда болот. Бул *электролюминесценция*<sup>1</sup> деп аталат.

Түндүк жаркыроосу электролюминесценциянын көрүнүшү болот. Күндөн таралган заряддалган бөлүкчөлөрдүн агымдарын Жердин магнит талаасы өзүнө тартып алат. Алар Жердин магниттик уюлдарынын аймагындагы атмосферанын жогорку катмарындагы атомдорду дүүлүктүрүшөт да анын натыйжасында бул катмарлар жаркырашат. Электролюминесценция рекламалык жазууга арналган түтүкчөлөрдө пайдаланылат.

**Катодолюминесценция.** Катуу телолордун, аларды электрондор менен бомбалаганда пайда болгон жарык чыгаруусу *катодолюминесценция* деп аталат. Телевизорлордун электрон-нур түтүкчөлөрүнүн экрандары катодолюминесценциянын негизинде жаркы болот.

**Хемилюминесценция.** Бир катар химиялык реакциялардын жүрүшүндө энергия бөлүнүп чыгат, анын бир бөлүгү түздөн-түз жарык энергиясына айланат. Бул учурда жарык булагы муздак боюнча кала берет (ал курчап турган чөйрөнүн температурасына ээ болот). Мындай кубулуш *хемилюминесценция* деп аталат. Балким, мындай кубулуш менен сиздердин ар бириңиздер тааныш болсонуздар керек. Жайында түн ичинде токойдон жаркырак коңузду кезиктирүүгө болот. Анын денесинде кичинекей жашыл «чырак күйүп» турат. Аны кармап көргөнүңөрдө коңунар жылуулукту сезбейт. Коңуздун жонундагы жалтырап турган жери аны курчап турган абанын температурасындай эле

<sup>1</sup> Люминесценция деген латын сөзү — «жаркыроо» дегенди билдирет.

болот. Жаркыроо касиетине мындан башка да тирүү организмдер: бактериялар, курт-кумурскалар, күндүн нуру жетпеген терендикте жашоочу балыктардын бир топ түрлөрү ээ болушат. Көпчүлүк учурда карангы жерде жыгачтын чириген бөлүгү да жарык чыгарат.

**Фотолюминесценция.** Нерсеге түшкөн жарыктын кандайдыр бир бөлүгү кайра чагылып, калган бөлүгү жутулат. Көпчүлүк учурда жутулуучу жарыктын энергиясы телону ысытууга гана кетет. Бирок кээ бир телолор түздөн-түз ага түшкөн жарык нурунун таасири менен өзү жарык чыгара баштайт. Бул *фотолюминесценция* болуп эсептелет. Мында жарык заттын атомдорун дүүлүктүрөт (алардын ички энергиясын чоңойтот), ошондон кийин алардын өздөрү жаркырашат. Мисалы, көбүнчө ёлка оюнчуктарын боёочу жаркырак боёктор, алдын ала нурларга кактоодон кийин гана жарык нурларын чыгарышат.

Фотолюминесценция учурунда нурдануучу жарык жаркыроону пайда кылган жарыкка караганда узун толкун узундугуна ээ болот. Муну эксперимент түрүндө байкоого болот. Эгер флюоресцеини (органикалык боёк) бар идишке кызгылт-көк жарык фильтри аркылуу өткөрүлгөн жарык нурун багыттасак, анда ал суюктук жашыл-саргыч түстө, б. а. кызгылт-көк жарыкка караганда узун толкун узундуктагы жарык менен жаркырай баштайт.

Фотолюминесценция кубулушу күндүзү жарык берүүчү лампаларда кеңири пайдаланылат. Советтик физик С. И. Вавилов разряддык түтүктүн ички бетин газ разрядынын кыска толкундуу нурдануусунун аракетин боюнча ачык жаркыроого жөндөмдүү болгон заттар менен каптоону сунуш кылган. Күндүзгү жарыкты берүүчү лампалар кадимки кызытма лампаларга караганда болжол менен үч-төрт эсе үнөмдүү келет.

## 71. Спектрлер жана спектрдик аппараттар

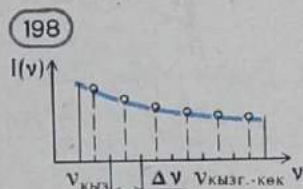
**Спектрде энергиянын бөлүнүшү.** Жарык булактарынын ичинен бири да *монохроматикалык жарыкты*, б. а. белгилүү бир толкун узундуктагы жарыкты бере албайт. Бизди ага призманын жардамы менен жарыкты спектрге ажыратуу, ошондой эле интерференция жана дифракция кубулуштары боюнча жүргүзүлгөн тажрыйбалар ишендире алат.

Булактан чыккан жарыктын энергиясы жарык шооласынын составына кирүүчү бардык узундуктардагы толкундар боюнча белгилүү өлчөмдө бөлүнөт. Ошондой эле энергия жыштык боюнча бөлүнөт деп да айтууга болот, анткени толкун узундугу менен жыштыктын арасында төмөндөгүдөй жөнөкөй байланыш бар:

$$\lambda\nu = c.$$

§ 37 та айтылган электромагниттик нурдануунун агымынын тыгыздыгы же интенсивдүүлүгү  $I = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ , бардык жыштыкка





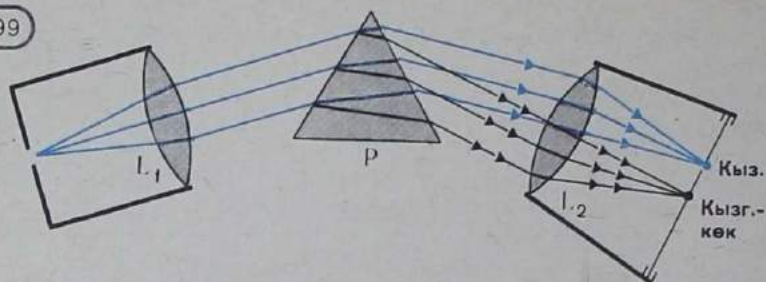
туура келүүчү  $\Delta W$  энергиясы менен аныкталат. Нурдануунун жыштыктар боюнча жайланышын мүнөздөө үчүн жаңы чоңдукту: *жыштыктын бирдик интервалына (аралыгына) туура келүүчү интенсивдүүлүктү киргизүү керек.* Бул чоңдук *нурдануу интенсивдүүлүгүнүн спектрдик тыгыздыгы* деп аталат. Аны  $I(v)$  аркылуу белгилейбиз. Анча чоң эмес спектрдик интервал  $\Delta v$  га туура келген нурдануу интенсивдүүлүгү  $I(v) \Delta v$  га барабар. Ушул сыяктуу туюнтмаларды спектрдин бардык жыштыктары боюнча суммалап, нурдануу агымынын тыгыздыгы  $I$  ни алабыз.

Нурдануу агымынын спектрдик тыгыздыгын эксперимент жүзүндө да табууга болот. Ал үчүн призманын жардамы менен нурдануу спектрин алуу керек, мисалы, электр жаасынын, андан кийин анча чоң эмес  $\Delta v$  кендигиндеги спектралдык интервалга туура келүүчү нурдануу агымынын тыгыздыгы өлчөнүлөт.

Энергиянын бөлүштүрүлүшүн көз менен баалоого (болжолдуу болсо да) болбойт. Көз жарыкка карата тандоо сезимине ээ: анын сезүү максимуму спектрдин сары-жашыл бөлүгүндө жатат. Баарынан мурда өтө кара телонун касиетин колдонуу ыңгайлуу. Ал бардык узундуктагы толкундардан турган жарыкты дээрлик толугу менен жутуп алат. Бул учурда нурдануу энергиясы, б. а. жарыктын энергиясы телону ысытат. Ошондуктан ысыган телонун температурасын өлчөө жетиштүү жана ал боюнча убакыт бирдиги ичинде жутулган энергиянын саны жөнүндө айтууга болот.

Мындай тажрыйбаларда колдонуу үчүн кадимки термометрдин сезгичтиги өтө эле аздык кылат. Ошондуктан температураны өлчөө үчүн сезгичтиги жогору болгон приборлор керек. Ал үчүн электр термометрин колдонууга болот. Мында каршылык сезгич элементи жука металл пластинасы түрүндө даярдалган (IX класс үчүн физика боюнча окуу китебин карагыла). Бул пластинаны толкун узундугу ар кандай болгон жарыкты бүт бойдон жута турган көөнүн кара катмары менен каптоо керек.

Спектрдин бул же тигил жерине прибордун ысыкты сезгич пластинасын жайгаштыруу керек (197-сүрөт). Узундугу  $l$  болгон кызыл нурдан кызгылт-көк нурга чейинки бардык көзгө көрүнгөн спектрге  $v_{\text{кыз}}$  дан  $v_{\text{кызг.-көк}}$  кө чейинки аралыктагы жыштык, ал эми туурасы  $\Delta l$  болгон кара пластинага  $\Delta v$  кичине аралыгы туура келет. Прибордун кара пластинасынын ысышы боюнча



жыштыктын  $\Delta\nu$  аралыгына туура келүүчү нурдануу агымынын тыгыздыгы жөнүндө айтууга болот. Пластинаны спектрди бойлото жылдыруу менен энергиянын көпчүлүк бөлүгү спектрдин кызыл бөлүгүнө туура келерин байкайбыз. Көзгө болсо энергиянын көпчүлүк бөлүгү сары-жашыл бөлүгүндө жаткансып көрүнөт.

Бул тажрыйбалардын жыйынтыктары боюнча нурдануу спектрдик тыгыздыгынын жыштыктан көз карандылыгынын ийри сызыгын сызууга болот. Бул чоңдук пластинанын температурасы боюнча аныкталат, ал эми эгер жарыкты ажыратуу үчүн пайдаланылган прибор градуировкаланган болсо, б. а. спектрдин берилген бөлүгү кайсы жыштыкка туура келери белгилүү болсо, жыштык оңой эле табылат.

Абсцисса огуна  $\Delta\nu$  аралыгынын ортосуна туура келген жыштыктын маанилерин, ал эми ордината огуна нурдануу интенсивдүүлүгүнүн спектрдик тыгыздыгын коюп чекиттердин катарын алабыз. Аларды туташтырсак туташ ийри сызык пайда болот (198-сүрөт). Бул ийри сызык электр жаасынын спектринин көрүнгөн бөлүгүндөгү энергиянын бөлүштүрүлүшү жөнүндөгү көрсөтмөлүү түшүнүктү берет.

**Спектрдик аппараттар.** Спектрлерди так изилдеш үчүн жарык шооласын чектөөчү ичке жылчыкча жана призма сыяктуу жөнөкөй жабдуулар жетишсиздик кылат. Ньютондун андан бир кыйла мыкты жасалган призма менен бир линзадан турган түзүлүшү да (175-сүрөттү карагыла) толук канааттандыралык эмес. Ошондуктан даана спектрлерди берүүчү, б. а. ар кандай узундуктагы толкундарды жакшы ажыратып, спектрдин айрым бөлүктөрүнүн жабылып калышына жол бербөөчү (же дээрлик жол бербөөчү) приборлор зарыл. Мындай приборлор *спектрдик аппараттар* деп аталышат. Көпчүлүк учурларда спектрдик аппараттын негизги бөлүгү болуп призма же дифракциялык торчо эсептелет.

Призмалуу спектрдик аппараттын түзүлүшүн карап көрөбүз (199-сүрөт). Изилденүүчү нур адегенде прибордун *коллиматор* деп аталуучу бөлүгүнө түшөт. Коллиматор бир учунда ичке жылчыкчасы бар тосмодон, ал эми экинчи учунда  $L_1$  жыйноочу линзасы бар түтүктөн турат. Жылчыкча линзанын фокалдык тегиздигине жайлаштырылган. Ошондуктан жылчыкчадан чыгып



линзага келип түшүүчү таралып жаткан жарык агымы линзадан параллель шоолалар түрүндө чыгып  $P$  призмасына келип түшөт.

Ар түрдүү жыштыкка ар кандай сынуу көрсөткүчтөрү туура келгендиктен призмадан багыттары боюнча дал келишпеген параллель жарык агымдары чыгышат. Алар  $L_2$  линзасына түшөт. Бул линзанын фокалдык тегиздигине экран — күнүрт айнек же фотопластинка жайланыштырылат.  $L_2$  линзасы нурдун параллель агымдарын экранга фокустайт жана жылчыкчанын бир сүрөттөлүшүнүн ордуна бир нече сүрөттөлүш пайда болот. Ар бир жыштыкка (тагыраак айтканда, кууш спектрдик аралыкка) өзүнүн сүрөттөлүшү туура келет. Бул сүрөттөлүштөрдүн бардыгы биригип спектрди түзүшөт.

Баяндап айтылган прибор *спектрограф* деп аталат. Эгер экинчи линза менен экрандын ордуна спектрди байкоо үчүн көрүү түтүгү пайдаланылса, анда прибор, *спектроскоп* деп аталат. Спектрдик аппараттардын призмалары жана башка тетиктери сөзсүз эле айнектен даярдалбайт. Айнектин ордуна башка тунук материалдар: кварц, таш тузу жана башкалар колдонулат.

## 72. Спектрлердин түрлөрү

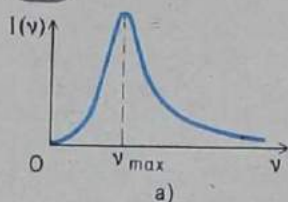
Ар түрдүү заттардын нурдануусунун спектрдик составы өтө эле ар башка. Бирок ошого карабастан, бардык спектрлерди, тажрыйба көргөзгөндөй бири биринен өтө эле айырмаланган үч түргө бөлүүгө болот.

**Үзгүлтүксүз спектрлер.** Күн спектри же электр жаа фонарынын спектри *үзгүлтүксүз* болот. Бул, спектрде бардык узундуктагы толкундар бар дегенди билдирет. Спектрде үзгүлтүк жок жана спектрографтын экранынан түрдүү түстөгү туташ тилкелерди көрүүгө болот ( $V$  түстүү тиркемедеги 1-сүрөт).

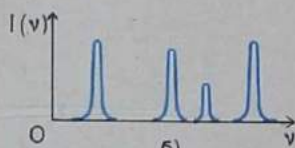
Энергиянын жыштыктары боюнча бөлүнүшү, б. а. нурдануу интенсивдүүлүгүнүн спектрдик тыгыздыгы ар кандай тело үчүн ар башка. Мисалы, бети эң эле кара түстөгү тело бардык жыштыктагы электромагниттик толкундарды нурдантат, бирок спектрдик тыгыздыктын жыштыктан көз карандылык ийри сызыгынын максимуму белгилүү гана  $v_{max}$  жыштыгына туура келет (200-а, сүрөт). Эң кичине ( $v \rightarrow 0$ ) жана эң чоң ( $v \rightarrow \infty$ ) жыштыктарга туура келүүчү нурдануунун энергиясы эң эле аз болот. Температураны жогорулатканда нурдануунун спектрдик тыгыздыгынын максимуму кыска толкундарды көздөй жылышат.

*Үзгүлтүксүз (же туташ) спектрлерди тажрыйба көрсөткөндөй, катуу же суюк абалдагы телолор, ошондой эле тыгыз газдар да беришет.* Үзгүлтүксүз спектрди алыш үчүн телону жогорку температурага чейин ысытуу керек.

Үзгүлтүксүз спектрлердин мүнөзү жана анын пайда болушунун өзү, айрым нурдануучу атомдордун касиеттери менен гана аныкталбастан, алардын атомдорунун бири бирине өз ара ара-



а)



б)

кеттенүүсүнөн да бир кыйла көз каранды болушу менен аныкталат.

Үзгүлтүксүз спектрди ошондой эле жогорку температуралуу плазма да берет. Негизинен электрондор иондор менен кагылышкан учурда плазма электромагниттик толкундарды нурдантат.

**Сызыктуу спектрлер.** Газдын көгүлтүр жылынына кадимки кайнатма туздун эритиндисине малынган асбестин (таш кебездин) бир бөлүгүн кармайбыз. Бул жалынды спектроскоптон карасак, жалындын араң эле айырмаланган үзгүлтүксүз спектринин фонунда ачык сары сызык пайда болот (Ү түстүү тиркемедеги 2-сүрөт). Бул сары сызыкты жалында бөлүнгөн ошондой эле кайнатма туздун молекуласынан пайда болгон натрийдин буусу берет. Түстүү тиркемеде суутек менен гелийдин спектрлери да берилген. Алардын ар бири ортолору жазы каратилкелер менен бөлүнгөн ар кандай ачыктагы түстүү сызыктардан турат. Мындай спектрлер *сызыктуу спектрлер* деп аталышат. Сызыктуу спектрдин болушу заттар белгилүү толкун узундугундагы гана жарыкты (тагыраак айтканда, белгилүү абдан кууш спектрдик аралыктарда) чыгарарын билдирет. 200-б, сүрөттөн силер сызыктуу спектердеги нурдануу интенсивдүүлүгүнүн спектрдик тыгыздыгынын болжолдуу бөлүштүрүлүшүн көрүп турасыздар. Мында ар бир сызык чектүү кеңдикке ээ.

*Сызыктуу спектрлерди газ абалында кездешүүчү атомдук (бирок молекулалык эмес) абалдагы заттардын бардыгы беришет.* Бул учурда бири-бири менен иш жүзүндө өз ара аракеттенишпеген атомдор жарыкты нурдантышат. Сызыктуу спектр спектрлердин эң фундаменталдык негизги тибине кирет.

*Берилген химиялык элементтин обочолонгон атомдору белгилүү узундуктагы гана толкундарды нурдантышат.*

Көбүнчө сызыктуу спектрлерди байкоо үчүн заттын буусунун жалында жаркырашын же болбосо изилденүүчү газ толтурулган түтүкчөдөгү газ разрядынын жаркырашын пайдаланышат.

Атомдук абалдагы газдын тыгыздыгын көбөйткөндө айрым спектрдик сызыктар кеңейишет да, акырында атомдордун өз ара аракеттенүүсү бир кыйла мааниге ээ болуп, газ эң жогорку тыгыздыкка жеткен кезде бул сызыктар бири-бири менен катталышып үзгүлтүксүз спектрлерди беришет.

**Тилкелүү спектрлер.** Тилкелүү спектр ортолору күнүрттөлүп бөлүнгөн айрым тилкелерден турат. Эң жакшы спектрдик аппараттын жардамы менен ар бир тилкенин өзү эң тыгыз жайланышкан көп сандагы сызыктардан турарын көрүүгө болот. Сызыктуу спектрлерден айырмаланып тилкелүү спектрлерди атом-



дор эмес, бири-бири менен байланышпаган же начар байланышкан молекулалар пайда кылышат.

Молекулалык спектрлерди байкоо үчүн, сызыктуу спектрлерди байкаган сыяктуу эле, адатта буунун жалында жаркырашын же газ разрядынын жаркырашын пайдаланышат.

**Жутуу спектрлери.** Атомдору дүүлүккөн абалдагы бардык заттар энергиялары толкун узундуктары боюнча белгилүү өлчөмдө бөлүштүрүлгөн жарык толкундарын чыгарышат. Заттардын жарыкты жутушу дагы толкун узундугунан көз каранды. Мисалы, кызыл айнек кызыл жарыкка туура келүүчү толкундарды ( $\lambda \approx 8 \cdot 10^{-7}$  см) өткөрүп, калган бардык толкундарды жутат.

Эгер ак жарыкты муздак, нур чыгарбоочу газ аркылуу жиберсе, анда булактын үзгүлтүксүз спектринин фонунда күңүрт сызыктар пайда болушат (У түстүү тиркемедеги 5—8-сүрөт). Газ өтө ысык абалында өзүнөн чыгара ала турган толкун узундуктарындагы жарыкты гана көбүрөөк интенсивдүүлүктө жутат. Үзгүлтүксүз спектрдин фонундагы күңүрт сызыктар — бул жутуу сызыктары, алар жалпысынан биригип *жутуу спектрин* түзүшөт.

### 73. Спектрдик анализ

Сызыктуу спектрлер өзгөчө маанилүү ролго ээ, анткени алардын мүнөзү түздөн-түз атомдун түзүлүшүнө байланышкан. Себеби бул спектрлерди сырткы таасирлерге дуушар болушпаган атомдор пайда кылышат. Ошондуктан, сызыктуу спектрлер менен таанышып, биз атомдордун түзүлүшүн окуп-үйрөнүүгө алгачкы кадамыбызды жасайбыз. Окумуштуулар бул спектрлерди байкап көрүп, атомдун ичин «көрүүгө» мүмкүндүк алышты. Мында оптика атомдук физика менен тыгыз байланышкан.

Сызыктуу спектрлердин эң башкы касиети болуп кандайдыр бир заттын сызыктуу спектринин толкун узундуктары (же жыштыктары) бул заттын атомдорунун касиеттеринен гана көз каранды болуп, бирок атомдордун жаркыроосун дүүлүктүрүүчү жолдордон таптакыр көз каранды болбостугу эсептелет. Каалаган химиялык элементтин атомдору бардык башка элементтердин спектрлерине окшобогон спектрлерди беришет: алар толкун узундуктарынын белгилүү гана тобун чыгарууга жөндөмдүү.

*Спектрдик анализ* — заттын химиялык составын анын спектри боюнча аныктоонун методу мына ушуга негизделген. Адамдын манжаларынын наары сыяктуу эле сызыктуу спектрлер да кайталангыс жекечеликке ээ. Ар бир адамдын манжаларындагы издердин ар башкалыгы көпчүлүк учурларда кылмышкерлерди табууга жардам берет. Дал ушул сыяктуу спектрдин бири бирине такыр окшош эместиги да нерсенин химиялык составын аныктоого мүмкүндүк берет. Спектрдик анализдин жардамы менен тагал заттардын ичинде болгон массасы  $10^{-10}$  граммдан ашпаган элементти да табууга болот. Бул өтө сезгич метод болуп саналат. Заттын составын анын спектри боюнча сан жагынан ана-

лиздөө татаалыраак, анткени спектрдик сызыктардын ачыктыгы заттын массасынан эле эмес, ошондой эле жаркыроону дүүлүктүрүүчү жолдорунан да көз каранды. Мисалы, анча деле жогору болбогон температурада көпчүлүк спектрдик сызыктар пайда болбойт. Ошого карабастан жаркыроону дүүлүктүрүүнүн стандарттык шартын сактоодо сан жагынан спектрдик анализди жүргүзүүгө болот.

Азыркы кезде бардык атомдордун спектрлери аныкталып бүтүп, спектрлердин таблицасы түзүлгөн. Спектрдик анализдин жардамы менен бир нече жаңы элементтер: рубидий, цезий ж. б. табылды. Көпчүлүк учурда бул табылган жаңы элементтерге спектрдеги көбүрөөк интенсивдүү сызыктардын түстөрүнө жараша аттар берилген. Мисалы, рубидий кочкул-кызыл (рубиновый) түстөгү сызыктарды берет. *Цезий* деген сөз «асмандай көк» дегенди билдирет. Бул түс цезийдин спектринин негизги сызыктары.

Дал ушул спектрдик анализдин жардамы менен Күндүн жана жылдыздардын химиялык составдарын билишкен. Мында анализдин башка методдорунун колдонулушу мүмкүн эмес. Жылдыздарда Жердегидей эле химиялык элементтерден турары белгилүү болду. Гелийди адегенде Күндүн составынан табышса, андан кийин гана Жердин атмосферасынан табышканы өтө кызыктуу. Бул элементтин аталышы анын ачылыш тарыхы жөнүндө эске салат: *гелий* деген сөздүн котормосу «күнөстүү» дегенди билдирет.

Спектрдик анализ салыштырмалуу жөнөкөйлүгүнө жана универсалдуулугуна байланыштуу металлургияда, машина курулушунда, атомдук индустрияда заттардын составын текшерүүдө негизги метод болуп эсептелет. Спектрдик анализдин жардамы менен кендердин жана минералдардын химиялык составы аныкталат.

Татаал, эң негизгиси органикалык кошулмалар, алардын молекулалык спектрлери боюнча анализденет.

Спектрдик анализ чыгаруу спектрлери боюнча гана жүргүзүлбөстөн, жутулуу спектрлери боюнча да жүргүзүлүшү мүмкүн.

Күндүн жана жылдыздардын спектриндеги жутулуу сызыктары гана бул асман телолорунун химиялык составдарын изилдөөгө мүмкүндүк берет. Күндүн ачык жаркыраган бети — фото-сфера — үзгүлтүксүз спектрди берет. Күндүн атмосферасы фотосферадан жарык нурларынын айрымдарын жутат, мунун өзү фотосферанын үзгүлтүксүз спектрлеринин фонунда жутуу сызыктарынын пайда болушуна алып келет.

Бирок Күндүн атмосферасынын өзү да жарыкты нурдантат. Күн тутулган кезде, күндүн дискасы Ай менен тосулуп калганда, спектрдин сызыктарынын «алмашуусу» пайда болот. Күн спектриндеги жутулуу сызыктарынын ордуна нурдануу сызыктары көрүнө баштайт.

Астрофизикада спектралдык анализ жылдыздардын, газ катмарларынын ж. б. химиялык составын аныктоо үчүн гана кол-



донулбастан, ошондой эле спектр боюнча бул объектилердин башка көптөгөн физикалык мүнөздөмөлөрүн: температураларын, басымдарын, кыймыл ылдамдыктарын, магниттик индукцияларын табуу үчүн да колдонулат.

#### 74. Инфракызыл жана ультракызгылт-көк нурдануу

**Инфракызыл нурдануу.** Электр жаасынын спектринде энергиянын бөлүштүрүлүшүн изилдөө боюнча § 71 та баяндалган тажрыйбага кайрадан кайрылабыз. Кара пластинканы — прибордун сезгич элементин спектрдин кызыл түстүү четине жылдырганда температуранын жогорулагандыгы байкалат. Эгер пластинканы спектрдин кызыл түстүү четинен дагы ары, жарык көрүнбөгөн жагына жылдырса, анда пластинка мурдагыдан да көбүрөөк ысый баштайт. Бул ысытууну пайда кылган электромагниттик толкундар *инфракызыл* нурлар деп аталышат. Ал нурларды ар кандай ысытылган тело жаркырабаса деле чыгара беришет. Мисалы, бөлмөдөгү ысытылган меш же ысык батарея айланасындагы телолорду белгилүү даражада жылытуучу инфракызыл толкундарды чыгарышат. Ошондуктан инфракызыл толкундарды көпчүлүк учурларда *жылуулук* толкундары деп атайбыз.

Көзгө көрүнбөгөн инфракызыл толкундары кызыл жарыктын толкун узундугунан чоң толкун узундугуна ээ. Электр жаасынын жана кызытма лампочкасынын чыгарган энергиясынын максимуму инфракызыл нурларга туура келет.

Инфракызыл нурдануу лакталган, сырдалган нерселерди, жашылча-жемиштерди ж. б. кургатуу үчүн колдонулат. Объектилердин көзгө көрүнбөгөн инфракызыл сүрөттөлүшүн көзгө көрүнгүдөй кылып өзгөртүүчү приборлор түзүлдү. Караңгыда көрүүгө мүмкүндүк берүүчү дүрбүлөр жана оптикалык кароолдор жасалууда.

**Ультракызгылт-көк нурдануу.** Прибор спектрдин кызгылт-көк түстүү чегинин ары жагынан да температуранын бир аз жогорулагандыгын көргөзөт, бирок анда температура анчалык жогору эмес. Демек, толкун узундугу кызгылт-көк нурдукунан кичине болгон электромагниттик толкундар да бар экен. Алар *ультракызгылт-көк нурлар* деп аталышат.

Ультракызгылт-көк нурданууну люминесценциялык зат менен капталган экрандын жардамы менен байкоого болот. Спектрдин кызгылт-көк областынан ары жаткан нурга туура келүүчү экрандын бөлүгү жаркырай баштайт.

Ультракызгылт-көк нурлар химиялык жогорку активдүүлүгү менен айырмаланышат. Фотоэмульсия ультракызгылт-көк нурларга өтө сезгич келет. Буга караңгы бөлмөдө фотографиялык кагазга спектрди түшүрүү менен ишенүүгө болот. Кагазды өңүнө чыгарганда спектрдин кызгылт-көк чегинин ары жагындагы кагаз, көзгө көрүнгөн спектрдин областына караганда көбүрөөк карарат.

Ультракызгылт-көк нурлар көрүү сезимин туудурбайт, алар көзгө көрүнбөйт. Бирок алардын көздүн торчосуна жана териге кылган таасири чоң жана зыяндуу. Күндүн ультракызгылт-көк нурдануусун атмосферанын жогорку катмары жетишердик түрдө жута албайт. Ошондуктан бийик тоолордо күнүрт көз айнек сиз жана узак убакыт бою кийимсиз турууга болбойт. Көрүнгөн спектрлер үчүн айнектен жасалган тунук көз айнектер да көздү ультракызгылт-көк нурдан сактай алат, анткени айнек ультракызгылт-көк нурларды жакшы жутат.

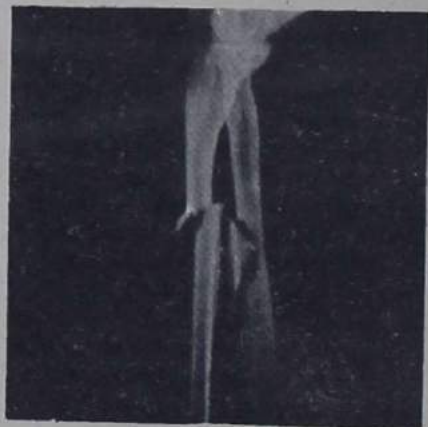
Бирок, аз өлчөмдөгү ультракызгылт-көк нурлардын дарылык (пайдалуу) касиети бар. Ошондуктан, өзгөчө жаш кезде акырындык менен күндө болуу пайдалуу; ультракызгылт-көк нурлар организмдин өсүшүнө жана чыңдалышына жардам берет. Теринин тканына түздөн-түз таасиринен башка ( $D_2$  витамининин, коргонуу пигменти — күнгө күйүүнүн пайда болушу) ультракызгылт-көк нурлар организмдеги бир катар жашоо функцияларын стимулдаштыруу менен борбордук нерв системасына таасир этет.

Ультракызгылт-көк нурлардын ошондой эле бактерициддик таасири да бар. Алар ооруну пайда кылуучу бактерияларды өлтүрүшөт жана ушул максатта медицинада колдонулат.

## 75. Рентген нурлары

Мүмкүн инфракызыл жана ультракызгылт-көк нурлар жөнүндө бардыгы эле угушкан эмес чыгар, бирок *рентген нурлары* жөнүндө, албетте, бардыгы билишет. Бул укмуштуу нурлар кадимки жарык үчүн тунук болбогон нерселер аркылуу өтүп кетишет. Алардын жутулуу даражасы заттын тыгыздыгына пропорциялаш. Ошондуктан рентген нурларынын жардамы менен адамдын ички мүчөлөрүнүн фотографиясын алууга болот. Бул фотографиялардан скелеттин сөөктөрү (201-сүрөт), булчуң эттеринин бири бирине жармашып өскөнү даана көрүнүп турат.

201



Биздин өлкөдө бардык адамдар жылына бир жолу флюорографиядан өтүүлөрү керек. Рентген нурларынын жардамы менен көкүрөк клеткасынын сүрөтү тартылып алынат. Бул сүрөт аркылуу адамдын оорусун өзү сезгенге чейин жеткирбей билүүгө болот.

**Рентген нурларынын ачылышы.** Рентген нурлары 1895-жылы немец физиги Вильгельм Рентген тарабынан ачылган. Рентген өзүнө чейинки окумуш-



**Рентген Вильгельм** (1845—1923) — көрүнүктүү немес физиги, 1895-жылы кыска толкундуу электромагниттик нурданууну — рентген нурун ачкан. Рентген нурунун ачылышы физика илиминин бардык кийинки өсүштөрүнө зор таасирин тийгизди, атап айтканда, радиоактивдүүлүктүн ачылышына алып келди. Рентген өзү ачкан жаңылыктын практика жүзүндө колдонулушунун медицинада тез таралышына аракет жасаган. Рентген нурун алуу үчүн алар түзгөн биринчи рентген түтүгүнүн конструкциясы негизинен азыркы кезге чейин сакталган.



туулар көрүнүктүү эч нерсе таба алышпаган жердеги жаңылыктарды байкай да, көрө да билген. Анын мындай өзгөчө жөндөмдүүлүгү укмуштуудай ачылышты жасоого жардам берди.

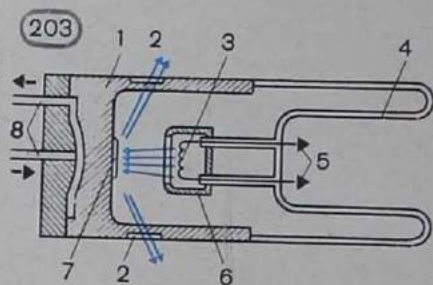
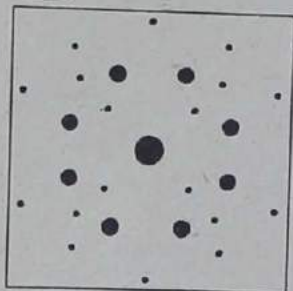
XIX кылымдын аягында физиктердин бардык көңүлү кичине басым кезиндеги газ разрядына бурулган. Ушундай шарттарда газ разрядынын түтүгүндө өтө тез электрондордун агымы пайда болгон. Ошол кезде аларды катод нурлары деп аташкан. Бул нурлардын жаратылышы ал кезде ишеничтүү түрдө аныкталган эмес болучу. Бул нурлар башталышты катод түтүгүнөн алары гана белгилүү болгон.

Рентген катод нурларын изилдөөгө киришкенден кийин көп убакыт өтпөй эле, кара кагазга оролуп турганына карабастан, разряддык түтүктүн жанындагы фотопластинка жарыктанып калгандыгын байкаган. Андан кийин ал өзүн дагы өтө таң калтырган кубулушту байкаган. Эгер барийдин платиносинеродист эритмесине малынган кагаз экранды көздөй разряддык түтүкчөнү буруп койсо, ал жаркырай баштаган. Андан кийин Рентген түтүкчө менен экрандын ортосуна колун тоссо, анда экрандан колдун беш манжаларынын ачык түстөгү сөлөкөтүнүн фонунда анын сөөктөрүнүн күнүрт көлөкөсү көрүнгөн.

Рентген разряддык түтүкчө менен иштеген кезде кандайдыр бир белгисиз, бирок жогорку өтүмдүүлүккө ээ болгон нурдануу пайда болоорун түшүнгөн. Ал аны X-нурлары деп атаган. Кийинчерээк бул нурдануу «рентген нурлары» деген термин менен биротоло алмашылды.

Бул жаңы нурдануу катод нурлары (тез кыймылдагы электрондордун агымдары) түтүкчөнүн айнек капталы менен урунган жеринде пайда болгондугун Рентген байкаган болучу. Айнектин бул жери жашыл түстө жарыктанган. Тез кыймылдагы электрондорду ар кандай тоскоолдук, мисалы, металл электроддору менен тормоздоодо X-нурлары пайда болгондугун улам кийинки тажрыйбалар көргөзгөн.

**Рентген нурларынын касиеттери.** Рентген тарабынан ачылган



нурлар фотопластинкага таасир этип, абанын иондошуусун пайда кылган, бирок кандайдыр бир заттан билинерлик өлчөмдө чагылган да, сынган да эмес. Электромагниттик талаа алардын таралуу багытына эч кандай таасирин тийгизген жок.

Мына ушундан улам тез эле рентген нурлары — бул электрондорду чукулунан тормоздоодон нурлануучу электромагниттик толкундар деген болжолдоо пайда болгон. Спектрдин көрүнгөн бөлүгүндөгү жарык нурларынан жана ультракызылт-көк нурларынан айырмаланып, рентген нурлары өтө эле кыска толкун узундугуна ээ болушат. Алардын толкун узундуктары тоскоолдукка урунган электрондордун энергиясы канчалык чоң болсо ошончолук кичине болот. Бул нурлардын өтө калыңдыктан өтүп кетүү жөндөмдүүлүгү жана алардын бөлөк өзгөчөлүктөрү толкун узундугунун кыскалыгына байланыштуу. Бирок бул илимий болжолдоо (гипотеза) далилдөөнү талап кылган. Ал далилдөөлөр Рентген ачкандан кийин 15 жыл өткөндө иш жүзүнө ашырылган.

**Рентген нурларынын дифракциясы.** Эгер рентген нурдануусу электромагниттик толкун болуп эсептелсе, анда ал бардык түрдөгү толкундарга тиешелүү болгон дифракция кубулушуна ээ болушу керек. Адегенде рентген нурларын коргошун пластинкасынын кууш жылчыкчасынан өткөрүп көрүшкөн, андан дифракция кубулушун байкай алышкан эмес. Немец физиги-Макс Лауэ жасалма тоскоолдук менен бул толкундардын дифракциясын алуу үчүн рентген нурларынын толкун узундугу эң эле кичинелик кылаар деп болжолдогон. Атомдордун өздөрүнүн өлчөмдөрү  $10^{-8}$  см болгондуктан ушундай өлчөмдөгү жылчыкчаны жасоого мүмкүн эмес. Эгер рентген нурлары болжол менен дал ушундай толкун узундугуна ээ болсочу? Анда бир гана мүмкүндүк — кристаллдарды пайдалануу калды. Кристаллдар иреттүү структурага ээ, айрым атомдорунун ортосундагы аралык атомдордун өздөрүнүн өлчөмдөрүндөй, б. а.  $10^{-8}$  см. Эгер анын толкун узундугу атомдордун өлчөмдөрүнө жакын болсо, анда кайталанма структуралуу кристалл толкундардын сезилерлик даражадагы



дифракциясын сөзсүз пайда кылуучу табигый түзүлүш боло алат.

Мына ошентип, рентген нурларынын ичке шооласы артына фотопластинка коюлган кристаллга жиберилген. Анын жыйынтыгы эң сонун ишеничтүү күтүүлөргө толук туура келди. Түз сызык боюнча таралуучу нурларды берген борбордук чоң кара так менен катар анын айланасына белгилүү тартип боюнча жайланышкан анча чоң эмес тактар пайда болгон (202-сүрөт). Бул тактардын пайда болушун кристаллдын иреттүү структурасында болгон рентген нурларынын дифракциясы менен гана түшүндүрүүгө болот.

Дифракциялык картинаны изилдөө рентген нурларынын толкун узундугун аныктоого мүмкүндүк берди. Рентген нурларынын толкун узундугу ультракызгылт-көк нурданууларынын толкун узундуктарынан кичине жана өлчөмү боюнча атомдун өлчөмүнө ( $10^{-8}$  см) барабар болуп чыккан.

**Рентген нурларынын колдонулушу.** Рентген нурлары көптөгөн маанилүү практикалык колдонулуштарга ээ болду.

Медицинада оорунун диагнозун туура коюу үчүн, ошондой эле рак ооруларын дарылоо үчүн колдонулат.

Рентген нурлары илимий изилдөө иштеринде да кеңири колдонулат. Рентген нурлары кристалл аркылуу өткөн учурдагы дифракциялык картина боюнча атомдордун мейкиндикте жайланыш тартибин — кристаллдардын структурасын түзүүгө болот. Муну органикалык эмес кристаллдык заттар үчүн колдонуу анчалык татаал эместиги байкалды. Ошондой эле рентген структуралык анализдин жардамы менен органикалык татаал кошулмалардын, ошону менен бирге белоктун да түзүлүшүн талдоого болот. Мисалы, он миңдеген атомдордон турган гемоглобиндин молекулаларынын структурасы аныкталган.

Бул жетишкендиктер рентген нурларынын толкун узундугу эң эле кыска болгондугунун негизинде болду. Ошондуктан алардын жардамы менен молекулалык түзүлүштү «көрүүгө» мүмкүндүк алынды. Көрүү албетте, түз мааниде эмес; сөз атомдордун мейкиндикте жайланышуу абалын элестетүүгө боло тургандыгын түшүндүрүүгө жумшалган көптөгөн эмгектин жардамы менен дифракциялык картинаны алуу жөнүндө болуп жатат.

Рентген нурларынын башка колдонулуштарынан рентгендик *дефектоскопияны* — куюлган металлдын ичиндеги боштукту, рельстердеги сыныктарды табуу методун, ширетилген жердин сапатын текшерүүнү ж. б. белгилеп кетелиз. Рентгендик дефектоскопия жасалган буюмдарда көндөй болуп, же башка кошулмалар кошулуп калган учурда, аларда рентген нурларынын жутулушунун өзгөрүшүнө негизделген.

**Рентген түтүгүнүн түзүлүшү.** Рентген нурларын алуу үчүн *рентген түтүктөрү* деп аталуучу бир кыйла өркүндөтүлгөн түзүлүштөр иштелип чыкты. Алар Рентген өзү түзгөн биринчи аппараттардан алда канча артыкчылык кылат.

203-сүрөттө заттардын түзүлүшүн (структурасын) анализдөө-

чү рентген түтүгүнүн түзүлүшү схема түрүндө көрсөтүлгөн. Аноддун жумушчу бөлүгүнө 1 электрондордун агымына перпендикулярдуу же кандайдыр бир бурч менен жайланышкан жалпак күзгү 7 коюлган. Аноддун күзгүсү оор металлдардан (хром, темир, никель ж. б.) жасалат. 3 катоду термоэлектрондук эмиссиянын негизинде электрондорду чыгаруучу вольфрам спиральнан турат. Катодго чыңалуу өткөргүчтөрдүн 5 жардамы менен берилет. Цилиндр 6 аноддун күзгүсүнө урунуучу электрондордун агымын фокустайт. Ушинтип, рентген нурлары пайда болот. Айнек колбасында 4 нурдануу чыгуу үчүн бериллийден жасалган «терезе» 2 бар. (Бериллий рентген нурларын начар жутат). Анод түтүк 8 аркылуу суу менен муздатылат.

Анод менен катоддун ортосундагы чыңалуу бир нече ондогон киловольтко жетет. Түтүктө чоң абасыз боштук түзүлөт; андагы газдын басымы  $10^{-5}$  —  $10^{-7}$  мм сым. мам. түзөт.

## 76. Электромагниттик нурдануулардын шкаласы

Электромагниттик толкундардын узундугу эң эле ар кандай:  $10^3$  м (радио толкундар) ден тартып,  $10^{-8}$  см ге чейин (рентген нурлары) болорун билебиз. Жарык электромагниттик толкундардын жазы спектринин аз гана бөлүгүн түзөт. Ошого карабастан спектрдин так ушул аз бөлүгүн изилдөөдөн өзгөчө касиеттерге ээ болгон башкача нурлануулар ачылган.

Бул китептин мукабасынын ички беттеринен (форзацтарынан) ар түрдүү толкун узундуктары жана ар кандай нурдануулардын жыштыктары көргөзүлгөн электромагниттик толкундардын толук шкаласын көрө аласыңар. Ошондой эле анын жардамы менен ар кандай диапазондуу жыштыктардагы электромагниттик толкундар алынуучу түзүлүштөрдү да көрөсүңөр. Аларды төмөнкү жыштыктагы нурдануу, радио нурдануу, инфракызыл нурлары, көзгө көрүнгөн жарык, ультракызгылт-көк нурлары, рентген нурлары жана  $\gamma$ -нурдануусу деп бөлүү кабыл алынган. Силер  $\gamma$ -нурдануусунан башка, аталган нурдануулар менен таанышыңар. Эң кыска толкундуу  $\gamma$ -нурдануусун атом ядролору чыгарат.

Ар бир нурдануунун ортосунда принципиалдуу айырмачылык жок. Алардын бардыгы ылдамдатылган кыймылдагы заряддалган бөлүкчөлөрдөн пайда болгон электромагниттик толкундар болуп эсептелишет. Чындыгында электромагниттик толкундар заряддалган бөлүкчөлөргө жасаган таасирлери аркылуу да байкалат. Ар кандай толкун узундугундагы нурдануу вакуумда 300 000 км/с ылдамдык менен тарайт. Нурдануу шкаласынын айрым областтарынын ортолорундагы чектер шарттуу түрдө гана бөлүнгөн.

Ар кандай узундуктагы толкундарды нурдантуу бири биринен аларды алуу жолдору (антеннанын нурдануусу, жылуулук нурдануусу, тез кыймылдагы электрондорду тормоздоодогу нурдануу ж. б.) жана регистрациялоо методу менен айырмаланышат.



Бардык аталып өткөн электромагниттик нурдануулардын түрлөрү космостук объектилер тарабынан да пайда болот. Алар ракеталар, Жердин жасалма спутниктери жана космос кемелеринин жардамы менен ийгиликтүү изилденүүдө. Бул баарыдан мурда атмосфера тарабынан көп жутулуучу рентгендик жана гамма-нурданууларга тиешелүү.

Толкун узундугу азайган сайын толкун узундугундагы сан жагынан болгон айырмачылык сапат жагынан болгон маанилүү айырмачылыкка алып келет.

Ар кандай узундуктагы толкундардын нурдануулары алардын заттарды жутушу боюнча бири биринен өтө чоң айырмаланышат. Кыска толкундуу нурдануулар (рентген жана өзгөчө  $\gamma$ -нурлары) начар жутулушат. Оптикалык диапазондогу толкундар үчүн тунук эмес заттар бул нурдануулар үчүн тунуктук кылышат. Электромагниттик толкундардын чагылуу коэффициенти дагы толкун узундугунан көз каранды. Бирок, узун толкундуу жана кыска толкундуу нурдануулардын ортолорундагы башкы айырмачылык кыска толкундуу нурдануулар бөлүкчөлөрдүн касиеттерине ээ болгондугунда. Кийинки главада сөз мына ушул жөнүндө болот.

#### Суроолор

1. Силерге белгилүү болгон жарык булактарын санап бергиле.
2. Кызытма лампалардын спектри үзгүлтүксүз боло алабы?
3. Призманын ордуна дифракциялык торчо колдонулган спектрдик аппарат кандай түзүлө тургандыгын сүрөттөп жазгыла.
4. Спектрдик анализдин жардамы менен заттын майда бөлүкчөсүнүн химиялык составын билиш үчүн эмнелерди иштөө керек?
5. Терезенин айнеги аркылуу өтүүчү күндүн жарыгы эмне үчүн күнгө күйүп карарууну пайда кылбайт?
6. Күндүн спектриндеги жутулуу сызыгы боюнча эмнени аныктайт: Күндүн атмосферасынын составынбы же Күндүн терең катмарынын составынбы?
7. Радио толкундар кандай жолдор менен катталат? Оптикалык диапазондогу нурданууларчы? Рентген нурларычы?

#### 9-главанын кыскача жыйынтыктары

Жарык заряддалган бөлүкчөлөрдөн — атомдордо кыймылга келүүчү электрондордон нурданат. Атом нур чыгарыш үчүн энергияны сырттан алышы керек. Эгер атомдор энергияны жылуулук кыймылынын процессиндеги кагылышуу кезинде алышса, анда жылуулук нурдануусу жөнүндө айтылат. Электролюминесценциянын жана катодолюминесценциянын себептери болуп электр талаасы тарабынан ылдамданууга ээ болгон электрондордун атомдорду дүүлүктүрүүсү эсептелет. Атомдор айрым химиялык реакциялар кезинде да дүүлүгүшү жана жарыкты нурдануусу мүмкүн. Бул хемолюминесценция. Бир катар телолор ага тийген нурдануунун таасиринен жарык чыгара баштайт. Бул фотолюминесценция.

Жарыктын жылуулук булактары: Күн, кызытма электр лампысы, жалын ж. б. бир кыйла кеңири таралган.

Нурдануунун негизги мүнөздөмөсү болуп, анын энергиясынын жыштык же толкун узундугу боюнча бөлүнүшү эсептелет. Бул

бөлүнүш нурдануу интенсивдүүлүгүнүн спектралдык тыгыздыгы менен мүнөздөлөт.

Нурдануунун спектрлери спектрдик аппараттардын жардамы менен изилденет. Спектрдик аппараттын негизги элементи болуп призма же дифракциялык торчо эсептелет.

Катуу жана суюк телолор, ошондой эле жогорку температурадагы плазма тарабынан чыгарылган нурдануу үзгүлтүксүз спектрге ээ. Үзгүлтүксүз спектрде толкундун бардык узундуктары ар кандай интенсивдүүлүктө берилген.

Газ түрүндөгү атомардык абалдагы заттар чыгарган нурдануу сызыктуу спектрге ээ. Сызыктуу спектрдин толкун узундугу заттын атомдорунун касиеттеринен гана көз каранды болуп, атомдорду дүүлүктүрүү жолдорунан көз каранды эмес. Спектрдик анализ мына ушул фактыга негизделген.

Молекулалар чыгарган нурдануу спектри күңүрт аралыктар менен ажыратылган айрым тилкелерден турат. Мындай спектр тилкелүү деп аталат.

Жарыктын затка жутулушу толкун узундугунан көз каранды. Зат өтө ысытылган абалында интенсивдүү чыгарган энергиясынын толкун узундугундагы жарыкты өтө интенсивдүү жутат. Жутуу сызыктары боюнча Күндүн жана жылдыздардын химиялык түзүлүштөрү аныкталат.

Жарык — бул толкун узундуктары  $4 \cdot 10^{-7}$  м ден  $8 \cdot 10^{-7}$  м ге чейинки электромагниттик толкундар. Кызыл жарыктын толкун узундугунан ( $8 \cdot 10^{-7}$  м) ашкан толкун узундугундагы нурдануу инфракызыл деп аталат. Инфракызыл нурду бардык эле ысытылган телолор чыгарат.

Толкун узундугу  $4 \cdot 10^{-7}$  м ден кичине болгон электромагниттик толкундар ультракызгылт-көк деп аталат. Ультракызгылт-көк нурлар жогорку химиялык активдүүлүгү менен айырмаланышат.

Рентген нурлары мындан да кыска толкун узундуктарына ээ. Анын толкун узундуктары атомдордун өлчөмдөрүнө чамалаш. Рентген нурлары бир нече киловольт келген ылдамдатуучу чыңалуудан өтүүчү электрондорду тез токтотуу кезинде пайда болот. Бул нурлар зат тарабынан начар жутулат. Алар медицинада (рентгендик диагностика, рентгендик терапия), техникада (рентгендик дефектоскопия) жана илимий изилдөөлөрдө колдонулат.

Электромагниттик толкундардын шкаласы узун радиотолкундан ( $\lambda > 1$  км) гамма-нурга ( $\lambda < 10^{-10}$  м) чейин созулат. Ар кандай узундуктагы электромагниттик толкундар ар кандай себептер боюнча (алуу жолу, регистрациялоо жолу, заттар менен өз ара аракеттенүү мүнөзү) шарттуу түрдө диапазондорго бөлүнөт. Толкун узундуктарындагы сандык айырмалар өтө маанилүү болгон сапаттык айырмаларга алып келет. Кыска толкундуу нурлануу бөлүкчөнүн касиеттерин аныктайт.



# Квант физикасы

Киришүү

(Квант теориясынын пайда болушу)

Физикадагы эң чоң революция ХХ кылымдын башталышына туура келди. Тажрыйбаларда байкалган жылуулук нурдануу (ысытылган телонун электромагниттик нурдануусу) спектринде энергиянын бөлүштүрүлүшүнүн законченмдүүлүктөрүн түшүндүрүүгө болгон аракеттенүүлөр негизсиз болуп калды. Заттардын кыска электромагниттик толкундарды нурдантуу проблемасына көп жолу текшерилген Максвеллдин электромагнетизм закондорун колдонууга аракет кыла баштаганда, бул закондор капасынан «козголон» жасашты. Баарынан дагы таң каларлык нерсе, бул закондор радио толкундардын антеннадан таралышын өтө сонун түшүндүрүп, ошондой эле электромагниттик толкундун боло тургандыгы өз кезегинде бул закондун негизинде алдын ала айтылган болучу.

Максвеллдин электродинамикасы маанисиз жыйынтыкка алып келген. Ал боюнча ысытылган тело электромагниттик толкундарды нурдантуунун натыйжасында үзгүлтүксүз түрдө энергияны жоготуу менен абсолюттук нөлгө чейин муздашы керек. Классикалык теория боюнча зат менен нурдануунун ортосунда жылуулук тең салмактуулугу болушу мүмкүн эмес. Бирок күндөлүк тажрыйба чындыгында мындай болбостугун көргөзөт. Ысытылган тело электромагниттик толкундарды нурдантууга өзүнүн бардык энергиясын жумшабайт.

Теория менен тажрыйбанын ортосундагы бул карама-каршылыктан чыгуу максатындагы изилдөөсүндө немец физиги Макс Планк атомдор электромагниттик энергияны айрым порция — кванттар түрүндө чыгарышат деп болжолдогон. Ар бир порциянын энергиясы  $E$  нурдануунун  $\nu$  жыштыгына түз пропорциялаш:

$$E = h\nu.$$

Пропорциялаштык коэффициенти  $h$  Планк турактуусу деген атка ээ болгон.

Чындыгында Планктын болжолдоосу микродүйнөдөгү кубулуштарга классикалык физиканын колдонулбай тургандыгын көрсөткөн болучу.

Планк тарабынан түзүлгөн жылуулук нурдануусунун теориясы эксперимент менен эң жакшы дал келген. Энергиянын жыштыктар боюнча бөлүнүшү тажрыйбадан белгилүү, ал боюнча Планк турактуусунун мааниси аныкталган. Бул сан эң эле кичине болуп чыккан:



**Планк Макс** (1858—1947) — немецтин улуу физик-теоретиги, квант теориясын — азыркы кездеги кыймыл теориясын, микроскоптук бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенүүсүн жана бири бирине өтүп кетишин негиздөөчү. 1900-жылы тең салмактуу жылуулук нурдануусуна арналган ишинде Планк, осциллятордун (гармоникалык термелүү жасоочу системанын) энергиясы термелүүнүн  $\nu$  жыштыгына пропорциялаш дискреттүү мааниге ээ болорлугу жөнүндө болжолдоосун киргизген. Осциллятордон электромагниттик энергия айрым порциялар  $h \nu$  түрүндө чыгарылат.

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с.}$$

Кийинки параграфта дагы бир физикалык кубулушту карайбыз. Анын жардамы менен да Планк турактуусун аныктоого болот. Бирок жогоркуга караганда өтө жөнөкөйүрөөк жол менен аныкталат.

Ошентип, теориянын такалган кыйынчылыгынан чыгуу жолун Планк көргөзгөн. Чындыгында бул жетишкендик микроскоптук системаларга жана нурданууларга классикалык физиканын закондорун колдонуудан баш тартуунун негизинде келип чыккан болучу.

10-глава

## Жарык кванттар. Жарыктын аракеттери

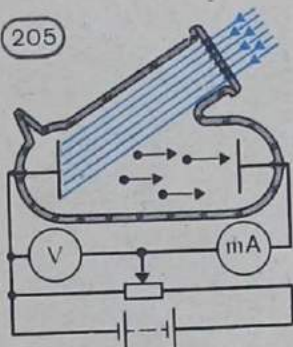
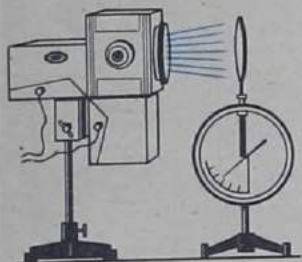
### 77. Фотоэффект

Г. Герц тарабынан ачылып, ал эми орустун көрүнүктүү физиги Александр Григорьевич Столетов тарабынан кылдаттык менен изилденген жарыктын эң бир сонун кубулушун окуп-үйрөнүү кезинде жарыктын табияты жөнүндөгү түшүнүктүн өсүшүнө маанилүү кадам жасалган эле. Бул кубулуш *фотоэффект* деген наамга ээ болду.

*Фотоэффект* деп жарыктын таасири астында заттардан электрондордун бөлүнүп (жулунуп чыгарылышы аталат).

Фотоэффектини алуу үчүн цинк пластинасы бириктирилген электрометрди пайдаланууга болот (204-сүрөт). Эгер пластинаны оң заряд менен заряддаса, анда пластинанын жарыктанышы, мисалы, электр жаасы электрометрдин разряддалышынын тездигине таасирин тийгизбейт. Бирок эгер пластина терс заряддалса, анда жаадан түшкөн жарык агымы электрометрди эн эле тез разряддайт.





Муну бир гана жол менен түшүндүрүүгө болот. Жарык пластинанын бетинен электрондорду бөлүп чыгарат. Эгер пластина терс заряддалган болсо электрондор андан түртүлүшөт да электрометр разряддалат. Пластинаны оң заряддаганда жарык менен бөлүнүп алынган электрондор пластинага тартылышат да кайрадан ага келип конушат. Ошондуктан электрометрдин заряды өзгөрбөйт.

Бирок жарыктын жолуна калымки айнек коюлса, нурдануу интенсиивдүүлүгү кандай болсо да терс заряддалган пластина электрондорун жоготпойт. Айнектин ультракызгылт-көк нурларды жутаары белгилүү болгондуктан, бул тажрыйбадан спектрдин ушул ультракызгылт-көк участогу фотоэффектини пайда кылат деген жыйынтык чыгарууга болот. Бул жөнөкөй эле фактыны жарыктын толкун теориясынын негизинде түшүндүрүүгө болбойт. Эмне үчүн кичине жыштыктагы жарык толкундары алардын амплитудалары чоң болсо, демек, электрондорго таасир этүүчү күчү чоң болсо да электрондорду бөлүп чыгара алышпагандыгы түшүнүксүз.

✓ **Фотоэффект закондору.** Фотоэффект жөнүндө толугураак түшүнүк алыш үчүн, заттын бетинен жарык бөлүп чыгарган электрондордун (фотоэлектрондордун) саны эмнеден көз каранды боло тургандыгын жана алардын ылдамдыгы же кинетикалык энергиясы эмне менен аныкталарын билүү керек. Ушул максатта төмөндөгүдөй эксперименталдык изилдөөлөр жүргүзүлгөн. Абасы сордурулуп ташталган айнек баллонго эки электрод коюлган (205-сүрөт). Жарык баллондун ичиндеги электроддун бирине көзгө көрүнгөн гана жарык үчүн эмес, ошондой эле ультракызгылт-көк нурдануулар үчүн да тунук болгон кварц «терезеси» аркылуу түшөт. Электроддорго чыңалуу берилет. Бул чыңалууну потенциометр менен өзгөртүп, вольтметр менен өлчөөгө болот. Жарыктандырылуучу электродго батареянын терс уюлу туташтырылат. Жарыктын таасири астында бул электрод электрондорду чыгарат.

Бул электрондордун электр талаасындагы кыймылы токту түзөт. Аз чыңалуу кезинде жарык бөлүп чыгарган электрон-



Столетов Александр Григорьевич (1839—1896) — орустун көрүнүктүү физиги. Фотозффект кубулушун изилдөө Столетовду дүйнөгө белгилүү кылды. Столетов фотозффектинин практикада колдонулушунун мүмкүндүгүн да көргөзгөн. «Жумшак темирдин магниттелишинин функциясы жөнүндө изилдөө» деген темадагы докторлук диссертациясында ал, ферромагнетиктерди изилдөөнүн методун иштеп чыккан жана магниттелиштин ийри сызыгынын көрүнүшүн сызган. Бул иш электр машиналарын конструкциялоодо практика жүзүндө кеңири колдонулган. Столетов физиканын Россияда өнүгүшүнө көп күч жумшады.

дордун баары эле экинчи электродго жете бербейт. Эгер нурдануу интенсивдүүлүгүн өзгөртпөстөн туруп электроддордун ортосундагы потенциалдардын айырмасын көбөйтсө, анда ток күчү өсө баштайт. Белгилүү чыңалууда ал максимум маанисине жетип, андан ары өспөйт (206-сүрөт). Ток күчүнүн максимум мааниси  $I_k$  каныккан ток делет. Каныккан ток жарыктанган электроддон  $l$  с да чыгарган электрондордун саны менен аныкталат.

Бул тажрыйбадан нурдануу интенсивдүүлүгүн өзгөртүү менен төмөнкүдөй жөнөкөй көз карандылыкты түзүүгө мүмкүндүк болгон: *металлдын бетинен  $l$  с ичинде жарык бөлүп чыгарган электрондордун саны ушул убакыт ичинде жутулган жарык толкунунун энергиясына түз пропорциялаш*<sup>1</sup>. Мында түшүнүксүз эч нерсе жок: жарык шооласынын энергиясы канчалык чоң болсо, анын аракетин да ошончолук эффективдүү болот.

Эми электрондордун кинетикалык энергиясын (же ылдамдыктарын) ченөөгө токтолобуз. 206-сүрөттө келтирилген графиктен чыңалуу нөл болгон учурда да фототоктун күчү нөлдөн айырмалуу экендиги көрүнүп турат. Бул болсо жарык бөлүп чыгарган электрондордун бир бөлүгү оң жактагы (205-сүрөттү карагыла) электродго чыңалуу нөл кезинде да жеткендигинен болуп олтурат. Эгер батареянын уюлдарын өзгөртсө, анда ток күчү азаят да тескери уюлдагы кандайдыр бир  $U_k$  чыңалууда нөлгө барабар болот. Бул, электр талаасы бөлүнүп чыккан электрондорду толук токтогонго дейре тормоздоп, андан кийин аларды электродго кайтарат дегенди билдирет.

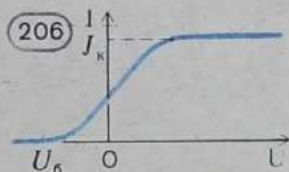
$U_k$  кармоочу чыңалуу жарык бөлүп чыгарган электрондор ээ болушкан максималдуу кинетикалык энергиядан көз каранды. Кармоочу чыңалууну өлчөп жана кинетикалык энергия жөнүндөгү теореманы (VIII класс үчүн физика боюнча окуу китебин карагыла) колдонуу менен электрондордун кинетикалык энергиясынын максималдуу маанисин табууга болот:

<sup>1</sup> Бул законду А. Г. Столетов ачкан.



$$\frac{mv^2}{2} = eU_k.$$

Жарыктын интенсивдүүлүгүн өзгөрткөндө (нурдануу агымынын тыгыздыгы) тажрыйбалар көргөзгөндөй, кармоочу чыңалуу өзгөрбөйт. Бул, электрондордун кинетикалык энергиясынын өзгөрбөгөндүгүн билдирет. Жарыктын толкун теориясынын көз карашы боюнча бул факт түшүнүксүз. Жарыктын интенсивдүүлүгү канчалык чоң болсо, жарык толкунунун электромагниттик талаасы тарабынан электронго ошончолук чоң күчтөр таасир этүү менен электрондорго ошончолук чоң энергия берүү керек эле.



Жарык бөлүп чыгарган электрондордун кинетикалык энергиясы жарыктын жыштыгынан гана көз каранды экендиги тажрыйбалардан белгилүү болду. **Фотоэлектрондордун максималдуу кинетикалык энергиясы жарыктын жыштыгы менен сызыктуу өсөт жана жарыктын интенсивдүүлүгүнөн көз каранды эмес.** Эгер жарыктын жыштыгы берилген зат үчүн белгилүү  $\nu_{min}$  минималдуу жыштыктан аз болсо, анда фотоэффект болбойт.

## 78. Фотоэффект теориясы

Фотоэффект кубулушун Максвеллдин электродинамикасынын закондорунун негизинде түшүндүрүүдөгү бардык аракеттер натыйжасыз болуп чыкты. Бул закондор боюнча жарык — мейкиндикте үзгүлтүксүз бөлүштүрүлгөн электромагниттик толкундар болуп эсептелет. Эмне үчүн фотоэлектрондордун энергиясы жарыктын жыштыгы менен гана аныкталары жана жарык кичине толкун узундугу кезинде гана электрондорду бөлүп чыгарары түшүнүксүз болгон.

Фотоэффектинин түшүндүрүлүшү жарыктын үзгүлтүктүү чыгарылышы жөнүндөгү Планктын оюну андан ары өрчүтүү мезгилинде 1905-ж. Эйнштейн тарабынан чечилген. Эйнштейн фотоэффектинин эксперименттик закондорунан **жарык үзгүлтүктүү түзүлүшкө (структурага) ээ экендигинин жана ал айрым үлүштөр (порция) түрүндө жутула тургандыгынын** ишенимдүү далилдөөсүн көрө билген. Нурдануунун ар бир үлүшүнүн энергиясы Планктын гипотезасы менен толук дал келип, жыштыкка пропорциялаш:

$$E = h\nu, \quad (10.1)$$

мында  $h$  — Планк турактуусу. Планк далилдеп көргөзгөндөй жарыктын үлүш түрүндө нурдануусунан анын үзгүлтүктүү түзүлүштө боло тургандыгы далилдене койбойт. Жамгыр дагы жерге тамчы түрүндө түшөт. Бирок мындан суу үзгүлтүктүү түзүлүшкө ээ жана бөлүнбөс бөлүкчөлөрдөн — тамчылардан турат деп эсептөөгө болбойт. Фотоэффект кубулушу гана **жарык үзгүлтүктүү**

түзүлүшкө: жарык энергиясынын нурданган үлүшү  $E = h\nu$  андан ары да өзүнүн жекелик касиетин сактоого ээ экендигин көргөздү. Үлүш бүт бойдон гана жутулушу мүмкүн.

Фотоэлектрондун кинетикалык энергиясын энергиянын сакталуу законун колдонуп табууга болот. Жарык үлүшүнүн  $h\nu$  энергиясы  $A$  чыгуу жумушун аткарууга, б. а. металлдан электрондорду бөлүп чыгарууга жана электронго кинетикалык энергияны бериүүгө кетет. Демек,

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (10.2)$$

Бул теңдеме фотоэффектиге тиешелүү болгон негизги фактыларды түшүндүрөт. Жарыктын интенсивдүүлүгү Эйнштейндин аныктоосу боюнча, жарык шооласындагы энергиянын кванттарынын (үлүштөрүнүн) санына пропорциялаш, ошондуктан металлдан бөлүнүп чыккан электрондордун санын аныктайт. (10.2) теңдемесине ылайык электрондордун ылдамдыгы, жарыктын жыштыгы жана дагы металлдын теги менен анын бетинин абалына көз каранды болгон чыгуу жумушу аркылуу гана аныкталат. Ал жарыктын интенсивдүүлүгүнөн көз каранды эмес.

Ар бир зат үчүн фотоэффект, жарыктын  $\nu$  жыштыгы кандайдыр бир минималдуу  $\nu_{min}$  маанисинен чоң болгон учурда гана байкалат. Кинетикалык энергия бербестен электронду металлдан бөлүп чыгарыш үчүн  $A$  чыгуу жумушун аткаруу керек. Демек, кванттын энергиясы бул жумуштан чоң болушу керек:

$$h\nu > A.$$

Пределдик (четки) жыштыктагы  $\nu_{min}$  фотоэффектинин кызыл чеги деп аталат. Ал төмөндөгүдөй туюнтулат:

$$\nu_{min} = \frac{A}{h}. \quad (10.3)$$

$A$  чыгуу жумушу заттын тегинен көз каранды. Ошондуктан фотоэффектинин  $\nu_{min}$  пределдик жыштыгы (кызыл чеги) ар кандай заттар үчүн ар башка.

Цинк үчүн кызыл чекке  $\lambda_{max} = 3,7 \cdot 10^{-7}$  м (ультракызыл-көк нурдануу) толкун узундугу туура келет. Мына ушуну менен ультракызыл-көк нурларды кармап калуучу айнек пластинасы аркылуу фотоэффектини токтотуу боюнча жүргүзүлгөн тажрыйбалар түшүндүрүлөт.

Алюминийдин же темирдин чыгуу жумушу цинктикине караганда чоң. Ошондуктан § 77 та айтылган тажрыйбада цинк пластинасы пайдаланылган. Щелочтуу металлдарда тескерисинче чыгуу жумушу кичине, ал эми кызыл чегине туура келүүчү толкун узундугу  $\lambda_{max}$  чоң. Мисалы, натрий үчүн  $\lambda_{max} = 6,8 \cdot 10^{-7}$  м.

Эйнштейндин (10.2) теңдемесин пайдаланып, Планктын  $h$  турактуулугун табууга болот. Ал үчүн жарыктын  $\nu$  жыштыгын,  $A$  чыгуу жумушун эксперименттик жол менен аныктоо жана



фотоэлектрондордун кинетикалык энергиясын ченөө керек. Мындай түрдөгү өлчөөлөр менен эсептөөлөр  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с ны берет. Планк таптакыр башка кубулушту — жылуулук нурдануусун теориялык изилдөөдө да так эле ушул маанини тапкан. Ар кандай жолдор менен алынган Планк турактуулугунун маанилеринин дал келиши заттын жарыкты нурданышынын жана жутушунун үзгүлтүктүү мүнөзү жөнүндөгү болжолдоонун тууралыгын бекемдейт.

## 79. Фотондор

Чыгарууда жана жутулууда жарык жыштыктан көз каранды болгон  $E = h\nu$  энергиялуу бөлүкчөлөрдүн агымы катарында болот. Жарыктын үлүшүн кокусунан аны бөлүкчө деп кабыл алса да туура боло турган болуп чыкты. Нурданууда жана жутулууда байкалган жарыктын касиети корпускулалык деп аталат. Жарык бөлүкчөсүнүн өзү *фотон* же *жарык кванты* деген наамга ээ болгон.

Фотон бөлүкчө сыяктуу энергиянын белгилүү  $h\nu$  үлүшүнө ээ. Көпчүлүк учурларда фотондун энергиясы жыштык  $\nu$  аркылуу эмес циклдик жыштык  $\omega = 2\pi\nu$  аркылуу туюнтулат. Бул учурда пропорциялаштык коэффициенти катары  $h$  чоңдугунун ордуна

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \text{ чоңдугу (сызыкчалуу аш деп окулат) колдонулат.}$$

Ал азыркы кездеги тактыкта төмөнкүгө барабар:

$$\hbar = 1,0545887 (57) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с.}$$

Анда фотондун энергиясы төмөнкүчө туюнтулат:

$$E = h\nu = \hbar\omega. \quad (10.4)$$

Салыштырмалуулук теориясы боюнча энергия масса менен дайыма  $E = mc^2$  формуласы аркылуу байланышкан. Фотондун энергиясы  $h\nu$  га барабар болгондуктан, анын  $m$  массасы төмөнкүчө аныкталат:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (10.5)$$

Фотон тынч абалдагы  $m_0$  массага ээ эмес, б. а. ал эч качан тынч абалда боло албайт жана пайда болору менен эле  $c$  ылдамдыгына ээ болот. (10.5) формуласы менен аныкталуучу масса — бул кыймылдуу фотондун массасы. Фотондун белгилүү массасы жана ылдамдыгы боюнча анын импульсун табууга болот:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (10.6)$$

Фотондун импульсу жарык нуру боюнча багытталган.

Жыштыгы канчалык чоң болсо, фотондун энергиясы менен импульсу да ошончолук чоң болот жана жарыктын корпуску-

лалык касиети да ачыгыраак байкалат. Планк турактуулугунун кичинекейлигинен көзгө көрүнгөн жарыктын фотондорунун энергиясы эң эле аз. Жашыл жарыкка туура келүүчү фотондор  $4 \cdot 10^{-19}$  Дж энергияга ээ болушат.

Ошого карабастан С. И. Вавиловдун эң сонун тажрыйбаларында адамдын көзү «приборлордун» ичинен эң так жана айрым кванттар менен өлчөнүүчү жарыктанышынын айырмасын ажыратууга жөндөмдүү экендиги аныкталган.

**Комптондун эффектиси.** Электромагниттик нурдануунун кванттык касиети рентгендик жана гамма-нурларынын бош электрондордон чачыроо учурунан өзгөчө ачык көрүнөт. Бул учурда түшүүчү нурдануунун толкун узундугуна караганда чачыраган нурдануу кезиндеги толкун узундугу чоңойгондугу байкалат. Бул кубулуш 1922-ж. америкалык физик А. Комптон (1892—1962) тарабынан ачылган.

Электромагниттик талаанын классикалык теориясы боюнча нурдануунун бош электрондордо чачыроосу толкун узундугунун өзгөрүүсү менен жүрбөшү керек.  $v$  жыштыгындагы түшүүчү толкун ошондой эле жыштыктагы электрондорду аргасыз термелүүгө алып келет. Электрондор термелгенде  $v$  жыштыктагы экинчи электромагниттик толкундарды нурдантат. Бул чачыраган нурдануу болуп эсептелет. Анын толкун узундугу  $\lambda = \frac{c}{v}$  түшүүчү нурдануунун толкун узундугуна барабар болушу керек.

Чачыроо кезиндеги (Комптон эффектиси) толкун узундугунун өзгөрүүсүн түшүндүрүү  $E = hv$  энергиясына жана  $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hv}{c}$  импульсуна ээ болуп жарыктын бөлүкчөсү катары эсептелген фотондор жөнүндөгү түшүнүктөрдүн негизинде гана мүмкүндүк болду. Толкун узундугунун өзгөрүүсүн фотондун электрон менен кагылышкан кезиндеги энергиянын жана импульстун сакталуу закондорун колдонуп табууга болот. Фотон электрон менен кагылышканда ага өзүнүн энергиясынын бөлүгүн берет. Натыйжада электрондун энергиясы көбөйүп, ал эми фотондуку азаят. Энергиянын азайышы фотондун жыштыгынын азайышын, демек, нурдануунун толкун узундугунун чоңоюшун билдирет. Энергиянын сакталуу закону боюнча

$$hv + E_0 = hv' + E, \quad (10.7)$$

мында  $E_0 = m_0 c^2$  жана  $E$  — электрондун баштапкы (кагылышканга чейинки) жана акыркы энергиялары ( $m_0$  — электрондун кыймылсыз абалдагы массасы),  $v'$  — чачыраган фотондун жыштыгы.

Фотон электрон менен кагылышканда энергиясы гана эмес, ошондой эле фотондун импульсу да модулу жана багыты боюнча өзгөрөт. Фотондун импульсунун бөлүгү электронго берилет. 207-сүрөттө фотондун импульсунун кагылышканга чейинки ( $p = \frac{hv}{c}$ )



жана кагылышкандан кийинки  $(p' = \frac{h\nu'}{c})$  вектору берилген. Электрон кагылышканга чейин кыймылсыз абалда деп эсептелет. Кагылышкандан кийин ал  $\vec{p}_e$  импульсуна ээ болот. Импульстун сакталуу закону боюнча

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e. \quad (10.8)$$

Энергиянын (10.7) жана импульстун (10.8) сакталуу закондорунан чачыроо нурдануусунун толкун узундуктарынын  $\theta$  чачыроо бурчунан көз карандылыкта өзгөрүүсүн аныктоого болот (207-сүрөттү карагыла):

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_k \sin^2 \frac{\theta}{2}. \quad (10.9)$$

Мында  $\lambda_k = \frac{h}{m_0c} = 2,4 \cdot 10^{-10}$  м — электрондун комптондук толкун узундугу деп аталуучу турактуу чоңдук.

Комптондун тажрыйбалары (10.9) формуласынын тууралыгын далилдеди. Комптон рентген нурларынын парафинде, графитте ж. б. чачыроосун байкаган. Рентген нурларынын фотондорунун энергиясы бул заттардын атомдорунун иондошуу энергиясына салыштырганда өтө эле чоң. Фотондор электрондорду атомдордон ажыратып, аларга чоң энергия берет. Ошондуктан электрондорду бош жана кагылышканга дейре тынч абалда деп эсептөөгө болот. Электрондор тарабынан ээ болгон энергия өтө чоң болгондуктан Комптондун формуласын (10.9) чыгарууда электрондун энергиясы жана импульсу үчүн релятивдик маанилерин пайдалануу керек.

Эгерде фотоэффект кубулушу фотон  $E = h\nu$  энергиясына ээ экендигин далилдесе, анда Комптон эффектиси фотондун  $p = \frac{h\nu}{c}$  импульсуна ээ экендигинин эксперимент жүзүндөгү далилдөөсү болду. Бул жагынан алганда фотон бардык элементарлык бөлүкчөлөргө окшош келет.

**Корпускулалык-толкундук дуализм (эки жактуулук).** Ошентип окумуштуулар бөлүкчөлөрдүн агымы сыяктуу эле жарык жөнүндөгү түшүнүктү киргизүүгө муктаж болушкан. Бул Ньютондун корпускулалык теориясына кайрылуу болуп көрүнүшү мүмкүн. Бирок жарыктын интерференциясы жана дифракциясы жарыкта толкундук касиеттин бар экендиги жөнүндө толук ишенимдүү айтып жатканын унутпоо керек. Жарык өзгөчө дуализм (эки жактуу) касиетине ээ. Жарыктын таралышында анын толкундук касиети, ал эми зат менен өз ара аракеттенүүсүндө (нурдануусунда жана жутулуусунда) корпускулалык касиети байкалат. Мунун бардыгы, албетте, таң калардык жана адаттагыдай эмес. Мунун кантип ушундай болорун көз алдыга ачып элестетип көрүүгө бизде мүмкүнчүлүк жок. Бирок ошого карабастан бул факт. Биз микродүйнөдөгү процессти толугу менен көз алдыга элестетип көрүү мүмкүндүгүнө ээ эмеспиз, анткени

алар адам баласы миллион жылдар бою байкап, негизги закондору XIX кылымдын аягында формулировкаланган макрокопиялык кубулуштан таптакыр башка.

Убакыттын өтүшү менен касиеттердин эки жактуулугу электрондордо жана башка элементардык бөлүкчөлөрдө да ачылган. Электрон корпускулалык касиет менен катар ошондой эле толкундук касиетке да ээ. Электрондордун дифракциясын байкоого болот.

Микрообъектилердин мындай адаттан тышкаркы касиеттери *кванттык механиканын* — микробөлүкчөлөрдүн кыймылынын азыркы кездеги теориясы боюнча баяндалат. Ньютон механикасын бул жерде колдонууга болбойт. Бирок кванттык механиканы окуп-үйрөнүү физиканын мектептик курсуна кирбейт.

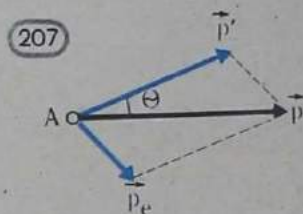
## 80. Фотоэффекттин колдонулуштары

Фотоэффекттин ачылышы жарыктын табиятын тереңирээк түшүнүү үчүн эң чоң мааниге ээ болот. Бирок илимдин баалуулугу бизди курчап турган дүйнөнүн татаал жана көп мүнөздүү түзүлүшүн түшүндүрүүдө эле эмес, ал ошону менен катар биздин колубузга кубаттуу каражат берет, аны колдонуу менен өндүрүштү өркүндөтүүгө коомдун материалдык жана маданий турмуш шартын жакшыртууга болот.

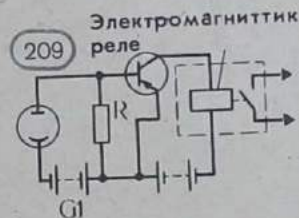
Фотоэффектинин жардамы менен кино «сүйлөдү» жана анын жардамы менен кыймылдагы сүрөттөлүштү (телекөрсөтүү) берүүгө мүмкүнчүлүк түзүлдү. Фотоэлектрондук приборлордун колдонулушу эч бир адамдын катышуусуз эле берилген чийме боюнча деталдарды даярдоочу станокторду курууга мүмкүндүк берди. Фотоэффектиге негизделип түзүлгөн приборлор иштелип чыгарылган буюмдардын өлчөмдөрүн ар кандай адамдан так текшере алат, маяктарды жана көчөдөгү жарыктарды өз убагында жандырып жана өчүрүп турат ж. б.

Ушунун бардыгы бир кыйла өркүндөтүлгөн түзүлүштөр — *фотоэлементтерди* ойлоп табуунун натыйжасында мүмкүн болду. Мында жарык энергиясы электр тогунун энергиясын башкарат же жарык энергиясы электр энергиясына өзгөртүлүп түзүлөт.

Азыркы кездеги фотоэлемент ички бетинин бир бөлүгү чыгуу жумушу аз болгон металлдын жука катмары менен капталган (208-сүрөт) айнек колбасы түрүндө болот. Бул — катод. Тунук «терезече» аркылуу жарык колбанын ичине өтөт. Анын борборунда зымдан жасалган илмек же диск — анод орношкон. Ал фотоэлектрондорду кармайт да батареянын оң уюлу менен туташтырылат. Азыркы убакта колдонулуп жаткан фотоэлементтер көзгө көрүнгөн жарыктарды, ал түгүл инфракызыл нурларды да сезет.







Жарык фотоэлементтин катодуна келип түшкөндө чынжырда бул же тигил релени туташтыруучу же ажыратуучу электр тогу пайда болот. Фотоэлементтин реле менен кошулушу ар кандай көргүч автоматтардын бир тобун конструкциялоого мүмкүндүк берет. Алардын бири — метродогу автомат. Ал эгер беш тыйындык монета салынбаса, жарык шооласын кесип өтөөрү менен эле ишке киришет (тосмону илгери жылдырып коёт).

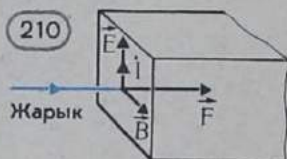
Ушул сыяктуу автоматтар аварияларды болтурбай коёт. Заводдо, эгер адамдын колу коркунучтуу зонада болсо, фотоэлемент кубаттуу процессти көз ачып-жумганча токтото алат.

Фотореленин схемасы 209-сүрөттө көрсөтүлгөн. Фотоэлементке жарык келип түшкөндө  $G1$  батареянын чынжырында  $R$  резистору аркылуу начар ток өтөт. Резистордун учтарына транзистордун базасы жана эмиттер туташтырылган. Базанын потенциалы эмиттердин потенциалынан жогору жана транзистордун коллектордук чынжырында ток жок. Адамдын колу коркунучтуу чөйрөгө жакындап барганда ал фотоэлементке түшүүчү жарык агымын тосуп калат. Эмиттер — база өтүүсү негизги алып жүрүүчүлөр үчүн ачылат да, коллектордун чынжырына туташтырылган реленин оромосу аркылуу ток жүрөт. Реле иштей баштайт. Реленин контактылары механизмдин азыктануу чынжыры менен туюкталып, прессти токтотот.

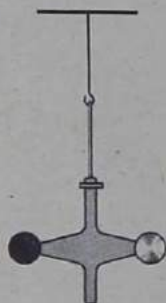
Фотоэлементтердин жардамы менен кинотасмага жазылып алынган үндөрдү кайрадан чыгаруу ишке ашырылат.

Бул главада каралган тышкы фотоэффект деп аталуучу фотоэффекттен тышкары жарым өткөргүчтөрдө ички фотоэффект да ар түрдүү колдонулуштарга ээ. Бул кубулуш фоторезисторлордо — каршылыгы жарыктаныштан көз каранды болгон приборлордо колдонулат. Мындан тышкары түздөн-түз жарык энергиясын электр тогунун энергиясына өзгөртүп түзүүчү жарым өткөргүчтүү фотоэлементтер конструкцияланды! Бул приборлордун өздөрү ток булагы болуп кызмат кыла алышат. Аларды жарыктанышты өлчөө үчүн, мисалы, фотоэкспонометрлерде пайдаланууга болот. Бардык космос кемелеринде орнотулуучу күн батареясынын аракети да ушундай принципке негизделген!

210



211



## 81. Жарыктын басымы

Максвелл жарыктын электромагниттик теориясынын негизинде жарык өзүнө жолуккан тоскоолдукка басым жасарын алдын ала айткан.

Толкундун электр талаасынын таасири астында телолордогу электрондор термелүү жасашат. Мындан электр тогу пайда болот. Бул ток электр талаасынын чыңалышын бойлото багытталган (210-сүрөт). Иреттүү кыймылдагы электрондорго магнит талаасы тарабынан  $\vec{F}$  Лоренц күчү таасир этет. Сол кол эрежеси боюнча Лоренц күчү толкундун таралуу жагына багытталган. Мунун өзү *жарык басымынын күчү* болот.

Максвелл теориясынын тууралыгын далилдөө үчүн жарыктын басымын өлчөө маанилүү болгон. Муну иш жүзүнө ашырыш үчүн көпчүлүк окумуштуулар аракеттенишкен, бирок жарыктын басымынын өтө эле кичинелигинен, ал аракеттенүүлөр натыйжасыз болуп келген. Жаркыраган ачык күндөрдө  $1 \text{ м}^2$  аянттагы бетке  $4 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$  го барабар гана күч таасир этет. Биринчи жолу жарык басымын 1900-жылы орустун атактуу физиги Петр Николаевич Лебедев өлчөгөн.

Лебедевдин прибору четтерине жеңил канатчалар чапталган ичке айнек жибине илинген эң эле жеңил стерженден турган (211-сүрөт). Прибор бүт бойдон абасы сордурулган идишке жайлаштырылган. Жарык болсо стержендин бир жагына бекитилген канатчага түшкөн. Басымдын чоңдугун жиптин толгонуу бурчу боюнча аныктаган. Жарыктын басымы так ченөөдөгү кыйынчылык идиштин ичиндеги абаны толук бойдон сордуруп чыгарууга мүмкүн эместиги менен байланышкан (абанын молекулалары канатча менен идиштин бетинин ар түрдүүчө ысышынын натыйжасында кыймылга келип, кошумча айландыруучу моменттердин пайда болушуна алып келет). Мындан тышкары жиптин толгонушуна канатчанын беттеринин бирдей эмес ысышы да таасир этет (жарык булагына караган бети ага карамакаршы бетке караганда көбүрөөк ысыйт). Азыраак ысыган жактан чагылган молекулаларга караганда көбүрөөк ысыган жактан чагылган молекулалар канатчага чоң импульсту берет.

Лебедев ошол кездеги эксперименттик техниканын төмөнкү



Лебедев Петр Николаевич (1866—1912) — орустун атактуу физиги, жарыктын катуу телолорго жана газдарга болгон басымын биринчи жолу өлчөгөн. Лебедевдин бул иштери Максвеллдин теориясын сан жагынан бекемдеди. Жарыктын электромагниттик теориясынын жаңы эксперименттик далилдөөсүн табууга аракеттенүү менен Лебедев миллиметрлүү узундуктагы электромагниттик толкундарды алган жана алардын бардык касиеттерин изилдеген. Лебедев Россияда физиктердин мектебин биринчи түзгөн. Советтик көрүнүктүү окумуштуулардын көпчүлүгү анын окуучулары. СССР ИАсынын (ФИАН) физика институту Лебедевдин наамында.



денгээлине карабастан, эң чоң идиш жана эң эле жука канатчаларды алуу менен бул кыйынчылыктарды жеңе алган. Натыйжада катуу нерсеге болгон жарык басымы далилденип, ал өлчөнгөн. Алынган сан Максвеллдин алдын ала айткандары менен дал келген. Андан дагы үч жыл эмгектенгенден кийин Лебедев дагы бир кыйла татаал экспериментти: газга болгон жарык басымын өлчөөнү иш жүзүнө ашырган.

Жарыктын квант теориясынын пайда болушу жарык басымынын себептерин эң эле жөнөкөй түшүндүрүүгө мүмкүндүк берди. Заттын тынч абалында массага ээ болуучу кадимки бөлүкчөлөрүндөй эле фотондор да импульска ээ болушат. Телого жутулган фотондор ага өзүнүн импульсун өткөрөт. Импульстун сакталуу законуна ылайык телонун импульсу жутулган фотондордун импульсуна барабар. Ошондуктан тынч турган тело кыймылга келет. Телонун импульсунун өзгөрүүсү Ньютондун экинчи законуна ылайык телого күч таасир эткендигин билдирет.

Лебедевдин тажрыйбаларын Комптондун тажрыйбалары катары эле фотондор импульска ээ экендигинин эксперименттик далили катары кароого болот.

Кадимки шартта жарык басымы эң эле аз болгону менен анын аракети олуттуу мааниге ээ болушу мүмкүн. Жылдыздын ичиндеги бир нече ондогон миллион кельвин температурада электромагниттик нурдануунун басымы эбегейсиз зор мааниге жетүүгө тийиш. Жарык басымынын күчтөрү гравитациялык күчтөр менен бирге жылдыздын ичиндеги процесстерде маанилүү роль ойнойт.

## 82. Жарыктын химиялык аракети. Фотография

Айрым молекулалар жарык энергиясын үлүш —  $h\nu$  квант боюнча жутат. Көзгө көрүнгөн жарык жана ультра-кызылт-көк нурдануулар учурунда бул энергия көп молекулалардын ажырашын пайда кылат. Мына ушундан *жарыктын химиялык ара-*



а)



б)

кети байкалат. Молекуланын кандайдыр бир түрдөн экинчи түргө айлануусу химиялык процесс болуп эсептелет. Көпчүлүк учурда жарыктын таасири менен молекулалар ажырагандан кийин химиялык айлануулардын бүтүндөй бир тизмеги башталат. Кездемелердин күндөн онушу жана дененин күнгө күйүшү — бул жарыктын химиялык аракетинен болот.

Жарыктын аракети менен бактардын жана чөптөрдүн жашыл жалбырактарында, ийне жалбырактуулардын ийнечелеринде жана көпчүлүк микроорганизмдерде маанилүү химиялык реакциялар жүрөт. Жашыл жалбырактарда Күндүн аракети менен Жердеги бардык жашоо үчүн зарыл болгон процесстер жүрөт. Алар бизге тамак-аш, дем алуу үчүн кычкылтек берет.

Жалбырактар абадан көмүр кычкыл газын жутуп, анын молекулаларын составдык бөлүкчөлөргө: көмүртек менен кычкылтекке ажыратат. Орустун биологу Климент Аркадьевич Тимирязев аныктагандай мындай кубулуш күн спектриндеги кызыл нурдун аракети менен хлорофилдин молекулаларында болуп өтөт. Өсүмдүктөр көмүртек тизмегине тамыры аркылуу жерден алынган башка элементтердин атомдорун кошуу менен белок, май жана углеводдордун молекулаларын — бизге жана жаныбарларга керектүү тамак-аш заттарын түзөт.

Мына ушунун баары күн нурунун энергиясынын эсебинен болот. Бирок бул жерде энергиянын өзү эмес, анын жерге берилүү формасы өзгөчө мааниге ээ. *Фотосинтез* (бул процесс ушундайча аталат) белгилүү спектрдик составдагы жарыктын аракети астында гана өтүшү мүмкүн.

Фотосинтездин механизми азыркы күндө аягына чейин аныктала элек. Ал толук чечилгенде адам баласы үчүн жаңы эранын башталышы мүмкүн. Анда белок менен башка органикалык зат-



тарды түз эле ачык асмандын астында фабрикаларда даярдоого мүмкүндүк болуп калат.

*Фотография* дагы жарыктын химиялык аракетинге негизделген.

**Фотография.** Фотопластинканын сезгич катмары желатинге чапталган бромдуу күмүштүн ( $AgBr$ ) майда кристаллдарынан турат. Жарык кванттарынын кристаллдарга түшүшү бромдун айрым иондоруна электрондордун бөлүнүшүн пайда кылат. Бул электрондор күмүштүн иондору тарабынан кармалып калат да, кристаллда күмүштүн бир аз сандагы нейтралдуу атомдору пайда болот. Бирок бул процесстин эсебинен бөлүнүп чыккан металл күмүшүнүн саны аз болот.

Фотопластинка (же фотоплёнка) жарык тийгенде убакыттын өтүшү менен карара баштайт, бирок анчалык эмес. Бул карара баштоо металл күмүшүнүн пайда болушунан келип чыгат. Жарыктын аракети менен фотопластинкада алынган объектинин сүрөттөлүшү *жабык сүрөттөлүш* деп аталат.

Пластинканы иштетүүдөгү биринчи операция аны *өчүнө чыгаруудан* турат. Пластинка гидрохинондун, метолдун же башка заттардын эритиндилерине салынат. Бул эритменин таасири астында жарыктын таасирине учураган бромдуу күмүштүн бардык кристаллдарында металл күмүшүнүн бөлүнүүсү жүрөт. Ошентип, пластинкада объектинин негативдүү сүрөттөлүшү алынат, мында ачык жарык жерлердин ордун кара тактар ээлейт жана тескерисинче (212-а, сүрөт).

Кийинки операция — *бекитүү*. Мында бромдуу күмүштүн калган кристаллдары эритилип, жуулуп ташталат. Мунун натыйжасында пластинка жарыкты сезбей калат. Бекитүү үчүн пластинканы гипосульфиттин эритиндисине салат. Сууга жуугандан кийин негатив даяр болот.

Аны фотокагазга, б. а. бетинде жарык сезгич катмары бар кадимки кагазга коюп жарыктантып, жогорку сыяктуу химиялык иштетүүдөн кийин позитивдик сүрөттөлүш алынат (212-б, сүрөт). Позитивде болсо жарык жана кара түстөрдүн жайланышы туура (алмашылбай) берилет.

Фотография экинчи кайталангыс, убакыт өткөн сайын улам артта кала берүүчү окуялардын элесин өтө так жана көпкө дейре сактала тургандай кылып берүүгө жөндөмдүү. Илим үчүн фотография чоң мааниге ээ. Өтө тез өтүүчү процесстерди, мисалы, чагылганды фотографиялап алып, андан кийин аны кылдаттык менен изилдөөгө болот.

Көз менен ажыратууга мүмкүн болбогон, эң эле начар жарык чыгаруучу объектилерди фотопластинканы ага каратып көп убакыт кармоо менен, б. а. аны көп убакытка чейин жарыктандыруу менен фотопластинкага түшүрүүгө болот. Ошондуктан, бизден эң эле алыс турган галактика сыяктуу объектилер алардын фотографиялары боюнча изилденет.

Азыркы кездеги техника көзгө көрүнгөн гана жарыкта эмес, ошондой эле караңгыда, инфракызыл нурлар аркылуу да фото-

графиялоого мүмкүндүк берет. Фотография кинодо үндү жазуу үчүн пайдаланылат.

### Суроолор

1. Жарыктын корпускулалык касиетке ээ экендигин кандай фактылар ырастайт?
2. Фотоэффектинин негизги закондору кайсылар?
3. Планк турактуусу эмнеге барабар?
4. Жарыктын термелүүсүнүн  $\nu$  жыштыгын билүү менен фотондун энергиясын, массасын жана импульсун кантип аныктоого болот?
5. Комптондун эффектиси эмнени түшүндүрөт?
6. Жарыктын басымы кайсы учурда чок: ал күзгүлүү бетке түшкөндөбү же капкара бетке түшкөндөбү?

### 11-көнүгүү

1. Фотоэлектрондордун кинетикалык энергиясынын жарыктын жыштыгынан болгон көз карандылык графигин чийгиле. Мындай графигин жардамы менен Планк турактуусун кантип аныктоого болот?
2. Чөйрөдө жарык фотонунун энергиясы  $E = 4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж жана толкун узундугу  $\lambda = 3,0 \cdot 10^{-7}$  м. Бул чөйрөнүн абсолюттук сынуу көрсөткүчүн тапкыла.
3.  $\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7}$  м толкун узундугуна туура келүүчү квант энергиясын аныктагыла.
4. Эгер фотоэлектрондор  $W_k = 4,5 \cdot 10^{-20}$  Дж кинетикалык энергияга ээ, ал эми электрондун металлдан чыгуу жумушу  $A = 7,6 \cdot 10^{-19}$  Дж болсо, анда металлдын бети жарыктандырылган жарыктын  $\lambda$  толкун узундугун аныктагыла.
5. Эгер электрондун металлдан чыгуу жумушу  $A = 3,3 \cdot 10^{-19}$  Дж болсо, фотоэффекттин  $\nu_{min}$  кызыл чеги кандай болот?
6.  $\lambda = 3,0 \cdot 10^{-7}$  м толкун узундугундагы нурдануу затка келип түшөт. Бул зат үчүн фотоэффекттин кызыл чеги  $\nu_{min} = 4,3 \cdot 10^{14}$  Гц.
7. Эгер жарыктын толкун узундугу  $\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7}$  м болсо, фотондун импульсу кандай болот?

### 10-главанын кыскача жыйынтыктары

XX кылымдын башында квант теориясы — элементардык бөлүкчөлөрдүн жана алардан турган системалардын кыймылдарынын жана өз ара аракеттенүүлөрүнүн теориясы пайда болду.

Жылуулук нурдануусунун законченемдүүлүктөрүн түшүндүрүү үчүн М. Планк атомдор электромагниттик энергияны үзгүлтүксүз эмес, өзгөчө үлүш (порция) — кванттар түрүндө чыгарышат деп болжолдогон. Ар бир үлүштүн энергиясы төмөнкү формула боюнча аныкталат:

$$E = h\nu,$$

мында  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — Планктын турактуулугу,  $\nu$  — жарыктын жыштыгы.

Электромагниттик энергия да ошондой эле өзүнчө үлүш (порция) түрүндө жутулат. Бул фотоэффект (жарыктын таасири менен заттан электрондордун бөлүнүп чыгышы) кубулушу менен түшүндүрүлөт. Бөлүнүп чыккан электрондордун саны жарыктын интенсивдүүлүгүнө пропорциялаш, ал эми электрондордун кинетикалык энергиясы жарыктын жыштыгы менен гана аныкталат.



Эйнштейндин айтуусу боюнча жутулган энергиянын  $h\nu$  бөлүгү металлдан электронду бөлүп чыгаруучу  $A$  жумушту аткарууга жана ал электронго кинетикалык энергияны берүүгө кетет:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Эгер жарыктын жыштыгы  $\nu < \nu_{\min} = \frac{A}{h}$  болсо, анда фотоэффект байкалбайт.

Ошентип, нурданууда жана жутулууда жарык корпускулалык касиетке ээ. Жарык бөлүкчөсү жарык кванты же фотон деп аталат. Фотондун энергиясы төмөнкү формула менен аныкталат: мында  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-35}$  Дж·с, ал эми  $\omega$  — циклдик жыштык.

Фотондун  $p$  импульсу  $p = \frac{h}{\lambda}$  формуласы менен аныкталат.

Жарык өзүнүн таралуу процессинде толкундук касиетке (интерференция жана дифракция кубулуштары) ээ болот. Ошентип, жарык дуализм (эки жактуулук) касиетине ээ. Андан кийин бардык элементардык бөлүкчөлөр корпускулалык толкундук дуализмге ээ экендиги табылган.

Фотоэффект техникада кеңири колдонулат. Атайын приборлордо — фотоэлементтерде — жарык энергиясы электр тогунун энергиясын башкарат, же ага айланат. Фотоэлементтер ар кандай «көрүүчү» автоматтарда колдонулат. Күн батареясынын түзүлүшү да фотоэффект кубулушуна негизделген.

Жарыктын тоскоолдукка басым жасаары Максвелл теориясынан келип чыккан. Бул басым өтө эле кичине. Ал биринчи жолу П. Н. Лебедев тарабынан байкалып жана өлчөнүлгөн.

Жарыктын затка жутулушу жарыктын химиялык аракетинин негизинде жүрөт. Өсүмдүктөрдүн жашыл жалбырактарында жана көптөгөн микроорганизмдерде негизги химиялык реакциялар жарыктын таасири астында жүрөт. Жалбырактар көмүр кычкыл газын атмосферадан жутуп, аны көмүртек жана кычкылтекке ажыратат. Фотосинтез процесси мына ушундан турат.

## 11-глава

### Атом физикасы

#### 83. Атомдун түзүлүшү. Резерфорддун тажрыйбалары

Атомдун татаал түзүлүшүнүн ачылышы — физиканын андан аркы бардык өсүшүнө из калтырган азыркы кездеги физиканын пайда болушунун маанилүү этабы. Атом спектрлерин түшүндү-



Резерфорд Эрнест (1871—1937) — англиялык улуу физик, Новая Зеландияда туулган. Өзүнүн эксперименттик ачылыштары менен Резерфорд атомдун түзүлүшү жана радиоактивдүүлүк жөнүндөгү азыркы кездеги окуп үйрөнүүлөргө негиз салды. Ал атом ядросунун боло тургандыгын ачкан жана биринчи болуп атом ядросунун жасалма айлануусун иш жүзүнө ашырган. Анын койгон тажрыйбаларынын бардыгы өтө эле жөнөкөйлүгү жана дааналыгы менен айырмаланган. Ар кайсы өлкөнүн таланттуу көп физиктери Резерфорддун окуучулары болушкан.

рүүгө мүмкүндүк берүүчү атом түзүлүшүнүн сандык теориясын түзүү процессинде микробөлүкчөнүн кыймылынын жаңы закондору — квант механикасынын закондору ачылган.

**Томсондун модели.** Окумуштуулар атомдун түзүлүшү жөнүндөгү туура түшүнүккө түз эле келе коюшкан жок. Атомдун биринчи модели электронду ачкан англиялык физик Дж. Дж. Томсон тарабынан сунуш кылынган. Томсондун ою боюнча атомдун оң заряды атомдун бүт көлөмүн ээлеп, бул көлөмдө турактуу тыгыздык менен бөлүштүрүлгөн. Жөнөкөй атом — суутектин атому — ичинде электрону бар радиусу  $10^{-8}$  см чамасындагы оң заряддалган шарды элестетет. Татаалыраак атомдордун оң заряддалган шарында бир нече электрондор болот. Ошентип атом, жүзүм кошуп жасалган кекске окшоп кетет, мындагы жүзүмдөр электрондордун милдетин аткарат.

Бирок Томсон түзгөн атомдун модели атомдо оң заряддын бөлүштүрүлүшүн изилдөө боюнча жүргүзүлгөн тажрыйбага толук карама-каршы келген. Биринчи жолу англиялык улуу физик Эрнест Резерфорд тарабынан жүргүзүлгөн бул тажрыйбалар атомдун түзүлүшүн түшүнүүдө чоң роль ойногон.

**Резерфорддун тажрыйбалары.** Электрондордун массасы атомдун массасынан бир нече миң эсе кичине. Жалпысынан атом нейтралдуу болгондуктан, анын негизги массасы оң заряддалган бөлүгүнө туура келет.

Оң заряддардын, демек, атомдун ичинде массанын бөлүштүрүлүшүн эксперименттик жол менен изилдөө үчүн 1906-жылы Резерфорд  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн жардамы менен атомду изилдөөнү сунуш кылган. Бул бөлүкчөлөр радийдин жана кээ бир башка элементтердин бөлүнүшүнөн пайда болот. Алардын массасы болжол менен электрондордун массасынан 8000 эсе чоң, ал эми оң заряд модулу боюнча электрондун эки эселенген зарядына барабар. Бул толук иондоштурулган гелийдин атомдорунун дал өзү.  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн ылдамдыгы эң эле чоң; ал жарык ылдамдыгынын  $1/15$  бөлүгүн түзөт.



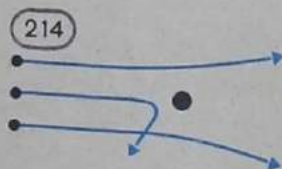
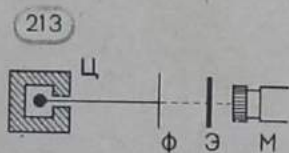
Бул бөлүкчөлөр менен Резерфорд оор элементтердин атомдун бомбалаган. Автомобилге бир нече ондогон грамм таш тийгенде анын ылдамдыгын билинерлик даражада өзгөртө албаган сыяктуу эле, өзүнүн массасынын аздыгына байланыштуу электрондор да  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн траекторияларын сезилерлик өзгөртө алышпайт.

$\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн чачыроосун (кыймыл багыттарынын өзгөрүшүн) атомдун оң заряддалган бөлүгү гана пайда кыла алат. Ошентип,  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн чачыроосу боюнча атомдун ичиндеги оң заряд менен массанын бөлүштүрүлүш мүнөзүн аныктоого болот. Резерфорддун тажрыйбаларынын схемасы 213-сүрөттө көрсөтүлгөн.

Радиоактивдүү препарат, мисалы, радий коргошундан жасалган, ичке каналы бар Ц цилиндрине коюлган. Каналдан чыккан  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн тобу изилденип жаткан материалдан (алтын, жез ж. б.) жасалган жука Ф фольгасына келип түшөт. Чачырагандан кийин  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү цинктин сульфиди менен капталган жарым тунук Э экранына тийет. Ар бир бөлүкчөнүн экранга урунушу жарк этүүнү (сцинтилляцияны) пайда кылат. Аны М микроскобу менен байкоого болот. Бүт прибор ичинен абасы сордурулуп ташталган идишке орноштурулган.

Приборлордун ичинде абасыз боштук жакшы болуп, фольга жок болсо, экранда  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн ичке шооласынан пайда болгон сцинтилляциядан турган жарык тегерекче пайда болгон. Бирок  $\alpha$ -бөлүкчөлөр тобунун жолуна фольганы койсо, анда  $\alpha$ -бөлүкчөлөр чачыроонун натыйжасында экранда чоң аянттагы тегеректи ээлейт.

Эксперименттик түзүлүштү модификациялоо менен Резерфорд,  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн чоң бурчтарга кыйшайганын байкоого аракеттенген. Таптакыр күтүлбөгөн жерден  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн бир аз саны (болжол менен эки миңден бирөө)  $90^\circ$  тан чоң бурчка кыйшайгандыктары байкалган. Өзүнүн окуучуларына  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн чоң бурчка чачырашы боюнча эксперимент жүргүзүүнү сунуш кылып, анын оң жыйынтыгына өзү ишенбегендигин кийинчерээк Резерфорд мойнуна алган. «Бул, эгер сиз 15-дюймалуу снаряд менен жука кагаздын бир үзүгүн атсаңыз, снаряд андан



кайтып келип өзүңүзгө тийген сыяктуу эле эч акылга сыйбай турган окуя»,— деп айткан Резерфорд.

Чындыгында эле бул жыйынтыкты Томсондун моделинин негизинде алдын ала билүүгө мүмкүн эмес эле. Оң заряд бүткүл атом боюнча бөлүштүрүлгөндө ал заряд  $\alpha$ -бөлүкчөсүн артка түртүп жиберүүгө жөндөмдүү болгон жетишерлик интенсивдүү электр талаасын түзө албайт. Максималдуу түртүү күчү Кулондун закону боюнча аныкталат:

$$F_{max} = \frac{q_{\alpha}q}{4\pi\epsilon_0 R^2}, \quad (11.1)$$

мында  $q_{\alpha}$  — бул  $\alpha$ -бөлүкчөнүн заряды,  $q$  — атомдун оң заряды,  $R$  — анын радиусу,  $\epsilon_0$  — электр турактуусу. Бирдей заряддалган шардын электр талаасынын чыңалышы анын бетинде максималдуу жана борборуна жакындаган сайын нөлгө чейин кемийт. Ошондуктан,  $R$  радиусу канчалык кичине болсо,  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүн түртүүчү күч ошончолук чоң болот.

**Атом ядросунун өлчөмүн аныктоо.** Атомдун оң заряды жана анын массасы мейкиндиктин эң эле кичине аймагына топтошкон учурда гана  $\alpha$ -бөлүкчө кайра артка түртүлөрүн Резерфорд түшүнгөн. Ошентип, *Резерфорд атом ядросу — атомдун бүткүл оң заряды жана бүткүл массасы топтоштурулган жөнөкөй өлчөмдөгү тело деген идеяга келген.*

214-сүрөттө ядродон ар кандай аралыкта учуп өтүүчү  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүнүн траекториялары көрсөтүлгөн.

Ар кандай бурчтарга чачыраган  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүнүн санын эсептөө менен Резерфорд ядронун өлчөмүн таба алган. Ядронун диаметри  $10^{-12}$ — $10^{-13}$  см чамасында болгон (ар кандай ядролордун диаметри ар башка). Атомдун өзүнүн өлчөмү  $10^{-8}$  см, б. а. ядронун өлчөмүнөн 10—100 миң эсе чоң. Кийинчерээк ядронун зарядын да аныктоого мүмкүндүк болду. Электрондун зарядын бирге барабар деп алган учурда, ядронун заряды так алганда Менделеевдин таблицасындагы берилген химиялык элементтин номерине барабар.

**Атомдун планеталык модели.** Резерфорддун тажрыйбаларынан түздөн-түз атомдун планеталык модели келип чыгат. Борборунда оң заряддалган атом ядросу жайланышкан, ал эми ядрого дээрлик бүт масса топтошкон. Атом бүт бойдон нейтралдуу. Ошондуктан атом ичиндеги электрондордун саны ядронун заряды сыяктуу эле элементтердин мезгилдүү системасындагы катар номерине барабар.

Атомдун ичинде электрондордун кыймылсыз болушу мүмкүн эмес, эгер алар кыймылсыз болушса ядрого түшүп кетишери белгилүү. Планеталар Күндүн айланасында айланган сыяктуу эле электрондор ядронун айланасында айланышат. Электрондордун мындай мүнөздөгү кыймылы ядро тарабынан болгон кулон күчүнүн аракетин боюнча аныкталат.

Суутектин атомунда ядронун айланасында бар болгону бир



гана электрон айланат. Суутектин атомунун ядросу модулу боюнча электрондун зарядына барабар, массасы электрондун массасынан болжол менен 1836,1 эсеге чоңдук кылган оң зарядга ээ. Бул ядро *протон* деп аталып, элементардык бөлүкчө катары каралып калган. Атомдун өлчөмү — бул анын электронунун орбитасынын радиусу болот (215-сүрөт).

Атомдун жөнөкөй жана көрсөтмөлүү планеталык модели түздөн-түз эксперименттик негиздөөгө ээ. Ал  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүнүн чачырашы боюнча жүргүзүлгөн тажрыйбаларды түшүндүрүү үчүн өтө зарыл сыяктуу. Бирок бул модель менен атомдун *бар-экендигин*, анын *туруктуулугун* түшүндүрүүгө болбойт. Анткени, электрондордун орбита боюнча кыймылдары жетишерлик ылдамданууда болот. Максвелл электродинамикасынын закондору боюнча, ылдамдануу менен кыймылдаган заряд, жыштыгы анын ядронун айланасында айланган айлануу санына барабар болгон электромагниттик толкунду нурдантууга тийиш. Нурдантуу энергиянын жоголушунун негизинде жүрөт. Энергиясын жоготуу менен электрондор, спутник атмосферанын жогорку катмарларында тормоздолуунун натыйжасында Жерге жакындаган сыяктуу ядрога жакындашы керек. Ньютон механикасына жана Максвелл электродинамикасына негизделген өтө так эсептөөлөр көргөзгөндөй, электрон эң кыска убакыт ичинде ( $10^{-8}$  с чамасында) ядрога түшүп, атом жок болушу керек эле.

Чындыгында, бул айтылганга окшогон эч кандай кубулуш болбойт. Атомдор туруктуу жана дүүлүкпөгөн абалында да электромагниттик толкундарды таптакыр нурдантпастан, чексиз көп убакытка чейин жашай алат.

Нурданууга энергияны расходдоонун негизинде атомдун сөзсүз жок болушу жөнүндөгү корутундунун тажрыйба менен пикир келишпөөчүлүгү — бул классикалык физиканын закондорун атомдун ичинде өтүүчү кубулушка колдонуунун натыйжасы болуп эсептелет. Мындан, атомдук масштабдагы кубулуштарга классикалык физиканын закондору колдонулбайт деген жыйынтык келип чыгат.

#### 84. Бор постулаттары

Табияттагы процесстер жөнүндөгү кванттык түшүнүктөрдүн андан ары өсүш жолунда өтө эле кыйын шарттан чыгуу жагы 1913-жылы даниялык атактуу физик Нильс Бор тарабынан табылган.

Эйнштейн дайыма өзүн таң калтыруучу Бор тарабынан иштелген ишти «ой жүгүртүү чөйрөсүндөгү жогорку музыкалуулук» катарында баалаган. Бор тажрыйбалардын башаламан фактыларын негиз кылып, гениалдуу сезимдүүлүктүн жардамы менен иштин маңызын туура, алдын ала биле алган.

Бирок Бор атомдун *ырааттуу* теориясын берген жок. Ал жаңы теориянын негизги жоболоруна постулаттар түрүндө гана анык-

тама берген. Бирок ал тарабынан классикалык физиканын закондору да биротоло четке кагылган эмес. Жаңы постулаттар классикалык физикада мүмкүн болгон кыймылга бир катар гана чектөөлөрдү койгон.

Ага карабастан Бор теориясынын жетишкендиги таң каларлык болуп теорияны өркүндөтүүдө анын туура жол тапканы бардык окумуштууларга белгилүү болгон. Бул жол акыры микробөлүкчөлөрдүн кыймылынын туура түзүлгөн теориясын — *квант механикасын* түзүүгө алып келди.

Бордун биринчи постулаты мындай айтылат: *атомдук система өзгөчө стационардык же кванттык абалдарда гана болушу мүмкүн; бул абалдардын ар бирине белгилүү  $E_n$  энергия туура келет; стационарлык абалда атом нурданбайт.*

Бул постулат классикалык механикага карама-каршы. Классикалык механика боюнча кыймылдагы электрондордун энергиясы ар кандай болушу мүмкүн. Ал Максвелл электродинамикасына да карама-каршы, анткени электрондор электромагниттик толкундарды нурдантпастан туруп ылдамдатылган кыймылга келе алышат деген мүмкүнчүлүккө жол берген.

Бордун экинчи постулаты боюнча *атом бир стационардык абалдан экинчисине өткөндө, электромагниттик энергиянын квантын жутат же чыгарат.*

Атом чоң энергетикалык абалдан кичине энергетикалык абалга өткөндө нурдануу болот (216-а, сүрөт).

Атомдун энергияны жутушу атомдун кичине энергетикалык абалдан чоң энергетикалык абалга өтүшү менен коштолот (216-б, сүрөт).

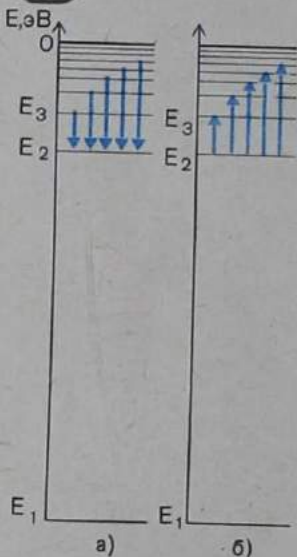
Фотондун энергиясы стационардык эки абалдагы атомдун энергияларынын айырмасына барабар:

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n \quad (11.2)$$

мында  $k$  жана  $n$  — стационардык абалдардын номери.  $E_k > E_n$  болгондо фотондун нурдануусу, ал эми  $E_k < E_n$  болгондо анын жутулушу болот.

Чыгарылуучу (же жутулуучу) кванттын нурдануусуна тиешелүү болгон термелүү жыштыгы төмөнкү формула менен аныкталат

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{E_k}{h} - \frac{E_n}{h} \quad 11.3$$





**Бор Нильс** (1885—1962) — даниялык улуу физик. Атомдун биринчи кванттык теориясын түзгөн, андан кийин квант механикасынын негизин түзүүгө өтө активдүү катышкан. Ошону менен бирге Бор атом ядросунун теориясына жана ядролук реакцияга чон салымын кошкон. Ал айрым алганда, атом ядросу эң чон энергияны бөлүп чыгаруу менен бөлүнөрүн туюнтуучу теорияны өнүктүргөн. Бор Копенгагенде физиктердин мектебин түзгөн жана бүткүл дүйнөнүн физиктеринин өз ара биргелешип иштешин өркүндөтүү үчүн көп аракеттенген. Бор адамзаттын атом коркунучуна каршы күрөшкө активдүү катышкан.



Экинчи постулат да Максвеллдин электродинамикасына карама-каршы келет, анткени экинчи постулат боюнча нурданган жарыктын жыштыгы электрондун кыймылдарынын өзгөчөлүктөрү жөнүндө эмес, атомдун энергиясынын өзгөрүшү жөнүндө гана баяндайт.

Бор өзүнүн постулаттарын жөнөкөй атомдук системанын — суутектин атомунун теориясын түзүү үчүн колдонгон.

Мында негизги максат суутек чыгарган электромагниттик толкундардын жыштыктарын табуу болгон. Эгер атомдун энергиясынын стационардык маанилерин аныктоо эрежесине таянса, анда бул жыштыктарды экинчи постулаттын негизинде табууга болот. Бор бул эрежени да постулатташтырган. Бор тарабынан түзүлгөн теория суутектин атому нурданткан жыштык үчүн жасалган эксперимент менен сандык жагынан эң жакшы дал келишүүгө алып келет.

## 85. Бор боюнча суутектин атомунун модели

(кошумча окуу үчүн)

Бор жөнөкөй тегерек орбиталарды карап көргөн. Электрондун ядро менен өз ара аракеттешүүсүнүн потенциалдык энергиясы төмөнкү формула менен аныкталат:

$$W_p = - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

мында  $e$  — электрондун зарядынын модулу, ал эми  $r$  — электрондон ядрога чейинки аралык. Потенциалдык энергия терс мааниде, анткени өз ара аракетке келүүчү бөлүкчөлөр карама-каршы белгидеги заряддарга ээ болушат.

Ньютон механикасы боюнча атомдун  $E$  толук энергиясы кинетикалык жана потенциалдык энергиялардын суммасына барабар:

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (11.4)$$

Электрондун ылдамдыгы менен анын орбитасынын радиусунун ортосунда Ньютондун экинчи законунан келип чыгуучу байланыш бар. Борборго умтулуучу ылдамдануу  $\frac{v^2}{r}$  орбитадагы электронго кулондук күч берет. Ошондуктан

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{r} &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \\ \text{же} \\ mrv^2 &= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}. \end{aligned} \quad (11.5)$$

(11.4) формулага бул катыштан табылган ылдамдыктын маанисин коюп төмөнкүнү алабыз:

$$E = - \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}. \quad (11.6)$$

Классикалык механика боюнча орбитанын радиусу ар кандай мааниге ээ болушу мүмкүн. Демек, энергия да ар кандай мааниге ээ боло алат.

Бирок Бордун биринчи постулаты боюнча энергия белгилүү гана  $E_n$  маанисине ээ. Ошондуктан (11.6) боюнча суутектин атомунун орбиталарынын радиустары да каалагандай боло беришпейт.

**Кванттоо эрежеси.** Бордун кванттоо эрежеси орбитанын мүмкүн болуучу радиустарын жана ага ылайык атомдогу энергиянын мүмкүн болуучу маанилерин аныктайт.

Электрон тегерек орбита боюнча кыймылда болгондо орбитанын радиусу  $r$  жана анын  $mv$  импульсунун модулу өзгөрүүсүз калышат. Демек,  $mvr$  чоңдугу да өзгөрүүсүз калат. Механикада бул чоңдук импульстун моменти деп аталат. Бор импульстун моментинин белгилениши менен Планк турактуусунун белгилениши дал келишерине көңүл бурган:

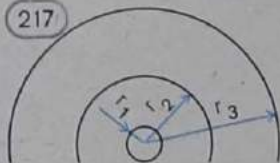
$$\text{Дж} \cdot \text{с} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м}.$$

$\hbar$  турактуусу атомдун теориясында негизги ролду ойнойт деген ишенимде болуу менен Бор импульстун модулуунун орбитанын радиусуна болгон көбөйтүндүсү  $\hbar$  Планк турактуусуна эселүү деп божомолдогон:

$$mvr = n \cdot \hbar,$$

мында  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Бул кванттоо эрежесинин өзү.

**Орбиталардын радиустары.** Кванттоо эрежесинин жардамы аркылуу ылдамдыкты (11.5) формуласынан чыгарып салууга жана орбитанын мүмкүн болгон радиусу үчүн туюнтманы алууга болот:





$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{me^2}. \quad (11.7)$$

Бор орбитасынын радиустары  $n$  санын өзгөрткөн сайын дискреттүү алмашылат (217-сүрөт). Планк турактуусу, электрондун массасы жана заряды электрондук орбиталардын мүмкүн болгон маанилерин аныктайт. Электрондун массасы  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг экендигин эске алып, орбитанын эң кичине радиусун табабыз:

$$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Бул, атом радиусунун так өзү. Бор теориясы радиус үчүн туура маанини берет. Атомдун өлчөмдөрү кванттык закондор аркылуу аныкталат (радиус Планк турактуусунун квадраты менен аныкталат). Классикалык теория эмне үчүн атом  $10^{-11}$  м тартибиндеги өлчөмгө ээ экендигин түшүндүрө албайт.

**Стационардык абалдардын энергиялары.** (11.7) деги орбиталардын радиустары үчүн болгон маанини (11.6) формулага коюп, атомдун стационардык абалдарынын энергияларынын маанилерин (энергетикалык деңгээлдерди) алабыз:

$$E_n = - \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{me^4}{2\hbar^2} n^2 \quad (11.9)$$

216-а жана 216-б, сүрөттөрдө энергиянын бул маанилери вертикаль октордо жайлаштырылган. Төмөнкү энергетикалык абалда ( $n=1$ )

$$E_1 = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{me^4}{2\hbar^2} = -2,168 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} = -13,55 \text{ эВ}^1.$$

Атом бул абалда каалагандай узак убакытка чейин боло алат. Суутектин атомун иондоштуруш (андан электронду бөлүп чыгарыш) үчүн атомго 13,55 эВ энергия берүү керек. Бул энергия иондоштуруу энергиясы деп аталат.

$n=2, 3, 4, \dots$  дан баштап бардык абалдар дүүлүккөн атомго туура келет. Бул абалдардагы атомдордун жашоо убактысы  $10^{-8}$  с га чамалаш болот. Ушул убакыт ичинде электрон ядронун айланасында жүз миллионго чамалаш айлануу жасоого үлгүрөт.

**Жарыктын нурданышы.** Бордун экинчи постулаты боюнча суутектин атомунун нурдануусунун мүмкүн болгон жыштыгы төмөнкү формула менен аныкталат:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{me^4}{4\pi\hbar^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (11.10)$$

<sup>1</sup> Атомдук физикада энергияны электронвольт (эВ) менен белгилөө кабыл алынган. 1 эВ электрондун 1 В потенциалдар айырмасына жүргөндө ээ болгон энергиясына барабар; 1 эВ =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж.

мында

$$R = \frac{me^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 \cdot 4\pi\hbar^3} \approx 3,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1} \quad \text{— турактуу чоңдук.}$$

Суутектин атомунун нурдануусунун бардык жыштыгы ар бирине  $n$  санынын белгилүү гана мааниси жана  $k > n$  санынын ар кандай маанилери туура келүүчү сериялардын катарын түзөт.

Берилген сериянын спектрдик сызыктарын нурдантуу жогорку энергетикалык деңгээлден төмөнкүлөрдүн бирине өтүүдө болот. Биринчи дүүлүккөн абалга (жогорку деңгээлден экинчи энергетикалык деңгээлге) өтүүлөр *Бальмердин сериясын* түзүшөт. 216-а, сүрөттө бул өтүүлөр жебелер менен көрсөтүлгөн. Суутектин спектринин көрүнгөн бөлүгүндөгү кызыл, жашыл жана көк сызыктар (түстүү тиркемедеги V, 3-сүрөт) төмөнкү өтүүлөргө туура келет:

$$E_3 \rightarrow E_2, E_4 \rightarrow E_2, E_5 \rightarrow E_2 \text{ жана } E_6 \rightarrow E_2.$$

Бул серия швейцариялык мугалим Я. Бальмердин наамында аталган. Ал 1885-жылы эле эксперименттин негизинде суутектин спектринин көрүнгөн бөлүгүнүн жыштыгы төмөнкү катышты канааттандыраарын белгилеген:

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right).$$

**Жарыктын жутулушу.** Жарыктын жутулушу — нурданууга тескери процесс. Атом жарыкты жутуу менен төмөнкү энергетикалык абалдан жогоркуга өтөт. Бул учурда жутулуучу жарыктын жыштыгы ал жогорку энергетикалык абалдан төмөнкүгө өтүүдө нурданган жарыктын жыштыгынын так өзүн түзөт. 216-б, сүрөттө жебелер менен атомдун бир абалдан башкаларына жарыкты жутуу менен өтөрү көрсөтүлгөн.

## 86. Бор теориясынын кемчилдиги. Квант механикасы

Бор теориясы суутектин атомуна колдонууда көрүнүктүү ийгиликке ээ болду, анткени бул атом үчүн спектрдин сандык теориясын түзүүгө мүмкүн болгон болучу.

Бирок бордук элестетүүлөрдүн негизинде сандык теорияны суутектен кийинки эле гелийдин атомуна түзүүгө мүмкүндүк болгон эмес. Гелийге жана андан татаал атомдорго карата Бордун теориясы сапаттык гана (эң негизги болсо да) корутунду чыгарууга мүмкүндүк бере алган.

Бул таң каларлык эмес. Бор теориясы ички карама-каршылыгы бар жарым жартылай теория болуп эсептелет. Суутектин атомунун теориясын түзүүдө бир жагынан биз көргөндөй Ньютон механикасынын кадимки эле закондорун жана эчактан бери белгилүү болгон Кулон законун колдонсо, ал эми экинчи жагынан Ньютон механикасы жана Максвелл электродинамикасы ме-



нен эч бир байланышпаган кванттык постулаттар киргизилет. Физикага кванттык түшүнүктөрдүн киргизилиши механика менен электродинамиканы таптакыр кайра түзүүнү талап кылган. Бул кайра түзүү биздин кылымдын экинчи чейрегинин башталышында, физикалык жаңы теориялар: кванттык механика жана кванттык электродинамика түзүлгөн кезде иш жүзүнө ашырылган.

Бор постулаттары эң эле туура болуп чыккан. Бирок алар эми постулаттар катарында эмес, бул теориялардын негизги принциптеринин натыйжалары катары болуп калды. Бордун кванттоо эрежесинин бардык эле учурда колдонула бербей тургандыгы белгилүү болду.

Бордун атомунда электрон кыймылда болуучу белгилүү орбита жөнүндөгү түшүнүк өтө эле шарттуу болгон. Чындыгында электрондун атомдогу кыймылынын планетанын орбита боюнча кыймылы менен эң эле аз жалпылыгы бар. Эгер суутектин атомун эң эле төмөнкү энергетикалык абалында көп убакыт берүү менен фотографиялоого мүмкүн болсо, анда биз өзгөрмөлүү тыгыздыкка ээ болгон булутту көрөр элек. Электрон убакыттын көп бөлүгүн ядродон белгилүү бир аралыкта өткөрөт. Ушул аралыкты одоно алганда орбитанын радиусуна окшоштурууга болот.

Азыркы кезде квант механикасынын жардамы менен атомдордун электрондук оболочкаларынын түзүлүштөрүнө жана касиеттерине тиешелүү ар кандай суроолорго жооп берүүгө болот. Бирок сандык теория бир топ татаалдык кылат, ошондуктан аны карабайбыз. Ал эми атомдордун электрондук оболочкаларын сапаттык жагынан сүрөттөп көрсөтүүгө силер химия курсунан таанышыңар.

## 87. Лазерлер

**Аргасыздан (индуцирленген) нурдануу.** 1917-жылы Эйнштейн жарыктын атомдор тарабынан аргасыздан нурданышынын мүмкүндүгүн алдын ала айткан. Аргасыздан нурдануу деп дүүлүккөн атомдордун ага берилген жарыктын таасири астында нурдануусун түшүнүшөт. Бул нурдануунун эң сонун өзгөчөлүгү болуп аргасыздан нурданууда пайда болгон жарык толкундарынын атомго түшкөн толкундан *жыштыгы, фазасы, поляризациясы* менен да айырмаланбагандыгы эсептелет.

Квант теориясынын тили менен айтканда аргасыз нурдануу, атомдун кадимки нурданууларындай өз эркинче эмес тышкы аракеттин таасири менен жогорку энергетикалык абалынан төмөнкүсүнө өтүшүн билдирет.

**Лазерлер.** 1940-жылы советтик физик В. А. Фабрикант аргасыз нурдануу кубулушун электромагниттик толкунду күчөтүү үчүн колдонуу мүмкүндүгүн көргөзгөн. 1954-жылы советтик окумуштуулар Н. Г. Басов менен А. М. Прохоров жана алар-

га байланышсыз америкалык физик Ч. Таунс аргасыздан нурдануу кубулушун  $\lambda=1,27$  см толкун узундугундагы микротолкундуу радио толкундун генераторун түзүүгө пайдаланышкан. Генерациянын жаңы принцибин иштеп чыгуу жана радио толкунду күчөтүү иштери үчүн 1959-жылы Н. Г. Басовго жана А. М. Прохоровго Лениндик сыйлык ыйгарылган. 1963-жылы Н. Г. Басов, А. М. Прохоров жана Ч. Таунс Нобель сыйлыгына татыктуу болушкан.

1960-ж. АКШда биринчи жолу лазер<sup>1</sup> — спектрдин көрүнгөн диапазонундагы электромагниттик толкундардын кванттык генератору түзүлгөн.

**Лазердик нурдануунун касиеттери.** Жарыктын лазердик булактары жарыктын башка булактарына караганда бир катар олуттуу артыкчылыктарга ээ:

1. Лазерлер ажыроо бурчу кичине ( $10^{-5}$  рад чамасында) эң эле ичке жарык шооласын түзүүгө жөндөмдүү. Жерден жиберилген жарыктын ушундай тобу Айда диаметри 3 км келген такты берет.

2. Лазердин жарыгы өзгөчө монохроматикалуу. Атомдору жарыкты бири биринен көз каранды болбой нурдантуучу кадимки жарык булактарына караганда, лазерлерде атомдор жарыкты өз ара байланышта нурдантышат. Ошондуктан толкундардын фазасы иретсиз өзгөрүүлөргө туш келбейт.

3. Лазерлер эң кубаттуу жарык булактары болушат. Спектрдин ичке интервалында нурдануунун кубаттуулугу аз ( $10^{-11}$  с) убакытта  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> ка чейин жетет. Ошол эле убакытта Күндүн нурдануусунун кубаттуулугу бардык спектр боюнча жалпы алганда араң гана  $7 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup> ка барабар болот.  $\Delta\lambda=10^{-6}$  см (лазердин спектрдик сызыктарынын туурасы) ичке аралыкка Күндүн нурдануусунан болгону 0,2 Вт/см<sup>2</sup> туура келет. Лазер нурданткан электромагниттик толкундагы электр талаасынын чыңалышы, атомдун ичиндеги талаанын чыңалышынан ашыктык кылат.

**Лазердин иштөө принциби.** Кадимки шарттарда көпчүлүк атомдор төмөнкү энергетикалык абалда болушат. Ошондуктан төмөнкү температурада заттар жарык чыгарбайт.

Электромагниттик толкундар зат аркылуу өткөндө анын энергиясы жутулуп калат. Толкундун жутулган энергиясынын эсебинен атомдордун бир бөлүгү дүүлүгүүгө келишет, б. а. жогорку энергетикалык абалга өтүшөт. Бул учурда жарык агымынан 2 жана 1 деңгээлдеринин ортосундагы энергиялардын айырмасына барабар болгон

$$h\nu = E_2 - E_1$$

энергия алынат. 218-а, сүрөттө схема түрүндө дүүлүкпөгөн атом жана электромагниттик толкун синусоиданын кесиндиси ка-

<sup>1</sup> Лазер — англис тилиндеги *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* («аргасыздан нурдануунун жардамы менен жарыкты күчөтүү») деген сөздөрдүн биринчи тамгаларынан түзүлгөн термин.



тары көрсөтүлгөн. Электрон төмөнкү деңгээлде турат. Ал эми 218-б, сүрөттө энергияны жутуу менен дүүлүккөн атом сүрөттөлгөн. Дүүлүккөн атом кагылышуудан кийин өзүнүн энергиясын жанындагы атомдорго бериши же каалаган багытка фотон түрүндө чыгарышы мүмкүн.

Эми кандайдыр бир жол менен чөйрөнүн атомдорунун бир топ бөлүгүн дүүлүктүрдүк дейлик. Анда жыштыгы

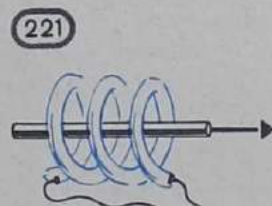
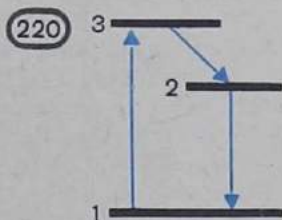
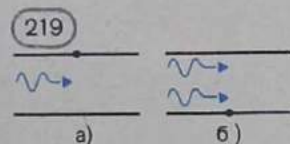
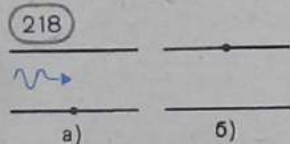
$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

болгон электромагниттик толкун зат аркылуу толук өткөндө бул толкун начарлабайт, тескерисинче, аргасыздан нурдануунун эсебинен күчөйт. Анын таасири аркасында атомдор жыштыгы жана фазасы боюнча түшүүчү толкунга дал келүүчү толкунду нурдантуу менен өз ара байланышта төмөнкү энергетикалык абалга өтүшөт. 219-а, сүрөттө дүүлүккөн атом жана толкун көргөзүлгөн, ал эми 219-б, сүрөттө атомдун негизги абалга өтүшү жана толкундун күчөшү схема түрүндө берилген.

**Үч деңгээлдүү система.** Дүүлүккөн абалдагы атомдуу чөйрөнү алуу үчүн ар түрдүү методдор бар. Бул үчүн рубиндүү лазерлерде атайын кубаттуу лампа колдонулат. Атомдор жарыкты жутуунун эсебинен дүүлүгүшөт.

Бирок лазердин иштеши үчүн эки деңгээлдүү энергия жетишсиздик кылат. Лампанын жарыгы канчалык кубаттуу болбосун дүүлүккөн атомдун саны дүүлүкпөгөндөрдүн санынан ашык болбойт. Анткени, жарык бир убакытта атомдорду дүүлүктүрүү менен бирге жогорку деңгээлден төмөнкүгө аргасыздан өтүүнү пайда кылат.

Бул абалдан чыгуу үч энергетикалык деңгээлди пайдалануу менен табылган (жалпы деңгээлдин саны дайыма эле көп болот, бирок бул жерде сөз «иштөөчү» деңгээлдер жөнүндө бо-



луп жатат). 220-сүрөттө үч энергетикалык деңгээл сүрөттөлүп көрсөтүлгөн. Тышкы таасир жок кезде система ар кандай энергетикалык абалдарда болуучу убакыт («жашоо убактысы») бирдей эмес. Система 3-деңгээлде эң эле аз,  $10^{-8}$  с чамасында жашайт, андан кийин система жарыкты нурдантпастан өз эркинче 2-абалга өтөт. (Энергия бул учурда кристаллдык торчого берилет.) 2-абалда жашоо убактысы 100 000 эсеге көбөйөт, б. а.  $10^{-3}$  с чамасындагы убакытты түзөт. Тышкы электромагниттик толкундун таасири астында 2-абалдан 1-абалга өтүү нурдануу менен жүрөт. Бул лазерлерде колдонулат. Кубаттуу лампа жарк дегенде система 3-абалга өтөт жана  $10^{-8}$  с чамасындагы убакыттан кийин 2-абалда болуп калат да, анда мурдакысына караганда көпкө жашайт. Мына ошентип, дүүлүккөн экинчи деңгээлдин дүүлүкпөгөн 1-деңгээлге салыштырганда «толуп кетүүсү» пайда болот. Рубиндин кристаллдарында зарыл болгон энергетикалык деңгээлдер бар. Рубин — бул  $Al_2O_3$  алюминий оксиди менен хромдун атомдорунун (0,05% ке жакыны) кошулмасынын ачык-кызыл кристаллы. Кристаллдагы хромдун иондорунун деңгээлдеринин өзү талап кылынган касиеттерге ээ болушат.

**Рубин лазерлеринин түзүлүшү.** Рубин кристаллынан учтары жалпак-параллель стержень даярдалат. Спираль формасындагы газ разряддуу лампа (221-сүрөт) көк-жашыл жарык берет. Сыйымдуулугу бир нече миң микрофарада келген конденсатордун батареясынан токтун кыска мөөнөттүү импульсу лампанын ачык жарк этип күйүшүн пайда кылат. Бир аз убакыттан кийин 2 энергетикалык деңгээл «толуп кетет».

Өз эркинче  $2 \rightarrow 1$  өтүүнүн натыйжасында толкундар бардык мүмкүн болгон багыттар боюнча нурдана баштайт. Алардын ичине кристаллдын огуна бурч боюнча таралгандары андан чыгып кетишет да, кийинки процесстерде эч кандай роль ойнобойт. Бирок кристаллдын огун бойлото кеткен толкун анын туурасынан кесилиштеринен бир нече ирет чагылат. Ал хромдун дүүлүккөн иондорунда аргасыздан нурданууну болтуруп, тез күчөйт.

Рубин стерженинин туурасынан кесилиштеринин бири күзгүдөй жалтырак, ал эми экинчиси жарым-тунук түрүндө жасалат. Ал аркылуу параграфтын башталышында айтылган эң сонун касиеттерге ээ болуучу кызыл жарыктын кыска убакытта (созулушу жүздөгөн микросекундачалык) болуучу кубаттуу импульсу чыгат. Толкун когеренттүү болот, анткени бардык атомдор өз ара байланышта нурданышат жана эң кубаттуу болот, себеби аргасыздан нурданууда бардык запастагы энергия эң эле кыска убакыт ичинде бөлүнүп чыгат.

**Лазердин башка түрлөрү.** Биз таанышып өткөн рубин лазерин импульстук режимде иштейт. Ошондой эле үзгүлтүксүз аракет этүүчү лазерлер да бар.

Ушундай түрдөгү газдык лазерлерде жумушчу зат болуп газ эсептелет. Жумушчу заттын атомдору электрдик разряд менен дүүлүктүрүлөт.



Үзгүлтүксүз аракет этүүчү жарым өткөргүчтүү лазерлер да колдонулат. Алар биринчи жолу биздин өлкөдө түзүлгөн. Аларда нурдануу үчүн энергия электр тогунан алынат.

Жүздөгөн киловатта үзгүлтүксүз аракеттенүүчү эң эле кубаттуу газодинамикалык лазерлер түзүлдү. Бул лазерлерде жогорку энергетикалык деңгээлдердин «толуп кетүүсү» бир нече миң градускельвинге дейре ысытылган газдардын үн ылдамдыгынан жогорку агымынын кеңейишинен жана адиабаттык муздашынан пайда болот.

**Лазерлердин колдонулушу.** Лазердик нурду байланыш үчүн, өзгөчө жарыкты жутуучу булуттары жок космос мейкиндигинде колдонуу эң эле перспективалуу.

Лазер нурунун эбегейсиз кубаттуулугу материалдарды вакуумда буулантуу үчүн, ширетүү үчүн ж. б. колдонулат. Лазер нуру менен хирургиялык операцияларды жүргүзүүгө, мисалы, көздүн кычыгында пайда болгон челди «бириктирүүгө» болот; лазер нурунун когеренттүүлүгүн пайдаланып, буюмдардын көлөмдүк сүрөттөлүшүн алышат.

Лазерлер жарык *локаторун* түзүүгө мүмкүндүк берди. Анын жардамы менен нерсеге чейинки аралык бир нече миллиметрге чейинки тактыкта өлчөнөт. Радиолокаторлор менен мындай тактыкта өлчөөгө мүмкүн эмес.

Лазердик нурдануу менен атомдорду же молекулаларды дүү-лүктүрүүдө, алардын ортолорунда кадимки шарттарда болбой турган химиялык реакцияларды пайда кылууга болот.

Башкарылуучу термоядролук реакцияны иш жүзүнө ашырыш үчүн кубаттуу лазер нурларын колдонуу алдыдагы иш (12-главаны карагыла).

Азыркы кезде лазерлер ар түрдүү жана көптөгөн колдонулуштарга ээ болду. Алардын бардыгын бул жерде санап отурууга мүмкүн эмес.

## Суруолор

1. Эмне үчүн атомдун терс заряддалган бөлүкчөсү  $\alpha$ -бөлүкчөнүн чачырашына билинерлик өлчөмдө таасирин тийгизе албайт?

2. Эгер атомдун оң заряды анын бүткүл көлөмү боюнча бөлүштүрүлгөн болсо, анда эмне үчүн  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү чоң бурчтарга чачырай албайт?

3. Атомдун планеталык модели классикалык физиканын закондору менен туура келбейт. Эмне үчүн?

4. Бор постулаттары жана кванттоо эрежеси эмнени билдирет?

5. Лазердин нурдануусу кызытма лампанын нурдануусунан эмнеси боюнча айырмаланат?

## 12-көнүгүү

1.  $R=5$  номерлүү абалдан  $n=1$  номерлүү абалга өтүүдө орбитанын радиусу жана суутектин атомунун энергиясы канча эсеге өзгөрөт?

2. Бордук биринчи орбитада электрон-

дун  $v$  ылдамдыгы жана  $a$  ылдамдануусу кандай болушат?

3.  $\alpha$ -бөлүкчө менен калайдын ядросу борбордук кагылышууда кандай минималдуу аралыкка жакындашат?  $\alpha$ -бө-

лүкчөнүн ылдамдыгы  $10^9$  см/с, анын массасы  $6,7 \cdot 10^{-24}$  г га барабар. Калайдын ядросун кыймылсыз деп эсептегиле.

4. Суутектин атомунун  $R=4$  номердүү

стационардык абалынан  $l=2$  номердүү абалга өтүүсүндө анын чыгарган жарыгынын толкун узундугун аныктагыла.

5. Бальмер сериясындагы толкундардын минималдуу узундугун аныктагыла.

## 11-главанын кыскача жыйынтыктары

Резерфорд  $\alpha$ -бөлүкчөнүн заттан чачырашын изилдөө менен атом ядросунун болушун далилдеди. Оң заряд жана атомдун дээрлик бардык массасы атомдук ядрога топтолгон. Анын өлчөмү  $10^{-12} - 10^{-13}$  см чондугун түзөт. (Бул атомдун өлчөмүнөн  $10-100$  миң эсе кичинелик кылат.) Атом ядросунун заряды Менделеев таблицасындагы элементтин катар номерин электрондун зарядынын модулуна көбөйткөнгө барабар. Суутектин атомунун ядросу болуп протон эсептелет.

Өзүнүн тажрыйбаларынын негизинде Резерфорд атомдун планеталык моделин сунуш кылган. Бул моделде планеталар Күндүн айланасында айланган сыяктуу, электрондор да ядронун айланасында айланышат. Бирок классикалык физиканын закондору боюнча мындай атом туруктуу болушу мүмкүн эмес. Электрондор энергияны жоготуу менен нурданууга жана ядрога түшүп калууга тийиш. Чындыгында бардык атомдор туруктуу.

Квант теориясын андан ары өркүндөтүү ишинде Бор бул кыйынчылыктан чыгуу жолун тапкан. Бор Ньютондун классикалык механикасына жана Максвеллдин электродинамикасына карамакаршы келген эки постулатын сунуш кылган.

Бордун биринчи постулаты мындай айтылат: атомдук система өзгөчө стационардык же кванттык абалдарда гана болушу мүмкүн, бул абалдардын ар бирине белгилүү  $E_n$  энергия туура келет; стационардык абалда атом нурданбайт.

Бордун экинчи постулаты боюнча жарыктын нурданышы же жутулушу атомдун бир стационардык абалынан экинчисине өткөндө болот. Нурданган же жутулган фотондун энергиясы стационардык абалдардын энергияларынын айырмасына барабар:

$$h\nu_{kn} = E_r - E_n.$$

Бордун теориясы суутектин нурданган сызыктуу спектрлеринин бардык жыштыктары үчүн туура маанилерди берген. Андан тышкары ал суутектин атомунун радиусун жана анын иондоштуруу энергиясын теория жүзүндө аныктоого мүмкүндүк берди.

Бирок, Бордун теориясы логикалык удаалаштыкка ээ боло албады. Анын негизинде татаалыраак атомдордун (гелийдин атомунун ж. б.) сандык теориясын түзүүгө мүмкүн эмес. Кванттык түшүнүктү киргизүү механиканы жана электродинамиканы түп-тамырынан бери кайра өзгөртүп түзүүнү талап кылды. Мында өзгөртүп түзүү үстүбүздөгү жүз жылдыктын 20-жылдарында иш жүзүнө ашырылды. Квант механикасы жана квант электродинамикасы түзүлдү.



Нурдануунун кванттык теориясынын негизинде радиотолкундардын кванттык генератору жана көзгө көрүнгөн жарыктын кванттык генераторлору — лазерлер түзүлдү. Лазерлер кубаттуулугу эң чоң когеренттүү нурданууну пайда кылды. Лазерлер нурдануусу илим менен техниканын ар кандай областтарында кеңири колдонулушка ээ болууда.

## Атом ядросунун физикасы

### 88. Элементардык бөлүкчөлөрдү байкоо жана каттоо жолдору

**Атом ядросу жана элементардык бөлүкчөлөр.** *Атом ядросу жана элементардык бөлүкчөлөр* деген сөздөр буга чейин бир нече жолу айтылган. Атом ядро менен электрондордон турарын билесинер. Атомдук ядронун өзү элементардык бөлүкчөлөрдөн турат.

Атом ядросунун өзгөрүүсүн жана түзүлүшүн изилдөөчү физиканын бөлүгү *ядролук физика* деп аталат.

Адегенде *ядролук физика* жана *элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасы* деп бөлүнгөн эмес. Ядролук процесстерди үйрөнүүдө физиктер элементардык бөлүкчөлөр дүйнөсүнүн ар түрдүүлүгүнө туш келишкен. Элементардык бөлүкчөлөр физикасын изилдөөнүн өзүнчө областы катары бөлүп кароо жакында эле, 1950-жылдарда болду. Эми биз физиканын өз алдынча эки бөлүмүнө ээбиз: алардын биринин мазмунун атом ядролорун окуп үйрөнүү түзсө, экинчисинин мазмунун, элементардык бөлүкчөлөрдүн табиятын, касиеттерин жана өз ара бири бирине айланууларын окутуу түзөт. Бирок каралып жаткан проблема боюнча ошондой эле изилдөө методдору боюнча да бул эки бөлүмдө тең көп жалпылык сакталып калган.

Убакыттын көбүн ядролук физиканын негизги суроолоруна бөлөбүз жана акырында гана элементардык бөлүкчөлөрдүн касиеттерине кыскача токтолуп кетебиз. Бирок адегенде атомдук ядронун жана элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасынын пайда болушуна жана өнүгүшүнө көбүнчө мүмкүндүк берген түзүлүштөр менен таанышабыз. Бул — ядролор жана элементардык бөлүкчөлөрдүн кагылышууларын жана өз ара бири бирине айланыштарын каттоо жана үйрөнүү үчүн пайдалануучу түзүлүш. Мына ушулардын өзү микродүйнөдө болуучу окуялар жөнүндөгү зарыл информацияларды берет.

**Элементардык бөлүкчөлөрдү каттоо үчүн приборлордун аракет этүү принциптери.** Элементардык бөлүкчөлөрдү же кыймылдагы атом ядролорун каттоочу ар кандай түзүлүш дүрмөттөлүп,

222



223

Айнек пластина



машаасы (курок) тартылып коюлган мылтыкка окшош болот. Жумшалган аракетке салыштырууга болбой турган эффектинин — атылуунун пайда болушу үчүн мылтыктын машаасын акырын гана басып коюу жетиштүү.

Регистрациялоочу прибор — бул аздыр-көптүр татаал түзүлүштөгү, туруксуз абалда боло алуучу микроскоптук система. Учуп өтүүчү бөлүкчөлөрдөн пайда болгон бир аз эле дүүлүгүүдөн ошол замат системанын жаны, туруктуу абалга өтүү процесси башталат. Бул процесс бөлүкчөнү каттоого мүмкүндүк берет. Азыркы кезде бөлүкчөлөрдү каттоочу көптөгөн ар кандай методдор пайдаланылат.

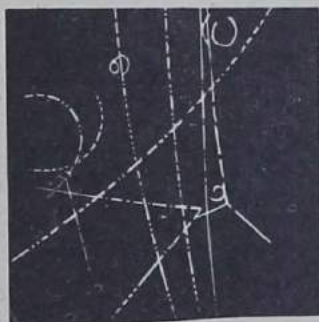
Эксперименттин максатына жана ал өткөрүлгөн шарттарга жараша бири биринен негизги мүнөздөмөлөрү боюнча айырмаланышкан тигил же бул каттоочу түзүлүштөр колдонулат.

**Гейгердин газоразряддуу эсептегичи.** Гейгер эсептегичи — бөлүкчөлөрдү автоматтуу эсептөө үчүн маанилүү приборлордун бири болуп эсептелет.

Эсептегич (222-сүрөт) ичинен металл катмар менен капталган (катод) айнек түтүкчөсүнөн жана түтүкчөнүн огун бойлото кеткен ичке металл зымынан (анод) турат. Түтүкчөгө газ, адатта аргон толтурулат. Эсептегичтин иштеши кагылуу менен иондоштурууга негизделген. Заряддалган бөлүкчө (электрон,  $\alpha$ -бөлүкчө ж. б.) газ аркылуу учуп бара жатып атомдордон электрондорду бөлүп алып, оң иондорду жана бош электрондорду түзөт. Анод менен катоддун ортосундагы (аларга жогорку чыңалуу берилет) электр талаасы электрондорду кагылуу менен иондошуу башталуучу энергияга чейин ылдамдатат. Иондордун селдей агымы пайда болуп, эсептегич аркылуу өтүүчү ток кескин жогорулайт. Бул учурда тоскоолдуктун  $R$  резисторунда чыңалуунун импульсу пайда болуп, ал каттоочу түзүлүшкө берилет.

Эсептегич өзүнөн кийинки келип түшүүчү бөлүкчөнү каттай алсын үчүн селдей болгон зарядды токтотуусу зарыл. Ал авто-





маттык жол менен болот. Анткени токту импульсу пайда болгон моментте тоскоолдуктун  $R$  резисторунда чыңалуунун өтө төмөндөп кетүүсү пайда болот. Мунун негизинде анод менен катоддун ортосундагы чыңалуу разряд токтолгонго чейин азаят.

Гейгер эсептегичи негизинен электрондорду жана  $\gamma$ -кванттарды (чоң энергиялуу фотондорду) каттоо үчүн колдонулат. Бирок  $\gamma$ -кванттарды алардын иондоштуруу жөндөмдүүлүктөрүнүн аздыгына байланыштуу түздөн-түз каттабайт. Аларды табуу үчүн түтүктүн ички бетин материал менен каптайт, андан  $\gamma$ -кванттар электрондорду чыгарат.

Эсептегич ага тийген электрондордун дээрлик баарын каттайт; ал эми  $\gamma$ -кванттар болсо болжол менен жүздүн бирин гана каттай алат. Оор бөлүкчөлөрдү (мисалы,  $\alpha$ -бөлүкчөнү) каттоо кыйыныраак, анткени эсептегичте бул бөлүкчөлөр үчүн тунук болуучу жетишерлик жукалыктагы «терезечени» жасоо бир далай кыйынчылыкты туудурат.

Азыркы убакта Гейгер эсептегичине караганда башка принциптерде иштөөчү эсептегичтер түзүлгөн.

**Вильсон камерасы.** Эсептегичтер бөлүкчөлөрдүн алар аркылуу өтүү фактысын каттоого жана анын айрым мүнөздөмөлөрүн аныктоого гана мүмкүндүк берет. 1912-жылы түзүлгөн Вильсон камерасында заряддалган тез кыймылдагы бөлүкчөлөр артына из калтырат, аны түздөн-түз байкоого, же фотографиялоого болот. Бул приборду микродүйнөдөгү «терезече», б. а. элементардык бөлүкчөлөрдүн жана алардан турган системанын дүйнөсү деп атаого болот.

Вильсон камерасынын аракетин өтө каныккан буулардын тамчы сууну пайда кылышы менен иондорго конденсацияланышына негизделген. Бул иондорду кыймылдагы заряддалган бөлүкчөлөр өздөрүнүн траекторияларын бойлото пайда кылышат.

Вильсон камерасы ичинде суунун же спирттин каныгууга жакындатылган буусу толтурулуп, герметикалуу жабылган идишти элестетет (223-сүрөт). Поршендин алдындагы газдын басымынын азайышына байланыштуу поршень кескин түшүрүлгөндө камерадагы буу адиабаттык кеңеет. Мунун себебинен муздоо пайда болот да, буу өтө каныккан болуп калат. Бул буунун турук-

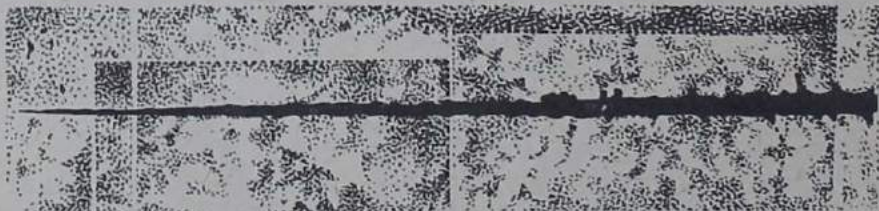
суз абалы: буу оңой эле конденсацияланат. Учуп бараткан бөлүкчөнүн камеранын жумушчу көлөмүнө пайда кылган иондору конденсациянын борбору болуп калышат. Эгер бөлүкчө камерага түздөн-түз газдын кеңейүүсү алдында же кеңейээри менен эле кире алса, анда анын жолунда суунун тамчылары пайда болот. Бул тамчылар учуп өткөн бөлүкчөлөрдүн көзгө көрүнгөн изин — *тректи* пайда кылат (224-сүрөт). Андан кийин камера кайрадан баштапкы абалына келет да, иондор электр талаасы менен чыгарылат. Камералардын өлчөмдөрүнө жараша жумуш аткаруу абалынын калыбына келүү убактысы бир нече секундадан ондогон минутага чейин өзгөрөт.

Вильсон камерасындагы трек берген информация эсептегичтер бере алуучу информациялардан алда канча көптүк кылат. Тректин узундугу боюнча бөлүкчөнүн энергиясын аныктоого болот, ал эми тректин узундук бирдигине туура келген тамчылардын саны боюнча бөлүкчөнүн ылдамдыгы бааланат.

Бөлүкчөнүн треги канчалык узун болсо, анын энергиясы ошончо чоң. Тректин узундугунун бирдигинде суунун тамчысы канчалык көп пайда болсо, анын ылдамдыгы да ошончолук кичине. Чоң заряддуу бөлүкчөлөр чоң кеңдиктеги тректерди калтырышат.

Советтик физиктер П. Л. Капица жана Д. В. Скобельцин Вильсон камерасын бир тектүү магнит талаасына орнотууну сунуш кылышкан. Магнит талаасы кыймылдагы заряддалган бөлүкчөгө белгилүү күч (Лоренц күчү) менен таасир этет. Бул күч бөлүкчөнүн ылдамдыгынын модулу өзгөртпөстөн, анын траекториясын кыйшайтат. Бөлүкчөнүн заряды канчалык чоң болуп, анын массасы канчалык кичине болсо, трек ошончолук чоң ийгиликке ээ болот. Тректин ийрилиги боюнча зарядынын анын массасына болгон катышын аныктоого болот. Эгер бул чоңдуктардын бири белгилүү болсо, анда экинчисин эсептеп чыгарууга болот. Мисалы, бөлүкчөнүн заряды жана анын трегинин ийрилиги боюнча массаны аныктоого болот.

**Көбүктүү (пузырьковая) камера.** 1952-жылы америкалык окумуштуу Д. Глейзер тарабынан бөлүкчөлөрдүн тректерин алыш үчүн өтө ысытылган суюктукту пайдалануу сунуш кылынган. Мындай суюктукта заряддалган бөлүкчөлөрдүн тез кыймылынан түзүлгөн иондордо бөлүкчөлөрдүн көрүнүүчү трегин берүүчү буу-





нун көбүктөрү пайда болот. Ушундай түрдөгү камералар көбүктүү деп аталат.

Суюктуктун температурасы атмосфералык басым кезинде кайноо температурасынан жогору болгондугуна карабастан, баштапкы абалда суюктук камерада кайнап кетүүдөн сактоочу жогорку басымдын астында болот. Басымды кескин төмөндөткөндө суюктук өтө ысып кетет да, ал бир аз убакытка туруксуз абалда калат. Так ушул убакытта учуп өткөн заряддалган бөлүкчөлөр буунун көбүктөрүнөн турган тректердин пайда болушуна алып келет (225-сүрөт). Суюктук катары негизинен суюк суутек жана пропан колдонулат. Көбүктүү камеранын иштөө циклинин узактыгы анча деле чоң эмес — болгону 0,1 секунда чамасында.

Вильсон камерасына караганда көбүктүү камеранын артыкчылыгы иштөөчү заттын тыгыздыгынын чоң болушунда. Мунун негизинде бөлүкчөлөрдүн жүрүү аралыгы жетишерлик кыска болот, ал эмес чоң энергиялуу бөлүкчөлөр да камерада тоскоолдукка учурашат. Бул болсо бөлүкчөлөрдүн ирети менен бири бирине айланууларынын сериясын жана андан пайда болгон реакцияларды байкоого мүмкүндүк берет.

Вильсон камерасы менен көбүктүү камерадагы трек бөлүкчөлөрдүн жалпы абалы жана касиеттери жөнүндөгү информациянын негизги булактарынын бири болуп эсептелет.

Элементардык бөлүкчөлөрдүн издерин байкап көрүү күчтүү таасирди пайда кылат, микродүйнө менен кездешүү сезимин түзөт.

**Калың катмарлуу фотоэмульсия методу.** Вильсон камерасы жана көбүктүү камералар менен катар бөлүкчөлөрдү каттоо үчүн калың катмарлуу фотоэмульсия колдонулат. Тез кыймылдагы заряддалган бөлүкчөлөрдүн фотопластинканын эмульсиясына жасаган иондоштуруу аракетин 1896-жылы француз физиги А. Беккерелге радиоактивдүүлүктү ачууга мүмкүндүк түзгөн. Фотоэмульсия методу советтик физиктер Л. В. Мысовский, А. П. Жданов ж. б. тарабынан өнүктүрүлгөн.

Фотоэмульсияда бромдуу күмүштүн көп сандаган микроскоптук кристаллдары болот. Тез кыймылдагы заряддалган бөлүкчө кристаллдан өтүп кетүү менен бромдун айрым атомдорунан электрондорду бөлүп чыгарат. Мындай кристаллдардын тизмеги жашыруун (жабык) сүрөттөлүштү берет. Өңүнө чыгарууда бул кристаллдарда металл күмүштөр калыбына келтирилип, күмүштүн майда калдыктарынын тизмеги бөлүкчөлөрдүн тректин түзөт (226-сүрөт). Тректин узундугу жана жазылыгы боюнча бөлүкчөлөрдүн энергиясы менен массасын аныктоого болот.

Фотоэмульсиянын тыгыздыгы чоң болгондуктан, тректер да эң эле кыска алынат (радиоактивдүү элементтерден чыккан  $\alpha$ -бөлүкчөлөр үчүн  $10^{-3}$  см чамасында), бирок аларды фотографиялоодо узартууга болот.

Фотоэмульсиянын артыкчылыгы анын аракетинин үзгүлтүксүз суммаланып турушунда. Бул болсо чанда болуучу кубулушту

каттоого мүмкүндүк берет. Фотоэмульсиянын өтө тормоздоочу жөндөмдүүлүгүнүн натыйжасында бөлүкчөлөр менен ядролордун ортолорундагы кызыктуу реакциялар көп санда байкала тургандыгы өзгөчө маанилүү болуп саналат.

## 89. Радиоактивдүүлүктүн ачылышы

*Радиоактивдүүлүктүн ачылышы* — атом ядросунун составынын татаалдыгын далилдөөчү кубулуш. Бул ачылыш күтүлбөгөн жерден ийгиликке дуушар кылган. Рентген нурлары биринчи жолу тез кыймылдагы электрондордун разряд түтүгүнүн айнек капталына урунушунан алынгандыгын билесинер. Электрондордун урунушунда түтүктүн капталынан жаркыроолор байкалган. Беккерель көп убакыт бою буга окшогон кубулушка — күн нуру менен алдын ала нурдантылып коюлган заттын жаркыроосуна изилдөө жүргүзгөн. Мындай заттардын катарына мисалы, Беккерель эксперимент жүргүзгөн уран тузун кошууга болот.

Беккерель төмөнкүдөй ойго келген: урандын тузун нурданткандан кийин көрүнгөн жарык менен катар рентген нурлары да пайда болобу, жокпу? Ал үчүн Беккерель фотопластинканы кара кагазга бекем ороп, анын үстүнө уран тузунун күкүмдөрүнөн сээп туруп күндүн ачык нуруна коюп койгон. Пластинканы өңүнө чыгаргандан кийин анын туз жаткан жерлери карарып калган. Демек, уран рентген нурларына окшош тунук эмес нерселер аркылуу өтүп кетүүчү жана фотопластинкага таасир этүүчү кандайдыр бир нурданууну пайда кылган. Беккерель бул нурданууну күн нурунун таасири астында пайда болот деп ойлогон. Бирок 1896-жылы февраль айында күндүн бүркөк болуп калышына байланыштуу кезектеги тажрыйбаны жүргүзүүгө ага мүмкүндүк болбой калып; Беккерель урандын тузу менен капталган жезден жасалган крестти үстүнө койгон боюнча пластинканы столдун суурмасына салып койгон. Эки күндөн кийин пластинканы өңүнө чыгарып көрүп, ал андан кресттин формасындагы кара сүрөттөлүштү көргөн. Бул болсо *уран тузу тышкы факторлордун таасирсиз эле өз эркинче кандайдыр бир нурданууну пайда кылат* дегенди билдирет. Ошентип, интенсивдүү изилдөөлөр башталган. Радиоактивдүү кубулуш буга окшогон күтүлбөгөн жерден ачылбаса деле баары бир ачылмак, бирок мүмкүн бир топ кийинчерээк ачылмак.

Тез эле Беккерель уран тузунун нурдануусу рентген нурлары сыяктуу абаны иондоштура тургандыгын жана электроскопту разряддагандыгын тапкан. Урандын ар кандай химиялык кошулмаларын текшерип көрүү менен ал: нурдантуунун интенсивдүүлүгү препараттагы урандын саны менен гана аныкталат жана ал кайсы кошулмага киргенине таптакыр көз каранды эмес деген эң маанилүү фактыны аныктаган. Демек, бул касиет кошулмага эмес урандын химиялык элементине, анын атомдоруна тиешелүү.



Склодовская-Кюри Мария (1867—1934) — көрүнүктүү физик жана химик, радиоактивдүүлүк жөнүндөгү окууну түзүүдө чоң салым киргизген. Польшада туулуп, Францияда биринчи чыккан профессор болгон. Мария Склодовская-Кюри күйөөсү П. Кюри менен бирдикте жаңы радиоактивдүү элементтерди полоний жана радийди ачып, алардын касиеттерин изилдеген. Ал уран рудаларын иштетүүнүн жана анализдөөнүн классикалык методдорун иштеп чыккан. Ошондой эле бир нече жылдар бою раднактивдүү нурданууларды, алардын жандуу клеткаларга тийгизген аракетин ж. б. изилдеген.



Урандан башка химиялык элементтер да өз эркинче нурдантуу жөндөмдүүлүгүнө ээ болуп калуусун текшерүүгө аракет кылуу табигый иш. 1898-жылы Францияда Мария Склодовская-Кюри жана башка окумуштуулар торийдин нурданышын байкашкан. Жаңы элементтерди андан ары изилдөөдөгү эң негизги аракеттер Мария Склодовская-Кюри жана анын күйөөсү Пьер Кюри тарабынан жүргүзүлгөн. Уран менен торийи бар кенди системалуу изилдөө мурда белгисиз болгон химиялык элемент полонийди бөлүп алууга алып келген. Бул элемент Мария Склодовская-Кюринин мекени — Польшанын урматына полоний деп аталган.

Акырында эң интенсивдүү нурданууга ээ болгон дагы бир элемент ачылган. Ал радий (б. а. нурлуу) деп аталган. Өз алдынча нурдануу кубулушунун өзү жубайлар Кюрилер тарабынан радиоактивдүүлүк деп аталган.

Радийдин атомдук массасы 226 га барабар жана Менделеевдин таблицасында 88 номерлүү клетканы ээлейт. Кюрилер радийди ачканга чейин бул клетка бош болгон. Өзүнүн химиялык касиеттери боюнча радий щелочтуу жер элементтерине кирет.

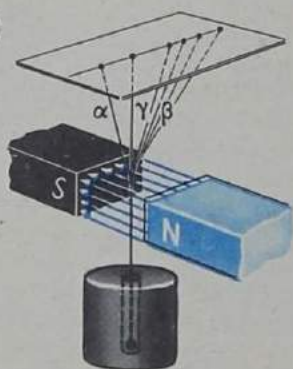
Кийинчерээк катар номери 83 төн жогору болгон бардык химиялык элементтер радиоактивдүү болушары аныкталган.

## 90. Альфа, бета- жана гамма-нурдануулары

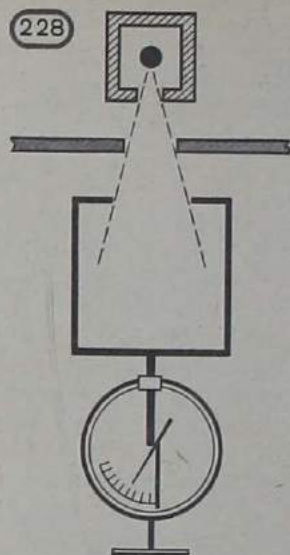
Радиоактивдүү элементтер ачылгандан кийин алардын нурдануусунун физикалык табиятын изилдөө башталган. Беккерель жана жубайлар Кюрилерден башка бул маселенин үстүндө Резерфорд да иштеген.

Радиоактивдүү нурдануу татаал составда экендигин көрсөтүүгө мүмкүндүк берүүчү классикалык тажрыйба төмөндөгүдөй болгон. Радийдин препараты коргошундун бир бөлүгүнөн оюлган ичке каналдын түбүнө коюлган. Каналдын карма-каршысына фотопластинка жайлаштырылган. Каналдан чыккан нурданууга

227



228



ага индукция сызыктары перпендикулярдуу болгон күчтүү магнит талаасы (227-сүрөт) таасир эткен. Установка бүт боюнча вакуумга жайлаштырылган.

Магнит талаасы жок кезинде фотопластинканы өңүнө чыгаргандан кийин дал каналдын тушуна туура келген жеринде бир кара так пайда болгон. Магнит талаасында нурдун бул тобу үч топко бөлүнгөн. Анын экөө карама-каршы жакка кыйшайышкан. Бул болсо аларда карама-каршы белгидеги электр заряддары бар экендигин көргөзгөн. Бул учурда нурдануунун терс белгидеги компоненти оңуна караганда магнит талаасында алда канча күчтүү кыйшайган. Үчүнчү нур магнит талаасында кыйшайган эмес. Оң заряддалган компоненти — альфа-нурлары, терс заряддалганы — бета-нурлары жана нейтралдуусу — гамма-нурлары ( $\alpha$ -нурлары,  $\beta$ -нурлары,  $\gamma$ -нурлары) деп аталган.

Нурдануунун бул үч түрү бири биринен өтүмдүүлүк жөндөмдүүлүктөрү, б. а. алардын ар кандай заттарда жутулуусу канчалык интенсивдүү экендиктери боюнча өтө чоң айырмаланышкан.  $\alpha$ -нурлары эң аз өтүмдүүлүккө ээ. Бул нурлар үчүн калыңдыгы 0,1 мм болгон кагаздын катмары тунук боло албайт. Эгер коргошун пластинкасындагы тешикти бир барак кагаз менен жаап койсок, анда фотопластинкада  $\alpha$ -нурдануусуна тиешелүү болгон так болбой калат.

$\beta$ -нурлары зат аркылуу өткөндө алда канча аз жутулат. Калыңдыгы бир нече миллиметр келген алюминий пластинкасы аларды толугу менен тосуп калат. Эң эле көп өтүмдүүлүккө  $\gamma$ -нурлары ээ.

$\gamma$ -нурларынын жутулуу интенсивдүүлүгү жутуучу заттын атом-



дук номеринин өсүшү менен жогорулайт. Бирок калыңдыгы 1 см келген коргошун катмары  $\gamma$ -нурлары үчүн тоскоолдук болуп эсептелбейт. Мындай калыңдык аркылуу өтүү менен алардын интенсивдүүлүгү бар болгону эки эсе төмөндөйт.

$\alpha$ -,  $\beta$ - жана  $\gamma$ -нурларынын физикалык табияты сөзсүз ар башка.

**Гамма-нурлары.** Өзүнүн касиеттери боюнча  $\gamma$ -нурлары рентген нурларына эң эле окшош, бирок алардын өтүмдүүлүгү гана рентген нурларына караганда алда канча чоңдук кылат. Бул болсо  $\gamma$ -нурлары электромагниттик толкун түрүндө экен деген ойго алып келет. Ал жөнүндөгү күнөм саноолордун бардыгы  $\gamma$ -нурларынын кристаллдардагы дифракциясы белгилүү болгондон жана алардын толкун узундугу ченелгенден кийин гана токтолду.  $\gamma$ -нурларынын толкун узундугу эң эле кичине,  $10^{-8}$  см ден  $10^{-11}$  см ге чейин жетет.

Электромагниттик толкундардын шкаласында  $\gamma$ -нурлары түздөн-түз рентген нурларынан кийинки орунду ээлейт.  $\gamma$ -нурларынын таралуу ылдамдыгы бардык эле электромагниттик толкундардыкы кандай болсо ошондой эле, ал абасыз боштукта 300 000 км/с чамасында болот.

**Бета-нурлары.** Адегенде  $\alpha$ -жана  $\beta$ -нурлары заряддалган бөлүкчөлөрдүн агымдары катары каралган. Баарынан да  $\beta$ -нурлары менен эксперимент жүргүзүү оңой, анткени алар магнит талаасында да, ошондой эле электр талаасында да чоң бурчка кыйша алат.

Негизги максат бөлүкчөлөрдүн заряды менен массасын аныктоодон турат.  $\beta$ -бөлүкчөлөрдүн электр жана магнит талааларында кыйшаюуларын изилдөөдө бул бөлүкчөлөр жарык ылдамдыгына өтө жакын болгон чоң ылдамдыктар менен кыймылдоочу электрондор сыяктуу болушары белгиленген. Берилген радиоактивдүү элементтер чыгарган  $\beta$ -бөлүкчөлөрдүн ылдамдыктарынын бирдей эместиги маанилүү. Эң эле ар башка ылдамдыктардагы бөлүкчөлөр да кездешет.

**Альфа-бөлүкчөлөрү.**  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү электр жана магнит талааларында начар кыйшайышкандыктан, алардын жаратылышын билүү татаалыраак болгон.

Бул маселени аягына чейин Резерфорд чечкен. Ал бул бөлүкчөлөрдүн электр жана магнит талааларында кыйшаюулары боюнча алардын  $q$  зарядынын  $m$  массасына болгон катышын өлчөгөн. Бул катыш болжол менен протонго — суутектин атомунун ядросуна караганда эки эсе кичине болгон.

Протондун заряды элементардык зарядга барабар, ал эми анын массасы массанын атомдук бирдигине<sup>1</sup> абдан жакын. Демек,  $\alpha$ -бөлүкчөсүндө бир элементардык зарядга массанын эки атомдук бирдигине барабар масса туура келет.

<sup>1</sup> Массанын атомдук бирдиги (м. а. б.) көмүртектин атомунун массасынын  $1/12$  не барабар;  $1 \text{ м. а. б.} \approx 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

Бирок  $\alpha$ -бөлүкчөнүн заряды жана анын массасы белгисиз боюнча калган,  $\alpha$ -бөлүкчөнүн же зарядын, же массасын өлчөө керек болгон. Гейгердин эсептегичинин пайда болуусу менен зарядды өлчөө оңой жана жакшы болду.  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү эң эле жука терезече аркылуу эсептегичтин ичине өтүп кете алат да андан регистрацияланат.

Белгилүү бир убакыт ичинде радиоактивдүү препарат чыгарып жаткан бөлүкчөлөрдүн санын өлчөп жаткан Гейгердин эсептегичин Резерфорд  $\alpha$ -бөлүкчөнүн жолуна жайгаштырган. Андан кийин ал эсептегичтин ордуна сезгич электромтр менен туташтырылган металл цилиндрин койгон (228-сүрөт): Цилиндрдин ичиндеги булактан ошондой эле убакыт ичинде чыгарылган  $\alpha$ -бөлүкчөнүн зарядын Резерфорд электромтр менен өлчөгөн (көптөгөн заттардын радиоактивдүүлүгү убакыттын өтүшү менен дээрлик өзгөрбөйт).  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн заряддарынын суммасын жана алардын санын билүү менен Резерфорд, бул чондуктардын катышын, б. а. бир  $\alpha$ -бөлүкчөнүн зарядын аныктаган. Бул заряд эки элементардык зарядга барабар болуп чыккан.

Ошентип, Резерфорд  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүндө эки элементардык заряддардын ар бирине массанын эки атомдук бирдиги туура келерин тапкан. Демек, эки элементардык зарядга массанын төрт атомдук бирдиги туура келет. Ушундай зарядга жана ушундай эле салыштырмалуу атомдук массага гелийдин ядросу ээ. Мындан  $\alpha$ -бөлүкчөсү — гелий атомунун ядросу деген жыйынтык келип чыгат!

Резерфорд жетишилген ийгиликтер менен токтолуп калбастан, андан кийин да түздөн-түз жүргүзүлүүчү тажрыйбалар аркылуу радиоактивдүү  $\alpha$ -ажыроо кезинде гелий пайда болорун далилдеген. Резерфорд спектрдик анализдин жардамы менен  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдү атайын жасалган идиштин ичине бир нече күн бою чогулта берип, идиште гелийдин топтолгонуна ишенген (ар бир  $\alpha$ -бөлүкчө экиден электронго ээ болуп гелийдин атомуна айланган).

## 91. Радиоактивдүү айлануулар

Радиоактивдүү нурдануу кезинде зат кандай абалда болот? Бул суроого ХХ кылымдын башында жооп берүү оңой болгон эмес. Радиоактивдүүлүк изилдене баштагандан тартып бир топ таң каларлык жана адаттан тышкаркы көрүнүштөр байкалган. *Биринчиден*, радиоактивдүү элементтер уран, торий жана радийдин нур чыгаруучулары укмуштуудай туруктуу болгон. Сутка бою айлап, ал түгүл жыл бою да нурдантуунун интенсивдүүлүгү сезилерлик даражада өзгөргөн эмес. Ага ысытуу же

<sup>1</sup> Ал кезде (ХХ кылымдын биринчи он жылдыгында) атомдук ядро али ачыла элек болучу. Ошондуктан Резерфорд гелий атомунун иону жөнүндө гана айта алган.



басымды жогорулатуу сыяктуу кадимки аракеттер эч кандай таасир тийгизе албаган. Радиоактивдүү заттар катышкан химиялык реакциялар да нурдануунун интенсивдүүлүгүнө таасир тийгизе алган эмес.

*Экинчиден*, радиоактивдүүлүк ачылгандан кийин тез эле радиоактивдүүлүк энергиянын бөлүнүп чыгышы менен жүрөрү белгилүү болгон. Пьер Кюри хлордуу радийи бар ампуланы калориметрге жайгаштырган. Анда  $\alpha$ -,  $\beta$ - жана  $\gamma$ -*нурлары* жутулуп, алардын энергияларынын эсебинен калориметр ысыган. Кюри 1 г радий 1 саатта 582 Дж га жакын энергияны бөлүп чыгараарын аныктаган. Энергиянын мындай бөлүнүшү бир нече жыл бою үзгүлтүксүз жүрөт.

Бөлүнүп чыгышына бардык белгилүү аракеттери эч кандай таасир бере албаган бул энергия кайдан алынат? Балким, радиоактивдүү ажыроо кезинде зат кадимки химиялык айлануулардан таптакыр айырмалуу кандайдыр бир терең өзгөрүүлөргө туш келер. Атомдордун өздөрү айланууларга дуушар болору болжолдуу айтылган.

Азыркы кезде бул ой анчалык деле таң каларлык эмес, анткени ал жөнүндө балдар окууну үйрөнгөндөн мурда угушу мүмкүн. Бирок ХХ кылымдын башталышында ал фантазия сыяктуу болгондуктан, аны айтыш үчүн чоң чечкиндүүлүк керек эле. Ал кезде жаныдан гана атомдун боло тургандыгы жөнүндө талашсыз далилдөө алынган. Ошентип, Демокриттин көп кылымдар бою келе жаткан заттардын атомдук түзүлүшү жөнүндөгү пикири иш жүзүнө ашты.

Мунун артынан бат эле атомдун туруктуулугунан күнөм саноо башталган. Радиоактивдүү ажыроолордун негизинде атомдордун удаалаш айланууларынын чынжыры түзүлө тургандыгына толук ишенүүгө алып келген эксперименттер жөнүндө ирети менен токтолуп отуруунун зарылдыгы жок. Резерфорд тарабынан башталып, кийин англиялык химик Ф. Содди менен бирдикте улантылган эң биринчи тажрыйбаларга гана токтолобуз.

Резерфорд убакыт бирдигинде чыгарылуучу  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүнүн саны катары аныкталуучу торийдин активдүүлүгү жабык ампулада өзгөрбөстөн кала берерин байкаган. Эгер препарат абанын эң начар агымы менен эле желденип калса, *торийдин активдүүлүгү* абдан азайган.

Торий  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү менен бир убакта кандайдыр бир радиоактивдүү газды чыгарат деп Резерфорд болжолдогон.

Торийи бар ампуладан абаны сордуруп чыгаруу менен Резерфорд радиоактивдүү газды бөлүп алган жана анын иондоштуруу жөндөмдүүлүгүн изилдеген. Убакыт өткөн сайын бул газдын активдүүлүгү тез начарлай тургандыгы (торий, уран жана радийдин активдүүлүгүнөн айырмаланып) байкалган. Ар бир минутада активдүүлүгү эки эсе азайып, он минутадан кийин практика жүзүндө нөлгө барабар болуп калат. Содди бул газдын химиялык составын изилдеп, ал эч кандай реакцияга кирбей турган

дыгын, б. а. инерттүү газ болуп эсептелерин тапкан. Кийинчерээк бул газ радон деп аталып, Менделеевдин таблицасындагы 86-катар номерге жайлаштырылган.

Айланууга башка дагы радиоактивдүү элементтер: уран, актиний, радий ээ болушкан. Бул жөнүндө окумуштуулар чыгарган жалпы жыйынтыкка Резерфорд тарабынан так аныктама берилген: «Радиоактивдүү заттын атомдору спонтандуу<sup>1</sup> түрдө түрүн өзгөртүшөт. Атомдордун жалпы санынын бир аз бөлүгү ар бир моментте туруксуз болуп, жарылуу түрүндө ажырайт. Көпчүлүк учурларда эбегейсиз чоң ылдамдык менен атомдун майда бөлүкчөлөрү —  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү чыгарылат. Бир катар башка учурларда жарылуу тез кыймылдагы электрондорду чыгарып  $\gamma$ -нурдануу деген ат менен белгилүү болгон жана рентген нуруна окшош зор өтүмдүүлүккө ээ болгон нурларды кошо пайда кылат.

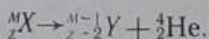
Атомдук айлануулардын натыйжасында, өзүнүн физикалык жана химиялык касиеттери боюнча баштапкы заттан толугу менен айырмаланган, таптакыр жаңы түрдөгү заттын түзүлүшү байкалган. Бирок бул жаңы заттын өзү да туруксуз. Ал дагы радиоактивдүү нурданууга мүнөздүү болгон чыгаруу менен айланууга дуушар болот<sup>2</sup>.

Мына ошентип, кээ бир элементтердин атомдору кадимки молекулалык түр өзгөртүүдө бөлүнгөн энергияга караганда эбегейсиз зор сандагы энергияны нурдантуу менен өтүүчү, спонтандык ажыроого кез келери так аныкталган».

Атом ядросу ачылгандан кийин, бат эле радиоактивдүү айлануулар кезинде мына ушул ядронун өзү өзгөрүүгө дуушар болору белгилүү болгон. Электрондук оболочкада  $\alpha$ -бөлүкчөсү такыр эле жок, ал эми оболочкада электрондун санынын бирге кемиши, атомду жаңы химиялык элементке эмес, ионго айлантат. Ядродон электрондун чыгарылышы ядронун зарядын (аны көбөйтөт) бирге өзгөртөт.

Ошентип, радиоактивдүүлүк — ар кандай бөлүкчөлөрдү чыгаруу менен бир ядронун башка ядрого өз эркинче өтүшү болуп эсептелет.

**Жылышуу эрежеси.** Ядролордун экинчи ядрого өтүшү биринчи жолу Содди тарабынан формулировкакаланган жылышуу эрежесине баш иет:  $\alpha$ -ажыроо кезинде ядро  $2e$  оң заряддын жоготот жана анын массасы болжол менен атомдук массанын төрт бирдигине азаят. Натыйжада элемент мезгилдүү системанын башталышын карай эки клеткага жылышат. Муну символикалык түрдө төмөнкүдөй жазууга болот:



<sup>1</sup> Spontaneus деген латын сөзүнөн — өз эркинче.

<sup>2</sup> Чындыгында эле стабилдүү ядро пайда болушу мүмкүн.

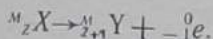


Бул жерде элемент химиядагы сыяктуу эле жалпы кабыл алынган символ аркылуу белгиленет: ядронун заряды символдун сол жагынын төмөнкү учуна индекс түрүндө, ал эми атомдук масса болсо символдун сол жагынын жогорку учуна индекс түрүндө жазылат. Мисалы, суутек  ${}^1_1\text{H}$  символу менен белгиленет.

Гелий атомунун ядросу болуп эсептелген  $\alpha$ - бөлүкчөлөрү үчүн

${}^4_2\text{He}$  белгилөөсү колдонулат ж. б.

$\beta$ - ажыроо кезинде электрон ядродон учуп чыгат. Натыйжада ядронун заряды бир бирдикке чоңоёт, ал эми массасы дээрлик өзгөрүүсүз калат:



Мында  ${}^0_{-1} e$  электронду белгилейт: жогорку жагындагы «0» индекси электрондун массасы массанын атомдук бирдигине салыштырганда жокко эсе дегенди билдирет.  $\beta$ - ажыроодон кийин элемент мезгилдүү системанын аяк жагындагы бир клеткага жылат. Гамма-нурдануусунда заряд өзгөрбөйт; бул учурда ядронун массасы эң эле аз өзгөрөт.

Жылышуу эрежеси радиоактивдүү ажыроо кезинде электр заряды толук түрдө жана ядронун салыштырмалуу атомдук массасы болжолдуу түрдө сактала тургандыгын көрсөтөт.

Радиоактивдүү ажыроо кезинде пайда болгон жаны ядро да өз кезегинде радиоактивдүү болот.

## 92. Радиоактивдүү ажыроо закону.

### Жарым ажыроо мезгили

Радиоактивдүү заттардын айланышын изилдөөдө Резерфорд тажрыйба жүзүндө алардын активдүүлүгү убакыттын өтүшү менен азаярын айткан. Уран, торий жана радий өңдүү элементтердин активдүүлүгү да убакыттын өтүшү менен төмөндөйт, бирок бул төмөндөө өтө эле жай жүрөт. Ар бир радиоактивдүү заттар үчүн алардын активдүүлүгү эки эсеге кемий турган убакыттын белгилүү аралыгы болот. Убакыттын бул аралыгы жарым ажыроо мезгили деп аталат. Жарым ажыроо мезгили  $T$  — бул берилген сандагы радиоактивдүү атомдордун жарымы ажыроого кеткен убакыт. Препаратты жөнөкөй эле тең экиге бөлүү менен анын активдүүлүгүн эки эсе азайтууга жетишүүгө болот.

Активдүүлүктүн төмөндөшү, б. а. радиоактивдүү заттардын бирөө үчүн убакыттан көз каранды болгон бир секундадагы ажыроонун саны 229-сүрөттө көрсөтүлгөн. Бул заттын жарым ажыроо мезгили 5 суткага барабар.

Эми радиоактивдүү ажыроо законунун математикалык формасын табабыз. Убакыттын баштапкы моментинде ( $t=0$ ) радиоактивдүү атомдордун саны  $N_0$  го барабар болсун дейли. Анда жарым ажыроо мезгилинде бул сан  $\frac{N_0}{2}$  ге барабар. Дагы бир

ушунчалык убакыт аралыгы өткөндөн кийин бул сан төмөнкүгө барабар болуп калат:

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

$t = nT$  убакыт өткөндө, б. а.  $T$  жарым ажыроонун  $n$  мезгилинен кийин радиоактивдүү атомдордон

$$N = N_0 \frac{1}{2^n}$$

калат.

$$n = \frac{t}{T}$$

болгондуктан

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \quad (12.1)$$

Бул радиоактивдүү ажыроонун негизги закону болуп эсептелет. (12.1) формуласы боюнча ажырабаган атомдордун санын убакыттын каалаган моментинде табууга болот.

Жарым ажыроо мезгили — радиоактивдүү ажыроонун ылдамдыгын аныктоочу негизги чоңдук. Жарым ажыроонун мезгили канча кичине болсо, атомдор ошончо аз убакытка жашашат, ажыроо да ошончо тез жүрөт. Ар кандай заттар үчүн жарым ажыроо мезгили өтө чоң айырмаланган мааниге ээ болот. Маселен, урандын  $^{238}_{92}\text{U}$  жарым ажыроо мезгили 4,5 млрд жылга барабар. Мына ошондуктан урандын активдүүлүгү бир нече жылдар бою белгилүү өлчөмдө өзгөрбөйт. Радийдин жарым ажыроо мезгили бир топ кичине — ал 1600 жылга барабар. Ошондуктан радийдин активдүүлүгү урандын активдүүлүгүнөн бир канча чоң. Жарым ажыроо мезгили секунданын миллиондон бир үлүшүнө барабар келген радиоактивдүү элементтер бар.

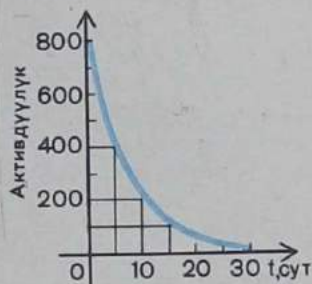
(12.1) формуласын колдонуп, жарым ажыроо мезгилин аныктоо үчүн, убакыттын баштапкы моментиндеги атомдордун  $N_0$  санын билүү жана убакыттын белгилүү  $t$  интервалынан кийин ажырабаган атомдордун  $N$  санын эсептөө керек.

Радиоактивдүү ажыроо законунун өзү бир топ жөнөкөй. Бирок бул закондун физикалык маанисин элестетүү жеңил эмес. Чындыгында, бул законго ылайык, убакыттын ар кандай аралыгы ичинде бардык болгон атомдордун бирдей эле үлүшү (жарым ажыроо мезгили ичинде атомдордун жарымы) ажырай алат. Демек, убакыттын өтүшү менен ажыроо ылдамдыгы эч кандай өзгөрбөйт. *Радиоактивдүү атомдор «эскирбейт»*. Мисалы, радийдин ажыроосунан пайда болгон радондун атомдору өздөрү пайда болгондон дароо эле 10 мин өткөндөн кийин алардын радиоактивдүү ажыроо мүмкүнчүлүктөрү бирдей болот. Ар кандай



атом ядросунун ажырашы — бул анын «карылыктан өлүүсү» эмес, анын жашоосундагы «кокустук учур» деп айтса болот. Радиоактивдүү атомдор (тагыраак айтканда, ядролор) үчүн жашоо курагы деген түшүнүк болбойт. *Орточо жашоо убактысы*  $\tau$  ну аныктоого болот.

Айрым атомдордун жашоо убактысы, секунданын үлүштөрүнөн миллиард жылдарга созулат. Урандын атомдору жерде миллиард жылдар бою жөн гана жата берип күтүлбөгөн жерден бир учурда жарылып кетиши мүмкүн, ошол эле убакытта анын айланасындагы атомдор мурдакыдай абалын улантышып кала беришет. Орточо жашоо убактысы  $\tau$  — бул берилген түрдөгү жетишерлик көп сандагы атомдордун жашоо убактыларынын жөн гана арифметикалык орточосу. Ал жарым ажыроо мезгилине түз пропорциялаш. Берилген атомдун ажырашы качан болуп өтөрүн алдын ала айтуу мүмкүн эмес. Атомдордун эң чоң жыйындысынын орточо мүнөзү жөнүндөгү ырастоо гана белгилүү мааниге ээ болот. Радиоактивдүү ажыроо закону убакыттын белгилүү интервалы ичинде ажыроочу атомдордун орточо санын аныктайт. Бирок ажыроого туш келген атомдордун саны орточо мааниден дайыма айырмаланып турат. Препараттагы атомдордун саны канчалык аз болсо, бул айырмачылык ошончолук чоң болот. Радиоактивдүү ажыроо закону *статистикалык закон* болуп эсептелет. Бул закон көп сандагы бөлүкчөлөр үчүн мааниге ээ. Аз сандагы атомдор үчүн белгилүү радиоактивдүү ажыроо закону жөнүндө айтуунун мааниси деле жок.



### 93. Изотоптор

Радиоактивдүүлүк кубулушун изилдөө атомдук ядронун жаратылышына тиешелүү маанилүү ачылышка алып келген.

Эбегейсиз көп сандагы радиоактивдүү айланууларды байкоонун натыйжасында өздөрүнүн химиялык касиеттери боюнча өтө теңдеш келишкен, бирок таптакыр ар башка радиоактивдүүлүк касиеттерге (б. а. ар кандай жолдор менен ажыроочу) ээ болушкан заттардын боло тургандыгы акырындык менен аныкталган. Аларды бардык белгилүү химиялык жолдор менен айырмалоого мүмкүн болгон эмес. Ушул негизде 1911-жылы Содди химиялык касиеттери бирдей, бирок башка жактары, мисалы, өзүнүн радиоактивдүүлүгү менен айырмаланган элементтердин болуу мүмкүндүгү жөнүндө болжолдоосун айткан. Бул элементтерди Менделеевдин мезгилдүү системасынын бир эле клеткасына жайгаштыруу керек. Ошондуктан Содди аларды *изотоптор* (б. а. мезгилдүү системада бирдей орундарды ээлөөчүлөр) деп атаган.

Томсон неондун иондорунун массасын аларды электр жана магнит талааларында кыйшайтуу методу менен так ченөөгө киришкенден тартып бир жылдан кийин Соддинин болжолдоосу эң сонун далилдөөгө жана андан ары теренирээк түшүндүрүүгө ээ болгон. Томсон болсо неон эки түрдүү атомдордун кошулмасы экендигин байкаган. Анын көп бөлүгү 20 га барабар болгон салыштырмалуу массага ээ. Бирок салыштырмалуу атомдук массалары 22 болгон бир аз сандагы кошунду атомдор да болот. Натыйжада аралашманын салыштырмалуу атомдук массасы 20,2 ге барабар. Химиялык касиеттери бирдей болгон атомдор массалары боюнча айырмаланышкан. Неондун эки сорту тең Менделеевдин таблицасында бир эле орунду ээлейт, демек, алар изотоптор болушат. Ошентип, изотоптор өздөрүнүн радиоактивдүүлүк касиеттери боюнча гана эмес, массалары боюнча да айырмалана алышат. Бирок массалары боюнча айырмачылыгы негизгиси болгон. Изотоптордо атомдук ядронун заряддары бирдей. Ошондуктан, атомдордун оболочкаларындагы электрондордун саны, демек, изотоптордун химиялык касиеттери бирдей. Бирок ядролордун массалары ар башка. Ядролор радиоактивдүү да, ошондой эле стабилдүү да боло алышат. Радиоактивдүү изотоптордун касиеттеринин ар түрдүүлүгү алардын ядролорунун ар башка массага ээ болгондугуна байланыштуу.

Азыркы кезде бардык химиялык элементтерде изотоптордун болушу аныкталган. Бир катар элементтер стабилдүү эмес (б. а. радиоактивдүү) гана изотопторго ээ. Изотоптор жаратылышта болгон элементтердин эң оору — уранда (салыштырмалуу атомдук массалары 238, 235 ж. б.) жана эң жеңил — суутекте (салыштырмалуу атомдук массалары 1, 2, 3) бар.

Өзгөчө суутектин изотоптору эң сонун, анткени алар бири биринен массалары боюнча эки же үч эсе айырмаланышат. Салыштырмалуу атомдук массасы 2 болгон изотоп *дейтерий* деп аталат. Ал стабилдүү (б. а. радиоактивдүү эмес) жана кадимки суутекке бир аз кошунду катары (1:4500) кирет. Дейтерий кычкылтек менен кошулганда *оор суу* пайда болот. Анын физикалык касиеттери кадимки суунукунан билинерлик даражада айырмаланат. Нормалдуу атмосфералык басым кезинде бул суу 101,2°C де кайнайт да 3,8°C де тонот.

Атомдук массасы 3 болгон суутектин изотобу *третий* деп аталат. Ал жарым ажыроо мезгили 12 жыл чамасында болгон б-радиоактивдүү.

Изотоптордун болушу, атом ядросунун заряды, атомдордун бардык эле касиеттерин эмес, анын химиялык касиеттерин гана жана электрондук оболочканын сырткыларынан, мисалы, өлчөмүнөн көз каранды болгон физикалык касиеттерин гана аныктай аларын далилдейт. Атомдун массасы жана анын радиоактивдүүлүк касиеттери Менделеевдин таблицасындагы катар номер менен аныкталбайт.

Изотоптордун салыштырмалуу атомдук массаларын так өл-



чөгөндө алардын бүтүн санга жакын болуп чыгышы маанилүү. Кээде бир катар химиялык элементтердин салыштырмалуу атомдук массалары бүтүн сандардан өтө эле айырмалуу болушат. Мисалы, хлордун салыштырмалуу атомдук массасы 35,5 ке барабар. Бул болсо химиялык таза заттар табигый абалында ар кандай пропорциядагы изотоптордун кошулмасы болуп эсептелери менен түшүндүрүлөт. Изотоптордун салыштырмалуу атомдук массаларынын бүтүн сандуулугу (болжолдуу) атом ядросунун түзүлүшүн түшүндүрүү үчүн эң маанилүү.

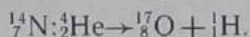
#### 94. Нейтрондун ачылышы

**Атомдук ядронун жасалма айланышы.** Адам баласынын тарыхында биринчи жолу ядронун жасалма айланышын 1919-жылы Резерфорд иш жүзүнө ашырган. Бул кокусунан келип чыккан ачылыш эмес болучу.

Ядро абдан туруктуу болуп, жогорку температура да, басым да, электромагниттик талаа да элементтердин айланышын пайда кыла албагандыктан жана радиоактивдүү ажыроо ылдамдыгына да таасирин тийгизбегендиктен, Резерфорд ядрону талкалаш же өзгөртүп түзүш үчүн эң эле чоң энергия керек болот деп болжолдогон. Ал мезгилде энергияны алып жүрүүчүлөр болуп, радиоактивдүү ажыроо кезинде ядродон учуп чыккан  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү болгон.

Жасалма түрдө айландырууга туш келген биринчи ядро азоттун  ${}^{14}_7\text{N}$  ядросу болгон. Азотту радийдин чыгарылган чоң энергиялуу  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү менен бомбалап, Резерфорд протондордун — суутектин атомунун ядролорунун пайда болушун байкаган.

Биринчи жасалган тажрыйбаларда протондорду каттоо сцинтилляция методу менен жүргүзүлгөн. Бул тажрыйбалардын натыйжалары жетишерлик түрдө ишенимдүү да, көрүнүктүү да боло алган эмес. Бирок бир нече жылдан кийин, азоттун айланышын Вильсон камерасынан байкоого мүмкүндүк болду. Камерадагы радиоактивдүү препарат чыгарган 50 000 дин ичинен болжол менен бир гана  $\alpha$ -бөлүкчө азоттун ядросуна кабылып, андан протондун бөлүнүп чыгышын пайда кылат. Мында азоттун ядросу кычкылтек изотобунун ядросуна айланат:



230-сүрөттө бул процесстин фотографиясынын бири көрсөтүлгөн. Солдо «айры» сымал болуп тректин ажыралышы көрүнүп турат. Жоон издер кычкылтектин ядросуна, ал эми ичке издер протонго тиешелүү. Калган  $\alpha$ -бөлүкчөлөр ядро менен кагылышпагандыктан алардын тректери түз сызыктуу.

Башка изилдөөчүлөр тарабынан  $\alpha$ -бөлүкчөсүнүн таасири менен фтор, натрий, алюминий ж. б. ядролорунун протондорду

230



231



чыгаруу менен улантылуучу айланышы табылган. Мезгилдүү системанын аягындагы оор элементтердин ядролору айланууга дуушар болушкан эмес. Алардын электрдик чоң заряды α-бөлүкчөсүнүн ядрого өтө жакын баруусуна мүмкүндүк бербестиги түшүнүктүү.

**Нейтрондун ачылышы.** 1932-жылы бүткүл ядролук физика үчүн маанилүү окуя — Резерфорддун окуучусу, англиялык физик Д. Чедвик тарабынан *нейтрон* ачылган болучу.

Бериллийди α-бөлүкчөлөрү менен бомбалаганда протондор пайда болгон эмес. Бирок кандайдыр бир жогорку өтүмдүүлүккө ээ болгон нурдануу байкалган. Ал калыңдыгы 10—20 см келген коргошун пластинасы сыяктуу тосмодон өтүп кетүүгө жөндөмдүү болгон. Муну чоң энергиялуу γ-нурлары деп болжолдоо кабыл алынган. Ирен Жолио Кюри (Мария менен Пьер Кюринин кызы) менен күйөөсү Фредерик Жолио Кюри, эгер бериллийди α-бөлүкчөлөрү менен бомбалоодон пайда болгон нурдануунун жолуна парафин пластинасын койсо, анда бул нурдануунун иондоштуруу жөндөмдүүлүгү кескин жогорулагандыгын байкашкан. Алар көп сандаган протондорго ээ болгон суутеги бар заттардан, мисалы, парафин пластинасынан бериллийдин нурдануусу протондорду кагып чыгарышат деп туура болжолдошкон. Вильсон камерасы аркылуу (тажрыйбанын схемасы 231-сүрөттө келтирилген) жубайлар Жолио-Кюрилер протондорду табышкан жана жолунун узундугу боюнча алардын энергияларын баалашкан. Эгер жасалган болжолдоо боюнча протондор γ-кванттар менен кагылышуунун натыйжасында ылдамдатылса, анда бул кванттардын энергиясы абдан чоң — 55 МэВ чамасында болмок.

Чедвик Вильсон камерасынан бериллийдин нурдануусу менен кагылышууга дуушар болгон азоттун ядросунун тректерин байкаган. Анын баалашы боюнча бул байкоодон билинген азоттун ядросуна ылдамдык бере алуучу γ-кванттын энергиясы 90 МэВ ди



Жолио-Кюри Фредерик (1900—1958) — франциянын көрүнүктүү окумуштуусу жана прогрессивдүү коомдук ишмери, тынчтыкты жактоочулардын бүткүл дүйнөлүк кыймылын негиздөөчүлөрдүн бири. Жолио-Кюри аялы Ирен менен бирдикте 1934-ж. жасалма радиоактивдүүлүктү ачкан. Нейтрондун ачылышы үчүн жубайлар Кюрилердин  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүнүн таасири менен бериллийдин нурдануусун изилдөө боюнча иштери чоң мааниге ээ болгон. Фредерик Жолио-Кюри өзүнүн кызматкерлери менен 1939-ж. урандын атомунун ядросунун бөлүнүү кезинде учуп чыккан нейтрондордун санын аныктаган жана уланма ядролук реакциянын принципалдуу мүмкүндүгүн көрсөткөн.

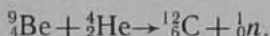


түзүүгө тийиш болучу. Вильсон камерасынан аргондун тректерин ушул сыяктуу байкоо жогоруда айтылган, гипотетикалык  $\gamma$ -кванттардын энергиясы 150 МэВ ди түзөт деген жыйынтыкка алып келген. Ошентип, тынч абалдагы массадан ажыратылган бөлүкчөлөр менен кагылышуунун натыйжасында ядролор кыймылга келишет деп эсептеп, изилдөөчүлөр ачык карама-каршылыкка келишкен: бир эле  $\gamma$ -квантка ар кандай энергия таандык болгон.

Тынч абалдагы массадан ажыратылган  $\gamma$ -кванттарды, б. а. бөлүкчөлөрдү бериллийдин нурдануусу жөнүндөгү болжолдоо негизсиз болуп чыкты.  $\alpha$ -бөлүкчөсүнүн аракетин астында бериллийден кандайдыр бир жетишерлик оор бөлүкчөлөр учуп чыгышат, аткени оор бөлүкчөлөрү менен урунушканда гана протондор же азот менен аргондун ядролору сезилерлик даражадагы энергияны ала алышат. Бул бөлүкчөлөр өтө зор өтүп кетүү жөндөмдүүлүгүнө ээ болушат, ошондуктан газдарды иондоштура алышпайт, демек, алар электр жагынан нейтралдуу болушкан. Анткени заряддалган бөлүкчө зат менен өз ара күчтүү аракеттенишет да, натыйжада өз энергиясын тез жоготот.

Жаңы бөлүкчө *нейтрон* деп аталган. Анын болушу жөнүндө Чедвиктин тажрыйбаларына чейин эле Резерфорд он жыл мурда алдын ала айткан. Нейтрондор менен кагылышкан ядролордун энергиялары жана импульстары боюнча алардын массалары аныкталган. Нейтрондун массасы протондун массасы 1836,1 дин ордуна бир аз чоңураак 1838,6 электрондук масса болгон.

$\alpha$ -бөлүкчөсү бериллийдин ядросуна тийгенде төмөндөгүдөй реакция жүрөт:



Мында  ${}^1_0n$  — нейтрондун символу; анын заряды нөлгө, ал эми салыштырмалуу массасы болжол менен бирге барабар.

1. Вильсон камерасынын жардамы менен заряддалбаган бөлүкчөлөрдү каттоого болобу?
2. Вильсон камерасына салыштырганда көбүктүү камеранын кандай артыкчылыктары бар?
3. Радиоактивдүү айлануулар кезинде силерге белгилүү сакталуу закондорунун кайсынысы аткарылат?
4. Эсептегич эн эле интенсивдүү аз радиоактивдүү препараттын  $\beta$ -бөлүкчөлөрүн каттайт. Убакыттын бирдей

аралыктары ичинде эсептегич иштеп тура алабы?

5. Барийдин салыштырмалуу атомдук массасы 137,34 кө барабар. Барийде изотоптор болобу?

6. Эмне үчүн нейтрон протон менен борбордук кагылышуу болгондо ага бардык энергиясын, ал эми азоттун ядросу менен кагылышканда анын бөлүгүн гана бере тургандыгын түшүндүргүлө.

## 95. Атом ядросунун түзүлүшү. Ядролук күчтөр

**Ядронун протон-нейтрондук модели.** Чедвиктин тажрыйбалары аркылуу нейтрон ачылгандан кийин тез эле 1932-ж. советтик физик Д. Д. Иваненко жана немец окумуштуусу В. Гейзенберг ядронун протон-нейтрондук моделин сунуш кылган. Бул сунуш ядролук айланыштар боюнча кийинки изилдөөлөрдө далилденип, азыркы кезде талашсыз болуп калды.

Протон-нейтрондук модель боюнча *ядро эки түрдөгү элементардык бөлүкчөлөрдөн: протондор менен нейтрондордон турат.*

Атом жалпысынан алганда электр жагынан нейтралдуу, ал эми протондун заряды электрондун зарядынын модулуна барабар болгондуктан ядродогу протондордун саны атомдук оболочкадагы электрондордун санына барабар. Демек, ядродогу протондордун саны Менделеевдин таблицасындагы элементтин атомдук номери  $Z$  ке барабар.

Ядродогу протондордун саны  $Z$  менен нейтрондордун саны  $N$  дин суммасы массалык сан деп аталат да,  $A$  тамгасы менен белгиленет:

$$A = Z + N. \quad (12,2)$$

Протон менен нейтрондун массалары бири бирине жакын жана алардын ар бири болжол менен массанын атомдук бирдигине барабар. Атомдогу электрондун массасы ядронун массасынан алда канча кичине. Ошондуктан ядронун массалык саны элементтин салыштырмалуу атомдук массасынын бүтүн санга чейин тегеректелгенине барабар. Массалык санды ядронун массасын өзгөчө так эмес приборлор аркылуу болжолдуу өлчөө жолу менен аныктоого болот.

Изотоптор бирдей эле маанидеги  $Z$  ке бирок, ар башка массалык санда  $A$  га, б. а. нейтрондордун ар башка саны  $N$  ге болгон ядрону элестетет.

**Ядролук күчтөр.** Ядро эң эле туруктуу болгондуктан протондор менен нейтрондор, ядронун ичинде кандайдыр бир өтө чоң күчтөр аркылуу кармалып турушу мүмкүн. Бул кандай күчтөр? Муну гравитациялык күчтөр деп айтууга болбойт, анткени ал эң начар. Ошондой эле ядронун туруктуулугу электромагниттик күч-



төр аркылуу да түшүндүрүлбөйт, себеби бирдей белгиде заряддалган протондун ортосунда электрдик түртүлүү аракет кылат, ал эми нейтрондор болсо электр зарядына ээ эмес.

Демек, ядролук бөлүкчөлөрдүн — протондор менен нейтрондордун (булар көпчүлүк учурда *нуклондор* деп аталат) ортосунда өзгөчө күчтөр аракет этет. Бул күчтөргө ат өзүнөн-өзү эле табылып *ядролук күчтөр* деп аталган. Ядролук күчтөрдүн негизги касиеттери кандай?

Бул күчтөр электромагниттик күчтөрдөн болжол менен 100 эсе күчтүүлүк кылат. Жаратылышта болгон бардык күчтөрдүн ичинен бул эң кубаттуусу. Ошондуктан ядролук бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттенүүлөрү көпчүлүк учурларда *күчтүү өз ара аракеттенүүлөр* деп аталат.

Күчтүү өз ара аракеттенүүлөр ядродогу нуклондун өз ара аракеттенүүлөрүнө гана таандык эмес. Бул электромагниттик өз ара аракеттенүүлөр менен катар бир канча элементардык бөлүкчөлөргө тиешелүү болгон өз ара аракеттенүүлөрдүн өзгөчө тиби.

Ядролук күчтөрдүн дагы бир маанилүү өзгөчөлүгү — бул алардын кыска аралыкка аракет этүүчүлүгү. Электромагниттик күчтөр аралыктын узарышына салыштырмалуу жайыраак начарлашат. Ядролордун өлчөмүнө ( $10^{-12}$ — $10^{-13}$  см) барабар чондуктагы аралыктарда эле ядролук күчтөр сезилерлик байкалат. Муну Резерфорддун  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдү атомдук ядро менен чачыратуу тажрыйбасы көрсөткөн. Ядролук күчтөр — бул мындайча айтканда, «эң эле кыска колдуу баатыр» сыяктуу. Ядролук күчтүн аягына чейин бүткөрүлгөн сандык теориясы азырынча түзүлө элек. Бул теорияны түзүүдөгү зор жетишкендиктер жакынкы эле акыркы 10—15 жылда иш жүзүнө ашырылды.

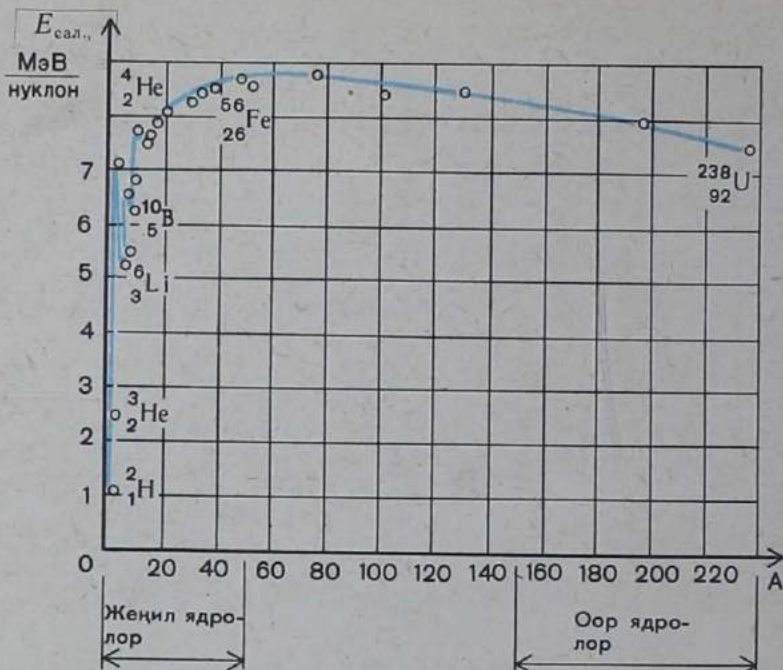
## 96. Атом ядросунун байланыш энергиясы

*Ядронун байланыш энергиясы* деген түшүнүк бүткүл ядролук физика боюнча маанилүү ролду ойнойт.

Ядронун байланыш энергиясы деп айрым *нуклондорго ядронун толук ажырашы* үчүн зарыл болгон энергия эсептелет. Энергиянын сакталуу законунун негизинде, *байланыш энергиясы ядро айрым бөлүкчөлөрдөн түзүлгөндө бөлүнүп чыгуучу энергияга барабар* деп да айтууга болот. Атом ядросунун байланыш энергиясы эң эле зор. Бирок аны кантип табуу керек?

Азыркы кезде атомдогу электрондордун энергиясын эсептөөгө мүмкүн болгон сыяктуу, байланыш энергиясы теориялык жол менен эсептелинбейт. Бирок ошого карабастан ар кандай ядронун байланыш энергиясын ядронун массасын так өлчөө жолу менен эле аныктоого мүмкүндүктөр бар. Бул учурда Эйнштейндин туюнтмасын колдонуп масса менен энергиянын ортосундагы байланышын:

$$E = mc^2 \quad (12.3)$$



ты колдонуу менен гана тиешелүү эсептөөлөрдү жүргүзүүгө болот.

Ядронун массасын так өлчөө, **ядронун тынч абалындагы массасы  $M_n$  аны түзүүчү протондор менен нейтрондордун тынч абалындагы массаларынын суммасынан дайыма кичине** болорун көрсөтөт:

$$M_n < Zm_p + Nm_n. \quad (12.4)$$

Мында массалардын дефектиси болот. Массалардын айырмасы оң мааниге ээ:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_n.$$

Мисалы, гелий үчүн ядронун массасы эки протон менен эки нейтрондун массаларынын суммасынан 0,75%ке кичинелик кылат. Бир моль гелий үчүн  $\Delta M = 0,03$  г.

Бөлүкчөлөрдөн ядро түзүлгөн кезде массанын азайышы, бул учурда бөлүкчөлөрдүн ушул системасынын энергиясы  $E_{\text{байл.}}$  байланыш энергиясынын

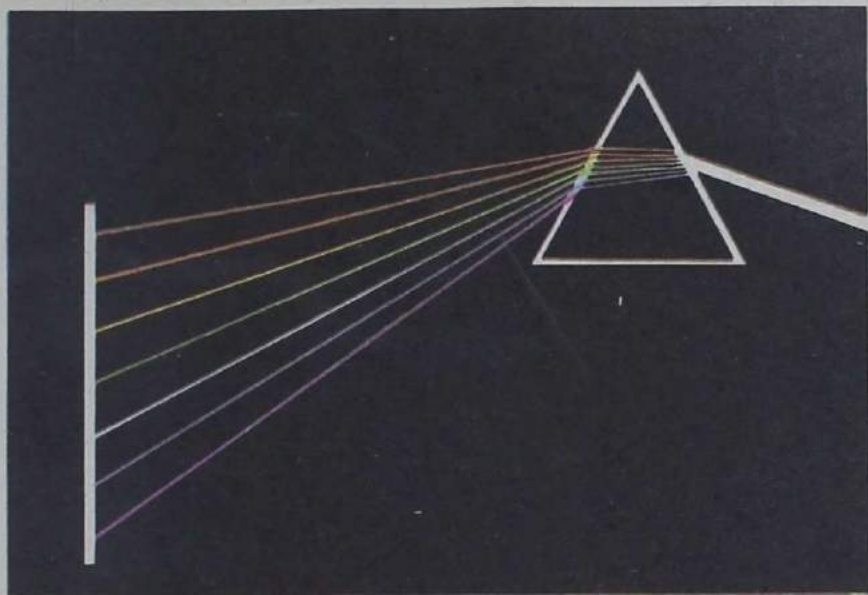
$$E_{\text{байл.}} = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_n) c^2 \quad (12.5)$$

чондугуна азаят дегенди билдирет.

Бирок бул учурда  $E_{\text{байл.}}$  энергиясы жана  $\Delta M$  массасы кайда кетишет?

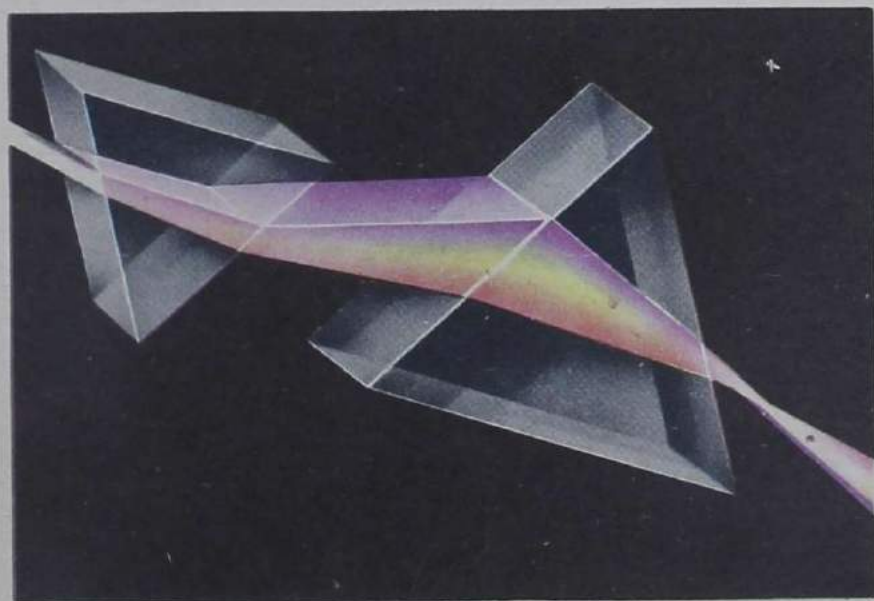
Бөлүкчөлөрдөн ядро пайда болгон кезде, бөлүкчөлөр ядро-

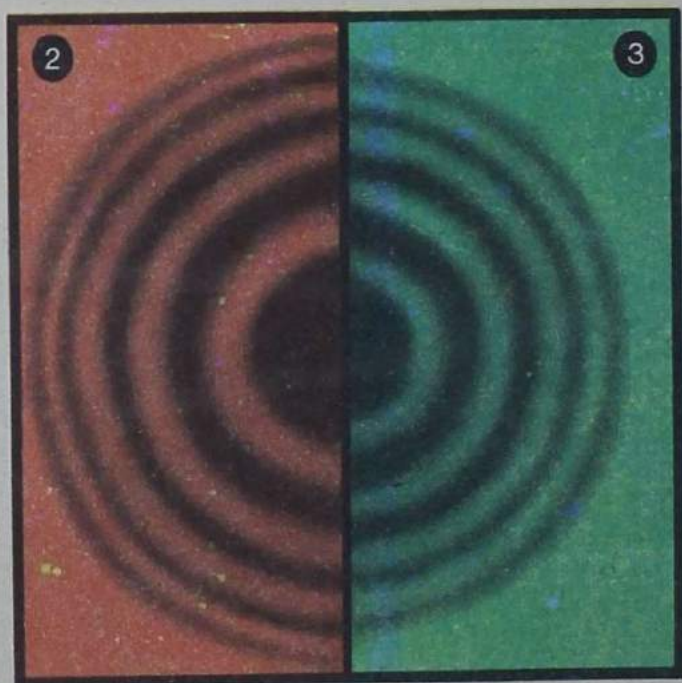
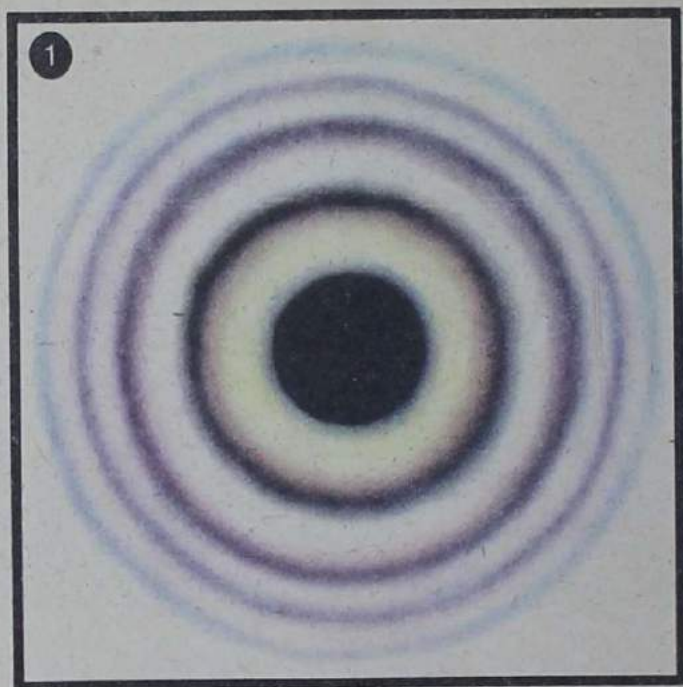




I сур. Призманын жардамында ак жарыктын спектрге ажыроо схемасы.

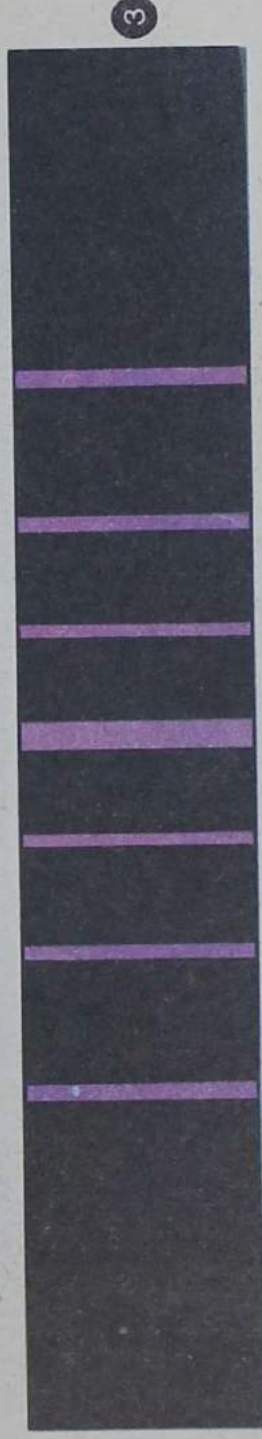
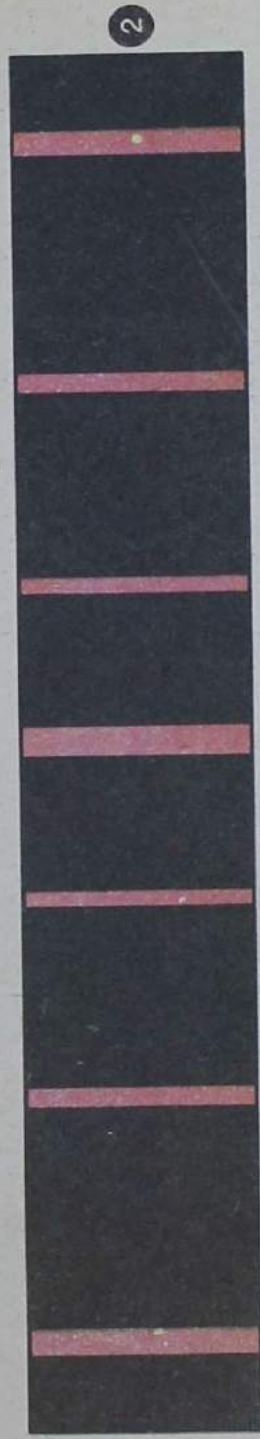
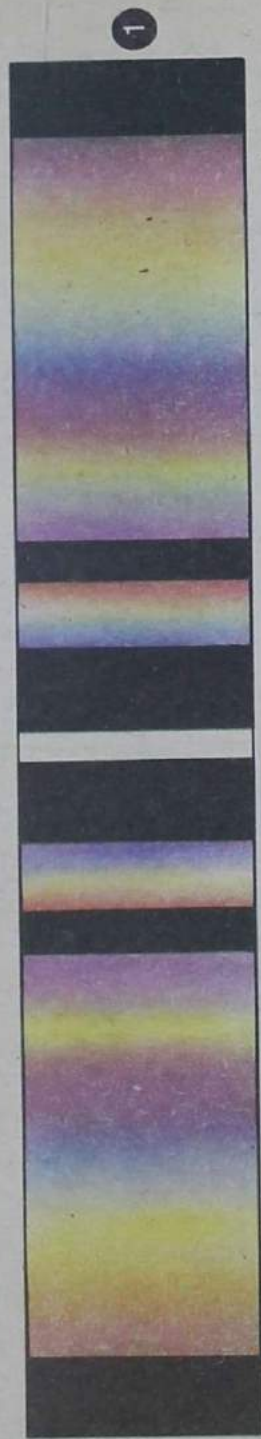
II. сур. Призманын жардамында ак жарыктын ажырашы жана синтези.



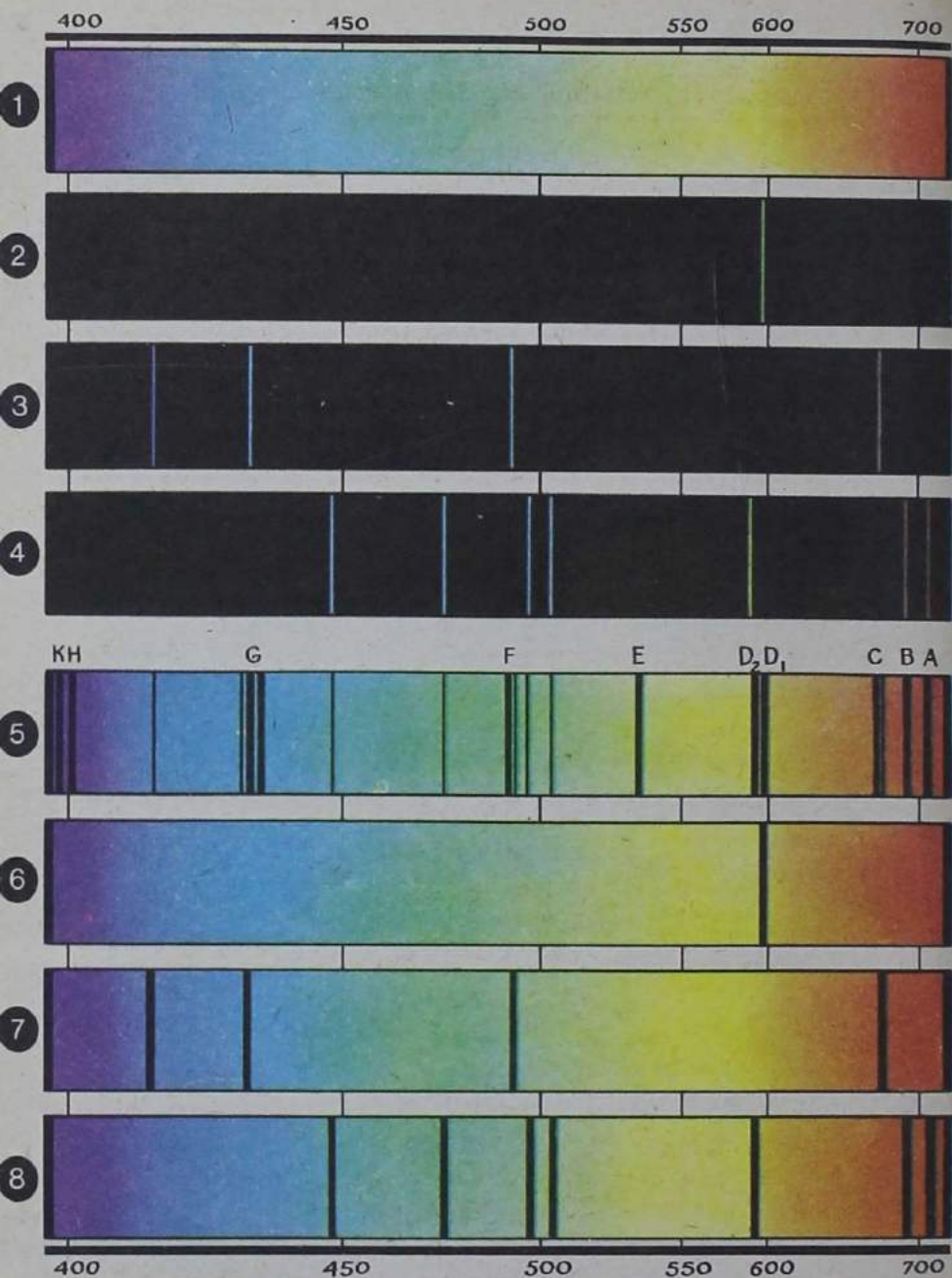


III сур. Чагылган жарыктагы Ньютондун шакектери:  
1— акта; 2— кызылда; 3— жашылда.





IV сур. Дифракциялык торчонун жардамында алынган спектрлер:  
 1— ак жарык үчүн; 2— монохроматикалык кызыл жарык үчүн; 3— монохроматикалык кызгылт-көк жарык үчүн.



V сур. Чыгаруу спектрлери: 1— туташ; 2— натрийдики; 3— суутектики; 4— гелийдики; Жутуу спектрлери: 5— күндүкү; 6— натрийдики; 7— суутектики; 8— гелийдики.



лук күчтөрдүн аракетинин эсебинен кыска аралыкта бири бирине эбегейсиз зор ылдамдануу менен умтулушат. Бул учурда нурдануучу  $\gamma$ -кванттары  $E_{\text{байл.}}$  энергиясына жана

$$\Delta M = \frac{E_{\text{байл.}}}{c^2}$$

массасына ээ болушат.

Байланыш энергиясынын чоң экендиги төмөндөгүдөй мисал аркылуу түшүндүрүлөт: 4 г гелийдин пайда болушунда, 1,5—2 вагон таш көмүр күйгөндө бөлүнүп чыгуучу энергиядай энергия бөлүнүп чыгат.

Ядронун касиеттери жөнүндөгү маанилүү маалыматтарды салыштырмалуу байланыш энергиясынын  $A$  массалык санына болгон көз карандылыгы өз ичине алат.

Салыштырмалуу байланыш энергиясы деп ядронун бир нуклонуна туура келүүчү байланыш энергиясын айтабыз. Аны эксперимент жүзүндө аныктоого болот.

Эң жеңил ядролорду эсепке албаганда, салыштырмалуу байланыш энергиясы болжол менен туруктуу жана ал  $8 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  го барабар экендиги 232-сүрөттөн көрүнүп турат. Суутектин атомундагы электрондун ядро менен байланыш энергиясы (бул энергия иондоштуруу энергиясына барабар) бул чоңдуктан миллион эсеге жакын кичине экендигин белгилей кетебиз.

232-сүрөттөгү ийри сызык бир азыраак максимумга ээ. Максималдуу салыштырмалуу байланыш энергиясына (8,6 МэВ/нуклон) массалык сандары 50 дөн 60 ка чейинки элементтер, б. а. темир жана ага катар номерлери боюнча жакын элементтер ээ болушат. Бул элементтердин ядролору бир кыйла туруктуу келишет.

Оор ядролордо салыштырмалуу байланыш энергиясы  $Z$  тин өсүшү менен протондордун кулондук түртүлүү энергиясынын чоңоюшунун эсебинен азаят. Кулондук күчтөр ядрону жарууга умтулушат.

## 97. Ядролук реакциялар

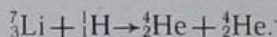
*Ядролук реакциялар* деп атомдук ядролордун элементардык бөлүкчөлөр менен же бир-бири менен болгон өз ара аракеттенүү кезиндеги өзгөрүүлөрүн айтабыз. Силер ядролук реакциялардын мисалдары менен § 94 та эле таанышкансыңар.

Качан ядрого бөлүкчөлөр өтө тыгыз жакындап, ядролук күчтөрдүн таасир этүү сферасына түшкөндө гана ядролук реакциялар жүрөт. Бир аттуу заряддар менен заряддалган бөлүкчөлөр бири биринен түртүлүшөт. Ошондуктан, оң заряд менен заряддалган бөлүкчөлөрдүн ядро менен жакындашы (же ядролор бири бири менен), бул бөлүкчөлөргө (же ядролорго) чоң кинетикалык энергия берилген учурда гана мүмкүн. Бул энергия

протондорго, дейтерийдин ядросу — дейтрондорго,  $\alpha$ -бөлүкчөлөргө ж. б. бир кыйла оор ядролорго элементардык бөлүкчөлөрдүн жана иондордун тездеткичтеринин жардамы менен берилет.

Ядролук реакцияларды иш жүзүнө ашырыш үчүн радиоактивдүү элементтер чыгаруучу гелийдин ядросун колдонууга караганда мындай метод абдан эле натыйжалуу болот. *Биринчиден*, тездеткичтердин жардамы менен бөлүкчөлөргө  $10^5$  МэВ тартибиндеги энергия, б. а.  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү ээ болгондой (максималдуу 9 МэВ) бир кыйла чоң энергия берилиши мүмкүн. *Экинчиден*, радиоактивдүү ажыроо процессинде пайда болбой турган протондорду пайдаланууга болот (бул максатка ылайыктуу келет, анткени алардын заряды  $\alpha$ -бөлүкчөлөрүнүн заряддарына караганда эки эсе кичинелик кылат, ошондуктан аларга ядро тарабынан аракет этүүчү түртүү күчү да эки эсе аз). *Үчүнчүдөн*, гелийдин ядросуна караганда бир кыйла оор ядролорду тездетүүгө болот.

Биринчи жолку ядролук реакция тез кыймылдагы протондорго 1932-ж. иш жүзүнө ашырылган. Литийди эки  $\alpha$ -бөлүкчөгө ажыратууга мүмкүндүк болгон:



Вильсон камерасындагы тректердин фотографиясынан көрүнүп тургандай (233-сүрөт), гелийдин ядролору импульстун сакталуу законунун талабына ылайык туш тарапка бир түз сызыкты бойлото учушат (протондун импульсу пайда болгон  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн импульстарынан көп эле кичинелик кылат).

**Ядролук реакциянын энергетикалык чыгышы.** Жогоруда каралган ядролук реакцияда пайда болгон гелийдин эки ядросунун кинетикалык энергиясы, реакцияга кирген протондун кинетикалык энергиясынан 7,3 МэВ ко чоң болуп чыккан. Ядролордун бири бирине айланышы алардын ички энергиясынын (байланыш энергиясынын) өзгөрүшү менен улантылат. Каралган реакцияда гелийдин ядросундагы салыштырмалуу байланыш энергиясы литийдин ядросундагы салыштырмалуу байланыш энергиясынан чоң. Ошондуктан литийдин ядросунун ички энергиясынын бөлүгү учуп чыгуучу  $\alpha$ -бөлүкчөсүнүн кинетикалык энергиясына айланат.

233



Ядронун байланыш энергиясынын өзгөрүшү, реакцияга катышуучу бөлүкчө менен ядролордун кыймылсыз абалдагы суммардык энергиялары өзгөрүүсүз калбайт дегенди билдирет. Ядронун тынч абалдагы энергиясы  $M_0c^2$  (12.5) формуласы боюнча түздөн-түз байланыш энергиясы менен туюнтулат. Энергиянын сакталуу законуна ылайык ядролук реакция процесси кезиндеги кинетикалык энергиянын өзгөрүшү реакцияга катышуучу ядролор менен бөлүкчөлөрдүн



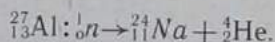
кыймылсыз абалдарындагы энергиясынын өзгөрүшүнө барабар.

*Ядролук реакциянын энергетикалык чыгышы* деп бөлүкчөлөр менен ядролордун реакцияга чейинки жана реакциядан кийинки тынч абалындагы энергияларынын айырмасы аталат. Мурда айтылганга ылайык ядролук реакциянын энергетикалык чыгышы, ошондой эле реакцияга катышуучу бөлүкчөлөрдүн кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүнө барабар.

Эгерде ядро менен бөлүкчөнүн реакциядан кийинки кинетикалык энергиясы реакцияга чейинкинен чоң болсо, анда энергиянын бөлүнүп чыгышы жөнүндө айтылат. Буга тескери учурда реакция энергияны жутуу менен жүрөт. Так эле ушул түрдөгү реакция азотту  $\alpha$ -бөлүкчө менен бомбалаган кезде жүрөт (§ 94 ты карагыла). Мындай реакциянын процессинде кинетикалык энергиянын бир бөлүгү (болжол менен  $1,2 \cdot 10^6$  эВ) жаңы пайда болгон ядронун ички энергиясына өтүп кетет.

Ядролук реакция кезинде бөлүнүп чыккан энергия чоң болушу мүмкүн. Бирок, аны тездетилген бөлүкчөлөрдүн (же ядролордун) мишендин кыймылсыз ядролору менен кагылышуусун пайда кылуу жолу аркылуу пайдаланууга иш жүзүндө мүмкүн эмес. Анткени тездетилген бөлүкчөлөрдүн көп бөлүгү реакцияны пайда кылбастан мишендин ядросунун жанынан учуп өтөт.

**Нейтрондор менен жүрүүчү ядролук реакциялар.** Ядролук реакцияларды изилдөөдө нейтрондун ачылышы чоң бурулуш болгон. Анткени нейтрондор зарядга ээ эмес, демек, алар атом ядросунда тоскоолдуксуз эле өтүп кетишет да аларда өзгөрүүнү пайда кылышат. Мисалы, төмөнкүдөй реакция байкалат:

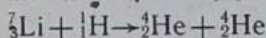


Нейтрондор пайда кылган реакцияларды биринчи болуп италиялык улуу физик Энрико Ферми изилдей баштаган. Ал тез кыймылдагы гана эмес, жай кыймылдаган нейтрондор да ядролук айланууларды пайда кыларын көргөзгөн. Бирок көпчүлүк учурларда бул жай кыймылдагы нейтрондор тез кыймылдагыларга караганда абдан эле эффективдүү болушкан. Ошондуктан тез кыймылдагы нейтрондорду алдын ала акырындатуу максатка ылайыктуу. Нейтрондорду жылуулук ылдамдыгына чейин акырындатуу кадимки эле сууда жүргүзүлөт. Бул эффект массалары нейтрондордун массаларына дээрлик барабар келишкен суутектин көп сандагы ядролорунун — протондордун сууда болушу менен түшүндүрүлөт. Бирдей массалуу шарлар кагылышканда кинетикалык энергиялар эң эле интенсивдүү берилет. Ошондой эле нейтрон кыймылсыз протон менен борбордук кагылышууда өзүнүн кинетикалык энергиясын протонго бүт бойдон берет. Чындыгында Ферминин тажрыйбаларында Менделеевдин таблицасынын ортосундагы атомдордун жай кыймылдагы нейтрондорунун таасири астында урандан түзүлүүлөр пайда бол-

гон. Бирок Ферми урандын яросунун бөлүнүү ачылышынын мүмкүндүгүн байкай алган эмес.

### Суроолор

1. Ядронун ичинде кандай күчтөр таасир этет?
2. Ядронун байланыш энергиясы деп эмнени айтабыз? Байланыш энергиясы кантип аныкталат?
3. Эмне үчүн төмөнкүдөй ядролук реакция кезинде энергия жутулбастан бөлүнүп чыгарыларын 232-сүрөттү пайдаланып түшүндүргүлө.



4. Ядролук реакциянын энергетикалык чыгышы деп эмнени айтабыз?
5. Нейтрондордогу ядролук реакциялардын заряддалган бөлүкчөлөр пайда кылган ядролук реакциялардан эн башкы айырмачылыгы эмнеде?

### 98. Урандын яросунун бөлүнүшү

Бир катар оор элементтердин гана ядролору бөлүктөргө бөлүнө алышат. Ядронун бөлүнүшүндө эки-үч нейтрон жана ү-нуру чыгарылат. Бир эле убакытта чоң энергия бөлүнүп чыгат.

**Урандын бөлүнүшүнүн ачылышы.** Урандын яросунун бөлүнүшү 1938-жылы немец окумуштуулары О. Хан жана Ф. Штрассман тарабынан ачылган. Алар уранды нейтрон менен бомбалаганда мезгилдик системанын ортосундагы элементтер: барий, криптон ж. б. келип чыгарын аныкташкан. Бирок бул көрүнүштү туура талкуулоо, атап айтканда, нейтронду камтып калган урандын яросунун бөлүнүшү экендигин түшүндүрүү 1939-жылдын башында англиялык физик О. Фриш менен австриялык физик Л. Мейтнер тарабынан чогуу жүргүзүлгөн.

Ядронун бөлүнүшү оор ядронун тынч абалдагы массасы бөлүнүүдөн келип чыккан тынч абалдагы массаларынын суммасынан чоң болгондо гана мүмкүн. Мына ошол себептен бөлүнүү менен бирге тынч абалдагы массанын азайышына эквиваленттүү энергия бөлүнүп чыгат. Бирок толук масса сакталат, анткени чоң ылдамдык менен кыймылдоочу сыныктардын массасы алардын тынч абалдагы массаларынан чоң.

Оор ядролордун бөлүнүү мүмкүндүгүн ошондой эле салыштырмалуу байланыш энергиясынын массалык сан  $A$  дан көз карандылыгынын графигинин (232-сүрөттү карагыла) жардамы менен түшүндүрүүгө да болот. Мезгилдик системада акыркы орунду ээлөөчү ( $A \approx 200$ ) атомдордун ядролорунун салыштырмалуу байланышын энергиялары мезгилдик системанын ортосундагы

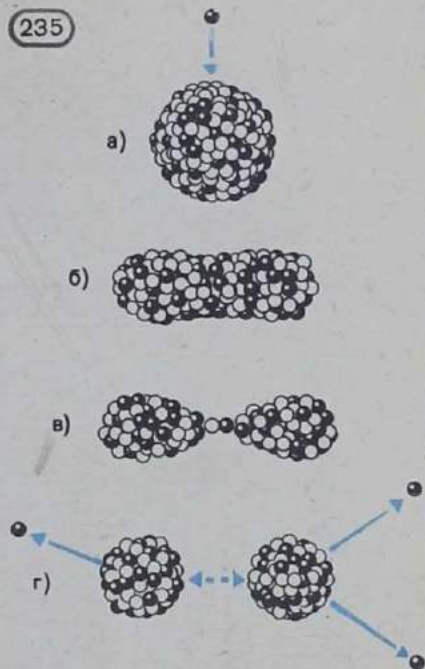
234





(235)

( $A \approx 100$ ) элементтердин ядролорунун салыштырмалуу байланыш энергиясынан болжол менен 1 МэВ ко аздык кылат. Ошондуктан оор ядролордун мезгилдик системасынын ортоңку бөлүгүндөгү элементтердин ядролоруна бөлүнүү процесстери «энергиялык жактан пайдалуу» болот. Бөлүнүүдөн кийин, система минималдуу ички энергиялуу абалга өтөт. Ядронун байланыш энергиясы канчалык чоң болсо, ядро түзүлүүдө да ошончолук чоң энергия бөлүнүп чыгууга тийиш, демек, кайрадан түзүлгөн системанын ички энергиясы ошончолук аз болот. Ядронун бөлүнүүсүндө ар бир нуклонго туура келүүчү байланыш энергиясы 1 МэВ ко чоңоюп, жалпы бөлүнүп чыгуучу энергия эбегейсиз зор чоңдукка 200 МэВ ко жетүүгө тийиш. Башка эч бир ядролук реакцияда (бөлүнүү менен байланышпаган) мынчалык чоң энергия бөлүнүп чыкпайт.



Урандын  $^{235}_{92}\text{U}$  ядросунун бөлүнүүсүндө бөлүнүп чыккан энергияны түздөн-түз өлчөө, жогоруда келтирилген пикирди ырастады жана  $\approx 200$  МэВ чоңдугун берди. Бирок бул энергиянын көпчүлүк бөлүгү (168 МэВ) сыныктардын кинетикалык энергияларына таандык. 234-сүрөттөн силер Вильсон камерасында уран бөлүнгөн кездеги сыныктардын тректерин көрүп турасыңар.

Ядро бөлүнгөндө пайда болуучу энергия, ядролук эмес электростатикалык түзүлүшкө ээ. Сыныктар ээ болушкан кинетикалык чоң энергия, алардын кулондук түртүүлөрүнүн негизинде пайда болот.

**Ядронун бөлүнүү механизми.** Атом ядросунун бөлүнүү процессин ядронун тамчы моделинин негизинде түшүндүрүүгө болот. Бул модель боюнча нуклондордун топтошкон жери заряддалган суюктуктун тамчысын элестетет (235-а, сүрөт). Нуклондордун арасындагы ядролук күчтөр суюктуктардын арасындагы күчтөр сыяктуу эле кыска аралыктан аракет этүүчү болуп эсептелет. Ядролорду бөлүктөргө бөлүп-жарууга умтулуучу протондордун чоң электростатикалык түртүлүү күчтөрү менен катар ядролук чоң тартылуу күчү да таасир этет. Бул күчтөр ядрону бөлүнүп кетүүдөн сактап турат.

Уран-235 тин ядросу шар формасына ээ. Ашык нейтронду жутуу менен ядро дүүлүгөт да, чоюлган формага ээ болуу менен

деформациялана баштайт (235-б, сүрөт). Ядронун чоюлган эки учундагы түртүлүү күчү ортодогу үзүлүү чекитине таасир этүүчү (235-в, сүрөт) тартылуу күчтөрүнөн аша баштаган учурга дейре ядро созула берет. Андан дагы созулганда эки бөлүккө бөлүнөт (235-г, сүрөт). Кулондук түртүлүү күчүнүн таасири астында сыныктар жарык ылдамдыгынын  $1/30$  не барабар ылдамдык менен учуп кетишет.

**Бөлүнүү процессинде нейтрондорду чыгаруу.** Ядронун бөлүнүшүнүн түпкү фактысы болуп бөлүнүү процессинде эки-үч нейтрондун чыгарылышы эсептелет. Мына ушунун негизинде ядронун ички энергиясын практика жүзүндө пайдаланууга мүмкүндүк болду.

Эмне үчүн бош нейтрондор бөлүнүп чыгарын төмөнкү ой жүгүртүүлөрдөн түшүнүүгө болот. Стабилдүү ядролордо нейтрондордун санынын протондордун санына болгон катышы атомдук номердин жогорулашы менен өсөрү белгилүү. Ошондуктан, сыныктардын бөлүнүү кезинде келип чыккан нейтрондордун салыштырмалуу саны Менделеевдин таблицасынын ортосунда жайланышкан атомдордун ядролору үчүн мүмкүн болгон санга караганда чоң болуп чыкты. Натыйжада бөлүнүү процессинде бир нече нейтрондор бошоп калышат. Алардын энергиялары бир нече миллион электрон-вольттон тартып эң эле кичине, нөлгө жакын болгон ар түрдүү маанилерге ээ.

Адатта, бөлүнүү процессинде сыныктардын массалары бирдей болбойт. Бул сыныктар өтө радиоактивдүү, анткени алар ашыкча сандагы нейтрондорго ээ. Удаалаш бир канча  $\beta$ -ажыроонун натыйжасында эң акыркы стабилдүү изотоптор алынат.

Жыйынтыктаганда урандын ядросунун *спонтандык бөлүнүшү* бар болорун белгилей кетебиз. Ал советтик физиктер Г. Н. Флеров менен К. А. Петржак тарабынан 1940-ж. ачылган. Спонтандык бөлүнүү үчүн жарым ажыроо мезгили  $10^{16}$  жылга барабар. Бул болсо урандын ядролорунун  $\alpha$ -бөлүнүүсүндөгү жарым ажыроо мезгилинен эки миллион эсе көптүк кылат.

## 99. Ядролук уланма реакция

Урандын ядросунун бөлүнүшүндө эки-үч нейтрон бошоп чыгат. Бул болсо *урандын бөлүнүү уланма реакциясын* иш жүзүнө ашырууга мүмкүндүк берет.

Бөлүнүү процессинде ядродон учуп чыгуучу нейтрондордун кайсынысы болбосун өз кезегинде жанындагы ядродо бөлүнүүнү пайда кылат. Бул ядро дагы бөлүнүүнү пайда кылууга жөндөмдүү болгон нейтронду чыгарат. Натыйжада бөлүнүүчү ядролордун саны эң эле тез өсөт. Ошентип уланма реакция пайда болот. *Ядролук уланма реакция* деп аны пайда кылуучу бөлүкчөлөр (нейтрондор) бул реакциянын натыйжасы (продуктусу) катары келип чыгуучу реакцияны айтабыз.

Уланма реакция кезинде зор энергия бөлүнүп чыгат. Ар бир



ядронун бөлүнүшүндө 200 МэВ ко жакын энергия бөлүнүп чыгат. 1 г уранда болгон бардык ядролор толук бөлүнүп бүткөндө  $2,3 \cdot 10^4$  кВт саат энергия бөлүнүп чыгат. Бул 3 т көмүр же 2,5 т нефть күйгөндө алынуучу энергияга эквиваленттүү.

Бирок уланма реакцияны пайда кылуу үчүн нейтрондордун таасири астында бөлүнүүчү каалаган эле ядрону пайдаланууга болбойт. Бир катар себептерге байланыштуу табиятта кездешүүчү ядролордун ичинен массалык саны 235, б. а.  ${}_{92}^{235}\text{U}$  болгон урандын изотобунун ядросу гана жарактуу.

**Урандын изотоптору.** Табигый уран негизинен эки изотоптой турат:  ${}_{92}^{235}\text{U}$  жана  ${}_{92}^{238}\text{U}$ . Бирок  ${}_{92}^{238}\text{U}$  изотобу кеңири таралган  ${}_{92}^{238}\text{U}$  изотоптун  $1/140$  үлүшүн гана түзөт.

${}_{92}^{238}\text{U}$  дын ядролору тез кыймылдагы, ошондой эле жай кыймылдагы нейтрондордун таасири астында бөлүнөт. Ал эми  ${}_{92}^{238}\text{U}$  дын ядросу болсо, энергиясы 1 МэВ тон чоң энергияга ээ болгон нейтрондордун таасири астында гана бөлүнө алат. Мындай энергияга бөлүнүү кезинде пайда болгон нейтрондордун болжол менен 60% гана ээ боло алышат. Бирок болжол менен бештин ичинен бир гана нейтрон  ${}_{92}^{238}\text{U}$  дын бөлүнүүсүн пайда кылат. Калган нейтрондор бөлүнүүнү пайда кылбастан бул изотоп аркылуу кармалып калынат. Жыйынтыктап айтканда  ${}_{92}^{238}\text{U}$  дын таза изотобун пайдалануудан уланма реакциянын болушу мүмкүн эмес.

**Нейтрондун көбөйүү коэффициенти.** Уланма реакция жүрсүн үчүн, ар бир нейтрондун сөзсүз эле ядронун бөлүнүшүн пайда кылуусунун зарылдыгы жок. Ал үчүн урандын берилген массасында бошонгон нейтрондордун орточо саны убакыттын өтүшү менен азайбашы гана зарыл.

Бул шарт *нейтрондордун көбөйүү коэффициенти*  $k$  бирден чоң же барабар болгон учурда гана аткарылат. Нейтрондордун көбөйүү коэффициенти деп кандайдыр бир «курактагы» («поколений») нейтрондордун санынын андан мурда өткөн «курактагы» нейтрондордун санына болгон катышын аташат. Курактын алмашылышы деп мурдагы «курактагы» нейтрондорду жутуп, жаңы нейтрондорду пайда кылуу менен жүрүүчү ядронун бөлүнүшүн түшүнүшөт.

Эгер  $k \geq 1$  болсо, анда убакыттын өтүшү менен нейтрондордун саны көбөйөт же туруктуу боюнча кала берет да, уланма реакциясы жүрөт.  $k < 1$  кезинде убакыттын өтүшү менен нейтрондордун саны азаят да уланма реакциясынын болушу мүмкүн эмес.

Көбөйүү коэффициентинин чондугу төмөнкү төрт фактор менен аныкталат:

1)  ${}_{92}^{235}\text{U}$  ядролорунун жай нейтрондорду андан ары бөлүнүү менен кармап калышы жана  ${}_{92}^{235}\text{U}$  менен  ${}_{92}^{238}\text{U}$  ядролорунун тез нейтрондорду андан ары бөлүнүү менен кармап калышы;

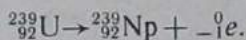
2) урандын ядролорунун нейтрондорду бөлүнүүсүз эле кармап калышы;

3) нейтрондорду бөлүнүүчү продуктулардын акырындаткычтын (ал-жөнүндө кийин айтылат) жана түзүлүштөрдүн конструктордук элементтерин кармап калышы;

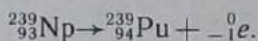
4) бөлүнүүчү заттан сыртка нейтрондордун учуп чыгышы. Биринчи процесс гана нейтрондордун санынын көбөйүшү менен жүрөт (негизинен  $^{235}_{92}\text{U}$  дын бөлүнүүсүнүн эсебинен). Калганынын бардыгы нейтрондордун азайышына алып келет.  $^{238}_{92}\text{U}$  таза изотопто уланма реакциясынын болушу мүмкүн эмес, анткени бул учурда  $r < 1$  (ядролор тарабынан бөлүнүүсүз жутулган нейтрондордун саны, ядролордун бөлүнүүсүнүн эсебинен жаңы пайда болгон нейтрондордун санынан чоң).

Уланма реакциясынын стационардуу өтүшү үчүн нейтрондордун көбөйүү коэффициенти бирге барабар болуш керек. Бул барабардык жогорку тактыкта кармалышы зарыл.  $r = 1,01$  учурунда эле ошол замат жарылуу жүрүп кетет.

**Плутонийдин пайда болушу.** Урандын  $^{238}_{92}\text{U}$  изотобунун ядролордун бөлүнүүсүн пайда кылбастан нейтрондорду кармап калуусу чоң мааниге ээ. Нейтрондорду кармап калгандан кийин жарым ажыроо мезгили 23 мин болгон радиоактивдүү  $^{239}_{92}\text{U}$  изотоп түзүлөт. Ажыроо электрондорду бөлүп чыгаруу менен жана биринчи трансурандык элемент — *нептунийдин* пайда болушу менен жүрөт:



Нептуний болсо жарым ажыроо мезгили эки күнгө жакын болгон  $\alpha$ -радиоактивдүүлүккө ээ. Нептунийдин ажыроо процессинде төмөнкүдөй трансурандык элемент — *плутоний* пайда болот:



Плутоний ага салыштырмалуу стабилдүү, анткени анын жарым ажыроо мезгили өтө чоң — 24000 жылга жакын. Плутонийдин маанилүү касиети болуп  $^{239}_{92}\text{U}$  изотобу сыяктуу анын жай нейтрондордун таасиринен бөлүнгөндүгү эсептелет. Ошондуктан плутоний аркылуу дагы эбегейсиз зор энергиянын бөлүнүп чыгышы менен коштолуучу уланма реакциянын иш жүзүнө ашырылышы мүмкүн.

## 100. Ядролук реактор

*Ядролук (же атомдук) реактор* деп ядронун бөлүнүшүнүн башкарылуучу реакциясы иш жүзүнө ашырылуучу түзүлүш аталат.

Урандын ядросу, өзгөчө  $^{235}_{92}\text{U}$  изотобунун ядросу жай нейтрон-



(236)

дорду бир кыйла эффективдүү кармап калышат. Тез кыймылдагы нейтрондорго караганда ядролору кийин бөлүнө турган жай кыймылдагы нейтрондордун кармап калуу мүмкүндүгү жүз эсе чоң. Ошондуктан, табигый уран менен иштөөчү ядролук реактордо нейтрондордун көбөйүү коэффициенти жогорулатуу үчүн нейтрондорду акырындаткыч колдонулат. Ядролук реактордогу процесстер схема түрүндө 236-сүрөттө көрсөтүлгөн.

**Ядролук реакторлордун негизги элементтери.** 237-сүрөттө ядролук реактору бар энергетикалык түзүлүштүн схемасы келтирилген.

Ядролук реактордун негизги элементтери болуп төмөнкүлөр эсептелет: ядролук отундар ( $^{235}_{92}\text{U}$ ,  $^{239}_{94}\text{Pu}$ ,  $^{238}_{92}\text{U}$  ж. б.), нейтрондорду акырындаткыч (оор же кадимки суу, графит ж. б.), реактор иштегенде пайда болуучу жылуулуктарды чыгаруу үчүн арналган жылуулук алып жүргүч (суу, суюк натрий ж. б.) жана реакциянын ылдамдыгын жөнгө салып туруучу түзүлүш (кадмий же бор кошулуп жасалып реактордун жумушчу чөйрөсүнө киргизилген стержендер: кадмий менен бор нейтрондорду жакшы жутуучу заттар болушат).

Реактор сыртынан ү-нурданууну жана нейтрондорду кармап калуучу коргонуу оболочкасы менен курчалып коюлат. Оболочканы темир кошуу менен бетондон жасайт.

*Оор суу* эң жакшы акырындаткыч болуп эсептелет (§ 93 ты карагыла). Кадимки суунун өзү нейтрондорду кармап калып оор сууга айланат. Ошондой эле графит жакшы акырындаткычтардан болуп эсептелет, анын ядролору нейтрондорду жутпайт.

**Критикалык масса.** Көбөйүү коэффициенти  $k$  реактордун өлчөмү жана ага ылайык урандын массасы бир катар критикалык маанилеринен ашык болгон шартта гана бирге барабар боло алат. *Критикалык масса* деп бөлүнүүчү заттын уланма ядролук реакция жүрө турган эң эле кичине массасы аталат.

Өлчөмдөрдү кичине (ураны бар стержень жайланыштырылган көлөмдө) болгон кезде реактордун активдүү зонасынын бети аркылуу нейтрондордун агып чыгышы өтө эле чоң.

Системанын өлчөмүнүн чоңоюшу менен бөлүнүүгө катышуучу ядролордун саны көлөмгө пропорциялаш өсөт, ал эми агып



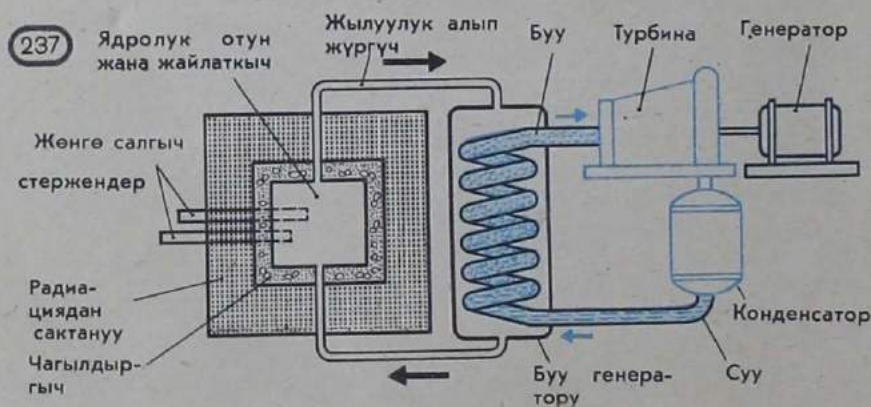


**Ферми Энрико** (1901—1954) — италиялык улуу физик, ал азыркы кездеги теориялык жана эксперименттик физиканын өсүшүнө чоң салым кошкон. 1938-жылы АКШга эмиграцияланган. Дирак менен бир эле убакта Ферми электрондордун жана башка бөлүкчөлөрдүн кванттык статистикалык теориясын түзгөн (Ферми — Дирактын статистикасы). Ферми нейтрондук физикада бир катар фундаменттүү ачылыштарды жасады: заттарды нейтрондор менен нурданткан кезде пайда болуучу жасалма радиоактивдүүлүктү, нейтрондорду акырындатууну ж. б. тапкан. Ферминин жетекчилиги менен 1942-жылы башкарылуучу ядролук реакция биринчи жолу иш жүзүнө ашырылган.

чыгуунун натыйжасында жоголуучу нейтрондордун саны беттин аянтына пропорциялаш өсөт. Ошондуктан, системанын өлчөмүн чоңойтуу менен көбөйүү коэффициенти  $k \approx 1$  болгон маанилерге жетишүүгө болот. Эгер кармап калуу менен агып чыгуунун натыйжасында жоголгон нейтрондордун саны бөлүнүү процессинде алынган нейтрондордун санына барабар болсо, система критикалык өлчөмдөргө ээ болот. Критикалык өлчөмдөр жана ага жараша критикалык масса ядролук отундардын түрлөрү, акырындаткыч жана реактордун түзүлүшүнүн өзгөчөлүгү менен аныкталышат.

Шар формасындагы таза (акырындаткычсыз)  $^{238}_{92}\text{U}$  уран үчүн критикалык масса болжол менен 50 кг га барабар. Бул учурда шардын радиусу болжол менен 9 см ге барабар (уран абдан оор зат). Нейтрондорду акырындаткычтарды жана нейтрондорду чагылтуучу бериллийден жасалган оболочканы колдонуп, критикалык массаны 250 г га чейин төмөндөтүүгө мүмкүндүк болду.

Реакторду башкаруу кадмий же бордон жасалган стержен-





дин жардамы менен иш жүзүнө ашырылат. Реактордун активдүү зонасынан стержендерди чыгарып койгондо  $k > 1$ , ал эми стержендер толугу менен киргизилгенде  $k < 1$ . Стержендерди активдүү зонанын ичине киргизүү менен каалаган учурда уланма реакциянын уланышын токтотуп коюуга болот. Ядролук реакторлор ЭЭМдин жардамы менен аралыктан башкарылат.

**Тез нейтрондор менен иштөөчү реакторлор.** Акырындаткычы жок, тез нейтрондор менен иштөөчү реакторлор түзүлгөн. Тез нейтрондор пайда кылган бөлүнүү мүмкүндүгү аз болгондуктан мындай реакторлор табигый урандар менен иштей албайт. Реакцияны жок дегенде 15% тен кем эмес  $^{235}_{92}\text{U}$  изотобу менен байытылган гана аралашмада жүргүзүүгө болот. Тез нейтрондор менен иштөөчү реакторлордун артыкчылыгы, алар иштеген кезде эбегейсиз көп сандагы плутонийдин пайда болушунда. Мындан алынган плутонийди кийин ядролук отун катары пайдаланууга болот. Бул реакторлор *көбөйтүүчү-реакторлор* деп аталат, анткени алар бөлүнүүчү материалдарды кайтадан өндүрүп турат. *Кайтадан өндүрүү коэффициенти* 1,5 ке чейинки реакторлор курулууда. Бул болсо 1 кг урандын  $^{235}_{92}\text{U}$  изотобунан 1,5 кг га чейин плутоний алынат дегенди билдирет. Кадимки реакторлордо кайтадан өндүрүү коэффициенти 0,6—0,7 ге жетет.

**Биринчи ядролук реакторлор.** Урандын бөлүнүшүндөгү ядролук биринчи уланма реакциясы АКШда 1942-жылдын декабрында Энрико Ферми жетекчилик кылган окумуштуулар коллективи тарабынан иш жүзүнө ашырылган.

Советтер Союзунда биринчи ядролук реактор 1946-жылы 25-декабрда биздин эң сонун окумуштуубуз Игорь Васильевич Курчатов жетекчилик кылган физиктердин коллективи тарабынан ишке киргизилген.

Азыркы кезде бири биринен кубаттуулугу жана ошондой эле өзүнүн милдеттери боюнча айырмаланышкан ар түрдүү типтеги реакторлор түзүлгөн. Өзгөчө келечектүүлөрү болуп тез нейтрондор менен иштөөчү көбөйтүүчү-реакторлор эсептелет.

## 101. Термоядролук реакциялар

Уран ядросунун тынч абалдагы массасы ядронун сыныктарынын тынч абалдагы массаларынын суммасынан чоңдук кылат. Ал эми жеңил ядролор үчүн такыр тескерисинче болот. Мисалы, гелийдин ядросунун тынч абалдагы массасы гелийдин ядросун бөлүүгө мүмкүн болгон оор суутектин эки ядросунун тынч абалдагы массаларынын суммасынан бир кыйла кичинелик кылат.

Бул болсо жеңил ядролор кошулганда тынч абалдагы массалар азаят, демек, бул учурда чоң энергия бөлүнүп чыгат дегенди билдирет. Ушул сыяктуу жеңил ядролордун кошулуу реакциялары эң эле жогорку температурада гана жүрө алат. Ошондуктан алар *термоядролук* деп аталат.



Курчатов Игорь Васильевич (1903—1960) — советтик көрүнүктүү физик жана илимди уюштуруучу, Социалисттик Эмгектин үч жолку Баатыры. 1943-жылдан баштап Курчатов атомдук проблемага байланыштуу болгон илимий иштерге жетекчилик кылган. Анын жетекчилиги менен Европада биринчи жолу атомдук реактор (1946) жана советтик биринчи атом бомбасы (1949) жасалган. Курчатовдун баштапкы иштери сегнетозлектриктерди изилдөөгө нейтрондор пайда кылуучу ядролук реакцияларга, жасалма радиоактивдүүлүккө тиешелүү болгон. Курчатов жашоо убактысы салыштырмалуу узак ядролордун дүүлүккөн абалынын болушун ачкан.

*Термоядролук реакциялар — бул эң эле жогорку температура кезинде жеңил ядролордун кошулуу реакциялары.*

Ядролор кошулуш үчүн, алар  $10^{-12}$  см аралыкка чейин жакындатылышы, б. а. алар ядролук күчтөр таасир этүүчү сферага кириши зарыл. Мындай жакындашууга ядролордун кулондук түртүшүүлөрү каршылык кылат. Аны ядролордун жылуулук кыймылдарынын зор кинетикалык энергияларынын эсебинен гана жеңүүгө болот.

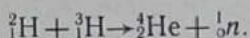
Термоядролук реакциялар кезинде бир нуклонго туура келген энергия бөлүнүп чыккан кезде ядронун бөлүнүшүндөгү уланма реакциялар кезинде бөлүнүп чыгуучу салыштырма энергиядан ашып түшөт. Мисалы, оор суутек — *дейтерий*, суутектин өтө эле оор изотобу — *третий* менен кошулганда бир нуклонго 3,5 МэВ чамасындагы энергия бөлүнсө, ошол эле убакта урандын бөлүнүшүндө бир нуклонго болжол менен 1 МэВ энергия бөлүнөт.

Термоядролук реакциялар Ааламдын эволюциясында чечүүчү ролду ойношот. Күндүн жана жылдыздардын нурдануу энергиялары термоядролук жаратылышка ээ.

Азыркы кездеги түшүнүк боюнча жылдыздын пайда болушунун алгачкы баскычтарында ал негизинен суутектен турган. Жылдыздын ичинде температура ушунчалык жогору, демек, анда гелийдин пайда болушу менен протондордун кошулуу реакциясы жүрөт. Андан кийин гелийдин ядролорунун кошулуусу менен бир канча оор элементтер пайда болот. Термоядролук реакциялар Ааламдагы заттардын химиялык составдарынын эволюциясында чечүүчү ролду ойнойт. Бул реакциялардын жүрүшүндө энергия бөлүп чыгарылат. Бөлүнгөн энергиялар жылдыздардын миллиард жылдар бою жарык чыгарып турушун камсыз кылат.

*Башкарылуучу термоядролук реакциялардын Жер жүзүндө ишке ашырылышы, адам баласын, жаңы иш жүзүндө түгөнбөй турган энергия булагын алууга үмүттөндүрөт. Бул жагынан алганда бир кыйла келечеги бар реакциядан болуп дейтерийдин третий менен кошулуу реакциясы эсептелет:*

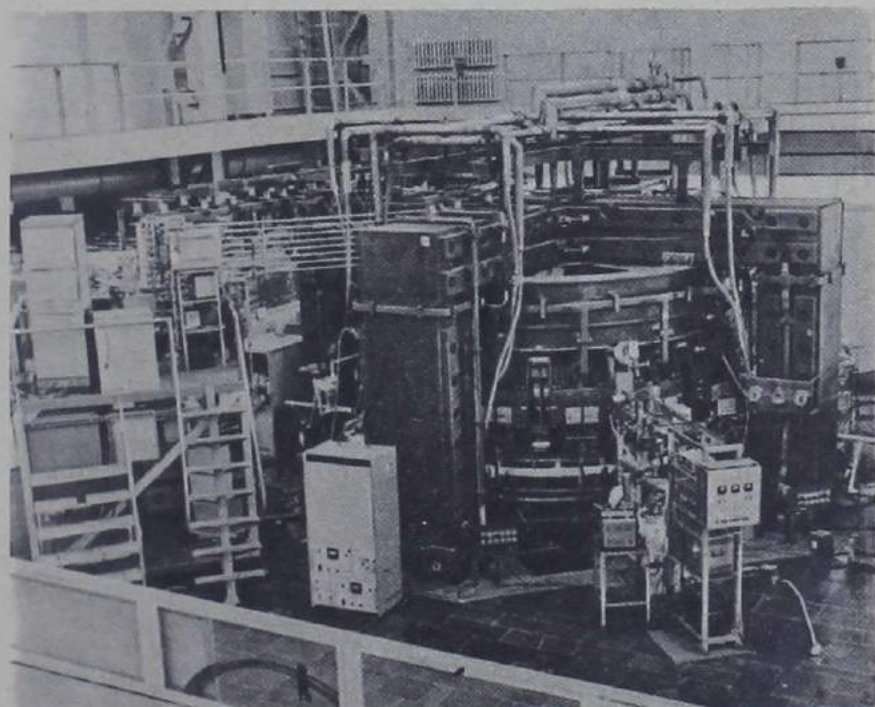




Бул реакция кезинде 17,6 МэВ энергия бөлүнүп чыгат. Тритий жаратылышта жок болгондуктан, ал термоядролук реактордун өзүндө литийден иштелип чыгышы керек.

Чоң тыгыздык кезинде ( $1 \text{ см}^3$  га  $10^{14}$ — $10^{15}$  бөлүкчө) реакцияга катышуучу заттарды бир нече жүз миллион кельвин температурага чейин ысытканда гана эсептөөлөр көрсөткөндөй экономикалык жагынан пайдалуу реакция жүрүшү мүмкүн. Мындай температурага негизинен плазмада кубаттуу электрдик разряддарды түзүү жолу менен жетишүүгө болот. Бул иштеги эң негизги кыйынчылык установкадын ичинде өтө жогорку температурадагы плазманы 0,1—1 с убакытка кармап туруу болуп эсептелет.

Бул учурда түзүлүш кандай заттардан жасалса да анын капталы чыдабайт, анткени ушунчалык жогорку температурада алар буга айланып кетет. Жогорку температурадагы плазманы чектүү көлөмдө кармоонун бирден-бир мүмкүн болгон методу



Башкарылма термоядролук реакциялардын болуу шарттарын окуп үйрөнүү үчүн арналган Токамак-10 эксперименттик түзүлүшү.

болуп абдан күчтүү магнит талаасынын жардамы менен кармоо эсептелет. Бирок плазманын туруксуздугунан буга чейин бул маселени толугу менен чечүүгө мүмкүндүк болгон жок. Бул учурда плазма магнит «стенкасы» аркылуу заряддалган бөлүкчөлөрдүн тобун диффузиялайт.

Жакынкы 10—20 жылдын ичинде термоядролук реакторлорду курууга болот деген толук ишеним бар. Биздин өлкөнүн окумуштуулары башкарылуучу термоядролук реакцияларды түзүү боюнча жогорку ийгиликтерге жетишишти, бул иштер Л. А. Арцимович менен М. А. Леонтовичтин жетекчиликтери астында башталган жана алардын окуучулары тарабынан улантылууда. Азырынча суутектүү (же термоядролук) бомбада жарылуу тибиндеги *башкарылбоочу синтез реакциясын* гана иш жүзүнө ашырууга мүмкүн болду.

## 102. Ядролук энергиянын колдонулушу

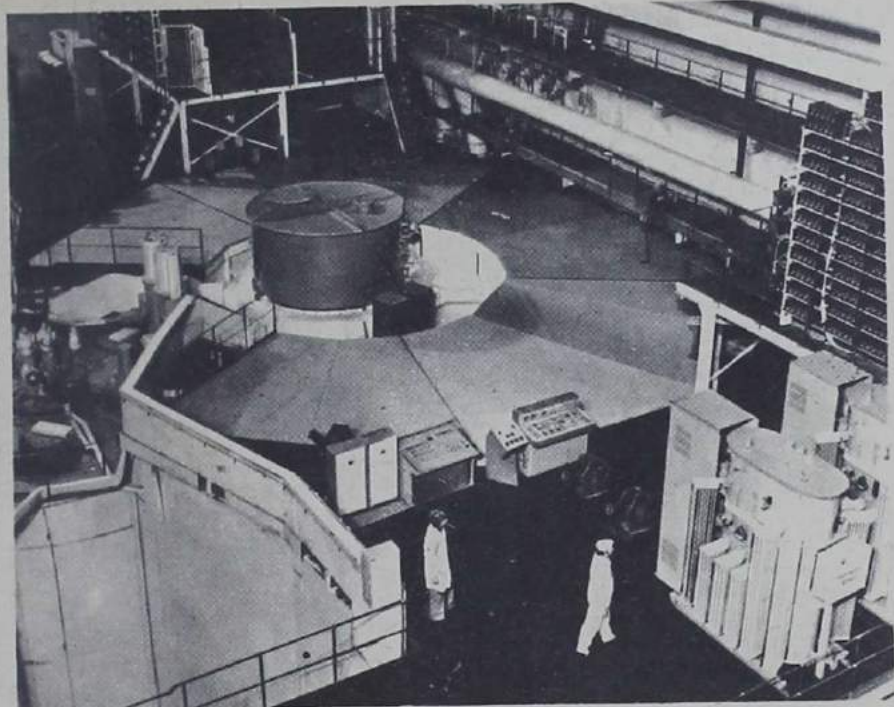
СССРде ядролук энергетиканын жетишкендиктери жана анын өсүшүнүн перспективалары. Ядролук энергияны электр энергиясына айландыруу үчүн колдонуу биринчи жолу биздин өлкөдө 1954-ж. иш жүзүнө ашырылган. Обнинск шаарында кубаттуулугу 5000 кВт келген биринчи атомдук электростанция (АЭС) ишке киргизилген. Ядролук реактордон бөлүнүп чыккан энергия сууну бууга айландыруу үчүн пайдаланылган. Ал буу кийин генератор менен туташтырылган турбинаны айландырган.

Кийинки эки он жылдын ичинде эксплуатацияга берилген Нововоронежск, Ленинград, Курск жана Кольск АЭСтери да ушундай принципте иштешет. Бул станциялардын реакторлору 500—1000 МВт кубаттуулугуна ээ.

Атомдук электростанциялар баарыдан мурда өлкөнүн европалык бөлүгүндө курулуп жатат. Бул болсо АЭСтин органикалык отун менен иштөөчү жылуулук электростанциясына салыштырганда артыкчылыктарга ээ болгондугуна байланыштуу. Ядролук реакторлор дефициттүү органикалык отунду талап кылбайт жана темир жол транспортун көмүр ташуудан куткарат. Атомдук электростанциялар атмосфералык кычкылтекти талап кылбайт жана чөйрөнү көө жана күйүүнүн продуктулары менен булгабайт. Мындай артыкчылыктар өзгөчө СССРдин европалык бөлүгүндө маанилүү. Анткени бул жакта зарыл болгон энергетикалык кубаттуулуктун өсүшү менен камсыз кылуучу гидроэнергиянын жана органикалык отундун ресурстары жетишсиз.

Жылуулук (б. а. жай кыймылдагы) нейтрондор реакторлорунда уран болгону 1—2% гана пайдаланылат. Уранды толук колдонуу тез кыймылдагы нейтрондор реакторунда жетишилген. Бул реакторлор ошондой эле плутоний түрүндөгү жаны ядролук күйүүчү отундун пайда болуп турушун камсыз кылат. 1980-ж. Белоярск АЭСында кубаттуулугу 600 МВт келген тез кыймылдагы нейтрондор реактору дүйнөдө биринчи жолу ишке киргизилген.





Белоярск АЭСында орнотулган, кубаттуулугу 600 МВт болгон тез кыймылдагы нейтрондордун атомдук реактору.

Мындан ары биздин өлкөдө ар бири 4000—6000 МВт келген типтүү АЭСлардын курулушу көптөгөн санда жүргүзүлмөкчү. Алардын сумардык кубаттуулугу 100 ГВт ка чейин жеткирилиши керек.

**Ядролук курал.** Нейтрондордун көбөйүү коэффициенти чоң болгон башкарылбоочу уланма реакциясы атом бомбасында иш жүзүнө ашырылат.

Энергиянын кирпик каккыча бөлүнүп чыгышы (жарылышы) үчүн реакция тез кыймылдагы нейтрондор аркылуу жүргүзүлөт (акырындаткычсыз). Жарылуучу зат катары таза уран  $^{235}_{92}\text{U}$  же плутоний  $^{239}_{94}\text{Pu}$  колдонулат.

Жарылуу пайда болуш үчүн бөлүнүүчү материалдын өлчөмдөрү кризистиктен ашык болуусу керек. Буга кризистикке чейинки өлчөмдөгү бөлүнүүчү материалдын эки бөлүгүн тез бириктирүү жолу менен, же болбосо бөлүктүн бирин кескин түрдө белгилүү өлчөмгө дейре кысуу менен жетишүүгө болот. Бул учурда нейтрондордун аянт аркылуу агып чыгуусу бөлүктүн өлчөмү кризистиктен жогору болгонго чейин төмөндөйт. Айдык.



Түндүк Муз океанынын муздарында жүрүүчү, дүйнөдөгү биринчи «Ленин» атомдук ледоколу.

тылган эки учур тең кадимки эле жарылуучу заттардын жардамы менен иш жүзүнө ашырылат.

Бомба жарылганда температура ондогон миллион кельвинге жетет. Мындай температурада басым кескин жогорулайт жана кубаттуу жарылуу толкуну пайда болот. Бир эле убакытта кубаттуу нурдануу да пайда болот. Бомба жарылган учурдагы уланма реакциясынын продуктусу абдан радиоактивдүү жана жандуу организмдер үчүн коркунучтуу.

Атом бомбасын экинчи дүйнөлүк согуштун аягында АКШ Японияга каршы колдонгон. 1945-жылы Япониянын Хиросима жана Нагасаки шаарларына атом бомбасы ташталган. Адам баласын массалык түрдө жок кылуунун бул актысы согуштун зарылчылыгынан болгон эмес, анткени ал кезде Япониянын багынып бере тургандыгы чечилип калган болучу.

Термодролук (водороддук) бомбада термодролук синтез үчүн зарыл болуучу жогорку температуранын булагы болуп, термодролуктун ичине жайлаштырылган атом бомбасынын (урандуу же плутондуу) жарылышы кызмат кылат. Бул бомбалардын жарылуу энергияларын көбөйтүүнүн техникалык мүмкүндүктөрү эч нерсе менен чектелген эмес.

Ядролук куралдардын бардык түрлөрү бар болсо да, Советтер Союзу эл аралык аренада адам баласын массалык түрдө жок кылуучу куралдарга тыюу салуу боюнча туруктуу күрөш жүргүзүп келе жатат.



### 103. Радиоактивдүү изотопторду алуу жана алардын колдонулушу

**Табиятта болбой турган элементтер.** Ядролук реакциялардын жардамы менен табиятта кезигүүчү бардык химиялык элементтердин стабилдүү абалдагы гана радиоактивдүү изотопторун алууга болот. 43, 61, 85 жана 87 номерлүү элементтер стабилдүү изотопторго такыр ээ эмес, алар биринчи жолу жасалма жол менен алынган. Мисалы, катар номери  $Z=43$  болгон *технеций* элементи жарым ажыроо мезгили миллион жылча болгон эң эле көпкө жашоочу изотопко ээ.

Ошондой эле ядролук реакциянын жардамы менен трансурандык элементтер да алынган. Ал эми *нептуний* жана *плутоний* жөнүндө силер билесинер. Алардан тышкары дагы төмөнкү элементтер: *америций* ( $Z=95$ ), *кюри* ( $Z=96$ ), *беркли* ( $Z=97$ ), *калифорний* ( $Z=98$ ), *эйнштейний* ( $Z=99$ ), *фермий* ( $Z=100$ ), *менделевий* ( $Z=101$ ), *нобелий* ( $Z=102$ ), *лоуренсий* ( $Z=103$ ), *курчатовий* ( $Z=104$ ), *нильсборий* ( $Z=105$ ) алынган. Курчатовий, нильсборий, ошондой эле азырынча жалпыга белгилүү атка ээ боло элек 106, 107 жана 108 элементтер биринчи жолу СССРде, Дубнада синтезделген. (108 элементи бир эле убакта ФРГ да да синтезделген.)

**Белгиленген (меченые) атомдор.** Азыркы кезде ар кандай химиялык элементтердин радиоактивдүү изотопторунун илимде да, ошондой эле өндүрүштө да колдонулушу барган сайын кеңейүүдө. Белгиленген атомдор методу өзгөчө мааниге ээ. Бул метод радиоактивдүү изотоптордун химиялык касиеттеринин ушул эле химиялык элементтердин радиоактивдүү эмес изотопторунун касиеттеринен айырмаланбагандыгына негизделген.

Радиоактивдүү изотопторду алардын нурдантуусу боюнча эң эле жөнөкөй билүүгө болот. Радиоактивдүүлүк өзгөчө бир белги болуп эсептелет. Анын жардамы менен ар кандай химиялык реакцияларда жана заттардын физикалык айланууларында элементтердин абалын байкоого болот. Белгиленген атомдор методу биологиянын, физиологиянын, медицинанын ж. б. көп сандаган проблемаларын чечүүдө маанилүү методдордун бири болуп калды.

**Радиоактивдүү изотоптор — нурдануунун булагы.** Радиоактивдүү изотоптор ү-нурларын нурдантуучу бирдиктүү булак катары илимде, медицинада жана техникада кеңири колдонулат. Негизинен радиоактивдүү кобальт  $^{60}_{27}\text{Co}$  пайдаланылат.

**Радиоактивдүү изотопторду алуу.** Радиоактивдүү изотоптор атомдук реакторлордо жана элементардык бөлүкчөлөрдүн ылдамдаткычтарында алынат. Азыркы кезде изотопторду өндүрүү боюнча өндүрүштүн көп тармактары иштеп жатат. Бардык атомдук өнөр жайларда адам баласы үчүн башкы баалуулук, радиоактивдүү изотопторду алуу жана аны пайдалануу болуп эсептелет.

да.

дыктар.

**Радиоактивдүү изотоптордун биологияда жана медицинада колдонулушу.** Белгиленген атомдордун жардамы менен жүргүзүлгөн көрүнүктүү изилдөөлөрдүн бири болуп организмде заттын алмашылышын изилдөө эсептелет. Салыштырмалуу анча деле көп эмес убакыттын ичинде организм дээрлик толук жаңыртууга дуушар болору далилденген. Аны түзүүчү атомдор жаңылары менен алмашышат.

Бул эрежеге темир гана туура келбестигин канды изотоп боюнча изилдөөдө жүргүзүлгөн тажрыйбалар көргөзгөн. Темир кандын кызыл данчаларынын гемоглобининин составына кирет. Тамак ашка  $^{59}\text{Fe}$  темирдин радиоактивдүү атомдорун кошкондо алар канга дээрлик кошулбай тургандыгы белгиленген. Организмдеги темирдин запасы түгөнгөн учурда гана темир организм тарабынан өздөштүрүлө баштайт.

Эгерде жетишерлик убакытка дейре жашоочу радиоактивдүү изотоптор болбой калса, мисалы, кычкылтекте жана азотто, стабилдүү элементтердин изотоптук составын алмаштырышат. Мисалы, кычкылтеке  $^{18}\text{O}$  изотобун кошуу менен фотосинтезде бөлүнүп чыгуучу бош кычкылтек адегенде көмүркычкыл газына эмес суунун составына кире тургандыгы аныкталган.

Радиоактивдүү изотоптор медицинада диагнозду коюу үчүн, ошондой эле терапевтик максаттар үчүн да колдонулат.

Канга бир аз санда кошулуучу радиоактивдүү натрий кандын айланышын изилдөө үчүн пайдаланылат.

Иод калкан безинде, өзгөчө богок оорусунда интенсивдүү бөлүнөт. Радиоактивдүү иоддун бөлүнүшүн эсептегичтин жардамы менен байкоо жүргүзүү аркылуу тез эле диагноз коюуга болот. Радиоактивдүү иоддун чоңураак дозасы аномалдуу өсүп жаткан тканга айрым бузулууну пайда кылат, ошондуктан радиоактивдүү иодду богок оорусун дарылоо үчүн да колдонушат.

Кобальттын интенсивдүү ү-нурдануусу ар кандай рак ооруларын дарылоодо колдонулат (кобальт пушкасы).

**Радиоактивдүү изотоптордун өнөр жайда колдонулушу.** Радиоактивдүү изотоптор өнөр жайда кеңири колдонулат. Мунун мисалдарынын бири болуп, ичинен күйүүчү кыймылдаткычтагы поршендүү шакектин жешилүүсүн текшерүүчү төмөнкү ыкма эсептелет. Поршендүү шакекти нейтрондор менен нурданып, анда ядролук реакцияны пайда кылуу менен аны радиоактивдүү кылат. Кыймылдаткыч иштегенде шакектин материалынын кыпындары майлап туруучу майга келип түшөт. Кыймылдаткыч белгилүү убакытка иштегенден кийин майдын радиоактивдүү деңгээлин изилдеп, шакектин жешилишин аныктайт.

Радиоактивдүү изотоптор металлдардын диффузиялары, домен мешиндеги процесстер ж. б. жөнүндө түшүнүк алууга мүмкүндүк берет. Радиоактивдүү препараттардын кубаттуу ү-нурдануулары металл куймаларынын дефектилерин табуу үчүн ички структурасын изилдөөдө колдонулат.



**Айыл чарбасында радиоактивдүү изотоптордун колдонулушу.** Радиоактивдүү изотоптор айыл чарбасында улам барган сайын кеңири колдонулушка ээ болууда. Өсүмдүктөрдүн үрөнүн (пахта, капуста, чамгыр ж. б.) радиоактивдүү препараттардын ү-нурунун бир аз дозасы менен кактаса түшүмдүн билинерлик өлчөмдө көбөйүшүнө алып келет.

Радиациянын көбүрөөк дозасы өсүмдүктөр менен микроорганизмдерде мутацияны пайда кылат. Бул болсо айрым учурларда жаны баалуу касиеттерге ээ болгон мутанттардын пайда болушуна алып келет (радиоселекция). Мына ушул жол менен буудайдын, маш буурчактын ж. б. маданий өсүмдүктөрдүн баалуу сорттору табылган, ошондой эле антибиотиктерди өндүрүүдө колдонулуучу жогорку продуктивдүү микроорганизмдер алынган. Зыяндуу курт-кумурскалар менен күрөшүү үчүн жана тамакаш продуктуларын консервалоо үчүн да радиоактивдүү изотоптордун ү-нурдануулары пайдаланылат.

Белгиленген атомдор агротехникада кеңири колдонулушка ээ болду. Мисалы, фосфор жер семирткичтеринин ичинен кайсынысы өсүмдүктөр тарабынан жакшы кабыл алынарын билиш үчүн ар кандай семирткичтер радиоактивдүү фосфор  $^{32}_{15}\text{P}$  менен белгиленет. Андан кийин өсүмдүктүн радиоактивдүүлүгүн изилдеп көрүү менен, алар ар кандай сорттогу семирткичтерден канчалык сандагы фосфорду сиңиргендигин аныктоого болот.

**Археологияда радиоактивдүү изотоптордун колдонулушу.** Органикалык түзүлүштөгү байыркы нерселердин (жыгач, жыгач көмүрү, кездеме ж. б.) келип чыгыш жылын аныктоо үчүн радиоактивдүү көмүртек методун колдонуу өтө кызыктуу. Өсүмдүктөрдө дайыма жарым ажыроо мезгили  $T = 5700$  жыл болгон  $^{14}_6\text{C}$  көмүртектин  $\beta$ -радиоактивдүү изотобу болот. Ал Жердин атмосферасында нейтрондун таасир этүүсү менен көп эмес санда азоттон пайда болот. Нейтрондор болсо космостон атмосферага түшкөн (космостук нурлар) тез кыймылдагы бөлүкчөлөрдүн таасири аркылуу болгон ядролук реакциялардын эсебинен пайда болгон. Бул көмүртек кычкылтек менен кошулуп көмүр кычкыл газын пайда кылат. Ал газды өсүмдүктөр жутат, алар аркылуу жаныбарларга да өтөт. Көк чырпыктын бир түрүнөн алынган бир грамм көмүртек секундасына он бешке жакын  $\beta$ -бөлүкчөсүн чыгарат.

Организмдин өсүшү токтолгондо радиоактивдүү көмүртек менен анын толукталышы токтолот. Бул изотоптун калган саны радиоактивдүүлүктүн эсебинен кемийт. Органикалык калдыктагы көмүртектин проценттик катышын аныктоо менен, эгер ал 1000 ден 50 000 ге же болбосо 100 000 жылга чейин жаткан болсо, анын канча жыл жатканын (жашын) аныктоого болот. Мындай метод менен египеттик мумияга, байыркы күйгөн оттун калдыктарына канча жыл болгонун билишет.

## 104. Радиоактивдүү нурдануунун биологиялык таасири

Радиоактивдүү заттардын нурдануулары бардык тирүү организмдерге эң күчтүү таасирин тийгизет. Чыгарылган энергиясы толук жутулган учурда температурасы бар болгону  $0,001^{\circ}\text{C}$  ге жогорулай турган начар нурдануу дагы клеткалардын турмуш-тиричилигин бузат.

Тирүү клетка — бул татаал механизм. Анын айрым бөлүгү кичине бузулса эле ал нормалдуу жашоосун улантууга жөндөмсүз. Аз интенсивдүү нурдануу да клеткага орчундуу зыян келтирүүгө жөндөмдүү, ошондой эле коркунучтуу ооруну (нур оорусун) да пайда кылат. Чоң интенсивдүү нурдануунун негизинде тирүү организмдер өлөт. Нурдануулардын коркунучтуулугу, өлтүрө турган дозаларда да ооруу сезиминин болбогондугунда.

Нурдануу таасиринен жабыркаган биологиялык объектилердин механизми алигиче жетишерлик түрдө изилденип бүтө элек. Бирок, нурдануу таасиринен атомдор менен молекулалар иондошуп, анын натыйжасында алардын химиялык активдүүлүктөрү өзгөрүүгө дуушар болору белгилүү. Нурданууга клетканын ядро-өлүк, өзгөчө тез эле бөлүнүүчү клеткалар сезгич келишет. Ошондуктан биринчи кезекте нурдануу организмдеги жүлүнгө зыян келтирет, анын себебинен кандын пайда болуу процесси бузулат. Андан ары тамак-аш сиңирүүчү жолдорунун клеткаларына ж. б. мүчөлөрүнө зыян келтире баштайт.

Какталуу (облучение) тукум куучулукка катуу таасирин тийгизет. Көпчүлүк учурда бул таасир этүү зыяндуу болот.

Тирүү организмдерди кактоо белгилүү өлчөмдө пайда келтириши да мүмкүн. Коркунучтуу (рак) шишиктердеги тез көбөйүүчү клеткалар нормалдуу клеткаларга караганда кактоого өтө сезгич келишет. Рак шишиктерин радиоактивдүү препараттардын  $\gamma$ -нурлары менен токтотуу мына ушуга негизделген. Бул метод ушул максатта рентген нурларына караганда бир кыйла эффективдүү болот.

**Нурдануунун дозасы.** Нурдануунун тирүү организмге жасаган таасири *нурдануунун дозасы* менен мүнөздөлөт. *Нурдануунун жутулган дозасы D* деп иондоштуруу нурданууда жутулган *E* энергиясынын какталуучу заттын *m* массасына болгон катышы аталат:

$$D = \frac{E}{m}. \quad (12.6)$$

СИ бирдигинде нурдануунун жутулган дозасы грея менен (кыскача: Гр) туюнтулат. 1 Гр массасы 1 кг болгон какталуучу затка 1 Дж иондоштуруу нурдануу энергиясы берилген нурдануунун жутулган дозасына барабар:

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$



Радиациянын табигый фону (космос нурлары; айлана-чөйрөнүн жана адамдын телосунун радиоактивдүүлүгү) бир жыл ичинде бир кишиге  $2 \cdot 10^{-3}$  Гр га жакын дозаны түзөт. Радиациялык коргоо боюнча эл аралык комиссия нурдануу менен иштеген адамдар үчүн бир жылга мүмкүн болгон жогорку дозанын чегин  $0,05$  Гр га белгилеген. Кыска убакыт ичинде алынган  $3-10$  Гр дозасы өлүмгө алып келет.

**Организмди нурдануудан сактоо.** Радиациянын бардык булактары (радиоактивдүү изотоптор, реакторлор ж. б.) менен иштеген кезде нурдануунун таасир этүүчү зонасына туш келүүчү бардык адамдарды радиациядан коргоо боюнча чараларды колдонуу зарыл.

Коргонуунун эң жөнөкөй методу — бул персоналдарды нурдануунун булагынан жетишерлик чоң аралыкка алыстатуу. Абада жутулуусун эсепке албаганда радиациянын интенсивдүүлүгү булакка чейинки аралыктын квадратына тескери пропорциялаш кемийт. Ошондуктан радиоактивдүү препараттардын ампуласын кол менен кармоого болбойт. Атайын жасалган узун саптуу кыпчыгычты пайдалануу керек.

Нурдануу булагынан жетишерлик чоң аралыкка алыстатууга мүмкүн болбой калган учурларда, нурдануудан сактануу үчүн жутуп алуучу материалдардан тосмо пайдаланылат.

$\gamma$ -нурларынан жана нейтрондордон коргонуу өтө татаал. Алардын өтүп кетүүчү жөндөмдүүлүктөрү чоң. Коргошун  $\gamma$ -нурларын жакшы жутат. Жай кыймылдагы нейтрондор бор жана кадмий тарабынан жакшы жутулат. Тез кыймылдагы нейтрондор алдында графиттин жардамы менен акырындатылат.

### Сууроолор

1. Нейтрондордун көбөйүү коэффициенти эмнеден көз каранды?
2. Ядролук реакторлордо нейтрондорду акырындаткычтар эмне үчүн пайдаланылат?
3. Критикалык масса деген эмне?
4. Эмне үчүн жеңил ядролордун биригүү реакциялары эң эле жогорку температураларда гана жүрөт?
5. Оор ядролордун бөлүнүүлөрүнөн, ошондой эле жеңил ядролордун биригүүлөрүнөн энергиянын бөлүнүп чыгышынын энергиянын сакталуу закону боюнча кандайча түшүндүрүүгө болот?
6. Белгиленген атом деген эмне жана алар кандайча пайдаланылат?
7. Нурдануунун дозасы деген эмне?

### 13-көнүгүү

1.  $^{238}_{92}\text{U}$  уран удаалаш бир катар радиоактивдүү ажыроонун натыйжасында  $^{206}_{82}\text{Pb}$  коргошунга айланат. Бул учурда ал канча жолу  $\alpha$ -айланууга жана  $\beta$ -айланууга дуушар болот?
  2. Радийдин жарым ажыроо мезгили  $T = 1600$  жыл. Канча убакыттан кийин атомдордун саны 4 эсеге азаят?
  3. 1,91 сутканын ичинде радондун изотопторунун саны канча эсеге азаят?
- Радондун бул изотобунун жарым ажыроо мезгили  $T = 3,82$  сутка.
4. Д. И. Менделеевдин таблицасын пайдаланып фтордун, аргондун, бромдун, цезийдин жана алтындын атомдорунун ядролорундагы протондордун санын аныктагыла.
  5. Оор суутектин ядросунун — дейтрондун байланыш энергиясы эмнеге барабар? Дейтрондун салыштырмалуу атом-

дук массасы  $m_p = 2,0141$ , протондуку  $m_p = 1,00728$ , нейтрондуку  $m_n = 1,00866$ ; көмүртектин атомунун массасы  $m_c = 1,995 \cdot 10^{-26}$  кг.

6. Бордун  ${}^1_1\text{B}$  ядросун протондор менен бомбалаганда бериллий  ${}^8_4\text{Be}$  алынат. Бул реакция кезинде дагы кандай ядро пайда болот?

7. Нейтронду кармап калган  ${}^{235}_{92}\text{U}$  яд-

ронун бөлүнүүсүнүн натыйжасында ядролор  ${}^{141}_{54}\text{Ba}$  жана  ${}^{91}_{36}\text{Kr}$ , ошондой эле үч бош нейтрон пайда болот. Барийдин ядросунун салыштырмалуу байланыш энергиясы  $8,38$  МэВ/нуклонго, криптондуку  $8,55$  МэВ/нуклонго жана урандыку  $7,59$  МэВ/нуклонго барабар. Урандын бир ядросунун бөлүнүү кезиндеги чыккан энергиясы эмнеге барабар?

## 12-главанын кыскача жыйынтыктары

Ядролук физикада ядронун түзүлүшү жана айланышы окулат.

Атомдук ядролордун жана элементардык бөлүкчөлөрдүн кагылышууларын жана бири бирине айланууларын каттоо, окуп үйрөнүү үчүн атайын түзүлүш пайдаланылат. Алардын катарына Гейгер эсептегичи, Вильсон камерасы, көбүктүү камера, фотоэмульсия кирет.

Өткөн кылымдын акырында А. Беккерель радиоактивдүүлүк кубулушун ачкан. Уран, торий ж. б. окшогон химиялык элементтер өз алдынча (тышкы таасирсиз эле)  $\alpha$ -,  $\beta$ -жана  $\gamma$ -нурларын чыгарышат. Бул нурлардын жаратылышы ар башка:  $\gamma$ -нурлары — бул кичине узундуктагы электромагниттик толкундар ( $10^{-10}$ — $10^{-13}$  м);  $\beta$ -нурлары — бул электрондордун агымы; ал эми  $\alpha$ -нурлары болсо гелийдин атомдорунун ядролорунун агымы болуп эсептелет.

Резерфорд радиоактивдүү ажыроо ар кандай бөлүкчөлөрдү чыгаруу менен жүрүүчү атомдук ядролордун өз алдынча айлануусу экендигин тапкан. Радиоактивдүү ажыроонун законуна ылайык ар бир радиоактивдүү заттар үчүн алардын активдүүлүгү эки эсе төмөндөй турган белгилүү бир убакыт аралыгы болот. Убакыттын бул аралыгы жарым ажыроонун мезгили деп аталат. Заттарга байланыштуу жарым ажыроо мезгили кеңири чектерде өзгөрөт: миллиарддаган жылдан секунданын үлүшүнө чейин.

Резерфорд биринчи жолу атомдук ядролорду радиоактивдүү заттардан чыккан  $\alpha$ -бөлүкчөлөрү менен бомбалап, атомдук ядролордун жасалма жол менен айланууларын тапкан. Д. Чедвик ушуга окшогон тажрыйбанын жардамы менен жаңы элементардык бөлүкчөнү — нейтронду ачкан. Нейтрондун заряды нөлгө барабар, ал эми массасы болжол менен протондун массасына (мындан бир аз гана ашуу менен) барабар.

Немец физиги В. Гейзенберг жана ага байланышсыз советтик физик Д. Д. Иваненко атом ядросунун протон-нейтрондук моделин сунуш кылышкан. Бул модель боюнча ядро протондор менен нейтрондордон турат. Ядронун массалык саны  $A$  протондордун саны  $Z$  менен нейтрондордун саны  $N$  дин суммасына барабар:



$$A = Z + N.$$

Бирдей эле сандагы протондуу  $Z$ , бирок ар башка сандагы нейтрондуу  $N$  ядролор изотоптор деп аталышат. Алардын химиялык касиеттери бирдей.

Ядронун ичинде протондор менен нейтрондор кыска аралыкка аракет этүүчү кубаттуу күчтөр менен кармалып турушат. Бул күчтөр ядролук күчтөр деп аталышат.

Бүткүл ядролук физика үчүн байланыш энергиясы деген түшүнүк негизги болуп эсептелет. Байланыш энергиясы  $E_{\text{байл.}}$  ядрону айрым нуклондорго ажыратуу үчүн жумшоого зарыл болгон энергияга барабар:

$$E_{\text{байл.}} = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2,$$

мында  $m_p$ ,  $m_n$  жана  $M_{\text{я}}$  — ирети менен протондун, нейтрондун жана ядронун тынч абалдагы массалары. Ядронун байланыш энергиясы атомдордун иондоштуруу энергиясынан миллион эсе ашыктык кылат.

Ядролордун бири-бири менен өз ара (же элементардык бөлүкчөлөр менен) аракеттенүүлөрүндөгү өзгөрүүлөрү ядролук реакция деп аталат. Ядролук реакция кезинде энергия бөлүнүп чыгат же жутулат. Ядролор менен бөлүкчөлөрдүн ядролук реакциясынын натыйжасы болгон кинетикалык энергиясы баштапкы ядролор менен бөлүкчөлөрдүн кинетикалык энергиясынан айырмаланышы мүмкүн. Себеби ядролордун айлануусунда алардын ички энергиясы өзгөрөт.

Ядролук реакциялардын көпчүлүгү ядролор менен заряддалган элементардык бөлүкчөлөрдүн кагылышуусунда же чоң энергиялуу жеңил ядролор менен болгон кагылышуусунда байкалат. Мындай энергияга алар элементардык бөлүкчөлөрдүн же иондордун тездеткичтеринде ээ болушат. Нейтрондор ядролор тарабынан түртүлүшпөйт, ошондуктан анча чоң эмес энергиялуу кезинде эле ядролук реакцияны пайда кылышы мүмкүн.

Урандын, торийдин ж. б. оор элементтердин ядролору нейтрондордун таасири астында бөлүнүүгө жөндөмдүү. Бул учурда бөлүнүүнүн ар бир актысында 200 МэВ чамасында энергия бөлүнүп чыгат. Ядро бөлүнгөн учурда эки-үч нейтрон чыгарылат. Бул болсо, ядролук реакторлордо башкарылуучу уланма реакцияны иш жүзүнө ашырууга мүмкүндүк берет. Ядронун бөлүнүүсүнүн башкарылбоочу реакциясы атомдук бомбаларда колдонулат.

Жеңил ядролор кагылышканда алар энергия бөлүп чыгаруу менен биригиши мүмкүн. Мындай ядролук реакциялар жогорку температура кезинде гана болушу мүмкүн, ошондуктан термоядролук деп аталат. Термоядролук реакциянын негизинде Күн жана жылдыздар энергияны миллиарддаган жылдар бою бөлүп чыгарып турушат. Башкарылбоочу термоядролук реакция водороддук бомбада иш жүзүнө ашырылат. Азырынча башкарылуучу термоядролук реакцияны ишке ашырууга мүмкүндүк боло элек.

Биздин өлкөдө дүйнөдө биринчи болуп атомдук электростанция тургузулган. Кубаттуу атомдук электростанциялар барыдан мурда органикалык отундун ресурстары чектүү болгон СССРдин европалык бөлүгүндө өнүгүүдө.

Ядролук реакторлор жана элементардык бөлүкчөлөрдүн тез-деткичтеринин жардамы менен даярдалуучу радиоактивдүү изотоптор илимде, медицинада, айыл чарбасында жана өнөр жайында колдонулууда.

Радиоактивдүү нурдануулар тирүү организмдер үчүн өтө коркунучтуу. Алар менен иштегенде атайын коргонуу чараларын колдонуу зарыл.

## 13-глава

### Элементардык бөлүкчөлөр

#### 105. Элементардык бөлүкчөлөр физикасынын өсүшүндөгү үч этап

(Тааныштыруу иретинде окутуу үчүн)

**Биринчи этап. Электрондон позитронго чейин: 1897—1932-ж. (Элементардык бөлүкчөлөр — өтө терең деңгээлдеги «Демокрит атомдору».)** Силер электрон, фотон, протон жана нейтрондор менен аздыр-көптүр таанышыңар. Ошондой болсо, да элементардык бөлүкчө деген эмне?

Грек философу Демокрит андан ары дагы майдаланып ажырабай турган, жөнөкөй бөлүкчөнү атом (*атом* деген сөз *бөлүнбөс* дегенди билдирерин эске сала кетели) деп атаган кезде, ага балким бардыгы эле татаал болуп көрүнбөсө керек. Ар кандай нерселер, өсүмдүктөр, жаныбарлар бөлүнбөс, өзгөрбөс бөлүкчөлөрдөн турат. Дүйнөдө байкалуучу өзгөрүүлөр — бул атомдордун жөнөкөй эле орун алмашуулары. Дүйнөдө өзгөрбөстөн калуучу атомдордон башкасынын бардыгы эле кыймылда, өзгөрүүдө болот.

Бирок XIX кылымдын аягында атом татаал түзүлүштө экендиги аныкталып, анын составдык бөлүгү катары электрон көрсөтүлгөн. Андан кийин XX кылымда атомдук ядронун составына кирүүчү бөлүкчөлөр — протон менен нейтрон ачылган. Адегенде бул бөлүкчөлөрдү Демокрит атомду кандай деп эсептесе так ошондой: дүйнөнүн бөлүнбөс жана өзгөрбөс, баштапкы негизги кирпиччелери деп эсептешкен.

**Экинчи этап. Позитрондон кварктарга чейин: 1932—1970-ж. (Бардык элементардык бөлүкчөлөр бири бирине айланышат.)** Бирок дагы көңүлдү өзүнө буруучу тактыкты талап кылган мындай учур көпкө созулган жок. Бардыгы татаал болуп, өзгөрбөй турган бөлүкчөнүн таптакыр жоктугу аныкталды. *Элемен-*



тардык деген сөздүн өзүндө эки маани жатат. Бир жагынан алганда, элементардык деген сөз өзүнөн өзү көрүнүп тургандай жөнөкөй дегенди билдирет. Экинчи жагынан алганда элементардык деп нерселердин фундаменталдуу негизин түзгөндүгү түшүнүлөт (азыркы кезде субатомдук бөлүкчөлөр<sup>1</sup> так мына ушул маанисинде элементардык деп аталат).

Азыркы кезде белгилүү болгон элементардык бөлүкчөлөрдү Демокрит атому өзгөрбөс деп атаган сыяктуу эсептөөгө төмөнкү жөнөкөй факт тоскоолдук кылат. Бөлүкчөлөрдүн бири дагы түбөлүктүү эмес. Азыркы учурда элементардык деп аталуучу бөлүкчөлөрдүн көпчүлүгү кандайдыр бир сырткы таасирдин жок учурунда да секунданын эки миллиондон бир үлүшүнөн ашык убакытка тура албайт. Мисалы, бош нейтрон (атом ядросунан сырткаркы нейтрон) орто эсеп менен 15 минута жашай алат.

Фотон, электрон, протон жана нейтрино, эгер алардын ар бири табиятта өз алдынча боло алышса гана өздөрүнүн туруктуулугун сактай алышмак.

Бирок электрон менен протондор өзүлөрүнө окшогон, коркунучтуу бөлүкчөлөргө — позитрондор менен антипротондорго ээ. Алар менен кагылышканда бул бөлүкчөлөр өз ара жоюлушуп жаңы бөлүкчөлөр пайда болот.

Стол үстүнө коюлган лампадан чыккан фотон  $10^{-8}$  секундадан ашык тура албайт. Бул убакыт фотон столдун үстүндөгү китептин бетине түшүп, ага жутулууга кеткен убакыт болуп эсептелет.

Нейтрино гана башка бөлүкчөлөр менен өз ара начар аракеттенишкендиктен, дээрлик түбөлүккө жашоочулардан боло алат. Бирок кагылышуулар эң эле сейрек учураганына карабастан, нейтрино башка бөлүкчөлөр менен кагылышканда жоюлуп кетет.

Мына ошентип, өзгөрмөлүү табияттагы өзгөрбөс нерселерди табуу боюнча окумуштуулар кылымдар бою умтулса да «граниттик негизди» эмес «чубурган кумду» карманып калышкан.

Бардык элементардык бөлүкчөлөр бири бирине айланышат да, бул өз ара айлануулар алардын болушунун негизги фактысы болот.

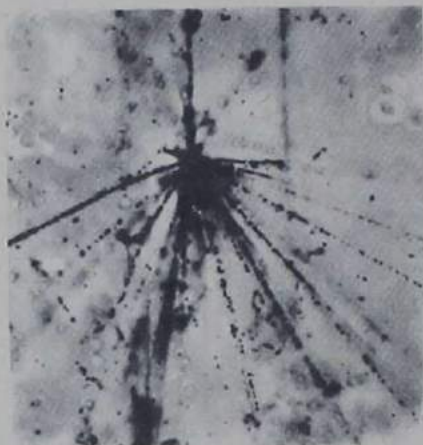
Элементардык бөлүкчөлөрдүн өзгөрбөстүгү жөнүндөгү түшүнүк негиздүү болбой калды. Бирок алардын ажырабастыгы жөнүндөгү ой-пикир сакталды.

Элементардык бөлүкчөлөр андан ары бөлүнүшпөйт, бирок алар өз касиеттери боюнча түгөнгүс болушат. В. И. Ленин электрон ачылгандан кийин эле анын касиеттеринин түгөнгүстүгү жөнүндө айткан болучу.

Мындай ойго келүүгө эмне мажбурлап жатат? Мисалы, электрон кандайдыр бир башка субэлементардык бөлүкчөлөрдөн<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Субатомдук бөлүкчөлөр — атомдорду түзүүчү бөлүкчөлөр.

<sup>2</sup> Бөлүкчөлөр азыркы убакта белгилүү болгон элементардык бөлүкчөлөрдөн түзүлөт деп түшүнүшөт.



турабы же жокпу, аны изилдөө боюнча табигый каалоубуз пайда болсун дейли. Электронду ажыратууга аракеттениш үчүн эмне кылуу керек? Ал үчүн бир гана жолду ойлоого болот. Мисалы, балдар пластмассадан жасалган оюнчугунун ичинде эмне бар экендигин билиш үчүн түз эле катуу уруп сындырышат. Мында да ошол эле жол эске түшөт. Электронду балка менен урууга мүмкүн болбостугу белгилүү. Бул үчүн абдан чоң ылдамдыкта учуп келе жаткан башка электронду же чоң ылдамдыктагы кандайдыр бир элементардык бөлүкчөлөрдү пайдаланууга болот.

Азыркы кездеги ылдамдаткычтар заряддалган бөлүкчөлөргө жарык ылдамдыгына эң эле жакын ылдамдыкты бере алышат.

Өтө жогорку энергиялуу бөлүкчөлөр кагылышканда эмне болот? Алар эч убакта составдык бөлүкчө деп айтууга мүмкүн болгудай бөлүкчөлөргө ажырашпайт. Бирок, алар элементардык бөлүкчөлөрдүн тизмесине кирген бөлүкчөлөрдүн бирин жаңыдан пайда кылат. Кагылышуучу бөлүкчөнүн энергиясы канчалык чоң болсо, ошончолук көп сандагы, анын үстүнө эң эле оор бөлүкчөлөр пайда болот. Бул болсо ылдамдыктын өсүшү менен бөлүкчөнүн массасынын көбөйүшүнүн натыйжасында мүмкүн болот. Массасы өсүүчү каалаган бөлүкчөлөрдүн бир жубунан бар болгону бүгүнкү күнгө чейин белгилүү болгон бардык бөлүкчөлөрдү алууга болот.

238-сүрөттөн силер 60 млрд. эВ энергияга ээ болгон (жогорку жоон сызык) көмүртектин ядросунун фотоэмульсиядагы күмүштүн ядросу менен кагылышуусунун натыйжасын көрүп турасыңар. Ядро ар башка тарапка учуп кетүүчү майда сыныктарга талкаланат. Ошол эле убакытта алынган релятивисттик ядролордун кагылышууларынан пайда болгон ушул сыяктуу реакциялар дүйнөдө биринчи жолу 1976-жылы академик А. М. Балдиндин жетекчилиги астында Дубна шаарындагы ядролук изилдөөлөрдүн Биргелешкен институтунун жогорку энергия лабораториясында иш жүзүнө ашырылган. Ядронун ажыраган электрондук оболочкасы суутектин атомун лазер нуру менен иондоштуруу аркылуу алынган болучу.

Азырынча биз пайда кылууга мүмкүн боло элек чоңдуктагы энергияга ээ болушкан бөлүкчөлөр кагылышса кандайдыр бир жаңы, алигиче белгисиз бөлүкчөлөрдүн пайда болушу мүмкүн. Бирок бул иштин мазмунун өзгөртө албайт. Кагылышуудан келип



чыга турган жаны бөлүкчөлөрдү «ата-энесинин» составдык бөлүгү катары кароого болбойт. Эгерде бөлүкчөлөрдүн «балдары» деп эсептелгендеринин табиятын өзгөртпөстөн ылдамданууга келтирип, бир гана массасын чоңойтсо, кагылышуунун мезгилинде өзүнүн «ата-энелерине» окшогон бир нечесин жана дагы көптөгөн бөлүкчөлөрдү пайда кылууга мүмкүн.

Ошентип, азыркы түшүнүк боюнча элементардык бөлүкчөлөр — бул алгачкы, андан ары ажырабай турган бөлүкчөлөр. Булардан бүткүл материя курулган. Бирок элементардык бөлүкчөлөрдүн ажырабастыгы алардын ички түзүлүшү (структурасы) жок дегенди билдирбейт.

**Үчүнчү этап. Кварктар жөнүндөгү гипотезадан (1964-ж.) бүгүнкү күнгө чейин.** (Көпчүлүк элементардык бөлүкчөлөр татаал түзүлүшкө ээ.) 60-жылдарда элементардык деп аталуучу бөлүкчөлөрдүн бардыгы эле бул атты толугу менен актай албастыктары жөнүндө күнөм саноо пайда боло баштайт. Бул күнөм саноонун негизи эң эле жөнөкөй: мындай бөлүкчөлөр эң эле көп.

Жаны элементардык бөлүкчөлөрдүн ачылышы дайыма илимдин көрүнүктүү триумфун түзүп келген, мындан ары да түзө бермекчи. Бирок көптөн бери улам кийинки триумфка тынчсыздануунун үлүшү кошула баштады. Триумфтар болсо биринин артынан бири пайда боло берди.

«Укмуштуу» (*странный*) деп аталган бөлүкчөлөрдүн группасы: массалары нуклондордун массаларынан ашык болгон *K*-мезондор жана гиперондор ачылган. 70-жылдарда аларга массалары мындан дагы жогору болгон чоң группа «*таң каларлык*» (*очарованный*) бөлүкчөлөр кошулган. Андан тышкары жашоо убактысы  $10^{-22}$ — $10^{-23}$  с тартибинде кыска убакытка жашоочу бөлүкчөлөр ачылган. Бул бөлүкчөлөр *резонанстар* деп аталган. Алардын саны эки жүздөн ашып кетти.

Мына, ошол эле 1964-ж. М. Гелл-Манн жана Дж. Цвейг тарабынан модель сунуш кылынган. Ал модель боюнча күчтүү (ядролук) өз ара аракеттенүүгө катышкан бөлүкчөлөрдүн бардыгы өзгөчө фундаменталдуу (же баштапкы) бөлүкчөлөрдөн — *кварктардан* түзүлгөн.

Кварктар эркин абалында али байкала элек болсо да азыркы кезде алардын реалдуу экендигине эч ким күнөм санабайт. Күчтүү өз ара аракет этишүүчү бөлүкчөлөрдүн (алар адрондор<sup>1</sup> деп аталат) кварктык түзүлүштөрү жөнүндө главанын аягында айтабыз.

Азыр элементардык бөлүкчөлөр физикасынын өсүшүнүн экинчи этабы башталган позитрондун ачылышына токтолобуз.

<sup>1</sup> «Адрон» деген сөз гректин *hadros* деген сөзүнөн түзүлгөн, ал «чоң», «күчтүү» дегенди билдирет.

(Тааныштыруу иретинде окутуу үчүн)

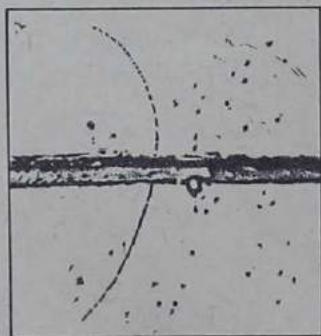
Электрондун түгөйү — позитрондун — боло тургандыгы англиялык физик П. Дирак тарабынан 1931-жылы алдын ала теория жүзүндө айтылган. Дирак ошону менен катар позитрон электрон менен кезиккенде чоң энергиялуу фотондорду пайда кылуу менен экөө тең жок болушарын алдын ала айткан. Тескери процесстин — электрон-позитрондук түгөйдүн пайда болушу да мүмкүн. Мисалы, мындай процесс жетишерлик чоң энергиялуу фотондордун (анын массасы пайда болуучу бөлүкчөлөрдүн тынч абалдагы массаларынын суммасынан чоң болушу керек) ядро менен кагылышуусунда болуп өтөт.

Эки жылдан кийин позитрон магнит талаасында жайгаштырылган Вильсон камерасы аркылуу табылган. Бул бөлүкчө берген тректин ийрилик багыты анын зарядынын белгисин көргөзгөн, ал эми ийрилик радиусу жана бөлүкчөнүн энергиясы боюнча анын зарядынын массасына болгон катышы аныкталган. Бул катыш модулу боюнча электрондуку кандай болсо, дал ошондой болуп чыккан. 239-сүрөттөн силер позитрондун пайда болушун далилдеген биринчи фотографияны көрүп турасыңар. Бөлүкчө төмөндөн жогору карай кыймылда болгон. Ал коргошун пластинкасынан өткөндө өзүнүн энергиясынын бир бөлүгүн жоготкон. Мына ошол себептен траекториянын ийрилиги чоңойгон.

Электрон-позитрон түгөйлөрүнүн коргошун пластинкасынан өтүүчү  $\gamma$ -кванттардан пайда болуу процесси 240-сүрөттөгү фотографиядан көрүнүп турат. Магнит талаасына жайланыштырылган Вильсон камерасында пайда болгон түгөйлөр кош мүйүз түрүндөгү мүнөздүү из калтырат.

Элементардык бөлүкчөлөрдүн арасындагы реакция кезинде бир бөлүкчөнүн жоюлуп кетиши (аннигиляция) жана башкаларынын пайда болушу, мурдагы бөлүкчөлөрдүн составдык бөлүгү болуп эсептелген жаны комбинациянын жаралышы болбостон,

239



240



Коргошун пластинка



бөлүкчөлөрдүн бири бирине айланууларынын так өзү болуп эсептелет. Ал айрыкча *электрон-позитрон* түгөйлөрүнүн аннигиляциясынан даана байкалат. Бул эки бөлүкчө тең тынч абалдарында белгилүү массага жана электр заряддарына ээ болушат. Аннигиляция учурунда пайда болгон фотондордун заряддары болбойт жана алар тынч абалында массага да ээ эмес, анткени тынч абалда боло алышпайт.

Өз кезегинде электрон-позитрондук түгөйлөрдүн пайда болушунун жана аннигиляциясынын ачылышы илимде чыныгы сенсиацияны пайда кылган. Буга чейин бөлүкчөлөрдүн ичинен эң алгачкысы, атомдук курулуш материалдарынын эң маанилүүсү болгон электрондун туруктуу эместиги жөнүндө эч ким алдын ала билген эмес. Кийинчерээк түгөйлөр — антибөлүкчөлөр — бардык эле бөлүкчөлөрдөн табылган. Антибөлүкчө бөлүкчөлөргө карама-каршы коюлган. Анткени кандай гана бөлүкчө болбосун, тиешелүү антибөлүкчө менен кезиккенде алардын аннигиляциясы жүрөт. Нурдануунун кванттарына же башка бөлүкчөлөргө айлануу менен эки бөлүкчө тең жоюлуп кетет.

Салыштырмалуу жакында эле антипротон менен антинейтрон табылды. Антипротондун электр заряды терс. *Бөлүкчө-антибөлүкчө* түгөйлүнүн пайда болушу жана алардын аннигиляциясы азыр электрондор менен позитрондордун монополиясын түзбөй калгандыктары жакшы белгилүү.

Ядролору антинуклондордон, ал эми оболочкалары позитрондордон турган атомдор антизатты түзүшөт. 1969-жылы СССРде биринчи жолу *антигелий* алынган.

Антизат менен зат аннигиляция болгондо тынч абалдагы энергия пайда болгон  $\gamma$ -кванттардын кинетикалык энергиясына айланат.

Тынч абалдагы энергия — Ааламдагы эң зор жана чон резервуарга топтоштурулган энергия болот. Ал аннигиляция учурунда гана толук бөлүнүп чыгып, башка түрдөгү энергияга айланат. Ошондуктан антизат энергиянын өркүндөтүлгөн булагы жана эң эле калориялуу «отун» болуп эсептелет. Адам баласы бул «отунду» качандыр бир убакта пайдаланууга жетише алабы, жокпу аны ачык айтуу азырынча кыйын.

## 107. Нейтрондун ажырашы. Нейтринонун ачылышы

(*кошумча окуу үчүн*)

Протондон айырмаланып, эркин нейтрон туруктуу эмес бөлүкчө экендиги жөнүндө буга дейре эч нерсе айтылган эмес. Эми ошол жөнүндө айтабыз.

**$\beta$ -ажыроонун жаратылышы.**  $\beta$ -ажыроо кезинде ядродон электрон учуп чыгат. Бирок ядродо электрон жок болот. Андай болсо ал кайдан чыгат? Электрон ядродон учуп чыккандан кийин ядронун заряды, демек, протондордун саны бирге көбөйүп калат.

Ядронун массалык саны өзгөрбөйт. Бул болсо нейтрондордун саны бирге кемийт дегенди билдирет. Демек, нейтрон  $\beta$ -радиоактивдүү ядролордун ичинде протон жана электронго ажырап кетүүгө жөндөмдүү. Протон ядродо калат да, ал эми электрон сыртка учуп чыгат. Стабилдүү гана ядролордо нейтрондор туруктуу болушат.

Бирок мында таң каларлык бир нерсе бар. Бипбирдей болгон ядролор ар кандай энергиялуу электрондорду чыгарышат. Кайтадан пайда болгон ядролор да учуп чыккан электрондорунун энергиялары кандай экендиктерине карабастан бирдей болушат. Бул балким, энергиянын сакталуу законуна — физикалык фундаменталдуу закондун өзүнө карама-каршы келип жүрбөсүн! Чындыгында баштапкы ядронун энергиясы кийин пайда болгон ядронун энергиясы менен электрондун энергиясынын суммасына барабар болбой тургандыгы аныкталды.

**Паули гипотезасы.** Швейцариялык физик В. Паули нейтрон ажыраган кезде протон жана электрондон башка өзү менен кошо жетпей келген энергияны алып кетүүчү кандайдыр бир бөлүкчө — «көзгө көрүнгүс» жаралат деп болжолдогон. Бул бөлүкчө прибор менен катталбайт, анткени ал электр зарядына ээ болбойт. Демек, ал атомдорду иондоштурууга, ядрону бөлүүгө жөндөмсүз, б. а. бөлүкчөлөрдүн пайда болушун текшерүүгө мүмкүн боло турган эффекттерди бере албайт.

Бөлүкчө кандай гана таң каларлык болбосун ал дегеле эч нерсе менен өз ара аракеттенбейт деп жыйынтыкка келүү болбогон иш. Андай болгондо физикага мындай бөлүкчөнү киргизүү энергиянын сакталуу законун көмүскөгө калтырып, андан баш тарткандык болор эле. Анда энергия бөлүкчө менен бирге биротоло кайрылгыс болуп жоголгон болмок. Мына ошондуктан Паул гипотезалык бөлүкчө зат менен эле начар аракеттенишет да, өзү байкалбастан туруп калың зат аркылуу өтүп кете алат деп болжолдогон.

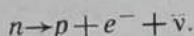
Бул бөлүкчөнү Ферми *нейтрино* деп атаган. Ал «нейтрончо» дегенди билдирет. Нейтринонун тынч абалдагы массасы Паули алдын ала айткан сыяктуу эле нөлгө барабар болгон<sup>1</sup>. Ушул айтылгандардын негизинде нейтрино тынч абалда болбойт экен деген жөнөкөй түшүнүк жатат. Алар пайда болор замат эле 300 000 км/с ылдамдык менен кыймылга келишет. Белгилүү калыңдыктагы катмарлуу зат менен нейтрино кандай аракетте болорлугу эсептелип чыгылган. Эсептөөнүн натыйжасы бул бөлүкчөнү эксперимент аркылуу алуунун мүмкүн эместигин көргөзгөн. Абасыз боштукта жарык бир нече жыл ичинде өтө турган аралыктай болгон калыңдыктагы коргошундан нейтрино өтүп кетүүгө жөндөмдүү.

<sup>1</sup> 1980-ж. нейтринонун тынч абалдагы эң эле кичине массасы табылгандыгы жөнүндө билдирүү пайда болгон. Бирок азырынча бул жыйынтыкты талашсыз туура деп эсептөөгө болбойт.



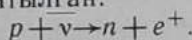
**Эркин нейтрондун ажырашы.** Нейтринонун ролу ядронун  $\beta$ -ажыроосун түшүндүрүүгө гана таандык эмес. Эң эле көп элементардык бөлүкчөлөр эркин абалдарында нейтринону чыгаруу менен өз алдыларында ажырай алышат. Айрыкча нейтрон ушундай абалда болот. Нейтрон ядродо гана башка нуклондор менен өз ара аракеттенүүнүн натыйжасында стабилдүүлүккө ээ. Эркин нейтрон орто эсеп менен 15 минута жашай алат. Бул нейтрондордун кубаттуу тобун берүүчү ядролук реакторлор курулгандан кийин гана эксперимент жүзүндө далилденген.

Башка бөлүкчөлөр сыяктуу эле нейтрино (символу  $\nu$ ) да антинейтрино (символу  $\bar{\nu}$ ) деп аталуучу антибөлүкчөгө ээ. Нейтрон протон менен электронго ажыраганда антинейтрино өзү бөлүнүп чыгат:



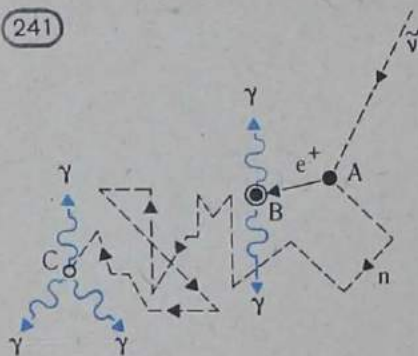
Нейтрондун энергиясы протон менен электрондун энергияларынын суммасынан чоң болот. Ашыкча энергия антинейтрино аркылуу алынып кетет.

**Нейтринонун эксперименттик ачылышы.** Өзүнүн сезилбестигине карабастан нейтрино (тагыраак айтканда антинейтрино) илимий журналдардын бетинде 26 жылы «караан түрүндө жашагандан» кийин гана эксперимент түрүндө ачылган. Антинейтрино протонго кабылганда позитрон менен нейтрон келип чыгары теория жүзүндө алдын ала айтылган:



Антинейтринонун укмуштуудай өтүп кетүү жөндөмдүүлүгүнө байланыштуу мындай процесстин болуу мүмкүндүгү аз. Бирок, эгер антинейтрино эң эле көп болсо, анда мындай процессти кезиктирүүгө болот. Ядролук реактор иштеген кезде эбегейсиз көп сандаган антинейтрино келип чыгат. Уран ядросунун бөлүнүшүнөн жашоо убактысы аз болгон көптөгөн  $\beta$ -радиоактивдүү сыныктары пайда болот. Реактордун жаңынан бир жерге (тажрыйба 1956-жылы АКШда жүргүзүлгөн) капталдары коргошунпарафинден жасалган ящик көмүлгөн. Ящикте суюк сцинтиллятордун (300 л ге жакын) катмары менен курчалган 200 л суу болгон.  $\gamma$ -кванттары суюк сцинтиллятор аркылуу өткөндө ал жарк этүүнү пайда кылып турган.

Антинейтрино суунун молекуласынын бир протону кабылганда (241-сүрөттөгү А чекит) пайда болгон позитрон ошол эле замат электрондордун бири менен аннигиляцияланып (В чекит) эки  $\gamma$ -квантты берет. Гамма-кванттар сцинтиллятордун жарк этүүсүн пайда кылат. Бул жарк этүү атайын прибордун жардамы менен катталып турат. Реакция кезинде жаралган нейтрон бир аз адашуудан кийин атайын сууга кошулган кадмийдин ядросу тарабынан жутулуп алынат (С чекит). Мындан кийин кадмийдин ядросу нейтрондун пайда болушу жөнүндө кабар берүү менен бир нече  $\gamma$ -кванттарды нурдантат. Адегенде ар башка жакка учуп кетүүчү эки  $\gamma$ -кванттын пайда болуусу, андан бир аз убакыт өткөндөн кийин дагы бир нече  $\gamma$ -кванттардын пайда болуу-



рине айлануу болуп эсептелерин белгилей кетелиз.

Кийинки бөлүкчөнүн ажыроого чейинки бөлүкчөгө болгон катышы талкаланган идиштин бүтүн идишке болгон катышын такыр элестетпейт. Мисалы, нейтрондун ажырашында бул белгилүү: антинейтрино түз сызык боюнча жарык ылдамдыгы менен кыймылда болгон гана учурда жашай алат, демек, ал нейтрондун ичинде болушу мүмкүн эмес. Нейтрондун ажыроосунан бөлүнүп чыгуучу протон менен электрон туруктуу системаны түзө алышат. Бирок бул система нейтрон эмес, кеңири белгилүү болгон эң сонун изилденилген суутектин атому болот.

Кыска гана убакыт аралыгында жашай алуучу башка бөлүкчөлөрдө да иш ушундай. Бөлүкчөнүн ажырашы анын элементардык эмес экендигинин шарты болуп эсептелбейт. Нейтрон өзүнүн туруксуздугуна карабастан элементардык бөлүкчө деп эсептелинет, ал эми оор суутектин атомунун ядросу — *дейтрон* туруктуу болсо да эч талашсыз эле нейтрон менен протондон турат.

**Өз ара начар аракеттешүү.** Жакындан аракет этүү теориясына ылайык бөлүкчөлөрдүн бири-бири менен өз ара аракеттешүүлөрү тигил же бул талаалардын: электромагниттик, ядролук ж. б. аркасында гана иш жүзүнө ашат. Кванттык теорияда ар кандай талаага бөлүкчөлөр (корпускулалык-толкундук дуализм) туура келээри көрсөтүлгөн. Ошондуктан өз ара аракеттешүүнү иш жүзүнө ашыруучу бөлүкчөлөр — талаалардын кванттары болушу керек. Бул элементардык бөлүкчөлөрдүн өзгөчө түрү.

Фотон электромагниттик талаанын кванты болуп эсептелет. Кванттын тили боюнча электрдик заряддалган бөлүкчөлөрдүн өз ара аракеттешүүлөрү фотондорду алмашуу аркылуу иш жүзүнө ашырылат. Ядролук өз ара аракеттешүү болсо  $\pi$ -мезондорду — ядролук талаанын кванттарын алмашуунун жардамы менен иш жүзүнө ашырылат.

Үчүнчү түрдөгү күч — өз ара начар аракеттешүү болот. Бул күчтөр элементардык бөлүкчөлөрдүн, мисалы, нейтрондордун

сунан антинейтринонун жашашы аныкталган. Элементардык бөлүкчөлөрдүн дүйнөсүнө таандык болгон изилдөөлөр да ушундай эле даражадагы тактыкта аныкталган.

**Элементардык бөлүкчөлөрдүн ажыроосунун мааниси.** Акырында нейтрондун жана башка бөлүкчөлөрдүн ажырашы татаал системанын составдык бөлүктөргө бөлүнүүсү болбостон элементардык бөлүкчөлөрдүн дүйнөсүндөгү бири би-



ажыроосун пайда кылат. Бул өз ара аракеттешүү ядролук өз ара аракеттешүүдөн  $10^{14}$  эсе начар болуп, кандайдыр бир бөлүкчөлөрдө байланыштуу абалды түзүү үчүн аларды бири биринин айланасында кармап турууга жөндөмсүз. Бирок алардын ролу Ааламда эбегейсиз зор. Так ушул күчтөр Күндүн ичинде дейтрондорду түзүү менен протондордун биригишин пайда кылат. Бул реакция протон-протондук циклдин башталышын берет. Мунун негизинде Күндүн миллиарддаган жылдар жаркырап турушун камсыз кылуучу энергия бөлүнүп чыгат.

Өз ара начар аракеттешүүнүн талаасы болот. Бул талаанын кванттары *ортодогу вектордук бозондор* деп аталат. 60-жылдарда өз ара начар аракеттешүү менен электромагниттик өз ара аракеттешүүлөрдүн жалпы теориясы түзүлгөн. Бул теория үч бөлүкчөнүн — начар өз ара аракеттешүүлөрдү алып жүрүүчүлөрдүн, заряддалган  $W^+$  менен  $W^-$ -бозондордун жана нейтралдуу  $Z^0$  бозондун болорун алдын ала айткан. Алардын жашоо убактысы  $10^{-18}$  с тартибинде, ал эми массасы электрондун массасынан дээрлик 200000 эсе ашыктык кылат. 1983-жылы бардык үч вектордук бозондор эксперимент жүзүндө алынган.

Өз ара начар аракеттешүү теориясына ылайык нейтрондун ажырашы төмөнкүдөй жүрөт. Нейтрон  $W^-$ -бозонун чыгаруу менен протонго айланат. Андан кийин бозон электрон менен антинейтринога ажырайт.

## 108. Канча элементардык бөлүкчө бар?

(Кошумча окуу үчүн)

Биз адатта элементардык деп аталуучу бөлүкчөлөрдүн баарысын санап отурбайбыз. Алар өтө эле көп, 200 дөн ашуун.

Элементардык бөлүкчөлөрдүн таблицасына (2-таблицаны карагыла) кыска убакытка жашоочу бөлүкчө-резонанстардын баарысы, атап айтканда жакында эле табылган «таң каларлык» бөлүкчөлөр киргизилген жок. Ошондой эле өз ара начар аракеттешүүнү алып жүрүүчүлөр — вектордук бозондор киргизилбеди. Натыйжада таблица 39 бөлүкчөдөн гана турат. Таблицага бөлүкчөлөрдүн бардык мүнөздөмөлөрү кирбестен эң негиздүүлөрү: массасы, электрдик заряды, жашоо убактылары гана киргизилген. Бөлүкчөлөрдүн массасы, азыркы кездеги элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасында кабыл алынгандай, энергетикалык бирдикте МэВ (миллион электронвольт) туюнтулган. Ал үчүн кыймылсыз абалдагы бөлүкчөнүн килограмм (же грамм) менен туюнтулган массасын жарык ылдамдыгынын квадратына көбөйтүп, алынган энергиянын мааниси мегаэлектронвольт (МэВ) менен туюнтулат.

Бардык бөлүкчөлөр таблицада группаларга бөлүнгөн жана (т-лептондон башкасы) массаларынын жогорулашына жараша жайланышкан.

Бөлүкчөнүн аталышы		Символ		Масса, МэВ	Элек- тр заря ды	Жашоо убакты- сы, с
		бөлүк- чө	анти- бөлүк- чө			
	Фотон	$\gamma$	$\gamma$	0	0	Стабилдүү
Лептондор	Электрондук нейтрино	$\nu_e$	$\bar{\nu}_e$	0	0	Стабилдүү
	Мюондук нейтрино		$\bar{\nu}_\mu$	0	0	Стабилдүү
	Тау-лептондук нейтрино	$\nu_\tau$	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	Стабилдүү
	Электрон	$e^-$	$e^+$	0,51	-1	Стабилдүү
	Мюон	$\mu^-$	$\mu^+$	105,66	-1	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	Тау-лептон	$\tau^-$	$\tau^+$	1782	0	$3,4 \cdot 10^{-13}$
Мезондор	Пи-мезондор (пиондор)	$\pi^0$ $\pi^+$	$\pi^0$ $\pi^-$	134,96 139,57	0 1	$8,3 \cdot 10^{-17}$ $2,6 \cdot 10^{-8}$
	Ка-мезондор (каондор)	$K^+$ $K^0$	$K^-$ $\bar{K}^0$	493,67 497,7	1 0	$1,24 \cdot 10^{-8}$ $K_s^0 - 8,9 \cdot 10^{-11}$ $K_L^0 - 5,18 \cdot 10^{-8}$
	Эта-нөл мезон	$\eta^0$	$\eta^0$	548,8	0	$7 \cdot 10^{-19}$
	Нуклондор	Протон Нейтрон	$p$ $n$	$\bar{p}$ $\bar{n}$	938,28 939,57	1 0
Барьондор	Лямбда гиперон	$\Lambda^0$	$\bar{\Lambda}^0$	1115,6	0	$2,63 \cdot 10^{-10}$
	Сигма гиперондор	$\Sigma^+$ $\Sigma^0$ $\Sigma^-$	$\bar{\Sigma}^+$ $\bar{\Sigma}^0$ $\bar{\Sigma}^-$	1139,37 1192,48 1197,35	1 0 -1	$8 \cdot 10^{-11}$ $5,8 \cdot 10^{-20}$ $1,48 \cdot 10^{-10}$
	Кси гиперондор	$\Xi^0$ $\Xi^-$	$\bar{\Xi}^0$ $\bar{\Xi}^-$	1314,9 1321,3	0 -1	$2,90 \cdot 10^{-10}$ $1,64 \cdot 10^{-10}$
	Омега-минус-гиперон	$\Omega^-$	$\bar{\Omega}^-$	1672,2	-1	$8,2 \cdot 10^{-11}$



Таблица фотон менен башталат. Фотон жалгыз калуу менен биринчи группаны түзөт.

Кийинки группаны жеңил бөлүкчөлөр — лептондор түзөт. Ага он эки бөлүкчө кирет (антибөлүкчөлөрү менен бирге). Нейтринонун үч сорту болот: электрондук нейтрино электрондор менен бирге жаралат, мюондук нейтрино — мюондор менен бирге,  $\tau$ -лептондук нейтрино  $\tau$ -лептондор менен бирге жаралат. Андан ары электрон, мюон жана акырында 1975-ж. ачылган  $\tau$ -лептон жайланышкан.  $\tau$ -лептон эң чоң массага ээ болсо да, ал башка бардык касиеттери боюнча лептонго жакын болгондуктан, лептондордун группасына киргизилген. Лептондордун калгандары менен жакындаштырган анын башкы касиети башка лептондор сыяктуу эле күчтүү өз ара аракеттешүүгө катышпагандыгында.

Андан ары мезондор жайлаштырылган. Бул группа дагы 8 бөлүкчөдөн турат. Алардын ичинен эң жеңили  $\pi$ -мезондор: оң, терс жана нейтралдуу. Алардын массалары электрондун массасынын 264,1 ( $\pi^0$ ) жана 273,1 ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ) бөлүгүн түзөт. Фотондор электрромагниттик талаанын кванттары болуп эсептелген сыяктуу эле пиондор да ядролук талаанын кванттары болушат. Мындан башка дагы төрт  $K$ -мезон жана  $\eta^0$ -мезон болот.

Акыркы группа — бариондор — бул абдан чоң группа болуп эсептелет. Буга 39 бөлүкчөнүн 18 бөлүкчөсү кирет. Бариондордун ичинен эң жеңили болуп нуклондор — протондор менен нейтрондор эсептелишет. Алардан кийин гиперондор деп аталуучулар турат. Таблица 1964-жылы ачылган  $\Omega^-$  (омега-алуу)-бөлүкчөсү менен аяктайт. Анын массасы электрондун массасынан 3273 эсе чоңдук кылат.

## 109. Кварктар

(Кошумча окуу үчүн)

Эми биз § 105 та айтылган элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасынын өсүшүндөгү үчүнчү этапка өтөбүз.

М. Гелл-Манн жана Дж. Цвейг тарабынан биринчи жолу айтылгандын башкы идеясы күчтүү өз ара аракеттешүүгө катышкан бардык бөлүкчөлөр өтө фундаменталдуу бөлүкчөлөрдөн — кварктардан түзүлгөндүгүндө. Лептондор, фотондор жана ортодогу бозондордон башка эчак эле табылган бөлүкчөлөрдүн бардыгы составдык болушат.

Биринчи жолу үч кварктын (ошондой эле үч антикварктын) жашашы жөнүндө гипотеза киргизилген. Кварктар  $u$ ,  $d$ ,  $s$  тамгалары менен белгиленет. Алар бөлчөктүү электр заряддарына ээ болушат. Алардын биринчиси  $u$ -кварк  $+\frac{2}{3}e$  зарядына ээ, ал эми  $d$ -жана  $s$ -кварктары  $-\frac{1}{3}e$  ге барабар болгон бирдей заряддарга ээ (мында  $e$  — электрондун зарядынын модулу). Протон эки  $u$ -кварктардан жана бир  $d$ -кварктан турат; пиондор

кварк-антикварктардын кошулушунан (комбинацияларынан турушат) ж. б. Укмуштуу бөлүкчөлөр (каондор жана гиперондор) «укмуштуу» деп аталуучу бир катар оор  $s$ -кваркты өз ичине камтыган.

«Таң каларлык» (очарованный) деп аталуучу төртүнчү  $s$ -кварктын жашашы алдын ала айтылган. Андан кийин эксперимент жүзүндө ушул кварк катышкан бөлүкчөлөр табылган.  $s$ -кварктын массасы  $s$ -кварктын массасынан ашык. Кийинчерээк алдын ала айтылып, андан кийин дагы оор  $b$ -жана  $t$ -кварктары табылган.

**Кварктардын табылышы.** Резерфорддун  $\alpha$ -бөлүкчөлөрдүн чачыроосу боюнча жүргүзүлгөн тажрыйбасында атомдун ичиндеги түзүлүш — атомдук ядронун табылганы сыяктуу эле, электрондордун чачыроосу боюнча жасалган тажрыйбаларда протондор менен нейтрондордо адегенде бул бөлүкчөлөрдө электр зарядынын мейкиндик боюнча жайланышы табылган. Андан ары чачыроочу бөлүкчөлөрдүн (электрондор менен нейтрино) энергияларын 50 МэВге чейин көбөйтүп, протондор менен нейтрондордо чекиттик түзүлүштүн болору аныкталган. Мына ушинтип, нуклондордун кварктык структурасы далилденген.

Бардык бариондор үч кварктан түзүлгөн. Протондун составына эки  $u$ -кварк жана бир  $d$ -кварк кирет. Нейтрон  $d$ -кварктын экөөнөн жана  $u$ -кварктын бирөөнөн түзүлгөн. Натыйжада протондун заряды  $e$  ге барабар, ал эми нейтрондуку — нөл. Антибөлүкчөлөр болсо антикварктардан турат.

Мезондордун түзүлүшү башкача. Ар бир мезон бир кварктан жана бир антикварктан турат. Мисалы,  $\pi^+$ -мезон  $u$ -кварк жана  $d$ -антикварктан турса,  $\pi^-$ -мезон  $d$ -кварк менен  $u$ -антикварктан турат ж. у. с.

**Кварктардын кармалып калышы.** Адрондордун бардыгы кварктардан турат, бирок аларды кварктарга ажыратууга мүмкүндүк боло элек. Кварктарды материктин тектеринен, океандын түбүндөгү катмарлардан, айдагы топурактардан издешкен жана издеп да жатышат. Бирок бош кварктар табыла элек. Аларды элементардык бөлүкчөлөрдүн ылдамдаткычтарынын жардамы менен да алууга мүмкүндүк болгон жок.

Кварктардын массасы өтө эле чоң, ал эми нуклондордо байланыш энергиясы эбегейсиз зор болушу мүмкүн. Азыркы кездеги ылдамдаткычтардын кубаттуулугу протондор менен нейтрондорду айрым кварктарга ажыратууга жетишпейт. Ал эми жаратылышта бош кварктар эң эле аз.

Бирок азыркы кездеги чындыкка туура келүүчү жана көңүлдү өзүнө бура турган көз караш башкача. Жаратылышта бош кварктар болбойт жана болушу да мүмкүн эмес. Кварктар адрондордон учуп чыга алышпайт.

Адрондордун кварктарга ажыроосунун мүмкүн эместигин түшүндүрүүчү бир нече теориялар пайда болууда. Бул теориялардын бардыгынын негизинде, жаратылыштагы бүткүл бардык



башка күчтөрдөн айырмаланып, кварктардын ортосундагы күчтөр аралыктын өсүшү азайбагындыгында жатат. Аралыктын өсүшү менен алар турактуу боюнча кала берет, ал түгүл чоңоюшу да мүмкүн. Эгерде бул туура болсо, анда адрондордон кварктарды ажыратууга мүмкүн эмес.

Атомдон электронду ажыратуу (атомду иондоштуруу) үчүн 10 эВ тартибиндеги энергия талап кылынат. Ядронун ажырашы өтө эле көп энергияны — бир нече мегаэлектронвольтту талап кылат. Бир кваркты протондон 3 см аралыкка ажыратыш үчүн  $10^{13}$  МэВ ко жакын энергия жумшалат. Бул энергия адамды Жер бетинен 10 м бийиктикке көтөрүүгө жетет.

Бирок буга чейин эле бөлүкчөлөрдүн пайда болушунун өзгөчө механализми жүрө баштайт. Нуклондордон кварктарды ажыратууда потенциалдык энергия жетишерлик жогорку деңгээлге жеткенде бул энергиянын эсебинен кош кварк — антикварк пайда боло баштайт. Кварк нуклондо калып бул бөлүкчөнү калыбына келтирет, ал эми антикварк болсо ажыратылып жаткан кварк менен биригип мезонду түзөт. Нуклондон кваркты ажыратуунун ордуна мезон пайда болот.

Жогорку энергиялуу бөлүкчөлөрдүн кагылышынан, мисалы, электрондун позитрон менен кагылышынан кош кварк — антикварк жаралат. Кварк жана антикварк карама-каршы жакка учушуп, алардын ар бири адрондордун тобун (өзгөчө пиондорду) пайда кылышат. Адрондордун тобу *агымдар* деп аталат.

Агымдардын байкалышы кварктардын болушун ырастайт.

**Кварк-лептондук симметрия.** Азыркы кездеги түшүнүк боюнча бардык лептондор, кварктар сыяктуу эле ички түзүлүшкө ээ эмес. Ушул мааниде лептондор жана кварктар чыныгы элементардык бөлүкчөлөр деп эсептелиши мүмкүн. Антибөлүкчөлөрдү эсепке албаганда азыр алты лептон ачылды. Кварктардан да алтоо ачылды. *s*-кварктан кийин дагы оор салмактагы *b*-жана *t*-кварктары ачылган. *Кварк-лептондук симметрия* жашайт. Бул симметрия жаратылышта *алты лептондун* кездешерин, ал эми бардык өз ара күчтүү аракет этишүүчү бөлүкчөлөр *алты кварктардан* турарын туюндурат.

3-таблица

Муундар	Лептондор		Кварктар	
	Белгиси	Заряды	Белгиси	Заряды
1-	$\nu_e$ $e^-$	0 -1	<i>u</i> <i>d</i>	2/3 -1/3
2-	$\nu_\mu$ $\mu^-$	0 -1	<i>c</i> <i>s</i>	2/3 -1/3
3-	$\nu_\tau$ $\tau^-$	0 -1	<i>t</i> <i>b</i>	2/3 -1/3

Ошону менен бирге үч муундагы лептондор менен кварктарды бөлүп көрсөтүүгө болот. Бөлүкчөлөрдүн массасы муундан муунга жогорулайт. Бөлүкчөлөрдүн бардык үч мууну жана алардын электрдик заряддары 3-таблицада берилген:

Ааламдагы туруктуу заттар, бардык атомдор биринчи муундагы бөлүкчөлөрдөн: электрондордон, *u*-жана *d*-кварктардан түзүлгөн. *u*-жана *d*-кварктары нуклондорду, демек, атомдук ядрону түзүшөт. Электрондук нейтрино атомдун бөлүгүнө кирбесе да, Күндүн жана башка жылдыздардын ичиндеги термоядролук реакцияларда негизги ролду ойнойт.

Эмне үчүн лептондордун жана кварктардын экинчи жана үчүнчү муундардан болушу азырынча түшүнүксүз. Физикада болгон түшүнүктөр боюнча дүйнө аларсыз эле жашай алмак.

Лептондор менен кварктардын чоң массадагы башка муундарынын болушу толук ыктымал.

## 110. Кварктардын өз ара аракеттешүүсү. Глюондор

(Кошумча окуу үчүн)

Адрондордун кварктык модели өзүнүн өнүгүшүндө белгилүү кыйынчылыктарга учурады.

Балдар үйдү кубиктерден кандай тургузса, адегенде бөлүкчөлөр кварктардан так ошондой эле тургузулган. Бирок кварктар сөзсүз кыймылдашат жана бири-бири менен өз ара аракеттенишет, алардын кыймылдары алар түзгөн бөлүкчөлөрдүн касиеттерине таасир бербей коюшу мүмкүн эмес.

Мындан тышкары, эмне үчүн кварктар кош кваркка — антикварк (мезондор) же үчтүккө (бариондор) биригишери түшүнүксүз болуп келген. Эмне үчүн эки же төрт кварктан турган бөлүкчө болбойт.

Акырында айтарыбыз, азыр эле сөз кылып жаткан кварктык модель квант механикасынын фундаменталдуу принциби — Паулинин принцибине карама-каршы келет. Бул принцип боюнча кварктар сыяктуу бөлүкчөлөр бир эле абалда болушу мүмкүн эмес. Ал эми үч *s*-кварктардан түзүлгөн  $\Omega^-$ -бөлүкчөсүнүн касиетин түшүндүрүш үчүн бардык кварктар бирдей абалда болушат деп эсептөөгө туура келген.

Түс. Адрондордун кварктык моделдерин Паули принцибине дал келтириш үчүн моделдин жаңы, татаалдаштырылган түрү сунуш кылынган. Бул модель СССРде 1965-жылы Н. Н. Боголюбов, Б. В. Струминский, А. Н. Тавхелидзе тарабынан жана булар менен байланышта болбой туруп АКШда Й. Намбу, М. И. Хан ж. б. тарабынан сунуш кылынган. Бул моделде кварктардын ар бири «түс» деп аталган жаңы өзгөчө касиетинен (мисалы, кварктар кызыл, көк жана жашыл болушу мүмкүн) башка бардык касиеттери боюнча окшош келген үч ар кандай абалда пайда болушу мүмкүн. Кабыл алынган терминология, кө-



рүнүп тургандай бир топ эле кызык угулат. Албетте, түс күндөлүк турмушта түс деп кабыл алынганга, ошондой эле кадимки физикадан бизге көндүм болуп калган түскө түздөн-түз тиешеси жок. Кварктарды боёлуп коюлган шариктер түрүндө элестетүүгө болбойт.

Ошондой эле кварктардын белгилүү түрлөрү ( $u$ ,  $d$ , же  $s$ ) көпчүлүк учурларда «аромат» деп аталат. Кварктар түсү жана ароматы боюнча айырмаланышат деп да айтылат. Бул терминология боюнча кварктын ар бир ароматы бирдей келген массалары, электр заряддары ж. б. касиеттери менен мүнөздөлүүчү ар кандай үч түстөгү абалда пайда болушу мүмкүн. Антикварктар кварктардын түсүнө кошумча түскө ээ: көк-жашыл, кара кочкул жана сары. Антикварктарды кошкондо ар түрдүү кварктардын саны:  $6 \times 2 \times 3 = 36$  га барабар.

**Түссүздүк.** Адеп караганда үч эселеп алынган кварктардын санынан түзүлүүчү адрондордун мүмкүн болгон саны абдан өсүп кетчүдөй болуп көрүнөт. Бирок чындыгында бул андай эмес. Жаңы кварктык моделдин жыйынтыгы чындык менен дал келиш үчүн «түссүздүк» принциби киргизилет. Бул принцип боюнча бардык адрондор түссүз же ак болушу керек. Бул болсо ар бир барион ар кандай түстөгү үч кварктардан туруш керек дегенди билдирет. Кварктарга спектрдин негизги түсү таандык болгондуктан, алардын ар кандай комбинациясы ак деп аталышы мүмкүн. Анткени негизги түстөрдүн кошулушу ак түстү берет. Бариондордун мына ушундай түзүлүшүндө Паулинин принциби түздөн-түз эле аткарылат.

Мезондор да түссүз: алардын ар бири түстөрү кошумча болгон кварктан жана антикварктан түзүлөт. Ар кандай ароматтагы кварктардын түсү жана анти түсү үзгүлтүксүз өзгөрүп турат. Ушул сыяктуу эле бариондордогу кварктардын түсү да туруктуу белгиленген эмес, ошондуктан үзгүлтүксүз өзгөрүүгө дуушар болот. Түссүздүк гипотезасы бариондорду жана мезондорду кварктардан түзүүнүн (конструирование) белгилүү эрежесине бир жактуу алып келип, эки же төрт кварктардан комбинацияланышын (кошулушун) түздөн-түз төгүнгө чыгарат. Алардан ак адрондорду түзүүгө болбойт.

Түссүздүк постулатын киргизгенден кийин адрондордун композиция эрежеси мурда кандай болсо ошол боюнча калат, бирок бир катар негиздөөлөргө ээ болот. Чындыгында постулатын өзү азырынча ишенимдүү теориялык негиздөөгө ээ эмес. Түстүү кварктар гипотезасы эксперименталдык кыйыр далилдөөгө ээ. Жогорку энергиядагы электрон-позитрондук жуп аннигиляцияланганда бир учурларда адрондор пайда болушат, ал эми башка учурларда жуп  $\mu^-$ ,  $\mu^+$ -мюондор пайда болушат. Теория боюнча адрондордун пайда болгон учурларынын санынын мюондордун пайда

<sup>1</sup> Так ушул аналогиянын өзү кварктардын жаңы касиетин түс деп атоого себепкер болгон.

болгон учурларынын санына болгон катышы ар түрдүү кварктардын санынан көз каранды. Түстүү кварктар гипотезасы эксперимент менен жетишерлик өлчөмдө дал келет. Ал эми алгачкы кварктык модель туура эмес жыйынтыкты берет.

**Кварктардын өз ара аракеттешүүсү. Глюондор.** Адрондордун ичинде кварктар бири-бири менен өз ара аракеттешет. Калыбы, бул күчтүү өз ара аракеттешүү. Антпегенде адрондорду оной эле аларды түзүүчү кварктарга ажыратууга болмок. *Кванттык хромодинамика* деп аталуучу бул өз ара аракеттешүүнүн теориясы ийгиликтүү өнүктүрүлүүдө. Азырынча канагаттандырылгыч, аягына чыгарылган теория деп атоого өтө эле эртелик кылса да, үмүттөндүргөн жыйынтыктар алынды.

Кванттык хромодинамиканын негизги идеяларына ылайык кварктардын өз ара аракеттешүүлөрү өзгөчө бөлүкчөлөрдү — *глюондорду* (англиялык *glue* — клей деген сөздөн) алмашуу аркылуу ишке ашырылат. Глюондор кварктарды бир бүтүнгө «клейлейт» (бириктирет).

Глюондор, фотондор сыяктуу электр зарядына жана тынч абалында массага ээ эмес.

Кварктар глюондорун алмашканда өзүнүн түсүн өзгөртөт, бирок ароматы өзгөрбөйт. Мисалы, кызыл *u*-кварк глюонду чыгаруу менен көк *u*-кваркка же жашылына өзгөрөт, бирок *d*-же *s*-кваркка айлана албайт. Глюондордун талбай алмашып туруусунун өзү адрондордогу кварктарды өзүнүн түсүн үзгүлтүксүз өзгөртүп турууга алып келет. Бул учурда адрондор убакыттын бардык моментинде түссүз бойдон кала берет. Түс — күчтүү өз ара аракеттешүүдө кварктын башкы мүнөздөмөсү болот.

Кварктардын ортосунда бардык түстүн өтүп турушун камсыз кылуучу глюондордун жыйындысы зарылдыгына жараша жетишерлик өлчөмдө болот. Теориянын алдын ала айтканы боюнча алар сегиз болушу керек. Ошол эле убакта электромагниттик өз ара аракеттешүү бир сорттогу бөлүкчөлөрдүн — фотондордун алмашуусу менен, ал эми начар өз ара аракеттешүү — аралык бозондордун үч сортунун:  $W^+$ ,  $W^-$  жана  $Z_0$  алмашуусу менен шартталган. Глюондор, фотондордон айырмаланып, бири-бири менен өз ара аракеттешет. Кварктар сыяктуу эле глюондор эркин абалында жашай алышпайт.

Жогоруда айтылып өткөн адрондордун күчтүү өз ара аракеттешүүсү, кварктык моделдеги көз караш боюнча, кварктар ортосундагы алгачкы өз ара аракеттешүүгө алып келиши керек. Түссүз адрондордун өз ара аракеттешүүсү — түстүү кварктардын негизги өз ара аракеттешүүлөрүнүн начар калдыгынан жогору эмес. Так эле нейтралдуу молекулалардын ортосундагы молекулалар аралык күчтөр — электрондорду ядрого тартып турган электромагниттик күчтүн начар изи гана сыяктуу, адрондордун ортосунда аракет этүүчү чоң күч — айрым адрондордун ичинде аракет этүүчү күчтөрдүн гана начар изи.

Глюондордун бири-бири менен жана кварктар менен күчтүү



өз ара аракеттешүүлөрү кварктар менен глюондордун адрондордун ичинде кармалып туруусуна алып келет.

**Кварктардын өз ара начар аракеттешүүлөрү.** Адрондор өз ара күчтүү аракеттешүү менен катар ошондой эле өз ара начар аракеттешүүгө да катышат. Адрондордун кварктык моделдери көз карашы боюнча, кварктар өз ара начар аракеттешүүдө катышышат дегенди билдирет.

Өз ара күчтүү аракеттешүүнүн себепкери болгон глюондорду алмашуу, кварктардын түсүн гана өзгөртүү менен алардын калган бардык касиеттерин өзгөртүүсүз калтырат. Өз ара начар аракеттешүү кезинде кварктар аралык бозондорун:  $W^+$ ,  $W^-$  жана  $Z_0$  алмашышат. Бул алмашуу кварктардын ароматын, б. а. анын бардык касиеттерин өзгөртүүгө алып келет.

Кварктык моделдеги өз ара начар аракеттешүүнүн эсебинен нейтрондун ажырашы төмөндөгүдөй болот. Нейтрондун эки  $d$ -кваркынын  $W^-$ -мезонун чыгарат да  $u$ -кваркына айланат. Натыйжада бир  $d$ -кварктан жана эки  $u$ -кварктан турган протон пайда болот.  $W^-$ -мезону: электрон жана антинейтрино лептондоруна ажырайт.

Мына ошентип, өз ара начар аракеттешүү кварктар менен лептондордун биринчи кезекте чыныгы элементардык деп эсептөөгө мүмкүн болгон бөлүкчөлөрдүн ортолорундагы белгилүү байланышты түзөт.

**«Улуу биригүү».** Акыркы 15 жыл ичинде элементардык бөлүкчөлөрдүн физикасы (өнүгүүнүн үчүнчү этабында) алга карай зор өсүш жасады. Адрондордун структурасы түзүлдү. Бул ачылыш, өзүнүн өлчөмү боюнча, ядронун жана атомдун татаал түзүлүшүнүн ачылышынан калышпайт. Электромагниттик жана өз ара начар аракеттешүүнүн (электро — начар (электрослабых) өз ара аракеттешүүнүн теориясы) бирдиктүү теориясы түзүлдү. «Улуу биригүү» деп аталган жаңы теориялык модель сунуш кылынды жана ал тургузулуу деңгээлинде турат. Бул теория электромагниттик өз ара начар жана күчтүү аракеттешүүлөрдү бириктирет. Анын негизинде кварк-лептондук симметрия жана электроначар өз ара аракеттешүү теориясы жатат. Жаңы теория көптөгөн жаңы бөлүкчөлөрдүн болушун жана протондун туруктуу эместигин алдын ала айта алат. Көрсө протондун орточо жашоо убактысы  $10^{30}$ — $10^{32}$  жыл экен. Бул алдын ала айтуу азырынча эксперимент жүзүндө далилдене элек.

«Суперсимметрия» деп аталган мындан да өтө жогорку жалпылоодо бардык төрт фундаменталдуу өз ара аракеттешүүнү бириктирүүгө, гравитацияны күчтөрдүн бирдиктүү теориясына кошууга жана тартылуу теориясынын жалпылоосун — супергравитацияны тургузууга аракет жасалууда. Сунуш кылынган теориялардын түрлөрү азырынча реалдуу чындыктан алыс.

Жетишилген жыйынтыктар элементардык бөлүкчөлөр физикасынын жана жалпы эле физиканын негизги маселелеринин чечилишине жетишер убакыт анча деле алыс эмес экендигине ише-

нүүгө мүмкүндүк берет. Элементардык бөлүкчөлөрдүн массасынын спектри алынат жана электр зарядынын мааниси, өз ара аракеттешүүнүн башка турактуулары эмне менен аныкталары такталат.

### Сураолор

1. Элементардык бөлүкчөлөр физикасынын өсүшүнүн үч тепкичинин айырмасы эмнеде?
2. Электрон — заряддалган бөлүкчөлөрдүн ичинен эң эле женили. Электрондун фотонго же нейтронго айланышына силерге белгилүү кайсы сакталуу закону тоскоолдук кылат?
3. Стабилдүү (туруктуу) элементардык бөлүкчөлөрдүн баарын санап чыккыла.
4. Жай кыймылдагы электрон менен позитрондун аннигиляциясынан пайда

болуучу  $\gamma$ -кванттардын жыштыгы кандай?

5. Көбүктүү (пузырьковая) камерада жашоо убактысы  $10^{-23}$  секунда болгон заряддалган бөлүкчөлөрдүн трегин байкоого болобу?
6. Лептондордун адрондордон башкы айырмачылыгы эмнеде?
7. Эркин жүргөн кварктар табыла элек. Эмне үчүн аларды бар деп ишендирүүгө болот?

### 13-главанын кыскача жыйынтыктары

Элементардык бөлүкчөлөр — бул алгачкы, андан ары бөлүнбөөчү бөлүкчө, бүткүл материя алардан түзүлгөн.

Бирок элементардык бөлүкчөлөр өзгөрүүсүз бойдон калбайт. Бардык элементардык бөлүкчөлөр бири бирине айланууга жөндөмдүү. Бул өз ара айлануу — алардын жашашынын башкы фактысы болуп эсептелет.

Көпчүлүк элементардык бөлүкчөлөр туруктуу эмес, убакыттын өтүшү менен өз алдынча башка бөлүкчөлөргө айланышат. Фотон, электрон, протон жана нейтрино туруктуу бөлүкчөлөр.

Бардык бөлүкчөлөр түгөйлөргө — антибөлүкчөлөргө ээ. Мисалы, электрондун антибөлүкчөсү болуп позитрон эсептелет. Бөлүкчө жана антибөлүкчө бирдей массага ээ, ал эми алардын заряддары белгиси боюнча карама-каршы. Бөлүкчө антибөлүкчө менен кагылышканда алар башка бөлүкчөгө айлануу менен жок болушат (аннигиляцияланышат). Позитрон менен электрондун аннигиляциясы эки (же үч) гамма-квантты пайда кылуу менен жүрөт.

Элементардык бөлүкчөлөрдү каттоо техникасынын өсүшү жана ядролук реакторлорду куруу эксперимент жүзүндө нейтринону алууга мүмкүндүк берди. Бул бөлүкчө заттар менен өз ара өтө эле начар аракеттешет. Энергиянын сакталуу законунун негизинде бул бөлүкчөнүн жашашы жөнүндө аны алуудан 26 жыл мурда алдын ала айтылган. Нейтринонун ар кандай түрлөрү боло тургандыгы эксперимент жүзүндө далилденди.

Ачылган элементардык бөлүкчөлөр 70-жылдары бир нече ондогон санды түздү. Андан тышкары эки жүздөн ашык кыска убакытка жашоочу бөлүкчөлөр — резонанстар табылды (жашоо убактылары  $10^{-23}$  секунда чамасында).



Ушуга байланыштуу төмөнкүдөй гипотеза айтылган: бардык өз ара күчтүү аракеттешүүчү элементардык бөлүкчөлөр өзгөчө фундаменталдуу бөлүкчөлөрдөн — кварктардан түзүлгөн. Кварктар протондор менен нейтрондордун ичинен нуклондордон чоң энергиялуу электрондор менен нейтринолордун чачыроосун байкоо учурунда табылган. Бирок бош абалда кварктар табыла элек. Нуклондорду жана башка бөлүкчөлөрдү кварктарга ажыратуу мүмкүн эместей.

Лептондор менен кварктар чыныгы элементардык бөлүкчөлөр деп эсептелет.

Азыркы кезде ар кандай өз ара аракеттешүүнүн бирдиктүү теориясы ийгиликтүү түзүлүүдө. Электромагниттик жана өз ара начар аракеттешүүлөр бир теориянын ичине бириктирилген.

# Дүйнөнү түшүндүрүү жана коомдун өндүргүч күчтөрүн өнүктүрүүдө физиканын мааниси

## 111. Дүйнөнүн бирдиктүү физикалык картинасы

Ошентип, физиканын мектептик курсун окуп бүткөнүр. Ар биринер материянын кыймылынын ар кандай формалары, материалдык телолордун түзүлүшү жана касиеттери боюнча бүткүл дүйнөлүк окумуштуулардын бир нече кылымдар бою эмгектенишкен эбегейсиз иштеринин жыйынтыктары менен аздыр-көптүр тааныштынар.

Физика бизди курчап турган дүйнөдөгү жана бүтүндөй Ааламдагы процесстердин агымын башкарып туруучу жаратылыштын өзгөчө жалпы закондору менен тааныштырат.

Физиканын максаты жаратылыштын жалпы закондорун табууда жана алардын негизинде конкреттүү процесстерди түшүндүрүүдө болот. Бул максатка карай канчалык илгерилеген сайын илимпоздордун алдына акырындык менен жаратылыштын бирдиктүүлүгүнүн маанилүү жана татаал картинасы тартыла берген. Дүйнө бири бирине көз каранды болбогон бытыранды окуялардын жыйындысы болбостон, бир бүтүндүн ар кандай жана көп сандаган көрүнүшү болуп саналат.

**Дүйнөнүн механикалык картинасы.** Окумуштуулардын бир катар муундарын Ньютондун механикасынын негизинде түзүлгөн дүйнөнүн маанилүү жана бирдиктүү картинасы таң калтырып келген жана таң калтырып да жатат. Ньютондун көз карашы боюнча бүткүл дүйнө «катуу, салмактуу, өткөрбөөчү, кыймылдуу бөлүкчөлөрдөн» турат. Бул «биринчи бөлүкчөлөр абсолюттук катуу болушат: бул бөлүкчөлөр өздөрүнөн түзүлгөн телого караганда да алда канчалык катуу, алар абдан катуулугунун натыйжасында эч качан кетилбейт да, быркырап да кетпейт». Бири биринен алар көбүнчө сан жагынан, өздөрүнүн массалары боюнча айырмаланышат. Бардык болгон байлык, дүйнөнүн сапаттык көп түрдүүлүгүнүн бардыгы — бул кыймылдагы бөлүкчөлөрдүн ар түрдүүлүгүнүн натыйжасы. Бөлүкчөнүн ички мааниси экинчи планда калат.

Дүйнөнүн мындай бирдиктүү картинасынын негизи болуп, Ньютон тарабынан ачылган телолордун кыймыл закондорунун бардыгын өз кучагына алуучу мүнөздүүлүк эсептелинет. Мына бул закондорго шамал учурган майда кумдан тартып, эбегейсиз зор асман телолоруна чейинкилер таң каларлык тактыкта баш ийишет. Ал түгүл шамал — абанын көзгө көрүнбөгөн бөлүкчөлөрүнүн кыймылы да ушул законго баш иет. Окумуштуулар узак убакыт бою табияттын бирден бир фундаменталдык закондору болуп Ньютон механикасынын закондору эсептелет деп



келишкен. Мисалы, француз окумуштуусу Лагранж «Ньютондон бактылуу киши жок, анткени дүйнөнүн картинасын түзүү бир гана жолу, бир гана кишинин бактысына туш келген» деп эсептеген.

Бирок дүйнөнүн жөнөкөй механикалык картинасы жетишсиздик кылган. Электромагниттик процесстерди изилдөөдө бул кубулуштар Ньютон механикасына баш ийбегендиктери аныкталган. Максвелл Ньютондун механикасы менен дал эклбөөчү фундаменталдык закондордун жаңы түрүн ачкан; ал электромагниттик талаанын өз ара аракеттешүү закондору болуп эсептелет.

**Дүйнөнүн электромагниттик картинасы.** Ньютондун механикасында нерселер бири-бири менен түздөн-түз боштук аркылуу аракеттенишет жана бул өз ара аракеттешүүлөр көз ачып-жумганча иш жүзүнө ашырылат (алыстан аракеттешүү теориясы) деп болжошкон. Электродинамика түзүлгөндөн кийин күч жөнүндөгү түшүнүк түп-тамырынан бери өзгөрдү. Өз ара аракеттешүүчү ар бир тело электромагниттик талааны түзөт. Пайда болгон талаа мейкиндикте чектүү ылдамдык менен таралат. Өз ара аракеттешүүлөр мына ушул талаа аркылуу иш жүзүнө ашырылат (жакындан аракеттешүү теориясы).

Электромагниттик күчтөр жаратылышта өзгөчө кеңири таралган. Бул күчтөр атом ядросунда, атомдо, молекулада, макроскоптук телолордун айрым молекулаларынын арасында таасир этишет. Мындай болгонунун себеби электрдик заряддалган бөлүкчөлөр бардык эле атомдордун составына кирет. Электромагниттик күчтөрдүн аракети эң эле кичинекей аралыкта (ядродо) да, космостук аралыкта (жылдыздардын электромагниттик нурдануулары) да байкалат.

Электродинамиканын өсүшү дүйнөнүн бирдиктүү электромагниттик картинасын түзүү үчүн аракеттешүүгө алып келди. Бул картина боюнча дүйнөдөгү бардык окуялар электромагниттик өз ара аракеттешүүлөрдүн закондору менен башкарылат.

Дүйнөнүн электромагниттик картинасы атайын салыштырмалуулык теориясы түзүлгөндөн кийин кульминацияга жетти. Электромагниттик өз ара аракеттешүүлөрдүн таралуу ылдамдыгынын чектүүлүгүнүн фундаменталдуу мааниси түшүнүктүү болду. Мейкиндик менен убакыт жөнүндө жаңы илим түзүлдү. Чоң ылдамдык кезинде Ньютондун теңдемелерин алмаштыруучу кыймылдын релятивдик теңдемелери табылды.

Эгер дүйнөнүн механикалык картинасынан бери электромагниттик кубулуштарды механикалык процесстерге өзгөчө чөйрөдө (дүйнөлүк эфирде) бириктирүүгө аракет жасалып келинген болсо, азыркы аракеттер тескерисинче, бөлүкчөлөрдүн кыймыл закондорун электромагниттик теориядан бөлүүдө болду. Заттардын бөлүкчөлөрүн электромагниттик талаанын «уюган» түрү катары кароого аракеттенишкен. Ошондой болсо да табияттагы бөлгөн бардык процесстерди электромагниттик процесстерге бириктирүүгө мүмкүндүк болгон жок. Бөлүкчөлөрдүн кыймылдарынын тең-

демелеринин жана гравитациялык өз ара аракеттешүүлөрдүн законун электромагниттик талаанын теориясынан чыгаруу мүмкүн. Мындан тышкары, электр жагынан нейтралдуу бөлүкчөлөр жана өз ара аракеттешүүлөрдүн жаңы түрлөрү ачылган. Табият адегенде болжолдогондон бир канча татаал болуп чыкты: дүйнөдөгү болгон көп жактуу процесстердин бардыгын камтуу үчүн кыймылдын бирдиктүү закону да, жеке күч да жөндөмсүз эле.

**Материянын түзүлүшүнүн бирдиктүүлүгү.** Дүйнө ушунчалык ар түрдүү болгондуктан бардык телолор бир гана сорттогу бөлүкчөлөрдөн түзүлүшү мүмкүн эместигине күнөм саноого болбойт. Бирок Жер кандай заттардан турса, жылдыздар да так ошондой заттардан турары таң каларлык эмес. Ааламдагы бардык телолорду түзүүчү атомдор бипбирдей. Жансыз организмдер кандай атомдордон турса, жандуу организмдер да так ошондой атомдордон турат.

Бардык атомдор бирдей эле структурага ээ жана үч сорттогу элементардык бөлүкчөлөрдөн түзүлгөн. Алардын протон жана нейтрондордон түзүлгөн ядросу бар. Ядрону электрондор айланып турат. Ядролор менен электрондордун ортолорундагы өз ара аракеттешүүлөр электромагниттик талаа аркылуу иш жүзүнө ашырылат. Бул талаанын кванттары болуп фотондор эсептелет.

Ал эми ядродо протондор менен нейтрондордун ортолорундагы өз ара аракеттешүүлөрдү негизинен  $\pi$ -мезондор иш жүзүнө ашырат.  $\pi$ -мезондор болсо ядролук талаанын кванттары болуп эсептелишет. Нейтрондор ажыраганда нейтрино келип чыгат. Мындан тышкары дагы көптөгөн элементардык бөлүкчөлөр ачылган. Бирок эң чоң энергиялуу бөлүкчөлөр менен өз ара аракеттенген кезде гана алар билинердик ролду ойной башташат.

XX кылымдын биринчи жарымында фундаменталдуу факт ачылган: *бардык элементардык бөлүкчөлөр бири бирине айланууга жөндөмдүү.*

70-жылдарда бардык өз ара күчтүү аракеттешүүчү бөлүкчөлөр субэлементардык бөлүкчөлөрдөн — алты түрдөгү кварктардан тураары белгилүү болгон. Чыныгы элементардык бөлүкчөлөр болуп лептондор жана кварктар эсептелет.

Элементардык бөлүкчөлөр жана алардын айлануулары ачылгандан кийин эле дүйнөнүн бирдиктүү картинасынын биринчи планына *материянын түзүлүшүнүн бирдиктүүлүгү* кирген. Бул бирдиктүүлүктүн негизинде бардык элементардык бөлүкчөлөрдүн материалдуулугу жатат. *Ар башка элементардык бөлүкчөлөр — бул материянын жашашынын ар башка конкреттүү формалары болуп эсептелет.*

Дүйнөнүн азыркы кездеги физикалык картинасы. Дүйнөнүн бирдиктүүлүгү материянын түзүлүшүнүн бирдиктүүлүгү менен эле бүтпөйт. Ал бөлүкчөлөрдүн кыймыл закондорунда жана алардын өз ара аракеттешүү закондорунда да көрүнөт.



Телолордун бири-бири менен өз ара аракеттешүүлөрүнүн тан каларлык ар түрдүүлүгүнө карабастан, азыркы учурдагы маалыматтар боюнча жаратылышта бар болгону төрт түрдүү гана күч бар. Алар *гравитациялык күчтөр, электромагниттик, ядролук жана өз ара начар аракеттешүүлөр*. Өз ара начар аракеттешүүлөр негизинен элементардык бөлүкчөлөр бири бирине айланган кезде пайда болот. Бардык төрт түрдөгү күчтөрдүн пайда болушу менен биз чексиз мейкиндиктеги Ааламда, Жердеги каалагандай телолордо (ошондой эле тирүү организмдерде), атомдордо жана атом ядролорунда, элементардык бөлүкчөлөрдүн бардык айланууларына кездешибиз.

Материянын кванттык касиеттери ачылгандан кийин, дүйнөнүн физикалык картинасы жөнүндөгү классикалык түшүнүктөргө революциялык өзгөрүү болду. Микробөлүкчөлөрдүн кыймылын түшүндүрүүчү кванттык физиканын пайда болушу менен дүйнөнүн бирдиктүү физикалык картинасынын жаңы элементтери ачык көрүнө баштады.

Материяны үзгүлтүктүү түзүлүштөгү заттарга жана үзгүлтүксүз талаага ажыратуу абсолюттук маанисин жоготту. Ар бир талаага ушул талаанын кванттары тиешелүү: электромагниттик талаага — фотондор, ядролукка — л-мезондор, ал эми теренирээк денгээлге — глюондор ж. б. таандык.

Өз кезегинде бардык бөлүкчөлөр толкундук касиеттерге ээ. *Материянын бардык формасына корпускулалык-толкундук деген эки жактуулук таандык.*

Өз ара карама-каршы корпускулалык жана толкундук касиеттерди бир эле теориянын чегинде сүрөттөп жазуу, бардык нерселер үчүн (микробөлүкчөлөр үчүн да) кыймыл закондорунун *статистикалык (ыктымалдык)* мүнөзгө ээ болушуна гана байланыштуу мүмкүн болду. Бул факт микробъектилердин тигил же бул касиеттерин жекече мааниде алдын ала айтууга мүмкүн эмес тигине алып келет.

Кванттык теориянын принциптери эң эле жалпы. Бул принциптер бардык бөлүкчөлөрдүн кыймылдарын, алардын ортолорундагы өз ара аракеттешүүлөрүн жана өз ара айланууларын сүрөттөп жазууга колдонулат.

Ошентип, азыркы кездеги физика, бизге табияттын бирдиктүүлүгүнүн чегин күнөмсүз түрдө демонстрациялайт. Бирок, ошондой болсо да, дагы эле көп нерселерди, ал түгүл дүйнөнүн бирдиктүүлүгүнүн физикалык маанисинин өзүн баамдоого азырынча мүмкүндүк боло элек. Эмне үчүн элементардык бөлүкчөлөр ушунчалык ар түрдүү жана көп? Бул азырынча белгисиз. Эмне үчүн алар тигиндей же мындай маанидеги массага, зарядга жана башка мүнөздөмөлөргө ээ? Ушул кезге чейин бул чоңдуктар эксперимент жүзүндө гана аныкталып келе жатат. Бирок ар кандай түрдөгү өз ара аракеттешүүлөрдүн арасындагы байланыш барган сайын даана көрүнө баштады. Электромагниттик жана өз ара начар аракеттешүүлөр бир теориянын

ичине бириктирилген. Көпчүлүк элементардык бөлүкчөлөрдүн түзүлүшү түшүндүрүлдү.

«Мында ушунчалык терең жашыруун сырлар жана ушунчалык терең ойлор жатат. Миндеген жылдар бою эмгектенип келишкен жүздөгөн өтө акылман ойчулдардын аракеттенүүлөрүнө карабастан, аларга жетүүгө азырынча мүмкүндүк боло элек. Чыгармачылык менен изденүүлөрдүн жана ачылыштардын кубанычы али да болсо алдыда кала берүүдө». Галилейдин мындан үч жүз элүү жыл илгери айткан бул сөздөрү эмдигиче күчүнөн кете элек.

**Илимий көз караш.** Физикада түзүлгөн фундаменталдуу закондор өзүнүн татаалдыгы жана жалпылыгы боюнча ар кандай кубулушту изилдөөдөн башталган фактыдан бир канча ашып түшөт. Бирок алар түздөн-түз байкалган жөнөкөй кубулуштарды билген сыяктуу ушунчалык туура жана ушунчалык объективдүү. Бул закондор эч бир шартта эч качан бузулбайт.

Жаратылыштан келип чыккан объективдүү закондорду улам барган сайын көптөгөн адамдар түшүнүү менен кабыл алышып, жаратылыштын укмуштуулары жоголду. Бул закондорду таанып-билүү жаратылышка болгон адамдардын үстөмдүгүн арттырууда.

Өткөн заманда адам баласынын коомчулугу өздөрүнүн жүрүш-турушунун нормаларын табияттан тышкары, диний көз караштарга ишенүүгө өтө көп байланыштырышкан. Динде адам баласынын мүмкүнчүлүктөрүнүн чектүүлүгү, адамдардын жашоо турмушун кандайдыр бир максатка багыттап туруучу кудайдын эркинин жашашы жөнүндөгү идеялар бар. Жаратылышты түшүндүрүүдөгү илимдин өсүшүнүн жетишкендиктери бул система боюнча болгон ой жүгүртүүлөрдү жок кылды деп айтууга болот.

## 112. Физика жана илимий-техникалык революция<sup>1</sup>

Азыркы убакта болжол менен чейрек кылым илгери башталган илимий техникалык революция (ИТР) жүрүп жатат. Ал илим менен техниканын көптөгөн областтарында терең сапаттуу өзгөрүүлөрдү киргизди. Байыркы илимдердин бири болгон астрономия адам баласынын космос мейкиндигине чыгуусу менен байланышкан революцияны башынан өткөрүп жатат. Кибернетиканын жана элементардык эсептөөчү машинанын пайда болушу математиканын облигин революциялык деңгээлде өзгөрттү, адам турмушунда колдонулуучу информатика деп аталган жаңы областка жол салды. Молекулалык биологиянын жана генетиканын пайда болушу биологияда революциянын пайда болушуна алып келди. Ал эми чоң химия деп аталыштын келип чыгышы, химия илиминдеги революциянын негизинде мүмкүн болду. Ушул сыяктуу процесстер геологияда, метеорологияда, океаноло-

<sup>1</sup> Бул параграфты В. А. Лешковцев жазган.



гияда жана башка азыркы кездеги көптөгөн илимдерде өтүп жатат.

Терең мазмундагы сапаттуу өзгөрүүлөр техниканын бардык негизги тармактарында да байкалып жатат. Энергетикадагы революциясынан органикалык отун менен иштөөчү жылуулук электр станциясынан атомдук электр станциясына өтүшүнө байланыштуу болот. Адаттан тышкары, бирок практика үчүн эң эле маанилүү касиеттерге ээ болгон жасалма материалдардын индустриясын түзүү материаловедениеге революция жасады. Комплекстүү механикалаштыруу жана автоматташтыруу биздин өндүрүштөгү жана айыл чарбасындагы сөзсүз болуучу революцияга алып келүүдө. Транспорт, курулуш, байланыш негизинен жаңы, азыркы кездеги техниканын өтө эле өндүрүмдүү жана өркүндөтүлгөн тармактарынан болууда. Ушунун баарысын бириктирип ИТР дагы жогорку квалификациялуу кызматкерлерди талап кылуучу коомдук өндүргүч күчкө революцияны даярдап жатат деп ишеним кылууга болот.

ИТР коомдун турмушундагы илимдин ролун түп-тамырынан бери өзгөрттү. *Илим түздөн-түз өндүргүч күч болуп калды.* Элдердин материалдык жыргалчылыгы үчүн зарыл болгон өндүрүштүн азыркы кездеги жана келечектеги тагдыры түздөн-түз илимдин жетишкендиктеринен көз каранды.

Илимий-техникалык революция адам баласын эбегейсиз зор кайрадан курулушка жана өндүрүштүн бардык чөйрөсүн (сферасын) жакшыртууга шексиз алып келүүдө. Социалисттик дүйнөдө бул революциянын жүрүшү менен эл чарбасын интенсификациялоо ишке ашырылып, коммунизмдин материалдык-техникалык базасынын негизи түзүлүүдө.

Ошону менен бирге ИТР бизди курчап турган чөйрөнү сактоодо адаттан тышкаркы актуалдуу проблеманы жасоодо.

**Физика жана астрономия.** Физика азыркы кездеги табият таануу илиминин лидерлеринин бири болуп эсептелет. Ал илимдин, техниканын, өндүрүштүн ар кандай тармактарына зор таасирин тийгизип жатат. Физика илим менен техниканын башка областтарына кандай таасирин тийгизерин бир катар мисалдар аркылуу карап көрөбүз.

Миң жыл бою астрономдор асмандагы кубулуштар жөнүндө жарык берген (информацияны) маалыматтарды гана алышкан. Алар бул кубулуштарды электромагниттик нурдануунун кенен спектринен ичке жылчык аркылуу окуп үйрөндү деп айтууга болот. Радиофизиканын өсүшүнө байланыштуу мындан отуз жыл мурда радиоастрономия пайда болду. Радиоастрономия болсо Аалам жөнүндөгү биздин түшүнүгүбүздү турмушта болуп көрбөгөндөй кеңейтти. Ал бизге мурда белгисиз болгон көптөгөн космостук объектилердин бар экендигин билүүгө жардам берди. Электромагниттик шкаланын радиотолкундук дециметрдик жана сантиметрдик диапазонунда жаткан бөлүгү астрономиялык илимдин кошумча булагы болуп калды.

Космостон электромагниттик нурдануунун башка түрлөрү алып келген илимий информациялардын зор агымы Жердин атмосфера-сына жутулуп калгандыгына байланыштуу Жерге жетпейт. Ааламдын космос мейкиндигине чыккандыгына байланыштуу астрономиянын түрүн өзгөртүүчү анын жаңы бөлүмдөрү — ультракызгылт-көк жана инфракызыл астрономия, рентгендик астрономия, гамма-астрономия пайда болду. Ошондой эле жер атмосфера-сынын чегине келип түшүүчү биринчи космос бөлүкчөлөрүн изилдөөнүн мүмкүнчүлүктөрү адаттан тышкары кеңейди. Бул революциянын негизинде астрономдор космос мейкиндигинен түшкөн бардык түрдөгү бөлүкчөлөр менен нурданууларды биринчи жолу изилдей алышат. Астрономдор акыркы эле он жылдын ичинде алган илимий информациялардын көлөмү, астрономиянын бүткүл тарыхы ичинде чогулган информациялардын көлөмүнөн көп ашып кетти. Азыр колдонулуп жаткан изилдөө методдору жана каттоочу аппараттар азыркы кездеги физиканын арсеналынан алынган: байыркы астрономия жаш, дүркүрөп өсүп бара жаткан астрофизикага айланууда.

Азыркы кезде нейтринолук астрономиянын негизи түзүлүүдө. Бул болсо окумуштууларга космостук телолордун түпкүрүндө, мисалы, биздин Күндүн теренинде болуп жаткан процесстер жөнүндө маалыматтарды берип турат. Нейтринолук астрономияны түзүү атомдук ядро менен элементардык бөлүкчөлөр физика-сынын жетишкендиктерине байланыштуу гана мүмкүн болду.

**Физика жана биология.** Адатта биологияда революцияны жашоо процессин молекулалык деңгээлдеги окуп үйрөнүүчү молекулалык биологиянын жана генетиканын пайда болушу менен байланыштырышат. Өз объектилерин табуу, чыгаруу жана окуп үйрөнүү үчүн молекулалык биология тарабынан колдонулуучу негизги каражаттар жана методдор (электрондук жана протондук микроскоптор, рентгеноструктуралык анализ, электронография, нейтрондук анализ, белгиленген атомдор, ультрацентрифуга ж. б.) физикадан алынган. Физикалык лабораторияларда жаралган бул каражаттарга ээ болбогон биологдор, жандуу организмдерде болуп өтүүчү процесстерди изилдөөнү жаңы сапаттуу деңгээлге жеткирүүнү иш жүзүнө ашыра алышпайт эле.

Азыркы кездеги физика химиянын, геологиянын, океанологиянын жана башка бир катар табигый илимдердин революциялык кайра курулушунда маанилүү ролду ойнойт.

**Физика жана техника.** Физика ошондой эле техниканын бардык областтарынын революциялык кайра курулуштарынын булагында да турат. Анын жетишкендиктеринин негизинде энергетика, байланыш, транспорт, курулуш өнөр жайы жана айыл чарба өндүрүштөрү кайрадан түзүлүүдө.

**Энергетика.** Атомдук энергетиканын пайда болушу менен энергетикада революция келип чыкты. Атомдук отунда сакталган энергиянын запасы, алигиче керектелбеген кадимки отундагы энергиянын запасынан бир канча ашып түшөт. Көмүр, нефть,



жана жаратылыш газы биздин күндөрдө чоң химия үчүн сейрек учуроочу (уникалдуу) сырьёго айланды. Буларды көп санда жагуу — демек, азыркы кездеги өндүрүштүн бул маанилүү тармактарына түзөтүлбөс зыян келтирүү дегендик. Ошондуктан энергетикалык максатта атомдук отунду (уранды, торийди) пайдалануу өтө маанилүү. Жылууулук менен иштөөчү электростанциялар айлана-чөйрөгө коркунучтуу таасир этет. Ал эми атомдук электр станциялары белгилүү деңгээлдеги көзөмөлдүн жүргүзүлүшүндө коркунучсуз.

Термоядролук электростанциялар адам баласын келечекте энергиянын булактары жөнүндөгү камкордуктан биротоло куткарат. Атомдук жана термоядролук энергетиканын илимий негизи атом ядросунун физикасынын жетишкендиктерине толугу менен таянары бизге мурдатан эле белгилүү.

**Касиеттери белгилүү материалдар.** Келечектин техникасы азыркы кезде эле техниканы жетишерлик бекем жана көпкө чейин чыдамдуу кыла албаган табияттын даяр материалдарынан түзүлбөстөн, касиеттери алдын ала берилген синтетикалык материалдардан түзүлөт. Мындай материалдарды түзүүдө чоң химия менен катар ролу улам барган сайын жогорулоодо болгон затка аракет этүүчү физикалык методдор (электрондук, иондук жана лазердик агымдар; өтө күчтүү магнит талаасы; өтө жогорку басым жана температура; ультраүн ж. б.) роль ойнойт. Бул методдордо жогорку мүнөздөмөлүү материалдарды алуунун жана заттарды иштеп чыгаруудагы азыркы кездеги технологияны түптамырынан бери өзгөртүүчү принциптүү жаңы методдорду түзүүнүн мүмкүндүгү жатат.

**Өндүрүштү автоматташтыруу.** Микрокомпьютерлер менен башкарылуучу ийкемдүү автоматтык линияларды, өнөр жай роботторун, ошондой эле ар түрдүү электрондук текшерүүчү-ченөөчү аппараттарды өзүнө камтуучу комплекстүү-автоматташтырылган өндүрүштү түзүү боюнча зор иш турат. Бул техникалардын илимий негизи радиоэлектроника, катуу телонун физикасы, атом ядросунун физикасы жана азыркы кездеги физиканын башка бөлүмдөрү менен органикалык түрдө байланышкан.

**Физика жана информатика.** Физика информатиканын материалдык негизин туюнтуучу азыркы кездеги эсептөө техникасын түзүүдө чечүүчү салымды кошууда. Ушул күнгө чейин түзүлгөн электрондук эсептөөчү машиналардын бардык үч түрү тең (вакуумдук лампаларга, жарым өткөргүчтөргө жана интегралдык схемаларга<sup>1</sup> негизделинген) физикалык лабораторияларда пайда болгон. Азыркы кездеги физика, электрондук эсептөөчү

<sup>1</sup> Интегралдык схемаларда кадимки радиотетиктердин жана аларды таштыруучу зымдардын ордуна белгилүү сорттогу молекулалардын жука катмарлары колдонулат. Бул катмарлар жарым өткөргүчтүн кристаллдарынын ичине киргизилет же анын бетине сээп коюлат. Мына ушуга байланыштуу аянты  $1 \text{ см}^2$  болгон жарым өткөргүчтүү кристаллдын бетине жүз миңдеген транзисторлорду жана башка схемалардын элементтерин батырууга болот.

машиналардын мындан аркы миниатюраланышы, тез аракет этүүлөрүнүн жана чыдамкайлуулуктарынын жогорулашы үчүн жаңы перспективаларды ачууда. Лазерлерди колдонуу жана алардын негизинде өөрчүлүп жаткан голография, эсептөө техникасын жөнөкөйлөштүрүү үчүн өзүлөрүнө зор резервдерди сактоодо.

Биз бул жерде азыркы кездеги илим менен техниканын ар кандай тармактарына физиканын революциялаштыруу таасиринин бардык жактары жөнүндө айта алган жокпуз. Бирок, биз келтирген мисалдар азыркы физиканын илимий-техникалык революцияга чечүүчү салым кошкондугуна ынануу үчүн жетиштүү.

Биздин өлкө илимий-техникалык прогрессти тездик менен өстүрүү, эл чарбасын ар тараптан интенсификациялаштыруу жолуна түштү. Өнөр жайынын жана айыл чарбасынын бардык негизги тармактарын, биздин бардык экономикабызды түп тамырынан бери кайра куруу алдыда турат. Бул проблемаларды чечүүдө физика-математика илими зор салым кошушу керек. Мына ушуга байланыштуу «1986—1990-жылдардагы жана 2000-жылга чейинки экономикалык жана социалдык өнүгүүнүн негизги багыттарында» теориялык жана прикладдык математиканы, информатика менен кибернетиканы, элементардык бөлүкчөлөрдүн, атомдук ядронун жана катуу телонун физикасын, микро менен кванттык электрониканы жана оптиканы, радиофизиканы өнүктүрүү, ошондой эле атомдук жана термоядролук энергетиканын аймагында изилдөө жүргүзүү, электр энергиясын кайра куруу жана берүү, энергиянын адаттан тышкаркы булактарын өздөштүрүү каралган.

Социализмдин артыкчылыгы менен илимий-техникалык революциянын жетишкендиктеринин биригүүсүнүн негизинде совет эли биздин өлкөдө коммунисттик коомдун фундаментин ийгиликтүү курууда.



# Лабораториялык иштер<sup>1</sup>

## 1. Маятниктин жардамы менен эркин түшүүнүн ылдамдануусун аныктоо

Эркин түшүүнүн ылдамдануусун өлчөө үчүн ар кандай гравиметрлер, мисалы, маятниктүү приборлор колдонулат. Алардын жардамы менен эркин түшүүнүн ылдамдануусун  $10^{-5}$  м/с<sup>2</sup> тартибиндеги абсолюттук каталыкта өлчөөгө жетишүүгө болот.

Бул ишке жөнөкөй эле маятниктүү прибор — жипке илинген шарик колдонулат. Жиптин узундугуна караганда шариктин өлчөмү кичине болуп, тең салмактуу абалынан анча чоң кыйшайбаса термелүү мезгили  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  га барабар. Мезгилди өлчөөнүн тактыгын жогорулатуу үчүн маятниктин толук термелүүсүнүн жетишерлик көп  $N$  сандагы  $t$  убактысын ченөө керек.

Анда мезгил  $T = \frac{t}{N}$  болуп, эркин түшүүнүн ылдамдануусу төмөнкү формула боюнча эсептелиши мүмкүн:

$$g = N^2 \frac{t^2}{T^2}$$

Приборлор жана материалдар: секунданы көрсөтүүчү жебеси бар саат, каталыгы  $\Delta_t = 0,5$  см келген ченөөчү тасма, тешиги бар шарик, жип, муфталуу жана шакектүү штатив.

*Ишке карата көрсөтмө.*

1. Штативди столдун четине орноткула. Анын жогорку учуна муфтанын жардамы менен шакекти бекитип, ага жип аркылуу шарикти илгиле. Шарик астанадан 1—2 см жогору болуп илинсин.

2. Тасма менен маятниктин  $l$  узундугун ченегиле.

3. Маятниктин шаригин бир жакка 5—8 см аралыкка тартып, анан коё берүү менен ага термелүү бериле.

4. Бир нече эксперименттен маятниктин 50 термелүүсүндөгү  $t$  убакытты өлчөп, анан  $t_{\text{орт}}$  эсептегиле:

$$t_{\text{орт}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}{n}$$

мында  $n$  — убакытты өлчөөдөгү тажрыйбалардын саны.

5. Убакытты ченөөдөгү кетирилген орточо абсолюттук катаны эсептегиле жана

$$\Delta t_{\text{орт}} = \frac{|t_1 - t_{\text{орт}}| + |t_2 - t_{\text{орт}}| + |t_3 - t_{\text{орт}}| + \dots}{n}$$

жыйынтыгын таблицкага жазгыла.

6. Төмөнкү формула боюнча эркин түшүү ылдамдануусун эсептегиле:

<sup>1</sup> Инструкциялар Ю. И. Дик жана Г. Г. Никифоров тарабынан даярдалды.

Тажрыйб. номери	$t, c$	$t_{орт.с}$	$\Delta t, c$	$\Delta t_{орт.с}$	$l, м$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

$$g_{орт.} = 4\pi^2 \frac{IN^2}{t_{орт.}^2}$$

7. Убакитты ченөөдөгү кетирилген  $\varepsilon_l^!$  салыштырмалуу катаны аныктагыла.

8. Маятниктин узундугун өлчөөдөгү  $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$  салыштырмалуу катаны аныктагыла.

$\Delta l$ дин мааниси ченөөчү тасманын катасы менен тасманын бөлүштүрүлүшүнүн жарымына барабар болгон эсептөө катасынын суммасынан турат:

$$\Delta l = \Delta l_{тас} + \Delta l_{эсеп.}$$

9. Төмөнкү формула боюнча  $g$  ны өлчөөдөгү салыштырмалуу катаны эсептегиле. Эгерде  $\pi = 3,14$  болсо  $\pi$  ни тегеректөөдөгү каталыкты эсепке албоону эске алгыла; ошондой эле, эгерде  $\varepsilon_l$  деген  $2\varepsilon_l$  дан 4 (же андан көп) эсе кичине болсо,  $\varepsilon_l$  ны эсепке албай эле коюуга болойт:  $\varepsilon_g = \varepsilon_l + 2\varepsilon_\pi + 2\varepsilon_l$ .

10.  $\Delta g = \varepsilon_g g_{орт.}$  ну аныктап, өлчөөнүн жыйынтыгын төмөнкүдөй түрдө жазгыла:

$$g_{орт.} - \Delta g \leq g \leq g_{орт.} + \Delta g.$$

$g$  нын белгилүү маанисинин алынган интервалга тиешелүүлүгүн текшерип көрүү менен өлчөөнүн тууралыгына ишенгиле.

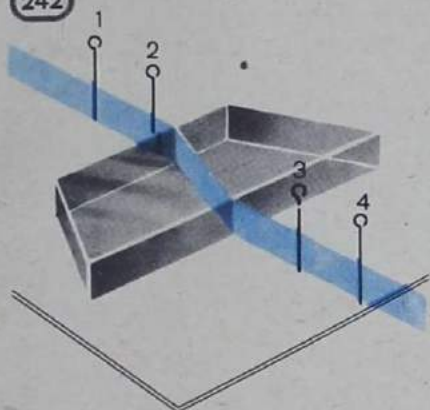
## 2. Айнектин сынуу көрсөткүчүн аныктоо

Заттардын сынуу көрсөткүчү сынуу законунун негизинде аныкталат. Сынуу көрсөткүчүн ченөө үчүн огу жарык нуру болуп эсептелген ичке жарык тобун бөлүп алып, анын жолуна айнек пластинкасын коюу керек. Түшүүчү жана сынган нурлардын багыты жарык нурларынын жолуна жайлаштырылган ичке төөнөгүч же ийненин жардамы менен аныкталат.

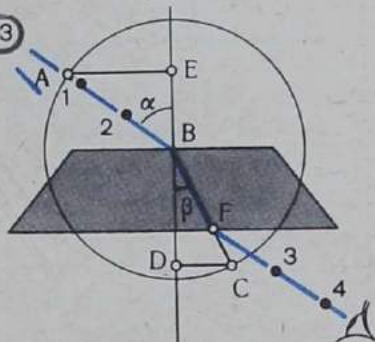
Жалпак-параллель пластинанын бир жагына эки № 1 жана № 2 төөнөгүчтөрдү (242-сүрөт) сайып, аларды пластинага перпендикуляр болгон багыттан өтө айырмаланган багыт боюнча



242



243



пластина аркылуу карайт. Жарыктын сынуусуна байланыштуу төөнөгүчтөр жылышкандай болуп байкалат. Көз менен пластинанын ортосуна № 1 жана № 2 төөнөгүчтөрдүн мнимый (жалган) сүрөттөлүштөрү менен бирдей багытта жайланышкандай кылып дагы эки № 3 жана № 4 төөнөгүчтөр сайылат.

Ушундан кийин пластинанын сындыруучу кырлары жана төөнөгүчтөрдүн сайылган жери кагазга белгиленет (234-сүрөт). № 1 жана № 2 төөнөгүчтөрү сайылган жер аркылуу түшүүчү нур, ал эми № 3 жана № 4 төөнөгүчтөрү сайылган жер аркылуу пластинадан өткөн нур жүргүзүлөт. Андан кийин борбору  $B$  чекити болгон мүмкүн болушунча чоңураак  $R$  радиустагы айлана чийилет.  $B$  чекити жана сынган нурдун пластинадан чыккан  $F$  чекити аркылуу айлана менен кесилгенге дейре  $BC$  түз сызыгы жүргүзүлөт.  $A$  жана  $C$  чекиттеринен пластинанын  $B$  чекитине тургузулган нормалга  $AE$  жана  $CD$  перпендикулярлары түшүрүлөт. Эгер түшүү бурчу  $\alpha$  менен, ал эми сынуу бурчу  $\beta$  менен белгиленсе, анда  $\sin\alpha = \frac{AE}{R}$ ,  $\sin\beta = \frac{CD}{R}$ . Ошондуктан сынуу көрсөткүчү.

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{AE}{DC}$$

(1) катышы  $n$  ди өлчөө үчүн  $AE$  жана  $DC$  кесиндилерин ченөө зарыл экендигин көрсөтөт.

Салыштырмалуу катаны эсептөөдө 10 жана андан ашык тажрыйба жүргүзгөндө гана  $\epsilon_t = \frac{\Delta t_{\text{орт}}}{t_{\text{орт}}}$  болорун эске алуу керек. Эгерде беш тажрыйба жүргүзүлсө, анда  $\epsilon_t = \frac{3\Delta t_{\text{орт}}}{t_{\text{орт}}}$ , эгерде тажрыйбанын саны 7—8 болсо, анда  $\epsilon_t = \frac{2\Delta t_{\text{орт}}}{t_{\text{орт}}}$  болот («Физика-9» китебинин № 2 ишин карагыла).

Приборлор жана материалдар: сызгыч, миллиметрлерге бөлүнгөн кагаз, койгучтуу лампочка, ток булагы, ажыраткыч, туташтыруучу өткөргүчтөр, айнек пластинасы, жылчыгы бар экран, ак кагаз, гофрленген картон, төөнөгүчтөр.

*Ишке карата көрсөтмө*

1. Лампочканы ажыраткыч аркылуу батареяга бириктирүү менен электр чынжырын чогулткула.

2. Лампочканын тушуна жылчыктары бар экранды орнотуп, ал эми анын ары жагына бир барак ак кагазды койгула.

3. Чынжырды туюктап, кагазда жарыктын ак ичке тилкесин (жарык нурун) алгыла.

4. Сынуу кубулушун ар кандай түшүү бурчтарында байкагыла.

5. Нурдун жүрүшүн төөнөгүчтөр менен белгилегиле. Ал үчүн гофрленген картон листтин үстүнө миллиметрлерге бөлүнгөн кагазды койгула да анын үстүнө пластинаны жайлаштыргыла. Жогоруда келтирилген сүрөттөө боюнча № 1, 2 жана 3, 4 төөнөгүчтөрдү сайгыла.

6. 243-сүрөткө туура келүүчү түзүлүштү аткаргыла.

7.  $AE$  жана  $DC$  кесиндилерин ченегиле жана

$$n_{\text{таж.}} = \frac{AE}{DC}$$

формуласы боюнча сынуу көрсөткүчүнүн тажрыйбалык маанисин аныктагыла.

8.  $\epsilon_n = \epsilon_{AE} + \epsilon_{DC} = \frac{\Delta_1}{AE} + \frac{\Delta_2}{DC}$  формуласы боюнча сынуу көрсөткүчүн өлчөөдөгү салыштырмалуу каталыкты аныктагыла. Бул формуладагы  $\Delta_1$  төөнөгүчтүн акыркы диаметринин ары жагындагы миллиметрлерге бөлүнгөн кагазды колдонуудагы 1 мм ден кем эмес эсептөө каталыгы,  $\Delta_2$  каталыгы № 1 жана № 2 ийнелердин жалган сүрөттөлүштөрү менен № 3 жана № 4 ийнелердин дал келүүлөрүнүн так эместиктеринин себебинен 2 мм ге жетет.

9. Сынуу көрсөткүчүн өлчөөдөгү  $\Delta_n = n_{\text{таж.}} \cdot \epsilon_n$  абсолюттук каталыгын аныктагыла жана төмөнкү таблицаны өлчөөнүн жыйынтыктары менен толтургула.

$AE$ , мм	$DC$ , мм	$n_{\text{таж.}}$	$\epsilon_n$	$\Delta_n$



10. Сынуу көрсөткүчүн өлчөөдөгү жыйынтыктарды барабарсыздык түрүндө жазгыла:

$$n_{\text{таж.}} - \Delta n \leq n \leq n_{\text{таж.}} + \Delta n.$$

### 3. Чогултуучу линзанын оптикалык күчүн жана фокус аралыгын аныктоо

Линзанын оптикалык күчүн жана фокус аралыгын өлчөөнүн эң жөнөкөй жолу линзанын формуласын пайдаланууга негизделген.

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D \text{ же } \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

Предмет (буюм) катары чачыраган жарык аркылуу жаркыроочу жарык берүүчүнүн капкакчасындагы тамга пайдаланылат. Бул тамганын чыныгы сүрөттөлүшү экранда алынат.

Приборлор жана материалдар: сызгыч, эки тик бурчтуу үч бурчтук, узун фокустуу чогултуучу линза, ток булагы, ажыраткыч, туташтыруучу өткөргүчтөр, экран, багыттоочу рейка.

*Ишке карата көрсөтмө*

1. Ажыраткыч аркылуу лампочканы ток булагына туташтыруу менен электр чынжырын жыйнагыла.

2. Лампочканы столдун бир четине, ал эми экранды болсо экинчи четине койгула. Алардын ортосуна линзаны жайлаштырып, лампочканы күйгүзгүлө. Экранда жаркыраган тамганын так сүрөттөлүшү пайда болмоюнча линзаны рейкага бойлото жылдыргыла.

талыгын азайтыш үчүн кичирейтилген (демек, бир кыйла даана болгон) сүрөттөлүштү алуу максатка ылайыктуу.

3.  $d$  жана  $f$  аралыгын өлчөгүлө. Бул учурда аралыкты кылдаттык менен ченөөнүн зарылдыгына көңүл бөлгүлө.

Ар бир жолу кайрадан так сүрөттөлүштү алуу менен  $d$  ны өзгөртпөстөн туруп, тажрыйбаны бир нече жолу кайталагыла.

$f_{\text{орт.}}$ ,  $D_{\text{орт.}}$ ,  $F_{\text{орт.}}$  ну эсептегиле. Аралыктарды ченөөнүн жыйынтыгын (миллиметр менен) таблицага жазгыла.

Тажрыйбанын номери	$f \times 10^{-3}$ м	$f_{\text{орт.}} \times 10^{-3}$ м	$d \times 10^{-3}$ м	$D_{\text{орт.}}$ , дптр	$F_{\text{орт.}}$ , м
1					
2					
3					

4. Линзанын оптикалык күчүн ченөөдөгү  $\Delta D$  абсолюттук катаны  $\Delta D = \frac{\Delta_1}{d^2} + \frac{\Delta_2}{f^2}$  формуласы боюнча эсептөөгө болот, мында  $\Delta_1$  жана  $\Delta_2$  деген  $d$  жана  $f$  ти ченөөдөгү абсолюттук каталар.

$\Delta_1$  менен  $\Delta_2$  ни аныктоодо  $d$  жана  $f$  аралыктарын ченөө линзанын калыңдыгынын  $h$  жарымынан кичине болгон каталыкта жүргүзүү мүмкүн эмес тигин эске алуу керек.

Тажрыйбалар  $d$  ны өзгөртпөстөн жүргүзүлгөндүктөн  $\Delta_1 = \frac{h}{2}$   $f$  ти ченөөдөгү кетирилген каталык так сүрөттөлүшкө келтирүүнүн кемчилигинен болжол менен дагы  $\frac{h}{2}$  ге чоң болот. Ошондуктан  $\Delta_2 = \frac{h}{2} + \frac{h}{2} = h$ .

5. Линзанын  $h$  калыңдыгын ченегиле (244-сүрөттү карагыла). Төмөнкү формула боюнча  $\Delta D$  ны эсептегиле:

$$\Delta D = \frac{h}{2d^2} + \frac{h}{f^2}$$

6. Алынган жыйынтыкты төмөнкү түрдө жазгыла:

$$D_{\text{орт.}} - \Delta D \leq D \leq D_{\text{орт.}} + \Delta D$$

#### 4. Жарыктын интерференциясын жана дифракциясын аныктоо

Приборлор жана материалдар: 2 айнек пластинкасы, кызытма зымы түз лампа (бүт класска бирөө), штангенциркуль.

*Ишке карата көрсөтмө*

Интерференцияны байкоо

1. Айнек пластиналарын таза сүртүп, аларды бири бирине беттештирип, кол менен кыскайла.

2. Пластиналарды чагылган жарыкта күңүрт фондо карагыла (аларды айнектин бетине терезеден же ак дубалдан өтө жарык эмес сүрөт пайда болгондой кылып жайлаштыруу керек).

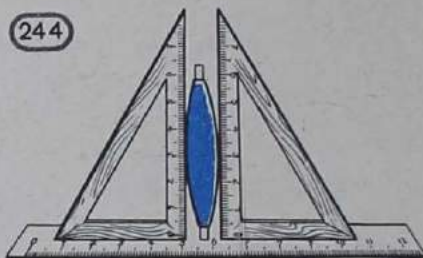
3. Пластиналардын тийишип калган айрым жерлеринен кубулуп туруучу тегерек сымал же туура эмес формадагы тилкелерди байкагыла.

4. Формалардын өзгөрүшүн жана кысуунун өзгөрүшү менен алынган интерференциялык тилкелердин жайланышын байкагыла.

5. Өтүп жаткан жарыктан интерференциялык картинаны көрүүгө аракеттенгиле.

Дифракцияны байкоо

1. Штангенциркулдун эки жаагын жакындатып, туурасы 0,5 мм келген жылчык алгыла.





2. Жылчыкты вертикаль абалда көзгө такай кармап шыкаалагыла.

3. Жылчык аркылуу лампанын вертикалдуу жайланышкан жаркыраган зымын карап, зымдын эки жагынан кубулуп туруучу тилкелерди (дифракциялык спектрлерди) байкагыла.

4. Жылчыктын туурасын 0,5 мм ден 0,8 мм ге чейин өзгөртүп бул дифракциялык спектрлерге кандайча таасир эте тургандыгын белгилегиле.

## 5. Туташ жана сызыктуу спектрлерди байкоо

Приборлор жана материалдар: проекциялык аппарат, суутеги, неону же гелийи бар спектралдык трубка, жогорку вольттуу индуктор, аккумуляторлордон түзүлгөн батарея, штатив, туташтыруучу өткөргүчтөр (бул приборлор бардык класс үчүн жалпы болот), жантик грандуу айнек пластинасы (ар бирине берилет).

### *Ишке карата көрсөтмө*

1. Пластинаны көздүн алдына горизонталь койгула.  $45^\circ$  тук бурч түзүүчү кыры аркылуу экрандан вертикаль жарык тилкени — проекциялык аппараттын кыймылдуу жылчыгынын сүрөттөлүшүн байкагыла.

2. Алынган туташ спектрден негизги түстөрдү бөлгүлө жана аларды байкаган ирети менен жазгыла.

3. Тилкени  $60^\circ$  тук бурч түзүүчү грани аркылуу карап тажрыйбаны кайталагыла. Айырмасын спектрлер түрүндө жазгыла.

4. Жарык берип туруучу спектрдик түтүктү айнек пластинасынын грани аркылуу кароо менен суутектин, гелийдин же неондун сызыктуу спектрлерин байкагыла. Спектрлердин өтө ачык сызыктарын жазгыла.

## 6. Даяр фотография боюнча заряддалган бөлүкчөлөрдүн тректерин окуп үйрөнүү

Приборлор жана материалдар: тректердин фотографиясы ( $245^\circ$  сүрөт), тунук кагаздын барагы (калька), миллиметрдик шкаласы бар тик бурчтуу үч бурчтук, карандаш.

### *Ишке карата көрсөтмө*

Фотографияда Вильсон камерасындагы магнит талаасында болгон бөлүкчөнүн ( $I$  — протондун треги)<sup>1</sup> тректери берилген. Магнит талаасынын индукция сызыктары фотографиянын тегиздигине перпендикуляр. Эки бөлүкчөнүн тең баштапкы ылдамдыктары бирдей жана фотографиянын четине перпендикуляр.

1. Магнит талаасынын индукция векторунун багытын аныктагыла.

<sup>1</sup> Тректерди байкоонун алдында камераны иондордон тазалоо үчүн ичке түз сызыктарга — металл зымдарына чыңалуу берилет.

2. Эмне үчүн бөлүкчөнүн траекториясынын бөлүгү айлананын жаасын элестерин түшүндүргүлө.

3. Эмне үчүн бир эле траекториянын ар кандай бөлүктөрүндө жаанын радиусу ар башка экендигин түшүндүргүлө.

4. Фотографиядагы эки тректин ортосундагы айырмачылык эмнеде экендигин түшүндүргүлө. Бул айырмачылыктын себеби эмнеде?

5. Фотографияга тунук кагаздын барыгын койгула жана чебердик менен ал кагазга I тректи, ошондой эле фотографиянын оң жаккы четин түшүргүлө.

6. Башталыш бөлүгүндөгү тректин ийрилик радиусун аныктагыла. Ал үчүн тректин башталыш бөлүгүнүн хордасын жүргүзгүлө жана анын ортосуна перпендикуляр тургузула. Айлананын жаасынын борборун тапкыла жана анын радиусун өлчөгүлө.

7. Ушунун так өзүн II трек үчүн аныктагыла.

8. Төмөнкү формуланы пайдаланып (IX класс үчүн физика боюнча окуу китебин карагыла):

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR},$$

эки бөлүкчөнүн тең салыштырмалуу заряддарын<sup>1</sup> салыштыргыла.

9. II трек кандай бөлүкчөгө тиешелүү болушу мүмкүн?



<sup>1</sup> Бөлүкчөнүн салыштырмалуу  $\frac{q}{m}$  заряды — бул анын  $q$  зарядынын  $m$  массасына болгон катышы.



## Көнүгүүлөрдүн жооптору

№ 1. 1.  $\approx 15,8$  Н/м. 2.  $\approx 20$  с. 3. 9 см; 25 см. 4. 2,4 эсе чоноёт. 5. Экинчи шарик. 6. 0,4 м. 7.  $\approx 9$  рад/с;  $3,2 \cdot 10^{-3}$  Дж.

$$8. T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}. 9. 19,2 \text{ км/саат.}$$

№ 2. 1.  $5 \cdot 10^{-3}$  Дж. 2.  $\approx 1,26 \cdot 10^{-6}$  с;  $\approx 2,51 \cdot 10^{-6}$  с. 3. 16 мГн ден 10 мГн ге чейин. 4.  $\approx 0,63$  В. 5.  $\approx 0,63$  В. 6.  $\approx 0,28$  А.

№ 3. 1. Пластиналар арасындагы катмарлар валдын огуна перпендикуляр болушу керек. 2. Рамканын тегиздиги магниттик индукциянын сызыктарына параллель болгон кезде ЭКК максималдуу болот. 4. Мүмкүн, мисалы, оромонун биринин сыртынан кошумча белгилүү сандагы оромо менен ороп жана анын учтарындагы чыңалууну башка оромого белгилүү чыңалууну берип жаткан учурда ченейт. 5. Трансформатор күйүп кетиши мүмкүн, анткени оромонун каршылыгы өзгөрмө токко караганда туруктуу токто алда канча аздык кылат. 6. Бир оромдун каршылыгы эң эле аздык кылат. Оромдо индукциялык чоң ток пайда болот. Ошондуктан көп сандагы жылуулук бөлүнүп чыгып, ал трансформатордун бузулушуна алып келет. 7. 1/10; 22/7; 35/6; 300/11.

№ 4. 1. 660 м. 2.  $\approx 5000$  м/с. 3. 1435 м/с. 4.  $180^\circ$ . 5. Болжол менен 4,2 эсе чоноёт.

№ 5. 1. Жок, анткени иреттүү кыймылдагы электрондордун ылдамдыгы нөлгө барабар болгон эсептөө системасында торчонун иондору кыймылда болушуп магнит талаасын түзүшөт. 2. Пайда болбойт. 3.  $\lambda_1 \approx 92$  м ден  $\lambda_2 \approx 565$  м ге чейин. 4. Анткени антенна горизонталь абалда, электр талаасынын чыңалышынын вектору да горизонталь абалда жайланышкан. Демек, магниттик индукциянын вектору вертикаль абалда болот. 5. Айда ионосфера болбойт.

№ 6. 1. Жарык тобу көрүнбөйт. 2. Кубулуш терезе жапкычтын кичине жылчыгы аркылуу өткөн жарыктын түз сызыктуу таралышына байланыштуу болот. 3. Жарым көлөкөнүн өлчөмү тунук эмес тосмодон экранга чейинки аралыктан көз каранды. Аз аралык кезинде (буттар) жарым көлөкө кичине, ал эми чоң аралыкта (баш) — чоң. Эгер фонарь чекиттик булак болсо, анда баштын жана буттардын көлөкөсү бирдей эле даана болмок. 5.  $x = 2l \sin \alpha = 10$  см. 7. Н/2. Күзгүнүн төмөнкү чети астанадан көз менен астананын ортосундагы аралыктын жарымына барабар болгон аралыкта турушу керек. Күзгүнүн жогорку чети кишинин боюнан көздөн төбөгө чейинки аралыктын жарымына барабар болгон аралыкка кичине болгон бийиктикте турушу керек. 8. Жалпак күзгү багытталган чагылууну берет, ошондуктан ар бир көрүүчүгө кинокадрдын ачык жарыктанган кичине бөлүгү гана көрүнөт.

- № 7. 1. 0,55; 1,24. 2. 1,4 см. 3. Призманын сындыруу бурчунун чокусун карай. 4. Чыкпайт. 5.  $n=2$ .
- № 8. 1. 12 см. 2. Сүрөттөлүш да ушундай эле ачык болот, бирок анын жарыктанышы азаят. 4. Суунун сынуу көрсөткүчү көздүн затынын сынуу көрсөткүчүнө өтө эле жакын, ошондуктан көзгө түшүүчү нурлар дээрлик сынбайт, демек, көз өтө эле алыстан көрүүчү болуп эсептелет. 7. 0,3 м. 8. 1) Чачыратуучу, жалган; 2) чогултуучу, жалган. 10.  $\Gamma=7$ . 11.  $F/2$  аралыкта. 13.  $-2,25$  дптр.
- № 9. 1.  $\approx k \cdot 528$  айл/с (мында  $k=1, 2, 3, \dots$ ). 2.  $5,26 \cdot 10^{-7}$  м; 225 200 км/с;  $2,98 \cdot 10^{-7}$  м; 223 200 км/с. 3. Так ачык болот. 4.  $\approx 5,2 \cdot 10^{-7}$  м.
- № 10. 1. Жердеги байкоочунун көз карашы боюнча чагылгандын  $B$  чекитиндеги (поезддин артында) үнү мурда чыгат. 2. Электрондун ылдамдыгы жарык ылдамдыгына караганда болжол менен 10 см/с га аз. 3. Болжол менен  $2,3 \cdot 10^{-12}$  кг га.
- № 11. 2.  $\approx 1,5$ . 3.  $4 \cdot 10^{-19}$  Дж. 4.  $\approx 2,5 \cdot 10^{-7}$  м. 5.  $\approx 5 \cdot 10^{14}$  Гц. 6.  $\approx 3,8 \cdot 10^{-19}$  Дж. 7.  $\approx 1,325 \cdot 10^{-27}$  кг  $\cdot$  м/с.
- № 12. 1.  $\frac{r_k}{r_n} = 25$ ;  $\frac{E_k}{E_n} = 1/25$ . 2.  $v \approx 2 \cdot 10^6$  м/с;  $a \approx 10^{23}$  м/с<sup>2</sup>. 3.  $\approx 6,9 \cdot 10^{-14}$  м. 4.  $\approx 4,87 \cdot 10^{-7}$  м. 5.  $\approx 3,65 \cdot 10^{-7}$  м.
- № 13. 1. Сегиз  $\alpha$  = айлануу, алты  $\beta$  = айлануу. 2.  $\approx 3200$  жыл. 3. 1,41 эсе. 5.  $\approx 1,72$  МэВ. 7.  $\approx 200$  МэВ.



# Мазмуну

## ТЕРМЕЛҮҮЛӨР ЖАНА ТОЛКУНДАР

### Киришүү

#### 1-глава. Механикалык термелүүлөр

1. Эркин жана аргасыз термелүүлөр	4
2. Эркин термелүүлөрдүн пайда болуш шарттары	6
3. Математикалык маятник	8
4. Термелүү кыймылынын динамикасы	9
5. Гармоникалык термелүүлөр	12
6. Термелүүнүн фазасы	17
7. Гармоникалык термелүүлөрдөгү энергиянын айланышы	20
8. Аргасыз термелүүлөр. Резонанс	22
9. Резонанстын колдонулушу жана аны менен күрөшүү	9
Маселелер чыгаруунун мисалдары	27
1-көнүгүү	29
1-главанын кыскача жыйынтыктары	30

#### 2-глава. Электрдик термелүүлөр

10. Эркин жана аргасыз электрдик термелүүлөр	32
11. Термелүү контуру	33
12. Термелүү контурундагы процесстерди туюндуруучу тендеме.	
Эркин электрдик термелүүлөрдүн мезгили	36
13. Өзгөрмө электр тогу	39
14. Активдүү каршылык. Ток күчүнүн жана чыңалуунун аракеттүү маанилери	41
15. Өзгөрмө токтун чынжырындагы конденсатор	44
16. Өзгөрмө токтун чынжырындагы индуктивдүүлүк катушкасы	47
17. Электр чынжырындагы резонанс	49
18. Транзисторлуу генератор. Автотермелүү	52
Маселелер чыгаруунун мисалдары	57
2-көнүгүү	58
2-главанын кыскача жыйынтыктары	59

#### 3-глава. Электр энергиясын өндүрүү, аралыкка берүү жана пайдалануу

19. Электр энергиясын өндүрүү	61
20. Трансформатор	64
21. Электр энергиясын өндүрүү жана пайдалануу	66
22. Электр энергиясын аралыкка берүү	69
23. СССРди электрлештирүүнүн ийгиликтери жана келечеги	71
3-көнүгүү	
3-главанын кыскача жыйынтыктары	73

#### 4-глава. Механикалык толкундар. Үн

24. Толкун кубулуштары	78
25. Механикалык толкундардын таралышы	79

341

26. Толкундун узундугу. Толкундун ылдамдыгы	81
27. Чөйрөдөгү толкундар	83
28. Үн толкундары	83
29. Музыкалык үндөр жана чуу. Үндүн катуулугу жана бийиктиги	87
30. Толкундардын интерференциясы	89
31. Гюйгенстин принциби. Толкундардын чагылуу закону	93
32. Толкундардын сынышы	94
33. Толкундардын дифракциясы	96
4-көнүгүү	97
4-главанын кыскача жыйынтыктары	98

#### 5-глава. Электромагниттик толкундар

34. Электромагниттик талаа	99
35. Электромагниттик толкундар	102
36. Электромагниттик толкундарды нурдантуу	105
37. Электромагниттик нурдануу агымынын тыгыздыгы	108
38. Радионун А. С. Попов тарабынан ойлонуп табылышы	111
39. Радио байланыштын принциптери	113
40. Модуляциялоо жана детектирлөө кандайча жүргүзүлөт	115
41. Электромагниттик толкундардын касиеттери	118
42. Радио толкундардын таралышы	120
43. Радиолокация	122
44. Телекөрсөтүү тууралуу түшүнүк	124
45. СССРде байланыш каражаттарын өнүктүрүү	125
5-көнүгүү	127
5-главанын кыскача жыйынтыктары	127

#### ОПТИКА

46. Жарыктын табиятына карата көз караштардын өнүгүшү	129
---	-----

#### 6-глава. Геометриялык оптика

47. Жарыктын түз сызыктуу таралышы	131
48. Жарыктын чагылууусу. Маселелер чыгаруунун мисалдары	133
6-көнүгүү	135
49. Жарыктын сынышы	137
50. Толук чагылууу. Маселелер чыгаруунун мисалдары	141
7-көнүгүү	144
51. Линза	146
52. Линзада сүрөттөлүштү түзүү	150
53. Жука линзанын формуласы. Линзанын чонойтушу	152
54. Фотоаппарат. Проекциялык аппарат	154
55. Көз. Көз айнектер. Маселелер чыгаруунун мисалдары	156
8-көнүгүү	159
6-главанын кыскача жыйынтыктары	160
	161

#### 7-глава. Жарык толкундары

56. Жарыктын ылдамдыгы	162
57. Жарыктын дисперсиясы	165
58. Жарыктын интерференциясы	168
59. Интерференциянын айрым колдонулуштары	172
60. Жарыктын дифракциясы	174
61. Дифракциялык торчо	178
62. Жарык толкундары туурасынан таралуучу тол-	



кундар. Жарыктын поляризациясы	181
63. Жарык толкундарынын туурасынан тарадышы жана жарыктын электромагниттик теориясы	184
Маселелер чыгаруунун мисалдары	185
9-көнүгүү	187
7-главанын кыскача жыйынтыктары	187
<b>8-глава. Салыштырмалуулук теориясынын элементтери</b>	
64. Электродинамиканын закондору жана салыштыр- малуулуктун принциптери	188
65. Салыштырмалуулук теориясынын постулаттары	191
66. Бир убакыттуулуктун салыштырмалуулугу	193
67. Салыштырмалуулук теориясынын постулаттарынан келип чыккан негизги натыйжалар	195
68. Массанын ылдамдыктан өз карандылыгы. Релятивдик динамика	197
69. Масса менен энергиянын байланышы	200
10-көнүгүү	202
8-главанын кыскача жыйынтыктары	202
<b>9-глава. Нурдануу жана спектрлер</b>	
70. Нурдануунун түрлөрү. Жарык булактары	204
71. Спектрлер жана спектрдик аппараттар	206
72. Спектрлердин түрлөрү	209
73. Спектрдик анализ	211
74. Инфракызыл жана ультракызылт-көк нурдануу.	213
75. Рентген нуurlары	214
76. Электромагниттик нурдануулардын шкаласы	218
9-главанын кыскача жыйынтыктары	219
<b>КВАНТ ФИЗИКАСЫ</b>	
Кирешүү	221
<b>10-глава. Жарык кванттары. Жарыктын аракеттери</b>	
✓ 77. Фотозффект	222
78. Фотозффект теориясы	225
79. Фотондор	227
80. Фотозффекттин колдонулушу	230
81. Жарыктын басымы	232
82. Жарыктын химиялык аракети. Фотография	233
11-көнүгүү	236
10-главанын кыскача жыйынтыктары	236
<b>11-глава. Атом физикасы</b>	
83. Атомдун түзүлүшү. Резерфорддун тажрыйбалары	237
84. Бор постулаттары	241
85. Бор боюнча суутектив атомунун модели	243
86. Бор теориясынын кемчилиги. Квант механикасы	246
87. Лазерлер	247
12-көнүгүү	
11-главанын кыскача жыйынтыктары	252
<b>12-глава. Атом ядросунун физикасы</b>	
88. Элементардык бөлүкчөлөрдү байкоо жана регистрациялоо методдору	253
89. Радиоактивдүүлүктүн ачылышы	258
✓ 90. Альфа-, бета- жана гамма-нурдануулары	259
91. Радиоактивдүү айлануулар	262
92. Радиоактивдүү ажыроо закону. Жарым ажыроо мезгили	265

93. Изотоптор . . . . .	267
94. Нейтрондун ачылышы . . . . .	269
95. Атом ядросунун түзүлүшү. Ядролук күчтөр . . . . .	272
96. Атом ядросунун байланыш энергиясы . . . . .	273
97. Ядролук реакциялар . . . . .	279
98. Урандын ядросунун бөлүнүшү . . . . .	282
99. Ядролук уланма реакция . . . . .	284
100. Ядролук реактор . . . . .	286
101. Термоядролук реакциялар . . . . .	289
102. Ядролук энергиянын колдонулушу . . . . .	282
103. Радиоактивдүү изотопторду алуу жана алардын колдонулушу . . . . .	295
104. Радиоактивдүү нурдануунун биологиялык таасири . . . . .	289
13-көнүгүү . . . . .	
12-главанын кыскача жыйынтыктары . . . . .	300

13-глава. **Элементардык бөлүкчөлөр**

105. Элементардык бөлүкчөлөр физикасынын өнүгүшүндөгү үч этап . . . . .	302
106. Позитрондун ачылышы. Антибөлүкчөлөр . . . . .	306
107. Нейтрондун ажырашы. Нейтринонун ачылышы . . . . .	307
108. Канча элементардык бөлүкчөлөр бар? . . . . .	311
109. Кварктар . . . . .	313
110. Кварктардын өз ара аракеттениши. Глюондор . . . . .	316
13-главанын кыскача жыйынтыктары . . . . .	320
Дүйнөдө түшүндүрүү жана коомдун өндүргүч күчтөрүн өнүктүрүүдө физиканын мааниси . . . . .	322
111. Дүйнөнүн бирдиктүү физикалык картинасы . . . . .	322
112. Физика жана илимий-техникалык революция . . . . .	326
Лабораториялык иштер . . . . .	331
Көнүгүүлөрдүн жооптору . . . . .	3339

*Yobo - Love@mail.ru*

*Yoba.*



Мякишев Геннадий Яковлевич  
Буховцев Борис Борисович

### ФИЗИКА

Учебник для 11 класса средней школы  
Издание 7-ое переработанное

(На киргизском языке)

Издательство «Мектеп»

Редакция башчысы Д. Б. Андашев  
Редактору К. Т. Байтокова  
Сүрөт редактору И. Г. Васильев  
Техн. редактору Б. Б. Алымбаева  
Корректору Д. Орозалиева

ИБ № 4655

Терүүгө 02.02.88 берилди. Басууга 25.08. 1988. кол коюлду. № 2 офсет кагазы. Кагаздын форматы  $60 \times 90^{1/16}$ . Адабий ариби. Түстүү ыкма менен басылды. 21,5 физ. басма табак, 0,31 ф-ц. 21,5 шарттуу басма табак +0,31 ф-ц 21,06 учёттук баома табак, 0,4 ф-ц 46,55 шарттуу боёк түшүрүү. Нускасы 49000. Заказ № 2026. Баасы 65 т.

«Мектеп» басмасы.

720361, ГСП, Фрунзе ш., Совет көчөсү, 170.

Кыргыз ССР басма, полиграфия жана китеп соода иштери боюнча мамлекеттик комитети. Кыргыз ССРинин 50 жылдыгы атындагы Кыргызполиграфкомбинаты.

720461, ГСП, Фрунзе, 5, Жигули көчөсү, 102.

65 т.

Handwritten signatures in red ink, appearing to be "А. А. А." repeated three times in a stylized, overlapping manner.



-1894-2