

Н. М. ШАХМАЕВ, С. Н. ШАХМАЕВ, Д. Ш. ШОДИЕВ

# **Ф И З И К А**

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (ДАВОМИ)**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЭБРАНИШЛАР**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР**

**XX АСР ФИЗИКАСИ**

*Ўрта мактабнинг 11-синфи учун дарслик*

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ» 1998

*Ассалому алайкум, азиз ўқувчи!*

Шуни яхши билингки, Сиз мустақил Ўзбекистоннинг кўрар кўзи, келажагисиз, яхши кунларидан хабар берувчи ёш кўнгил эгасисиз. Мустақил Ватанимиз Сиздан кўп нарсаларни кутишга ҳақли. Бунинг учун ўқиш, ўрганиш керак. Фан чўққиларини забт этишингизда мазкур дарслик кўмақчингиз бўлсин. Ундаги ҳар фикр, ҳар конда идрокингизга қувват беради. Бинобарин, сиз ҳам бу саҳифаларга ихлос кўзи ила қаранг. Тоза тутинг. Асраб, авайлаб фойдаланинг. Токи мазкур дарслиқдан Сиздан кейин фойдаланувчилар Сизнинг интизомингизга, зехнингизга таҳсин ўқисин.

Илм чўққилари сари қадам ташлашингизда омад ҳамроҳингиз бўлсин.

**«ЎҚИТУВЧИ» НАШРИЕТИ**

Ўзбекистон Халк таълими вазирлигининг дарсликларни қайта кўриш махсус комиссияси маъқуллаган.

### **ШАРТЛИ БЕЛГИЛАР**

- |   |  |
|---|--|
| физик катталикларнинг таърифлари              | ! мазкур параграф матнини ўқиб бўлгач, жавоб бериш лозим бўлган саволлар |
| асосий қонуилар                               | * физикага қизиқувчи ўқувчиларга мўлжалланган материаллар                |
| <input type="checkbox"/> энг муҳим формулалар | ○ такрорлашга мўлжалланган материаллар                                   |
| ● эътибор беринг, эслаб қолинг                |  |

4306021200—83

Ш                          Буюрт. вар.— 98

353(04) — 97

ISBN 5—645—03201—2

© Издательство «Просвещение», М., 1991

© «Ўқитувчи» нашриёти, русчадан таржима, Т., 1998.

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

(давоми)

## 1 боб. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ

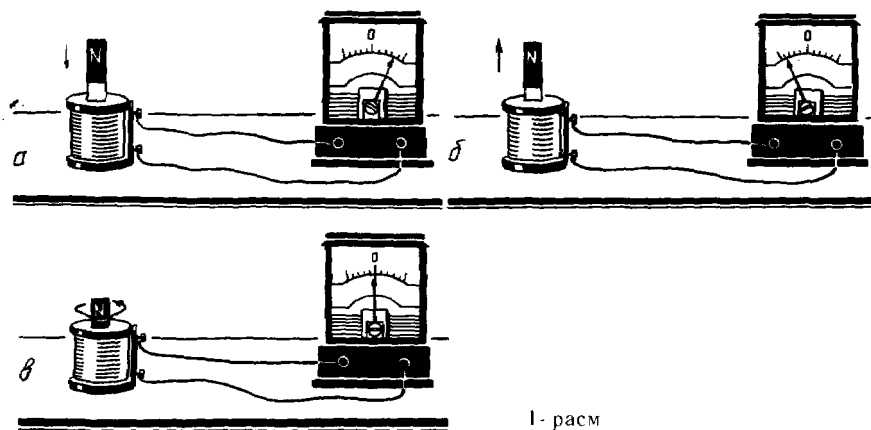
Эрстед томонидан 1820 йили электр токининг магнит стрелкага таъсирининг кашф этилиши электр ва магнит ҳодисалар ҳақидаги фаннинг ривожланишида жуда катта аҳамиятга эга бўлди. У ўша давргача алоҳида-алоҳида деб келинган электр ва магнит ҳодисаларнинг ўзаро боғлиқлигини кўрсатди.

Аммо Эрстед тажрибаси бу боғланишнинг фақат бир томонини — электр токи ёрдамида магнит майдон олинисини кўрсатди. Эрстед тажрибалари ҳақида хабар топган инглиз физиги М. Фарадей айтилган боғланишнинг иккинчи томонини — магнит ҳодисалари билан электр ҳодисалари орасидаги боғланишни ахтаришга киришди. У ўзининг лаборатория журнаliga — «Магнетизмни электрга айлантириш», деб ёзиб қўйган эди. Бу қисқа ва лўнда ёзувини тахминан қуйидагича тушуниш мумкин: «Агар электр токи магнит майдон ҳосил қилса, магнит майдон ёрдамида электр токи олиш мумкин эмасми?» Фарадей изланишлари 1821 йилдан 1831 йилгача давом этди. У сабот-матонат ва тиришқоқлик билан жуда кўп меҳнат қилди, тинмай изланди, ижодкорлик ва ихтирочилик намуналарини кўрсатди, ва ниҳоят, магнит майдон ёрдамида электр токи олишга муяссар бўлди. Фарадей ўзи топган бу токни *индукцион ток* деб номлади.

### 1-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ ҲОДИСАСИ

1. **Фарадей кашфиёти.** Агар сим ўрамли ғалтак ичига доимий магнит киритилса, ўрам учларига уланган гальванометр занжирда индукцион ток пайдо бўлганлигини кўрсатади (1- а расм). Магнит ғалтакдан чиқарилганда занжирда олдингига қараганда тескари йўналишида ток юзага келиши кузатилади (1- б расм). Магнитни ҳаракатсиз сақлаб, ғалтак ҳаракатлантирилганда ҳам индукцион ток юзага келади. Муҳими, нисбий ҳаракатнинг бўлиши. Ҳаракат тўхтатилиши билан индукцион ток йўқолади.

Аммо магнит (ёки ғалтак)нинг ҳар қандай ҳаракатида ҳам индукцион ток пайдо бўлавермайди. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун магнитни унинг вертикал ўқи атрофида айлантирамиз (1- в расм). Бу ҳолда индукцион ток юзага келмайди. Нега ток бир ҳолда пайдо бўлиб, бошқа ҳолда юзага келмайди? Пайкаш қийин эмаски, биринчи икки ҳолда ғалтакдан ўтувчи магнит индукция оқими ўзгаради, учинчи ҳолда эса у ўзгаришсиз қолади. Шунинг



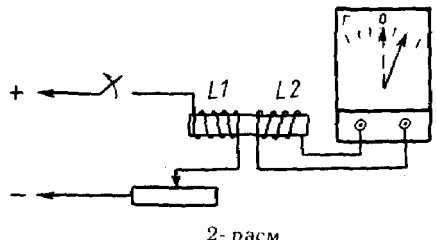
1- расм

учун индукцион ток ғалтақдан ўтувчи магнит индукция оқимининг ўзгариши туфайли юзага келади деб тахмин қилиш мумкин.

Бу тахминни текшириб кўриш учун ғалтақдан ўтувчи магнит индукция оқимини ўзгартириш мумкин бўлган тажриба қўямиз. Бу максда  $L_1$  ғалтаги занжирига реостат уланган электромагнитдан фойдаланамиз (2- расм). Реостат ёрдамида ток кучини ўзгартириб, магнит майдон индукциясини, демак, электромагнитнинг магнит оқимини кенг чегараларда ўзгартириш мумкин.

Электромагнит ( $L_1$  ғалтак) ток манбаига уланган моментда  $L_2$  ғалтакка уланган гальванометр стрелкаси кескин оғади, аммо кейин бошланғич (нолинчи) ҳолатга қайтади. Буни қуйидагича тушунтириш мумкин: ток уланганда ғалтақдан ўтувчи магнит оқими нолдан  $\Phi$  қийматигача ўзгаради. Магнит оқими ортишида гальванометр занжиридан индукцион ток оқади. Магнит оқими  $\Phi$  максимал қийматига эришиб ортмай қолганда, ток тўхтайтиди. Электромагнитнинг  $L_1$  ўрамидаги ток кучи реостат ёрдамида текис ўзгартирилганда ҳам гальванометр стрелкаси бир оз оғади. Бу ҳам магнит оқимининг ўзгариши билан тушунтирилади.

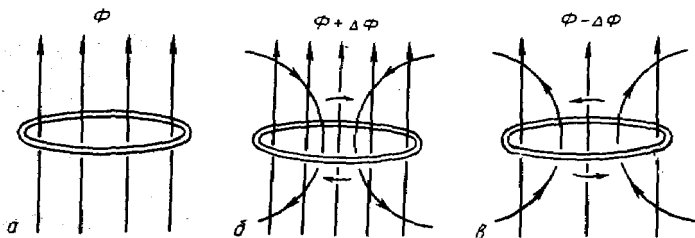
Электромагнитнинг  $L_1$  занжири узилиб, магнит оқими  $\Phi$  дан нолгача камайганда ҳам  $L_2$  занжирда индукцион ток пайдо бўлиши кузатилади. Аммо бу ҳолдаги индукцион токнинг йўналиши магнит оқими ортишида кузатилгандагига қарама-қарши бўлади. Шундай қилиб, тажрибалардан берк ўтказгич контуридан ўтувчи магнит индукция оқимининг ҳар қандай ўзгаришида ўтказгичда индукцион ток юзага келади ва бу ток магнит оқимининг ўзгариши давомидагина мавжуд бўлади деган хулосага келиш мумкин.



2- расм

он ток юзага келади ва бу ток магнит оқимининг ўзгариши давомидагина мавжуд бўлади деган хулосага келиш мумкин.

**2. Индукцион токнинг йўналиши. Ленц қоидаси.** Биз берк сим ўтказгич контурида пайдо бўладиган индукцион токнинг йўналиши ана шу контурдан



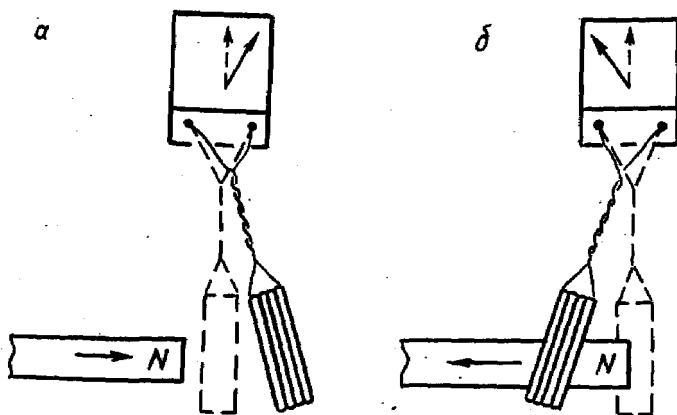
3- расм

Ўтувчи магнит оқимининг ортиши ёки камайишига боғлиқлигини кўрдик.

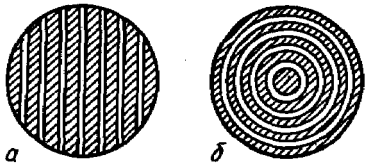
Петербург университетининг профессори, академик Э. Х. Ленц 1831 йили индукцион токнинг йўналиши қуйидагича бўлишини аниқлади: **контурда ҳамма вақт шундай йўналишда индукцион ток пайдо бўладики, бунда унинг магнит майдони контурдан ўтувчи магнит оқимининг ўзгаришига қаршилик қилади.** Бу — Ленц қондаси деб юритилади. Уни тушунтирайлик.

Айтайлик, берк сим контурдан  $\Phi$  ташқи магнит оқими ўтсин (3-а расм). Контурдан ўтувчи ташқи магнит оқими ортганда контурда пайдо бўлган индукцион токнинг йўналиши шундай бўладики, унинг магнит майдони индукция вектори ташқи майдон магнит индукция векторига қарама-қарши йўналади ва унинг ортишига тўсқинлик қилади (3-б расм). Аксинча, контурдан ўтувчи ташқи магнит оқими камайганда пайдо бўладиган индукцион ток магнит майдонининг индукция вектори ташқи майдон магнит индукция вектори каби йўналади ва унинг камайишига тўсқинлик қилади (3-в расм).

Ленц қондасининг тўғрилигини 4-расмда схематик тасвирланган қурилмада экспериментал текшириб кўриш мумкин. Кучли доимий магнит ғалтак томон тез ҳаракатлантирилса, ғалтакда



4- расм



5- расм

индукцион ток пайдо бўлади (буни миллиамперметр кўрсатади) ва у магнитдан итарилади (4-а расм). Магнит ғалтакдан тез чиқарилганда эса, ғалтак магнит кетидан эргашиб, қарама-қарши томонга оғади (4-б расм).

Ленц қондаси умумийроқ кўринишда қуйидагича ифодаланади:

**индукцион ток ҳамма вақт ўзини пайдо қилувчи сабабга қаршилиқ қилади.** Бундай ифодаланган Ленц қондасини қўллаш қатор ҳолларда анча содда ва қулай бўлар экан.

**3. Массив ўтказгичлардаги индукцион ток.** Ўзгарувчи магнит майдонда яхлит массив ўтказгич бўлганда ҳам электромагнит индукция ходисаси рўй беради.

Агар электромагнит ўрама бўйлаб ўзгарувчан ток юборилса ва унинг кутблари орасидаги ўзгарувчи магнит майдонга юпка мум қатлами қопланган калин алюминий диск жойлаштирилса, 1—2 минут ичида мум эриб кетади. Тажриба яхлит алюминий дискда индукцион ток ҳосил бўлишини ва у дискни қизитишини кўрсатади. Агар яхлит диск ўрнига йўл-йўл қилиб кесилган диск (5-а расм) олиб, тажриба қайтарилса, диск сезиларли қизимайди (мум эримайди). Агар ўзгарувчи магнит майдонга концентрик ҳалқалардан иборат (5-б расм) диск киритилса, у деярли яхлит диск каби қизийди. Бу тажрибалардан ўзгарувчи магнит майдондаги яхлит ўтказгичларда *уюрмавий тоқлар* индукцияланиши маълум бўлади. (Яхлит ўтказгичларда уюрмавий ток пайдо бўлишига биринчи бўлиб ўтган асрда француз физиги Ж. Фуко эътиборни қаратган эди. Шунинг учун бу тоқлар *Фуко тоқлари* деб ҳам юритилади.)

Яхлит ўтказгичларнинг уюрмавий индукцион ток билан қизитилиши амалий қўлланишга ҳам эга: индукцион печлар, металлдан ясалган деталлар сиртини тобловчи қурилмалар шу принцип асосида ишлайди.

?

1. Эрстед ва Фарадей кашфиётлари бир-бири билан қандай боғланган?
2. Индукцион ток топилган тажрибалар схемасини чизинг.
3. Ленц қондасини ифодаланг.
4. Ўзгарувчи магнит майдонга мис кубча киритилса нима бўлади?

## 2-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ ҚОНУНИ

**1. Индукцион электр майдон.** Маълумки, электр токи зарядланган зарраларнинг тартиблашган ҳаракати сифатида электр майдон таъсирида юзага келади. Бинобарин, индукцион ток пайдо бўлишининг сабаби ҳам электр майдон бўлиши керак. Бу майдон магнит майдоннинг ўзгариши туфайли юзага келади ва *индукцион электр майдон* деб юритилади.

Индукцион электр майдоннинг хоссалари билан танишайлик. Индукцион электр майдон *электростатик майдондан* ва *стационар*

(вақт ўтиши билан ўзгармайдиган) *электр майдондан* фарқ қилади.

Электростатик ва стационар электр майдонлар электр зарядларга боғлиқ бўлгани ҳолда, индукцион электр майдон зарядларга боғлиқ эмас: у магнит майдоннинг ўзгариши туфайли юзага келади.

Электростатик ва стационар электр майдонларнинг кучланганлик чизиқлари берк эмас: улар мусбат зарядлардан бошланади ва манфий зарядларда тугайди. *Индукцион электр майдоннинг кучланганлик чизиқлари берк. Шунинг учун индукцион электр майдонни уярмавий майдон деб юритишади.*

Электростатик ва стационар электр майдонларнинг манбаини кўрсатиш мумкин: бу — зарядлар ёки ток манбаининг кутблари. Индукцион майдоннинг манбаини эса кўрсатиш мумкин эмас: *индукцион майдон уярмавий, унинг кучланганлик чизиқлари берк.*

Электростатик майдонда зарядни берк йўл бўйича кўчиришда бажарилган иш нолга тенг. *Индукцион майдоннинг берк йўл бўйича зарядни кўчиришда бажарган иши эса нолга тенг эмас.* Ҳақиқатан ҳам, индукцион майдон берк контурда индукцион ток ҳосил қилади, у ўтказгични кизитади: бунда майдон бажарган иш мусбат бўлади ( $A = I^2 R t > 0$ ).

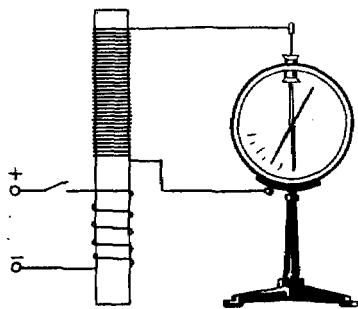
Электростатик ва стационар электр майдонлар ҳамма вақт ўтказгич билан боғлиқ, *индукцион электр майдон эса берк сим контури бўлса ҳам пайдо бўлаверади.* Юқорида баён этилган тажрибаларда сим контур фақат индикатор вазифасини ўтайди, унинг ёрдамида ўтказгичда пайдо бўлган ток бўйича индукцион майдонни топиш мумкин.

Электростатик ва стационар электр майдонлар билан индукцион электр майдон орасидаги муҳим тафовутлар ана шулардан иборат.

Индукцион электр майдон ўтказгич берак бўлмаганда ҳам ундаги зарраларни ҳаракатга келтиради. Аммо бу ҳолда ўтказгич учларида ҳар хил ишорали зарядлар йиғилади ва потенциаллар фарқи (кучланиш) юзага келади, уни контурга электростатик вольтметрни улаб, ўлчаш мумкин бўлади (6- расм).

Шундай қилиб, *магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгариши уярмавий характерга эга бўлган индукцион электр майдон пайдо бўлиши билан биргаликда юз беради.* Биринчи бўлиб бундай ҳулоса инглиз физиги Ж. К. Максвелл томонидан 1855 йили қилинган.

**2. Индукцион майдоннинг электр юритувчи кучи.** Индукцион электр майдон контурда ток ҳосил қилар ва уни кувватлар экан, электр зарядларни кўчириш бўйича иш бажаради. Бу иш нолга тенг эмас.



6- расм

Индукцион электр майдоннинг  $Q$  зарядни берк контур бўйича кўчиришда бажарган  $A$  ишининг ана шу зарядга нисбати индукцион ЭЮК деб юритилади:

$$\mathcal{E} = \frac{A}{Q}$$

Индукцион ЭЮК нималарга боғлиқлигини аниқлайлик. Бунинг учун 2- расмда тасвирланган қурилмадан фойдаланамиз. Реостат ёрдамида  $L_1$  ғалтак бўйича оқувчи ток кучини, бинобарин,  $L_2$  ғалтақдан ўтувчи магнит оқимини ўзгартириш мумкин. Гальванометр  $L_2$  ғалтак берк занжиридаги  $I$  индукцион токни кўрсатади. Бу занжиридаги ток кучи индукцион ЭЮК га пропорционал бўлади. Бу тажрибада шуни аниқлаш мумкинки, магнит оқими секин ўзгарганда индукцион ЭЮК жуда кичик бўлади, тез ўзгарганда эса, ортади. Аниқ ўлчашлар шуни кўрсатадики, контурдаги индукцион ЭЮК ана шу контурдан ўтувчи магнит оқимининг ўзгариш тезлига:  $a$  пропорционал:

$$\mathcal{E} \sim \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{ёки} \quad \mathcal{E} = k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Жуда кўп экспериментал текширишлар индукцион ЭЮК бошка ҳеч қандай катталиққа боғлиқ эмаслигини кўрсатди. Агар  $\mathcal{E}$ ,  $\Phi$  ва  $t$  катталиқлар битта бирликлар системасида ифодаланса, юқорида топилган муносабат қуйидаги кўринишда ёзилиши мумкин:

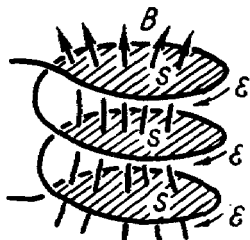
$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Бу *электромагнит индукция қонунидир*. Формуланинг ўнг томонидаги « $-$ » ишора индукцион токнинг йўналишини Ленц қоида­сига мувофиқ аниқлайди.

Шундай қилиб, контурдаги индукцион электр юритувчи куч контур билан чегараланган юздан ўтувчи магнит оқимининг ўзгаришига пропорционал, у ҳосил қилган ток эса контурдан ўтувчи магнит оқимининг ўзгаришига қаршилиқ қилади.

Агар битта контур ўрнига кетма-кет уланган ва битта магнит оқимини ўрвчи  $n$  та ўрамлар олинса, индукцион ЭЮК ҳам  $n$  марта ортади (7- расм):

$$\mathcal{E} = n\mathcal{E}_1$$



7- расм

**3\*.** Магнит оқими ва магнит индукция бирликлари. Магнит индукция ва магнит оқимининг бирликлари  $X$  синфда, шу катталиқларни ўрганиш муносабати билан киритилган эди. Бунда магнит оқимининг бирлиги вебер ( $1 \text{ Вб}$ ) — магнит индукция бирлиги — тесла ( $1 \text{ Тл}$ ) орқали  $\Phi = BS$  формула бўйича аниқланган эди:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$$



Аmmo халкаро бирликлар системасида бу катталикларнинг бирликларини аниқлашнинг тескари тартиби қабул қилинган — магнит индукция бирлиги магнит оқимининг бирлиги орқали  $B = \Phi/S$  формула бўйича аниқланади:

$$1 \text{ Тл} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2}.$$

Бунда магнит оқимининг бирлиги индукцион ЭЮК формуласи  $|\mathcal{E}| = \Delta\Phi/\Delta t$  дан келиб чиқадиган

$$\Delta\Phi = |\mathcal{E}| \Delta t$$

муносабат асосида аниқланади. Магнит индукция оқимининг контурда  $|\mathcal{E}| = 1 \text{ В}$  ЭЮК пайдо бўлиши учун зарур бўлган  $I$  с ичидаги  $\Delta\Phi$  ўзгариши катталиги  $1 \text{ Вб}$  деб қабул қилинган:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Шунинг учун

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

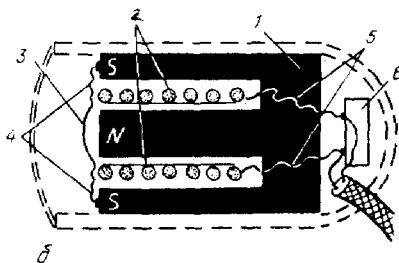
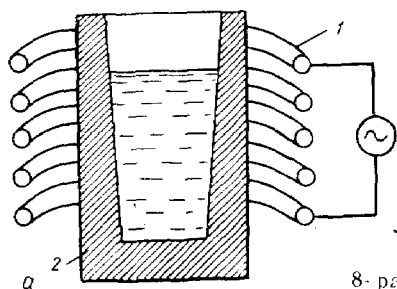
бўлади.

**4. Электромагнит индукция ҳодисасининг қўлланишлари ҳақида.** Электромагнит индукция ҳодисаси техникада кенг қўлланилади. Бу ҳодисадан фойдаланиб ишлайдиган техник қурилмалардан айримларининг номларини келтирамиз: индукцион ток генераторлари, индукцион эритувчи печлар, трансформаторлар, индукцион насослар, металл буюмлар сиртини тобловчи индукцион индукторлар, индукцион кўчиш датчиклари, индукцион дефектоскоплар, электр энергияси сўтчиклари, электродинамик микрофонлар ва бошқалар.

Мисол тариқасида юқорида санаб ўтилган қурилмалардан айримларининг тузилиши ва ишлаш принципи билан танишамиз.

Индукцион эритувчи печ — металлларни эритиш учун ишлатилади. Печ тузилишининг схемаси 8-а расмда кўрсатилган. Ўзгарувчан ток оқувчи 1 индуктор атрофида ўзгарувчи магнит майдон мавжуд бўлади. Ўзгарувчи магнит майдон 2 тигел ичида жойлашган металлда индукцион ток индукциялайди, бу ток таъсирида металл қизийди ва эрийди. Бундай печларнинг сигнми килограммнинг улушларидан, то юзлаб тоннагача. Улар қуйидагича афзалликларга эга: жуда тоза металллар олиш мумкин, тез қизийди, температура секин соزلаниши мумкин, вакуумда ва инерт газлар ичида эритишни амалга ошириш мумкин.

Электродинамик микрофон — товуш тебранишларини электр тебранишларига айлантириш учун хизмат қилади. Унинг тузилиш схемаси 8-б расмда тасвирланган. Доимий 1 магнит (засорига) оралиғига 3 диафрагма билан маҳкам бириктирилган 2 энгил ғалтак жойлашган. Диафрагма қат-қат буқланган 4 «сқа» ёрдамида микрофон корпусига маҳкамланган. Ғалтак 5 эгилувчан ўтказгичлар ёрдамида микрофон корпусига маҳкамланган 6 изоляцияловчи пластинкага уланади. Товуш тўлқинлари таъсирида



8- расм

3 диафрагма ва у билан бирга 2 ғалтак тебранади. Натижада ғалтакда товуш босими кучига пропорционал бўлган  $\mathcal{E}$  ЭЮК ли майдон индукцияланади.

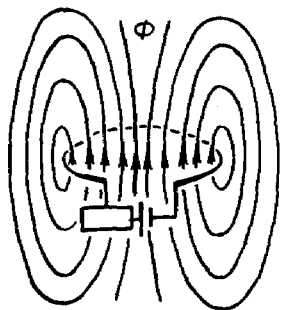
Индукцион насослар — электр ўтказувчи суюқликларни (масалан, эритилган металлларни) кўчириш учун мўлжалланган. Суюқликнинг ҳаракати унда пайдо бўлган индукцион тоқларнинг уларни юзага келтирувчи ўзгарувчи магнит майдон билан ўзаро таъсири натижасида содир бўлади.

?

1. Электростатик ва стационар электр майдонларни индукцион электр майдон билан таққосланг.
2. Индукцион ЭЮК нима ва у нималарга боғлиқ?
3. Қуйидаги  $1 \frac{H}{A \cdot m} = 1 \frac{V \cdot s}{m^2}$  муносабатни исботланг.
4. Индукцион эритувчи печ ва индукцион микрофоннинг тузилиши ва ишлашини тушунтиринг.

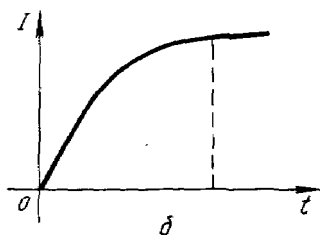
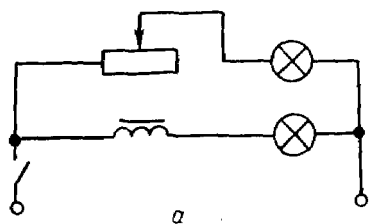
### 3-§. ҲИИДУКЦИЯ ҲОДИСАСИ. ИНДУКТИВЛИК

Электр токи окувчи ҳар қандай ўтказгич ўзининг «хусусий» магнит майдонига жойлашган (9- расм). Бу магнит майдоннинг ўзгариши индукцион электр майдон пайдо бўлиши билан биргалликда юз беради. Берилган занжирдаги токнинг ўзгариши туфайли унда индукцион электр майдон пайдо бўлиши *ўзиндукция ҳодисаси* деб номланган.



9- расм

1. ҲИИДУКЦИЯ ҲОДИСАСИНИ ҚУЗАТИШ. Занжир параллел қисмининг бир тармоғига чўғланма лампа ва пўлат ўзакли ғалтак кетма-кет уланади, иккинчи тармоққа ана шундай чўғланма лампа ва қарши-лиги ғалтак қаршилигига тенг бўлган реостат уланади. Занжирни донмий кучланиш манбаига улаймиз (10- а расм). Занжир туташтирилса, ғалтак билан кетма-кет уланган лампа реостат билан кетма-кет уланган лампага қараганда бироз



10- расм

кийинрок ёнади. Бу — ток ортишида, Ленц қондасига кўра, ғалтакда токнинг ортишига қаршилик килувчи индукцион электр майдон пайдо бўлиши билан тушунтирилади. Шунинг учун ғалтакли тармоқдаги ток кучи лампа ёниши учун зарур бўлган қийматига бироз кечикиш билан эришади.

Ғалтакдаги токнинг ўсиш графиги 10- б расмда кўрсатилган. Графикдан кўринадики, ғалтакли тармоқдаги ток кучи ўзининг

$$I = \frac{U}{R_n + R_r}$$

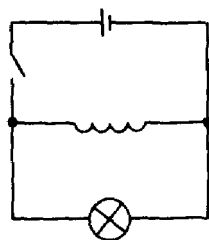
максимал қийматига занжир улангандан бироз вақт ўтгандан кейин эришади, бу ерда  $U$  — қўйилган кучланиш,  $R_n$ ,  $R_r$  — лампа ва ғалтак қаршилиги.

Занжир узилгандаги ўзиндукция ходисасини кузатиш учун 11- расмда кўрсатилган схема бўйича тажриба ўтказиш мумкин. Электромагнит ва 220 В кучланишга мўлжалланган чўғланма лампа параллел равишда бир-бирига бишлаштирилади ва аккумуляторга уланади. Манбанинг кучланиши кичик бўлгани учун занжир уланганда лампа ёнмайди, аммо занжирдан ток ўтади. Занжир узилганда лампа бирдан равшан ёнади. Бу шунинг учун юз берадики, занжир узилганда ток кучи камайиши туфайли ғалтакнинг магнит оқими кескин ўзгаради ва унда индукцион электр майдон, демак, индукцион ЭЮК пайдо бўлади, бундай ҳолларда у ўзиндукция ЭЮК и деб юритилади. Индукцион электр майдон ғалтакдан ўтувчи токнинг камайишига қаршилик қилади. Ғалтак манбадан узилганлиги сабабли, ғалтакдан чиқувчи ток лампа занжири орқали оқади ва уни ёндиради. Бунда ток кучи тўлиқ занжир учун ёзилган:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_n + R_r}$$

Ом қонунидан топилади, бу ерда  $R_r$ ,  $R_n$  — ғалтак ва лампа қаршилиги,  $\mathcal{E}$  — ўзиндукцион ЭЮК.

2. **Ўзиндукция ЭЮК.** Ўзиндукция ходисаси электромагнит индукция ходисасининг хусусий ҳоли. Шунинг учун ўзиндукция ЭЮК, индукцион ЭЮК каби



11- расм

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

формула билан ифодаланиши мумкин.

Аммо магнит оқимининг  $\Delta\Phi$  ўзгариши контурдаги ток кучининг  $\Delta I$  ўзгаришига тўғри пропорционал бўлишини эътиборга олиб,

$$\Delta\Phi = L\Delta I$$

муносабатни ёзиш мумкин, бу ерда  $L$  — пропорционаллик коэффициент. У ҳолда ўзиндукция ЭЮК формуласи

$$\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

кўринишни олади. Бу ерда  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$  катталик занжирдаги ток кучининг ўзгариш тезлигини ифодалайди.

Демак, ўзиндукция ЭЮК занжирдаги ток кучининг ўзгариши тезлигига тўғри пропорционал экан.

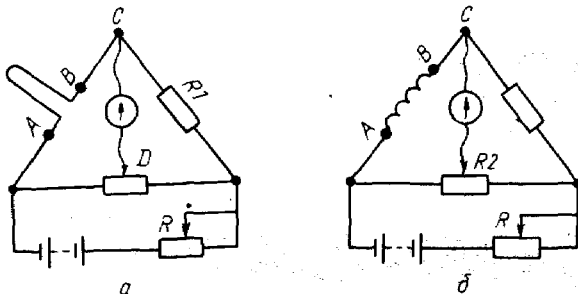
**3. Индуктивлик.** Юқорида кiritилган  $L$  пропорционаллик коэффициентини индуктивлик деб юритишади. Индуктивлик ўзиндукция ЭЮК нинг занжирдаги токнинг ўзгариш тезлигига нисбати билан ифодаланади:

$$L = \frac{\mathcal{E}}{\frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

Халқаро бирликлар системасида индуктивлик бирлиги учун шундай ўтказгичнинг индуктивлиги олинадики, ток кучи  $1 \text{ A/s}$  тезлик билан ўзгарганда унда  $1 \text{ В}$  ўзиндукция ЭЮК пайдо бўлади. Индуктивликнинг бу бирлиги Генри ( $1 \text{ Гн}$ ) деб юритилади:

$$1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ В} \cdot \text{с}}{1 \text{ A}} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{A}}$$

Ўтказгичнинг индуктивлиги нималарга боғлиқлигини аниқлаймиз. Бунинг учун 12-а расмда схематик тасвирланган занжирни йиғамиз. Занжирни улагач, потенциометр сургичи ёрдамида



12- расм

гальванометр стрелкаси нолинчи бўлинмада туришига эришамиз. Бу —  $C$  нуктанинг потенциали  $D$  нукта потенциалига тенглашганда, яъни «сиртмоқ» шаклида букланган  $AB$  ўтказгичдаги кучланиш,  $R_T$  резистордаги кучланишга тенг бўлганда содир бўлади. Занжирни узамиз. Гальванометр стрелкаси нолинчи бўлинмадан оғмайди.

Занжирнинг  $AB$  қисмини кўп қатламли ғалтак билан алмаштириб (12-б расм), тажрибани такрорлаймиз. Бу сафар занжир узилган моментда гальванометр стрелкаси нолинчи бўлинмадан сезиларли оғади. Нега бундай бўлади? Бунинг бирдан-бир мумкин бўлган тушунтирилиши шундан иборатки, занжир узилганда ғалтакда ўзиндукция туфайли индукцион электр майдон пайдо бўлади ва у гальванометр занжиридаги токни юзага келтиради. Тажриба давомида фақат ўтказгичнинг шакли ўзгарганлиги сабабли, хулоса қилиш мумкинки, ўзиндукция ЭЮК, ва демак, ўтказгич индуктивлиги ҳам ўтказгичнинг шаклига боғлиқ экан.

Ғалтак ичига пўлат ўзак киритамиз ва тажрибани яна такрорлаймиз. Гальванометр стрелкаси янада каттароқ бурчакка оғади. Демак, ўтказгич индуктивлиги ортган. Бинобарин, ўтказгичнинг индуктивлиги уни ўровчи муҳит хоссаларига ҳам боғлиқ экан.

Кўлбола ғалтакни ўрамлар сони кўп бўлган бошқа ғалтак билан алмаштириб тажрибани яна такрорласак, гальванометр стрелкасининг оғиши янада катталашади. Тажрибада фақат ўтказгичнинг узунлиги ортади. Демак, ўтказгич индуктивлиги унинг узунлигига ҳам боғлиқ экан.

● Тажрибаларнинг кўрсатишича, ўтказгичларнинг индуктивлиги уларнинг шаклига, узунлигига ва ўтказгич аτροφидеги муҳитнинг хусусиятларига боғлиқ. Шунинг учун катта индуктивлик зарур бўлган ҳолларда пўлат ўзакка эга бўлган кўп қатламли ғалтаклардан фойдаланилади.

?

1. Ўзиндукция ҳодисаси нимадан иборат? Ўзиндукция ЭЮК нимага боғлиқ?
2. Индуктивлик нима? У қандай бирликларда ифодаланади?
3. Ўрамлар сони 100 та бўлган ғалтак бор. Алоҳида олинган ҳар бир ўрамнинг индуктивлиги  $10^{-8}$  Гн га тенг. Ғалтакнинг индуктивлиги қанча?

#### 4-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯ ҲОДИСАСИНИ УРГАНИШ (ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ).

*Ишнинг мақсади:* 1. Контурга нисбатан доимий магнит ҳаракатланганда ва унга яқин жойлашган ғалтакдаги ток ўзгарганда контурда индукцион ток пайдо бўлишини кузатиш. 2. Занжир узилгандаги ўзиндукция ҳодисасини кузатиш. 3. Ленц қондаси бажарилишига ишонч ҳосил қилиш.

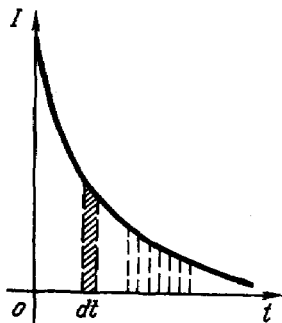
*Асбоб ва материаллар:* 1) лаборатория миллиамперметри, 2) аккумуляторлар батареяси, 3) токни улаш учун калит, 4) иккита ғалтак, ўзаклари билан, 5) ёйсимон магнит, 6) бирлаштирувчи симлар.

*Ишни бажариш тартиби:*

1. Миллиамперметр ғалтак занжирларига уланади.
2. Ёйсимон магнит кутбларидан бирининг ёнига ўзак қўйилади ва миллиамперметр стрелкасининг оғиш йўналишини кузатган ҳолда у ғалтак ичига киритилади.
3. Ўзакни ғалтақдан чиқариб, сўнг магнит кутбларини алмаштириб, кузатиш қайтарилади.
4. Тажриба схемаси чизилади ва ҳар бир ҳолда Ленц қондасининг бажарилиши кузатилади.
5. Биринчи ғалтак ёнига иккинчи ғалтак, уларнинг ўқлари устма-уст тушадиган қилиб жойлаштирилади.
6. Ҳар иккала ғалтак ичига темир ўзаклар киритилади ва иккинчи ғалтак қалит орқали аккумуляторлар батареясига уланади.
7. Қалитни улаб ва узиб, гальванометр стрелкасининг оғиши кузатилади.
8. Тажриба схемаси чизилади ва Ленц қондасининг бажарилиши кузатилади.
9. Аккумуляторлар батареясига, ўрамлар сони кўп бўлган ғалтаққа параллел ҳолда, 6,3 В мўлжалланган лампочка уланади. Занжирни узиб, унда индукцион электр майдон ҳосил бўлишига ишонч ҳосил қилинади.

#### 5-§. МАГНИТ МАЙДОН ЭНЕРГИЯСИ

Схемаси 11-расмда кўрсатилган тажрибага қайтамыз. Бу тажрибада занжир манбадан узилганда электр лампочка ёна бошлайди. Бу шунинг учун юз берадики, ўзиндукция ЭЮК таъсирида юзага келган ток лампа орқали ўтади. Аммо лампанинг ёниши узок давом этмайди. Ток кучи жуда тез камаяди. Ток кучи  $I$  билан бирга  $B$  магнит майдон индукцияси ҳам камаяди. Занжирдаги ток кучининг камайиш графиги 13-расмда кўрсатилган. Лампа чўғланиш ипи толасининг қизиши ғалтак магнит майдони энергияси ҳисобига бўлади. Бу энергияни қандай аниқлаш мумкин? Бунинг учун занжирдаги ток кучининг (ва демак, магнит индукциясининг) нолгача камайиши вақтида ўзиндукция ЭЮК (яъни уюрмавий электр майдон) томонидан бажарилган ишни ҳисоблаш керак. Занжирдаги ток кучи ўзиндукция ЭЮК нозизиғий равишда ўзгарганлиги туфайли бундай ҳисоб-китоб мураккаблашади.



13-расм

Ғалтак магнит майдонининг бошланғич (ток камай бошлагунгача бўлган) энергиясини ҳисоблаб чиқиш мақсадида токнинг оқиш вақтини кўп сондаги шундай кичик  $dt$  вақт ораликларга ажратамизки, унинг давомида индукция ЭЮК ва ток кучини ўзгармас деб ҳисоблаш мумкин бўлади. Айтилган  $dt$  вақт ичиде

ўзгарган (камайган)  $\Delta W$  магнит майдон энергияси  $dq$  зарядни кўчиришда бажарилган

$$\Delta W = e_L dq$$

ишга тенг, бу ерда  $e_L$  — ўзиндукцион ЭЮК нинг  $dt$  вақт оралиғидаги ўртача (оний) қиймати. Аммо ўзиндукция ЭЮК ва заряднинг

$$e_L = -L \frac{di}{dt}, \quad dq = idt$$

ифодаларини ( $i$  — ток кучининг оний қиймати) эътиборга олсак

$$\Delta W = -L \frac{di}{dt} \cdot idt = -Lidi$$

бўлади. Бу ердаги « — » ишора магнит майдон энергиясининг камайишини кўрсатади.

Магнит майдоннинг тўлиқ энергияси элементар ишларнинг йиғиндисига тенг. Уни ҳисоблаб топиш учун элементар ишни ҳисоблаш учун топилган ифодани  $I$  дан нолгача чегарада интеграллаш керак ( $L = \text{const}$ ).

$$W = - \int_I^0 Lidi = -L \int_I^0 idi = \frac{LI^2}{2}.$$

Демак,  $I$  токли ғалтак магнит майдонининг энергияси ( $W = W_M$ ) учун қуйидаги формулани топамиз:

$$W_M = \frac{LI^2}{2}.$$

Бу формулани конденсатор қопламалари орасидаги электр майдон энергияси учун топилган.

$$W_3 = \frac{CU^2}{2}.$$

● формула билан такқослаб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: ғалтак индуктивлиги конденсатор сиғимига ўхшашдир: ток кучининг берилган қийматида ғалтак индуктивлиги қанча катта бўлса, унинг магнит майдони энергияси ҳам шунча катта бўлади; қопламалари орасидаги потенциаллар фарқининг берилган қийматида конденсатор сиғими қанча катта бўлса, унинг электр майдони энергияси ҳам шунча катта бўлади. Ғалтак ва конденсатор, ўзларининг майдонидаги (мос ҳолда магнит ва электр) энергия «резервуари» ролини ўйнайди, ғалтак индуктивлиги ва конденсатор сиғими эса, айтилган «резервуарларнинг» микдорий характеристикалари вазифасини ўтайди.

- 2
1. Ғалтак магнит майдони энергиясини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқаринг ва уни кинетик энергия формуласи билан таққосланг.
  2. Конденсатор электр майдони ва ғалтак магнит майдони энергиялари формулаларини солиштиринг.

### МАСАЛАЛАР ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

1. Кўндаланг кесимининг юзи  $1,72 \text{ мм}^2$  бўлган мис симдан  $10 \text{ см}$  диаметрли ҳалқа кавшарлаб ясалган. Ҳалқа бир жинсли магнит майдонга, магнит индукция чизиқларига перпендикуляр равишда жойлашган. Агар магнит майдон индукцияси  $1 \text{ Тл/с}$  тезлик билан бир текис ўзгара бошласа, ҳалқада қандай ток кучи пайдо бўлади?

**Масала шартининг таҳлили.** Ҳалқада пайдо бўлган ток кучи тўлиқ занжир учун ёзилган

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Ом қонуни бўйича аниқланади. Ҳалқанинг қаршилиги

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

формула бўйича топилади, бу ерда  $l = \pi D$ .  
ЭЮК ни

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t}$$

формула бўйича топиш мумкин, бу ерда  $\Delta B / \Delta t$  — магнит индукциянинг ўзгариш тезлиги,  $S = \pi D^2 / 4$  — ҳалқа билан чегараланган юз,  $D$  — ҳалқа диаметри.

**Ечиш.** Юқорида топилган формулаларни бирлаштириб, ечимнинг қуйидаги умумий кўринишини оламиз:

$$I = \frac{DS}{4\rho} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

Қатталикларнинг тегишли ( $\Delta B / \Delta t = 1 \text{ Тл/с}$ ;  $S = 1,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

$$D = 0,1 \text{ м}; \rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

қийматларини қўйиб,

$$I = \frac{0,1 \text{ м} \cdot 1,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ Тл/с}}{4 \cdot 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}} = 10 \text{ А}$$

натижани топамиз.

2. Сим ўрам текислигидан ўтувчи магнит оқими  $\Phi$  фан  $0$  гача бир текис ўзгарган. Агар симнинг қаршилиги  $R$  га тенг бўлса, унинг кўндаланг кесимидан, магнит оқимининг ўзгариши учун кетган вақт ичида қандай электр заряди ўтади?

**Ечиш.** Бу ҳолда  $\Delta \Phi = 0 - \Phi = -\Phi$  бўлгани учун ўрамдаги ЭЮК



$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi}{\Delta t}$$

га, ундаги ток кучи эса

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\Phi}{R\Delta t}$$

га тенг бўлади. Ҳрам симининг кўндаланг кесимидан ўтган  $Q$  заряд

$$Q = I\Delta t = \frac{\Phi}{R\Delta t} \cdot \Delta t = \frac{\Phi}{R}; \quad Q = \frac{\Phi}{R}$$

муносабатдан топилади.

### 1- МАШҚ

1. Магнит майдон индукцияси камайганда контурда пайдо бўлган индукцион токнинг йўналишини кўрсатинг (14- расм).

2. Металл ҳалқа орқали унинг ўқи бўйлаб, ўқи ҳалқа текислигига перпендикуляр бўлган, магнитланган пўлат брусок тушади. Ҳалқадаги индукцион ток қандай ўзгаради?

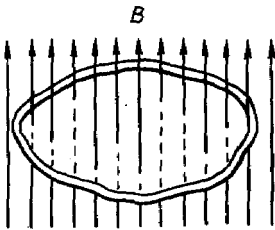
3. Мис ҳалқа стрелка билан кўрсатилган йўналиш бўйича илгариланма ҳаракат қилади (15- расм). Ҳалқадаги индукцион токнинг йўналишини аниқланг.

4. Қайси ҳолда магнитоэлектрик асбоб стрелкасининг тебранишлари тезроқ сўнади: асбоб клеммалари қисқа туташтирилгандами ёки улар узук бўлгандами?

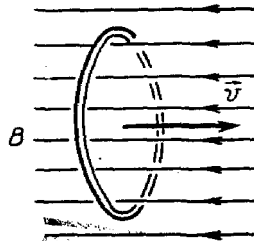
5. Қаршилиги  $3 \cdot 10^2$  Ом бўлган ўтказгич контуридан ўтувчи магнит оқими 2 с ичида  $1,2 \cdot 10^{-2}$  Вб га ўзгарган. Агар магнит оқимининг бу ўзгариши бир текис бўлган бўлса, ўтказгичда қандай ток кучи юзага келган?

6. Индуктивлиги 0,5 Гн ва қаршилиги жуда кичик бўлган ғалтакдан 10 А ток кучи ўтади. Ғалтакка параллел равишда резистор уланган. Ток манбаи тез узилгандан кейин ғалтак ва резисторда қанча иссиқлик миқдори ажралади?

7\*. Иккинчи мисолдаги масалани магнит оқими қиймати  $\Phi$  дан 0 гача ихтиёрий равишда ўзгарадиган ҳол учун ечинг.



14- расм



15- расм

## I БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Электромагнит индукция ходисасида электр ва магнит майдонлар орасида боғланиш борлиги топилади: магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгариши индукцион электр майдон пайдо бўлиши билан биргаликда юз беради.

2. Индукцион электр майдон уюрмавий характерга эга: бу майдоннинг кучланганлик чизиклари берк.

3. Индукцион электр майдоннинг электр зарядларни берк траектория бўйлаб кўчиришда бажарган иши нолга тенг эмас.

4. Индукцион электр майдоннинг энергетик характеристикаси индукция ЭЮК дир.

Индукция ЭЮК индукцион майдоннинг электр зарядини берк контур бўйича кўчиришда бажарган ишининг шу зарядга нисбати билан (индукцион майдоннинг бирлик зарядни берк контур бўйича кўчиришда бажарган иши билан) ўлчанади:

$$\mathcal{E} = \frac{A}{Q}.$$

Индукция ЭЮК магнит оқимининг ўзгариш тезлигига тўғри пропорционалдир:

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

5. Берк ва массив яхлит ўтказгичларда индукцион электр майдон индукцион ток ҳосил қилади.

6. Индукцион ток ўзини юзага келтирувчи сабабга қаршилиқ қилади (Ленц қондаси).

7. Занжирдаги ток кучининг ҳар қандай ўзгаришида унинг магнит майдони ҳам ўзгаради, бу эса занжирдаги токнинг ўзгаришига қаршилиқ қилувчи индукцион электр майдон пайдо бўлишига олиб келади. Бу ходиса ўзиндукция ходисаси дейилади, бу ҳолдаги ЭЮК ўзиндукция ЭЮК деб юритилади. Ўзиндукция ЭЮК занжирдаги ток кучининг ўзгариш тезлигига тўғри пропорционал:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt},$$

бу ерда  $L$  — занжирнинг индуктивлиги.

8. Ўтказгичнинг индуктивлиги деб, ўтказгичдан ўтаётган ток кучининг ўзгариши туфайли унда пайдо бўладиган ўзиндукция ЭЮК қийматига ўтказгич ўлчамлари, шакли ва унинг атрофидаги муҳит хусусиятлари таъсирини характерловчи физик катталikka айтилади. Индуктивлик ўзиндукция ЭЮК нинг ўтказгичдаги ток кучининг ўзгариши тезлигига нисбати билан аниқланади:

$$L = \frac{\mathcal{E}}{\Delta I}.$$

Халқаро бирликлар системасида индуктивлик бирлиги учун генри (1 Гн) қабул қилинган.

9. Магнит майдон энергияга эга. Магнит майдон энергияси ўтказгич индуктивлигига ва унда оқувчи ток кучининг квадратига тўғри пропорционалдир:

$$W_M = \frac{LI^2}{2}.$$

## ХУЛОСА

Электромагнит индукция ҳодисасини ўрганиш билан замонавий физика бўлимларидан бири бўлган электродинамикага кировчи электромагнит ҳодисалар билан танишишнинг мактаб босқичи тугатилади.

Электродинамика зарядланган зарралар орасидаги ўзаро таъсирларни ўрганadi. Маълум бўлган барча ўзаро таъсир турлари ичида электромагнит ўзаро таъсир ўзининг кенглиги ва намoён бўлишининг турли-туманлиги бўйича биринчи ўринни эгаллайди. Бу барча жисмлар таркибига зарядланган зарралар (электрон ва протонлар) кириши билан боғлиқ. Электромагнит ўзаро таъсир гравитацион ўзаро таъсирга караганда интенсивроқдир. Масалан, водород атомидаги электрон ва протоннинг электромагнит ўзаро таъсири улар орасидаги гравитацион ўзаро таъсирдан  $10^{40}$  марта кучлироқ.

Электромагнит ўзаро таъсирнинг асосий қонуниятларини тарихий кетма-кетликда эслатиб ўтамиз.

Электр ва магнит ҳодисалар ҳақидаги дастлабки маълумотлар жуда қадимдан маълум бўлган. Бу ҳодисалар ҳақидаги бошланғич билимларнинг секин-аста йиғилиб бориши то XVIII аср бошларигача давом этди ва 1785 йили француз физиги Ш. Кулон томонидан тугалланди. Ш. Кулон кўзғалмас нуктавий электр зарядларнинг ўзаро таъсир қонунини экспериментал аниқлади:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon R^2}.$$

Кулон қонуни электромагнит ўзаро таъсирни биринчи бор микдорий баҳолаш имконини берди. Тахминан ўша даврда электр майдон кучланганлиги

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$$

тушунчаси ҳам киритилган эди.

Электромагнит ўзаро таъсирларни ўрганишдаги кейинги босқич италян физиги А. Вольта томонидан биринчи химиявий ток манбаининг (Вольта элементи) ихтиро қилиниши билан боғлиқ. Шу моментдан бошлаб физикларнинг диққат-эътибори электр тоқининг хоссалари ва кўринишларини ўрганишга қаратилди.

Немис физиги Ом 1826 йили ток кучи билан кучланиш орасидаги микдорий боғланишни (занжирнинг бир қисми учун Ом

конуни) экспериментал аниқлади:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Бироз олдинроқ, 1820 йили даниялик физик Х. Эрстед электр токининг магнит стрелкасига таъсирини топди. Эрстед кашфиётининг муҳим аҳамияти шундаки, унғача электр ва магнит ходисаларга бир-биринга боғлиқ бўлмаган икки ходиса сифатида каралар эди. Эрстед тажрибалари бу икки ходисаларнинг ўзаро боғлиқлигини кўрсатди.

Эрстед кашфиёти электромагнит ходисаларни чуқур ўрганишнинг бошланиши бўлди. Бунда, айниқса, француз физиги А. Ампер катта муваффақиятларга эришди. У 1820 йили электр тоқларининг ўзаро таъсир қонунини топди. Иккита параллел тоқлар ўзаро таъсири учун Ампер қонуни

$$F = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{R} l$$

кўринишда ёзилади.

Инглиз физиги, классик электродинамиканинг яратувчиси Ж. Максвелл Ампер кашфиётини қуйидагича баҳолади: «Ампер тоқларнинг механик ўзаро таъсир қонунини топишда фойдаланган экспериментал метод — фаннинг ёрқин ютуқларидан бири... Унинг шакли мукамал, аниқлиги нуқсонсиз ва ҳамма нарса битта формулада ифодаланган, ундан барча ходисалар ажратилиши мумкин ва у электродинамиканинг фундаментал қонуни сифатида абадий қолиши керак». Максвелл Амперни «электрнинг Ньютони» деб атаган.

Инглиз физиги М. Фарадей ўз текширишларини 1820 йилдан бошлади. Бу текширишлар 1831 йили электромагнит индукция ходисаси ва бу ходисани ифодаловчи

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

қонуннинг кашф этилиши билан тугалланди.

Агар Х. Эрстед электр ходисаларнинг магнит ходисалар билан боғлиқлигини кўрсатган бўлса, М. Фарадей магнит ходисаларнинг электр ходисалар билан боғлиқлигини аниқлади. М. Фарадей барча электр ва магнит ходисалар ягона нуқтаи назардан караладиган, электромагнит ходисалар ҳақидаги умумий таълимотни яратди.

Фарадей электромагнит ўзаро таъсир электр ва магнит майдонлар орқали амалга оширилади дег тахмин қилди. Бунда у майдонларни тасвирлаш учун куч чизиклари тушунчасини киритди.

Инглиз физиги Ж. Жоуль ва рус физиги Э. Х. Ленц 1841—1842 йилларда бир-бириндан беҳабар ҳолда тоқли ўтказгичда ажралувчи иссиқлик миқдори тоқ кучининг квадратига ўтказгич қаршилигига ва тоқнинг ўтиш вақтига тўғри пропорционал

эканлигини экспериментлар асосида топишди:

$$Q = I^2 R t.$$

Электромагнит ўзаро таъсирлар назариясининг яратилишини 1861 йилдан 1873 йилгача бўлган даврда асос қилиб олинувчи қатор мақолалар эълон қилган Ж. Максвелл тугаллади. Максвелл назариясининг асосига Эрстед, Ампер, Фарадей ва бошқа олимларнинг текширишларида топилган экспериментал далиллар қўйилган. Максвелл бу далилларни таҳлил қилди, ўзининг тахминлари, фаразлари билан тўлдирди ва бутун назарияни, кейинчалик «Максвелл тенгламалари» деб ном олган аниқ математик тенгламалар шаклида ифодалашга эришди.

Максвелл тенгламаларидан ўзгарувчи электр ва магнит майдонлар ҳар доим биргаликда, электромагнит майдон қўринишида мавжуд бўла олиши, ўзгарувчан ток оқувчи ўтказгич атропофида ўзгарувчи электромагнит майдон пайдо бўлиши кераклиги, электромагнит майдон фазода электромагнит тўлқин қўринишида таркалиши мумкинлиги келиб чиқади.

Немис физиги Г. Герц 1887 йили Максвелл томонидан башорат қилинган электромагнит тўлқинларни тажрибада топди ва уларнинг хоссаларини ўрганди.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР

Сиз IX синфда механиканинг асосларини ўрганар экансиз, ҳар хил механик ҳаракатлар орасида механик тебранишлар ва тўлқинлар алоҳида ўрин эгаллашини билган эдингиз. Механик тебранишлар ва тўлқинлар Ер ҳаётида (зилзила, океан, денгиз ва кўллар сиртидаги тўлқинлар), Қуёшда (пульсация), инсон ҳаётида (юррак фаолияти, нутқ, эшитиш) юз беради.

Шунга ўхшаш ҳар хил электромагнит ҳодисалар орасида электромагнит тебранишлар алоҳида ўрин эгаллайди. Электромагнит тебранишлар билан ҳар бир инсон у ёки бу даражада алоқадор. Электр энергияси, телевидение, радио, радиолокация, телефон, телеграф — булар электромагнит тебранишларнинг унча тўлиқ бўлмаган техник қўлланишлари рўйхати. Инсон танасидаги органларнинг фаолиятида ҳам электромагнит тўлқинлар алоҳида роль ўйнайди. Шифокорлар юрак ва миёдаги электр тебранишларни текшириб, инсон саломатлигининг ахволини аниқлашади. Ниҳоят, айтиш керакки, ёруғлик ҳодисалари ҳам электромагнит тебранишлар билан боғлиқ. Электромагнит тебранишларнинг ҳаётимиздаги улкан роли уларни ўрганиш заруриятини тақозо этади.

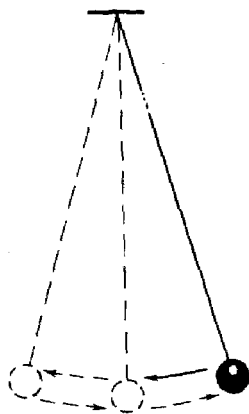
### II боб. ЭРКИН ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР

Механик тебранишларни ўрганишдан сизга маълумки, ташқи даврий таъсирларга учрамаган тебраниш системасида, уни турғун мувозанат ҳолатдан оғдириш натижасида юзага келадиган тебранишлар эркин (ёки хусусий) тебранишлар дейилади.

Мисол учун, агар ипга осилган шарча мувозанат ҳолатидан чиқариб, сўнгра қўйиб юборилса, у эркин тебранишлар қилади (16-расм).

Эркин тебранишлар электр занжирларида ҳам бўлиши мумкин.

Эркин тебранишларни ўрганишда Сиз, биринчидан, тебранишлар назариясининг асосий тушунча ва терминлари билан, иккинчидан, тебранишларни ифодаловчи асосий математик муносабатлар билан танишасиз. Биринчиси ҳам, иккинчиси ҳам бутун физиканинг кейинги курсларини ўрганишда муҳим аҳамиятга эга. Шунинг учун терминларни



16-расм

шошмасдан тушуниб олинг ва формулалардан чўчиманг, улар — содда. Ҳамма жойда Сизга таниш ва умумий бўлган нарсаларни кўринга ҳаракат қилинг.

Масалан, куйида ёзилган

$$q = Q_m \sin \varphi; \dot{q} = Q_m \sin \omega_0 t; \ddot{q} = Q_m \sin (\omega_0 t + \varphi_0)$$

учта формула бир қарашда Сизга ҳар хилдек туюлса ҳам, синчиклаб қараганингиздан сўнг, амалда битта формула уч қайта ёзилганлигини кўрасиз. Аммо кейинги икки ёзилишда  $\varphi$  бурчак  $\omega_0 t$  ва  $\omega_0 t + \varphi_0$  га алмаштирилган, демак,  $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$  экан.

Матнга ва математик ҳисобларга диққат билан чуқур ўйлаб ёндашишингиз материални тез ва пухта ўзлаштиришингизга ёрдам беради.

## 6-§. ЭРКИН ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАРНИНГ ОЛИНИШИ ВА ПАРАМЕТРЛАРИ

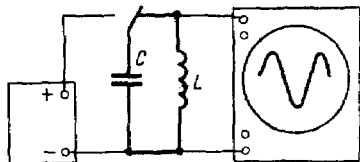
**1. Тебраниш контури.** Доимий ток манбаидан  $C$  конденсаторни зарядлаб,  $L$  индуктив ғалтак орқали уни туташтирамыз, ғалтакка электрон осциллограф параллел уланган (17- расм). Осциллограф экранида ҳосил қилинган занжирда электр тебранишлари пайдо бўлганлигини кўрсатувчи осциллограммани кўрамыз. Бинобарин, конденсатор ва индуктив ғалтақдан ташкил топган занжир тебраниш системаси бўлар экан. Бундай занжир *тебраниш контури* деб номланган.

Контурдаги тебранишлар осциллограммаси уларнинг сўниб боришини кўрсатади. Контурдаги тебранишларнинг сўниш сабаби, унда қайтмас энергия алмашинувини юзага келтирувчи контурнинг қаршилиги деб тахмин қилиш, табиийдир.

Ҳақиқатан, контурнинг қаршилигини камайтириб, тебранишлар сўнишининг камайишини кўриш мумкин. Агар контурнинг ғалтаги ўта ўтказувчи бўлганда эди, контурдаги тебранишлар деярли сўнмас ва синусоидал шаклга эга бўлар эди (ўта ўтказувчан тебраниш системаларидан космик радиоалоқада фойдаланилади). Бундай тебранишлар *гармоник тебранишлар* деб юритилади.

**2. Гармоник тебранишларни характерловчи катталиклар.** Электр тебранишларни характерловчи катталиклар (заряд, ток кучи, конденсатордаги кучланиш ва ҳ. к.) тебраниш жараёнида узлуксиз равишда ўзгариб туради, шунинг учун уларнинг оний қийматларини кичик  $q, i, u$  ва ҳ. к. ҳарфлар билан белгилаш қабул қилинган.

Гармоник тебранишларни характерлаш учун ўзгарувчи катталикларнинг максимал қийматларини билиш аҳамиятли, улар тегишли катталикларнинг *амплитуда қийматлари* ёки *амплитудалар* деб номланади. Амплитуда қийматларини катта  $Q_m, I_m, U_m$  ва ҳ. к. ҳарфлар билан белгилаш қабул қилинган.



17- расм

Гармоник тебранишларни характерловчи катталикларнинг кийматлари, *тебранишлар даври* деб аталувчи  $T$  тенг вақтлар оралиғида қайтарилиб туради. Агар  $t$  вақт ичида  $N$  та тўлик тебранишлар юз берса, тебранишлар даври

$$T = \frac{t}{N}$$

формула билан аниқланади.

Шундай қилиб, тўла бир марта тебраниш учун кетган вақт **оралиғи гармоник тебранишнинг даври** деб юритилади.

**Вақт бирлиги (1 с) ичидаги тебранишлар сони тебранишлар частотаси дейилади ва  $\nu$  ҳарфи билан белгиланади.** Агар  $t$  вақт ичида  $N$  та тўлик тебранишлар юз берса,

$$\nu = \frac{N}{t}$$

бўлади.

Частота  $\nu$  бирлиги сифатида шундай частота олинадики, бунда 1 с ичида битта тебраниш юз беради. Частотанинг бу бирлиги, немис физиги Г. Герц шарафига герц (1 Гц) деб номланган. Амалда частотани ўлчаш учун қарралаи birlikлардан фойдаланилади: килогерц (кГц), мегагерц (МГц) ва гигагерц (ГГц).

Давр частота учун топилган формуларни таққослаб, улар ўзаро тескари катталиклар эканлигини кўраимиз:

$$T = \frac{1}{\nu}, \quad \nu = \frac{1}{T}$$

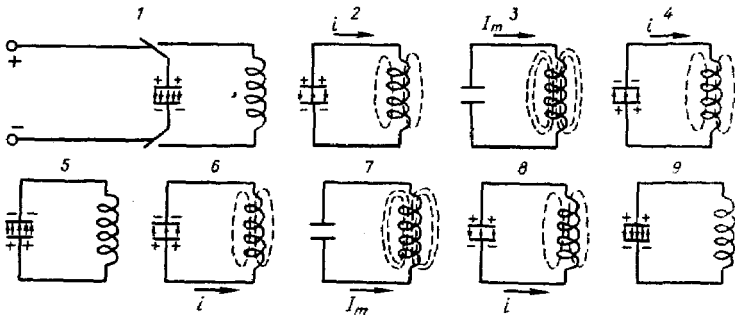
**3. Тебраниш контурида энергия алмашинуви.** Айтайлик, тебраниш контурини ҳосил этувчи ўтказгичларнинг қаршилиғи бўлмасин, бинобарин, контурда қайтмас энергия алмашинувлари юз бермасин. Бу—контурда юз берувчи ҳодисаларни ўрганишни осонлаштирувчи идеаллаштиришдир. Табиат ва техникада бундай идеал контурлар реал мавжуд эмас.

Доимий кучланиш манбаига конденсаторни улаб, уни зарядлаймиз, бунда тебраниш контурига

$$W_3 = \frac{CU_m^2}{2}$$

электр энергияси берилади. Бу энергияни конденсаторнинг электр майдони олади (18-расм). Зарядланган конденсатор индуктив ғалтакка улангач, контурда электр токи пайдо бўлиб, орта боради, конденсатор зарядсизлана (разрядлана) бошлайди (18-1 расм). Ғалтакда бу ток билан боғлиқ ўзгарувчи магнит майдон юзага келади (18-2 расм) ва орта боради. Ғалтак ўзининг ўзгарувчи майдонида бўлгани учун унда индукцион электр майдон юзага келади ва Ленц қондаси бўйича контурдаги ток кучининг ортишига қаршилиқ қилади. Шу боис контурдаги ток кучи сакраб эмас, балки секин-аста ортади. Ғалтакдан ток ўтиши конденсаторнинг аста-секин зарядсизланиши (разрядланиши) билан боғлиқ.





18- расм

Нихоят, шундай момент келадики ( $t = \frac{T}{4}$ ), унда конденсатор тўлик зарядсизланади, ток кучи максимал қийматига эришади. Бу моментда электр майдонининг энергияси тўлиғича ғалтак магнит майдонининг

$$W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$

энергиясига айланади (18-3 расм).

Кейинги вақт моментидан бошлаб, ток кучи ва у билан боғлиқ магнит майдон индукцияси камаё бошлайди. Бу яна индукцион электр майдон пайдо бўлишига олиб келади, аммо бу ҳолда у ғалтакдаги токнинг камайишига қаршилик қилади. Контурдаги конденсатор қайтадан (олдингига тескари йўналишда) зарядлана бошлайди, унинг электр майдони токнинг ортишига тўсқинлик қилади (18-4 расм). Ток кучи нолга тенглашган моментда ( $t = \frac{T}{2}$ ), конденсаторнинг қайта зарядланиши тўхтайти, магнит

майдон энергияси тўлиғича электр майдон энергиясига айланади (18-5 расм).

Кейинги ярим давр ичида жараён тескари йўналишда такрорланади, яъни контурдаги ток, конденсатордаги электр ва ғалтакдаги магнит майдонлар ўз йўналишларини ўзгартиради (18-5, 9 расм).

Шундай қилиб, конденсаторнинг ғалтак орқали зарядсизланишида (разрядланишида) ҳосил қилинган занжирда электр тебранишлар юзага келади. Бу тебранишлар жараёнида даврий равишда электр майдон энергиясининг магнит майдон энергиясига ва, аксинча, магнит майдон энергиясининг электр майдон энергиясига айланиши юз беради:

$$W_e \rightarrow W_m \rightarrow W_e \rightarrow W_m \rightarrow \dots$$

Электр тебранишларнинг тўлик энергияси ҳар қандай вақт моментда электр ва магнит майдонларнинг энергиялари йиғиндисига тенг:

$$E = W_e + W_m.$$

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра идеал контурнинг тўлиқ энергияси ўзгармасдан сақланади:

$$E = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \text{const},$$

бу ерда  $i$  — контурдаги токнинг оний қиймати,  $u$  — конденсатордаги кучланишнинг оний қиймати.

Контурнинг тўлиқ энергиясини конденсатор электр майдони ёки ғалтак магнит майдони энергияларининг максимал қийматлари орқали қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$E = \frac{CU_m^2}{2} + \frac{LI_m^2}{2}.$$

Шунинг учун

$$E = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

бўлади.

?

1. Электромагнит тебранишлар қандай ҳосил қилинади?
2. Тебраниш контурида юз берувчи энергия алмашинувини тушунтиринг.
3. Электр тебранишларнинг тўлиқ энергиясини ҳисоблаш формуласини ёзинг.

### 7-§. ЭРКИН ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАРНИНГ АСОСИЙ КОНУНИЯТЛАРИ

Айтайлик, қаршилиги ҳисобга олмаслик мумкин бўлган даражада кичик бўлган контурда эркин электромагнит тебранишлар юз берсин. Бу тебранишларнинг асосий қонуниятларини топамиз.

**1. Конденсатор зарядининг ва контурдаги ток кучининг ўзгариш қонуниятлари.** Идеал тебраниш контури учун энергиянинг сақланиш қонунини ёзамиз:

$$\frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{CU_m^2}{2}.$$

Аммо,

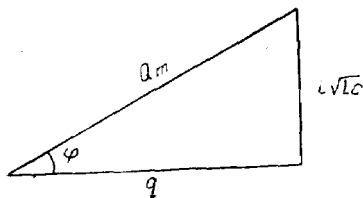
$$u = \frac{q}{C}, \quad U_m = \frac{Q_m}{C}$$

бўлгани учун

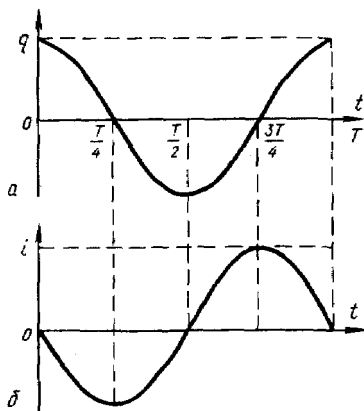
$$\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{Q_m^2}{2C}$$

бўлади. Бу ифоданинг  $2C$  га ҳадма-ҳад кўпайтириб,

19- расм



20- расм



$$q^2 + i^2 LC = Q_m^2 \text{ ёки } q^2 + (i \sqrt{LC})^2 = Q_m^2$$

тенгламани оламир.

Бу ифодани гипотенузаси  $Q_m$ , катетлари  $q$  ва  $i\sqrt{LC}$  бўлган тўғри бурчакли учбурчак кўринишида геометрик тасвирлаш мумкин (19- расм). Бу учбурчакдан,

$$q = Q_m \cos \varphi,$$

$$i = \frac{Q_m}{\sqrt{LC}} \sin \varphi$$

муносабатлар топилади. Ток кучининг қиймати  $\sin \varphi = 1$  да максимал ( $i = I_m$ ) бўлгани сабабли, иккинчи тенгликдан  $I_m = Q_m / \sqrt{LC}$  бўлади ва

$$i = I_m \sin \varphi$$

келиб чиқади.

Топилган натижалардан кўринадики, конденсаторнинг заряди ва ғалтакдаги ток кучи гармоник қонуният бўйича ўзгаради. Бинобарин, идеал тебраниш контурида юзага келувчи тебранишлар гармоник экан. Шу билан бирга, конденсатор қопланмаларидаги заряднинг ва занжирдаги ток кучининг тебранишлари орасида фазалар фарқи  $\pi/2$  бўлади ( $\sin \varphi = \cos(\varphi + \frac{\pi}{2})$ ). Контурдаги заряд ва ток кучининг тебраниш графиклари 20- расмда келтирилди.

**2. Тебранишлар фазаси.** Занжирдаги заряд ва ток кучининг ўзгариш қонунини ифодаловчи

$$q = Q_m \cos \varphi, \quad i = I_m \sin \varphi$$

формулаларга  $\varphi$  бурчак киради.

Унинг физик маъносини аниқлаймиз. Аввало, бир нечта исбот талаб қилмайдиган фикрларни келтирамиз.

Биринчидан,  $\varphi$  бурчак электромагнит тебранишларни матема-

тик ифодалашда киритилди. Демак, у факат электромагнит тебранишларни математик ифодалашдагина маънога эга.

Иккинчидан, бу бурчак заряд ва ток кучининг берилган вақт моментидаги қийматини аниқлайди. Демак, у тебранишларнинг характеристикаси экан. Бу характеристикани *тебраниш фазаси* деб юритишади.

Энди  $\cos\varphi$  ни заряд оний қийматининг амплитуда қийматига нисбати орқали ифодалаймиз:

$$\cos\varphi = \frac{q}{Q_m}$$

Конденсатор зарядининг  $q$  оний қиймати ўзгарувчи катталиқ  $Q_m$  амплитуда қиймати эса доимий катталиқ бўлгани сабабли  $\cos\varphi$ , демак,  $\varphi$  фаза ҳам узлуксиз равишда ўзгариб туради.

Фазанинг ўзгариш тезлигини топайлик. Бунинг учун ток кучи заряддан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила эканлигини эслаймиз:

$$i = q' = -Q_m \varphi' \sin\varphi.$$

Бу ердаги  $\varphi'$  ҳосила — фазанинг изланган ўзгариш тезлигидир. Уни топиш учун ток кучининг юқоридаги қийматини илгари топилган қийматига тенглаштирамиз:

$$-Q_m \varphi' \sin\varphi = \frac{Q_m}{\sqrt{LC}} \sin\varphi,$$

бундан

$$\varphi' = -\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

келиб чиқади. Тебранишлар фазасининг  $\varphi'$  ўзгариш тезлиги  $\omega_0$  билан белгиланади ( $\varphi' = \omega_0$ ) ва *циклик частота* деб юритилади:

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

Берилган тебраниш контури учун  $L$  ва  $C$  лар доимий, демак,  $\omega_0$  циклик частота ҳам доимий бўлади, шунинг учун фаза қуйидагича ёзилади:

$$\varphi = \omega_0 t.$$

Циклик частота тушунчасидан фойдаланиб, конденсатор копламаларидаги заряд ва контурдаги ток кучининг ўзгариш қонунларини қайта ёзамиз:

$$q = Q_m \cos\omega_0 t \quad \text{ва} \quad i = I_m \sin\omega_0 t$$

**3. Бошланғич фаза.** Топилган  $q = Q_m \cos\omega_0 t$  формуладан кўринадики,  $t=0$  да конденсатор заряди максимал бўлади ( $q = Q_m$ ). Бошқача айтганда,  $q = Q_m \cos\omega_0 t$  формула фақат вақтни

ҳисоблаш конденсатор зарядсизлана бошлаган моментдан бошлаб ҳисобланадиган ҳол учун конденсатор зарядининг ўзгаришини ифодалайди.

Агар вақтни ҳисоблаш конденсатор зарядсизлана бошлаган моментдан биров  $t_0$  вақт ўтгандан кейин бошланса, зарядсизланиш (разрядланиш) вақти  $t + t_0$  га тенг бўлади (бу ердаги  $t$  — вақти ҳисоблаш бошланган моментдан кейинги вақт).

У ҳолда заряднинг оний қиймати

$$q = Q_m \cos \omega_0(t + t_0) = Q_m \cos(\omega_0 t + \omega_0 t_0)$$

формула билан аниқланади. Бу ердаги  $\omega_0 t_0$  доимий катталиқ *бошланғич фаза* дейилади ва  $\varphi_0$  билан белгиланади:

$$\varphi_0 = \omega_0 t_0.$$

Шундай қилиб, заряд ва ток кучининг ифодалари, умумий ҳолда,

$$q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad i = I_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

кўринишда ёзилади.

**4. Эркин тебранишлар частотаси.** Бир  $T$  давр ичида фаза  $2\pi$  га ўзаради ( $t = T$  да  $\varphi = 2\pi$ ), шунинг учун

$$\varphi = \omega_0 T = 2\pi$$

бўлади. Бундан

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

муносабатлар топилади.

Шундай қилиб, **циклик частота** — фазанинг ўзгариш тезлиги бўлиб, вақт ичидаги тебранишлар сонига тенг.

Юқорида топилган формулалардан фойдаланиб тебранишлар даври ва частотасини циклик частота орқали ифодалаймиз:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}; \quad \nu = \frac{\omega_0}{2\pi}.$$

Бу формулаларга циклик частотасининг илгари топилган  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  қийматини қўйиб,

$$T = 2\pi \sqrt{LC}, \quad \nu = 1/2\pi \sqrt{LC}$$

натижаларни оламиз.

Шуни яна бир бор таъкидлаймизки, бу формулалар фақат «қаршилиги йўқ» идеал тебраниш контури учунгина тўғри. Аммо улардан қаршилиги унча катта бўлмаган реал тебраниш контурларини тақрибий ҳисоблашда ҳам фойдаланиш мумкин.

Электромагнит тебранишлар даврининг юқоридаги формуласи биринчи марта инглиз физиги У. Томсон (лорд Кельвин) томонидан олинган, шунинг учун у *Томсон формуласи* деб юритилади.

● Давр ва частота формулаларидан куйидаги муҳим хулоса келиб чиқади: эркин тебранишларнинг давр ва частотаси тебранишлар амплитудасига (биринчи турткига) боғлиқ эмас ва тебраниш контурининг  $L$  ва  $C$  параметрлари билан тўлиқ аниқланади.

Математик маятникнинг тебраниш даври ҳам тебранишлар амплитудасига боғлиқ бўлмасдан, маятник параметрлари  $l$  ва  $g$  билан аниқланишини эсланг:

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

**5. Тебраниш контуридаги эркин электромагнит тебранишлар амплитудаси.** Тебраниш контуридаги электромагнит тебранишларнинг тўлиқ энергиясини ифодаловчи

$$E = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$$

формулалардан ток ва кучланишнинг тебранишлари амплитудасини топамиз:

$$I_m = \sqrt{\frac{2E}{L}}, \quad U_m = \sqrt{\frac{2E}{C}}$$

● Топилган формулалардан кўринадики, эркин электромагнит тебранишлар амплитудаси (ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари амплитудаси) бошланғич моментда тебраниш контурига берилган энергия қийматидан чиқарилган квадрат илдизга пропорционал экан.

?

1. Контурдаги электромагнит тебранишларнинг циклик частотаси  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  эканлигини исботланг.

2. Сигими  $C$  бўлган конденсатор зарядининг амплитуда қиймати контурдаги тебранишлар энергиясига боғлиқлигини аниқланг.

3. Контурдаги халқаро система бирликларида ўлчалган ток кучи ва кучланиш  $i = 5 \sin \omega_0 t$ ,  $u = 80 \cos \omega_0 t$  қонуналар бўйича ўзгаради.

Занжирдаги ток кучи ва конденсатордаги кучланишнинг максимал қийматларини аниқланг.

## 8-§. ТЕБРАНИШЛАРНИНГ ГРАФИК ТАСВИРИ

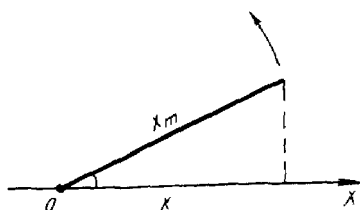
Хозиргача биз гармоник тебранишларнинг аналитик ифодаларидан фойдаландик. Аммо график ёзув аниқроқ ва кўргазмалироқдир. Тебранишларни график тасвирлаш усуллари билан танишамиз.

**1. Вақтли график.** Вақтли графикларда тебранма ҳаракатни характерловчи катталикларнинг вақтга боғлиқлиги кўрсатилади. 20-расмда контурдаги ток кучи ва конденсатордаги заряднинг ўзгариш графиги келтирилган эди. Бу графиклар текширилувчи катталикларнинг вақтга боғлиқлигини, шунингдек фазавий муносабатларни кўрсатиш учун жуда қулайлиги кўришиб турибди.

**2. Спектрал усул.** Тебранма ҳаракат параметрларининг вақтга



21- расм



22- расм

боғланиб ўзгариши билан боғлиқ масалаларга ва фазавий муносабатларга қизиқиш бўлмаган ҳолларда бу усулдан фойдаланиш қулай. Бу ҳолда тебранма ҳаракат хусусий график кўринишида тасвирланади. Горизонтал ўқ бўйича фаза, вертикал ўқ бўйича тебранишлар амплитудаси қўйилади. 21- расмда  $v_1$  ва  $v_2$  частотали ва амплитудалари тенг бўлмаган иккита гармоник тебранишлар келтирилган. Тебранма ҳаракатни тасвирлашнинг бундай усули *спектрал усул* деб юритилади.

**3. Вектор усули.** Қатор ҳолларда тебранма ҳаракатни вектор усулида бериш қулай. Бунинг учун чизма текислигида ихтиёрий  $O$  нукта танланиб, ундан ўқ ўтказилади. Гармоник тебранма ҳаракатнинг керакли параметри амплитудаси  $O$  нуктага қўйилган вектор кўринишида тасвирланади. Вектор узунлиги амплитудага пропорционал бўлади, унинг йўналиши эса шундай танланадики,  $OX$  ўқи билан вектор орасидаги бурчак  $\varphi_0$  бошланғич фазага тенг бўлади (22- расм).

Агар  $X_m$  вектор  $O$  нукта атрофида соат стрелкасига тескари йўналишда  $\omega_0$  бурчакни тезлик билан бир текис айланади деб тасаввур қилинса, унинг  $OX$  ўқдаги проекцияси ихтиёрий вақт моментида

$$x = X_m \cos \omega_0 t$$

га тенг бўлади.

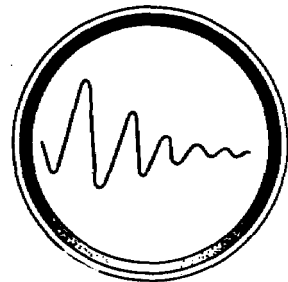
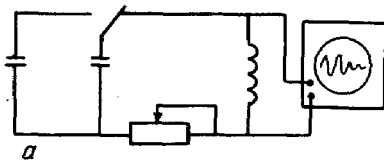
Бинобарин,  $X_m$  векторнинг  $OX$  ўқдаги проекцияси  $x$  катталикнинг оний қийматига тенг.

## 9- §. ҚАРШИЛИКЛИ СИСТЕМАЛАРДАГИ ЭРКИН ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР

Эркин тебранишларни ўрганар эканмиз, биз ҳозиргача тебраниш контурининг қаршилигини эътиборга олмадик. Бундай қилиш принципно равишда мумкин, чунки кўпчилик ҳолларда тебраниш контурларининг қаршилиги кичик ва уни ҳисобга олмаслик мумкин бўлади. Масалан, яхши радиоприёмник контурининг қаршилиги омнинг юздан, ҳатто мингдан бир улушини ташкил этади.

**1. Тебранишларнинг сўниши.** Тебраниш системаларининг қаршилигини эътиборга олмасдан, уларни идеаллаштириш эркин тебранишларни ўрганишни анча соддалаштиради. Аммо барча реал тебраниш системаларида ишқаланиш кучлари (қаршиликлар) мавжуд.

Бунга 23- а расмда тасвирланган занжир бўйича тажриба ўтказиб, ишонч ҳосил қилиш мумкин. Конденсаторни доимий ток



23- расм

манбаидан зарядлаб, уни қаршилиги етарли катта бўлган ғалтакка улаймиз. Осциллограф экранда сўнувчи тебранишларнинг тезда йўқолиб кетувчи осциллограмасини кўрамиз (23- б расм). Реостат ёрдамида контурнинг қаршилигини ошира бориб, қаршилик қанча катта бўлса, тебранишлар шунча тез сўнишига ишонч ҳосил қиламиз. Тебранишларнинг сўниши шунинг учун юз берадики, тебраниш системасига берилган энергиянинг бир қисми қайтариб бўлмайдиган ички энергияга айланади ва атроф фазога сочилади.

**2. Сўнувчи тебранишларни характерловчи катталиқлар.** Сўнувчи тебранишлар гармоник эмас, шунинг учун уларга амплитуда тушунчасини тўлиқ маънода қўллаб бўлмайди. Шунга қарамай, бу термин сўнувчи тебранишларга ҳам қўлланилади, фақат бунда амплитудла деганда мос катталиқ (силжиш, тезлик, тезланиш, заряд, ток кучи ва ҳ. к.) ларнинг бир тебраниш ичидаги энг катта қиймати тушунилади.

Сўнувчи тебранишлар тўлиқ маънода даврий бўлмаганлиги сабабли, уларга частота ва давр тушунчаларини ҳам қўллаб бўлмайди. Даврий деб шундай ходисаларга айтиладики, бунда тенг вақт оралиқларидан кейин ҳар сафар системанинг ҳолати аниқ қайтарилади. Сўнувчи тебранишларда эса системанинг ҳолати қайтарилмайди: тебранишлар амплитудаси секин-аста камаяди.

**3. Тебранишларни ўрганишда ягона ёндошиш ҳақида.** Механик ва электр тебранишларни ифодаловчи математик тенгламаларни таққослаш улар бўйсунувчи қонуниятларнинг ўхшашлигини кўрсатади (1- жадвал).

1 - жадвал

| Тортиш майдонидаги тебранишлар   | Эластик тебранишлар  | Электр тебранишлар   |
|--|--|--|
| $x = x_m \sin \omega_0 t$<br>$v = v_m \cos \omega_0 t$<br>$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$<br>$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ | $x = x_m \sin \omega_0 t$<br>$v = v_m \cos \omega_0 t$<br>$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$<br>$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ | $q = Q_m \sin \omega_0 t$<br>$i = I_m \cos \omega_0 t$<br>$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$<br>$T = 2\pi \sqrt{LC}$ |



Бу қонуниятларнинг ўхшашлиги хайрон қоларли. Ҳақиқатдан ҳам, деформацияланган пружина таъсиридаги юкнинг ҳаракати билан конденсатор қайта зарядланишидаги электронлар ҳаракати орасида қандай умумийлик бўлиши мумкин? Албатта, булар ҳар хил ҳодисалар. Аммо агар нима тебранаётганига эмас, балки нима сабабдан ва қандай тебранаётганига эътибор берилса, бу жараёнлар бир хил тушунчалар ва бир хил математик тенгламалар билан ифодаланиши маълум бўлади. Шунинг учун академик Л. И. Мандельштам ҳар хил физик табиатга эга бўлган тебранишларни ўрганишга ягона нуқтаи назардан ёндашди. Бу жуда самарали бўлиб чиқади. У бир турдаги тебранишларни ўрганишда топилган қонуниятларни бошқа турдаги тебранишларга ҳам татбиқ этиш имконини беради. Қуйидаги 2-жадвалда механик ва электр тебранишларни ифодалашда ишлатиладиган, бир-бирига ўхшаш катталиқлар келтирилади.

2-жадвал

| Механик катталиқлар    | Электромагнит катталиқлар        |
|------------------------|----------------------------------|
| Масса                  | Индуктивлик                      |
| Каттиқлик              | Электр сизимига тесқари катталиқ |
| Ишқаланиш коэффициенти | Қаршилик                         |
| Қуч                    | ЭЮҚ (қучланиш)                   |
| Силжиш                 | Заряд                            |
| Тезлик                 | Ток қучи                         |

### МАСАЛАЛАР ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

1. Индуктивлиги 400 мкГн, сизими 400 пФ бўлган тебраниш контури 400 В қучланишли ток манбаига уланган. Контурдаги эркин тебранишлар частотаси ва даври ҳамда ток қучининг амплитуда қиймати топилсин.

**Масала шартининг таҳлили.** Изланувчи барча катталиқларни маълум формулаларга қўйиб, ҳисоблаб топиш мумкин. Бунда эҳтиёт бўлиш керак: микрофарада ва микрогенриларни фарада ва генрида ифодалаш зарур.

$$\text{Ечиш: } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{CL}} = \frac{1}{\sqrt{400 \cdot 10^{-12} \cdot 400 \cdot 10^{-6}}} = 2,5 \cdot 10^6 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\nu = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{6,28} \approx 400 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 400 \text{ кГц};$$

$$T = 2\pi \sqrt{LC} = 6,28 \sqrt{400 \cdot 10^{-12} \cdot 400 \cdot 10^{-6}} \approx 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 2,5 \text{ мкс.}$$

Маълумки,  $I_m = \sqrt{2E/L}$ , бироқ  $E = CU_m^2/2$ . Булардан

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}} = 400 \text{ В} \cdot \sqrt{\frac{400 \cdot 10^{-12}}{400 \cdot 10^{-6}}} = 400 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,4 \text{ А.}$$

2. Тебраниш контури конденсаторининг максимал заряди  $Q_m = 1$  Кл, циклик частота эса,  $\omega_0 = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ . Контурдаги ток кучининг амплитуда киймати нимага тенг?

**Масала шартининг таҳлили.** Масала ток амплитудаси, заряд амплитудаси ва циклик частота орасидаги боғланишни топишга келтирилади.

**Ечиш:**

Маълумки,  $I_m = Q_m / \sqrt{CL}$ ,  $\omega_0 = 1 / \sqrt{CL}$ . Булардан,  $I_m = Q_m \omega_0$  топилди. Олинган натижага эътибор беринг, у кейинчалик керак бўлади.

**Ҳисоблаш:**  $I_m = 1 \text{ Кл} \cdot 1 \frac{1}{\text{с}} = 1 \text{ А}$ .

## 2-МАШҚ

1. Сизими 10 пФ бўлган конденсатор аввал 100 В кучланишли манбага улаб зарядлангач, индуктивлиги 10 мкГн бўлган ғалтакка уланади. Контурда юзага келувчи эркин тебранишлар даври ва ток кучининг максимал кийматини топинг.

2. Тебраниш контури 600 пФ сизимли конденсатор ва индуктивлиги 600 мкГн бўлган ғалтакдан иборат. Контурдаги ток кучининг амплитуда киймати 0,1 А. Контурдаги эркин тебранишларнинг циклик частотаси ва конденсатордаги кучланишнинг амплитуда кийматини топинг.

3. Тебраниш контурининг индуктивлиги  $L = 100$  мкГн, конденсаторнинг максимал заряди  $Q_m = 1$  Кл, циклик частота эса  $\omega_0 = 1$  рад/с. Контурнинг тўлиқ энергиясини топинг.

4. Идеал контурдаги эркин тебранишлар частотаси 100 кГц, ғалтак индуктивлиги  $10^{-6}$  мкГн. Конденсаторнинг электр сизимини топинг.

## II БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Ташқи даврий кучлар таъсир этмяйдиган тебраниш система-си турғун мувозанат ҳолатдан чиқарилганда унда эркин тебранишлар юзага келади.

2. Ишқаланиш (қаршилиқ) ва қайтмас энергия алмашинувлари бўлмаган идеал тебраниш системаларида юзага келувчи эркин тебранишлар гармоник (синус ёки косинус қонунига бўйсунувчи) бўлади.

3. Гармоник тебранишлар учун, ҳар бири уларнинг аниқланишидан келиб чиқадиган қуйидаги хусусиятлар характерли.

а) тебраниш системасининг турғун мувозанат ҳолатдан оғишини характерловчи катталиклар (заряд, кучланиш, ток кучи, механикада эса силжиш, тезлик, тезланиш) синусондал қонун бўйича ўзгаради.

б) тебраниш системасининг тўлиқ энергияси доимий ва амплитуда квадратига пропорционал.

в) гармоник тебранишлар чексиз давом этади.

4. Гармоник тебранма ҳаракат учта доимий катталиклар — частота (давр), амплитуда ва фази билан характерланади.

5. Эркин тебранишларнинг частотаси тебраниш системасининг параметрларига, амплитудаси — тебраниш системасига берилган энергияга, фазаси — вақтни ҳисоблай бошлаш моментининг танланишига боғлиқ.

6. Табиати ҳар хил бўлган эркин тебранишлар учун ягона қонунлар характерли. Буни I-жадвалдан кўриш мумкин.

7. Ишқаланишли (қаршиликли) системаларда тебранишлар сўнади ва гармоник бўлмайди. Тебранишларнинг сўниш тезлиги тебраниш системасидаги ишқаланишга (қаршиликка) боғлиқ.

### III б о б. АВТОТЕБРАНИШЛАР

Реал тебраниш системасида юзага келувчи эркин тебранишлар ҳамма вақт сўнади. Бунинг сабаби шундаки, тебраниш системасининг қаршилиги туфайли энергиянинг бир қисми қайтариб бўлмайдиган ички энергияга айланади ва атроф фазога сочилади. Агар қандайдир усул билан тебраниш системасидаги, унинг қаршилиги туфайли камайган энергияни тўлдириш мумкин бўлганда эди, унда сўнмас тебранишлар юзага келар эди. Буни қандай амалга ошириш мумкинлигини кўрайлик.

#### 10-§. АВТОТЕБРАНИШЛАР ҲАҚИДАГИ ДАСТЛАБКИ МАЪЛУМОТЛАР

**1. Автотебраниш системалари.** Равшанки, тебраниш системасининг камайган энергиясини тўлдириб туриш учун қандайдир манба бўлиши керак. Бунда иккита шартнинг бажарилиши муҳим аҳамиятга эга:

1) манбадан тебраниш системасига бир давр ичида келувчи энергия ана шу вақт ичида энергиянинг бошқа турларига айланувчи энергияга аниқ тенг бўлиши керак;

2) энергия тебраниш системасига «такт» билан, яъни системада юз берувчи эркин тебранишлар фазасига мослашган тарзда берилиши керак.

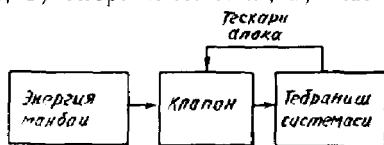
Бу шартларнинг бажарилиши учун тебраниш системасига энергия берилишини бошқарувчи махсус қурилма бўлиши керак. Бу қурилма шартли равишда *клапан* деб аталади.

Сўнмас тебранишлар бўлиши мумкин бўлган қурилманинг блок-схемаси 24-расмда тасвирланган. Бундай қурилмалар *автотебраниш системалари*, уларда юзага келувчи тебранишлар эса, *автотебранишлар* деб номланган.

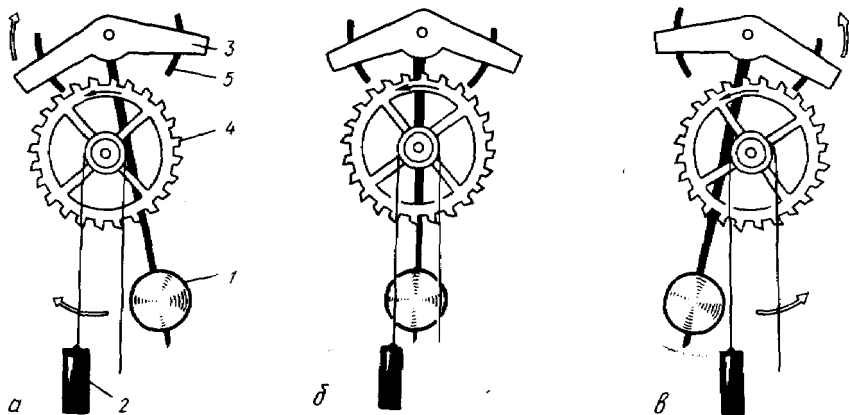
Ҳар қандай автотебраниш системаси уч қисмдан иборат:

а) тебраниш системасининг ўзи; б) энергия манбаи; в) «клапанлар».

«Клапан»нинг ишини тебраниш системаси бошқаради. Тебраниш системаси билан «клапан» орасидаги боғланиш «тескари боғланиш» деб юритилади.



24- расм



25- расм

Автотебранишлар назарияси Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси, А. А. Андроновлар ва уларнинг шоғирдларининг ишларида ишлаб чиқилган. «Автотебраниш», «Автотебраниш системалари» терминлари фанга академик А. А. Андронов томонидан киритилган.

**2. Маятникли соат механик автотебраниш системаси сифатида.** Голланд физиги Х. Гюйгенс 1657 й. ихтиро қилган маятникли соат энг кўп тарқалган механик автотебраниш системаси ҳисобланади.

Маятникли соатларнинг асосий элементлари (25-а расм): 1 «Ер-маятник» тебраниш системаси, 2 — кўтарилган юк (ёки буралган пружина) — энергия манбаи, 3 анкер ва 4 юритувчи ғилдиракдан иборат «клапан» — соат тепкиси. Анкернинг 5 қисмлари палетталар дейилади.

Маятникнинг бошланғич туртки билан ҳосил қилинган тебранишларида, унга берилган энергия ишқаланиш туфайли қайтариб бўлмайдиган энергияга айланади ва у, эркин тебранишлар тактига мослаб туртиб турилмаса, албатта тўхтайди.

Маятникни туртиб туриш анкернинг палетталари орқали амалга оширилади. Бунинг қандай юз беришини кўрайлик.

Юк (ёки пружина) юритувчи ғилдиракни айланишга мажбур этади. Аммо ғилдиракнинг айланишига анкернинг палетталари тўсқинлик қилади, улардан бири (бизнинг ҳолда чапкиси) юритувчи ғилдирак тишлари орасига кирган бўлади (25-а расм). Маятник чапга оға бошлаганда (25-б расм), у чапки палеттани юритувчи ғилдирак тишлари орасидан чиқаради, натижада ғилдирак чапга бир тишга айланиш имкониятини олади. Юритувчи ғилдирак айланганда унинг тиши чап палеттанинг қиялиги бўйича сирпаниб, уни юқорига ва у билан бирга маятникни чапга итаради. Бу моментда маятник мувозанат ҳолатдан ўтади.

Маятник чапдан ўнгга ҳаракатланиб, мувозанат ҳолатдан ўтишида (25-в расм), ўнг палетта тишлар орасидан чиқади ва

юритувчи ғилдирак яна бир тишга бурилади. Юритувчи ғилдирак айланишида унинг тиши ўнг палеттанинг ён қиялиги бўйича сирпаниб, уни юқорига ва у билан бирга маятникни ўнгга итаради. Кўрамизки, маятник бир давр ичида икки марта чап палеттадан чапга ва ўнг палеттадан ўнгга туртки олиб, деярли эркин ҳаракатланади.

1. Автотебраниш системасининг блок-схемасини чизинг ва унинг айрим блоклари вазифасини тушунтиринг.
2. Маятникли соат механизмининг асосий элементларини айтинг ва унинг ишлаш принципини тушунтиринг.

## 11-§. ЭЛЕКТР АВТОТЕБРАНИШ СИСТЕМАСИ

Ҳозирги замон техникасида электр автотебраниш системалари кенг тарқалган. Мисол тариқасида синусоидал электр тебранишлари автогенераторини кўрайлик. Бундай генераторлар доимий ток энергиясини ҳар хил частотали ўзгарувчан ток энергиясига айлантириб беради.

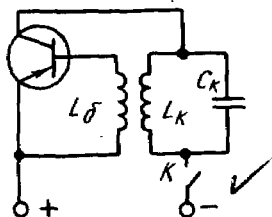
1. **Генераторнинг электр схемаси.** Синусоидал электр тебранишлари автогенераторларининг схемалари кўп бўлишига қармай, уларнинг ишлаш принципи бир хил.

Қуйидаги 26-расмда соддалаштирилган схемаси келтирилган автогенераторда «клапан» ролини транзистор бажаради. Схемадан кўринадики, тебраниш контури доимий ток манбаига транзистор билан кетма-кет равишда уланади. Транзисторнинг эмиттер ўтиши  $L_б$  ғалтак орқали тебраниш контури билан индуктив боғланган. Бу ғалтак *тесқари боғланиш ғалтаги* дейилади. Генераторни улаб, электрон осциллограф ёрдамида тебраниш контурида электр тебранишлари ҳосил бўлганини осонгина кўриш мумкин (27-расм).

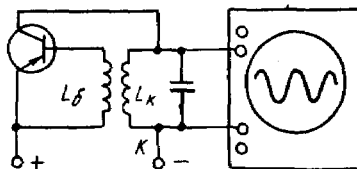
2. **Автогенераторнинг ишлаш принципи.** Автогенераторнинг ишлашини қуйидагича тушунтириш мумкин. Занжир уланганда транзистор орқали  $i$  ток импульси ўтиб, тебраниш контурининг  $C_к$  конденсаторини зарядлайди, натижада контурда

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

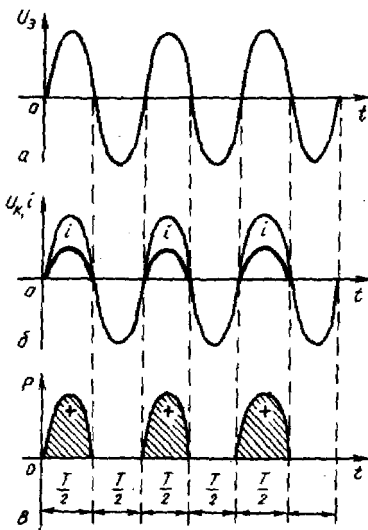
частотали эркин электр тебранишлари юзага келади. Агар контур изоляцияланган бўлганда эди, контурга берилган энергиянинг



26- расм



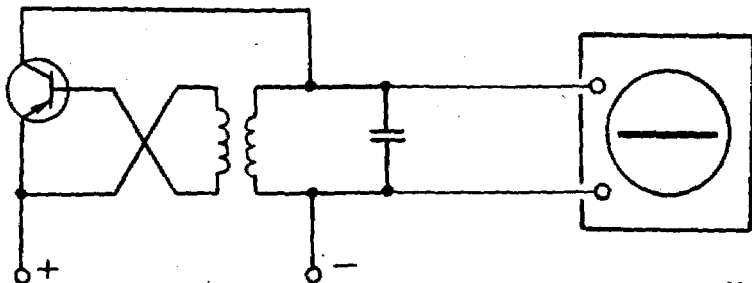
27- расм



28- расм

тебранишларнинг ярим даври ичида давом этувчи ток импульслари кўрсатилди). Транзистордан ўтувчи ток импульсларининг частотаси контурдаги тебранишлар частотаси билан бир хил, ва улар контурга ундаги конденсатор зарядланаётган моментларда етиб келади (28-б расм). Шунинг учун транзистордан ўтувчи ток импульслари конденсаторни қўшимча зарядлайди ва контур энергиясини тўлдиради. 28-в расмдаги штрихланган юзлар ҳар тебраниш даврида контурга бериладиган энергия ундаги энергияга пропорционалдир. Манбадан контурга бериладиган энергия ундаги энергия сарфини компенсациялайди, шунинг учун контурдаги тебранишлар сўнмайди.

**3. Автогенератор ишлашининг икки шarti.** Агар ишлаётган автогенераторнинг тескари боғланиш ғалтаги  $180^\circ$  га бурилса (29-расм), осциллограммадан кўринишича, генератор ишламай кўяди. Бунинг боиси шундаки, тескари боғланиш ғалтагининг  $180^\circ$  га бурилиши эмиттер ўтишидаги  $U_3$  ўзгарувчи кучланишнинг тебраниш фазасини  $\pi$  га ўзгаришга олиб келади (30-а расм). Энди

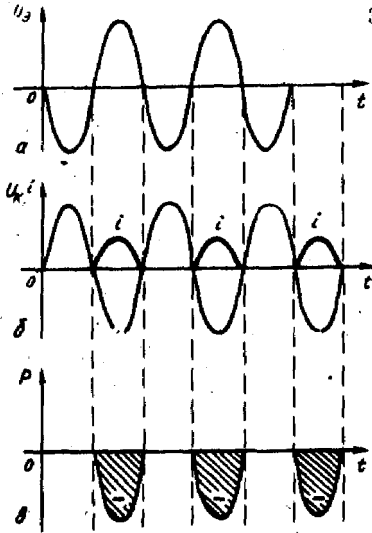


29- расм

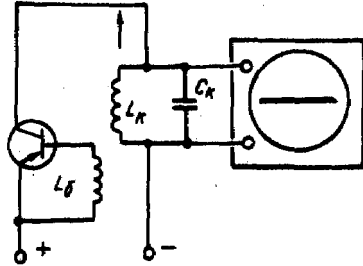
кайтариб бўлмайдиган ички энергияга айланиши туфайли, ундаги тебранишлар сўнар эди. Аммо контур  $L_6$  тескари боғланиш орқали транзисторнинг эмиттер ўтиши билан боғланган. Шунинг учун контур ғалтадан оқувчи токнинг ўзгарувчи магнит майдони тескари боғланиш ғалтагидаги (трансформаторнинг иккиламчи ўрамидаги сингари)  $U_3$  ўзгарувчи кучланиш индукциялайди (28-расм). Бу кучланиш таъсирида эмиттер ўтишнинг электр майдони гоҳ кучаяди, гоҳ сўсаёди, транзистор эса, гоҳ очилади, гоҳ беркилади.

Транзистор очик бўлган вақт оралиғида ундан, давомийлиги транзисторнинг иш режимига боғлиқ бўлган, ток импульслари ўтади (28-б расмда контурдаги

30- расм



31- расм



транзистордан ўтувчи ток импульслари контурдаги  $U_k$  кучланиш тебранишларнинг манфий ярим даврига тўғри келади (30-б расм).

Контурдан ҳар бир импульс ўтишида электр тоқининг бажарган иши манфий бўлади (30-а расм). Бу ток импульслари контур энергиясини тўлдирмайдигина эмас, балки, аксинча, уни камайтиришини англатади. Натижада контурда юзага келган эркин тебранишлар жуда тез сўнади. Шунинг учун *мусбат* (27, 28-расмга к.) ва *манфий* (29, 30-расмга к.) тескари боғланиш ҳақида гапиришади.

Агар мусбат тескари боғланишда ишлаётган автогенератор контуридаги ғалтак билан тескари боғланиш ғалтаги орасидаги масофа секин-аста орттирилса, автотебранишлар амплитудаси камаёди. Ғалтакларнинг айрим жойлашувида тебранишлар тўхтабди (31-расм). Бу ҳолатда тескари боғланиш кучсиз ва ҳар даврда контурга келадиган энергия қайтарилмайдиган ички энергияга айланган энергиядан кичик бўлади. Шундай қилиб, тескари боғланиш шундай бўлиши керакки, биринчидан, эмиттер ўтишидаги кучланиш контурдаги кучланиш билан бир хил фазада ўзгарсин. Бу ҳолдаги тескари боғланиш *мусбат* бўлади. Бу — генератор ўз-ўзини уйғотишнинг *фазавий шартидир*: иккинчидан, тескари боғланиш контурга, ундаги қайтарилмайдиган энергия сарфини тўлиқ қоплайдиган энергия келишини таъминласин. Бу ўз-ўзини уйғотишнинг *амплитудавий шarti* деб юритилади.

?

1. Автогенераторнинг схемасини чизинг ва унинг ишлаш принцибининг тушунтиринг.
2. Автогенератор ишлашининг фазавий шarti қандай?
3. 28- ва 29- расмларнинг қай бирида мусбат, қай бирида манфий тескари боғланиш принципи тушунтирилади?
4. Автогенератор ишлашининг амплитудавий шarti нимадан иборат?

**1. Автотебранишларнинг эркин тебранишлардан фарқи.** Юқорида қараб чиқилган автотебраниш системасида сўнмас, деярли гармоник тебранишлар пайдо бўлади ва хоҳлаганча узок вақт давом этади. Автотебранишларнинг ҳамма вақт сўнувчи эркин тебранишлардан асосий фарқи ана шунда. Тебранишлар автотебраниш системасига ташқаридан келтирилмайди, балки тебраниш системасининг ўзида юзага келади ва унга кирувчи манбаининг энергияси ҳисобига давом этади. Хусусан, соатдаги маятникнинг тебранишлари кўтарилган тошнинг (буралган пружинанинг) потенциал энергияси ҳисобига давом этади. Электромагнит тебранишлари автогенераторидаги тебранишлар электр энергия манбаи ҳисобига сақланади.

Юқорида айтилганлар автотебраниш системаларини ва автотебранишларни қуйидагича аниқлаш имконини беради:

**Ташқи даврий таъсир бўлмаганда ҳам ўзида даврий тебранишлар ҳосил қиладиган ва уларни хоҳлаганча узок вақт давом эттирадиган системалар автотебраниш системалари, уларда юзага келувчи тебранишлар — автотебранишлар дейилади.**

**2. Автотебранишларнинг юзага келиши.** Автотебранишлар юзага келиши учун жуда кичик бўлса-да, бошланғич туртки бўлиши керак. Бунинг сабаби шундаки, тебраниш системасида, аввало, эркин тебранишлар пайдо бўлиши керак, улар кейинчалик «клапанни» ва у билан бирга бутун автотебраниш системасини ҳаракатга келтиради, натижада сўнмас автотебранишлар юзага келади. Бошланғич турткининг зарурлиги, айниқса, маятникли соат мисолида яққол кўринади. Тоши кўтарилган ёки пружинаси буралган соатнинг маятниги туртиб юборилмагунча тебранмайди.

Электромагнит тебранишлар автогенераторида эса ток манбаини улаш билан бошланғич туртки берилади.

**3. Автотебранишлар частотаси.** Контурининг индуктивлиги ва сиғимини ўзгартириш мумкин бўлган автогенераторни йиғайлик. Манбани улаб, осциллограф ёрдамида генераторнинг ишлаётганига ишонч ҳосил қиламиз. Конденсатор сиғимини ўзгартириб, тебранишлар частотасининг ҳам ўзгартиришини кўрамиз: сиғим ортганда тебранишлар частотаси камайди, сиғим камайганда эса частота ортади.

Тебраниш контури ғалтагининг индуктивлиги ортганда ҳам частота камайишини, индуктивлик камайганда эса частота ортишини кўрамиз.

Бу тажрибалар автотебранишлар частотаси эркин тебранишлар частотаси каби, тебраниш контурининг индуктивлиги ва сиғими билан аниқланишини кўрсатади.

Ҳар қандай автотебраниш системасида автотебранишлар частотаси тебраниш системасининг параметрларига боғлиқ бўлади. Масалан, соат механизми маятникнинг узунлигини ўзгартириб, унинг тебранишлари частотасининг ўзгаришини кузатамиз.



Автотебранишлар частотаси  $\omega$  тебраниш системасидаги эркин тебранишлар частотаси  $\omega_0$  га яқин.

**4. Автотебранишлар амплитудаси.** Эркин тебранишларни ўрганганимизда биз тебраниш системасига бошланғич туртки билан берилган энергия ундаги тебранишлар амплитудасини аниқлашни кўрган эдик. Автотебранишлар амплитудасининг бошланғич турткига боғлиқ ёки боғлиқ эмаслигини аниқлаймиз. Бунинг учун соат механизмининг маятникига, уни ҳар хил бурчакка оғдириш билан, ҳар хил порция энергия берамиз. Кузатишлар маятникнинг барқарорлашган автотебранишлари амплитудаси бошланғич турткига боғлиқ эмаслигини кўрсатади.

● *Автотебранишлар амплитудаси фақат автотебраниш системасининг параметрларигагина боғлиқ.* Бунга автогенераторда тажриба ўтказиб, осонгина ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Манбанинг кучланишини ўзгартириб, бунда автотебранишлар амплитудаси ҳам ўзгаришини кўрамыз. Кучланиш канча катта бўлса, автотебранишлар амплитудаси ҳам шунча катта бўлади, ва аксинча. *Тебраниш контуридаги электромагнит тебранишлар амплитудаси манбанинг  $U_m$  кучланишига пропорционал* ,:

$$I_m = kU_m,$$

бу ерда  $k$  — пропорционаллик коэффициентли.

Контурдаги тебранишларни гармоник деб ҳисоблаш мумкинлиги сабабли,

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

бўлади. Бундан ташқари биз кўрдикки, тесқари боғланиш ғалтаги билан тебраниш контури ғалтаги орасидаги масофа орттирилганда автотебранишлар амплитудаси камайди. Бинобарин, автотебранишлар амплитудаси тесқари боғланишга боғлиқ. Тебраниш контурининг қаршилиги ўзгарганда ҳам тебраниш амплитудаси ўзгаради.

● *Шундай қилиб, барқарорлашган автотебранишлар амплитудаси бошланғич шартларга боғлиқ эмас ва автотебраниш системасининг параметрлари билан аниқланади.*

- ?
1. Қандай тебраниш системалари автотебраниш системаси дейилади?
  2. Автотебранишлар частотаси нимага боғлиқ?
  3. Автотебранишлар амплитудаси нима билан аниқланади?
  4. Нима сабабдан автотебраниш системасида тебранишлар юзага келиши учун бошланғич туртки керак?
  - 5\*. Нима сабабдан автотебраниш системасидаги тебранишлар деярли гармоник деб айтилади? Нега деярли?

### 13-§. ТЕБРАНИШЛАР МОДУЛЯЦИЯСИ

**1. Модуляция ҳақида тушунча.** Қуйидаги гармоник тебраниш

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

вақтга боғланиб ўзгармайдиган учта катталиқ —  $I_m$  — амплитуда,  $\omega$  — частота ва  $\varphi_0$  — бошланғич фаза билан характерланади. Бу

катталикларнинг ҳар бирини автотебраниш системасининг у ёки бу параметрига таъсир этиш билан ўзгартириш мумкин. Бу жараён тебранишларни модуляциялаш дейилади. Қайси катталик ўзгартирилишига қараб амплитудавий, частотавий ва фазовий модуляциялаш амалга оширилиши мумкин.

● Тебранишлар амплитудаси, частотаси ёки фазасини аниқ қонуниятлар бўйича тебранишлар частотасидан анча кичик частота билан ўзгартириш жараёни, мос ҳолда, амплитудавий, частотавий/ёки фазовий модуляция дейилади. Модуляциялашнинг ҳар қандай усулида параметрларнинг ўзгартириш тезлиги етарлича секин бўлиши керак. Ўзгартириш шу даражада секин бўлиши керакки, тебранишлар даври ичида модуляцияланувчи параметр деярли ўзгармай қолсин.

Амплитудавий модуляциялашни батафсилроқ кўрайлик. Биз олдинги параграфлардан биламизки, контурдаги тебранишлар амплитудаси генератор занжиридаги кўчанишга пропорционал:

$$i = k U_m \sin \omega t,$$

бу ерда  $k$  — пропорционаллик коэффициент.

Автогенератордаги электр автотебранишларни амплитудавий модуляциялаш усулларида бири генератор занжирдаги  $U_m$  кўчанишини ўзгартиришдан иборат.

Айтайлик, электр автотебранишларни  $\cos \Omega t$  конун бўйича амплитудавий модуляциялаш зарур бўлсин, бу ердаги  $\Omega$  циклик частота генератордаги асосий тебранишлар частотаси  $\omega$  дан кўп марта кичик. Бундай амплитудавий модуляцияни амалга ошириш учун  $U_m$  доимий кўчаниш манбаига  $\Omega$  частотали

$$U_\Omega = U_m \cos \Omega t$$

кўчаниш манбаини кетма-кет улаш кифоя. Бу ҳолда тўлиқ кўчаниш манбаининг  $U_\Omega$  доимий кўчаниши билан модуловчи сигнал манбаи берадиган  $U_\Omega$  ўзгарувчи кўчанишнинг йиғиндисига тенг:

$$U = U_m + U_\Omega$$

Тўлиқ кўчаниш ўзгарувчи бўлгани учун контурдаги ток кучи ҳам ўзгарувчи бўлади. Контурдаги ўзгарувчи ток кучининг оний қиймати

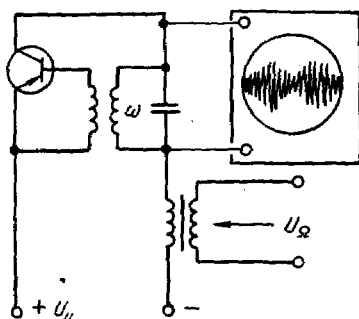
$$i = k (U_m + U_\Omega) \sin \omega t$$

формула билан ифодаланади.

Кўчанишнинг  $U_\Omega$  ўзгарувчи қўшилувчининг бўлиши шунга олиб келадики, контурдаги электр тебранишларнинг амплитудаси модуловчи сигнал частотасига тенг бўлган частота билан ўзгаради.

Электр автотебранишларнинг модуляциясини тажрибада кузатиш мумкин. Бунинг учун 32-расмда тасвирланган схема бўйича қурилма йиғилади. Товуш генератори уланмасдан олдин (бу тажрибада у модуляцияловчи сигнал манбаи бўлади), осцилло-

граф экранда юкори частотали модуляцияланмаган гармоник тебранишлар осциллограммаси кўринади. Товуш генератори уланганда осциллограф экранда амплитудаси бўйича модуляцияланган тебранишлар осциллограммаси пайдо бўлади. Модуляцияловчи сигнал кучланишининг ўзгариши билан модуляция «чуқурлиги» нинг ҳам ўзгариши осциллограф экранда яққол кўринади.



32- расм

Модуляцияловчи тебраниш кучланиши умуман олганда ҳар қандай конун бўйича ўзгариши мумкин. Аммо биз кўрган тажрибаларда модуляцияловчи сигнал гармоник конуният бўйича ўзгаради. Гармоник сигнал билан модуляциялаш *биртоналли модуляция*, гармоник бўлмаган сигнал билан модуляциялаш *кўптоналли модуляция* дейилади.

Айтилганларни ҳулосалаб, амплитудавий модуляцияни қуйидагича таърифлаш мумкин:

**Тебранишлар амплитудасини аниқ конуният бўйича тебранишлар частотасига нисбатан анча кичик частота билан ўзгартириш жараёни амплитудавий модуляция дейилади.**

**2\*.** Амплитудавий модуляцияланган тебранишлар спектри. Модуляцияланган тебранишлар гармоник эмас. Аммо уларни бир нечта гармоник тебранишлар йиғиндиси кўринишида ифодалаш мумкин. Буни кўрсатайлик.

Амплитудавий модуляция ҳолида тебраниш контуридаги ток кучи  $i = k(U_m + U_m \cos \Omega t) \sin \omega t$  ёки

$$i = k(U_m + U_m \cos \Omega t) \sin \omega t$$

конуният бўйича ўзгаради. Ёки йиғиндини ениб оёқ,

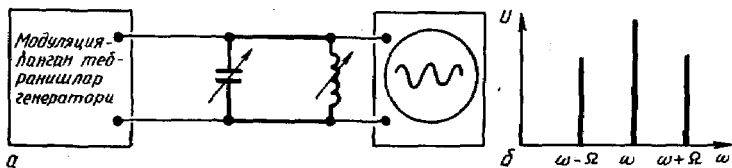
$$i = kU_m \sin \omega t + kU_m \cos \Omega t \sin \omega t.$$

Иккинчи ҳолдаги  $\cos \Omega t \cdot \sin \omega t$  кўпайтмани тригонометриянинг маълум  $\cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)]$  формуласи асосида алмаштираёқ,

$$i = kU_m \sin \omega t + \frac{1}{2} kU_m \sin(\omega + \Omega)t + \frac{1}{2} kU_m \sin(\omega - \Omega)t$$

йиғиндига эга бўламиз. Бу муносабатдан кўринадики, модуляцияланган тебраниш частоталари  $\omega - \Omega$ ,  $\omega$ ,  $\omega + \Omega$  бўлган учта гармоник тебраниш йиғиндисига тенг. Бу ерда  $\omega$  — *асосий ёки элтувчи частота*,  $\omega + \Omega$  ва  $\omega - \Omega$  эса *ён частоталар дейилади*.

Асосий ва ён частотали тебранишларнинг реал мавжудлигини тажрибада аниқлаш мумкин. Бунинг учун модуляцияланган тебранишни электр сизимини ва индуктивлигини бир текис ўзгартириш мумкин бўлган тебраниш контурига бериш керак



33- расм

(33-а расм). Контурнинг индуктивлиги ва сифимини бир тæкис ўзгартириб осциллограф экраннда кетма-кет равишда частоталари  $\omega - \Omega$ ,  $\omega$ ,  $\omega + \Omega$  бўлган гармоник тебранишлар осциллограммасини кўрамиз. Осциллограммадан ён частотали тебранишлар амплитудаси асосий частотали тебранишлар амплитудасидан кичик экани кўринади.

33-б расмда модуляцияланган тебраниш спектри тасвирланган.

- ?
1. Модуляцияланган тебранишлар автогенераторининг схемасини чизинг ва унинг ишлашини тушунтиринг.
  2. Агар модуляцияловчи сигнал П-симон шаклда бўлса, тебранишлар амплитудаси қандай ўзгаради?

### III БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Ташқи даврий таъсир бўлмаганда ҳам ўзида даврий тебранишлар ҳосил қиладиган ва уларни хоҳлаганча узоқ вақт давом эттирадиган системалар автотебраниш системалари, уларда юзага келувчи тебранишлар — автотебранишлар дейилади.

2. 26-расмда тасвирланган электромагнит тебранишлари автогенераторида олинadиган автотебранишлар гармоникдир. Шунинг учун уларга гармоник тебранишларни ифодалашда фойдаланилган тушунча ва катталикларни қўллаш мумкин.

3. Барқарорлашган автотебранишлар частотаси фақат автотебраниш системаси параметрларигагина боғлиқ.

4. Автотебраниш системасида тебранишлар қўзғалиши учун, албатта, бошланғич турткининг (жуда кичик бўлса ҳам) бўлиши шарт, ammo барқарорлашган автотебранишлар амплитудаси бошланғич турткига боғлиқ эмас, балки системанинг параметрлари билан аниқланади.

5. Автотебранишлар қўзғалиши учун тескари боғланиш шундай бўлиши керакки, куйидаги фазалар ва амплитудалар шarti бажарилсин:

а) эмиттер ўтишидаги кучланиш контуридаги кучланиш билан бир хил фазада кириши керак;

б) контурда бир давр ичида қанча энергия қайтариб бўлмайдиган энергияга айланган бўлса, унга бир давр ичида айнан шунча энергия берилиши керак.

6. Тебранишлар амплитудасини аниқ қонуният бўйича тебранишлар частотасига нисбатан анча кичик частота билан ўзгартириш жараёни *амплитудавий модуляция* дейилади.

## IV б о б. МАЖБУРИЙ ТЕБРАНИШЛАР

Тибраниш системасида даврий ўзгарувчи ташки куч ёки даврий ўзгарувчи ташки кучланиш таъсирида юзага келадиган тебранишлар мажбурий тебранишлар дейилади.

Масалан, вибратор таъсирида пружинали маятник мажбурий тебранишлар қилади (34-расм).

Мажбурий тебранишлар хаётда жуда кўп учрайди. Ишловчи барча машиналарнинг корпуслари ва улар ўрнатилган тагликлар мажбурий тебранишлар қилади. Электрон-нур трубкасидаги электрон нури ҳам мажбурий тебранишлар қилади.

Мажбур этувчи куч ёки кучланиш ҳар қандай қонун бўйича ўзгариши мумкин. Аммо биз, фақат гармоник қонуният бўйича ўзгарувчи

$$f = F_m \sin \omega t, U = U_m \sin \omega t$$

куч ёки кучланиш таъсирида тебраниш системасида юзага келувчи мажбурий тебранишларни ўрганамиз, бу ерда  $\omega$  — мажбурий тебранишлар частотаси (эркин тебранишлар частотаси  $\omega_0$  билан чалкаштирмаслик керак).

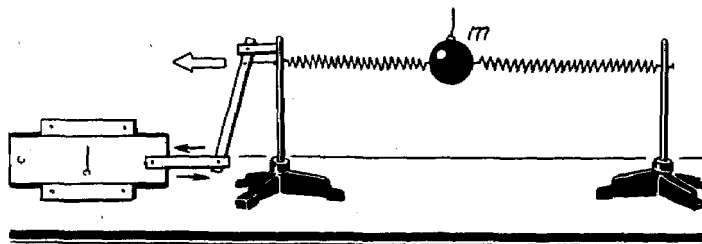
Мажбурий электромагнит тебранишларга синусоидал қонун бўйича ўзгарувчи ва саноатда, қишлоқ хўжалигида ҳамда кундалик хаётда ишлатиладиган ўзгарувчан ток мисол бўла олади.

### 14-§. МАЖБУРИЙ ТЕБРАНИШЛАРНИНГ УМУМИЙ ҚОНУНИЯТЛАРИ

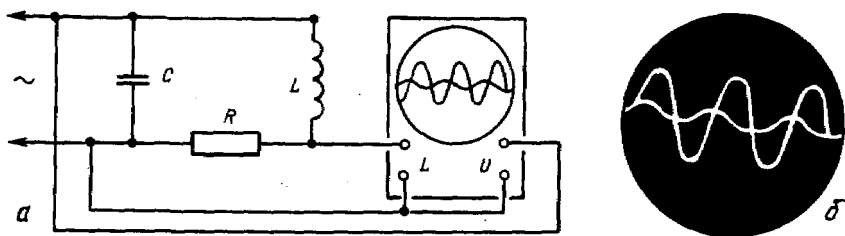
Мажбурий тебранишлар механик ёки электромагнитик бўлиши мумкин. Аммо, табиати ҳар хил бўлишига қарамай, улар бир хил умумий қонуниятларга эга. Ана шу қонуниятлардан айримларини кўрайлик.

**1. Мажбурий тебранишлар частотаси.** Бизга маълумки, эркин ва автотебранишлар частотаси тебраниш системасининг параметрлари билан аниқланади.

Мажбурий тебранишлар частотаси нимага ва қандай боғланганлигини аниқлаймиз. Бунинг учун 34-расмда тасвирланган қурилмани йиғамиз. Қулисанинг тебранишлари частотасини, демак, мажбур этувчи куч частотасини ўзгартириб, мажбурий тебранишлар частотаси ҳам ўзгаришини кўрамиз: мажбур этувчи куч частотаси ортса, мажбурий тебранишлар частотаси ҳам



34-расм



35- расм

ортади, ва аксинча, Тебранувчи жисм массасини ёки пружина қаттиқлигини ўзгартириб, тажрибани қайтарсак, мажбурий тебранишлар частотаси, эркин тебранишлардаги каби тебраниш системасининг параметрларига эмас, балки, бу ҳолда ҳам мажбур этувчи куч частотасига боғлиқлиги аниқланади.

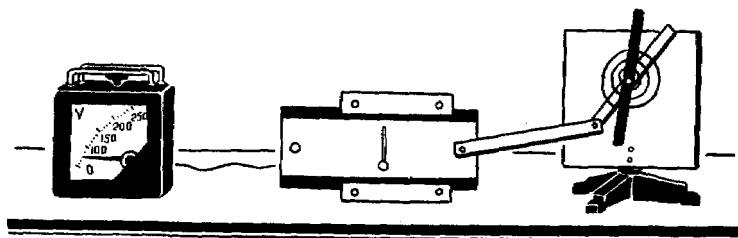
Тебраниш контурини ўзгарувчи частота генераторига улаймиз. Тебраниш контуридаги ва мажбур этувчи ЭЮК генераторидаги тебранишларни кузатиш мақсадида занжирга қўшнурли осциллографни улаймиз (35-расм). Осциллографнинг ўнг клеммаларига мажбур этувчи кучланиш манбаидан, чап клеммаларга эса тебраниш контуридан кучланиш берамиз. Осциллограммаларни таққослаб, мажбурий тебранишлар частотаси мажбур этувчи кучланиш частотасига тенглигини кўрамиз (осциллограф экранига бир хил сондаги дўнгликлар ва чуқурликлар жойлашади). Мажбур этувчи кучланиш частотаси ўзгарса, мажбурий тебранишлар частотаси ҳам ўзгаради.

*Тажрибалар мажбурий тебранишлар частотаси мажбур этувчи тебранишлар частотасига тенглигини кўрсатади.*

**2. Мажбурий тебранишлар фазаси.** Мажбурий тебранишлар фазаси билан мажбур этувчи куч (ёки кучланиш) фазасининг ўзаро боғланишини аниқлайлик. Бунинг учун механик ва электр тебраниш системаларидаги мажбурий тебранишларни қараб чиқамиз.

Бурама маятник пружинасининг бир учини маятник ўқиға кийгизилган оқ пластинка орқали вибратор кулисасига бириктира- миз (36-расм). Вибратор ишлаганда кулиса ёрдамчи (оқ) пластинка ва пружина орқали бурама маятникка

$$f = F_m \sin \omega t$$



36- расм

куч билан таъсир этади. Бу куч таъсирида бурама маятник (қора пластинка) мажбурий тебранишлар қилади. Кузатишларнинг кўрсатишича, бурама маятник пластинкаси билан ёрдамчи пластинканинг тебранишлари фазалари бўйича бир-бирига тўғри келмайди. Оқ пластинка мажбур этувчи, қора пластинка эса мажбурий тебранишлар қилади. Тажрибанинг кўрсатишича, мажбурий тебранишлар фазаси мажбур этувчи тебранишлар фазасига тўғри келмайди.

Мажбур этувчи куч тебранишлари ва мажбурий тебранишлар тезлиги орасидаги фазалар фарқини  $\varphi$  билан белгиләб,

$$v = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

муносабатни ёзиш мумкин.

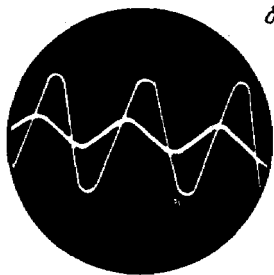
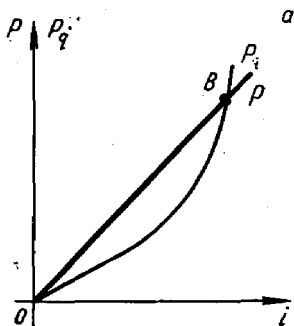
Тебраниш контуридаги токнинг мажбурий тебранишлари фазаси билан мажбур этувчи кучланиш тебранишлари фазаси орасидаги боғланишни аниқлайлик. Бунинг учун 35-а расмда тасвирланган тажрибани таҳлил қиламиз.

Осциллографнинг ўнг томонидаги кириш клеммаларига мажбур этувчи кучланиш генераторидан, чапки клеммаларга эса, тебраниш контури резисторидан кучланиш берилган. Бу кучланиш ток кучига пропорционал ( $u = iR$ ), бинобарин, иккинчи осциллограмма — контурдаги ток кучининг осциллограммаси.

Бу осциллограммаларни ўрганиш шунга кўрсатадики, улар фазалари бўйича силжиган (35-б расм). Демак, *контурдаги токнинг мажбурий тебранишлари билан мажбур этувчи кучланиш тебранишлари орасида  $\varphi$  фазалар фарқи мавжуд*. Агар мажбур этувчи кучланиш  $u = U_m \sin \omega t$  қонун бўйича ўзгарса, токнинг мажбурий тебранишлари  $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$  қонун бўйича ўзгаради. Шунга эътиборни қаратамизки, тебраниш контуридаги мажбур этувчи кучланиш ва ток кучининг ўзгариш қонунлари пружинали маятникдаги мажбур этувчи куч ва маятник тезлигининг ўзгариш қонунлари каби бўлар экан.

**3. Тебраниш системасида энергиянинг алмашилиши.** Мажбур этувчи тебранишлар манбадан тебраниш системасига узлуксиз равишда оний қуввати  $p = iu$  бўлган энергия келиб туради. Тебраниш контурига келувчи энергия бошланғич моментда қисман контурда юзага келувчи тебранишлар энергиясига айланади, қисман қайтарилмайдиган ички энергияга айланади ва атроф фазога сочилади. Қайтарилмайдиган иссиқликка айланган энергиянинг оний қуввати  $p_a = i^2 R$  га тенг.

Контурдаги тебранишлар амплитудаси ортиши билан ундаги ток кучи, контурга келувчи энергия ва қайтарилмайдиган иссиқликка айланган энергия ортади. Контурга келувчи ва қайтарилмайдиган иссиқликка айланган энергиялар оний қувватларининг ўзгариш графиклари 37-а расмда келтирилди. Контурга келувчи энергиянинг оний қуввати ток кучига, иссиқликка айланган энергиянинг оний қуввати ток кучининг квадратига пропорционаллиги туфайли, қандайдир вақт давомида контурга келувчи бутун энергия қайтариб бўлмайдиган иссиқликка айлана-



37- расм

ди, контурдаги тебранишлар амплитудаси эса ортмайди. Контурда стационар мажбурий тебранишлар баръ рорлашади.

?

1. Контурдаги мажбурий тебранишлар частотаси унинг параметрларига боғлиқми?
2. Тебраниш контури  $u = U_m \sin \omega t$  мажбур этувчи кучлиниш манбаига уланган. Контурдаги мажбурий тебранишлар частотаси нимага тенг?

#### 15- §. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ГЕНЕРАТОРИ

Вақт ўтиши билан ўзгарувчи ҳар қандай ток *ўзгарувчан ток* дейилади. Синус қонуни бўйича ўзгарувчи, яъни 50 Гц частотали синусоидал ўзгарувчан ток энг кўп тарқалган.

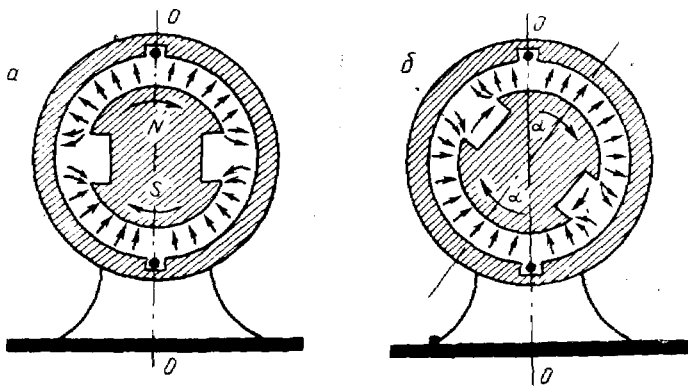
Занжирда синусоидал ток мавжуд бўлиши учун ундаги ток манбаи ҳам занжирда синусоидал ўзгарувчи электр майдон ҳосил қилиши керак. Манбанинг ўзгарувчи электр майдони таъсирида металл ўтказгичлардаги эркин электронлар (газ ва электролитлардаги ионлар, ярим ўтказгичлардаги тешиқча ва электронлар) тебранади. Бу тебранишлар мажбурий тебранишлар бўлади. Занжирда ўзгарувчан ток юзага келади ва у ўтказгичлар атрофида ўзгарувчи магнит майдони ҳосил қилади. Бинобарин, ўзгарувчан ток — мажбурий электромагнит тебранишлар экан.

##### 1. Ўзгарувчан ток индукцион генераторининг тузилиши.

Механик энергияни электр энергияга айлантирувчи электр машиналари *генераторлар* дейилади. Ҳозирги замон энергетикасида электромагнит индукция ҳодисаси асосида ишлайдиган индукцион генераторлардан фойдаланилади.

Замонавий ўзгарувчан ток генераторининг магнит системаси 38-расмда кўрсатилди. Юмшоқ пўлатдан тайёрланган цилиндр шаклидаги ковакда доимий магнит (ёки электромагнит) айланади. Уни *ротор* деб юритилади. Қўзғалмас ўзак, ўрамлари билан *статор* дейилади. Статорнинг махсус қилинган ўймаларига кетма-кет уланган рамкалар шаклидаги ўтказгичлар жойлаштирилади (38-б расмда соддалаштириш мақсадида битта рамка кўрсатилди). Статор ва ротор шундай қилинганки, улар оралиғида





38- расм

магнит майдон индукцияси

$$b = B_m \cos \alpha$$

қонун бўйича ўзгаради, бу ерда  $\alpha$ —рамка текислиги билан  $B_m$  магнит индукция вектори орасидаги бурчак.

**2. Генераторнинг ишлаш принципи.** Ротор  $\omega$  бурчак тезлик билан бир текис айланганда  $\alpha$  бурчак вақтга пропорционал равишда ортади:

$$\alpha = \omega t$$

Шунинг учун

$$b = B_m \cos \omega t$$

бўлади. Ғалтак контуридан ўтувчи магнит оқими

$$\Phi = bS = SB_m \cos \omega t$$

га, унинг ўзгариш тезлиги эса

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\omega SB_m \sin \omega t$$

га тенг бўлади. Бу ҳолда статорнинг ўрамида ЭЮК

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

ёки

$$e = \omega SB_m \sin \omega t$$

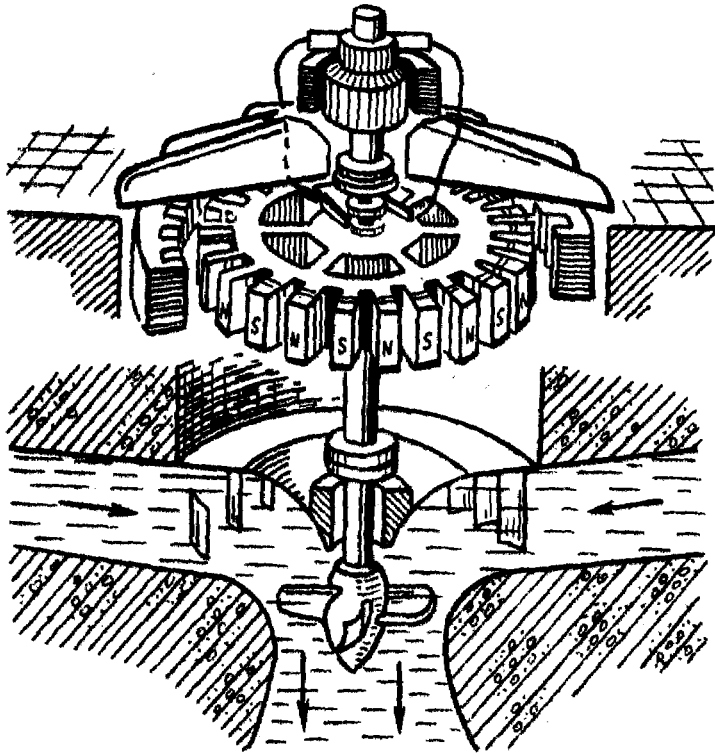
бўлган индукцион электр майдон пайдо бўлади. ЭЮК  $\sin \omega t = 1$  да Максимал бўлгани сабабли,  $\mathcal{E}_m = \omega SB_m$  бўлади ва

$$e = \mathcal{E}_m \sin \omega t$$

топилади. Шундай қилиб, бир жуфт қутбларга эга бўлган ротор  $\omega$  частота билан бир текис айланганда статорнинг ўрамида ЭЮК



39- расм



40- расм

ана шундай частота билан гармоник конун бўйича ўзгарувчи электр майдон индукцияланади.

**3. Ўзгарувчан ток генераторларининг конструкцияси.** Биз ротори бир жуфт кутбга эга бўлган энг оддий генераторнинг тузилиши ва ишлаш принципи билан танишдик. Бу генераторда ишлаб чиқилган ўзгарувчан токнинг даври роторнинг тўла бир марта айланиш вақтига тенг. Бундай генератор ёрдамида 50 Гц частотали ўзгарувчан ток олиш учун ротор 50 айл/с ёки 3000 айл/мин тезлик билан айланиши керак. Бундай генераторларнинг бирламчи юритувчиси сифатида буг ёки газ турбиналари ишлатилади. Замонавий тез айланувчи генераторнинг ротори 39-расмда кўрсатилди. Бу ўймаларига магнитланувчи ўрам жойлаштирилган цилиндр шаклидаги пўлат ўзакдан иборат.

Гидроэлектр станцияларида бирламчи юриткич сифатида нисбатан секин айланувчи сув турбиналаридан фойдаланилади. Шунинг учун стандарт 50 Гц частотали ўзгарувчан ток олиш учун бундай генераторларда кўп сондаги кутблар жуфтга эга бўлган роторлар ишлатилади (40-расм).

Масалан, Братск ГЭС идаги генераторларнинг роторлари 24 жуфт кутбларга эга ва 125 айл/мин тезлик билан айланади.

Генераторнинг статорлари магнит ўтказувчи, гилоф ва станинадан иборат. Уярмавий Фуко токлари пайдо бўлмаслиги учун статорнинг магнит ўтказгичи бир-бирдан изоляцияланган алоҳида пўлат пластинкалардан йиғилади. Ротор ўрамларини доимий ток билан таъминлаш учун унинг ўкига *қўзғатувчи* деб номланган кичик қувватли доимий ток генератори ўрнатилади.

Генератор ишлаганда статор ва роторнинг ўрамларидан ўтувчи токдан иссиқлик ажралиши туфайли улар қизийди. Генераторнинг қуввати қанча катта бўлса, ундан шунча кўп иссиқлик ажралади.

Мисол учун, қуввати 800 МВт бўлган замонавий генератордан, ҳар бирининг қуввати 1 кВт бўлган ўн мингта электр плиткадан ажраладиган иссиқлик микдорига тенг иссиқлик ажралади. Генераторнинг ўрамлари интенсив совитиб турилмаса, улар эриб кетади. Қуввати 100 МВт гача бўлган генераторни совитиш учун статор ва ротор оралигидан ҳамда улардаги махсус каналлар орқали яхшилаб тозаланган ҳаво ҳайдалади. Генератордан ўтган ҳаво ҳаво совиткичга келади ва унда совитилгач, яна генераторга юборилади. Янада қувватлироқ генераторларда совитувчи газ сифатида водороддан фойдаланилади. Бу мақсадда водород олинишининг боиси шундаки, унинг иссиқлик сифими ҳавоникидан 14 марта катта, иссиқлик ўтказувчанлиги эса 6 марта катта. Шунинг учун водороддан фойдаланиш генераторнинг яхшироқ совитилишини таъминлайди.

Замонавий генераторларда кейинги пайтларгача комбинациялашган совитиш системалари қўлланилади. Бундай генераторларда электр ўтказмайдиган дистилланган сув изоляцияловчи материалдан килинган трубкалар орқали статор ўрамлари ҳисобланувчи ичи бўш ўтказгичларга юборилади ва шундай трубкалар орқали ташқарига чиқариб юборилади. Турбогенераторнинг қолган қисмлари барибир яна водород билан совитилади.

?

1. 38-расм бўйича ўзгарувчан ток индукцион генераторининг тузилишини тушунтиринг.
2. Тез ва секин айланадиган роторлар бир-бирдан нимаси билан фарқланади?
3. Қўзғатувчининг вазифаси нима?

#### 16-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИНГ ҚУВВАТИ

Агар кутблари орасидаги кучланиш

$$u = U_m \sin \omega t$$

синусоидал конун бўйича ўзгарувчи ўзгарувчан ток генераторига

қандайдир нагрузка (масалан, электр двигатель, конденсаторлар батареяси, электр иситкич асбоблари ва х. к.) уланса, 14-§ да исботланганидек, занжирдан

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

ўзгарувчан ток оқади. Бу занжирда оқувчи ўзгарувчан токнинг қуввати қандай ҳисобланади? Ўзгармас (доимий) токнинг қуввати

$$P = IU$$

формула бўйича аниқланар-эди. Ўзгарувчан ток занжири учун бу формулани қўллаб бўлмайди, чунки занжирдаги ток кучи ва кучланиш вақт ўтиши билан ўзгаради. Аммо ток кучи ва кучланиш доимий амплитудага эга бўлганлиги ва улар бирдай ўзгарганлик-лари сабабли қувватнинг ихтиёрий давр ва ихтиёрий сондаги даврлар ичидаги ўртача қиймати бир хил бўлади. Шунинг учун занжирдаги ўртача қувват ҳам доимий бўлади. Бинобарин, ўзгарувчан токнинг қувватини топиш учун бир давр ичидаги ўртача қувватни топиш kifoya:

$$P_T = \frac{A_T}{T},$$

бу ерда  $A_T$  — токнинг бир  $T$  давр ичидаги ўртача иши.

Ўзгарувчан токнинг бир давр ичидаги ишини топиш учун қуйидагича иш тутамиз: даврни кўп сондаги жуда кичик  $\Delta t$  вақт ораликларига ажратамиз. У ҳолда ҳар бир ана шундай кичик вақт оралигида ток кучи ва кучланишини доимий деб ҳисоблаш ва қувватнинг ўрта қиймати учун унинг

$$p = iu$$

оний қийматини олиш мумкин бўлади.

У ҳолда токнинг кичик  $\Delta t$  вақт ичидаги  $\Delta A$  иши

$$\Delta A = p \Delta t = iu \Delta t$$

га тенг бўлади. Ток кучи ва кучланишнинг оний қийматларини юқоридаги ифодага қўйсак,

$$\Delta A = I_m U_m \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega t \Delta t$$

бўлади. Қуйидаги

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

формула бўйича синуслар кўпайтмасини косинуслар айирмасига алмаштирамиз, у ҳолда

$$\Delta A = \frac{1}{2} I_m U_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] \Delta t.$$

топилади. Токнинг бир давр ичидаги иши  $\Delta A$  ишларнинг йиғиндисига тенг:

$$A_T = \Sigma \Delta A = \Sigma \frac{1}{2} I_m U_m [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] \Delta t.$$

Доимий  $I_m$ ,  $U_m$ ,  $\cos\varphi$  катталикларни йиғинди ишорасидан ташқарига чиқарсак ва  $\Sigma I\Delta t = T$  эканини эътиборга олсак,

$$A_T = \frac{1}{2} I_m U_m T \cos\varphi - \frac{1}{2} I_m U_m \Sigma \cos(2\omega t + \varphi) t \Delta t$$

бўлади. Аммо косинус функциянинг бир давр ичидаги ўртача қиймати нолга тенг:

$$\Sigma \cos(2\omega t + \varphi) t \Delta t = 0.$$

Шунинг учун токнинг бир давр ичидаги иши

$$A_T = \frac{1}{2} I_m U_m T \cos\varphi.$$

У ҳолда токнинг бир давр ичидаги ўртача қуввати ( $P_T = A_T/T$ )

$$P_T = \frac{1}{2} I_m U_m \cos\varphi$$

га тенг бўлади.

?

1. Нима сабабдан ўзгарувчан токнинг қувватини ҳисоблаш учун  $P=IU$  формуладан фойдаланиб бўлмайди?

2. Нега ўзгарувчан токнинг бир давр ичидаги ўртача қиймати доимий катталик бўлади?

3. Нега  $\Sigma \cos 2(\omega + \frac{\omega}{T})t$  косинус функциянинг бир давр ичидаги ўртача қиймати нолга тенг?

4\*. Ўзгарувчан ток қувватини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқаринг.

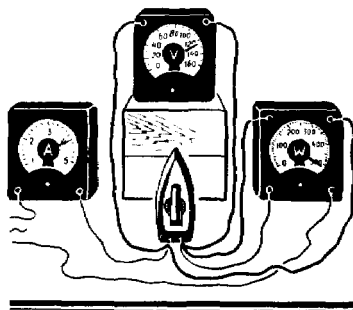
## 17-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОҚ ЗАНЖИРИДАГИ НАГРУЗКА

**1. Актив қаршилик ҳақида тушунча.** Ўзгарувчан ток занжирига электр дазмолни улаймиз. Ток кучи, кучланиш ва қувватни ўлчаш учун, мос ҳолда, амперметр, вольтметр ва ваттметр улаймиз (41-расм). Амперметрнинг стрелкаси 4 А, вольтметр — 125 В ва ваттметр — 500 Вт кўрсатади.

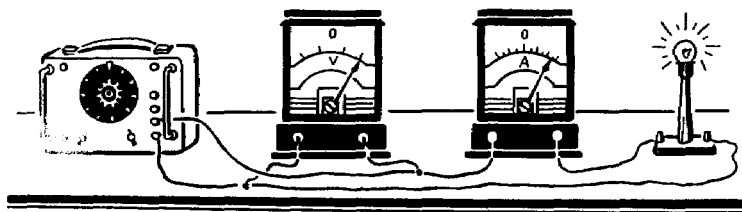
Тажрибанинг кўрсатишича, генератордан занжирга ҳар секундда 500 Ж энергия келади ва тўлиғича энергиянинг бошқа турларига айланади.

Электр энергиясини тўлиғича энергиянинг қайтариб бўлмайдиган бошқа турларига айланттирувчи қурилмалар актив нагрузка, уларнинг қаршилиги эса актив қаршилик деб юритилади.

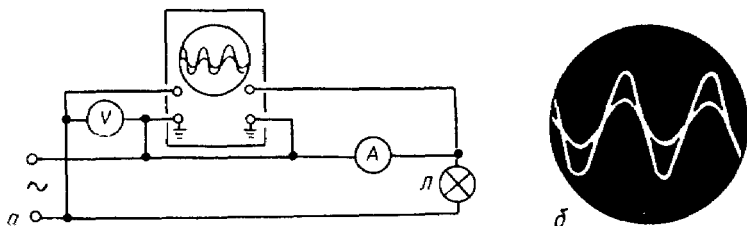
**2. Фазавий муносабатлар.** Паст частотали ўзгарувчан ток генераторига актив қаршилик, масалан, чўгланма лампа улаймиз.



41-расм



42- расм



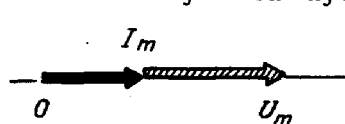
43- расм

Генератор занжирда кучланиши синусоидал конун бўйича ўзгарувчи электр майдон ҳосил қилади. Лампага параллел равишда вольтметр, кетма-кет равишда амперметр улаймиз, уларнинг кўрсатишлари, мос ҳолда, кучланиш ва ток кучига пропорционал бўлади. Занжирни улаб, асбобларнинг стрелкалари нолинчи ва максимал қийматлардан бир вақтда ўтишини кўрамиз (42-расм).

Агар занжирга, 43-расмда кўрсатилгандек, қўшнурли осциллограф уланса, унинг экранидан ток кучи ва кучланишнинг осциллограммалари фазалари бўйича бир-бирига тўғри келишини кўрамиз (43-б расм). Демак, *актив нагрузкали ўзгарувчан ток занжирида ток кучининг тебранишлари фазаси кучланишнинг тебранишлари фазасига мос келади, фазалар силжиши бўлмайди: агар  $u = U_m \sin \omega t$  бўлса,  $i = I_m \sin \omega t$  бўлади.*

Ўзгарувчан ток занжирларидаги, ток ва кучланиш орасидаги фазавий муносабатлар, улар векторлар оркали тасвирланганда, айниқса яққол кўринади (8-§ га қаранг). Бунинг учун ихтиёрий  $oi$  ток ўқини оламиз ва  $O$  нуқтадан  $I_m$  узунликдаги ток кучи векторини қўямиз. Актив қаршиликли занжирда ток кучи ва кучланишнинг тебраниш фазалари бир-бирига мос келиши сабабли, кучланиш вектори ҳам ток кучи вектори каби йўналади (44-расм).

**3. Ток кучи ва кучланишнинг таъсир этувчи қиймати.**



44- расм

Ўтказгичдан ўзгармас (доимий) ток ўтганда ажралувчи иссиқлик миқдорини Жоуль-Ленц қонуни формуласи бўйича ҳисоблаб топиш мумкин. Ўзгарувчан ток ҳолида, ток кучининг оний қиймати узлуксиз равишда

ўзгарганлиги сабабли масала анча мураккаблашади. Аммо  $R$  актив қаршиликли ўтказгичдан ўзгарувчан ток ўтганда ҳар бир  $T$  давр ичида аниқ  $Q_T$  иссиқлик миқдори ажраллади. Бу иссиқлик миқдорини ҳисоблаш учун ток кучининг максимал қийматини ҳам, минимал қийматини ҳам олиб бўлмайди, балки *ток кучининг таъсир этувчи қиймати* деб номланган қандайдир  $I$  оралик қиймат олиниши керак.

Ўзгарувчан токнинг юқоридагидек киритилган таъсир этувчи қиймати

$$Q_T = I^2 RT \quad (1)$$

тенгламани қаноатлантириши керак. Аммо бир давр ичида ажралган  $Q_T$  иссиқлик миқдорини токнинг  $P_T$  ўртача қуввати ва  $T$  давр орқали ифодалаш мумкин:

$$Q_T = P_T T.$$

Занжирнинг актив қаршиликли қисмида фазалар силжиши бўлмаганлиги сабабли ( $\varphi = 0$ )

$$P_T = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi = \frac{1}{2} I_m U_m.$$

бўлади. Шунинг учун

$$Q_T = \frac{1}{2} I_m U_m T. \quad (2)$$

Топилган (1) ва (2) ифодаларнинг ўнг томонларини тенглаштирсак,

$$I^2 RT = \frac{1}{2} I_m U_m T$$

бўлади ёки  $U_m = I_m R$  экани эътиборга олинса, ток кучининг

таъсир этувчи қиймати учун  $I = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{U_m}{R} I_m} = \sqrt{\frac{1}{2} I_m^2}$  ёки

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

ифода келиб чиқади.

Шунингдек,  $U = IR$  га юқорида топилган  $I$  нинг қиймати қўйиб,  $U_m = I_m R$  эътиборга олинса, кучланишнинг таъсир этувчи қиймати учун

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

ифода топилди.

● Шундай қилиб, *синусoidal ўзгарувчан токнинг кучи ва кучланишининг таъсир этувчи қийматлари уларнинг бир давр ичидаги ўртача квадратик қийматига тенг экан.*

Ўзгарувчан ток амперметрлари ва вольтметрлари ток кучи ва

кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари бўйича даражаланади. Ўзгарувчан ток билан ишловчи барча электр машиналари, аппаратлар ва асбобларнинг техник паспортларида ток кучи ва кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари кўрсатилади.

**4. Қувват.** Ўзгарувчан токнинг қуввати формуласини ток кучи ва кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари орқали ифодаalayмиз:

$$P = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cos \varphi,$$

яъни

$$P = IU \cos \varphi$$

Актив қаршиликли ўзгарувчан ток занжирида  $\varphi = 0$  бўлгани учун  $\cos \varphi = 1$  бўлади ва қувват формуласи

$$P = IU \text{ ёки } P = I^2 R$$

кўринишни олади.

● Шундай қилиб, актив қаршиликли ўзгарувчан ток занжири учун қувват формуласининг ток кучи ва кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари орқали ёзилган ифодаси доимий токнинг қуввати формуласидан фарқланмас экан. Бу хулоса токнинг иши ва Жоуль-Ленц қонуни формулаларига ҳам тегишли:

$$A = IUt; Q = I^2 Rt.$$

Юқорида айтилган фикрлар актив қаршилиқни қуйидагича аниқлаш имконини беради.

Ўзгарувчан ток занжирларидаги актив қаршилиқ деб шундай қаршилиққа айтиладики, бу қаршилиқда унга бериладиган электромагнит энергия тўлиғича энергиянинг қайтариб бўлмайдиган бошқа турларига айланади.

Актив қаршилиқ қайтариб бўлмайдиган энергияга айланган электромагнит энергия қувватининг ток кучи таъсир этувчи қийматининг квадратига нисбати билан аниқланади:

$$R = \frac{P}{I^2}.$$

Шуни таъкидлаш муҳимки, ўзгарувчан ток занжирдаги актив қаршилиқ бир вақтда иккита функцияни бажаради: 1) занжирдаги ток кучини чегаралайди ( $R = U/I$ ); 2) унга бериладиган электромагнит майдон энергиясини қайтарилмайдиган энергияга айлантиради.

?

1. Қандай қаршилиқ актив қаршилиқ дейилади?
2. Ток куч ва кучланишнинг максимал ва таъсир этувчи қийматлари орасидаги боғланишларни топинг.
3. Жоуль-Ленц қонуни ўзгарувчан ток учун тўғрими?

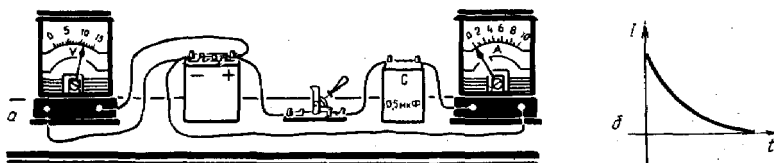


## 18-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИДАГИ КОНДЕНСАТОР

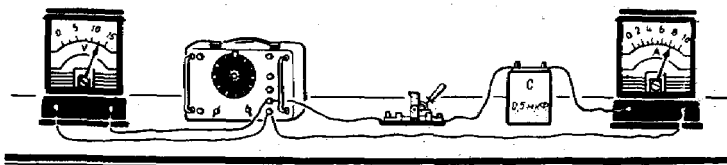
1. Конденсаторли занжирдаги ўзгарувчан ток. Доймий кучланиш манбаига катта сифимли конденсатор ва амперметр улаймиз. Занжирни улаш моментига амперметр стрелкаси бир неча бўлимга оғади ва сўнгра ноль ҳолатга қайтади (45-а расм). Бунинг боиси шундаки, занжир уланганда конденсаторни манба кучланишигача зарядловчи қиска муддатли ток оқади. Конденсатор зарядлангандан сўнг занжирдаги ток тўхтайди (45-б расм).

Агар юкоридагидек конденсаторли занжир (ўзгарувчан токка мўлжалланган асбоблар билан) ўзгарувчан ток манбаига уланса, ундан узлуксиз равишда ток ўтишини кўрамиз (46-расм). Бир қарашда бу ғайри қонуний кўринади: конденсатор диэлектриги билан узилган занжирдаги ток ўтади. Аммо бунинг ажабланарли жойи йўқ: ўзгарувчан ток генераторнинг ўзгарувчи электр майдони таъсирида юзага келувчи мажбурий электромагнит тебранишлардан иборат. Конденсатор биринчи чорак давр давомида зарядланади, унинг пластинкаларида электр зарядлар пайдо бўлади. Иккинчи чорак давр ичида конденсатор зарядсизланади. Сўнгра учинчи чорак давр ичида конденсатор яна зарядланади, тўртинчи чорак давр ичида эса у — зарядсизланади. Занжирдан конденсаторнинг қайта зарядланиш токи оқади.

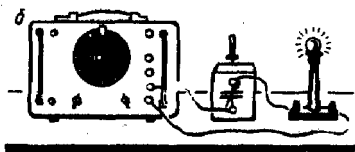
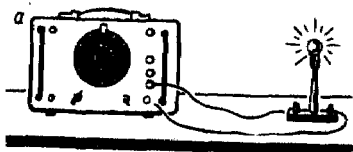
2. Сифим қаршилик. Лаборатория ўзгарувчан ток генераторига чўғланма лампани уласак, у равшан ёнади (47-а расм). Сўнгра лампага конденсаторлар батареясини кетма-кет улаб, бу ҳолда лампа хирароқ ёнишини кўрамиз (47-б расм). Бу занжирдаги ток кучининг камайганлиги, қаршиликнинг эса ортганлиги билан изоҳланади. Демак, конденсатор ўзгарувчан токка бирмунча қаршилик кўрсатади, бу — *сифим қаршилик* деб юритилади ва  $\epsilon$  билан белгиланади. Бу қаршиликнинг сабабчиси конденсатор копламаларидаги зарядларнинг электр майдонидир; бу майдон ток манбаининг майдонига қаршилик қилади. Конденсаторли занжирда икки хил электр майдон мавжуд: генератор майдони ва унга қаршилик қилувчи конденсатор майдони. Сифим қаршилик



45- расм



46- расм



47- расм

нималарга боғлиқлигини аниқлайлик. Бунинг учун частотаси ўзгартириладиган ўзгарувчан ток манбаи, электр сизими ўзгарадиган конденсаторлар батареяси ва ўзгарувчан ток амперметрдан иборат занжир тузамиз (амперметр ўрнига чўғланма лампа олиш мумкин).

Сизим унча катта бўлмаганда амперметр занжирдан бир оз ток ўтаётганлигини кўрсатади. Кучланишни ўзгартирмаган ҳолда электр сизими орттирсак, ток кучи ҳам ортади. Сизимнинг кейинги ортиши ток кучининг ҳам янги ортишига олиб келади. Занжирдаги ток кучининг ортиши унинг сизим қаршилиги камайишини кўрсатади. Тажриба *сизим қаршилиқ конденсаторнинг электр сизимига тескари пропорционал* деб тахмин қилишга имкон беради:

$$X_C \sim \frac{1}{C}.$$

Кучланишни ўзгартирмаган ҳолда ўзгарувчан токнинг частотасини орттира борсак, занжирдаги ток кучи ҳам ортади. Бинобарин, тажриба *сизим қаршилиқ ўзгарувчан токнинг частотасига тескари пропорционал* эканини кўрсатади:

$$X_C \sim \frac{1}{\omega}.$$

Тажриба натижаларини умумлаштириб,

$$X_C \sim \frac{1}{\omega C} \text{ ёки } X_C = k \frac{1}{\omega C}$$

тенгликка эга бўламиз. Бу ердаги  $k$  — пропорционаллик коэффициентини бўлиб, битта бирликлар системасидан фойдаланилганда  $k=1$  бўлади, шунинг учун

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

натижа топилади.

2\*. **Сизим қаршилиқ формуласини келтириб чиқариш.** Тажриба натижаларини умумлаштириш асосида топилган сизим қаршилиқ формуласини математик йўл билан ҳам топиш мумкин. Бунинг учун фақат конденсаторга эга бўлган ўзгарувчан ток занжиридаги ток кучини аниқлаш керак:

$$I_m = \frac{U_m}{X_C}, \text{ бундан } X_C = \frac{U_m}{I_m}.$$

Бизга маълумки, конденсаторли занжирдаги ток кучи конденсатор қопламаларидаги заряднинг ўзгариш тезлиги билан аниқланади, демак, у заряддан вақт бўйича олинган ҳосилага тенг:  $i = q'$ . Конденсаторнинг электр сизими формуласи  $C = q/u$  дан унинг қопламасидаги заряд миқдори учун  $q = Cu$  ёки  $u = U_m \sin \omega t$  эътиборга олинса,

$$q = Cu = CU_m \sin \omega t$$

топилади. Бинобарин,

$$i = q' = CU_m \omega \cos \omega t$$

бўлади. Равшанки,  $\cos \omega t = 1$  да ток кучи максимал ( $i = I_m$ ) бўлади, шунинг учун

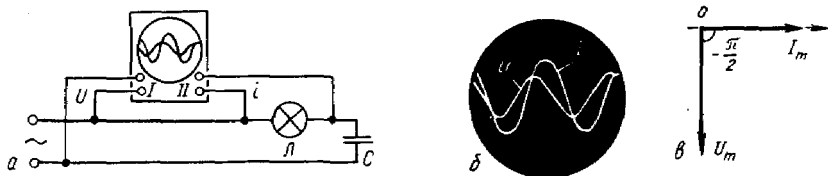
$$I_m = CU_m \omega \text{ ёки } I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}$$

Демак,

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

**3. Фазавий муносабатлар.** Қўшнурли осциллографнинг биринчи жуфт кириш клеммаларини ўзгарувчан ток манбаига улаб (48-а расм), занжирдаги кучланишнинг қандай ўзгаришини кузатиш мумкин. Ток кучининг осциллограммасини кузатиш учун осциллографнинг иккинчи жуфт кириш клеммаларини чўнтакма лампага параллел улаймиз, лампадаги кучланиш занжирдаги ток кучига пропорционал бўлади ( $u = iR$ ). Тажрибанинг кўрсатишича, ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари фазаси бир хил бўлмайди: ток кучининг тебранишлари конденсаторли занжирдаги кучланишнинг тебранишларидан фазаси бўйича  $\pi/2$  га олға силжиган бўлади, бу осциллограммадан яққол кўринади (48-б расм).

Бир қарашда бу ғалатирок туюлади. Аммо тажриба натижалари оддий физик маънога эга: конденсатордаги кучланиш ҳар қандай вақт моментида унинг қопламаларидаги заряд миқдори билан аниқланади. Бу зарядни конденсаторга олдинроқ оқиб келган ток ҳосил қилади. Шунинг учун кучланишнинг тебранишлари ток кучининг тебранишларига нисбатан  $\pi/2$  га кечикади. Бинобарин, агар  $u = U_m \sin \omega t$  бўлса,  $i = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$  бўлади.



48- расм

Ток кучи билан конденсаторли занжирдаги кучланиш орасидаги фазавий муносабатлар 48-в расмдаги вектор диаграммасида тасвирланди. Кучланишнинг тебранишлари ток кучи тебранишларидан фазаси бўйича чорак даврга кечиккани сабабли, кучланиш вектори ток кучи векторига нисбатан —  $\pi/2$  га бурилади.

**4. Энергия алмашиниши.** Факат конденсаторга эга бўлган ўзгарувчан ток занжиридаги қувватни толайлик. Маълумки, ўзгарувчан ток занжиридаги қувватни

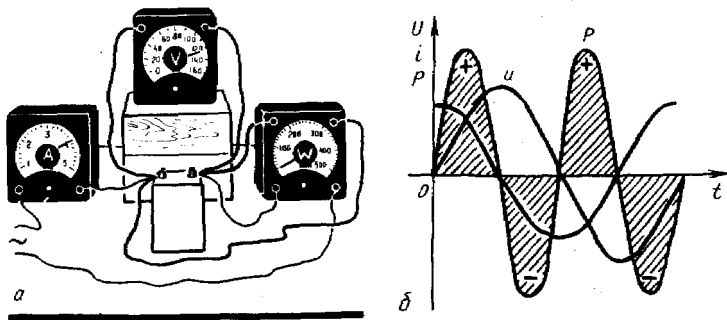
$$P = IU \cos \varphi$$

формула бўйича ҳисоблаш мумкин. Конденсаторли занжирдаги ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари орасидаги фаза силжиши  $\varphi = \pi/2$  га тенглиги сабабли  $\cos \varphi = 0$  ва  $P = 0$  бўлади. Буни тажрибада ҳам кўриш мумкин. Ўзгарувчан ток занжирига катта сигимли конденсатор уланади (49-а расм). Ток кучи ва кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари амперметр ва вольтметр ёрдамида, қувват эса ваттметр ёрдамида ўлчанади. 49-расмда тасвирланган ҳолда амперметр  $\sim 4$  А ток кучини вольтметр  $\sim 125$  В кучланишни кўрсатади, ваттметр стрелкаси эса нолда туради.

49-б расмда кучланиш, ток кучи ва қувватнинг вақт бўйича ўзгариш графиклари кўрсатилади. Бу графикларни диққат билан қараб чиқамиз. Биринчи чорак давр давомида конденсатор зарядланади ва занжирга берилган энергия конденсатор электр майдони энергияси сифатида тўпланади. Бу вақт оралиғи давомида қувват мусбат бўлади.

Иккинчи чорак давр давомида конденсатор зарядсизланади. Конденсатор электр майдони энергияси занжирга қайтарилади, қувват эса манфий бўлади. Шундай қилиб, *конденсаторли ўзгарувчан ток занжирида генератор билан конденсатор орасида даврий равишда энергия алмашинуви содир бўлади, электромагнит энергиянинг қайтарилмайдиган алмашинуви юз бермайди.*

Сигим қаршилиқнинг актив қаршилиқдан туб фарқи ҳам ана шунда. Актив қаршилиқ занжирдаги ток кучини чегаралайди ва келтирилган электромагнит майдон энергиясини тўлиғича энергия-



49- расм

нинг қайтарилмайдиган бошқа турларига айлантиради. Сигим қаршилик фақат занжирдаги ток кучини чегаралайди, электромагнит майдон энергиясини энергиянинг бошқа турларига айлантирмайди. Сигим қаршиликнинг бу хусусияти кичик қувватли электр асбоблардан ўтувчи ток кучини чегаралашда фойдаланилади.

Шундай қилиб, конденсатор майдони томонидан ўзгарувчан токка кўрсатиладиган қаршилик сигим қаршилик дейилади. Сигим қаршилик конденсатордаги кучланиш билан ундан ўтувчи ток кучининг нисбатига тенг:

$$X_C = \frac{U}{I} \quad \text{ва} \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

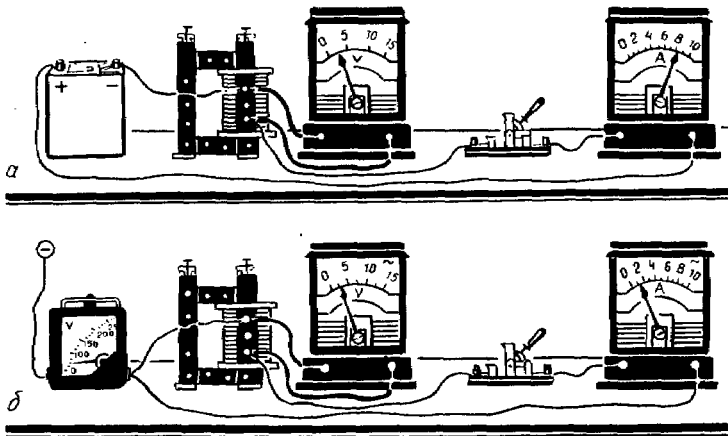
?

1. Конденсаторли занжирдан ток ўтиши сабабини тушунтиринг.
2. Конденсаторнинг ўзгарувчан токка қаршилик кўрсатишини кўрсатувчи тажрибани тушунтиринг.
3. Сигим қаршиликнинг табиати қандай?
4. Сигими 400 пФ бўлган конденсатор 400 кГц частотали занжирга уланган. Конденсаторнинг сигим қаршилигини аниқланг.

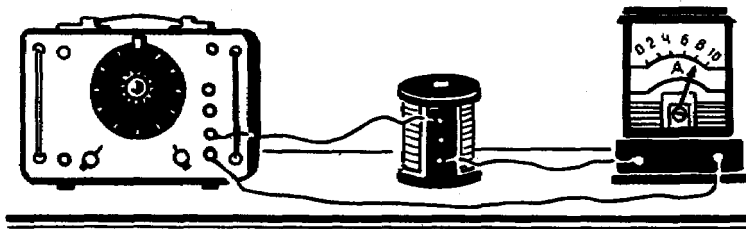
#### 19-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИДАГИ ИНДУКТИВ ҒАЛТАК

**1. Индуктив қаршилик.** Ўзгармас ток манбаига, масалан, аккумуляторга йўғон мис симдан ўралган индуктив ғалтак, амперметр ва вольтметрдан иборат занжирни улаймиз (50-а расм). Кучланиш кичик бўлишига қарамасдан занжирдан катта ток ўтади. Тажриба ғалтакнинг ўзгармас токка қаршилиги кичик бўлишини кўрсатади.

Агар ўзгармас ток манбаи ўрнига ана шундай кучланишли ўзгарувчан ток манбаи уланса (50-б расм), амперметр ва вольтметрлар ўзгарувчан токка мўлжалланган мос асбобларга



50- расм



51- расм

алмаштирилса, занжирдаги ток кучи анча камайганини кўрамиз. Бундан индуктив ғалтак ўзгарувчан токка, доимий токка караганда каттароқ қаршилиқ кўрсатиши маълум бўлади.

● *Индуктив ғалтакнинг ўзгарувчан токка кўрсатадиган қўшимча қаршилиги индуктив қаршилиқ деб юритилади ва  $X_L$  билан белгиланади.*

Индуктив қаршилиқнинг табиатини аниқлайлик. Бунинг учун индуктив ғалтакли ўзгарувчан ток занжирида юз берувчи жараёнларни батафсил караб чиқамиз. Ўзгарувчан ток ғалтак атрофида ўзгарувчи магнит майдон ҳосил қилади. Бу магнит майдоннинг индукция чизиклари ғалтак ўрамларидан ўтиб кетади. Шунинг учун ғалтак ўрамларида занжирдаги ток кучининг ўзгаришларига қаршилиқ қилувчи ўзиндукцион электр майдон пайдо бўлади.

Индуктив ғалтакда пайдо бўлувчи ўзиндукцион электр майдон биринчи чорак даврда занжирдаги ток кучининг ортишига, иккинчи чорак даврда ток кучининг камайишига қаршилиқ қилади; учинчи чорак даврда — ток кучининг ортишига, аммо энди тесқари йўналишда, қаршилиқ қилади ва ниҳоят, тўртинчи чорак даврда индукцион электр майдон занжирдаги ток кучининг камайишига қаршилиқ қилади.

Шундай қилиб, индуктив ғалтакдан ўзгарувчан ток оққанда, ўзиндукция ҳодисаси туфайли ғалтакда генератор томонидан ҳосил қилинган майдонга қаршилиқ қилувчи индукцион электр майдон пайдо бўлади. Ана шу ўзиндукцион электр майдон ғалтак индуктив қаршилигининг сабабчиси бўлади.

Индуктив қаршилиқ нималарга боғлиқлигини аниқлайлик. Бунинг учун частотаси созланувчи ўзгарувчан ток генератори, индуктив ғалтак ва амперметрдан иборат занжир йиғилади (51-расм). Ҳар қандай вақт моментида ғалтакдаги  $u$  кучланиш модули бўйича ўзиндукция ЭЮК га тенг бўлади:

$$u = -e_L.$$

Генераторни улаб, амперметр ёрдамида занжирдан ток ўтаётганлигини кузатамиз. Ўзгарувчан ток частотасини ўзгартириб, частота ортганда ток кучи камайишини, частота камайганда эса ток кучи ортишини аниқлаймиз. Аммо, Ом қонунига кўра ток кучи қаршилиқка тесқари пропорционал. Демак, тажриба индуктив қаршилиқ ўзгарувчан ток частотасига пропорционал бўлиши-

ни кўрсатади:

$$X_L \sim \omega.$$

Ғалтакка темир ўзақ киритиб, унинг индуктивлигини орттирамиз. Бунда занжирдаги ток кучи камайди. Ўзақни секин-аста чиқариб, занжирдаги ток кучи ортишини кузатамиз. Бинобарин, тажриба индуктив қаршилик ғалтакнинг индуктивлигига пропорционал эканлигини кўрсатади:

$$X_L \sim L.$$

Ўтказилган ҳар иккала тажрибанинг натижаларини бирлаштириб,  $X_L \sim \omega L$  ёки тенглик белгисига ўтиб,

$$X_L = k\omega L$$

муносабатни оламиз. Битта birlikлар системасидан фойдалансак,  $k=1$  бўлади, шунинг учун

$$\boxed{X_L = \omega L} \text{ ёки } \boxed{X_L = 2\pi\nu L}$$

тенглик келиб чиқади.

**2\*.** Индуктив қаршилик формуласини келтириб чиқариш. Тажриба далилларини умумлаштириш асосида олинган индуктив қаршилик формуласини математик ҳисоблашлар билан ҳам топиш мумкин. Ом қонунидан

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

бўлиши келиб чиқади. Аммо кучланишнинг максимал қиймати ўзиндукция ЭЮК максимал қийматининг тескари ишора билан олинганига тенг (ленц қондасини эсланг):  $U_m = -\mathcal{E}_{\varphi m}$   
Ўзиндукцион ЭЮК нинг оний қиймати

$$e_{\varphi} = -L \frac{di}{dt}$$

формула билан аниқланиши бизга маълум (3-§ га қ.). Индуктив ғалтакли занжирдаги ўзгарувчан ток кучи

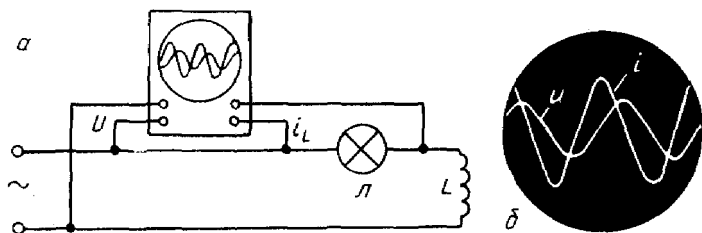
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

формула билан аниқлангани сабабли,

$$e_{\varphi} = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos(\omega t + \varphi)$$

бўлади. Ўзиндукция ЭЮК  $\cos(\omega t + \varphi) = 1$  да максимал қийматга эришади ( $e_{\varphi} = \mathcal{E}_{\varphi m}$ ).

$$\mathcal{E}_{\varphi m} = -\omega L I_m. \text{ У ҳолда } U_m = -\mathcal{E}_{\varphi m} = \omega L I_m$$



52- расм

бўлади. Шунинг учун

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \frac{\omega L I_m}{I_m} = \omega L; \quad \chi_L = \omega L$$

келиб чиқади.

**3. Фазавий муносабатлар.** 52-а расмда тасвирланган занжирни йиғамиз. Кўшнурли осциллографни генератор клеммаларига ва параллел равишда актив қаршиликка (чўғланма лампага) улаб, индуктив ғалтакли занжирдаги ток кучи ва кучланиш осциллограммалари фазалари бўйича мос келмаслигини кўрамиз.

Осциллограммаларни ўрганиш шуни кўрсатадики (52-б расм), индуктив ғалтакли занжирдаги ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари фазалари бўйича бир-бирига нисбатан  $\pi/2$  силжиган бўлади: ток кучининг тебранишлари кучланишнинг тебранишларидан  $\pi/2$  га кеч қолади. Агар

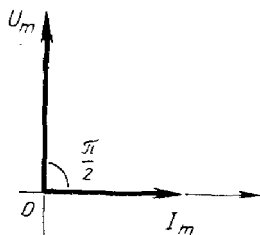
$$u = U_m \sin \omega t$$

бўлса,

$$i = I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

бўлади.

Индуктив ғалтакли занжирдаги ток кучи ва кучланиш орасидаги фазавий боғланишлар 53-расмдаги вектор диаграммасида тасвирланди. Индуктив ғалтакдаги кучланишнинг тебранишлари ток кучининг тебранишларидан  $\pi/2$  га ўзиб кетганлиги сабабли, кучланиш вектори ток кучи векторига нисбатан  $\pi/2$  га бурилар экан.



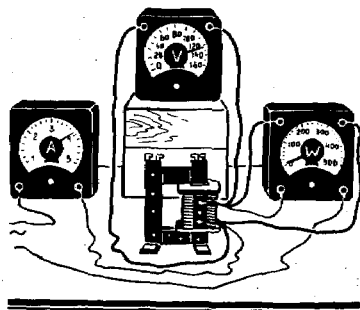
53- расм

**4. Энергия алмашинуви.** Фақат индуктив ғалтакка эга бўлган ўзгарувчан ток занжиридаги қувватни топайлик. Бизга маълумки, ўзгарувчан ток занжиридаги қувват

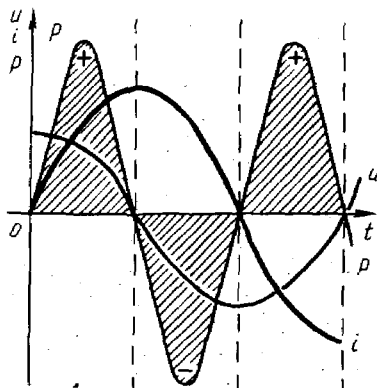
$$P = IU \cos \varphi$$

га тенг. Фақат индуктив ғалтакка эга бўлган ўзгарувчан ток занжиридаги ток кучининг тебранишлари кучланишнинг





54- расм



55- расм.

тебранишларидан  $\varphi = \pi/2$  га кеч қолганлиги сабабли  $\cos\varphi = 0$  ва  $P = 0$

бўлади.

Конденсаторли занжир каби фақат индуктив ғалтакка эга бўлган занжир ҳам ўзига ток манбаидан келувчи энергияни ўзгартирмайди. Бунни тажриба ҳам тасдиқлайди. Ўзгарувчан ток занжирига индуктивлиги катта бўлган ғалтак уланган (54-расм); ток кучи ва кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари амперметр ва вольтметр билан ўлчанади, қувват эса — ваттметр билан ўлчанади.

Расмда тасвирланган ҳолда амперметр  $\sim 4\text{A}$  ток кучини, вольтметр  $\sim 125\text{ В}$  кучланишни кўрсатади. Аммо ваттметр стрелкаси деярли нолда туради. Бунинг боиси шундаки, индуктив ғалтак кичкина актив қаршиликка эга бўлгани сабабли, келтирилган энергиянинг озгина қисми унда қайтарилмайдиган энергияга айланади.

Оний қувватнинг ўзгариш графиги 55-расмда келтирилди. Биринчи ва учинчи чорак даврлар давомида оний қувват мусбат ва индуктив ғалтакли занжирда генератор энергияси ҳисобига магнит майдон ҳосил қилинади ва унинг энергияси нолдан максимал қийматиғача ортади.

Иккинчи ва тўртинчи чорак даврлар давомида оний қувват манфий. Бу магнит майдонда тўпланган энергия генераторга қайтарилишини англатади.

Шундай қилиб, индуктив ғалтакли занжирнинг ҳар бир давр ичида олган энергияси нолга тенг, бинобарин бу занжирдаги ўзгарувчан токнинг ўртача қуввати ҳам нолга тенг:

$$\langle P \rangle = 0$$

● Бошқача айтганда, *индуктив ғалтакли ўзгарувчан ток занжиридаги генератор ва ғалтак орасида даврий равишда энергия*

алмашинуви содир бўлади, электромагнит энергия қайтарилмайдиган энергияга айланмайди. Индуктив қаршиликнинг актив қаршиликдан асосий фарқи шунда. Актив қаршилик занжирдаги ток кучини чегаралайди ва ўзига келувчи электромагнит майдон энергиясини энергиянинг бошқа турларига тўлик айлантиради, индуктив қаршилик эса занжирдаги ток кучини чегаралайди, аммо электромагнит майдон энергиясини энергиянинг бошқа турларига айлантормайди.

Индуктив қаршиликнинг бу хусусиятидан техникада, масалан, занжирдаги ток кучини бир текис ўзгартиришда, кенг фойдаланилади. Бу ҳолда индуктив ғалтак занжирга нагрузка билан кетма-кет равишда уланади. Театр ва кинотеатрларда электр лампаларнинг ёритиш равшанлиги ана шу тарзда бир текис ўзгартирилади.

Айтилганларни хулосалаб, индуктив қаршиликни қуйидагича аниқлаш мумкин.

**Ўзгарувчан токка ўзиндукцион майдон томонидан кўрсатилдиган қаршилик индуктив қаршилик дейилади.**

**Индуктив қаршилик индуктив ғалтакдаги кучланишнинг ундан ўтувчи ток кучига нисбатига тенг:**

$$X_L = \frac{U}{I} \quad \text{ва} \quad X_L = \omega L.$$

?

1. Индуктив ғалтак ўзгарувчан токка актив қаршиликдан ташқари қўшимча индуктив қаршилик ҳам кўрсатишини тасдиқловчи тажрибани тавсифлаб беринг.

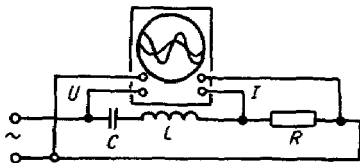
2. Индуктив қаршиликнинг табиати қандай?

3. Индуктивлиги 400 мкГн бўлган ғалтак 400 кГц частотали тармоққа уланган. Ғалтакнинг индуктив қаршилигини аниқланг.

## 20-§\*. АКТИВ, ИНДУКТИВ ВА СИГИМ ҚАРШИЛИКЛАР. КЕТМА-КЕТ УЛАНГАН ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИ.

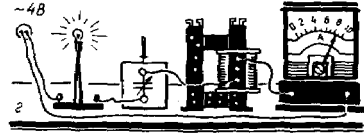
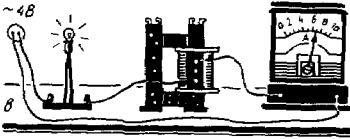
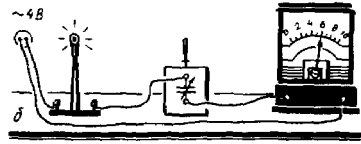
Ҳар қандай реал ўзгарувчан ток занжири актив қаршиликка (ўтказгичлар, иситиш асбоблари ва бошқаларнинг қаршиликлари), сиғим қаршиликка (ўтказгич ва конденсаторларнинг сиғимлари) ва индуктив қаршиликка (электр юриткичларнинг ўрамлари, электромагнит асбобларнинг ғалтаклари) эга бўлади.

Кетма-кет уланган актив, индуктив ва сиғим қаршиликли ўзгарувчан ток занжирини қараб чиқамиз.



56- расм

**1. Фазавий муносабатлар.** Занжирга, 56- расмда кўрсатилгандек, қўшнурли осциллографни улаймиз. Осциллограммалардан кўрамизки, актив нагрузка, конденсатор ва индуктив ғалтак кетма-кет уланган тармоқланмаган ўзгарувчан ток занжирида ток



57- расм

кучи ва кучланишнинг тебранишлари фазалари бўйича мос келмайди. Ғалтакнинг индуктивлигини ёки конденсаторлар батареясининг сигимини ўзгартириб,  $\varphi$  фазалар фарқи ҳам ўзгаришини кўрамиз. Демак, ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари орасидаги фазалар фарқи индуктив ва сигим қаршиликлар нисбатига боғлиқ.

Агар генераторнинг кучланиши

$$u = U_m \sin \omega t$$

конун бўйича ўзгарса, занжирдаги ток кучи

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

конун бўйича ўзгаради.

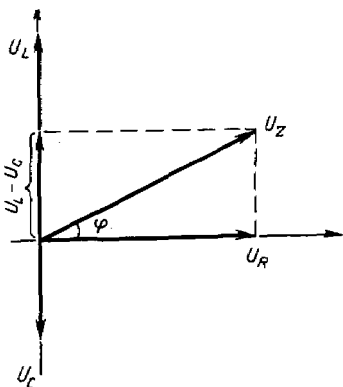
**2. Занжирнинг тўлиқ қаршилиги.** Қуйидаги тажрибани бажарамиз. Ўзгарувчан ток манбаига фақат чўгланма лампа (актив қаршилик)ни улаймиз. Агар манба кучланиши лампага мўлжалланган кучланишга мос келса, у жуда равшан ёришади (57-а расм). Сўнгра лампага кетма-кет равишда конденсатор улаймиз (57-б расм). Бу ҳолда лампа хирарок ёришишини кўрамиз. Энди конденсатор ўрнига индуктив ғалтак улаймиз. Бу ҳолда ҳам лампа биринчи ҳолдагига қараганда хирарок ёришади (57-в расм). Агар бир вақтда лампа, ғалтак ва конденсатор уланса (57-г расм), лампа равшан ёришади. Тажриба кўрсатадики, агар актив қаршиликка кетма-кет равишда индуктив ёки сигим қаршилик уланса, занжирнинг тўлиқ қаршилигидан катта бўлади.

Тўлиқ қаршиликни  $Z$  ҳарфи билан белгилаш қабул қилинган.

Ўзгарувчан ток занжирининг тўлиқ қаршилиги кучланишнинг таъсир этувчи (ёки амплитуда) қиймати билан ток кучининг таъсир этувчи (амплитуда) қийматининг нисбатига тенг катталикдир:

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

Тўлиқ қаршилик тушунчасидаан фойдаланиб, ўзгарувчан ток занжири учун Ом қонунини



58- расм

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

кўринишда ёзиш мумкин.

Актив, индуктив ва сифим қаршиликлар кетма-кет уланган ўзгарувчан ток занжирининг тўлиқ қаршилигини топамиз. Бу мақсадда занжирнинг ҳар бир қисми учун кучланишлар вектор диаграммасини чизамиз.

Ҳар қандай вақт momentiда генератор занжиридаги кучланиш кетма-кет уланган қисмлардаги кучланишларнинг йиғиндисига тенг:

$$U = U_R + U_L + U_C.$$

Кетма-кет уланган занжирда барча қисмлардан ўтувчи ток кучи бир хил бўлади. Шунинг учун кучланишларни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$U = iZ, U_R = iR, U_L = iX_L, U_C = iX_C.$$

Актив қаршиликдаги кучланишнинг тебранишлари ток кучининг тебранишларига фазаси бўйича мос келганлиги сабабли, вектор диаграммасида  $U_R$  кучланиш векторини тоқлар ўқи бўйича йўналтирамиз (58-расм). Индуктив ғалтакдаги кучланиш ток кучининг тебранишларидан чорак даврга ўзиб кетганлиги сабабли,  $U_L$  векторни тоқлар ўқига нисбатан  $\pi/2$  га бурамиз. Конденсатордаги кучланишнинг тебранишлари ток кучининг тебранишларидан чорак даврга кечикади, шунинг учун  $U_C$  кучланиш векторини  $-\pi/2$  га бурамиз.

Қисмларда тушган  $U_R$ ,  $U_L$  ва  $U_C$  кучланиш векторларининг вектор йиғиндиси генераторнинг кучланишига тенг бўлади. Бевосита расмдан,

$$U_Z^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 \quad \text{ёки} \quad (iZ)^2 = (iR)^2 + (iX_L - iX_C)^2$$

тенгликлар топилади, ниҳоят,  $i$  га қискартиргандан сўнг

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 \quad \text{ёки}$$

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

формула келиб чиқади.

?

1. Кетма-кет уланган нагрузка, индуктив ғалтак ва конденсаторлар батареясидан иборат занжирнинг тўлиқ қаршилиги актив қаршиликдан кичик бўлиши мумкинми?

2. Частотаси 400 кГц ва кучланиши 100 В бўлган ўзгарувчан ток занжирига 400 пФ сифимли конденсатор, индуктивлиги 400 мкГн бўлган ғалтак ва 10 Ом қаршиликли резистор кетма-кет уланган. Занжирдаги ток кучини топинг.

## 21- §. КУВВАТ КОЭФФИЦИЕНТИ

1. **Электр энергиясининг бошқа турларга айланиши.** Ўзгармас ток занжирида электр энергиясининг бошқа турларга айланиши ҳақидаги масала осонгина ҳал этилади: истеъмолчи тармоқдан қанча энергия олса, шунча энергия бошқа турларга айланади. Масалан, тармоқдан секундига 1000 Ж энергия олувчи ўзгармас ток электр юриткичи ҳар секундда шунча энергияни механик ва ички энергияга айлантиради.

Ўзгарувчан ток занжирида иш бошқача бўлади. 16 ÷ ÷ 18 параграфларда кўрсатилганидек, бошқа турларга айланган ўзгарувчан ток энергиясининг қуввати нағрузканинг характериға боғлиқ бўлиб,

$$P = IU \cos \varphi$$

формула билан аниқланади, бу ерда  $\varphi$  — ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари орасидаги фазалар фарқи.

Масалан, электр юриткич ((двигатель)  $\cos \varphi = 0,8$ ) тармоқдан 1 кВт қувват олиб, 800 Вт ни бошқа турларга айлантиради, 200 Вт ни тармоққа қайтаради.

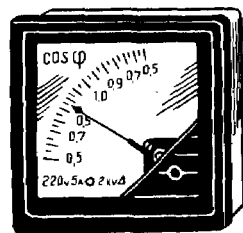
Ўзгарувчан токни доимий токдан фарқловчи муҳим хусусиятларидан бири ана шунда. Қувват формуласидаги  $\cos \varphi$  энергиянинг қанча қисми бошқа турларга айланишини кўрсатади. Шунинг учун  $\cos \varphi$  қувватдан *фойдаланиш коэффициенти* ёки қисқача, *қувват коэффициенти* деб юритилади.

Қувват коэффициенти фазометр деб номланган махсус асбоб ёрдамида аниқланади (59- расм). Ҳар қандай йўл билан қувват коэффициентини орттиришга ҳаракат қилиш зарур.

Электр станцияларининг йиғинди қуввати тахминан 300 000 000 кВт га тенг. Қувват коэффициенти  $\cos \varphi$  ни 0,01 га орттириш халқ хўжалигига қўшимча равишда 3 ГВт қувват беради. Бу йирик электр станциялардан бири бўлган Волжский гидроэлектр станциясининг қувватидан каттадир.

2. **Қувват коэффициентини ва электр энергия исрофи.** Нағрузқада энергиянинг бошқа турларига айланмаган электр энергияси станцияга қайтиб келади. Бунда энергиянинг бир қисми генератор ўрамлари, электр узатувчи ўтказгичлар ва истеъмолчининг қайтарилмайдиган ички энергиясига айланади. Қайтарилмайдиган энергияга айланган қувватни ҳисоблайлик.

Айтайлик,  $P$  қувватли истеъмолчининг қувват коэффициентини  $\cos \varphi = 1$  бўлсин (актив нағрузка) ва у  $U$  кучланишда ишласин. Бу ҳолда занжирдаги ток кучи  $I_0 = \frac{P}{U}$  га, иссиқ



59- расм

лик исрофи туфайли йўқотилган қувват эса

$$\Delta P_0 = I_0^2 R = \frac{P^2}{U^2} R$$

га тенг бўлади. Агар  $\cos\varphi < 1$  бўлса (аралаш нагрузка), занжирдаги ток кучи  $I_0$  дан катта бўлади:

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi}.$$

Занжирдаги ток кучининг ортиши иссиқлик исрофининг ортишига олиб келади:

$$\Delta P = I^2 R = \frac{P^2}{U^2 \cos^2\varphi} R = \frac{\Delta P_0}{\cos^2\varphi}; \quad \Delta P = \frac{\Delta P_0}{\cos^2\varphi}.$$

Топилган формуладан кўринадики, симларни қиздириш учун сарфланадиган энергия қувват коэффициентининг квадратига тескари пропорционал экан. Масалан,  $\cos\varphi = 0,8$  бўлгандаги энергия исрофи  $\cos\varphi = 1$  ҳолидагига қараганда 1,5 марта катта бўлади.

Шундай қилиб, қувват коэффициентининг камайиши фақат электр станцияси қувватидан тўлиқ фойдаланмасликкагина эмас, балки занжирдаги иссиқлик исрофининг ҳам ортишига олиб келади.

**3. Қандай қилиб  $\cos\varphi$  ни орттириш мумкин?** Қувват коэффициенти қандай қилиб орттириш мумкинлигини тушуниш учун айрим мисолларни қараб чиқамиз. Дастгоҳга қуввати 20 кВт бўлган электродвигатель ўрнатилган. Дастгоҳ нормал ишлаганда электр двигатель тўлиқ юк билан таъминланади ва унга келувчи электр энергиясининг деярли ҳаммаси механик энергияга айланади. Бу ҳолда двигателнинг қувват коэффициенти 0,9—0,95 бўлади. Агар ишчи, деталга ишлов бериб бўлгач, двигателни узмаса, у салт ишлайди, унинг учун  $\cos\varphi \approx 0,1 \div 0,2$  ва двигатель амалда индуктив ғалтакдек бўлади. Шунинг учун салт ишловчи двигателни узмасдан қолдириш тавсия этилмайди.

Бошқа бир мисол кўрайлик. Айтилик, станокнинг нормал ишлаши учун 1 кВт қувватли электр двигатели зарур бўлгани ҳолда унинг ўрнига 10 кВт қувватли электр двигатели ўрнатилган бўлсин. Бу ҳолда электр двигатель деярли салт ишлайди ва унинг учун  $\cos\varphi$  катта бўлмайди. Юк билан тўлиқ таъминланмаган бундай двигатель амалда индуктив нагрузка бўлади. Шунинг учун ҳамма вақт талаб этилган қувватли электр двигатели танлаб олиниши керак.

Электр двигателларнинг қувват коэффициентларини орттириш учун уларга параллел равишда конденсатор уланади. Конденсатор ва индуктив ғалтак бир вақтда уланса, қарама-қарши фаза силжишлари юзага келади ва улар ўзаро компенсациялашади, шунинг учун  $\cos\varphi$  ортади.

Электр қурилмаларнинг қувват коэффициентини орттириш муҳим халқ хўжалик аҳамиятига эга.

**4. Масала ечиш намунаси.** Ҷрамларининг тўлиқ қаршилиги 20 Ом бўлган двигателнинг қувват коэффициентини аниқланг. Занжирдаги актив қаршилиқ 19 Ом.

**Масала шартининг таҳлили.** Ҳзгарувчан токнинг  $P=IU\cos\varphi$  қуввати формуласига қувват коэффициенти киради, ундан

$$\cos\varphi = \frac{P}{IU} \quad (1)$$

топилади. Тенгликнинг ўнг томонидаги қувват, ток кучи ва кучланишлар номаълум, уларни  $Z$  тўлиқ ва  $R$  актив қаршилиқлар орқали ифодалаш керак.

**Ечиш.** Актив қаршилиқ  $P=I^2R$  га, кучланиш эса  $U=IZ$  га тенг.  $P$  ва  $U$  ларнинг қийматини (1) га қўйсақ:

$$\cos\varphi = \frac{P}{IU} = \frac{I^2R}{IZI} = \frac{R}{Z}; \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

топилади.

Ҳисоблаш:

$Z=20$  Ом

$R=19$  Ом

$\cos\varphi = ?$

$$\cos\varphi = \frac{19 \text{ Ом}}{20 \text{ Ом}} = 0,95$$

Жавоб:  $\cos\varphi = 0,95$ .

?

1. Қувват коэффициентининг физик маъноси қандай?

2. Қувват коэффициенти кичик бўлганда электр станцияларида фойдаланиш самарадорлиги паст ва электр узатиш тармоғидаги энергия исрофи юқори бўлади, деб уқтириш тўғрими?

3. Нима сабабдан  $\cos\varphi$  ни фойдали иш коэффициенти дейиш мумкин эмас? Жавобингизни асосланг.

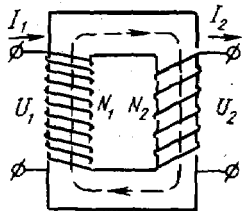
## 22-§. ҲЗГАРУВЧАН ТОКНИ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАШ

Электр энергиясининг турли истеъмолчилари ҳар хил кучланишга мўлжалланган. Қундалик ҳаётда ишлатиладиган кўпгина электр асбоблари 127 ва 220 В, саноат электр двигателлари — 220, 380, 600 В ва ундан юқори кучланишга мўлжалланган электр энергиясини узатиш учун юзлаб киловольт кучланишдан фойдаланилади. Электр станцияларининг генераторлари эса бир неча минг вольт кучланиш беради. Шунинг учун бир кучланишни бошқасига ўзгартириш зарурияти туғилади.

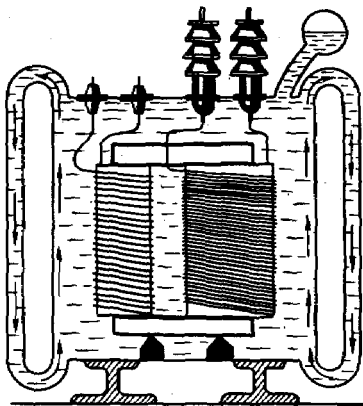
Ҳзгармас кучланишни ўзгартириш, ўзгарувчанга қараганда мураккаброк. Ҳозирги замон техникасида асосан ўзгарувчан токдан фойдаланишнинг сабабларидан бири ҳам ана шунда.

Ҳзгарувчан токнинг частотасини ўзгартирмадан кучланишнинг ўзгартириб берувчи асбоблар *трансформаторлар* деб юритилади (лотинча — transformare — ўзгартириш).

**1. Трансформаторнинг тузилиши.** Трансформатор ўзаро индуктив боғланган икки (ёки кўпроқ) ғалтаклардан (ўрамлардан) ташкил топган. Ҳрамлардан бири — *бирламчи*, иккинчиси — *икки-*



60- расм



61- расм

ламчи ўрам дейилади. Бирламчи ўрамга ўзгартирилувчи  $U_1$  кучланиш берилади, иккиламчи ўрамдан ўзгартирилган  $U_2$  кучланиш олинади. Иккиламчи ўрамга электр энергия истеъмолчилари  $R_n$  уланади (60- расм).

Магнит майдон сочилиб кетмаслиги учун ғалтак ферромагнит ўзакка кийгизилади, Уюрмавий тоқлар пайдо бўлишини камайтириш мақсадида ўзак юпка лак қатлами билан бир-бирдан изоляцияланган юпка пўлат листлардан йиғилади.

Трансформатор ишлаганда унинг ўрамларидан ўтувчи ток ўрамларни кизитади. Қайта магнитланиш ва уюрмавий тоқлар туфайли ўзак ҳам кизийди. Кичик қувватли трансформаторларда ажралувчи иссиқлик металл ғилоф орқали таркалиб кетади. Бундай трансформаторлар *қуруқ* трансформатор дейилади. Қувватли трансформаторларда мойли совитиш системаси қўлланилади (61- расм). Ўрамлари билан ўзак трансформатор мойи тўлдирилган бакка жойлаштирилади. Мой конвекция туфайли иссиқликни таркатиб юбориши билан бирга яхши изолятор ҳам бўлади.

**2. Трансформаторнинг ишлаш принципи.** Трансформатор электромагнит индукция ходисасига асосан ишлайди. Трансформаторнинг бирламчи ўрами  $U_1$  кучланишли ўзгарувчан ток тармоғига уланганда, ўрамдан  $L_1$  ўзгарувчан ток оқади, бу ток ўзакда  $\Phi$  ўзгарувчи магнит оқими ҳосил қилади. Бу ўзгарувчи магнит оқими бирламчи ва иккиламчи ўрамлардан ўтиб, уларда электр юритувчи кучлари  $e_1$  ва  $e_2$  бўлган ўзгарувчи индукцион электр майдон ҳосил қилади. Агар бирламчи ва иккиламчи ўрамлардаги ўрамлар сони  $N_1$  ва  $N_2$  бўлса, ҳар қандай вақт моменти учун

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

бўлади. Бирламчи ва иккиламчи ўрамлардаги ЭЮК лар нисбатини топамиз:



$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{-N_1 \frac{d\Phi}{dt}}{-N_2 \frac{d\Phi}{dt}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Олинган муносабат кучланишларнинг ҳар қандай оний қийматлари учун, демак, таъсир этувчи қийматлари учун ҳам тўғри бўлади:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} = k,$$

бу ердаги  $k$  — доимий катталик *трансформация коэффициенти* деб юритилади.

**3. Трансформаторнинг ФИК.** Трансформатор оддий, ишончли ва тежамкор электр аппарати бўлиб, унинг ФИК 99 фоизга етади.

Агар ўрамларнинг қизиш ва ўзакнинг қайта магнитланиши билан боғлиқ энергия исрофи эътиборга олинмаса, энергиянинг сақланиш қонунига кўра бирламчи ўрамнинг тармоқдан олган энергияси иккиламчи ўрамдан истеъмолчи олган энергияга тенг бўлади деб ҳисоблаш мумкин:

$$P_1 \approx P_2.$$

Бирламчи ва иккиламчи ўрамдаги қувватларни

$$P_1 = I_1 U_1 \cos\varphi_1; \quad P_2 = I_2 U_2 \cos\varphi_2$$

кўринишда ёзиб,  $\varphi_1 = \varphi_2$  десак,

$$I_1 U_1 = I_2 U_2 \quad \text{ёки} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

муносабат келиб чиқади.

Бундан кўринадики, кучланишнинг трансформацияланиши билан бир қаторда ток кучининг ҳам ўзгариши юз беради: кучайтирувчи трансформатор кучланишни орттиради, ток кучини камайтиради, пасайтирувчи трансформатор эса, аксинча, кучланишни камайтиради, ток кучини орттиради; кучланиш неча марта ортса, ток кучи шунча марта камаяди ёки, аксинча, кучланиш неча марта камайса, ток кучи шунча марта ортади. Трансформатор бир неча физиклар томонидан деярли бир вақтда кашф қилинган. Россияда трансформаторни П. И. Яблочков (1875 й.) кашф қилган, И. Ф. Усагин (1882 й.) уни такомиллаштирган.

- 2
1. Трансформаторнинг бирламчи ўрамига  $u = U_m \sin \omega t$  кучланиш берилган, унинг иккиламчи ўрами очиқ. Қуйидагилар қандай қонун бўйича ўзгаради:
    - а) бирламчи ўрамдаги ток кучи; б) трансформаторнинг магнит оқими;
    - в) бирламчи ўрамдаги ўзиндукция ЭЮК; г) иккиламчи ўрамдаги индукция ЭЮК.

1. **Механик тебраниш системасидаги резонанс.** 62- расмда тасвирланган қурилмани йиғамиз. Вибраторни уламасдан тебранувчи жисми мувозанат ҳолатдан четлатиб, эркин тебранишлар қилиш имкониятини яратамиз. Тахминан ўн марта тебраниш учун кетган вақтни ўлчаб,  $\nu_0$  эркин тебранишлар частотасини аниқлаймиз (циклик частота  $\omega_0 = 2\pi\nu_0$  га тенг).

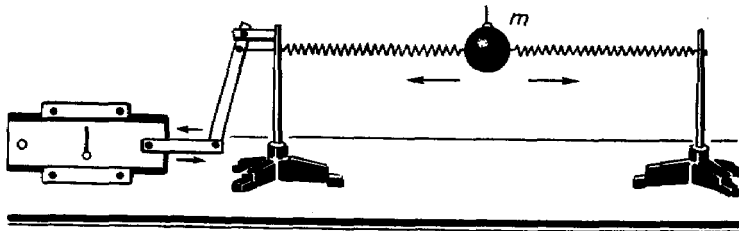
Маятникни тўхтатиб, кулис механизми (вибратор)ни улаймиз. Мажбур этувчи тебранишлар частотасини бир текис ўзгартириб, мажбур этувчи тебранишлар частотаси  $\nu(\omega = 2\pi\nu)$ , эркин тебранишлар частотаси  $\nu_0$  дан анча кичик бўлганда мажбурий тебранишлар амплитудаси кичик бўлишини кўрамиз; мажбур этувчи тебранишлар частотаси ортиши билан мажбурий тебранишлар амплитудаси ортади. Мажбур этувчи тебранишлар частотаси эркин тебранишлар частотасига яқинлашган сари амплитуда секин, аммо узок вақт ўсади ва бирор чора кўрилмаса, шундай катта қийматга эришиши мумкинки, ҳатто қурилма бузилиб кетади.

Мажбур этувчи тебранишлар частотасининг кейинги ортишида мажбурий тебранишлар амплитудаси камаяди. 63- расмда барқарорлашган мажбурий тебранишлар амплитудасининг мажбур этувчи тебранишлар частотасига боғлиқ ҳолда ўзгариш графиги келтирилди. Тажириба натижаларининг кўрсатишича, барқарорлашган мажбурий тебранишлар амплитудаси мажбур этувчи тебранишлар частотасига боғлиқ.

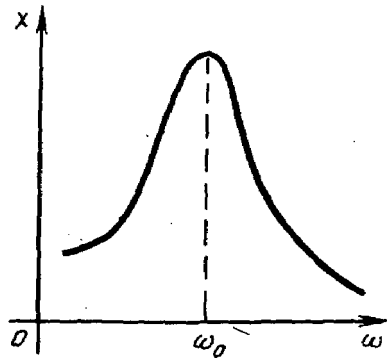
● Системадаги мажбур этувчи гармоник тебранишлар частотаси эркин тебранишлар частотасига яқинлашганда барқарорлашган мажбурий тебранишлар амплитудасининг кескин ортиб кетиши резонанс дейилади.

2. **Кетма-кет контурдаги резонанс.** Частотаси соزلанувчи ўзгарувчан ток генераторига конденсатор, индуктив ғалтак ва чўғланма лампани кетма-кет улаймиз, лампанинг ёришиш равшанлиги бўйича занжирдаги ток кучининг ўзгаришларини баҳолаймиз (64- расм). Кетма-кет уланган конденсатор ва индуктив ғалтақдан иборат занжир *кетма-кет контур* деб номланган.

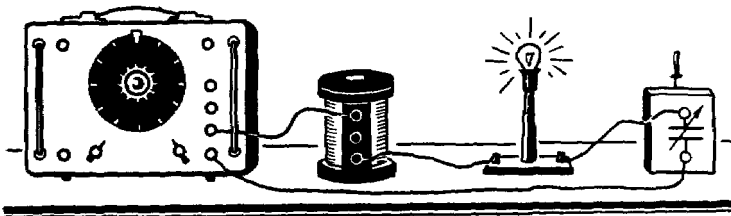
Ўзгарувчан ток частотаси кичик бўлса, лампанинг толаси кучсиз қизийди ва лампа ёришмайди. Частота кўпайиши билан тола кучлироқ қизийди ва лампа равшанроқ ёришади, бу



62- расм



63- расм



64- расм

занжирдаги ток кучининг ортишини кўрсатади. Частотанинг қандайдир қийматида лампанинг ёришиш равшанлиги кескин ортади. Частотанинг кейинги ортиши ток кучининг ортишига эмас, балки унинг камайишига олиб келади (лампа борган сари хирарок ёриша бошлайди). Етарли катта частотада ток кучи шу даражада камайдики, лампа ёришмай қўяди.

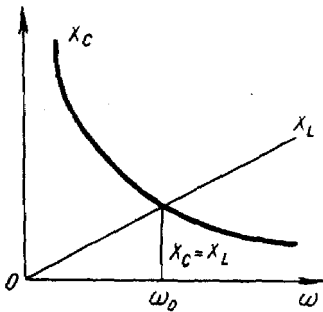
Тажрибада кузатилган ходиса қуйидагича тушунтирилиши мумкин. Бизга маълумки, актив, индуктив ва сифим қаршиликли ўзгарувчан ток занжирининг тўлиқ қаршилиги

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

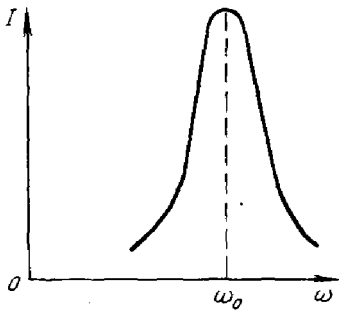
формула билан аниқланади. Частота кичик бўлганда конденсаторнинг қаршилиги катта —  $X_C = 1/\omega C$ , индуктив ғалтакнинг қаршилиги кичик  $X_L = \omega L$  бўлади.

Бу ҳолда  $X_L - X_C$  айрма ҳам, демак, занжирнинг тўлиқ қаршилиги ҳам катта бўлади (65- расм).

Частота ортан сари сифим қаршилиги ўзининг катта қийматидан бошлаб камай боради, индуктив қаршилиқ эса кичик қийматидан бошлаб орта боради, шунинг учун  $X_L - X_C$  айрма ва  $Z$  тўлиқ қаршилиқ частота ортиши билан камайди, занжирдаги ток кучи эса ортади. Ниҳоят, қандайдир частотада сифим ва



65- расм



66- расм

индуктив қаршиликлар тенглашади, уларнинг айирмаси эса нолга тенг бўлади. Бу ҳолда занжирнинг тўлиқ қаршилиги актив қаршиликка тенг бўлади, занжирдаги ток кучи максимал қийматига эришади:

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

Частотанинг кейинги ортиши билан индуктив қаршилик сиғим қаршиликдан, тўлиқ қаршилик актив қаршиликдан катта бўлиб, орта бо-

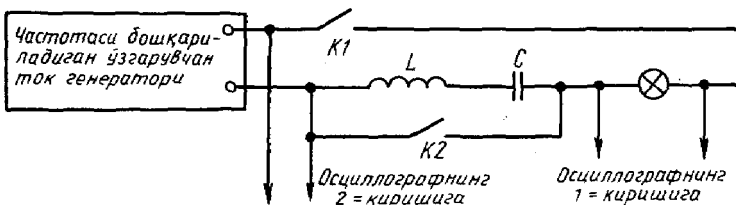
ради, занжирдаги ток кучи камаяди.

Занжирдаги ток кучининг мажбур этувчи тебранишлар частотасига (тажрибадан топилган боғлиқлиги) 66- расмда кўрсатилди. Графикдан кўринадики, мажбур этувчи тебранишлар частотаси  $\omega$  эркин тебранишлар частотаси  $\omega_0$  га яқинлашганда контурдаги ток кескин ортади.

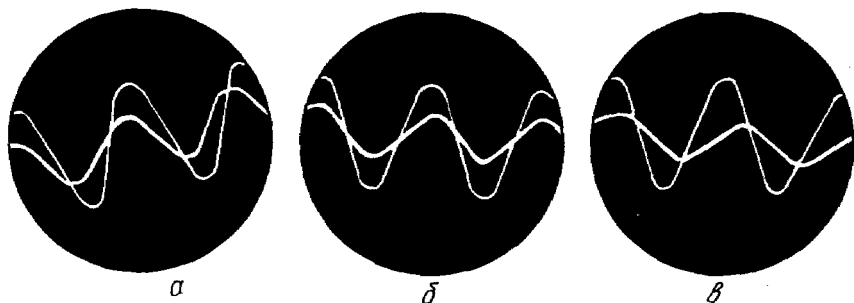
Юқорида келтирилган тушунтиришнинг тўғрилигини тажрибада текшириб кўриш мумкин. Бунинг учун ток кучи максимал қийматга эришган моментда  $K_2$  калит ёрдамида конденсатор ва ғалтакни қисқа туташтирамиз (67- расм), бу уларнинг узиб қўйилишига тенг кучли. Бунда лампанинг ёриши равшанлиги ўзгармайди. Демак, бу моментда контурнинг тўлиқ қаршилиги ҳақиқатан ҳам унинг актив қаршилигига (амалда лампанинг қаршилигига) тенг бўлишини тажриба тасдиқлайди. Бошқача айтганда, сиғим ва индуктив қаршиликлар ўзаро тенг ва бир-бирини компенсациялайди. Занжирда шундай режим вужудга келадиги, бунда конденсатор ва ғалтак ўзаро энергия алмашади: конденсатор электр майдонининг энергияси ғалтак магнит майдонининг энергиясига айланади ва аксинча. Манбадан келувчи энергия эса *чўғланма лампада энергиянинг бошқа турларига айланади.*

Мажбур этувчи тебранишларнинг контурдаги ток кучи максимал қийматга эришгандаги частотаси, тажрибада аниқланганидек, индуктив ва сиғим қаршиликларнинг тенглигидан топилади:

$$X_L - X_C = 0 \text{ ёки } \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0.$$



67- расм

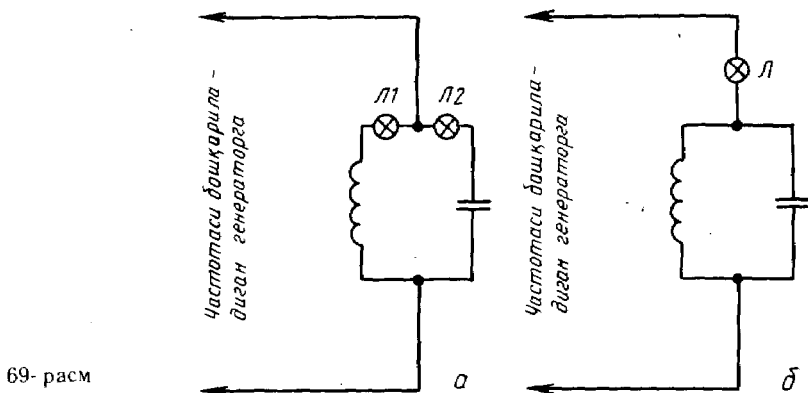


68- расм

Резонанс вақтида занжир фақат актив қаршиликка эга бўлгани сабабли, ток кучининг тебранишлари манба кучланишининг тебранишлари билан бир хил фазали бўлади.

Бунга тажрибада ишонч ҳосил қилиш мумкин. Бунинг учун юқорида кўрилган тажрибада частотаси созланувчи ўзгарувчан ток манбаи қисқичларини қўшнузли осциллографнинг кириш клеммаларидан бирига, чўғланма лампа қисқичларини эса — иккинчисига улаймиз: Осциллограф экранида кичик частоталарда *сиғим қаршиликка* боғлиқ фазалар силжиши кузатилади (68- *а* расм). Частота ортиши билан фазалар силжиши камай боради ва резонанс пайтида ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари фазаси бир хил бўлади (68- *б* расм). Ниҳоят, частота яна орттирилса, кучланишнинг тебранишлари ток кучи тебранишларидан ўзиб кетади ва фазалар силжиши индуктив характерга эга бўлади (68- *в* расм).

**3. Параллел контурдаги резонанс.** Частотаси созланувчи ўзгарувчан ток генераторига параллел равишда конденсатор ва актив қаршилиги жуда кичик бўлган индуктив ғалтак улаймиз. Бундай занжир *параллел контур* деб юритилади. Ток кучининг ўзгаришларини кузатиш учун индикатор сифатида контур тармоқларига иккита бир хил  $L_1$  ва  $L_2$  чўғланма лампаларни улаймиз (69- *а* расм).



69- расм

Занжирни улаб, ўзгарувчан токнинг кичик частоталарида  $L_2$  лампа ёришмаслигини кўрамиз. Бунинг сабаби шундаки, кичик частоталарда конденсаторнинг сўғим қаршилиги катта ( $X_C = 1/\omega C$ ) бўлгани учун конденсаторни тармоқдан ўтувчи ток кучи кичик бўлади. Аксинча, бу ҳолда ғалтакнинг индуктив қаршилиги кичик ва ғалтакли тармоқдан ўтувчи ток кучи катта бўлади, шунинг учун  $L_1$  лампа жуда равшан ёришади. Ўзгарувчан ток частотасини секин-аста орттира бориб, шуни кўрамизки,  $L_2$  лампанинг ёришиш равшанлиги орта боради,  $L_1$  лампаники — камая боради, бу конденсаторли тармоқда қаршилиқнинг камайиши ва ток кучининг ортишини, ғалтакли тармоқда эса аксинча, қаршилиқнинг ортиши ва ток кучининг камайишини тасдиқлайди.

Қандайдир  $\omega$  частотада ҳар иккала лампанинг ёришиш равшанлиги бир хил бўлади, бу — ҳар иккала тармоқдаги ток кучининг, демак, индуктив ва сўғим қаршилиқларнинг тенглигидан далолат беради:

$$X_L = X_C$$

Агар конденсаторли ва ғалтакли тармоқлардаги иккита лампа ўрнига занжирнинг тармоқланмаган қисмига битта лампа уласак (69-б расм), кичик частоталарда бу лампанинг анча равшан ёришини кўрамиз. Частота ортиши билан лампанинг ёришиш равшанлиги камая боради ва ғалтакли тармоқдаги индуктив қаршилиқ, конденсаторли тармоқдаги сўғими қаршилиқка тенглашган ҳолга мос келувчи частотада минимал бўлади.

Нима сабабдан индуктив ва сўғим қаршилиқлар тенглашган ( $X_L = X_C$ ) ҳолга мос келувчи частотада занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток кучи минимал бўлишини аниқлайлик.

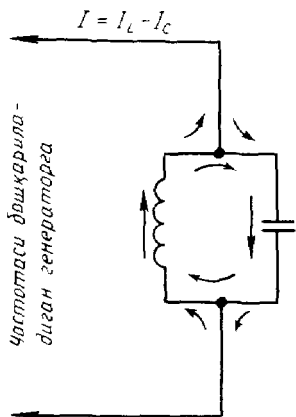
Маълумки, конденсаторли занжирда ток кучининг тебранишлари кучланишининг тебранишларидан вақт бўйича чорак даврга ўзиб кетади, индуктив ғалтакли занжирда эса ток кучининг тебранишлари кучланишининг тебранишларида чорак даврга ортда қолади. Бинобарин, занжирнинг тармоқланмаган қисмида «сўғим» ва «индуктив» тоқларнинг тебранишлари бир-бирига нисбатан вақт бўйича ярим даврга силжиган бўлади. Бу тоқлар ҳар қандай вақт momentiда қарама-қарши томонга йўналади (70-расм) ва тармоқланмаган қисмда натижаги токнинг оний қиймати уларнинг айирмасига тенг бўлади:

$$i = i_L - i_C$$

ва ток кучларининг таъсир этувчи қийматлари учун

$$I = I_L - I_C$$

муносабат ўришли бўлади.



70- расм

Частота шундай бўлсаки, бунда  $X_L = X_C$  тенглик бажарилса, ҳар иккала томондаги тоқлар бир хил бўлади:

$$I_L = I_C.$$

Бу ҳолда занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги  $I$  тоқ кучи нолга тенг бўлиши керак.

Аммо ғалтак индуктив қаршиликдан ташқари актив қаршиликка ҳам (ўрам симларининг қаршилиги) эга бўлгани сабабли, тармоқлардаги тоқларнинг тўлиқ тенглашуви юз бермайди, тармоқланмаган қисмдан кучсиз тоқ оқади. Ғалтакнинг актив қаршилиги қанча катта бўлса, занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги тоқ кучи шунча катта бўлади. Тоқ манбаидан параллел тебраниш контурига келувчи электр энергияси ички энергияга айланади (индуктив ғалтак ўрами ва бирлаштирувчи ўтказгичлар қизийди). Шунга таъкидлаш мумкинки, бу ҳолатда тармоқларнинг ҳар биридаги тоқ кучи тармоқланмаган қисмидаги тоқ кучидан анча катта бўлади:

$$I_L = I_C \gg I$$

Занжирнинг тармоқланмаган қисмида  $I_L$  ва  $I_C$  тоқлар қарама-қарши йўналган бўлса-да, параллел уланган ғалтак ва конденсатордан ташқил топган тебраниш контурида ҳар қандай вақт momentiда уларнинг йўналишлари бир хил бўлади.

Шундай қилиб, тебраниш контурининг таъминлаб турувчи кучсиз ўзгарувчан тоқ тебраниш контури ичида кучли мажбурий электр тебранишларни қувватлаб туради. Параллел тебраниш контуридаги резонанс ҳодисасининг туб моҳияти ҳам ана шунда.

Резонанс частотаси, бу ҳолда ҳам,

$$X_L = X_C \quad \text{ёки} \quad \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

тенгликдан топилади:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}} = \omega_0.$$

*Манбадан тебраниш контурига бериладиган ўзгарувчан кучланишнинг частотаси тебраниш контурининг хусусий частотасига тенг бўлганда параллел тебраниш контурида резонанс бошланади:*

$$\omega = \omega_0$$

#### 24-§. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ ВА УНИ УЗАТИШ

Электр энергияси электр станцияларида ишлаб чиқарилади. Ўзгартириладиган энергия турига қараб улар шамол, иссиқлик, гидравлик ва атом электр станцияларига бўлинади.

**1. Иссиқлик электр станциялари (ТЭС — ИЭС).** Замонавий энг қувватли электр станцияларида энергияни ўзгартириб берувчи бир неча блоклар ўрнатилади. Ҳар бир блок қозон, турбина, генератор

ва трансформатордан ташкил топади. Блоклар бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда ишлайди.

Кувватли иссиқлик электр станцияларининг фойдали иш коэффициентлари 40 фоизга ётади, бунда фойдаланилмаган энергиянинг катта қисми ишлатиб бўлинган буғ билан чиқиб кетади. Ишлатиб бўлинган буғ энергиясидан тўлароқ фойдаланиш мақсадида иссиқлик энергетик станциялари (ТЭЦ — ИЭМ — иссиқлик электр марказлари) қурилади. ТЭЦларда ишлатиб бўлинган буғ энергиясидан корхоналар ва маиший иситиш системаларининг эҳтиёжларини кондиритиш учун фойдаланилади. Республикадаги ТЭЦ ларнинг куввати барча иссиқлик электр станциялари йиғинди кувватининг 80 фоизини ташкил этган. Куввати 1000 МВт дан катта бўлган айрим иссиқлик электр станцияларини санаб ўтаемиз: Сирдарё (3000 МВт), Ангрен (2400 МВт), Тошкент (1860 МВт) ва Навоий (1250 МВт).

**2. Гидроэлектр станциялар (ГЭС).** Гидроэлектр станцияларида генераторларнинг роторларини гидравлик турбиналар айлантиради. Ўзбекистон Республикасида Чорвоқ (600 МВт), Хожикент (165 МВт), Пскент (450 МВт), Туямўйин (150 МВт), Ғазалкент (120 МВт).

**3. Электр энергиясини узатиш.** Электр станцияларида ишлаб чиқилган электр энергиясини станциядан юзлаб километр олинса жойлашган истеъмолчиларга узатишга тўғри келади. Бу мақсадда станция билан истеъмолчи оралиғига электр узатувчи линиялар (ЛЭП) қурилади.

Электр энергиясини узатишда энергиянинг бир қисми симларни иситишга сарфланиши туфайли иложсиз энергия исрофи бўлади. Бу исрофни камайтириш йўллари аниқлайлик. Айтайлик,  $P$  кувватли истеъмолчи электр станциядан  $l$  масофада бўлсин ва  $U$  кучланишда ишласин, электр узатувчи линия симларининг кўндаланг кесими  $S$  бўлсин. Жоуль-Ленц қонунига кўра электр узатувчи линияда иссиқликка айланиш туфайли йўқотилган кувват

$$\Delta P = I^2 R$$

га тенг, бу ердаги

$$R = 2\rho \frac{l}{S}$$

узатувчи линия симларининг қаршилиги. Ўзгарувчан ток кувватининг  $P = IU \cos \varphi$  ифодасидан ток кучини топамиз:

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

Ток кучи ва линия қаршилиги қийматларини  $\Delta P$  ифодасига қўйиб, симлардаги йўқотилган кувватни ҳисоблаш учун

$$\Delta P = \frac{2\rho P^2 l}{SU^2 \cos^2 \varphi}$$

формулани топамиз.



Формуладаги  $\rho$ ,  $l$ ,  $P$  ва  $\cos\varphi$  катталиклар доимий бўлгани сабабли

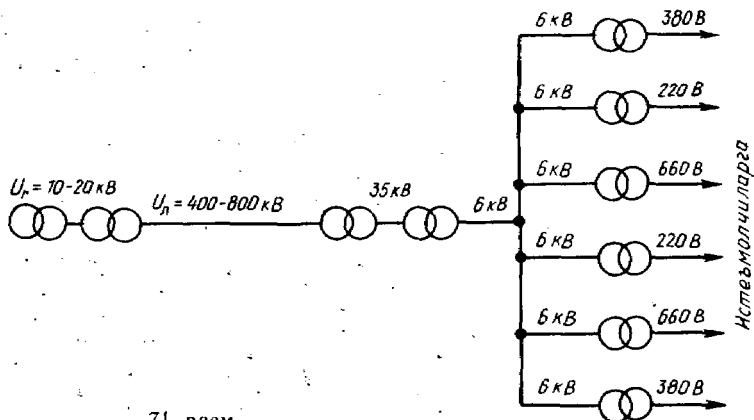
$$\Delta P = k \frac{l}{SU^2}$$

бўлади ( $k = 2\rho P^2 / \cos^2\varphi$  — доимий коэффициент). Сўнги формуладан кўринадики, берилган масофага энергия узатувчи линиялардаги энергия йўқотилишини камайтириш учун симларнинг кўндаланг кесим юзасини орттириш ва  $U$  кучланишни кўпайтириш керак. Аммо симларнинг кўндаланг кесим юзасини орттириш симлар массасининг ортишига ва узатувчи линияларнинг хаддан ташқари қимматлашиб кетишига олиб келади. *Энергия исрофини камайтиришнинг энг самарали усули кучланишни орттиришдир.* Шунинг учун энергияни узоқ масофаларга узатишда кучланиш бир неча юз киловольтларгача кучайтирилади. Мисол учун, Сирдарё ГЭСининг электр энергияси Фарғона водийсига 500 кВ кучланиш билан узатилади. Толимаржон ГЭС ининг электр энергияси 750 кВ кучланиш билан узатилиши мўлжалланган. Аммо ўзгарувчан ток линияларида кучланиш жуда юқори бўлганда симлар атрофида тожли разряд пайдо бўлиши туфайли электр энергиясининг йўқотилиши кескин ортади (хар километрда 100 киловаттгача).

Шунинг учун кейинги йиллари тожли разряд туфайли энергия йўқотилиши анча кам бўладиган, ўзгармас токли энергия узатувчи линиялар қурилиши бошлаб юборилди.

Генераторлар 20 кВ дан ортмайдиган кучланишли электр энергияси ишлаб чиқаради, шунинг учун электр станцияларда кучайтирувчи, истеъмол қилинадиган жойда эса пасайтирувчи трансформаторлар ўрнатилади.

Кучланишни пасайтириш бир неча босқичларда амалга оширилади: электр узатувчи линиянинг охиридаги пасайтирувчи подстанцияда кучланиш бир марта пасайтирилгандан сўнг энергия истеъмол қилинадиган жойга 35 ва 6 кВ кучланиш билан



71-рasm

узатилади, фақат шундан кейингина у истеъмолчига мўлжалланган кучланишгача трансформацияланади.

Электр энергиясини узатиш ва таксимлашнинг 71-расмда тасвирланган содалаштирилган схемасида трансформатор  $\infty$  белги билан, электр узатувчи линия эса, шартли равишда тўғри чизиклар билан белгиланган. Электр узатувчи реал линиялар учта, гоҳида тўртта симлардан иборат бўлади.

## 25-§. ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСИНING РИВОЖЛАНИШИ

**1. Электр энергиясининг аҳамияти ва афзалликлари.** Аҳолининг турмуш тарзини, ишлаб чиқариш тармоқларини ва маиший хизмат кўрсатиш соҳаларини электр энергиясиз тасаввур қилиб бўлмайди. Жамиятда ишлаб чиқариш кучларининг тараққиёти ҳам электр энергиясини ишлаб чиқариш ва ундан фойдаланиш даражасига бевосита боғлиқдир. Кейинги даврларда электр энергиясини ишлаб чиқариш ва ундан фойдаланиш даражаси бошқа тур энергияларига нисбатан жадал ортиб бормоқда. Бутун дунё бўйича кейинги 25 йил мобайнида энергиядан фойдаланиш икки баробар ортган бўлса, шу даврда фақат электр энергиясидан фойдаланиш беш баробар ортди. Бу эса энергия ҳисобига ишлайдиган тармоқлар тобора кўпроқ электр энергиясидан фойдаланиш асосига ўтаётганидан далолат беради. Бунга асосий сабаб, электр энергиясининг бошқа турдаги энергияларга караганда афзаллигидир.

Электр энергиясининг афзалликлари қуйидагилардан иборат:

- а) кам харажат билан узоқ масофаларга узатиш;
- б) кучланишини юкори ФИК билан ўзгартириш;
- в) бошқа турдаги энергияга осонгина айлантириш;
- г) у ҳар қандай порцияларга осон бўлинади;
- д) атроф-муҳитга зарар етказмайди.

Электр энергиясининг қанчалик афзаллигини ёқилғи энергияси билан таққослаб кўрайлик. Ёқилғи, масалан, кўмирни узоқ масофага ташишда харажат ва исрофликлар кўп бўлади. Ундан фойдаланиш жараёнида иш кучи талаб қилинади. Кўмир ёнишида унинг ФИКи жуда кам. Ёниш жараёнида ундан атроф-муҳитга кўп миқдорда зарарли газ чиқади. Бошқа ёқилғи энергиялари — нефть, табиий газ, бензин ҳақида ҳам шундай фикрларни айтиш мумкин. Ундан ташқари, ёқилғи энергияси захиралари чекланган бўлиб, улар тобора камайиб бормоқда. Бу далилларнинг барчаси электр энергиясини ишлаб чиқариш ва ундан янада кенгрок фойдаланиш заруратини кўрсатади.

**2. Ўзбекистонда электр энергетикасининг ривожланиши.** Энергия турлари орасида электр энергияси нисбатан энг ёшларидан биридир. Дунёда биринчи электр станция қурилганига эндиgina юз йилдан ошди. 1891 йилда Германиянинг Лауфен шаҳрида дунёда биринчи электр станция қурилган. Бу ГЭСнинг электр энергияси қуввати бор-йўғи 300 кВт бўлган. Шу даврдан бошлаб бошқа

мамлакатларда ҳам электр станциялар қурилиб, электр энергетикаси вужудга келган ва аста-секин ривожлана бошлаган.

Ҳозирги Ўзбекистон ҳудудида дастлабки кичик электр станциялар XX асрнинг бошларида қурила бошлаган. Маълумотларга кўра, 1913 йилда ўлкамиз ҳудудида ишлаб чиқарилган электр энергиясининг қуввати 3 миң кВт ни ташкил этган. Бу энергия қуввати ҳозиргига таққослаганда нихоятда оз бўлса-да, ўша пайтлар учун катта янгилик эди.

Ўзбекистонда биринчи йирикрок электр станция 1926 йилда Бўзсув каналига қурилган. Бўзсув ГЭСининг энергия қуввати 30 миң кВт ни ташкил этган. 30—50-йилларда Ўзбекистонда электр станцияларининг қурилиши жадал ривожланди. Бу даврда Чирчик дарёси ва Бўзсув каналидагина 16 та ГЭС қурилди. Шу билан бир қаторда Фарғона, Қувасой, Тошкент, Бухоро, Самарқанд, Қўқон ва бошқа жойларда ёқилги билан ишлайдиган иссиқлик электр станциялари қурилиб ишга туширилди. Фарход, Қуйи Бўзсув, Шахрихон, Наманган, Қумкўрғон, Толигулон, Қайроққум, Окковок, Оқтепа, Қибрай, Шайхонтохур каби ГЭСлар ана шу даврда қурилди. Сирдарё ўзанига 1943—48 йилларда қурилган Фарход ГЭСи Ўзбекистондаги йирик электр станциялардан бири бўлиб, унинг қуввати 3000 мВт ни ташкил этади.

60—70-йилларда Ўзбекистонда кўплаб йирик электр станциялар қурилиши аҳолини электр энергияси билан тўлиқ таъминлашга имкон берди. Бу даврда Навоий, Тахнатош каби йирик иссиқлик электр станциялари, Чорвоқ, Туямўйин, Юқори Чирчик, Шофиркон каби гидроэлектростанциялар қурилди. 1960—62 йилларда Навоий шаҳрига қурилган иссиқлик электр станциясининг қуввати 1250 мВт бўлиб, унда ёқилги сифатида Бухоро табиий газидан фойдаланилади. 1962—72 йилларда қурилган Чорвоқ ГЭСи ҳам Ўзбекистондаги йирик электр станциялардан биридир. Чирчик дарёсининг бошланғичига қурилган Чорвоқ ГЭСининг қуввати 600 мВт ни ташкил этади.

Ҳозирги пайтда электр энергиясини ишлаб чиқариш қуввати ортиб бормоқда. Сув энергиясидан фойдаланишни кенгайтириш билан бир қаторда Қуёш энергиясидан ҳам фойдаланиш истиқболлари белгиланмоқда.

### 3-МАСҲ

1. Узгарувчан ток занжирининг вольтметр билан ўлчанган кучланиши 127 В. Кучланишнинг амплитуда қиймати қанчага тенг?

2. Кучланиши 127 В, частотаси 50 Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғига индуктивлиги  $127 \cdot 10^{-3}$  Гн бўлган ғалтак уланган. Ғалтак магнит майдони энергиясининг максимал қийматини аниқланг.

3. Кучланиши 240 В, частотаси 50 Гц бўлган генераторга 40 мкФ сифимли конденсатор уланган. Занжирдаги ток кучини ва конденсатор электр майдони энергиясининг максимал қийматини аниқланг.

4. Кучланиши 120 В ва частотаси 50 Гц бўлган тармоққа индуктивлиги 25,5 мГн актив қаршилиги 6 Ом бўлган ғалтак уланган. Занжирдаги ток кучини топинг.

5. Кучланиши 240 В ва частотаси 50 Гц бўлган тармоққа кетма-кет равишда 40 мкФ сиғимли конденсатор ва 60 Ом қаршиликли резистор уланган. Тармоқдан истеъмол қилинадиган энергияни ва қувват коэффициентини аниқланг.

6. Кучланиши 250 В ва частотаси 60 Гц бўлган генераторга кетма-кет равишда 30 Ом қаршиликли резистор, индуктивлиги 382 мГн бўлган фалтак ва 40 мкФ сиғимли конденсатор уланган. Занжирда ўзгартирилувчи актив қувватни аниқланг.

7. Электр сиғими 40 мкФ ва индуктивлиги 382 мГн бўлган кетма-кет контурнинг резонанс частотасини аниқланг.

8. Занжирдаги ток кучи ва кучланиш

$$i = 5 \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}), \quad u = 100 \sin \omega t$$

қонунлар бўйича ўзгаради. Агар ток кучи амперларда, кучланиш — вольтларда ифодаланган бўлса, актив қувватни аниқланг.

#### IV БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Тебраниш системасига даврий ўзгарувчи ташки куч ёки кучланиш (мажбур этувчи тебранишлар) таъсир этганда *мажбурий тебранишлар* юзага келади.

2. Мажбурий тебранишлар частотаси мажбур этувчи тебранишлар частотасига тенг.

3. Мажбурий ва мажбур этувчи тебранишлар орасида эркин ва мажбурий тебранишлар частоталари нисбатига ва ишқаланишга (қаршиликка) боғлиқ бўлган *фазалар айирмаси* мавжуд.

4. Барқарорлашган мажбурий тебранишлар амплитудаси мажбур этувчи тебранишлар амплитудасига, системадаги ишқаланишга ва мажбур этувчи куч (кучланиш) тебранишлари билан тўлиқ (ток кучи) тебранишлари орасидаги фазалар айирмасига боғлиқ.

5. Мажбур этувчи тебранишлар частотаси тебраниш системасининг хусусий частотасига яқинлашганда барқарорлашган мажбурий тебранишлар амплитудасининг кескин ортиб кетиши *резонанс* дейилади.

6. *Ўзгарувчан ток* — бу мажбурий электромагнит тебранишлардан *иборат*. Ўзгарувчан токнинг тебранишлардан иборатлиги унинг ўзига хос хусусиятлари сабабчидир.

7. Ўзгарувчан ток занжирида *актив, индуктив* ва *сиғим қаршиликлар* бўлади. Индуктив ва сиғим қаршиликларнинг актив қаршиликдан асосий фарқи шундаки, уларда электр энергиясининг қайтармайдиган бошқа энергия турларига айланиши юз бермайди, улар фақат занжирлардаги ток кучини чегаралайди.

8. Ўзгарувчан ток занжиридаги ток кучининг тебранишлари, фазаси бўйича генератор кучланишининг тебранишларига мос келмаслиги мумкин. Ток кучи ва генератор кучланишининг тебранишлари орасидаги фазалар айирмаси индуктив ва сиғим қаршиликлар орасидаги нисбатга боғлиқ.

9. Ўзгарувчан ток занжирларида Ом қонуни фақат таъсир

этувчи ва максимал кийматлар учунгина ўринли, оний кийматлар учун ўринли эмас.

10. Ўзгарувчан токнинг тармоқдан олинадиган қуввати фақат ток кучи ва кучланишгагина эмас, балки ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари орасидаги фазалар айирмасига ҳам боғлиқ.

11. Қувват коэффиценти истеъмолчи тармоқдан келувчи қувватнинг қанча қисмини энергиянинг қайтарилмайдиган бошқа турларига айлантиришини кўрсатади. Қувват коэффиценти ток кучи ва кучланиш тебранишлари орасидаги фазалар айирмасининг косинусига тенг.

## ХУЛОСА

Тебранма ҳаракат (тебранишлар) — табиатда энг кўп тарқалган ҳаракатлардан биридир. Физикада асосан механик ва электромагнит тебранишлар ўрганилади. Тебранишларни ўрганиш жараёнида шу нарса маълум бўлдики, ҳам механик, ҳам электромагнит тебранишлар учун бир хил математик формулалар билан ифодаланувчи бир хил қонуниятлар ҳаракатли. Шунинг учун бир табиатли тебранишларни ўрганишда олинган натижаларни бошқа тебранишларга ҳам кўчириш мумкин бўлади. Ҳар хил табиатли тебранишларни ўрганишга ягона нуқтан назардан ёндошиш асосида буни амалга ошириш осон. Тебранишларнинг ягона назариясини яратувчилардан бири Л. И. Мандельштам бўлиб, у ўзининг тарафдорлари ва ўқувчилари (А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, Н. Д. Пополексн) билан биргаликда бу соҳада анча катта ишлар қилди.

Тебранишларнинг характерли хусусияти даврий равишда энергияни бир турдан бошқа турга айлантиришдир. Масалан, механик тебранишларда узлуксиз равишда кинетик энергия потенциал энергияга айланади ва аксинча:

$$W_k \rightarrow W_p \rightarrow W_k \rightarrow W_p \rightarrow \dots$$

Электромагнит тебранишлар ҳолида конденсаторнинг электр майдони энергияси индуктив ғалтақнинг магнит майдони энергиясига айланади ва аксинча:

$$W_e \rightarrow W_M \rightarrow W_e \rightarrow W_M \rightarrow \dots$$

Бу ўтиш даврий равишда, бутун тебраниш жараёни давомида юз беради.

Реал тебраниш системаларида қаршилик (ишқаланиш) туфайли системага дастлаб берилган энергиянинг бир қисми қайтарилмайдиган энергия-ҳешиқликка айланади ва атроф фазога сочилиб кетади. Тебранишларни ўрганишни соддалаштириш мақсадида физикада қаршилиги (ишқаланиши) бўлмаган *идеал тебраниш системаси* тушунчаси киритилади.

Тебранишларнинг уч типни мавжуд: *эркин, мажбурий ва автотебранишлар*. Эркин тебранишлар ташқи ўзгарувчи таъсирларга учрамаган тебраниш системаларида, уларнинг турғун мувозанат ҳолатдан чиқарилгани туфайли юзага келади.

Идеал тебраниш системасида юзага келувчи эркин тебранишлар чексиз узоқ давом этади, бу тебранишларни характерловчи катталиклар эса (механик тебранишларда — силжиш, тезлик ва тезланиш, электромагнит тебранишларда — заряд, ток кучи ва кучланиш) синусоидал конун бўйича ўзгаради.

Мисол учун, агар вақтни ҳисоблаш боши ( $t=0$ ) сифатида тебраниш системасининг мувозанат ҳолатдан ўтиш momenti қабул қилинса, юқорида айтилган катталикларнинг оний қийматлари куйидаги формулалар билан ҳисобланади:

$$\begin{aligned}x &= X_m \sin \omega_0 t, & q &= Q_m \sin \omega_0 t, \\v &= V_m \cos \omega_0 t, & i &= I_m \cos \omega_0 t, \\a &= -A_m \sin \omega_0 t, & \frac{di}{dt} &= -I_m \omega_0 \sin \omega_0 t.\end{aligned}$$

Агар вақтни ҳисоблаш боши ( $t=0$ ) учун тебраниш системасининг максимал оғишлардан бири орқали ўтиш momenti олинса, тебранишларни ифодаловчи катталиклар оний қийматларининг ўзгаришлари:

$$\begin{aligned}x &= X_m \cos \omega_0 t, & q &= Q_m \cos \omega_0 t, \\v &= -V_m \sin \omega_0 t, & i &= -I_m \sin \omega_0 t, \\a &= -A_m \cos \omega_0 t, & \frac{di}{dt} &= -I_m \omega_0 \cos \omega_0 t.\end{aligned}$$

формулалар билан аниқланади.

Механик тебранма ҳаракат динамикаси тўғри чизиқли ҳаракат килувчи жисмлар динамикасидан сезиларли фарқланади. Тўғри чизиқли ва эгри чизиқли ҳаракат динамикасини ўрганишда ҳаракатланувчи жисмларнинг берилган вақт momentiда, фазонинг берилган нуктасида бўлишини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга. Тебранишлар назарияси учун масаланинг бундай қўйилиши аҳамиятга эга эмас. Мисол учун, тебранишлар назариясини берилган  $t$  вақт momentiда маятник ёки тебранувчи камертон оёқчасининг қаерда бўлиши кизиқтирмайди. Шунингдек бу назарияни берилган вақт momenti ва берилган жойда тебранувчи системага таъсир этувчи кучнинг қиймати ҳам кизиқтирмайди. Тебранишлар назариясини бир бутун ҳолдаги ҳаракат кизиқтиради. Ҳаракатни бир бутун ҳолда ўрганиш мақсадида тебранишлар назариясида тебранишлар амплитудаси, частота, давр, фаза, силжиш каби қатор ўзига хос махсус катталиклар киритилади. Эркин тебранишлар даври ва частотаси системага берилган бошланғич энергияга боғлиқ эмас ва тебраниш системасининг параметрлари билан аниқланади:

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

Эркин тебранишлар амплитудаси эса системага берилган бошланғич энергияга боғлиқ:

$$X_m = \sqrt{\frac{2E}{k}}, \quad I_m = \sqrt{\frac{2E}{L}}$$

$$V_m = \sqrt{\frac{2E}{m}}, \quad U_m = \sqrt{\frac{2E}{C}}$$

Тебраниш системасида даврий равишда таъсир этувчи куч (механик тебраниш системаларида) ёки даврий равишда ўзгарувчи кучланиш (тебраниш контурида) таъсирида *мажбурий тебранишлар* юзага келади.

Мажбурий тебранишлар частотаси мажбур этувчи (куч ёки кучланиш) тебранишлар частотасига тенг.

Мажбурий ва мажбур этувчи тебранишлар орасида, эркин ва мажбур этувчи тебранишлар частоталари нисбатига ва система қаршилиги (ишқалиши)га боғлиқ бўлган фазалар айирмаси мавжуд.

Агар мажбур этувчи тебранишлар частотаси кичик бўлса, куч ва силжиш тебранишлари орасидаги фаза бўйича силжиш ҳам кичик бўлади. Механик системада силжиш мажбур этувчи куч ўзгаришига синхрон (мос) равишда ўзгаради. Худди шунга ўхшаш, электромагнит системаларда заряднинг тебранишлари мажбур этувчи кучланиш тебранишларга мос келади.

Мажбур этувчи тебранишлар частотаси ортганда фаза бўйича силжиш юзага келади (механик тебраниш системаларида тезлик ва куч орасида, электромагнит системада эса ток кучи ва кучланиш орасида).

Резонанс пайтида — мажбур этувчи тебранишлар частотаси эркин тебранишлар частотасига тенг бўлганда ( $\omega = \omega_0$ ), куч ва силжиш (худди шунингдек, кучланиш ва заряд) тебранишлари орасидаги фаза бўйича силжиш  $\pi/2$  га етади. Энг мухими шундаки, резонанс вақтида куч ва тезлик тебранишлари орасидаги (электромагнит тебранишларда кучланиш ва ток кучи тебранишлари орасидаги) фаза бўйича силжиш нолга тенг бўлади.

Мажбурий тебранишлар амплитудаси куч (кучланиш) амплитудасига система ишқалинишига (қаршилигига) ҳамда мажбур этувчи ва эркин тебранишлар частоталари нисбатига боғлиқ.

*Автотебранишлар* — бу автотебраниш системасига кирувчи энергия манбаи томонидан қувватлаб туриладиган *сўнмас тебранишлардир*. Автотебраниш системаси тебраниш системасидан энергия манбаидан ва махсус қурилма (клапан)дан иборат, клапанинг ишлашини тебраниш системани тесқари боғланиш орқали бошқаради. Клапан тебраниш системасини даврий равишда энергия билан таъминлаб туриш учун хизмат қилади.

Барқарорлашган автотебранишлар частотаси ва амплитудаси фақат автотебраниш системасининг параметрларига боғлиқ.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР

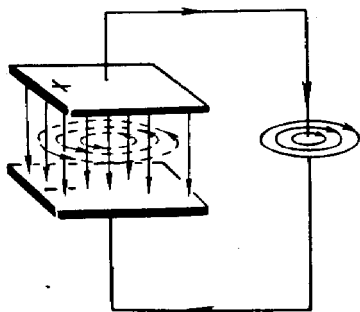
Электрланган жисмларнинг ўзаро таъсирини ўрганиб, Сиз билдингизки, бу жисмларнинг заряди, зарядларни ўровчи ва *электрстатик майдон* деб юритилувчи электр майдон билан чамбарчас боғлиқ.

Ўзгармас ток қонунларини ўрганишда, электр майдон, бу ҳолда, магнит майдон билан бир вақтда мавжуд бўлиши ва бир бутун ягона *электромагнит майдонни* ҳосил қилиши аниқланди. Бу майдон вақт ўтиши билан ўзгармайди ва шунинг учун *стационар электромагнит майдон* деб юритилади.

Магнит майдон ҳаракатланувчи электр зарядлар томонидан ҳосил қилинади ва фақат ҳаракатланувчи электр зарядларга таъсир этади.

Нихоят, электромагнит индукция ҳодисасини ўрганишда, магнит майдоннинг ҳар қандай ўзгаришида уярмавий индукцион электр майдон уйғониши аниқланди.

Инглиз физиги Ж. К. Максвелл электромагнит ҳодисаларни таҳлил қилиш асосида, электр майдоннинг ўзгаришида ўзгарувчи магнит майдон уйғониши керак, деган фикрни илгари сурди. Хусусан, агар зарядланган конденсатор ўтказгич билан туташтирилса, конденсатор зарядсизланади, бунда туташтирувчи ўтказгичлар атрофида ҳам, конденсатор копламалари орасида ҳам магнит майдон уйғонади (72-расм). Шундай қилиб, магнит майдон ё ҳаракатланувчи электр зарядлар (тоқлар), томонидан ё ўзгарувчи электр майдон томонидан уйғотилиши мумкин.



72-расм

Максвелл назариясига кўра, табиатда электромагнит майдонгина реал мавжуд бўлиб, электр ва магнит майдонлар бу майдоннинг икки томони, икки ташкил этувчисидир. Максвелл 1865 йили ўзгарувчи электромагнит майдон фазода электромагнит тўлқин кўринишида ёруғлик тезлиги билан тарқалиши кераклигини башорат қилди.

Максвеллнинг электромагнит тўлқин назарияси 1888 йили немис физиги Г. Герц томонидан экспериментал тасдиқланди.



Кейинчалик, Максвелл назарияси радиотўлқинлар, инфракизил, кўринадиган, ультрабинафша, рентген нурлари ва гамма-нурланиш ҳам электромагнит тўлқинлардан иборатлигини аниқлашга имкон берди. Улар бир-биридан частоталари ва тўлқин узунликлари билан фарқланишади (3- жадвал).

3- жадвал.

| № | Частота, Гц         | Тўлқин диапазоли    | Тўлқин узунлиги, м    |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | $10^3 - 10^{12}$    | Радиотўлқинлар      | $10^3 - 10^{-3}$      |
| 2 | $10^{12} - 10^{14}$ | Инфракизил          | $10^{-3} - 10^{-7}$   |
| 3 | $10^{14}$           | Кўринадиган ёруғлик | $10^{-7}$             |
| 4 | $10^{14} - 10^{17}$ | Ультрабинафша       | $10^{-7} - 10^{-9}$   |
| 5 | $10^{17} - 10^{20}$ | Рентген             | $10^{-9} - 10^{-12}$  |
| 6 | $10^{20} - 10^{23}$ | $\gamma$ - нурланиш | $10^{-12} - 10^{-15}$ |

Жадвалда кўпол яхлитланган сонлар келтирилди. Бундан ташқари ҳақиқатда, кўшни тўлқин диапазонлари орасида кескин чегара йўқлигини ҳам эътиборга олиш керак. Тўлқинларнинг хоссалари сакраб эмас, балки бир текис ўзгарганлиги сабабли, тўлқин диапазонлари бир-бирига ўтиб кетади.

## Ҳ 6 0 6 . ТЎЛҚИНЛАРНИНГ УМУМИЙ ХОССАЛАРИ

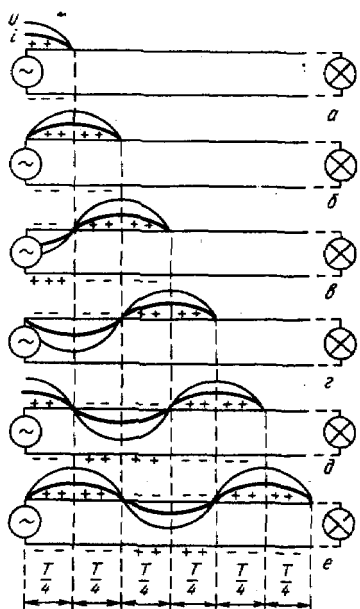
### 26- §. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР ҲАҚИДАГИ ДАСТЛАБКИ МАЪЛУМОТЛАР

1. **Электр узатувчи линиялардаги югурувчи тўлқинлар.** Юқори частотали синусоидал ўзгарувчи ток генераторига актив қаршилиги кичик бўлган узун электр узатувчи линияни улаймиз. Линиянинг бўш учига актив нагрузка ( $\cos\varphi=1$ ) сифатида чўғланма лампани улаймиз (73- расм). Электр узатувчи линия бўйлаб электромагнит тебранишларнинг тарқалиш жараёнини қараб чиқамиз. Актив қаршилик кичиклиги сабабли, линиядаги энергия йўқолишини ҳисобга олмаслик мумкин.

Агар линия генераторга уланиш momentiда унинг занжирларидаги кучланиш нолга тенг бўлиб, сўнгра орта борган бўлса, юқориги ўтказгич мусбат, пасткиси — манфий зарядланган бўлади. Чорак давр ичида генераторнинг мажбур этувчи кучланиши таъсирида линия симлар 73- а расмда кўрсатилгандек зарядланиб улгуради. Ана шу расмнинг ўзида симлар орасидаги кучланишнинг (йўғон чизик) ва линиядаги ток кучининг (ингичка чизик) графиклари ҳам келтирилди. Кейинги 73- б — е расмларда кучланиш ва ток кучи тебранишларининг

$$2\frac{T}{4}, 3\frac{T}{4}, 4\frac{T}{4},$$

$5\frac{T}{4}, 6\frac{T}{4}$  вақтлар ичидаги тарқалиши кўрсатилди.

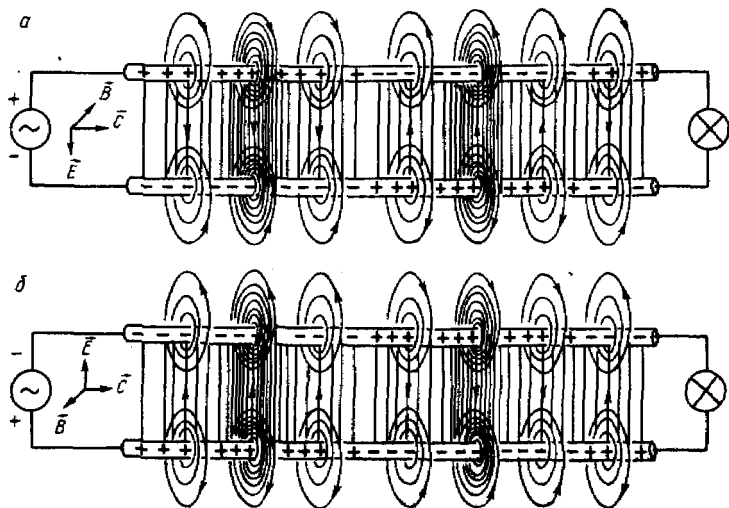


73- расм

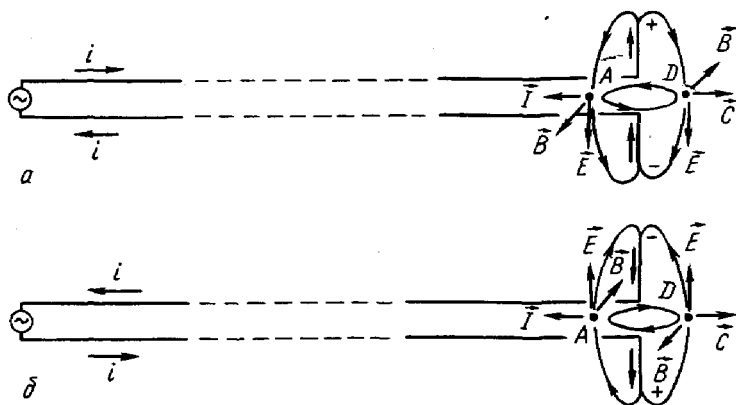
симли линиянинг қандайдир вақт momentiдаги электромагнит майдони кучланганлик ва индукция чизиклари ёрдамида тасвирланди, 74- б расмда эса ярим давр ўтгандан кейинги майдон тасвирланди. Расмларда кучланганлик ва индукция чизикларидан ташқари, электромагнит энергиянинг кўчиш йўналиши ҳам тасвирланган, бу йўналиш  $\vec{C}$  тўлқин тезлиги вектори билан аниқланади. Расмлар-

Расмларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, электромагнит тебранишларнинг линия бўйлаб тарқалиш жараёни тўлқин характериға эға: электр узатувчи линия бўйлаб, *югурувчи тўлқинлар* деб номланган, ток кучи ва кучланишнинг тўлқинлари «югуради». Актив нағрузка (лампа) учун  $\cos\varphi=1$  бўлгани сабабли, ток кучи ва кучланишнинг тебранишлари фазаси бўйича мос келади. Бу эса электромагнит тўлқинлар манбадан истеъмолчига энергия олиб ўтишини аңглатади.

**2. Югурувчи тўлқинларнинг электромагнит майдони.** Ягона электромагнит майдон иккита ташкил этувчи — электр ва магнит майдонлардан иборат. Электр майдонни  $\vec{E}$  кучланганлик вектори чизиклари билан, магнит майдонни эса  $\vec{B}$  магнит индукция вектори чизиклари билан тасвирлаш қулай.



74- расм

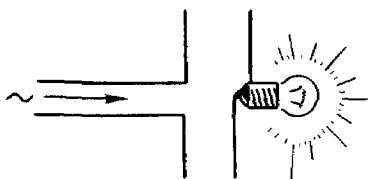


75- расм

дан кўринадики,  $\vec{B}$  ва  $\vec{E}$  векторларнинг йўналиши ҳар ярим даврда ўзгарса ҳам, улар ҳар доим  $C$  векторга перпендикуляр бўлган текисликда қолади. Бу векторларнинг ўзаро жойлашиши (ориентацияси) ҳамма жойда бир хил ва уни қуйидаги қонда (ўнг парма қондаси) бўйича эслаб қолиш қулай: агар ўнг парма дастасининг айланма ҳаракати  $\vec{E}$  кучланганлик векторидан  $\vec{B}$  индукция векторига энг қисқа йўл билан ўтиш йўналишига мос келса, парманинг илгариланма ҳаракати электромагнит тўлқинининг тарқалиши йўналишига мос келади. Ўзаро перпендикуляр бўлган  $\vec{E}$  кучланганлик ва  $\vec{B}$  индукция векторлари тебранишларнинг  $C$  тарқалиш тезлигига ҳам перпендикуляр бўлгани сабабли электромагнит тўлқинлар қўндаланг тўлқин бўлади.

**3. Электромагнит тўлқинларнинг нурланиши.** Юқорида кўрилган мисолда электромагнит тўлқин тарқалар экан ҳамма вақт симлар билан боғланган ҳолда қолади. У симлар бўйлаб сирпангандек бўлади. Агар симлар охирига лампа ўрнига чорак тўлқин узунлигида тўғри бурчак остида буқилган иккита тўғри чизикли сим бўлаги уланса (75- расм) манзара бутунлай ўзгаради. Бу икки сим бўлаги ярим тўлқинли вибратор (уни Герц вибратори деб ҳам юртилади) ҳосил қилади. Ярим тўлқинли вибратор атрофида ўзгарувчи электромагнит майдон ҳосил бўлади. 75- а ва 75- б расмларда кучланганлик ва индукция чизиклари ёрдамида бу майдоннинг ва  $(t + \frac{T}{2})$  вақт моментларидаги тузилиши (структураси) кўрсатилди.

Кучланганлик ва индукция векторларининг йўналишларини билган ҳолда  $A$  ва  $D$  нукталарда тўлқин энергиясининг  $t$  momentiдаги ва ярим даврдан сўнг,  $(t + \frac{T}{2})$  моментдаги тарқалиш йўналишини аниқлаш мумкин. Ҳар иккала ҳолда ҳам тўлқин тарқалиш тезлиги вектори вибратордан ташқарига йўналади.



76- расм

Бу — вибратордан электромагнит тўлқин нурланади, деб тахмин-килишга асос бўлади. Биринчи бўлиб, бундай хулосага 1865 йили Ж. К. Максвелл келган эди. Электромагнит тўлқинларнинг нурланишини ва тарқалишини 1888 йилда Г. Герц тажрибада аниқлади.

Электромагнит тўлқинларнинг симларсиз ҳам тарқалиши мумкинлиги хақидаги хулосани текшириб кўриш учун юқори частотали электромагнит тебранишлари генератори, узатиш линияси ва ярим тўлқинли вибратордан иборат қурилмани йиғамиз (76- расм). Вибратордан 1—2 метр масофага худди ана шундай вибраторни кўямиз, аммо унинг иккита сим бўлаклари ораллиғига кичик қувватли чўнтак фонари лампочкасини улаймиз. Генераторни улаб, лампочканинг ёнишини кўрамиз. Тажрибадан кўринадики, электромагнит тебранишлари генераторига уланган ярим тўлқинли вибратор атроф фазога электромагнит майдонни электромагнит тўлқин тарзида нурлантиради ва ана шундай вибратор электромагнит тўлқинни қабул қилади. Қабул қилувчи вибраторда электромагнит тўлқин таъсирида мажбурий тебранишлар пайдо бўлади. Агар қабул қилувчи вибраторнинг узунлиги  $\lambda/2$  га тенг бўлса, у резонансга созланган бўлади ва унда юзага келувчи ток кучининг мажбурий тебранишлари амплитудаси энг катта бўлади. Шунинг учун ҳам юқорида баён этилган тажрибада қабул қилувчи вибратор ўтказгичлари орасига уланган лампочканинг равшан ёнишини кўриш мумкин бўлди.

Назарий ҳисоблашларнинг кўрсатишича, антенна нурланишининг қуввати тебранишлар частотасининг тўртинчи даражасига пропорционал ( $P \sim v^4$ ). Шунинг учун ҳам катта қувватли электромагнит тўлқин олиш учун юқори частотали тебранишлардан фойдаланишади. Кейинги тажрибаларимизда биз ультра-юқори (300 МГц) ва ўта юқори (10 000 МГц) частотали генераторлардан фойдаланамиз.

**4. Электромагнит тўлқин энергияси.** Юқоридаги тажрибада қабул қилувчи антеннага уланган лампочканинг ёниши электромагнит тўлқинлар энергия ташишини кўрсатади.

Тўлқинларнинг энергетик характеристикаси сифатида махсус катталик — энергия оқимининг сирт зичлиги (ёки тўлқинлар интенсивлиги) киритилган.

Энергия оқимининг сирт зичлиги тўлқинларнинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр жойлашган  $S$  юз бирлигидан вақт бирлиги ичида ўтувчи  $W$  электромагнит майдон энергиясига тенг:

$$I = \frac{W}{St}$$

Энергия оқими сирт зичлигининг Халқаро бирликлар системасидаги бирлиги

$$|I| = \frac{1 \text{ Ж}}{1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

5 \*. Жуда муҳим ва ажойиб муносабат. Максвелл электромагнит тўлқиндаги  $\vec{E}$  кучланганлик ва  $\vec{B}$  магнит индукцияси қуйидаги

$$\frac{E}{B} = c$$

оддий муносабат билан боғланганлигини назарий исботлаган эди. Бу ерда  $c$  — электромагнит тўлқиннинг вакуумдаги тарқалиш тезлиги.

Бу муносабатдан фойдаланиб, электромагнит майдоннинг электр ва магнит ташкил этувчилари томонидан  $v$  тезлик билан ҳаракатланувчи зарядга таъсир этувчи кучлар нисбатини аниқлаймиз:

$$f_3 = qE, \quad f_m = qvB; \quad \frac{f_3}{f_m} = \frac{qE}{qvB} = \frac{E}{vB} = \frac{c}{v}$$

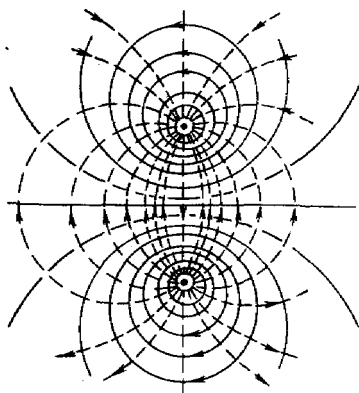
равшанки,  $v \ll c$  бўлгани учун  $f_3 \gg f_m$  бўлади, демак, электр зарядларга электромагнит тўлқин электр ташкил этувчисининг таъсири магнит ташкил этувчисининг таъсирига қараганда анча кучли экан.

?

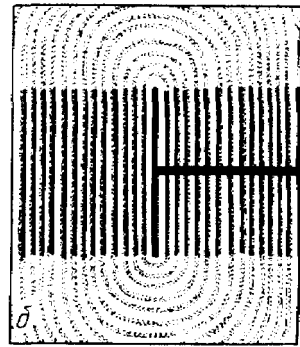
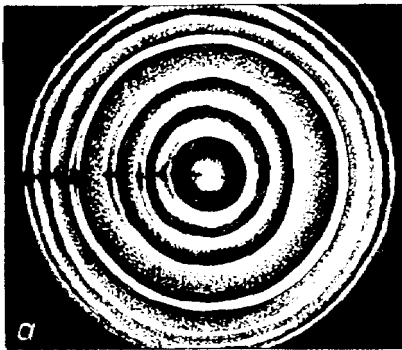
1. Икки симли линияда тебранишлар тарқалишини 73-расмдан фойдаланиб тушунтиринг.
2. Икки симли линия электромагнит майдонининг кесими 77-расмда кўрсатилган. Электромагнит майдон энергиясига электр ва магнит майдон энергиялари йиғиндисига қаралиши мумкин. Электромагнит майдон энергияси асосан қаерга тўпланганлигини аниқланг:
  - а) электр узатиш линияси симлари яқинидами?
  - б) симлардан узоқдами?
  - в) линияни ўровчи ҳажм бўйича бир текис тақсимланганми?
3. Юқори частотали генераторга уланган ярим тўлқинли вибратор электромагнит тўлқинлар тарқатиши кераклигини 76-расмдан фойдаланиб кўрсатинг.
4. Энергия оқимининг сирт зичлиги нима?

## 27-§. ТЎЛҚИННИ ХАРАКТЕРЛОВЧИ АСОСИЙ ТУШУНЧА ВА ҚАТТАЛИҚЛАР

1. Тўлқин fronti. Нур сув сиртида тўлқинларни кузатиш тўлқин fronti тушунчасини киритишни анча осонлаштиради. Қандайдир вақт моментиде тебранишлар етиб келган нуқталарнинг геометрик ўрни тўлқин fronti дейилади.



77-расм



78- расм

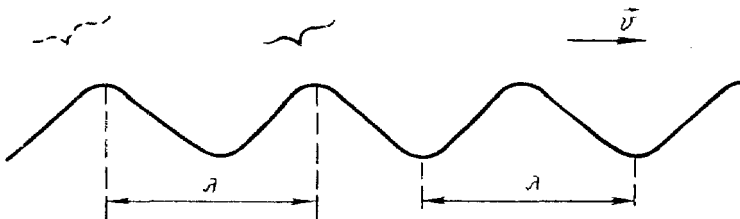
Ўлчамлари унча катта бўлмаган якка вибратор томонидан кўзгатилган тўлқиннинг fronti айлана шаклида бўлади. Узайтирилган ясси вибратордан «югурувчи» тўлқинлар тўғри чизик шаклига эга ва уларнинг fronti — тўғри чизикдан иборат (78- расм). Тебранувчи тордан таркалувчи тўлқин fronti цилиндр шаклига эга.

Тўлқиннинг таркалиш йўналиши ҳамма вақт унинг фронтига перпендикуляр бўлади. Бу йўналиш *нур* деб юритилади.

**Бир хил фазали нукталарнинг геометрик ўрни тўлқин сирт дейилади.** Тўлқин сиртлар ҳар қанча бўлиши мумкин, аммо тўлқин fronti битта бўлади.

**2. Тўлқин ҳаракатнинг тезлиги ҳақида.** Тебранишларнинг таркалиши билан танишганимизда биз тезлик тушунчасидан фойдаланган эдик. Аммо тезлик тушунчаси механикада моддий нукта ҳаракатини характерлаш учун киритилган эди. Шунинг учун илгари киритилган тезлик тушунчаси тўлқин ҳодисалар учун кенгайтирилиши зарур.

Айтайлик, чуқурлиги доимий бўлган тинч ҳолатдаги қўлга тош ташлансин. Қўл сиртининг тош тушган жойи тебранма ҳаракатга келади ва бу жойдан тўлқинлар таркала бошлайди. 79- расмда бу тўлқинларнинг кесими тасвирланди. Айтайлик, бу вақтда тош тушган жойдан бошлаб тўлқин дўнгликларидан бирининг устида ундан орқادا қолмасдан нур йўналиши бўйлаб баликчи қуш (чайка) учаётган бўлсин. Дўнглик устида учаётган чайканинг тезлиги тўлқинлар фазасининг таркалиш тезлигига тенг бўлади.



79- расм

Шунинг учун бу тезлик тўлқиннинг *фазавий тезлиги* деб юритилади.

Равшанки, агар чайка тўлқин дўнглиги устида эмас, балки унинг хоҳлаган нуктаси (масалан, тўлқин чуқурчаси) устида ундан орқада қолмасдан учганда ҳам, унинг тезлиги тўлқиннинг фазавий тезлигига тенг бўлар эди. Тўлқиннинг фазавий тезлигини  $v$  билан белгилаймиз.

**3. Электромагнит тўлқинлар тезлиги.** Максвелл назариясига кўра, электромагнит тўлқинлар тезлиги ёруғлик тезлигига тенг бўлиши керак. Максвелл назариясининг бу натижаси кейинчалик тажрибада тасдиқланган.

Ёруғлик тезлигини билиш нафақат физика учун, балки бутун табиатшунослик учун муҳим аҳамиятга эга. Шунинг учун ёруғлик тезлигини аниқлаш муҳим экспериментал масала ҳисобланар эди. Ёруғлик тезлигини аниқлаш бўйича тажрибалар қарийб 300 йилдан буён олиб борилмоқда. Замонавий тажриба далиллари бўйича ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги

$$c = (299792459 \pm 1,2) \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

га тенг.

Максвелл назарияси бўйича ёруғликнинг ихтиёрий муҳитдаги тезлиги

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

формула билан аниқланади. Бу ердаги  $\epsilon$ ,  $\mu$  — *муҳитнинг диэлектрик ва магнит сингдирувчанликлари*:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon', \quad \mu = \mu_0 \mu'.$$

Бу ифодалардаги  $\epsilon'$ ,  $\mu'$  — *муҳитнинг нисбий диэлектрик ва магнит сингдирувчанликлари дейилади ва фақат сон қиймати билан характерланади* (ўлчамсиз).  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$  — *электр ва магнит доимийлари, улар аниқ сон қиймати ва ўлчамликка эга* (СИ системасида):

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}.$$

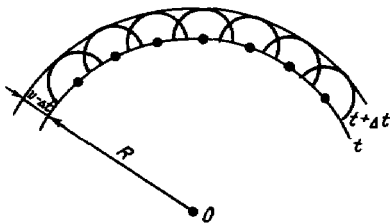
Юқоридагиларни эътиборга олиб, ёруғлик тезлиги формуласини

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon' \cdot \mu_0 \mu'}} = \frac{c}{n}$$

кўринишда ёзиш мумкин. Бу ерда

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad n = \sqrt{\epsilon' \mu'}$$

белгилаш киритилди,  $n$  — *муҳитнинг сингдириш кўрсаткичи*,  $c$  — *ёруғликнинг вакуумдаги (назарий) тезлиги*. Барча муҳитларнинг



80- расм

кита энг яқин нуқта орасидаги масофа тўлқин узунлиги дейилади. Тўлқин узунлигини  $\lambda$  (лямбда) грек ҳарфи билан белгиласак,

$$\lambda = vT \quad \text{ёки} \quad \lambda = \frac{v}{\nu}$$

бўлади.

**5. Гюйгенс принципи.** Голланд физиги Х. Гюйгенс 1690 йили агар тўлқин фронтининг  $t$  вақт momentiдаги ҳолати маълум бўлса, унинг  $t + \Delta t$  моментдаги ҳолатини аниқлашнинг оддий геометрик усулини топди. Гюйгенс  $t$  вақт momentiдаги тўлқин фронтининг ҳар бир нуқтасини иккиламчи тўлқин манбаи деб ҳисоблашни таклиф этди. У ҳолда  $t + \Delta t$  вақт momentiдаги тўлқин фронти бу иккиламчи тўлқинларни ўровчи сирт бўлади.

Айтайлик, бир жинсли изотроп муҳитда (ҳамма нуқталарининг хоссалари бир хил бўлган муҳит бир жинсли, барча йўналишлар бўйича хусусиятлари бир хил бўлган муҳит изотроп муҳит деб юритилади)  $t$  вақт momentiда тўлқин фронти  $R$  радиусли сфера бўлсин (80- расм). Гюйгенс принципига қўра, тўлқин фронти (сфера)нинг ҳар бир нуқтаси иккиламчи тўлқин манбаи бўлади. Шунинг учун тўлқин фронти (сфера)нинг ҳар бир нуқтасидан чиққан иккиламчи тўлқинлар  $\Delta t$  вақт ичида

$$\Delta R = v\Delta t$$

масофани ўтади, бу ерда  $v$  — тўлқиннинг берилган муҳитдаги фазавий тезлиги. Бу иккиламчи тўлқинларни ўровчи  $R + \Delta R$  радиусли сфера  $t + \Delta t$  вақт momentiдаги тўлқин фронти бўлади.

- ?
1. Нуқтавий манбадан нурланувчи тўлқин қаршилигини ҳисобга олмаслик мумкин бўлган муҳитда тарқалади. Манбадан узоқлашган сари тўлқин амплитудаси ўзгарадими?
  2. Ясси тўлқинлар ҳоли учун юқоридаги саволга жавоб беринг.
  3. Товуш тўлқинларининг ҳаводаги тезлиги 340 км/с. Инсон частотаси 20 Гц дан 20 кГц гача бўлган тебранишларни товуш сифатида қабул қилади. Товуш тўлқинлари узунликлари интервалини аниқланг.
  4. Тўлқин фронти тўлқин сиртдан нимаси билан фарқ қилади?
  5. 78- а, б расмларда тўлқин сиртларини кўрсатинг. Тўлқин фронти тўлқин сиртми?
  6. Гюйгенс принципини айтиб беринг.



1. **Механик тұлқинларнинг босими.** Тўсикка учраган тұлқинлар унга босади. Бунга қуйидаги тажрибаларда ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Тұлқин ваннага вертикал текисликда оғадиган тўсик кўямиз (81- расм). Вибратор улаб, тұлқинлар таъсирида тўсик вертикал ҳолатдан тұлқинлар тарқалаётган томонга оғишини кўрамыз.

Товуш тұлқинлари инсон қулоғи пардасига, микрофон мембранасига босим беради.

2. **Электромагнит тұлқинлар босими.** Тўсикка тушувчи электромагнит тұлқинлар ҳам унга босим беради. Буни исбот қилайлик. Айтайлик,  $Y$  ўқи бўйича тарқалувчи электромагнит тұлқин ўз йўлида электр ўтказувчи пластинкага учрасин, электр майдон  $\vec{E}$  кучланганлик вектори  $X$  ўқи бўйича магнит майдон  $\vec{B}$  индукция вектори эса  $Z$  ўқи бўйича йўналган бўлсин. (82- расм, расмда фақат  $\vec{E}$  векторнинг графиги кўрсатилди;  $\vec{B}$  векторнинг графиги расм текислигига перпендикуляр бўлган текисликда ётади.)

Электромагнит майдоннинг электр ташкил этувчиси металл пластинка кристалл панжарасининг ионларига ва ундаги эркин электронларга таъсир этади. Ионлар массасининг катталиги ва улар кристалл панжарага боғланганлиги сабабли, ионларга бериладиган таъсирнинг эффекти жуда кичик бўлади, шунинг учун уни ҳисобга олмаслик мумкин. Эркин электронлар бошқа гап. Электромагнит майдоннинг электр таъсир этувчиси эркин электронга

$$i_s = eE = eE_m \sin \omega t$$

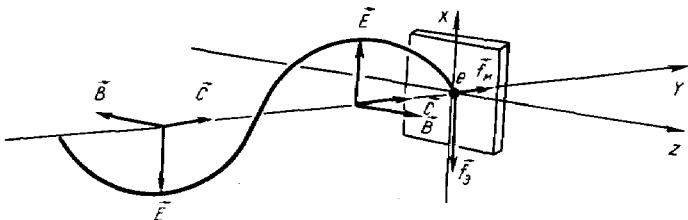
куч билан таъсир этади. Бу кучнинг модули ва йўналиши узлуксиз равишда гармоник қонуният бўйича ўзгаради. Шунинг учун электрон  $X$  ўқи бўйича мажбурий тебранишлар қилади. Аммо тебранувчи электронга яна электромагнит тўлақиннинг магнит ташкил этувчиси

$$i_M = evB_m \sin \omega t$$

куч билан таъсир этади. Чап қўл қондасига кўра бу куч металл



81- расм



82- расм

пластинка ичига,  $Y$  ўқи йўналишида (электромагнит тўлқиннинг таркалиш йўналишида) таъсир этади.  $\vec{E}$  ва  $\vec{B}$  векторларнинг йўналишлари ўзгарганда (уларнинг йўналиши бир вақтда ўзгаради), кучнинг йўналиши ўзгаришсиз қолади. Электронларни металл ичига «босиб», электромагнит тўлқин пластинкага босим беради.

**3\*. Тўлқин импульси.** Тўлқин томонидан тўсикка босим берилиши шу нарсага гувоҳлик берадики, тўлқин тўсикқача бориб унга  $\vec{p}$  импульсни узатади. Электромагнит тўлқин томонидан битта электронга узатиладиган импульсни ҳисоблайлик. Таърифга кўра

$$p = f\Delta t$$

бўлади. Шунинг учун тўлқин томонидан битта электронга узатиладиган босим

$$p_1 = f_m \Delta t = eBv\Delta t \sin\omega t$$

га тенг. Аммо ҳар қандай электромагнит тўлқинда  $B = E/c$ , бинобарин,

$$p_1 = \frac{eE_m v \Delta t}{c} \sin\omega t$$

бўлади ёки  $f_s = eE_m \sin\omega t$  экани эътиборга олинса,

$$p_1 = f_s v \Delta t / c$$

келиб чиқади. Бу тенгликнинг суратидаги  $f_s v \Delta t = \Delta W_1$  ифода электромагнит тўлқин томонидан  $\Delta t$  вақт ичида электронга узатилган энергия, шунинг учун

$$p_1 = \frac{\Delta W_1}{c}$$

бўлади. Электромагнит тўлқиннинг тўлик импульси, тўлқинлар билан ўзаро таъсирлашган барча электронларга берилган босимлар йиғиндисига тенг:

$$p = \frac{\Delta W}{c},$$

бу ердаги  $\Delta W$  — электромагнит тўлқиннинг тўсикка берган энергияси,  $c$  — унинг таркалиш тезлиги.

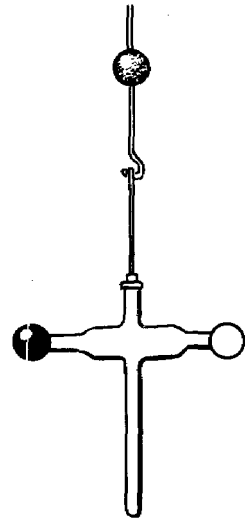
Механик тўлқин импульси формуласи электромагнит тўлқин импульси формуласига ўхшаш:

$$p = \frac{\Delta W}{v}.$$

**4. Еруғлик босими.** Максвелл 1873 йили ўзининг «Электромагнетизм ҳақида трактат» номли асарига ёруғлик ҳам ҳар қандай электромагнит тўлқин каби ўз йўлига қўйилган тўсикка босим бериши керак, деган хулосага келади. Еруғликнинг босими борлиги ҳақидаги Максвелл хулосасини тасдиқловчи ҳеч қандай экспери-

ментал далиллар ўша даврда йўқ эди ва кўпчилик физиклар бу хулосага гумонсираб қарашар эди. Максвелл ҳаво очик кунни туш пайтида Куёш нурларига перпендикуляр жойлашган қорайтирилган (нур тўлиқ ютилиши учун) сиртга Куёш ёруғлиги берадиган босим кучини назарий ҳисоблади. Бу босим  $4 \cdot 10^{-6}$  Па экани маълум бўлди.

Бунчалик кичик босимни сезиш ва ўлчаш жуда қийин экспериментал масала бўлишига қарамай, уни рус физиги П. Н. Лебедев ҳал қилган. Лебедевининг экспериментал қурилмасида ингичка ва эластик кварц илга учларида юпка металл фольга (зари) дан қилинган қанотчалар бўлган шайин осилган. Қанотчалардан бири қорайтирилган (курум билан қопланган, 83-расм). Қанотчалар кучли ёруғлик манбаи билан ёритилган.



83- расм

Лебедев тажрибасининг асосий ғояси шундаки, қора қанотча томонидан ёруғлик ютилганда, у тўлқиндан  $p$  импульс олади, қорайтирилмаган ялтироқ қанотчадан ёруғлик қайтганда эса, у тўлқиндан  $2p$  импульс олади. Бу ерда қуйидаги ўхшашлик ўринли: қумли қопга теккан ўқ, импульснинг сақланиш қонунига кўра, қопга  $p$  импульс беради, пўлат листга урилиб, ундан урилишдан олдингидек тезлик билан қайтган ўқ эса, пўлат листга  $2p$  импульс беради. Шунинг учун қора қанотчага берилган ёруғлик босими, ялтироғига берилганга қараганда икки марта кичик бўлади. Бу эса шайиннинг бурилишига ва эластик ипнинг эшилишига олиб келади. Шайиннинг бурилиш бурчагини, унинг узунлигини, қанотчалар юзини ва ипнинг эластиклик хусусиятларини билган ҳолда ёруғлик босимини тажрибада аниқлаш мумкин. Шайиннинг бурилиш бурчаги ёруғлик нурларининг оғишига қараб аниқланган.

Юқорида баён этилган схема бўйича тажриба қўйган Лебедев қўшимча, иккинчи даражали ҳодисаларга дуч келган. Улардан бири *радиометрик эффект* деб юритилади. Бунинг маъносини тушунтирайлик. Ёруғлик таъсирида қанотчалар кизийди. Қора қанотча ёруғликни деярли тўлиқ ютганлиги сабабли, у ялтироғига қараганда кучлироқ кизийди. Қанотчаларнинг молекулалари билан тўқнашган газ молекулалари уларнинг импульсини олади. Қора қанотчанинг температураси ялтироғиникига қараганда юқори бўлгани сабабли, қора қанотча газ молекулаларига ялтироғига қараганда кўпроқ йиғинди импульс беради ва импульснинг сақланиш қонунига кўра ўзи ҳам қарама-қарши йўналишида кўпроқ импульс олади. Натижада ёруғлик босими туфайли юзага келадиганга қараганда 1000 марта каттароқ бўлган буровчи момент юзага келади. Радиометрик эффектни бартараф қилиш учун Лебедев бутун асбобни ҳавоси сўриб

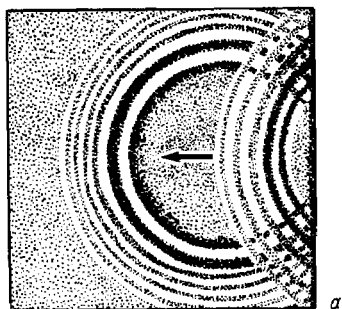
олинган идишга жойлаштиради. Қўшимча ходисаларнинг олдини олувчи бошқа чоралар ҳам кўрилади. П. Н. Лебедев томонидан 1900 йили олинган экспериментал натижалар 2 фоизгача аниқлик билан назарий ҳисоблаб топилган ёруғлик босими қийматига мос келади ва Максвелл томонидан ёруғликни электромагнит табиати ҳақидаги тасаввурларга асосланиб бажарилган ҳисоб-китобларнинг тўғрилигини тасдиқлади.

- ?
1. Механик тўлқинлар тўсиққа босим беришини кўрсатувчи тажрибаларни тушунтиринг.
  2. Электромагнит тўлқин импульси формуласини келтириб чиқаринг.
  3. Электромагнит тўлқиннинг ўтказувчи тўсиққа берадиган босим механизмини тушунтиринг.
  4. Электромагнит тўлқин электронга  $f_3 = eE$  ва  $f_M = eVv$  кучлар билан таъсир этади. Улардан қайсиниси катта? Нима учун?
  5. Ёруғлик ҳодисаларининг электромагнит табиатини аниқлашда П. Н. Лебедев тажрибаларининг аҳамияти қандай бўлган?
  6. П. Н. Лебедев тажрибасининг ғоясини тушунтиринг.
  7. Ёруғлик босимини ўлчашда П. Н. Лебедев қандай асосий қийинчиликка дуч келди ва уни қандай бартараф этди?

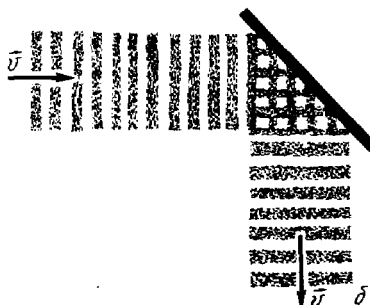
## 29-§. ТўЛҚИНЛАРНИНГ ИККИ МУҲИТ ЧЕГАРАСИДА ҚАЙТИШИ

**1. Механик тўлқинларнинг қайтиши.** Тўлқин ваннада нуқтавий вибратор ёрдамида яқка сферик тўлқин кўзгатамиз ва унинг йўлига тўсиқ қўямиз. Тўлқин тўсиққа урилиб, ўз ҳаракати йўналишини тескарисига ўзгартиради — у тўсиқдан қайтади (84- расм). Тўсиққа ясси тўлқин тушганда ҳам қайтиш юз беради (84- б расм).

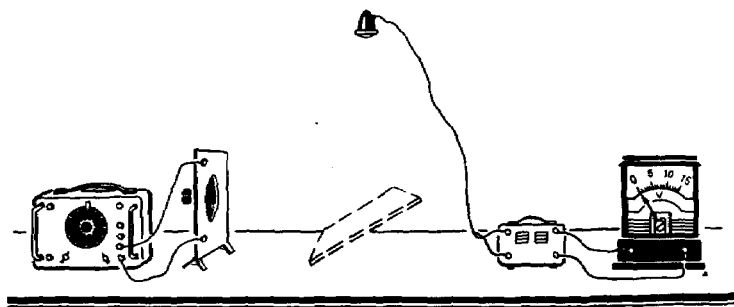
Товуш тўлқинларининг қайтишини 85- расмда тасвирланган қурилма ёрдамида кузатиш мумкин. Радиокарнайдан тарқалувчи, узунлиги 5—10 см (частотаси 3—6 кГц) бўлган товуш тўлқинларини микрофон қабул қилмайди (тўлқинлар унинг ёнидан ўтиб кетади) ва кучайтиргичга уланган гальванометр стрелкаси нолни



а



84- расм



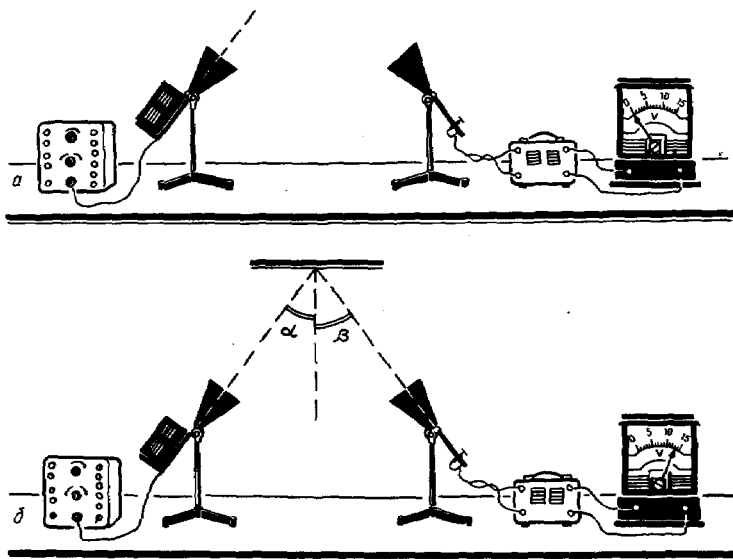
85- расм

кўрсатади. Товуш тўлқинлари йўлига қайтарувчи экран (масалан, фанера листи) қўйсақ, гальванометр стрелкасининг оғиши кузатилади. Бу экрандан қайтган тўлқинларнинг микрофон кабул қилаётганлигини кўрсатади.

Тушувчи тўлқин ва экран орасидаги бурчакни ўзгартириб, бунда қайтувчи тўлқинларнинг ҳам йўналиши ўзгаришини сезамиз.

Товуш тўлқинларининг қайтиши кундалик турмушимизда ҳам учраб туради. Хусусан, акс-садо, товуш тўлқинларининг тўсикдан қайтишидан бошқа нарса эмас.

**2. Электромагнит тўлқинларнинг қайтиши.** Тўлқинларнинг тўсиклардан қайтиши — уларнинг табиатига боғлиқ бўлмаган умумий хусусиятдир. Электромагнит тўлқинлар ҳам тўсиклардан қайтади.



86- расм

Электромагнит тўлкинларнинг хоссаларини экспериментал ўрганиш учун тўлкин узунлиги 3 см бўлган электромагнит тўлкинлар генератори ва приёмнигидан фойдаланамиз (86- расм). Генератор ва приёмник рупорли антеннага эга, рупорлар электромагнит тўлкинларни аниқ йўналиш бўйича тарқатиш ва қабул қилишни таъминлайди. Қабул қилинган тебранишлар тўғриланади ва кучайтирилгандан сўнг электромагнит тўлкинлар индикатори ҳисобланувчи вольтметрга юборилади.

Юкори частотали генератор ва приёмникни 86-а расмда кўрсатилгандек жойлаштириб, вольтметр стрелкаси ноҳда туришини кўрамиз. Бунинг сабаби шундаки, рупорли антеннадан нурланувчи электромагнит тўлкинларнинг энсиз дастаси қабул қилувчи антенна ёнидан ўтиб кетади. Электромагнит тўлкинлар йўлига металл пластинка қўйиб (86-б расм), гальванометр стрелкасининг оғишини кўрамиз. Демак, электромагнит тўлкинлар металл пластинкадан қайтар экан, шунга ўхшаш ёруғлик тўлкинлари ҳам металл тўсиқдан қайтади.

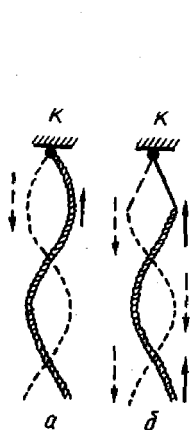
**3. Тўлкинларнинг қайтиш қонуни.** 85- ва 86-расмларда тасвирланган қурилмалар ёрдамида тўлкинларнинг қайтиш қонунларини ўрганиш мумкин. Бунинг учун иккита янги тушунча — тушиш ва қайтиш бурчаги тушунчаларини киритамиз. Тушувчи тўлкин нури билан қайтарувчи сирт нормали орасидаги бурчак *тушиш бурчаги*, қайтарувчи сирт нормали билан қайтган тўлкин нури орасидаги бурчак *қайтиш бурчаги* дейилади.

Тўлкинларнинг пластинкага тушиш бурчагини ўзгартириб, қуйидаги иккита қонуниятни аниқлаш мумкин:

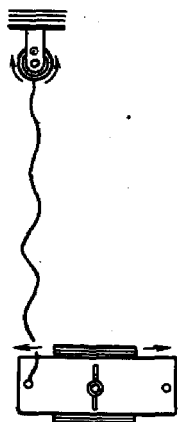
1. Тушиш ва қайтиш бурчаклари бир текисликда ётади.

2. Тушиш бурчаги қайтиш бурчагига тенг. Бу икки қонун барча турдаги тўлкинлар учун ўринли.

**4. Қайтган тўлкин фазаси.** Қайтган тўлкинни диққат билан кузатиб, шуни аниқлаш мумкинки, тўлкин анча эгилувчан



87- расм



88- расм

(эластик) муҳитдан, масалан, К илмокдан қайтганда (87-а расм), қайтган тўлкин фазаси тушувчи тўлкин фазасига қарама-қарши бўлади, бошқача айтганда, тўлкиннинг анча эгилувчан муҳитдан қайтиши ярим тўлкинни йўқотиш билан юз беради. Камрок эгилувчан муҳитдан, масалан, хавзадан қайтганда қайтган тўлкин фазаси тушувчи тўлкин фазасидек бўлади, бошқача айтганда тўлкиннинг камрок эгилувчан муҳитдан қайтиши ярим тўлкин йўқотмасдан юз беради.

**5. Тўлкиннинг қайтиши қачон юз бермайди?** Тўлкинлар-

нинг қайтиши шунинг учун юз берадики, улар тушувчи муҳит тўлқин олиб келган энергияни тўлиқ ютмайди. Агар тушувчи тўлқин етиб келган муҳит тўлқин олиб келган энергияни тўлиқ ютса, тўлқинларнинг қайтиши юз бермайди. Мисол учун, кўл сиртидаги тўлқинлар қояли қирғоқдан яхши қайтади, аммо камийш билан қопланган ботқоқлик пастки қирғоқдан деярли қайтмайди.

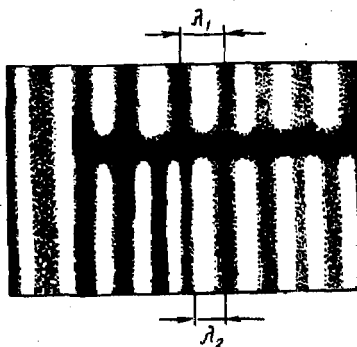
Юқорида айтилганларни тасдиқловчи тажриба ўтказиш ҳам мумкин. Бунинг учун резина трубканинг бир учини ишқаланиши бир текис ўзгартириладиган блокка маҳкамлаймиз, иккинчи учини эса гармоник тебранишлар килувчи вибраторга бириктирамиз (88- расм). Вибраторни улаб ҳам тушувчи, ҳам қайтувчи тўлқинлар бррлигини кўриш мумкин. Блокдаги ишқаланишни секин орттира бориб, трубка бўйлаб факат тушувчи тўлқин тарқалишига, қайтувчи тўлқин бўлмаслигига эришиш мумкин. Бу шуни кўрсатадики, вибратор трубкага берган энергияни тўлқин тўлиғича блокка олиб боради ва блокда ишқаланиш кўп бўлганлигидан бу энергия қайтарилмайдиган ички энергияга айланади.

- ?
1. Тўлқинларнинг қайтишини кўрсатувчи экспериментал далиллар келтиринг.
  2. Тўлқинларнинг қайтиш қонунини айтиб бering.
  3. Қандай ҳолларда тўлқинларнинг қайтиши ярим тўлқин йўқотиш билан қайси ҳолларда ярим тўлқин йўқотмасдан юз беради?
  4. Узунлиги 3 см бўлган тўлқин нурлантирувчи генератордаги электромагнит тебранишлар частотаси қанча?
  5. Электромагнит тебранишлар генераторига узун, берк бўлмаган занжир (линия) уланган. Бу занжирда тўлқинларнинг қайтиши юз берадими? Жавобингизни асослаб бering.

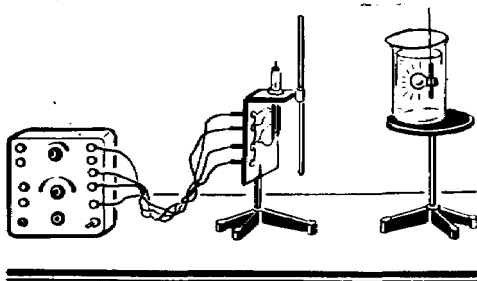
### 30- §. ТўЛҚИНЛАРНИНГ ИККИ МУҲИТ ЧЕГАРАСИДА СИНИШИ

1. Тўлқинларнинг ҳар хил муҳитлардаги тезлиги. Тўлқин ваннасининг тубига, тахминан ванна юзининг ярмини эгаллайдиган қилиб, ойна жойлаштирамиз. Ваннага 3—4 мм қалинликда сув қуямиз. Ваннада сув қалинлиги ҳар хил бўлган иккита соҳа юзага келади: ойна ётган жойда сув қалинлиги 1—2 мм, ойна йўқ жойда, 3—4 мм. Битта вибратор ёрдамида ваннада ясси тўлқинлар кўзғотиб, шуни кўрамизки, сув қалинлиги катта бўлган (чуқур) соҳадаги тўлқин узунлиги  $\lambda_1$  сув қалинлиги кичик бўлган (саёз) соҳадаги тўлқин узунлиги  $\lambda_2$  дан катта бўлади (89- расм):

$$\lambda_1 > \lambda_2$$



89- расм



90- расм

Тўлқинлар битта вибратор ёрдамида кўзғатилгани сабабли, ҳар иккала соҳадаги тўлқинларнинг частоталари бир хил бўлади. Аммо  $\lambda = vT = v / \nu$  муносабатдан,  $\nu$  частота бир хил бўлганда, ҳар хил  $\lambda$  га ҳар хил  $v$  тўғри келиши аниқ:

$$\lambda_1 = \frac{v_1}{\nu}, \quad \lambda_2 = \frac{v_2}{\nu}.$$

У ҳолда  $\lambda_1 > \lambda_2$  тенгсизликдан

$$v_1 > v_2$$

бўлиши келиб чиқади.

Демак, сув сиртида таркалувчи ясси тўлқинларнинг фазавий тезлиги чуқур жойда катта, саёз жойда кичик бўлар экан.

Тўлқинлар тезлигининг муҳит хоссаларига боғлиқлигини электромагнит тўлқинлар учун ҳам кўрсатиш мумкин. Бунинг учун узатувчи (передатчик) билан резонансга созланган электромагнит тўлқинларни қабул қилувчи антеннанинг узунлиги тўлқин узунлигининг ярмига тенг бўлиши кераклигини эслаш зарур (26- § га қаранг). Узунлиги ярим тўлқин узунлигидан 9 марта кичик бўлган ( $l = \frac{1}{9} \frac{\lambda}{2}$ ) қабул қилувчи диполь (антеннача) ясаймиз. Ультра-киска тўлқинлар генератори (УҚВ) ни улаб, узунлиги ярим тўлқин узунлигига ( $\frac{1}{2}\lambda$  га) тенг бўлган антеннанинг ўртасига уланган

лампа равшан ёнишини, биз тайёрлаган узунлиги  $\frac{1}{18}\lambda$  га тенг бўлган антеннанинг ўртасига уланган лампанинг эса ёнмаслигини кўрамиз. Бу антеннани дистилланган сув қуйилган идишга туширсак, унга уланган лампа ёнади (90- расм). Тажриба электромагнит тўлқиннинг сувдаги  $\lambda_1$  узунлиги ҳаводаги  $\lambda$  узунлигидан 9 марта кичиклигини кўрсатади:

$$\lambda_1 \simeq \frac{1}{9}\lambda$$

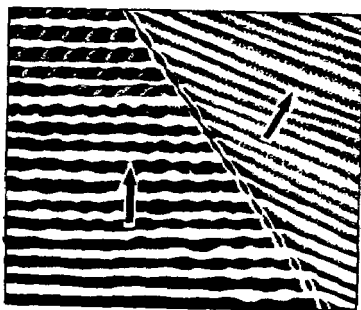
Бу электромагнит тўлқиннинг сувдаги  $c_1$  тезлиги ҳаводаги  $c$  тезлигидан шунча марта кичик бўлишини аниқлатади:

$$c_1 \simeq \frac{1}{9}c$$



Бу тажрибалар тўлкинларнинг фазавий тезлиги улар тарқалаётган мухитнинг хоссаларига боғлиқлигини кўрсатади.

2. **Икки мухит чегарасида юз берувчи ҳодисалар.** Сувнинг қалинлиги ҳар хил бўлган соҳалар чегараси унга тушувчи тўлкинлар билан бурчак ҳосил қилиб жойлашган тўлкин ваннасида тўлкинларнинг тарқалишини кузатамиз (91-расм). Кузатиш давомида соҳалар чегарасига маъдум бурчак остида тушган ясси тўлкинлар бир вақтда ундан ўтиб кетишини ва қайтишини кўриш мумкин.

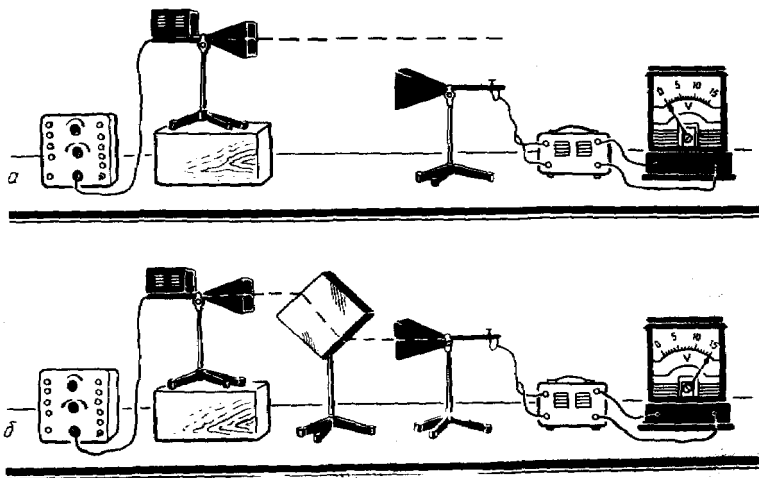


91-расм

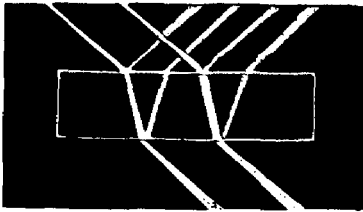
Бинобарин, икки мухит чегарасида тушувчи тўлкин иккига қайтувчи ва ўтиб кетувчи тўлкинларга ажралади. Мухими шундаки, ўтиб кетувчи тўлкин йўналиши, тушувчи тўлкин йўналишидан бошқача бўлади, яъни ўтиб кетувчи тўлкин *синади*.

Барча турдаги тўлкинлар, уларнинг табиатидан қатъи назар, икки мухит чегарасидан ўтишида синади. Электромагнит тўлкинларнинг синишини кузатиш учун 92-а расмда тасвирланган қурилмани йиғамиз. Генераторни улаб, приёмник электромагнит тўлкинларни қабул қилмаётганини кўраемиз. Бунинг сабабини тушунтириш осон: рупорли антеннадан нурланувчи тўлкинлар приёмник антеннасининг ёнидан ўтиб кетади.

Генератор билан приёмник оралиғига парафин ёки қаттиқ смоладан қилинган тўғри бурчакли призmani 92-б расмда кўрсатилгандек қўйиб, приёмник электромагнит тўлкинларни



92-расм



93- расм

қабул қилаётганини кўрамыз. Бу тажриба электромагнит тўлқинларнинг синишини кўрсатади.

Икки муҳит чегарасидан ўтишда ёруғлик ҳам синади.

Энсиз ёруғлик дастасини калин шиша пластинкага йўналтирамыз. Яккол кўрамызки, ҳаво билан шиша чегарасида ёруғлик бир вақтда ҳам қайтади, ҳам синади (93- расм).

?

1. Қандай тажрибалар тўлқинларнинг фазавий тезлиги улар тарқалаётган муҳитнинг хоссаларига боғлиқлигини кўрсатади?
2. Икки муҳит чегарасидан ўтишида тўлқинларнинг синишига мисоллар келтиринг.

### 31- §. ТЎЛҚИНЛАРНИНГ СИНИШ ҚОНУНЛАРИ

Тўлқинларнинг синиш қонунлари биринчи марта ёруғлик тўлқинлари учун 1621 йили голланд физиги В. Снеллиус томонидан аниқланган. Бу қонунларнинг мазмуни куйидаги икки жумлада мужассамлашган:

1. Тўлқинларнинг тушиш ва синиш бурчаклари бир текисликда ётади.

2. Тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбати берилган икки муҳит учун доимий катталиқдир. Бу катталиқ иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан синдириш кўрсаткичи дейилади.

Тўлқинларнинг синиш қонунлари Гюйгенс принципига асосан осонгина тушунтирилади. Айтайлик, икки муҳит чегарасига  $\alpha$  бурчак остида  $ABC$  ясси тўлқин тушсин (94- расм). Тўлқиннинг биринчи муҳитдаги  $v_1$  тезлиги иккинчи муҳитдаги  $v_2$  тезлигидан катта бўлсин.

Тўлқин ҳаммадан олдин ажратувчи чегаранинг  $A'$  нуктасига, кейин  $B'$  ва  $C'$  нукталарига етиб келади. Тушувчи тўлқин  $C'$  нуктага етиб келгунча,  $B'$  ва  $A'$  нукталардан тарқалувчи иккиламчи тўлқинлар иккинчи муҳитда

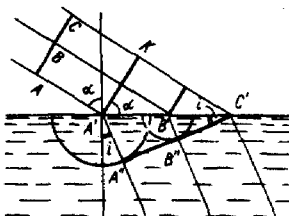
$$A'A'' = v_2 \Delta t_1, \quad B'B'' = v_2 \Delta t_2$$

масофаларни ўтиб улгуради. Иккиламчи тўлқинларни ўровчи сирт иккинчи муҳитдаги тўлқинларнинг тўлқин фронти бўлади.  $A'A''C''$  ва  $A'KC'$  тўғри бурчакли учбурчаклардан

$$KC' = A'C' \sin \alpha; \quad A'A'' = A'C' \sin i.$$

Булардан

$$\frac{KC'}{A'A''} = \frac{\sin \alpha}{\sin i} = n_{21}$$



94- расм

нисбат топилади, бу ердаги  $n_{21}$  доимий катталиқ — *иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан нисбий синдириш кўрсаткичи* деб юритилади.

Аммо  $KС'$  ва  $A'A''$  масофаларни тўлқиннинг тарқалиш тезликлари орқали ифодалаш мумкин:

$$KС' = v_1 \Delta t_1; \quad A'A'' = v_2 \Delta t_1$$

У ҳолда,

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

бўлади.

Кўрамизки, **иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан нисбий синдириш кўрсаткичи биринчи муҳитдаги тўлқиннинг фазавий тезлиги билан иккинчи муҳитдаги тўлқиннинг фазавий тезлиги нисбатига тенг.**

Агар биринчи муҳит вакуум бўлса, иккинчи (умуман, ихтиёрий) муҳитнинг вакуумга нисбатан синдириш кўрсаткичи *абсолют синдириш кўрсаткичи* дейилади:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{c}{v} = n.$$

Икки муҳитнинг нисбий синдириш кўрсаткичи билан уларнинг абсолют синдириш кўрсаткичлари орасидаги боғлиқлиқни топайлик. Бунинг учун, вакуумда ёруғлик ҳар хил моддалардан тайёрланган иккита пластинкага тушади, деб фараз қиламиз (95-расм). Уларнинг абсолют синдириш кўрсаткичларини юқоридаги сўнгги формулага асосан

$$n_1 = \frac{c}{v_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

шаклда ёзамиз. Бу тенгликларнинг чап ва ўнг томонларини бир-бирига бўлиб,

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

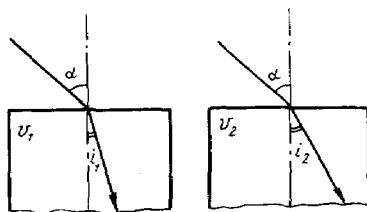
нисбатга эга бўламиз, аммо  $v_1/v_2 = n_{21}$ , шунинг учун

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

бўлади.

Шундай қилиб, **икки муҳитнинг нисбий синдириш кўрсаткичи уларнинг абсолют синдириш кўрсаткичлари нисбатига тенг экан.**

**Экспериментал вазифа.** Қирралари параллел бўлган пластинка ёрдамда шишанинг синдириш кўрсаткичини аниқланг.



95-расм

**Керакли асбоб-ускуналар:** 1) кирралари параллел бўлган шиша пластинка, 2) тахтача, 3) бир варақ оқ қоғоз, 4) кнопкалар, 5) транспортир, 6) учта тўғнағич, 7) қалам, 8) учбурчак линейка.

### **Вазифани бажариш тартиби**

1. Бир варақ қоғозни тахтачага маҳкамланг.

2. Параллел кирралаи шиша пластинкани қоғоз варағи устига қўйиб, синдирувчи кирралар бўйлаб ўтказинг.

3. Пластинканинг бир томонидан тахтачага иккита тўғнағични шундай қадангки, улардан бири пластинкага тегиб турсин, улар орқали ўтказилган тўғри чизик кесмаси эса пластинка кирраси билан ихтиёрий  $\alpha$  бурчак ҳосил қилсин.

4. Тахтачани кўзингиз бараваригача кўтариб, учинчи тўғнағични пластинканинг иккинчи (кўзингиз турган) томонида тахтачага шундай қадангки, пластинка орқали қаралганда у олдинги икки тўғнағични тўсиб қолсин.

5. Пластинка ва тўғнағичларни олиб, тўғнағичдан қолган тешикчаларни тўғри чизик кесмалари билан бирлаштиринг.

6. Транспортир ёрдамида тушиш ва синиш бурчакларини ўлчанг.

7. Синдириш кўрсаткичинини

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin i}$$

формула бўйича ҳисобланг.

8. Бошқа тушиш бурчаклари учун тажрибани, ўлчаш ва ҳисоблашларни такрорланг.

9. Ўлчашлар хатолигини баҳоланг.

?

1. Гюйгенс принциpidан фойдаланиб, нисбий синдириш кўрсаткичи тўлқиннинг у тушаётган муҳитдаги фазавий тезлиги билан тўлқин ўтиб кетаётган муҳитдаги фазавий тезлиги нисбатига тенглигини исботланг.

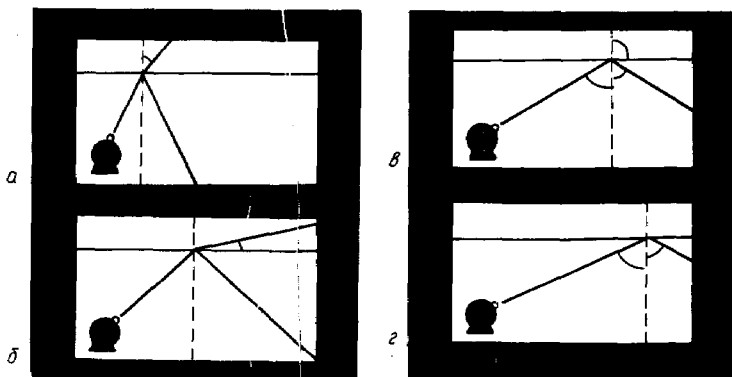
2. Тўлқинларнинг синиш қонунларини айтиб беринг.

3. Тўлқинларнинг фазавий тезликлари ҳар хил муҳитларда ҳар хил эканлигини кўрсатувчи далиллар келтиринг.

### **32-§. ТУЛА ҚАЙТИШ**

**1. Чегаравий бурчак.** Сув билан тўлдирилган шиша ванна ичига энсиз ёруғлик дастаси берувчи ёруғлик манбаини жойлаштирамиз (96- расм). Қўрамизки, сув-ҳаво чегарасида ёруғлик нури қисман қайтади ва қисман ҳавога ўтади. Ўз-ўзидан равшанки, бу тажрибада ҳеч қандай ғайритабиий нарсаси йўқ.

Ериткични горизонтал ўқ атрофида айлантириб, секин-аста нурларнинг тушиш бурчагини орттирамиз (96- а, б, в расмлар). Бунда тушиш ва синиш бурчаклари ҳам мос ҳолда ўзгаради. Синган нур тобора ажратувчи чегарага яқинлаша боради. Ниҳоят, шундай ҳолат келадики, синиш бурчаги  $90^\circ$  га тенглашади ва синган нур ажратувчи чегара бўйлаб тарқалади (96- в расм).



96- расм

Синиш бурчагининг  $90^\circ$  га мос келувчи тушиш бурчаги *чегаравий бурчак* деб юритилади. Аниқланишга кўра

$$\sin \alpha_r = n_{21}$$

бўлади. Демак, *чегаравий бурчак синуси нисбий синдириш кўрсаткичига тенг*.

**2. Тўла қайтиш.** Тушиш бурчагини янада орттира борсак (96- г расм), синган нур йўқолади, қайтган нур йўлидаги сувнинг равшанлиги ҳудди тушувчи нур йўлидаги каби бўлади, бу ёруғликнинг икки муҳит чегарасидан тўла қайтиши юз берганлигини кўрсатади.

Тўла қайтишни табиатда ҳам кузатиш мумкин. Мисол учун, сув ўсимликлари танасидаги ҳаво пуфакчалари кўзгуга ўхшаб қолади, чунки уларга сув орқали тушувчи ёруғлик тўла қайтади. Агар сувли шаффоф идишга ичи бўш пробирка туширсак, у ҳам кўзгудек бўлиб қолади. Аммо пробиркага сув қуйилса, унинг кўзгудек яркираши йўқолади. Шунини таъкидлаш керакки, тўла қайтиш ходисаси ёруғлик зичлиги катта бўлган моддадан зичлиги кичик моддага ўтиш чегарасига тушганда юз беради.

Шиша — ҳаво чегараси учун чегаравий бурчакни ҳисоблаймиз. Шишанинг синдириш кўрсаткичи 1,5 дан 1,9 гача бўлган қийматларни қабул қилади, ҳавонинг синдириш кўрсаткичи эса бирга тенг:  $n_1 = 1,5 \div 1,9$ ;  $n_2 = 1$ .

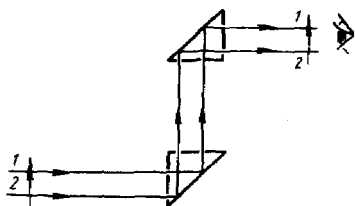
Шунинг учун

$$\sin \alpha_r^{\max} = \frac{1}{1,5} \approx 0,6666; \quad \alpha_r^{\max} \approx 42^\circ,$$

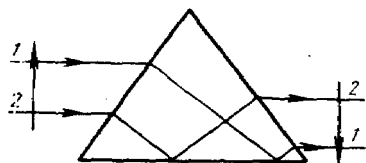
$$\sin \alpha_r^{\min} = \frac{1}{1,9} \approx 0,5263; \quad \alpha_r^{\min} \approx 32^\circ$$

бўлади. Шундай қилиб, ҳар хил шишалар учун чегаравий бурчак  $32^\circ$  дан  $42^\circ$  гача ўзгариши мумкин экан.

**3. Призмалар.** Тўла қайтиш ходисасидан бурувчи (97- расм) ва тўнтарувчи (98- расм) призмаларда фойдаланилади.



97- расм

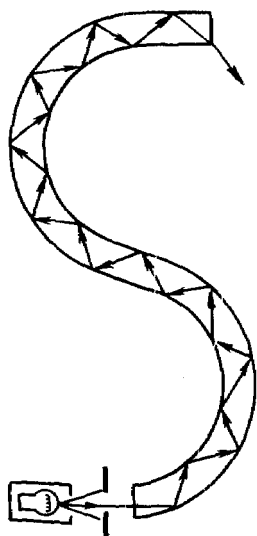


98- расм

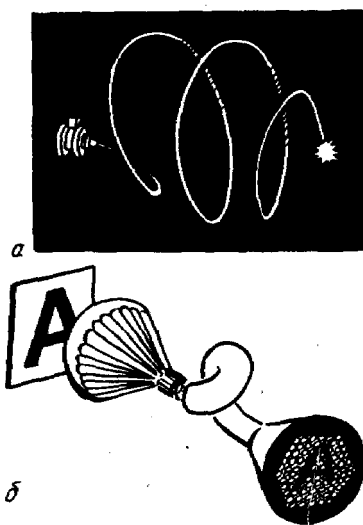
Оптик шиша учун чегаравий бурчак  $34 - 40^\circ$  бўлгани сабабли, тушиш бурчаги бундан катта бўлганда тўла қайтиш бошланади. Тўнтарувчи ва бурувчи призмалар кўп ҳолларда кўзгулар ўрнида ишлатилади. Уларнинг қулайлиги шундаки, металл кўзгулар вақт ўтиши билан оксидланиш туфайли ҳиралашади, призмаларнинг қайтариш хусусияти эса ўзгармайди. Бундан ташқари, призмаларни қўллаш уларга эквивалент бўлган кўзгулар тизимини қўллашга қараганда анча осон.

**4. Цилиндрик ёруғлик ўтказгич (световод).** Агар ёруғлик дастаси букилган яхлит шиша цилиндрнинг бир учига йўналтирилса, ёруғлик унинг иккинчи учидан чиқади (99- расм); цилиндрнинг ён сирти орқали ёруғлик деярли чикмайди. Ёруғликнинг шиша цилиндр ичидан ўтиши куйидагича тушунтирилади: ёруғлик цилиндрнинг ички сиртига чегаравий бурчакдан катта бурчак остида тушиб, кўп марта тўла қайтади ва цилиндрнинг иккинчи учигача етиб боради.

Шиша цилиндр қанча ингичка бўлса, нурнинг қайтиши шунча тез юз беради ва ёруғликнинг шунча кўп қисми цилиндрнинг ички сиртига чегаравий бурчакдан катта бўлган бурчаклар остида



99- расм



100- расм

тушади. Агар кўп сонли ингичка шиша толаларни бирга қўйиб, бирлаштирувчи лента билан ўралса, эгилувчан ёруғлик ўтказгич ҳосил бўлади, бу ёруғлик ўтказгич спирал шаклида ўралганда ҳам ундан ёруғлик ўтади. 100- а расмда шаффоф трубкага жойлаштирилган толалар боғлами (жгут) ёрдамида ёруғликнинг узатилиши кўрсатилган. Манбадан чиқувчи ёруғлик боғламнинг бир учига тўпланади, унинг иккинчи учи кузатувчи томонга бурилади.

**5. Толалар оптикиси.** «Яланғоч» толалардан тайёрланган толалар боғлами унча сифатли бўлмайди, чунки улар бир-бирига текканда ёруғлик бир толадан иккинчисига ўтиб кетади. Бундай бўлмаслиги учун толалар бир-биридан изоляцияланади. Бунинг учун шиша тола синдириш кўрсаткичи толанинг синдириш кўрсаткичидан кичик бўлган шиша қобик билан қопланади. Бунда тўла қайтиш шарти бажарилади, аммо ёруғликнинг чиқиб кетиши йўқотилади. Агар изоляцияланган толалар «тўғри» жойлаштирилса, бундай толалар боғлами *мослашган* ёки *регуляр* дейилади. Бундай боғлам ёрдамида нафақат ёруғликнинг, балки бошқа диапазонлардаги электромагнит тўлқинларни ҳам узатиш мумкин. 100- б расмда охирида ўртасига қараганда каттароқ кўндаланг кесимга эга бўлган, тўғри жойлаштирилган ёруғлик ўтказгичлар ёрдамида тасвирларни узатиш кўрсатилди.

Ёруғлик ўтказгич орқали узатилган тасвирнинг сифати толалар диаметрига ва уларнинг жойлаштириш зичлигига боғлиқ. Ҳозирги вақтда толаларининг диаметри 1 нм бўлган ёруғлик ўтказгичлар бор, толаларининг сони эса бир неча ўн мингга етади.

Толалар оптикиси ҳозирги замон техникасида ва медицинада кенг қўлланади. Хусусан, беморнинг ички органларини, масалан, ошқозонни кўздан кечириш учун ингичка ва жуда эгилувчан қўш ёруғлик ўтказгичдан иборат толани гастроскоп қўлланилади, у қизилўнгач орқали ошқозонга киритилади. Киритилган ёруғлик ўтказгичдан бири орқали ошқозон ёритилади, иккинчиси орқали эса ошқозон кўздан кечирилади ёки расмга олинади.

Ёруғлик ўтказгичларнинг оддий симлардан афзаллиги шундаки, уларга ташқи электромагнит майдонлар таъсир этмайди.

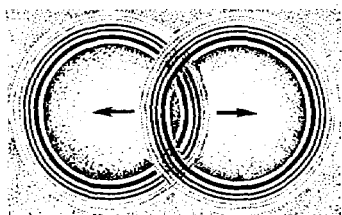
?

1. Сув ва олмос учун чегаравий бурчакларни ҳисобланг.
2. Сувга олмос ва ўшандай шаклга эга бўлган шиша туширилган. Сувда нима яхшироқ кўринади — олмосми ёки шиша? Нима сабабдан?
3. Синиш бурчаги қандай чегараларда ўзгариши мумкин?

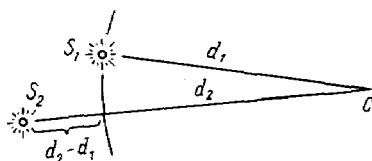
### 33- §. ТўЛҚИНЛАР ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСИ

**1. Тўлқинларнинг суперпозиция принципи.** Тўлқин ваннасида бир вақтда иккита яққа тўлқинни кузатамиз (101- расм). Уларни кузатиб, ҳар бир тўлқин бошқасига боғлиқ бўлмасдан, худди иккинчи тўлқин йўқдек, мустақил ҳаракатланишини кўрамиз.

Унча катта бўлмаган амплитудали тўлқинлар учун қуйидаги суперпозиция принципи ўринли экани тажрибада аниқланган: тўлқинлар устма-уст тушганда натижавий силжиш ҳар бир тўлқин



101- расм



102- расм

томонидан юзага келтирилган силжишларнинг ййғиндисига тенг бўлади:

$$x = x_1 + x_2.$$

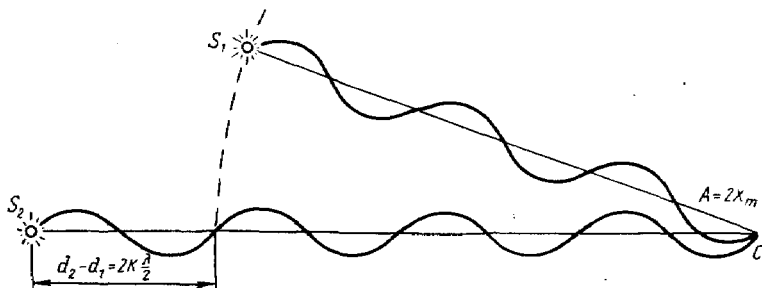
**2. Тўлқинлар интерференцияси.** Айтайлик, иккита  $S_1$  ва  $S_2$  синусоидал тўлқинлар вибратори берилган бўлсин (102- расм), улар вибраторлардан  $d_1$  ва  $d_2$  масофаларда ётувчи  $C$  нуктада тебранишлар кўзғатсин.  $S_1$  ва  $S_2$  вибраторларнинг тебраниш фазалари мос келсин ва бир хил частотага эга бўлсин.  $C$  нуктадаги натижавий силжишни топамиз.

$C$  нуктадаги натижавий силжиш амплитудаси тўлқинларнинг йўл фарқи деб юритилувчи  $d_2 - d_1$  масофага боғлиқ бўлади. Уч ҳолни кўрамиз:

**1- ҳол.** Тўлқинларнинг йўл фарқи жуфт сондаги ярим тўлқинга тенг:

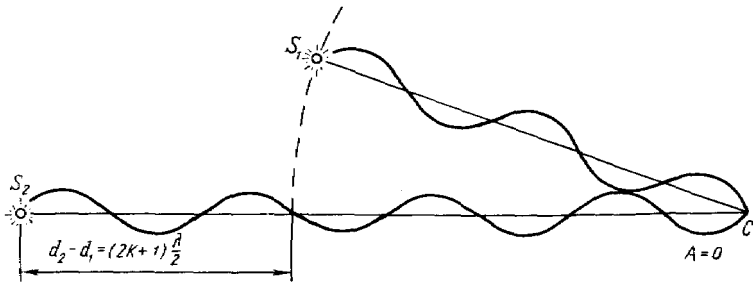
$$d_2 - d_1 = 2k \frac{\lambda}{2}$$

103- расмда йўл фарқи  $2 \frac{\lambda}{2}$  га тенг бўлган ҳол тасвирланди, аммо бу ҳол йўл фарқи  $4 \frac{\lambda}{2}$ ,  $6 \frac{\lambda}{2}$ ,  $8 \frac{\lambda}{2}$ , ...,  $2k \frac{\lambda}{2}$  бўлган ҳолларга ўхшаш. Барча ҳолларда тўлқинлар  $S_1$  ва  $S_2$  манбалардан  $C$  нуктага бир хил фаза билан келади ва бир-бирини кучайтиради.  $C$  нуктадаги натижавий силжиш амплитудаси иккиланган ампли-



103- расм





104- расм

тудага тенг бўлади:

$$A = 2X_m.$$

**2- ҳол.** Тўлқинларнинг йўл фарқи тоқ сонли ярим тўлқинга тенг:

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

104- расмда йўл фарқи  $1 \cdot \frac{\lambda}{2}$  га тенг бўлган ҳол тасвирланди, аммо бу ҳол йўл фарқи  $3 \cdot \frac{\lambda}{2}$ ,  $5 \cdot \frac{\lambda}{2}$ ,  $7 \cdot \frac{\lambda}{2}$ , ...,  $(2k + 1) \frac{\lambda}{2}$  бўлган ҳолларга ўхшаш. Барча бундай ҳолларда тўлқинлар  $S_1$  ва  $S_2$  манбалардан  $C$  нуктага қарама-қарши фаза билан келади ва бир-бирини «сўндиради».  $C$  нуктадаги натижавий тўлқин амплитудаси нолга тенг бўлади:

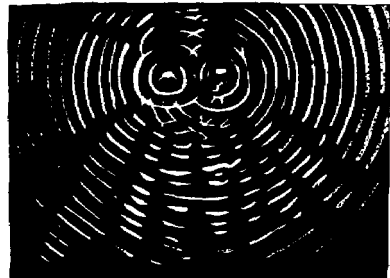
$$A = 0.$$

**3- ҳол.** Йўл фарқи бутун бўлмаган (каср) сондаги ярим тўлқинга тенг. Бу ҳолда  $S_1$  ва  $S_2$  манбалардан  $C$  нуктага келувчи тўлқинларнинг фазалар фарқи ихтиёрий бўлади ва улар бир-бирини ё кучайтиради, ёки сусайтиради.  $C$  нуктадаги натижавий ситжишни амплитудаси нолдан катта ва  $2X_m$  дан кичик бўлган қандайдир оралиқ қийматига эга бўлади.

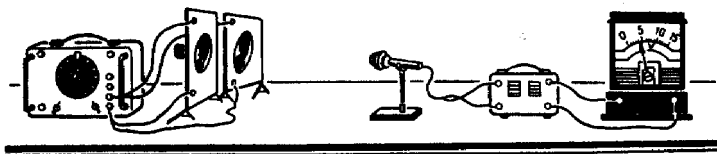
$$0 < A < 2X_m.$$

Юқорида олинган натижаларнинг тўғрилиги тажрибада осонгина текшириб кўрилиши мумкин. Бунинг учун сув сиртида бир хил частота ва амплитудага эга бўлган иккита тўлқин тизимини кўзго-тамиз. Натижада 105- расмда тасвирланган манзарани кўрамиз.

Ваннанинг тўлқинлар бир-бирини сўндирган жойларида



105- расм



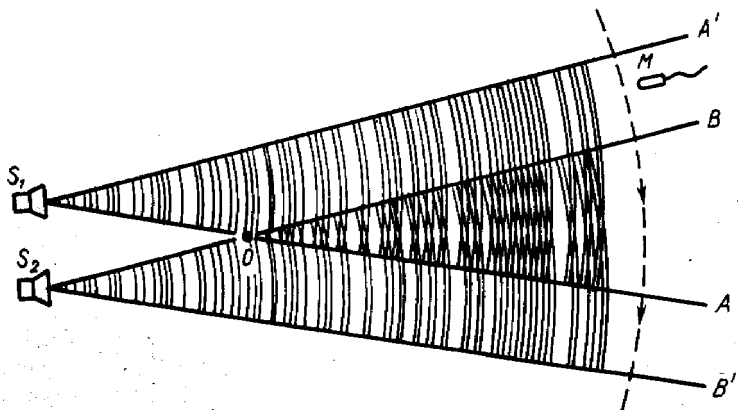
106- расм

тўлқинсиз йўллар кўринади, тўлқинлар бир-бирини кучайтирган жойларда ёруғ йўллар (дўнгликлар) қора йўллар (чуқурчалар) билан алмашилиб туришини кўрамиз.

Сув бетига ҳосил бўлган манзара, *интерференцион манзара*, ходисанинг ўзи эса *интерференция ҳодисаси* деб юритилади. Интерференция — барча тўлқинларнинг умумий хусусиятидир.

**3. Товуш тўлқинлари интерференцияси.** Товуш тўлқинлари интерференциясини кузатиш учун 106- расмда тасвирланган қурилмани йиғамиз. Радио карнайлардан бирини улаб, вольтметр стрелкасининг оғиш бурчагини белгилаб оламиз. Биринчи радиокарнайни ўчириб, иккинчисини улаймиз. Вольтметр стрелкаси яна, биринчи ҳолдагидек бурчакка оғади. Ҳар иккала радиокарнай уланганда вольтметр стрелкаси ё олдинги ҳоллардагига қараганда каттарок, ёки кичикроқ бурчакка оғади. Вольтметрнинг кўрсатишлари натижавий тебранишлар амплитудасига пропорционал бўлгани сабабли, тажриба товуш тўлқинларининг интерференцияси юз берганлигини кўрсатади, дейиш мумкин.

Юқорида бажарилган тажрибанинг схемаси 107- расмда келтирилди, ундан кўринадики, товуш тўлқинлари интерференцияси фақат  $OB$  ва  $OA$  нурулар билан чегараланган соҳадагина юз бериши мумкин, чунки фақат ана шу соҳада  $S_1$  ва  $S_2$  манбалардан келувчи тўлқинлар бир вақтда тарқалади. Бунга  $M$  микрофонни радиокарнайларга нисбатан кўчириб, ишонч ҳосил қилиш мумкин. Микрофон  $A'B$  соҳада бўлганда вольтметр стрелкаси бир жойдан кўзғалмайди, бу интерференция йўқлигидан далолат беради. Микрофон  $BA$  соҳа ичида силжитилганда вольтметр стрелкаси гоҳ



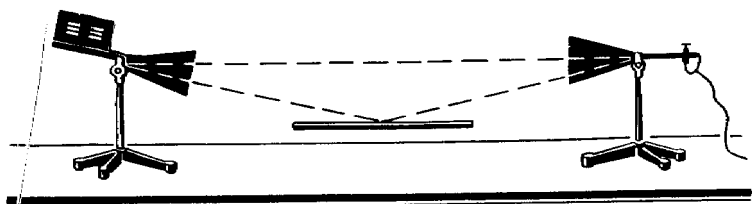
107- расм

жуда катта бурчакка оғади, гоҳ деярли нолгача тушади. Бу Б.и соҳада интерференция борлигидан далолат беради. Микрофон пастки  $AB'$  соҳада силжитилса, вольтметр стрелкаси яна бир жойда ҳаракатсиз қолади. Бажарилган бу тажрибалар товуш тўлкинларнинг интерференцияси юз беришини кўрсатади.

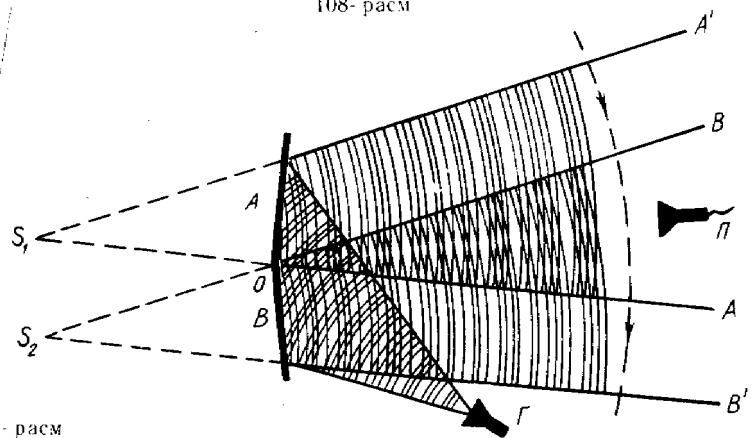
**4. Электромагнит тўлкинлар интерференцияси.** Электромагнит тўлкинлар интерференциясини кузатиш учун иккита, бир хил частотали синусоидал тўлкинлар манбаи бўлиши керак. Товуш тўлкинлари ҳолида, юқоридаги тажрибада баён этилгандек, бундай манбалар сифатида битта генераторга уланган иккита радиокарнай хизмат қилади. Электромагнит тўлкинлар интерференциясини кузатиш учун ҳам ана шундай усулни қўллаш, яъни битта генераторга иккита нурланувчи антенналарни улаш мумкин. Аммо амалда бошқа усул — битта манбадан чиқувчи тўлкинлар дастасини иккига ажратиш усули қулайроқ экан. Биринчи бўлиб, бундай усулни француз физиги О. Ж. Френель таклиф этган.

Френель усули бўйича қўйилган тажрибалардан бири куйидагича. Юқори частотали тебранишлар генераторининг рупорли антеннаси шундай ўрнатиладики, унинг ўқи қабул қилувчи антеннанинг ўқига кичик бурчак остида йўналади. Бу бурчак шундай танланадики, вольтметр генератордан нурланаётган электромагнит тўлкинларнинг бир оз қабул қилинаётганлигини кўрсатади (108- расм).

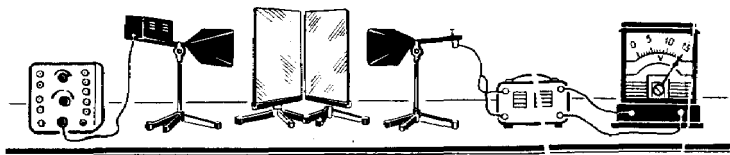
Паст томонга металл лист қўйиб, вольтметр стрелкасининг дастлабки ҳолатдан огиши кузатилади.



108- расм



109- расм



110- расм

Бунинг боиси шундаки, генераторнинг рупорли антенна­сидан тўғридан-тўғри келувчи тўлқин билан металл листдан қайтувчи тўлқин интерференция­лашади.

Френель усули куйидаги тажрибада, айниқса, яққил намоён бўлади. Генератордан нурланувчи электромагнит тўлқинлар йўлига бир-бири билан  $180^\circ$  га яқин бурчак ҳосил қилувчи иккита металл кўзгу жойлаштирилади (109- расм). Қайтган нурлар бир-бирининг устига тушади ва интерференция­лашади. Тўлқинлар устма-уст тушган зонада қабул қилувчи антеннани силжитиб, вольтметрнинг кўрсатишлари бўйича интерференцион манзара борлигини кўриш мумкин: қабул қилувчи антеннанинг турган жойига боғлиқ ҳолда вольтметр стрелкаси гоҳ кўп, гоҳ оз оғади (110- расм).

**5. Тўлқинларнинг когерентлиги ҳақида.** Тўлқинлар интерфе­ренцияси бўйича ўтказилган тажрибаларда биз ё икки гармоник тўлқинлар манбаидан фойдаландик, ё битта гармоник тўлқинлар дастасини иккига ажратдик ва уларни ҳар хил йўлларни ўтишга мажбур этиб, сўнгра яна бирлаштирдик. Бу ҳолларнинг ҳаммасида интерференция­лашувчи тўлқинлардаги тебранишлар частотаси бир хил бўлган, гармоник тебранишларнинг фазалар айирмаси эса фазонинг ҳар бир нуктасидаги вақт ўтиши билан ўзгаришсиз қолган. Бундай тўлқинларнинг манбалари *мослашган* ёки *когерент* манбалар дейилади.

Тўлқинлар когерентлиги тушунчаси тўлқинлар ҳақидаги таълимотнинг муҳим тушунчаларидан биридир.

**Частотаси бир хил бўлиб, фазалари айирмаси ҳамма вақт ўзгаришсиз қолувчи тўлқинлар когерент тўлқинлар дейилади.**

Фақат когерент тўлқинларгина барқарор интерференцион манзара ҳосил қилади.

**6. Гюйгенс — Френель принципи.** Дастлаб Гюйгенс принципи тўлқин фронтини топишнинг геометрик усули сифатида илгари сурилган эди. Бу принципга кўра  $t + \Delta t$  моментдаги тўлқин фронти  $t$  моментда мавжуд бўлган тўлқин фронтининг барча нукталари­дан чиқувчи иккиламчи тўлқинларнинг ўровчиси сифатида аниқланади. Бундай соф геометрик усулда Гюйгенс иккиламчи тўлқинларнинг интерференциясини ҳисобга олмаган эди. Кейинча­лик, интерференция ҳодисаси ўрганилгандан кейин, Гюйгенс принципи Френель томонидан иккиламчи тўлқинларнинг интерфе­ренцияси ҳақидаги тасаввурлар билан тўлдирилган.

Гюйгенс — Френель принципининг мазмуни куйидагича ифо­даланиши мумкин: **тўлқин етиб келган муҳитнинг ҳар бир нуктаси**

иккиламчи тўлқинларнинг мустақил манбаи бўлиб қолади: янги тўлқин fronti иккиламчи тўлқинларнинг интерференцияси натижасида ҳосил бўлади.

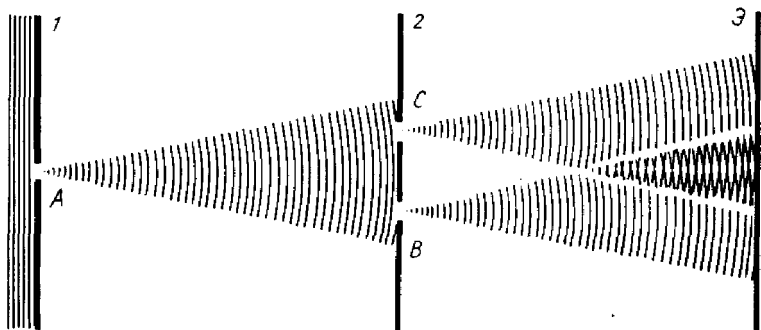
- ?
1. Тўлқинлар суперпозицияси нимадан иборат?
  2. Сув сиртидаги тўлқинлар интерференциясини кузатиш бўйича ўтказилган тажрибани гапириб беринг.
  3. Товуш тўлқинларининг интерференциясини қандай кузатиш мумкин?
  4. Интерференцион тажрибалар қуйишдаги Френель усули нимадан иборат?
  5. Бир хил частотали гармоник тўлқинлар когерентдир, деган фикр тўғрими?

#### 34-§. ЁРУҒЛИК ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСИ

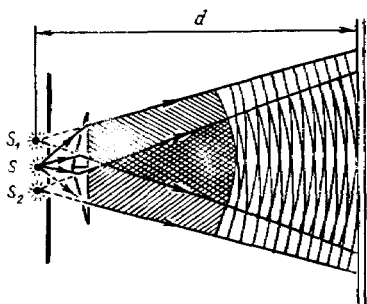
**1. Юнг тажрибаси.** Инглиз физиги Т. Юнг 1802 йили ёруғлик интерференциясини тажрибада кузатди. Тажриба яхши қоронғилатилган хонада ўтказилди. Тажрибанинг схемаси 111-расмда келтирилди. Қуёш ёруғлиги  $A$  тирқишли  $1$  пардага тушади. Ёритилган  $A$  тирқишдан ёруғлик иккита  $B$  ва  $C$  тирқишлари бўлган  $2$  пардага тушади.  $B$  ва  $C$  тирқишлар  $A$  тирқишга нисбатан симметрик жойлашгани сабабли, уларга  $A$  тирқишдан ёруғлик бир вақтда етиб келади. Улардан ёруғлик  $\mathcal{E}$  экранга тушади. Экранда қуйидаги манзара кузатилади: экраннинг четлари кучсиз ёритилади, унинг  $B$  ва  $C$  тирқишлардан келувчи ёруғликлар устма-уст тушувчи ўртасида эса бир неча ёруғ (камалак каби ранг-баранг товланувчи) ва қоронғу йўللار кузатилади, бу ёруғлик интерференцияси юз берганлигини кўрсатар эди.

**2. Нима сабабдан иккита оддий манбадан келувчи ёруғликларнинг интерференцияси кузатилмайди?** Агар Юнг тажрибасида битта манба билан ёритилувчи иккита тирқиш ўрнига иккита мустақил ёруғлик манбаи (масалан, иккита чўғланма лампа) олинса, интерференция ҳодисаси кузатилмайди. Нега?

Масала шундаки, одатдаги манбалардан нурланувчи тўлқин-



111-расм



112- расм

лари ўзаро мослашмаган (когерент) бўлади. Уларнинг бошланғич фазалари тартибсиз (хаотик) ўзгаради. Шунини учун фазонинг ҳар бир нуктада натижавий тўлқин амплитудаси ҳам тартибсиз ва тез ўзгариб туради. Инсоннинг кўзи маълум инертликка эгалиги сабабли, у амплитудаларнинг ўртача қийمатини сезади, шу боис, бу ҳолда интерференцион манзара кузатилмайд.

**3. Қандай қилиб одатдаги манбалардан фойдаланган ҳолда интерференцияни кузатиш мумкин?** Френель битта ёруғлик манбадан иккита когерент ёруғлик тўлқинлари олинишиг асосий усулини таклиф этди. Френель таклиф этган усулнинг моҳияти шундаки, бунда ёруғлик тўлқини иккита когерент тўлқинларга ажратилади. Бу тўлқинлар устма-уст тушганда Френель уларнинг интерференциясини кузатади.

Френель ўз тажрибаларидан бирида  $S$  манбадан келувчи ёруғлик тўлқинини асослари бир-бирига солиқлаб ёритилган иккита юпка шиша призмалар ёрдамида иккинга ажратган (112- расм). Бундай призма *Френель бипризмаси* деб ёритилади. Бипризманинг асоси равшан ёритилган тирқишга параллел жойлаштирилган. Юнг тажрибасидаги каби  $\mathcal{E}$  экранда интерференцион манзара кузатилади.

Агар тирқиш монохроматик (бир рангли) ёруғлик билан ёритилса, интерференцион манзаранинг барча ёруғ йўллари ҳам ана шундай рангда бўлади. Агар тирқиш ок ёруғлик билан ёритилса, интерференцион манзара камалак каби ранг-баранг бўлади. Ҳар бир ёруғ йўлда ранглارнинг қизилдан бинафшагача бир текис бир-бирига ўтиши кузатилади. Еттига асосий ранглар қуйидаги кетма-кетликда жойлашади: қизил, зарғалдоқ, сарик, яшил, ҳаворанг, кўк, бинафша (1 а рангли расмга қаранг).

**4. Юпка пардалардаги интерференция.** Сим қолипда соғун пардаси ҳосил қилиб, унга проекцион аппаратдан ёруғлик дастасини йўналтирамиз. Пардада камалак рангини кўрамиз. Агар ёруғлик дастаси йўлга қизил светофильтр қўйилса, камалак рангли йўллар ўрнига қоронғу йўллар билан бир-биридан ажратилган бир хил қизил рангли йўллар кўринади. Манзара Френель кўзгулари ёрдамида олинган интерференцион йўлларни эслатади. Агар қизил ёруғлик фильтр яшил билан алмаштирилса, ёруғ йўллар ҳам яшил рангли бўлади.

Бу кузатилаётган ҳолиса ёруғлик интерференциясининг натижаси деган фикр туғилади.

Бу ҳолда қандай иккита ёруғлик дасталари интерференцияланади? Равшанки, ёруғлик дастаси туғиладиган, у парданинг олдинги ва кетинги дасталари орасида жойланади. Бунда парданинг олдинги ва кетинги қисмида ёруғлик дасталари ўзаро қўшни бўлиши орасида, парда

калинлиги ва у тегиб турувчи моддага боғлиқ бўлган йўллар фарқи пайдо бўлади. Агар йўллар фарқи жуфт сондаги ярим тўлқин узунлигига тенг бўлса, қайтган тўлқинларнинг кучайиши, тоқ сондаги ярим тўлқин узунлигига тенг бўлса, заифлашуви юз беради.

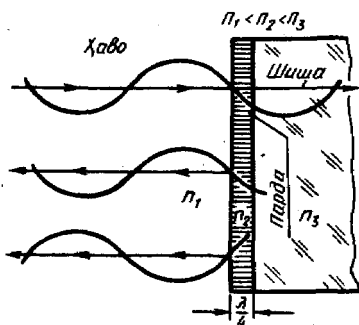
**5. Интерференциядан техникада фойдаланиш.** Интерференция ҳодисаси замонавий техникада кенг қўлланилади. Бундай қўлланишлардан бири «ёруғланиш» оптикasinинг яратилишидир. Силликланган шиша сирти ўзига тушган ёруғликнинг 4 фоизини қайтаради. Замонавий оптик асбоблар кўп сонли шишадан қилинган қисмларга эга. Ҳар бир қисмдан ўтишда ёруғлик 4 фоиз заифлашади. Фотоаппарат объективидаги умумий йўқотиш 25 фоизни, призмали дурбин ва микроскопда эса 50 фоизини ташкил этади.

Ёруғлик йўқотилишини камайтириш учун оптик асбобларнинг ёруғлик ўтувчи барча шиша қисмлари синдириш кўрсаткичи шишанинг синдириш кўрсаткичидан кичик бўлган парда билан қопланади. Парданинг қалинлиги чорак тўлқин узунлигига тенг.

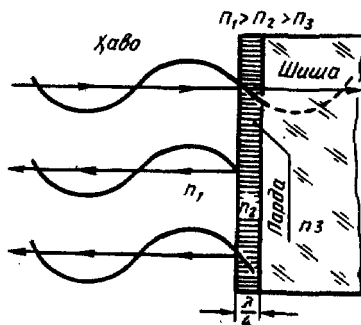
«Ёруғланиш» оптикasinинг иш принципини батафсилроқ қараб чиқайлик. Айтайлик, синдириш кўрсаткичи  $n_3$  бўлган моддадан тайёрланган оптик қисмда синдириш кўрсаткичи  $n_2 < n_3$  бўлган моддадан  $\lambda/4$  қалинликдаги юпка парда қосил қилинсин (113- расм). Қисмга ёруғлик синдириш кўрсаткичи  $n_1 < n_2$  бўлган ҳаводан тушади. (Ёруғлик тўлқинининг ҳаводаги, пардадаги ва шишадаги узунликлари ҳар хил:  $\lambda_1 = v_1 T$ ,  $\lambda_2 = v_2 T$ ,  $\lambda_3 = v_3 T$ , аммо 113- расмда бу ҳол эътиборга олинмаган ва кўргазмалилик учун тушувчи ва қайтган тўлқинлар алоҳида-алоҳида кўрсатилган.)  $n_1 < n_2$  ва  $n_2 < n_3$  бўлгани учун парданинг ҳар иккала чегарасидан қайтиш ярим тўлқин йўқотиш билан юз беради. Бу ҳолда оптик йўллар фарқи  $d = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$ , яъни ярим тўлқин узунлигига тенг

бўлади ва парданинг олдинги ва кетинги чегараларидан қайтган тўлқинлар бир-бирини заифлаштиради. Бу ҳол, энергиянинг сақланиш қонунига кўра, ёруғликнинг шишага ўтган қисмини кучайтиради ва шишанинг «ёруғланишига» сабаб бўлади.

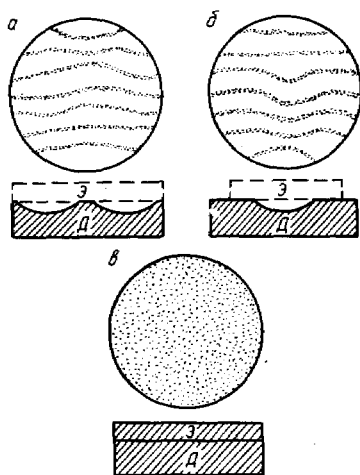
Интерференция ҳодисасининг қўлланишларидан яна бири



113- расм



114- расм



115- расм

оптиканинг қўп соҳалари учун зарур бўлган яхши кайтарувчи қопламалар олишдир. Бу ҳолда  $n_2$  синдириш кўрсаткичи  $n_3$  шишашиқидан катта бўлган ( $n_2 > n_3$ ) моддадан тайёрланган  $\lambda/4$  қалинликдаги пардадан фойдаланилади (114-расм). Бу ҳолда парданинг олдинги чегарасидан қайтиш,  $n_1 < n_2$  бўлгани учун, ярим тўлқин йўқотиш билан юз беради, кетинги чегарадан қайтиш эса, ярим тўлқин йўқотишсиз бўлади ( $n_2 > n_3$ ). Натижада йўллар фарқи  $d = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = \lambda$

бўлади ва қайтган тўлқинлар бири-бирини кучайтиради.

Интерференция ходисасидан ишланган сиртларнинг сифатини текширишда ҳам фойдаланилади. Бунинг учун ишланган сирт устига катта аниқлик билан тайёрланган ясси эталон жуда эҳтиётлик билан (чанглардан тозаланиб, температуралар тенглаштирилиб) қўйилади. 115-расмда ясси ва силлик сиртга эга бўлиши керак бўлган  $D$  деталь устига  $\Delta$  ясси эталонни қўйиш схемаси ва талаб этилган аниқлик бўлмаганда (115-а, б расмлар) ҳамда зарур аниқликка эришилганда (115-в расм) кузатиладиган интерференцион манзаралар келтирилди.

Зарур аниқликка эришилганда эталон остидаги бутун сирт бир хил рангга эга бўлади. Агар ишланган сиртда нуқсонлар оз бўлса, интерференцион йўллар кенг бўлади, сиртнинг нуқсонлари кўп бўлганда эса интерференцион йўллар тор ва уларнинг шаклидан қайси қисмларнинг берилган шаклдан фарқланиши осон кўрилади. Текширишнинг бундай усули берилган шаклдан фарқланишларни 0,01 мкм аниқликкача кўриш имконини беради.

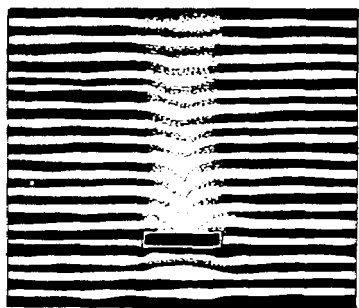
?

1. Юнг тажрибаси схемасини чизинг ва тажриба натижаларини тушунтиринг.
2. Френель тажрибаси схемасини чизинг ва унинг бориши ҳамда натижаларини тушунтиринг.
3. Сим ҳолида  $\lambda/4$  қалинликдаги совун пардаси олинган. Бу ҳолда қанақасига ва қандай интерференцион манзара ҳосил бўлишини тушунтиринг.
4. «Еритилиш» оптикасининг иш принципини тушунтиринг.
5. Иккита кўзгу ёрдамида ёруғлик интерференциясини кузатиш учун қурилма ўйлаб топинг.

### 35-§. ТЎЛҚИНЛАР ДИФРАКЦИЯСИ

Интерференция ходисаси билан тўлқинларнинг яна бир умумий хусусияти — тўлқинлари кескин бир жинсли бўлмаган муҳитда тарқалганда кузатиладиган дифракция ходисаси ҳам боғлиқ.





116- расм



117- расм

**1. Дифракция нима?** Тўлқин ваннасидаги суюқлик сиртида тарқалувчи ясси тўлқинлар йўлига чизикли ўлчами тўлқин узунлиги тартибида ( $d \approx \lambda$ ) бўлган тўсик кўямиз (116- расм). Тўсик тўлқинни иккита дастага ажратади, аммо тўсик орқасида бир оз масофа ўтгандан сўнг ажратилган тўлқинлар яна бирикади ва худди тўсик бўлмагандек тарқалади. Тўлқинлар тўсикни айланиб ўтади.

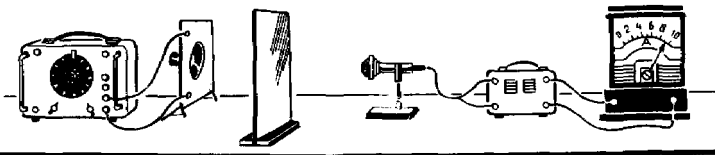
Тажрибани бир оз ўзгартирамиз. Тўлқинлар йўлига иккита тўсикни шундай кўямизки, улар орасида кенглиги тўлқин узунлигидан бирмунча катта бўлган тирқиш ҳосил бўлсин (117- расм). Кўрамизки, бошида энсиз бўлган тўлқин дастаси тирқиш орқасида секин-аста кенгая боради ва тўсикларни айланиб ўтиб, уларнинг орқасига ўтиб кетади. Бундан ташқари бу дастанинг ёнларида хиёл сезиладиган яна иккита даста кўринади.

Бу иккита тажрибада кузатилган, тўлқинларнинг тўсикларни айланиб ўтиши *тўлқинлар дифракцияси* деб юритилади. Дифракция — ҳар қандай табиатли тўлқинга тегишли бўлган умумий хусусиятдир.

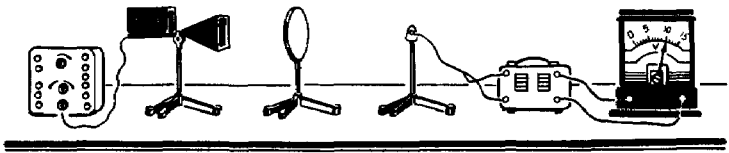
**2. Товуш тўлқинлари дифракцияси.** Товуш тўлқинларининг дифракциясини кузатиш учун 118- расмда тасвирланган қурилманни йиғамиз.

Радиокарнайни тўсик яқинига жойлаштирамиз. Товуш генераторини улаб, кучайтиргичнинг чиқиш клеммаларига уланган вольтметр стрелкаси кескин оғанлигини кўрамиз. Тўсик орқасида микрофони ҳаракатлантириб, у ерда ҳам тебранишлар борлигини сезамиз, бу тебранишлар товуш тўлқинлари дифракцияси юз берганлигидан дарак беради.

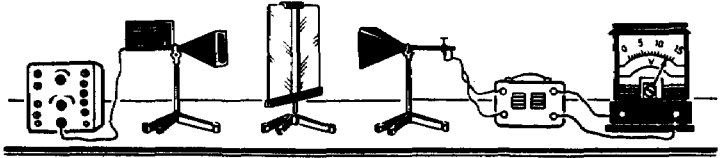
Товуш тўлқинлари дифракцияси кундалик ҳаётимизда тез-тез учраб туради. Уй орқасидаги одамларнинг каттик гаплашишини



118- расм



119- расм



120- расм

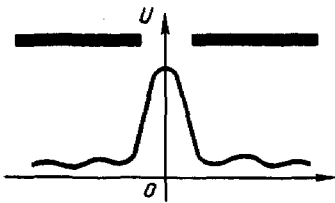
эштамиз, ўрмонда бир-бирини чақираётган одамларнинг товуши дарахтларни айланиб ўтади ва ҳ. к.

**3. Электромагнит тўлқинлар дифракцияси.** Электромагнит тўлқинлар дифракциясини кузатиш учун ўта юқори частотали генераторнинг рупорли антеннасида 1 метрча масофага алюминий дискани жойлаштирамиз (119- расм). Чиқиш клеммаларига вольтметр уланган кучайтиргичли қабул қилувчи диполь антеннани диск орқасига қўямиз. Вольтметр стрелкаси оғади, бу электромагнит тўлқинларнинг улар учун шаффоф бўлмаган алюминий диск орқасига айланиб ўтганлигидан дарак беради. Алюминий дискни ораларида кенглиги 4—5 см бўлган тирқиш ҳосил қилиб жойлаштирилган иккита пластинка билан, қабул қилувчи диполь антеннани эса, рупорли антенна билан алмаштирамиз (120- расм).

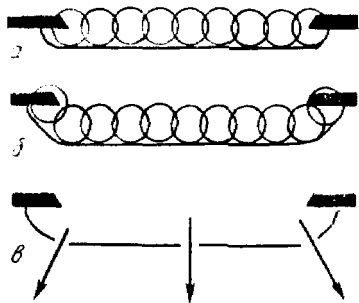
Қабул қилувчи антеннани бу пластинкалар орқасида, тирқиш ўқига перпендикуляр ҳолда қўндалангига ҳаракатлантириб, шунини кўрамизки, аввал бир оз оғган вольтметр стрелкаси, қабул қилувчи антеннанинг ҳаракати давом этиши билан катта бурчакка оғади, сўнгра ноль ҳолатга қайтади, бундан кейин яна катта бўлмаган бурчакка оғади. 121- расмда вольтметр кўрсатишининг қабул қилувчи антеннанинг тирқишига нисбатан ҳолатига боғлиқлигини график равишда тасвирланди.

Тажриба электромагнит тўлқинларнинг тирқишни айланиб ўтганлигига ва тўлқин ваннасида ўтказилган тажрибаларда яхши кўринмаган ён дасталарнинг мавжудлигига гувоҳлик беради.

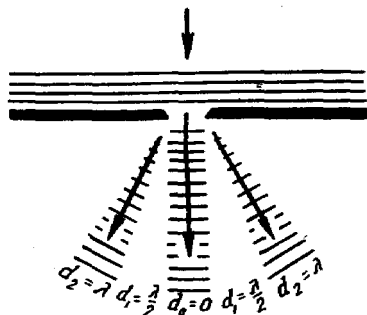
**4. Дифракция қандай ва нима сабабдан юз беради?** Тўлқинлар тирқишдан ўтганда ҳосил бўладиган дифракцион манзарада марказий йўлдан тўлқинлар бўлмаган фазо билан ажратилган ён йўлларнинг бўлиши, дифракция ҳодисаси тўлқинлар интерференцияси билан қандайдир боғланишга эга деб тахмин қилиш имконини беради. Бу тахминнинг тўғрилигини текшириб кўриш учун ясси тўлқинларнинг тирқишдан ўтишини батафсил қараб чиқамиз.



121- расм



122- расм



123- расм

Тўлқин тирқишга етиб бориши билан тирқиш кирралари орасидаги муҳитнинг ҳар бир нуқтаси иккиламчи тўлқинларнинг мустақил манбаи бўлиб қолади. Иккиламчи тўлқинларнинг интерференцияланиши натижасида янги тўлқин fronti ҳосил бўлади.

Иккиламчи тўлқинлар тирқишнинг четки нуқталаридан ҳам нурулангани сабабли тирқишдан ўтган тўлқин fronti унинг кирралари ёнида эгилади ва тирқишни ҳосил қилувчи тўсиклар орқасига ўтади (122- а расм). Тирқишдан ўтган тўлқин етиб келган муҳит нуқталаридан чиқувчи иккиламчи тўлқинлар тўсик кирчоқлари орқасига янада кўпроқ ўтади (122- б расм). Шу тариқа тўлқин тирқишдан ўтгандан кейин ҳам кенгайди, ҳам деформацияланади. Тўлқин frontига перпендикуляр ўтказилган нурулар тўлқиннинг тарқалиш йўналишини кўрсатади (122- в расм).

Тирқишга перпендикуляр равишда тарқалувчи иккиламчи тўлқинлар бир хил фазога эга бўлади, уларнинг йўл фарқлари нисбатан тенг ва интерференция натижасида улар бир-бирини қанчаларини (123- расм  $d=0$  га мос келувчи тўлқин).

Тирқиш билан бурчак ҳосил қилиб тарқалувчи иккиламчи тўлқинлар нолдан фарқли йўл фарқига эга. Йўл фарқи ярим тўлқинга тенг бўлган иккиламчи тўлқинлар бир-бирига сўндиради ва фазода тўлқинлар бўлмаган тинч соҳа ҳосил бўлади. Йўл фарқи бутун тўлқинга тенг бўлган иккиламчи тўлқинлар бир-бирини кучайтиради ва фазонинг бу соҳасида ён тўлқин йўллари кузатилади. Шундай қилиб, тўлқин дифракциясини интерференциянинг ўзига хос бир ҳоли деб караш мумкин.

Хулоса қилиб айтиш мумкинки, тўлқинларнинг тўсикларни айланиб ўтиши тўлқинлар интерференцияси натижасидир.

?

1. 119-расмда тасвирланган тажрибани тушунтиринг.
2. Электромагнит тўлқинлар дифракциясини қандай қилиб кузатиш мумкин?
3. Қандай ва нима сабабдан тўлқинлар дифракцияси юз беришини тушунтиринг.
4. 121-расмда нима тасвирланганлигини тушунтиринг.

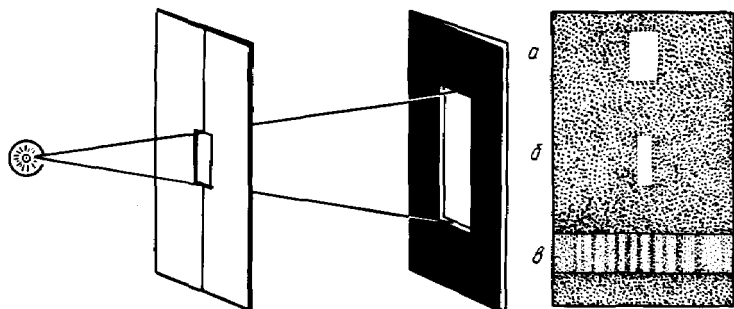
Тўлқинларнинг умумий хусусияларини ўрганиб, биз билдикки, ҳар қандай табиатга эга бўлган тўлқинлар кескин бир жинсли бўлмаган муҳитда тарқалганда, дифракция ходисасига учрайди. Хусусан, тўлқинлар ўзларининг йўлида учраган тўсиқни айланиб ўтади. Еруғлик дифракцияси ҳам кузатиладими, шуни аниқлай-миз.

**1. Еруғлик дифракциясини қандай шароитларда кузатиш мумкин?**

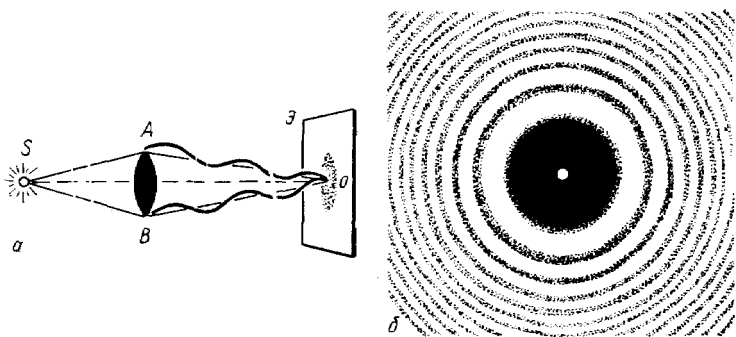
Тўсиқнинг ўлчамлари тўлқин узунлиги тартибида бўлганда дифракцион ходисаларни кузатиш осон бўлади. Аммо еруғлик тўлқинининг узунлиги жуда кичик, шунинг учун тўсиқларнинг айланиб ўтиши жуда оз бўлади ва уни махсус шароитлардагина кузатиш мумкин.

Еруғлик дифракциясини кузатиш учун ё жуда кичик тўсиқларни олиш, ёруғлик тўлқинларининг тўсиқ четларидаги тўғри чизикли йўналишдан кичик оғишлари кўриниши учун узок масофалардан туриб кузатишлар олиб бориш керак. Бундан ташқари дифракцион манзара жуда хиралиги сабабли, ёруғлик дифракциясини кузатиш бўйича тажрибалар ўтказиладиган хона жуда яхши қоронғилатилган бўлиши керак.

**2. Тирқишдаги дифракция.** Яхши қоронғилатилган хонада 10—12 мм ўлчамли тешиқчаси бўлган ғилоф ичига жойлашган равшан нуқтавий ёруғлик манбаи қаршисига кенглиги ўзгартириладиган тўғри бурчакли тирқиши бўлган ношаффоф парда қўямиз (124- расм). Тирқишнинг кенглиги 1—2 мм бўлганда экранда четлари аниқ бўлган равшан ёруғ йўл кўринади (124-а расм). Тирқишнинг кенглигини камайтира борсак, экрандаги ёруғ йўл четларининг аниқлиги аста-секин бузилади: бунда йўл кенгрок бўлиб қолади, унинг ёритилганлиги кичиклашади ва қирғоқларига томон камайиб боради. Тирқишнинг кенглиги яна камайтира борилса, ёритилган йўлнинг ўнг ва чапида аранг кўринадиган камалак ранг йўллар пайдо бўлади (124- расм, в да уларнинг қора-ок, рангли расмда эса рангли тасвирлари кўрсатилган). Тажриба ёруғлик дифракцияси юз берганлигини кўрсатади:



124- расм



125- расм

ёруғлик тирқишнинг ношаффоф четларини айланиб ўтади ва соя соҳасига қиради.

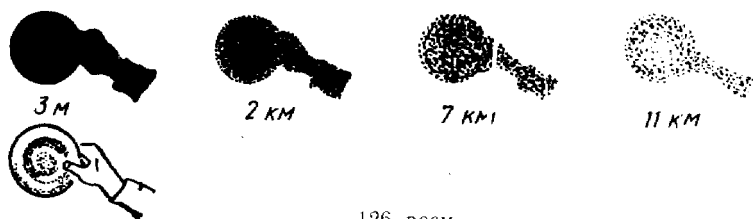
Агар ёруғлик қаршисига ёруғлик фильтри қўйилса, камалак рангли йўллар бир хил рангли бўлиб қолади (1 рангли расмга қаранг).

Тирқишдаги ёруғлик дифракцияси бўйича тажрибани бошқача намойиш қилиш ҳам мумкин: яхши қоронғилатилган узун бинога (масалан, мактаб коридорига) нуқтавий ёруғлик манбаини ўрнатамиз; манбадан қарийб 15 м масофада 2—3 мм кенгликдаги тирқишли ёруғлик ўтказмайдиган парда қўямиз. Агар тирқиш орқасидан 10—15 см масофага экран қўйилса, унда равшан ёритилган йўл кўринади. Экранни секин-аста тирқишдан узоклаштира бориб, ёруғ йўлнинг аниқ кўриниши бузила бошлаганини кўрамиз, унинг ёритилганлиги камаяди ва ҳар хил бўлиб қолади: ёритилганлик ўртасида кўп, чеккаларида оз бўлади. Тирқишдан 1.5—20 м масофада экранда ёритилган йўлнинг ўнг ва чапида, олдинги ҳолдаги каби, камалак рангли хира йўллар пайдо бўлади, манба қанча кучли бўлса, улар шунча яхши кўринади. Агар манба қаршисига ёруғлик фильтри қўйилса, камалак рангли йўллар бир хил рангли бўлиб қолади.

**3. Дискдаги дифракция.** Айтайлик, унча катта бўлмаган ясси диск, унинг марказидан ўтказилган перпендикуляр ўққа жойлашган нуқтавий ёруғлик манбаи<sup>1</sup> билан ёритилсин (125- расм). Манбадан чиққан ёруғлик диск қирраларига етиб бориши билан диск қиррасига яқин жойлашган ҳар бир нуқта, Гюйгенс — Френель принципига кўра тебранишларнинг мустақил манбаига айланади ва иккиламчи тўлкинлар нурлантиради. Манбадан диск қирраларигача бўлган масофа бир хил бўлгани сабабли, диск қирралари яқинидан тарқалувчи барча иккиламчи тўлкинлар бир хил фазага эга бўлади.

Иккиламчи тўлкинларнинг тушувчи тўлқинга симметрик равишда тарқалувчи қисми (125- расмда улар  $AO$  ва  $BO$  нуқталар

<sup>1</sup> Келтирилатган тажриба шароитида ёруғланувчи сирт ўлчамларини ҳисобга олмасамиз ҳам бўладиган ёруғлик манбаи нуқтавий ёруғлик манбаи деб аталади.



126- расм

билан белгиланди) экраннинг *O* нуктасига бир хил фаза билан келади ва интерференцияланиб, бир-бирини кучайтиради. Соянинг *O* марказида ёруғ доғ кузатилиши керак. Биринчи бўлиб бундай хулосага Френелнинг Париж Фанлар академиясининг мукофотиغا тавсия этилган ёруғлик дифракцияси ҳақидаги ишини тақриз қилган француз олими С. Д. Пуассон келган эди. Тажрибани етарлича пухта қўймаган Пуассон соя марказидаги ёруғ доғни кўра олмади ва шу асосда Френель назарияси хато деган хулосага келди.

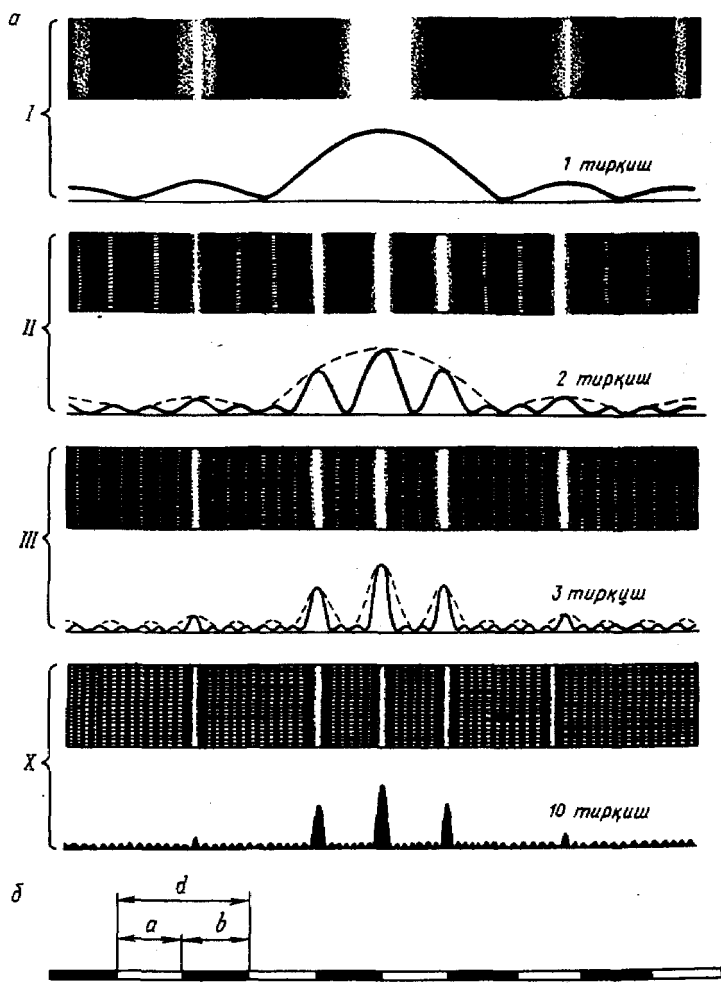
Мукофот қўмитасининг аъзоси бўлган Д. Ф. Араго Пуассон тажрибасининг натижаларини текшириб кўришга қарор қилди. Тажрибани пухтароқ қўйган Араго ёруғ дифракцион доғни кўришга муваффақ бўлди, бу доғ кейинчалик Пуассон номини олди.

Москва университетининг профессори В. К. Аркадьев ёруғлик дифракцияси бўйича жуда ажойиб тажриба қўйди. У ликобча ушлаб турган қўлнинг кичиклаштирилган яси моделини тайёрлади. Аркадьев моделинуктавий манбадан келувчи ёруғлик билан ёритиб, ликобчанинг экрандаги соясининг фотосуратини олди. Тажриба яхши коронгилатилган хонада ўтказилган эди. Модель экрандан унча узоқ бўлмаганда экранда аниқ соя кўринади (126-расм). Моделдан экрангача бўлган масофа ортиши билан сояда қўл ва ликобчанинг шакли борган сари ёмонроқ кўринади. Ниҳоят, қандайдир масофада тарелка соясининг марказида ёруғ доғ пайдо бўлади.

**4. Дифракцион панжара.** Параграф бошида баён этилган тирқиш билан ўтказилган тажрибада олинган дифракцион манзара етарли аниқлик ва равшандликка эга эмас. Бу иккита сабаб билан тушунтирилади: биринчидан битта тирқишдан оз ёруғлик ўтади, иккинчидан эса, интерференцион йўллар кенг, шу боис яхши ёритилмаган бўлади.

Агар битта тирқиш ўрнига бир нечта бир хил тирқишлар олинса, дифракцион манзара аниқ ва равшан бўлади. 127-а расмда 1, 2, 3 ва 10 та тирқишларда олинган дифракцион манзараларнинг фотосуратлари келтирилган. Расмлардан кўринадикки, тирқишлар сони ортиши билан ёруғ интерференцион йўлларнинг кенглиги камаяди ва уларнинг равшанлиги ортади. Бир вақтда улар орасидаги коронгу ораликларнинг кенглиги ортади.

Аниқ дифракцион манзаралар олиш учун тартибли жойлашган кўп сонли тирқишлари бўлган махсус қурилма яратилган. Бундай



127- расм

қурилмалар *дифракцион панжара* номини олган. Яхши силликланган шиша сиртига олмос билан чизикчалар чизилса, одатдаги дифракцион панжара ҳосил бўлади. Еруғлик чизикчалардан ўтмасдан, чизикчалар орасидан ўтади (127- б расм).

Битта тирқиш кенглиги  $a$  ва тирқишлар ораллиғи кенглиги  $b$  нинг йиғиндиси *панжара доимийси* ёки *унинг даври* дейилади (127- расм). Панжара доимийси одатда  $d$  ҳарфи билан белгиланади:

$$d = a + b$$

Ҳозирги кунда илмий мақсадларда ҳар бир миллиметрида 300, 1200, 1800 ва ҳатто 6000 га чизикчалари бўлган дифракцион панжаралардан фойдаланилади.

Агар дифракцион панжара оркали электр лампанинг толасига қаралса, ипнинг ўнг ва чап томонларида бир нечта камалак рангли йўллар кўринади, ҳар бир йўлда ранглар лампа ипи томондан бошлаб қуйидаги тартибда жойлашади: бинафша, кўк, хаворанг, яшил, сарик, зарғалдоқ, қизил (1 рангли расмга қаранг).

**5. Экспериментал топширик.** Шишани дудлаб қорайтиринг ва игна билан 1—2 см узунликдаги чизик чизинг. Ҳосил бўлган тирқиш оркали электр лампанинг толасига, тирқишни толага параллел тутган ҳолда қаранг. Шишани кўзингизга яқинлаштириб ва узоклаштириб, унинг шундай ҳолатини топингки, тирқиш оркали дифракцион манзара кўринсин. Қора қоғозни ўткир пичоқ билан кесиб ҳам тирқиш ҳосил қилиш мумкин, тирқишнинг кенглиги 0,5 мм атрофида бўлиши керак.

- ?
1. Дифракция бўйича тажрибалар қилишда қандай қийинчиликлар учраиди ва уларни қандай бартараф этиш мумкин?
  2. Тирқишдаги дифракцияни қандай кузатиш мумкин? Нима сабабдан бу ҳолдаги дифракцион манзара етарлича аниқ эмас?
  3. Профессор В. К. Аркадьев тажрибаси нимадан иборат эди?
  4. Дифракцион панжара нима ва унинг сифати нима билан аниқланади?

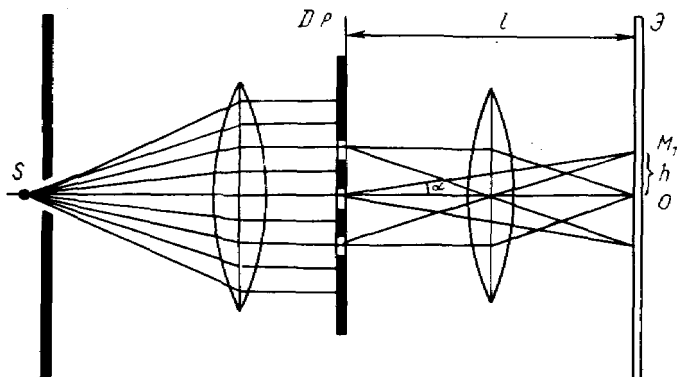
### 37-§. ЁРУҒЛИК ТЎЛҚИНИНИНГ УЗУНЛИГИНИ АНИҚЛАШ (ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ)

Ёруғлик тўлқинларининг узунлигини кўпгина усуллар билан аниқлаш мумкин. Улардан бирини қараб чиқамиз.

**1. Дифракцион панжара ёрдамида ёруғлик тўлқинининг узунлигини аниқлаш.**

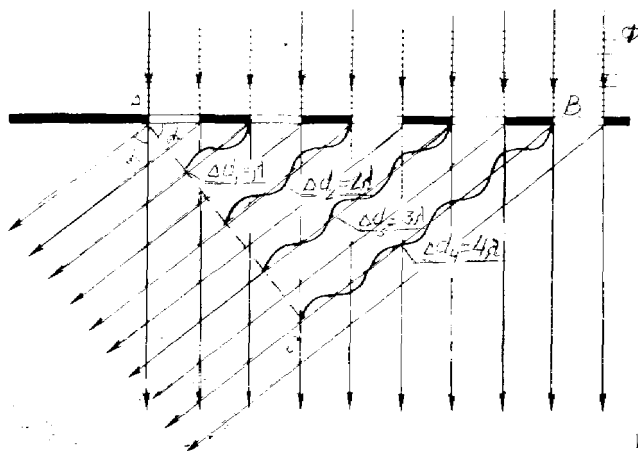
Дифракцион панжара ёрдамида ёруғлик тўлқинининг узунлигини аниқлаш учун схемаси 128- расмда тасвирланган қурилмани йиғиш керак.

Дифракцион панжарага тўлқин узунлиги  $\lambda$  бўлган яси ёруғлик тўлқини (параллел нурлар дастаси) тушади. Тўлқин панжарага етиб келганда унинг тирқишларини ҳар бир нуқтасидан Гюйгенс-



128- расм





129-расм

Френель принципига кўра, иккиламчи тўлқинлар тарқатади (129-расм). Барча иккиламчи тўлқинларнинг бошланғич фазалари бир хил.

Хар бир тиркишдан экранга перпендикуляр равишда келувчи иккиламчи тўлқинлар бир хил фазага эга бўлади ва интерференция натижасида уларнинг амплитудалари кўшилади. Бошқа барча йўналишлар бўйича экранга келувчи тўлқинлар йўл фаркига эга бўлади.

Экранга ўнгдаги биринчи ён ёруғ йўл йўналишида келувчи тўлқинлар бутун сондаги тўлқин узунлигига тенг бўлган йўл фарқларига эга бўлади (129-расмга қаранг): биринчи тиркишдан келувчи тўлқинлар учун йўл фарқи  $\lambda$  га, иккинчи тиркишдан келувчи тўлқинлар учун  $2\lambda$  га, учинчи тиркишдан келувчилар учун  $3\lambda$  га ва х.к. тенг бўлади. Охириги  $N$ -тиркишдан келувчи тўлқинлар учун йўл фарқи  $N\lambda$  га тенг бўлади.

Равшанки, 129-расмдаги  $ABC$  учбурчакнинг  $BC$  томони охириги  $N$ -тиркишдан келувчи тўлқинларнинг йўл фаркига,  $AB$  томони эса дифракцион панжара кенлигига тенг:

$$BC = N\lambda; \quad BA = Nd.$$

Иккинчи томондан, ана шу  $ABC$  учбурчакдан:

$$BC = AB \sin \alpha$$

ёки  $BC$  ва  $AB$  ларнинг қийматларини қўйсақ,

$$N\lambda = Nd \sin \alpha,$$

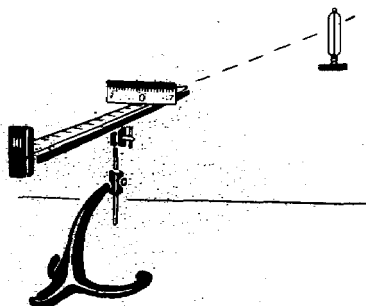
демак,

$$\lambda = d \sin \alpha$$

бўлади.

Аммо  $\alpha$  бурчак кичик бўлгани сабабли ( $\cos \alpha \simeq 1$ ),  $\sin \alpha \simeq \tan \alpha$  деб олиш мумкин. Қурилманинг схемасидан (128-расмга қаранг)

$$\tan \alpha = \frac{h}{l}$$



130- расм

экани осон топилади, шунинг учун

$$\lambda = d \frac{h}{l}$$

бўлади.

Тажрибадаги  $h$  ва  $l$  ларни ўлчаб ва  $d$  панжара доимийсини билиб, сўнгги формула ёрдамида дифракцион манзарадаги рангли йўлларга мос келувчи тўлқинлар узунлиги  $\lambda$  ни ҳисоблаб топиш мумкин.

## 2. Экспериментал топшириқ.

130- расмда тасвирланган қурилма

ёрдамида ёруғлик тўлқин узунлигини аниқланг.

### Топшириқни бажариш тартиби

1. Нишонга олувчи тиркишли масштабни дифракцион панжарадан мумкин қадар максимал масофага суриг.

2. Асбоб ўқини тўғри чўғланиш толаси бўлган лампага йўналтириг (бунда лампанинг чўғланиш толаси тўсиқнинг тор нишонга олувчи тиркишидан кўриниб туриши керак). Бу ҳолда тиркишнинг ўнг ва чап томонида масштаб устида қора фонда дифракцион манзара (спектр) кўринади.

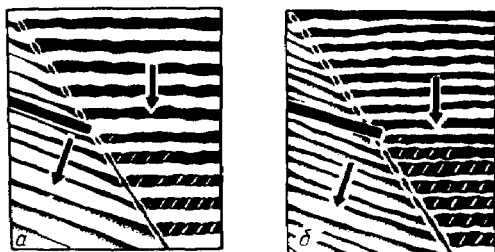
3. Асбобни қўзғатмасдан масштаб бўйича биринчи тартибли спектрдаги рангли йўлларнинг марказлари ҳолатларини аниқланг. Натижаларни 4-жадвалга ёзинг. Ўлчаш натижалари бўйича тўлқин узунлигини ҳисобланг. Ўлчаш хатолигини баҳоланг.

4- жадвал

| Йўлларнинг ранги | $h_{\text{чап}}$ | $h_{\text{ўнг}}$ | $h_{\text{урт}}$ | $l$ | $d$ | $\lambda$ |
|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|-----------|
| бинафша          |                  |                  |                  |     |     |           |
| кўк              |                  |                  |                  |     |     |           |
| ҳаворанг         |                  |                  |                  |     |     |           |
| яшил             |                  |                  |                  |     |     |           |
| сарик            |                  |                  |                  |     |     |           |
| зарғалдоқ        |                  |                  |                  |     |     |           |
| кизил            |                  |                  |                  |     |     |           |

## 38- §. ТўЛҚИНЛАР ДИСПЕРСИЯСИ

1. **Механик тўлқинлар дисперсияси.** Сийдириш кўрсаткичининг икки муҳит чегарасига тушувчи тўлқиннинг частотасига боғлиқ ёки боғлиқ эмаслигини аниқлайлик. Бунинг учун тўлқин ваннасининг тубига шишани шундай қўямизки, иккита ҳар хил қалинликдаги суюқлик қатлами бўлган соҳалар ҳосил бўлади. Ваннада ясси



131- расм

тўлқин қўзғатиб, экранда кўрамизки, айтилган соҳалар чегарасида тўлқин синади (131- а расм).

Стержень ёрдамида синган тўлқин фронтини белгилаб оламиз, бунинг учун стерженни тўлқин ваннаси қирғоғига шундай кўямизки, стержень сояси ва тўлқинларнинг қирралари ўзаро параллел бўлади.

Агар вибратор частотаси тахминан икки марта орттирилса, синган тўлқинларнинг қирралари энди стерженга параллел бўлмай қолади (131- расм). Вибратор тебранишлари частотаси бошланғич қийматигача камайтирилса, синган тўлқинларнинг қирралари яна стерженга параллел бўлиб қолади.

Тажриба тўлқин тарқалувчи мухитнинг синдириш кўрсаткичи тўлқин манбаининг (демак, тўлқиннинг) тебранишлари частотасига боғлиқлигини кўрсатади:

$$n_{21} = f(v).$$

Аммо  $n_{21} = v_1 / v_2$  бўлгани учун тўлқинлар тарқалишининг фазавий тезлиги ҳам частотага боғлиқ бўлади:

$$v = f(v).$$

Тўлқин тарқалиши фазавий тезлигининг (мухит синдириш кўрсаткичининг) частотага боғлиқлиги *дисперсия* деб аталади.

**2. Ёруғлик дисперсияси.** Агар коронғи хонага қалин шиша пластинка чўғланма лампадан келувчи ёруғлик дастаси билан ёритилса, бироз кўз кўргандан сўнг шуни кўрамизки, шिशанинг ҳаво билан чегарасида оқ ёруғлик дастаси бир текис бир-бирига ўтиб борувчи кўпгина рангли дасталарга ажралади (ёпиштирилган II рангли расмга к.). Бу ходиса ёруғлик тўлқинларининг дисперсияси юз берганини кўрсатади (лотинча *dispergo* — сочиб юбормоқ).

Ёруғлик дисперсияси ходисасини биринчи бўлиб И. Ньютон (1666 й.) ўрганган. Ньютон деразадаги тешикдан ўтувчи Қуёш ёруғлиги дастасини коронғи хонадаги учбурчакли шиша призмага йўналтиради. Хонанинг карама-қарши деворида Ньютон кўп сондаги ҳар хил рангли йўлчалардан иборат равшан рангли йўлни кўради, ундаги ранглар қизилдан зарғалдоққа, ундан сарикқа ва ҳ. к., то бинафшагача бир текис ўтиб боради (II рангли расмга қ.) Деворда кузатилган манзарани Ньютон *спектр* (лотинча *spectrum* — шарпа, арвоқ) деб аталади.

Ёруғликнинг учбурчакли призмадан ўтишига диққат билан қараб кўриш мумкинки, оқ ёруғликнинг ажралиши ёруғлик ҳаводан шишага ўтиши билан бошланади. Юқоридаги тажрибаларда одатдаги шишадан тайёрланган пластина ва призмадан фойдаланилган. Шиша ўрнига органик шиша, муз ва бошқа шаффоф моддалар олиниши ҳам мумкин эди. Модданинг синдириш кўрсаткичи қанча катта бўлса, ёруғлик дисперсияси шунча яхши намоён бўлади. Дисперсия ҳодисаси кузатиладиган муҳит *дисперсияловчи муҳит* дейилади.

Агар призмадан чиқувчи ҳар қандай рангли ёруғлик йўлига яна битта шиша призма қўйилса, у призмадан рангини ўзгартирмай ўтади.

**3. Дисперсия ҳодисаси нимани кўрсатади?** Маълумки, оқ ёруғлик мураккаб таркибга эга. Аммо бу янгилик эмас. Ёруғлик дифракциясини ўрганишда тўлқинларнинг узунликлари ва уларнинг частоталари ҳар хил рангли ёруғликлар учун ҳар хил бўлиши аниқланган. Дисперсия ҳодисаси оқ ёруғлик таркибига кирувчи тўлқинларнинг шишадаги фазавий тезликлари ҳар хиллигини кўрсатади. Ҳақиқатан ҳам, тўғридан-тўғри тажрибадан синдириш кўрсаткичлари учун қуйидаги тенгсизликларнинг ўринли бўлиши келиб чиқади:

$$n_k < n_3 < n_c < n_r < n_x < n_n < n_6.$$

Аммо синдириш кўрсаткичи ёруғликнинг ҳаводаги фазавий тезлиги билан шишадаги тезлигининг нисбатига тенг. Шунинг учун ҳар хил рангли ёруғлик дасталарининг синдириш кўрсаткичларини уларнинг фазавий тезликлари орқали ифодалаш мумкин:

$$n_k = \frac{c}{v_k}, \quad n_3 = \frac{c}{v_3}, \quad n_c = \frac{c}{v_c}, \quad \dots, \quad n_6 = \frac{c}{v_6}.$$

Синдириш кўрсаткичларининг топилган қийматларини олдинги тенгсизликларга қўйиб,

$$\frac{c}{v_k} < \frac{c}{v_3} < \frac{c}{v_c} < \dots < \frac{c}{v_6}.$$

ёки

$$v_k < v_3 < v_c < \dots < v_6$$

тенгсизликларни топамиз.

Шундай қилиб, *дисперсия ҳодисасидан шу нарса маълум бўладики, оқ ёруғлик таркибига кирувчи тўлқинлар моддада ҳар хил тезлик билан тарқалади: энг катта тезлик билан биз қизил ёруғлик сифатида қабул қиладиган тўлқинлар тарқалади, энг кичик тезлик билан биз бинафша ёруғлик сифатида қабул қиладиган тўлқинлар тарқалади.* Аммо ёруғликнинг ранги унинг тўлқин узунлигига, демак, частотасига ҳам боғлиқ бўлади. Бинобарин, ёруғлик тўлқинлари фазавий тезлиги уларнинг частотасига боғлиқ бўлади. Бинобарин, ёруғлик тўлқинлари фазавий тезлиги уларнинг частотасига боғлиқ экан.

Дисперсия тўғрисида айтилган фикрларни бирлаштириб, уни

куйдагича аниқлаш мумкин: *тўлқинларнинг муҳитдаги фазавий тезлигининг частотага боғлиқлиги дисперсия дейилади.*

Тўлқинлар фазавий тезлигининг улар частотасига боғлиқлиги шу нарсага олиб келадикки, дисперсияловчи муҳит чегарасида оқ ёруғлик уни ташкил этувчи тўлқинларга ажралади.

**4. Ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги частотага боғлиқми?** Айтайлик, вакуумда биздан жуда олис жойлашган кучли ёруғлик манбаи ношаффоф парда билан даврий равишда очилсин ва ёпилсин. Агар барча ёруғлик тўлқинлари, частоталарининг ҳар хил бўлишига қарамасдан вакуумда бир хил тезлик билан тарқалса, биз олисдаги манбанинг ёруғлиги ўчиб-ёнишини, аммо унинг ранги ўзгармаслигини кўришимиз керак. Агар ҳар хил частотали тўлқинлар вакуумда ҳар хил тезлик билан тарқалса, манбанинг ранги ўзгариши керак.

Буни батафсилроқ кўриб чиқайлик. Айтайлик, вакуумда энг катта тезлик билан кизил ёруғлик тўлқинлари, энг кичик тезлик билан бинафша ёруғлик тўлқинлари тарқалсин. У ҳолда парда ёруғлик манбаини очганда бизга энг олдин кизил ёруғлик тўлқинлари етиб келади ва биз манбани кизил рангда кўрамиз. Кейинчалик кўзимизга бошқа частоталардаги тўлқинларнинг етиб келишига қараб, манбаларнинг ранги ўзгаради ва, ниҳоят, ўзининг ҳақиқий ранги қандай бўлса, шундай рангда кўринади. Агар парда ёруғлик манбаини тўсса, бизга энг аввал кизил ёруғлик тўлқинлари, энг охирида бинафша ёруғлик тўлқинлари келмай қўяди. Натижада, манбанинг ранги ҳақиқийсидан бинафшагача ўзгаради, бундан кейин эса, манба бутунлай кўринмай қолади.

Тўлқинларнинг тарқалиш тезликлари фарқи унча катта бўлмаганда, юқорида баён этилган эффект, агар у ўринли бўлса, фақат манба билан кузатувчи орасидаги масофа жуда катта бўлгандагина кўринади. Шунинг учун юқорида айтилган тажрибани лаборатория шароитида амалга ошириб бўлмайди, чунки барча ер масофалари унинг учун кичиклик қилади. Аммо кўзланган мақсад учун қўшалок юлдузларни астрономик кузатишдан фойдаланиш мумкин. Қўшалок юлдуз — бу умумий массалар маркази атропоида айланувчи иккита юлдуздир. Уларнинг ҳар бири даврий равишда кузатувчидан иккинчисининг ёруғлигини тўсади, бинобарин, юқорида айтилган фикрлар тўғри бўлса, уларнинг ранги ўзгариши керак. Аммо телескоп орқали кузатишда бу юлдузлар рангининг ўзгариши кўринмайди. Агар ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги частотага боғлиқ бўлганда эди, юлдуз тугилишдан чиққандан кейин унинг ранги ўзгариши керак эди. Бинобарин, *ёруғликнинг вакуумдаги фазавий тезлиги тебранишлар частотасига боғлиқ эмас.*

?

1. Ёруғлик дисперсиясини қандай кузатиш мумкин?
2. Ньютоннинг учбурчакли шиша призма ёрдамида ўтказган тажрибаси нимани кўрсатади?
3. Дисперсияловчи муҳит деб қандай муҳитга айтилади?
4. Вакуумдан ўтишда дисперсия ҳодисаси кузатиладими?

## 39- §. СПЕКТРАЛ АНАЛИЗ

Дисперсия ҳодисасидан фан ва техникада моддаларнинг таркибини аниқлашда фойдаланилади. Бу усул *спектрал анализ* деб номланган. Унинг асосида моддадан нурланувчи ёки унга ютилувчи ёруғликни ўрганиш ётади.

1. **Спектрал анализни ўтказиш схемаси.** Спектрал анализ қуйидаги схема бўйича амалга оширилади (132- а расм).

а) Таркиби аниқланиши зарур бўлган модда ёруғлик чиқарадиган ҳолатга келтирилади. Бунинг учун, одатда қаттиқ ҳолатда бўладиган модда қаттиқ қизитиш (масалан, горелка алангаси ёки электр ёйида) йўли билан газсимон ҳолатга келтирилади ва ундан электр токи ўтказилади.

б) Газ атомларидан чиқувчи ёруғлик спектрал асбоб (спектроскоп ёки спектрограф) га йўналтирилади.

в) Олинган спектрни эталон билан солиштириб, текширилувчи модданинг таркиби аниқланади.

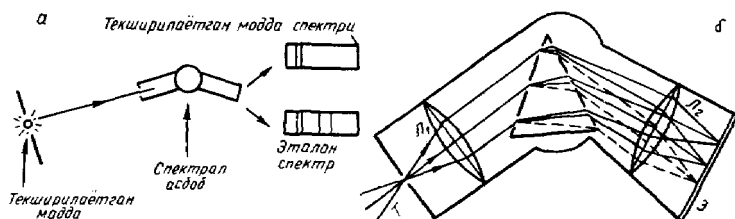
### 2. Спектрал асбобнинг тузилиши

132- б расмда спектроскопнинг тузилиш схемаси келтирилган, унда ёруғликни спектрга ажратиш учун призмадан фойдаланилади. Бу мақсадда дифракцион панжарадан ҳам фойдаланиш мумкин.

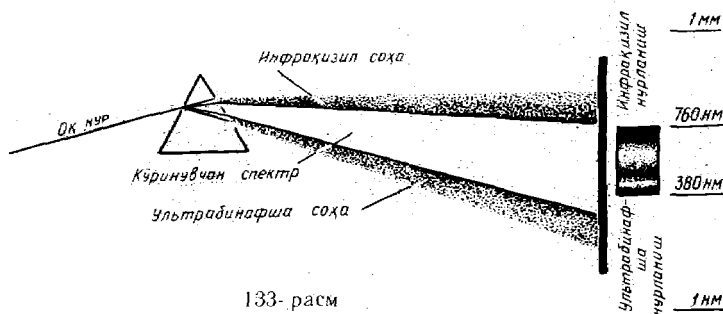
Ёруғлик манбаи томонидан ёритилувчи  $T$  тор тиркиш  $L_1$  линза фокусига жойлашган (132- б расм). Линзадан ўтган ёруғлик призма ёки панжарагача параллел даста тарзида тарқалади. Призма ёки панжарада ягона ёруғлик дастаси бир нечта параллел рангли дасталарга ажралади (132- расмда ана шундай дасталардан фақат учтаси кўрсатилди).  $L_2$  линза ўзининг фокал текислигида  $T$  тиркишнинг рангли тасвирини (спектрини) ҳосил қилади.

Спектрал асбобнинг типига қараб, бу тасвирни экранда кўриш (спектроскоп) ёки фотосуратини олиш (спектрограф) мумкин.

3. **Қиздирилган жисмлардан чиқувчи ёруғлик спектри.** Спектроскоп тирқиши қаршисига чўғланма лампани қўямиз ва ундан нурланувчи ёруғликни текшираемиз. Ток кучи кичик бўлганда лампа толаси қизил рангда бўлади. Бу моментда ундан нурланувчи ёруғликнинг спектри қизил рангли йўлдан иборат бўлади. Ток кучини аста-секин орттира бориб, шунинг кўрамизки, спектрда аввал зарғалдоқ, кейин сарик, яшил, хаворанг, қўқ ва охири бинафша



132- расм



133-расм

Рангли қисмлар пайдо бўлади (ёпиштирилган III рангли расмга к.).

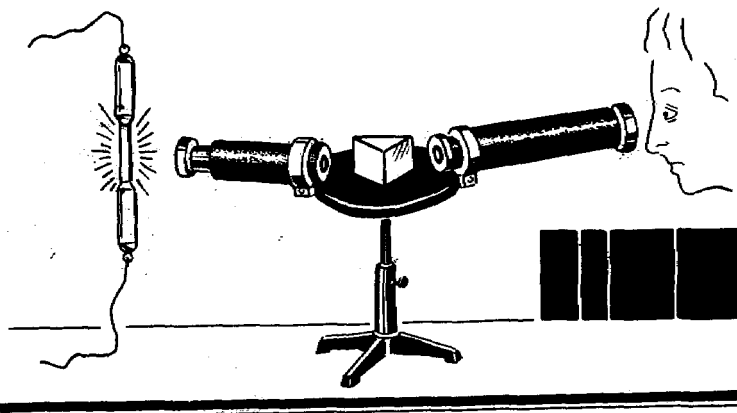
Махсус объективлар ёрдамида спектрнинг фотосурати олинганда фотоплёнкаларда кизил ёруғлик соҳасидан олдин ва бинафша ёруғлик соҳасидан кейин спектрнинг, мос ҳолда, *инфрақизил* ва *ультрабинафша соҳалар* деб номланган кўзга кўринмас соҳалар намоён бўлади (133-расм).

Спектрнинг кўзга кўринмайдиган бу соҳаларини текшириш шуни кўрсатадики, ультрабинафша соҳага 1 нм дан 380 нм гача диапазондаги, инфрақизил соҳага — 760 нм дан 1 мм гача диапазондаги тўлқин узунликлари мос келади.

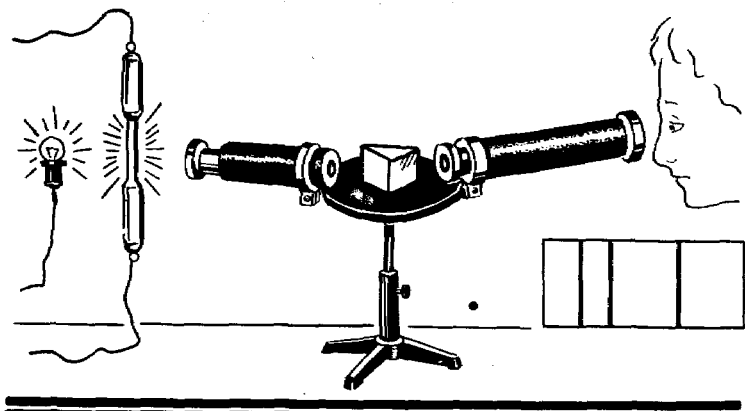
Спектрнинг кўзга кўринадиган қисмига 380 дан 760 нм га бўлган тўлқин узунликлар диапазони мос келишини эътиборга олиб, кучли қиздирилган жисмлардан тўлқин узунликлари 1 нм дан 1 мм гача бўлган ёруғлик нурланади деган хулосага келамиз. Муҳими шундаки, бу нурланишнинг айtilган интервалдаги спектри туташ бўлади.

Қиздирилган қаттиқ жисмлардан нурланувчи ёруғликнинг спектрал тарбиби фақат жисмлар температурасига боғлиқ, моддага эса боғлиқ эмас.

**4. Газсимон ҳолатдаги моддаларнинг спектри.** Қоронғилатилган хонада спектроскоп тиркиши қаршисига паст босимдаги водород тўлдирилган трубкани жойлаштирамиз (134-расм).



134-расм



135- расм

Трубка юқори кучланиш манбаига уланса, электр разряд бошланади ва у кизил ёруғлик чиқаради. Бу ёруғликнинг спектри қоронғу фондаги бир неча рангли чизиклардан иборат бўлади (III рангли расмга к.). Бундай спектр — *чизикли чиқариш спектри* деб номланган.

**5. Ютилиш спектрлари.** Қоронғилатилмаган хонада спектроскоп тиркиши қаршисига водород билан тўлдирилган нурланувчи трубкани кўямиз (135-расм), унча равшан бўлмаган узлуксиз чиқариш спектрининг кизил қисмида бир неча қоронғу чизиклар кўринади (III рангли расмга к.). Бундай спектрлар *чизикли ютилиш спектрлари* деб юритилади, қоронғу чизикларнинг ўзи эса *ютилиш чизиклари* номини олган.

Ёруғлик газсимон ҳолатдаги моддалардан чиқарилган ёки уларга ютилганда чизикли спектрлар ҳосил бўлади. Берилган температурада модданинг ютилиш спектридаги қоронғу чизикларнинг ҳолати, ана шу модданинг ўшандай температурадаги чиқариш спектрида кўзатишган равшан чизикларнинг ҳолатига аниқ мос келади.

Бошқача айтганда, газсимон ҳолатдаги модда берилган температурада қандай частотали тўлқинларни чиқарса, шундай частотали тўлқинларни ютади.

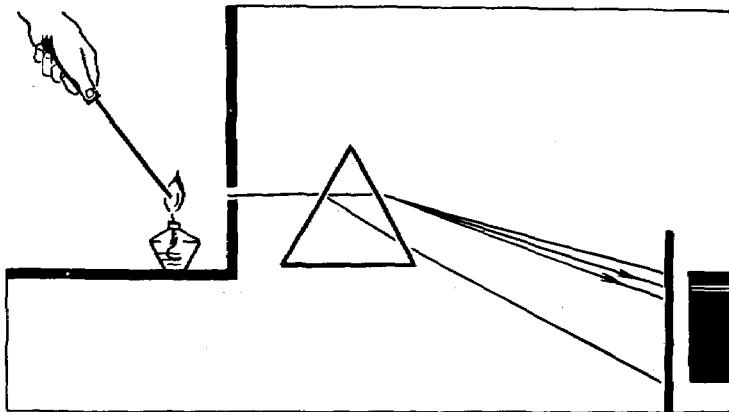
?

1. Спектроскопнинг схемасини чизинг ва унинг ишлаш принципини тушунтиринг.
2. Туташ ва чизикли спектрларни қандай қилиб олиш мумкин?

#### 40-§. СПЕКТРАЛ АНАЛИЗНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ ВА АФЗАЛЛИКЛАРИ

Спектрал анализ моддаларнинг атом ва молекуляр таркибини аниқлаш имконини беради. Унинг амалда энг кўп учрайдиган асосий усулларини қараб чиқамиз.





136- расм

**1. Эмиссион усул.** Агар қоронгилатилган хонада спектроскоп тирқиши каршисига ёнувчи спиртовкани қўйсак, унча равшан бўлмаган ёппа спектрни кўрамиз. Бу ёппа спектрни берувчи ёруғлик манбаи алангадаги кизиган каттик зарарлар бўлади.

Спирт лампа алангасига ош тузи ( $\text{NaCl}$ ) нинг кичик бўлакчасини киритсак, аланга равшан сарик ранга бўялади, унинг спектрида эса, спектрнинг сарик қисмида жойлашган иккита сарик чизик пайдо бўлади (136- расм). Спирт лампа алангасига ош тузининг ўрнига глаубер тузи ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), натрий иод ( $\text{NaI}$ ), натрий сульфид ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) ёки натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) тузларининг зарралари киритилганда ҳам ана шундай нарса кузатилади. Натрийнинг ҳар қандай тузи спирт лампа алангасини сарик ранга бўяйди ва спектрнинг сарик қисмида бир-бирига яқин жойлашган иккита сарик чизик ҳосил қилади. Бошқача айтганда, натрийнинг ўзига хос хусусияти шундаки, унинг қиздирилган буғи спектрининг сарик қисмида ҳамма вақт иккита сарик чизик пайдо бўлади.

Агар шиша трубкадаги натрий буғидан электр токи ўтказилса, буғ сарик ранга кўринади. Бу нурланишнинг спектрида ҳам иккита сарик чизик иштирок этади.

Немис олимлари Г. Кирхгоф ва Р. Бунзенлар 1860 йили металлларнинг спектрини ўрганиш жараёнида ҳар бир металл газсимон ҳолатида ўзига хос чизикли спектрга эга бўлишини аниқлашди. Горелка алангасига бирор металлнинг ҳар қандай тузини киритилиши ҳамма вақт бир хил чизикли чиқариш спектри пайдо бўлишига олиб келади.

Ҳар хил элементларнинг спектрларидаги айрим чизиклар тасодифан устма-уст тушиб қолиши мумкин, аммо ҳар бир металлнинг спектри тўлиғича унинг доимий ва жуда аниқ индивидуал характеристикаси бўлади.

Шу билан бирга, алангага ҳар хил металллар тузларининг аралашмаси киритилганда спектрда ана шу металллар учун характерли бўлган барча чизиклар бир вақтда пайдо бўлади.

Спектрал чизикларнинг равшанлиги берилган моддалар аралашмасидаги элементнинг концентрациясига боғлиқ: элементнинг концентрацияси қанча катта бўлса, унга тегишли спектрал чизикларнинг равшанлиги шунча юқори бўлади.

Моддаларнинг химиявий таркибини аниқлашнинг янги усули — спектрал анализ ана шундай кашф қилинган эди.

Текширилувчи намунанинг спектрида янги чизикларнинг топилиши намунада номаълум элементлар аралашмаси борлигини билдиради. Спектрал анализ ёрдамида аввало рубидий ва цезий, кейинчалик эса таллий, индий, галлий элементлари кашф этилган. Бу усул билан ҳаммаси бўлиб 24 та химиявий элемент топилган.

**2. Абсорбцион<sup>1</sup> усул. Фраунгофер чизиклари.** Агар яхши спектроскоп ёрдамида ҳосил қилинган қуёш ёруғлиги спектри фотосуратга олинса, унда ютилиш чизиклари аниқ кўринади (III рангли расмга қ.). Бу чизикларни биринчи бўлиб немис физиги Й. Фраунгофер изоҳлаган эди, шунинг учун улар *Фраунгофер чизиклари* номини олган.

Бу чизикларнинг пайдо бўлиши қуёш ёруғлигининг Қуёш атмосферасидан ва қисман Ер атмосферасидан ўтиши билан боғлиқ. Шундай қилиб, қуёш ёруғлигининг спектри — *ютилиш спектридир*.

Фраунгофер чизикларини ҳар хил элементларнинг чиқариш чизиклари билан солиштириб, Қуёш атмосфераси таркибига қандай элементлар киришини аниқлаш мумкин. Хусусан, гелий элементи илк бор ана шу усул билан Қуёш атмосферасида топилган эди. Кейинчалик гелий Ерда ҳам топилган.

Ютилиш спектрлари бўйича спектрал анализ моддаларнинг химиявий таркибини аниқлашда фойдаланилади. Абсорбцион (ютилиш) спектрал анализини ўтказиш учун текширилувчи модда алангада ёкилади ва ундан чиқувчи ёруғлик спектроскоп ёки спектрографга йўналтирилади. Бир вақтда алангадан эталон спектрал трубкадан чиқувчи ёруғлик ҳам ўтказилади. Агар спектрда ютилиш чизиклари пайдо бўлса, бу — текширилувчи моддада спектрал трубкага камалган элементларнинг борлигидан далолат беради.

### **3. Спектрал анализнинг афзалликлари.**

Спектрал анализ химиявий анализга қараганда қуйидаги устунликларга эга: юқори сезгирлик, тезлик, аниқлашнинг оддийлиги ва анализни ўтказиш учун зарур бўлган модда массасининг кичиклиги.

Спектрал анализнинг сезгирлиги жуда юқори: унинг ёрдамида моддадаги аралашмаси бир фоизнинг миллиондан бир улушини ташкил этувчи элементни аниқлаш мумкин. Қулай шароитларда массаси  $10^{-6}$  г бўлган намунадаги моддани аниқлаш мумкин бўлади.

Спектрал анализнинг тезлиги химиявий анализ тезлигидан сезиларли катта. Шунинг учун спектрал анализ экспресс-анализ

<sup>1</sup> Абсорбция — ютилиш.

сифатида металлургия ва криминалистикада кенг қўлланилади. Спектрлар анализ ўтказиш учун бир неча ўн микрограмм модданинг бўлиши етарли. Спектрал анализнинг муҳим афзаллиги яна шундаки, уни текширилувчи модда билан бевосита контактлашмасдан ўтказиш мумкин: спектрал анализ ўтказиш учун текширилувчи модда чиқарувчи ёки ютувчи ёруғликни таҳлил қилиш етарли бўлади.

**4. Экспериментал топширик.** Чўғланма лампа толасининг температурасини ўзгартириб, ундан нурланувчи ёруғлик спектрини кузатинг.

*Керакли асбоб-ускуналар:* 1) спектроскоп, 2) қалпоқчали кичик кучланишга мўлжалланган лампочка, 3) ЭЮК 4В бўлган ток манбаи, 4) реостат, 5) калит, 6) бирлаштирувчи симлар.

### Топширикни бажариш тартиби

1. Электр лампани спектроскоп коллиматори тирқишининг қаршисига ўрнатинг.

2. Кичик кучланишга мўлжалланган лампочкани реостат орқали ток манбаига уланг.

3. Реостатни тўлиқ улаб, калитни беркитинг.

4. Занжирдаги ток кучини секин-аста кўпайтириб, лампочкадан нурланувчи ёруғликнинг спектроскопдаги спектрини кузатинг.

5. Дафтарингизга кузатиш натижаларини ёзиб қўйинг.

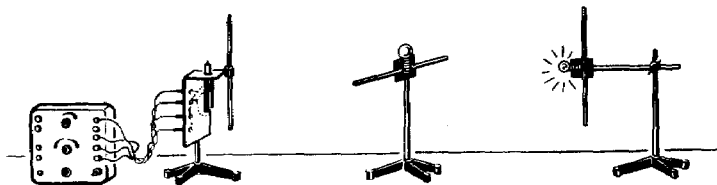
?

1. Спектрал анализ ўтказувчи қурилманинг схемасини чизинг: а) эмиссион усул учун; б) абсорбцион усул учун.

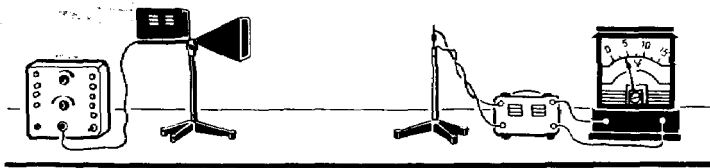
2. Спектрал анализнинг химиявий анализдан асосий устунликларини номма-ном айтиб беринг.

### 41-§. ТўЛҚИНЛАРНИНГ ҚУТБЛАНИШИ

**1. Тўлқинларнинг қутбланиш ҳодисаси.** Биз ҳозиргача тебранишлар қайси текисликда юз бериши билан қизиқмадик, ваҳоланки, қатор ҳодисаларда бу муҳим роль ўйнайди. Буни тажриба асосида исботлаймиз. 137-расмда тасвирланган қурилмани йиғамиз. Генераторни улаб, қабул қилувчи антеннага уланган лампанинг равшан ёритишини кўрамиз. Аммо, антенна  $90^\circ$  га бурилса, лампа ёритмай қўяди. Нега бундай бўлади? Буни тушуниш учун узатувчи антеннадаги зарядларнинг тебранишлари антенна бўйлаб юз беришини эслаймиз. Шу боис нурланувчи электромагнит тўлқиндаги электр майдон кучланганлик вектори



137- расм



138- расм

антенна текислигида ётади, магнит майдон индукция вектори эса перпендикуляр текисликда ётади.

**Электромагнит тўлқин кучланганлик вектори ва унинг тарқалиш йўналиши орқали ўтувчи текислик қутбланиш текислиги дейилади.**

Юқорида баён этилган тажрибада антеннадан нурланувчи электромагнит тўлқинлар вертикал текисликда қутбланган. Агар нурлантирувчи антенна горизонтал қўйилса, ундан нурланувчи тўлқинларнинг қутбланиш текислиги ҳам горизонтал бўлади. Агар узатувчи антеннани горизонтга  $\alpha$  бурчак остида қўйилса, ундан нурланувчи тўлқинлар горизонтга  $\alpha$  бурчак остида қияланган текисликда қутбланган бўлади.

Тарқалиш жараёнида  $\vec{B}$  ва  $\vec{E}$  векторлари фазодаги ўз ориентациясини сақлайдиган электромагнит тўлқин *ясси қутбланган тўлқин* дейилади.

Қабул қилувчи антеннадаги мажбурий электр тебранишлари эркин электронларга электр майдонининг таъсири туфайли юзага келганлиги сабабли, электромагнит тўлқинларни қабул қилиш учун қабул қилувчи антеннани узатувчи антеннага параллел равишда ўрнатиш зарур. Юқорида баён этилган тажриба ҳам ана шуни тасдиқлайди. Тўлқинларнинг хоссаларини ўрганар эканмиз, биз кўпгина тажрибаларни қўйиш учун тўлқин узунлиги 3 см бўлган юқори частотали электромагнит тўлқинлар генераторидан фойдаландик. Генераторнинг рупорли антеннасида нурланувчи электромагнит тўлқинлар қайси текисликда қутбланганлигини аниқлайлик. Бунинг учун генераторнинг рупорли антеннаси каршисига қўшимча қабул қилувчи антеннани шундай қўямизки, ундаги диполнинг ўтказгичлари вертикал жойлашади (138- расм). Генератор ва приёмникни улаб, кучайтиргичнинг чиқиш клеммаларига улаб, вольтметр стрелкасининг оғишини кўрамиз.

Қабул қилувчи антеннани горизонтал ўқ атрофида секин айлантириб, вольтметр стрелкасининг оғиши тобора камайиб боришини кўрамиз. Қабул қилувчи диполнинг стерженлари горизонтал ҳолатни эгаллаганда вольтметрнинг стрелкаси шкаланинг ноличчи бўлимида бўлади. Тажриба генераторнинг рупорли антеннасида нурланувчи тўлқинлар вертикал текисликда қутбланганлигини кўрсатади.

Юқорида айтилганлардан тўлқинларнинг қутбланиши хақидаги фикрлар фақат кўндаланг тўлқинларга тегишли эканлиги маълум бўлади. Бўйлама тўлқинлар қутбланган бўлиши мумкин эмас, чунки улардаги тебранишлар текисликда эмас, балки тўлқин тарқалувчи нур бўйлаб юз беради. Қутбланишнинг бор ёки

йўқлигига қараб, тўлқиннинг кўндаланг ёки бўйлама эканлиги ҳақида ҳукм чиқарилади.

## 2. Ёруғликнинг кутбланишини топиш. Ёруғлик тўлқинларининг кўндаланглиги.

Турмалин кристалдан маълум тарзда кесилган иккита пластинкани бир-бирининг орқасига қўямиз ва уларнинг тасвирини экранга тушираемиз. Кристаллардан бирини ўқ атрофида айлантириб, экраннинг кристаллар тасвирлари кесилган жойдаги ёритилганлиги ўзгаришини ва айлантирилувчи кристаллнинг аниқ бир ҳолатида экран бутунлай қоронғу бўлиб қолишини кўраемиз (139-расм).

Бу натижани қуйидагича тушунтириш мумкин. Чўғланма лампадан чикувчи ёруғлик кутбланмаган. Турмалин кристаллининг биринчисидан ўтишида у ясси кутбланган бўлиб қолади. Бу турмалин кристалли *поляризатор* (кутбловчи) бўлади. Турмалиннинг иккинчи кристалли анализатор вазифасини ўтайди: у кутбланиш текислигига нисбатан аниқ бир ориентацияда бўлганда ўзидан кутбланган ёруғликни деярли тўлиқ ўтказмай (139-а расм). Агар анализатор  $90^\circ$  га бурилса, у кутбланган ёруғликни деярли ўтказмай қўяди (139-б расм).

Турмалиндан ташқари кристаллдан маълум бир тарзда кесиб тайёрланган кварц пластинкалар ҳам ана шундай хусусиятларга эга бўлади. Поляризатор ва анализатор вазифасини бажара олувчи шаффоф пардалар *поляроидлар* деб номланган.

Биз билдикки, кутбланиш фақат кўндаланг тўлқинларга хос хусусият. Агар тўлқинлар кутбланса, улар кўндаланг тўлқинлар бўлади. Ёруғликнинг кутбланиш ҳодисаси ёруғлик тўлқинларининг кўндаланг тўлқинлар эканлигига гувоҳлик беради.

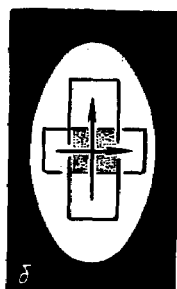
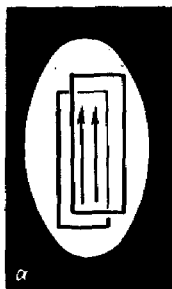
### 3. Кутбланган ёруғликнинг қўлланишлари.

Кутбланган ёруғлик илмий текширишларда ва техникада кенг қўлланилади. Кутбланган ёруғликнинг айрим ўзига хос қўлланишларини қараб чиқамиз.

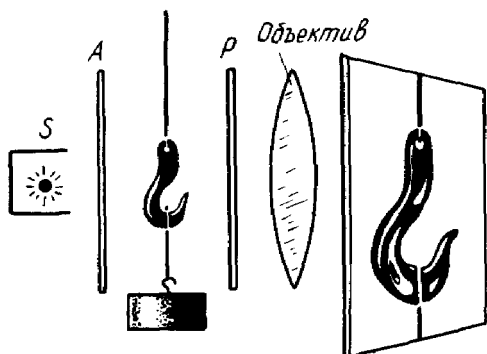
Кўп ҳолларда у ёки бу объектнинг ёритилганлигини бир текис ўзгартиришга тўғри келади. Ёруғлик манбаи қаршисига поляризатор ва анализаторни қўйиб, анализаторни секин айлантириш билан объектнинг ёритилганлигини максималдан тўлиқ қоронғиликкача бир текис ўзгартириш мумкин.

Поляроидлардан турли расмларни, шиша ва чинни буюмларни фотосуратга олишда улардан қайтган шуълаларни сўндиришда ҳам фойдаланилади. Қайтган ёруғлик қисман кутбланган. Кераксиз ёруғлик шуълаларини йўқотиш учун фотообъективга кутбловчи филътр кийгизилади.

Қурилиш ва машинасозлик техникасида кутбланиш ҳодисасини шоот ва машиналарнинг айрим узелларида юзага келувчи



139-расм



140- расм

кучланишларни ўрганишда фойдаланилади. *Фотоэластик усул* деб номланган бу усулнинг туб моҳияти куйидагича. Шаффоф материал (масалан, органик шиша) дан кучланиши текширилувчи деталнинг аниқ ясси нусхаси тайёрланади. Сўнгра бу модель *A* анализатор билан *P* поляризатор орасига қўйилади, ёритилади ва экранга тасвири туширилади (140- расм). Органик шишанинг деформацияланмаган пластинкаси оптик жихатдан бир жинсли бўлгани сабабли экранда фақат унинг тархлари кўринади. Модель деформацияланмаганда органик шишанинг бир жинслилиги бузилади ва экранда деталнинг турли қисмларида юзага келувчи кучланишларнинг рангли расми пайдо бўлади (ёпиштирилган IV рангли расмга қ.).

Кутбланишдан декоратив мақсадларда (масалан, витриналар қуришда, театр сахналарида ва х.к.) геологияда ва фан-техниканинг бошқа катор соҳаларида фойдаланилади.

?

1. Еруғликнинг қутбланишини қандай кўриш мумкин?
2. Еруғликнинг қутбланиши ҳодисаси нимага гувоҳлик беради?
3. Еруғлик қутбланиши ҳодисасининг фан ва техникадаги асосий қўлланмишларини айтиб беринг.
4. Қандай текислик электромагнит тўлқинларнинг қутбланиш текислиги бўлади?
5. Иккита бир-бирига яқин жойлашган шаҳарлардаги телевизион передатчиклар бир хил частота билан ишлайди. Бу станцияларнинг эшиттиришларини қабул қилишда уларнинг бир-бирига ҳалақит беришидан қандай қилиб қутулиш мумкин?

#### 4- МАШҚ

1. Сув тўлқин узунлиги 700 нм бўлган ёруғлик билан ёритилади. Бу ёруғликнинг сувдаги тўлқин узунлиги қандай?
2. Еруғлик шиша-ҳаво чегарасидан қайтади. Қайтишда тўлқин фазаси ўзгарадими?
3. Еруғлик ҳаводан шишага ўтади. Бунда унинг частотаси ва тўлқин узунлиги ўзгарадими?
4. Тўлқин узунлиги 440 нм бўлган ёруғлик шишадан вакуумга ўтади. Абсолют синдириш кўрсаткичи 1,5 га тенг. Бунда тўлқин узунлиги ўзгарадими? Агар ўзгарса, у қандай ўзгаради?
5. Сувнинг синдириш кўрсаткичи 1,33, ундаги ёруғлик тезлигини аниқланг.

6. Қуввати  $P$  га тенг бўлган электромагнит тўлқинлар генераторига, учида  $P$  қувватли лампаси бўлган узун линия уланган. Лампанинг толаси равшан ёритади. Электромагнит тўлқинлар линия охиридан қайтадими? Жавобингизни асосланг.

7. Иккита когерент ёруғлик манбалари улар ёритувчи экранга параллел бўлган текисликка жойлаштирилган. Ҳар иккала манбадан тенг масофада ётувчи нуқтада ёритилганлик максимум бўладими ёки минимум?

8. Доимийси  $0,01$  мм бўлган дифракцион панжарадан  $3$  м масофада ётувчи экранда олинган биринчи тартибли спектрнинг кенглигини аниқланг.

9. Доимийси  $10^{-3}$  см бўлган дифракцион панжарага перпендикуляр равишда монохроматик тўлқин тушади. Агар марказий ва биринчи ёнги ёруғ йўл орасидаги бурчак  $\alpha$  га тенг, тушувчи тўлқин узунлигини ҳисобланг.

## V БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Барча тўлқинлар (уларнинг табиатидан қатъи назар), тўсиққа учраганда, унга босим беради ва, демак, улар импульсга эга:

$$p = \frac{W}{c},$$

$$p = \frac{W}{v}.$$

2. Тўлқин бир муҳитдан иккинчисига ўтганда уларнинг чегарасида бир вақтда тўлқинларнинг қайтиши ва синиши юз беради. Бунда қуйидаги қонуниятлар ўринли:

а) тўлқиннинг тушиш, қайтиш ва синиш бурчаклари бир текисликда ётади;

б) тўлқиннинг тушиш бурчаги қайтиш бурчагига тенг;

в) тўлқиннинг тушиш бурчаги синусининг синиш бурчаги синусига нисбати берилган икки муҳит учун доимий катталиқ бўлади ва иккинчи муҳитнинг биринчисига нисбатан синдириш кўрсаткичи деб юритилади.

3. Иккинчи муҳитнинг биринчисига нисбатан синдириш кўрсаткичи, тўлқиннинг биринчи муҳитдаги фазавий тезлиги билан иккинчи муҳитдаги фазавий тезлигининг нисбатига тенг:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

4. Тўлқиннинг муҳитдаги фазавий тезлиги тўлқинлар манбаининг тебранишлари частотасига боғлиқ (дисперсия ҳодисаси).

5. Муҳитнинг маълум бир ҳажмида бир нечта тўлқинларнинг тарқалиши суперпозиция принципига буйсунади.

Фазода бир нечта когерент тўлқинлар тарқалганда интерференция ҳодисаси кузатилади, бунда фазалар фарқига боғлиқ ҳолда тебранишларнинг ўзаро кучайиши ёки ўзаро сусайиши юз беради. Интерференция натижасида стационар интерференцион манзара ҳосил бўлади, унинг учун тебраниш амплитудаси ва фазасининг вақт ўтиши билан ўзгармаслиги характерлидир.

7. Тўлқин тўсиқ яқинидан ўтганда у тўсиқ қирғоқларини айланиб ўтади.

Бу ходиса тўлқинлар дифракцияси дейилади. Дифракция — ҳар қандай табиатли тўлқинларга хос умумий хусусиятдир. Тўсиқнинг ўлчамлари тўлқин узунлиги тартибида ёки ундан биров катта бўлганда дифракция яққол намоён бўлади.

8. Қўндаланг тўлқинлар кутбланган бўлиши мумкин. Бўйлама тўлқинлар кутбланмайди.

9. Ёруғлик электромагнит табиатга эга. У электромагнит тўлқинларнинг барча хусусиятларига эга: интерференцияланади, дифракцияланади, кутбланади, тўсиққа босим беради, икки муҳит чегарасида қайтади ва синади.

10. Вакуумда барча частоталардаги ёруғлик тўлқинлари бир хил тезлик билан тарқалади. Тўлқинларнинг муҳитдаги фазавий тезлиги тебранишлар частотасига боғлиқ (дисперсия ходисаси).

11. Тахминан 1300°К температурагача қиздирилган жисмлар тўлқин узунлиги 760 нм дан 1 мм гача бўлган интервалда ётувчи, ёппа спектрга эга бўлган ёруғлик нурлантиради. Жисм янада юқориқ температургача қиздирилганда унинг спектрида янада қисқарок (1 нм гача) тўлқинлар пайдо бўлади. Спектрнинг кўзга кўринадиган қисми 380 нм дан 760 нм гача бўлган интервалда ётади. Спектрдаги 1 дан 380 нм гача тўлқин узунликли қисми ультрабинафша, 760 нм дан 1 мм гача тўлқин узунликли қисми — инфрақизил тўлқинлар эгаллайди.

12. Эркин атомлардан (масалан, газлардаги электр разрядида) чиқувчи ёруғлик чизиқли спектрга эга. Ҳар бир химиявий элемент, фақат унинг ўзига хос бўлган чизиқли спектрга эга бўлади. Ҳар бир элементнинг чизиқли спектри қатъий ўзгармас ва бу элементнинг мураккаб модда таркибига киришига ёки тоза ҳолда олинишига боғлиқ эмас.

13. Мураккаб модданинг спектрида унинг таркибига кирувчи элементлар учун хос бўлган барча чизиқлар албатта иштирок этади. Спектрдаги спектрал чизиқларнинг равшанлиги элементнинг берилган моддадаги концентрациясига боғлиқ.

## **VI б о б. РАДИОАЛОҚАНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ**

Тўлқин узунлиги миллиметрнинг улушларидан бошлаб, то бир неча километрларгача бўлган электромагнит тўлқинлар замонавий фан ва техникада ниҳоятда кенг қўлланилади.

Масалан, миллиметр ва сантиметр диапазонидаги электромагнит тўлқинлар физикада моддалар тузилишини ўрганишда қўлланилади. Астрономияда космик объектлардан келувчи кучсиз сигналларни қабул қилиш ва қайта ишлаш учун узунлиги миллиметрдан дициметр гача бўлган тўлқинлар диапазонида ишловчи махсус радиотелескоплар қурилган. Радиотўлқинлардан айниқса алоқа воситаларида (радиоалоқа, телевидение, радио бошқарув, космик алоқа ва бошқаларда) кенг фойдаланилади. Масалан, космонавтикада бир неча юз миллион километр оқисдаги космик кемалар билан ишончли алоқа ўрнатилади. Радио-



тўлқинлардан ҳаракатланувчи жисмларни кўриш учун фойдаланилади (радиолокация) ва ҳ.к.

Радиотўлқинлардан радио алоқа, телевидение ва радиолокацияда фойдаланишнинг физик асослари билан танишамиз.

#### 42- §. РАДИОУЗАТИШНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

**1. Радиоалоқа тарихидан.** Радиоалоканинг ихтиро этилиши тасодиф эмас. У кўп сонли текширишлар ва кашфиётлар натижасидир. Инглиз физиги М. Фарадей 1831 йили электромагнит индукция ходисасини кашф этди. Фарадей тасаввурларига асосланган ва уларни ривожлантирган инглиз физиги Ж. К. Максвелл 1865 йили ўзгарувчан ток оқувчи металл ўтказгичлар фазога ёруғлик тезлиги билан тарқалувчи электромагнит тўлқинлар нурлантириш керак, деган назарий хулосага келди.

Немис физига Г. Герц 1888 йили Максвеллнинг назарий хулосалари тўғрилигини тажрибада тасдиқлади. Аммо фан учун муҳим кашфиёт қилган Герц, ўзи аниқлаган электромагнит тўлқинларнинг амалда қўллаш мумкинлигини рад этади.

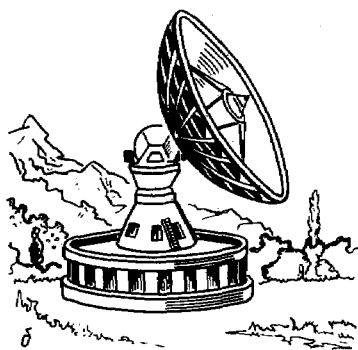
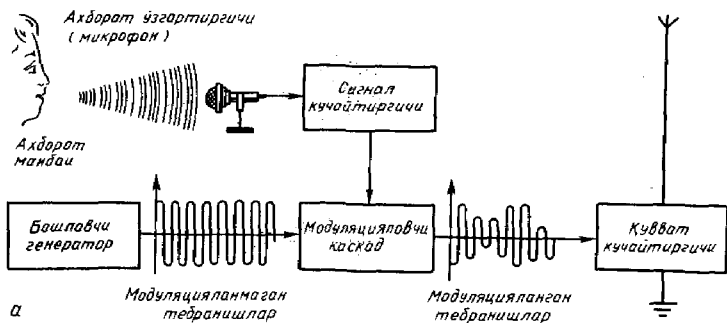
Рус олими А. С. Попов 1895 йилнинг апрелида дунёда биринчи бўлиб радиоалоқа қурилмасини яратди. А. С. Поповнинг қурилмаси 1895 йил 7 май куни илк бор намоёниш этилган эди, бу кун фан тарихига радионинг туғилиш куни сифатида кирди.

Қабул қилинувчи маълумотларни ёзиб олиш учун 1896 йили А. С. Попов ўз радиоприёмнигига телеграф апаратини бирлаштирди.

Кейинчалик Попов радиоалоқа узоклигини орттириш мақсадида ўз апаратларини такомиллаштиришда давом этди. У, ҳусусан, аниқ бир тўлқин узунлигига созлаш учун резонанс ходисасидан фойдаланди. 1898 йилнинг ёзида А. С. Попов ораларидаги масофа 5 км бўлган икки кема орасида радиоалокани амалга оширди, 1899 йилнинг кузида эса, у 35 км масофа оралигида ишончли радиоалоқа ўрнатди.

Кемалар орасидаги радиоалоқа бўйича тажрибалар ўтказётган А. С. Попов 1897 йили радиотўлқинларнинг кемалардан қайтишига қараб, кўриниш яхши бўлмаган пайтларда ҳам душман кемасини кўриш мумкинлигига эътиборни қаратди. Кейинроқ бу ходиса радиолокациянинг асосига қўйилди.

**2. Радиоузаткичининг блок-схемаси.** Радиоузатиш қурилмасининг блок-схемаси 141-а расмда келтирилди. Эргаштирувчи автогенератор доимий кучланиш манбаи энергияси ҳисобига юқори частотали гармоник тебранишлар ишлаб чиқаради. Бу тебранишлар частотаси *элтувчи частота* дейилади, у катъий ўзгармас бўлиши керак. Агар элтувчи частотали тебранишларнинг амплитудаси доимий бўлса, бу тебранишларда ҳеч қандай маълумот бўлмайди. Аммо бу тебранишлар маълумот ташувчи сифатида, яъни ўзига хос «транспорт воситаси» сифатида фойдаланилиши мумкин. Мисол учун, уларни товуш тўлқинлари билан модуляциялаш мумкин. Бунинг учун товуш тебранишлари



141- расм

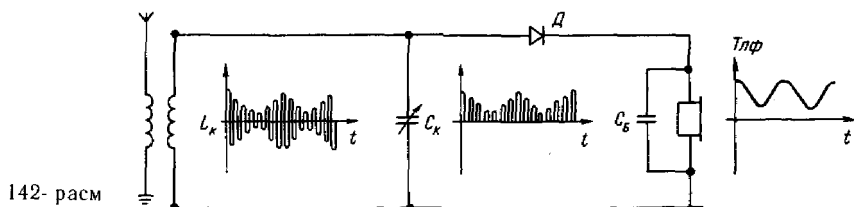
микрофон ёрдамида электр тебранишларига айлантрилади ва кучайтирилгандан сўнг, модуляцияловчи каскадга берилади, бу ерда улар элтувчи частотали тебранишларнинг параметрларидан бирига, масалан, тебранишлар амплитудасига таъсир этади. Бу таъсир туфайли эргаштирувчи генератор ишлаб чиқарган тебранишлар амплитудаси бўйича модуляцияланиб қолади.

Сўнгра модуляцияланган тебранишлар қуввати бўйича кучайтирилади ва узатувчи антеннага берилади, ундан модуляцияланган электромагнит тўлқинлар нурланади. Ярим тўлқинли симметрик вибратор энг оддий узатувчи антенна ҳисобланади. Ўрта, қисқа ва узун тўлқинлар билан ишлашда, одатда, иккинчи ярми ролини Ер бажарадиган ярим тўлқинли вибратордан фойдаланишдади (141-расмга к). Дециметрли ва сантиметрли тўлқинлар диапазонида ишланганда параболик қайтарувчи карийсига ўрнатилган ярим тўлқинли вибратордан фойдаланилади (141-б расм). Параболик қайтарувчи нурланувчи тўлқин энергиясининг керакли йўналишдаги етарлича тор дастага тўпланишни таъминлайди. Айрим ҳолларда бу масала рупорли антенналар ёрдамида ҳал этилади.

- ?
1. Биринчи радиоэшиттириш қачон ва ким томонидан амалга оширилган?
  2. 141- расмдан фойдаланиб, радиоузатиш қурилмасининг блок-схемасини ва унда юз берадиган жараёнларни тушунтиринг.

#### 43- §. РАДИОҚАБУЛНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

Радиоузатувчи станциялардан нурланувчи электромагнит тўлқинларни қандайдир йўл билан «ушлаш» ва улар олиб келган маълумотларни ажратиб олиш зарур. Бу мақсадда радиопри-



142- рasm

ёмниклар ишлатилади. Радиоприёмникларнинг тип ва турлари жуда кўп бўлишига карамай, уларнинг ишлаш принципи бир хилдир.

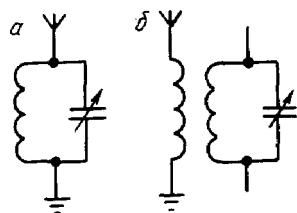
**1. Қабул килувчи антенна.** Сигналнинг радиоприёмникдаги юриши электромагнит тўлкиннинг қабул килувчи антеннада «ушланишидан» бошланади. Бу жараён шундан иборатки, электромагнит тўлкиннинг электр майдони антеннада мажбурий электр тебранишларни уйғотади.

Агар антенна ярим тўлкинли вибратор бўлса, унда фақат аниқ бир частотали тебранишларгина юзага келиши мумкин. Улар соzланган антенналар деб юритилади. Созланган антенналар, хусусан, телевизион дастурларни қабул қилиш учун ишлатилади.

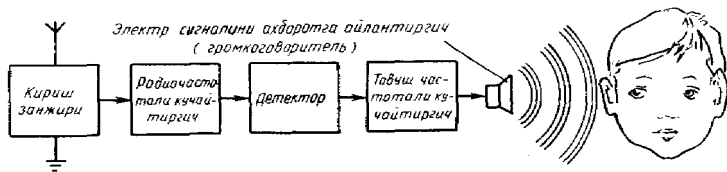
Одатдаги радиоприёмниклар эса, турли узатувчи радиоэшиттириш станцияларидан келувчи ҳар хил узунликдаги радио-тўлкинларни бирдай яхши қабул қилиш керак. Бунга соzланмаган антенналардан фойдаланиш билан эришилади. Бу одатда Ердан изоляцияланган оддий ўтказгич бўлади. Бундай антенна бир вақтда, ёмон бўлса-да, барча тўлкинларни қабул қилади. Аммо радио тингловчи бир вақтда бир нечта ҳар хил радиоэшиттиришларни қабул қила олмайди. Шунинг учун антенна қабул қилган сигналлардан кераклиси ажратиб олиниши керак. Бу радиоприёмникнинг кириш занжири — тебраниш контури томонидан амалга оширилади.

**2. Энг оддий радиоприёмник.** Агар узатувчи радиостанция катта қувватли электромагнит тўлкинлар нурлантирса ёки яқин жойлашган бўлса, бу радиостанциянинг сигналларини қабул қилиш учун детекторли приёмникдан фойдаланиш мумкин (142- рasm). Детекторли приёмникда антенна тебраниш контури билан ё бевосита (143-а рasm), ёки индуктив (143-б рasm) боғланади.

Антенна галтагида юз берувчи ҳар хил частотали тебранишлар, контур галтагида кўп сондаги ҳар хил частотали тебранишларни юзага келтиради. Узгарувчи сифимли конденсатор ёрдамида тебраниш контури антеннага келувчи тўлкинлардан бирининг частотасига соzланади. Резонанс ҳодисаси туфайли контурда ана шу частотадаги тебранишлар энг катта амплитудага эга бўлади. Бошқа частотадаги тебранишлар аҳамиятсиз. Контурда ажратиб



143- рasm



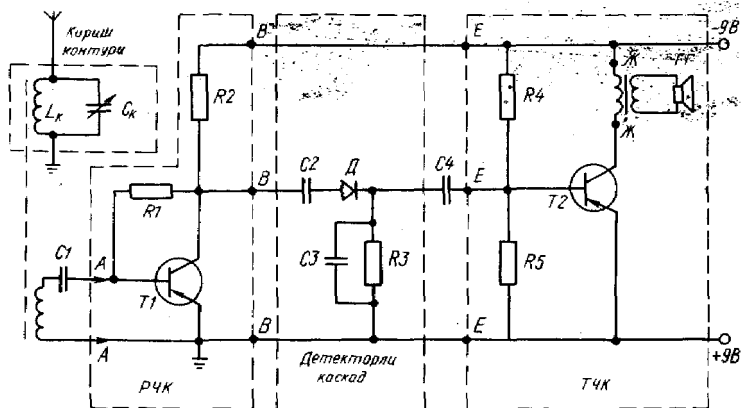
144- расм

олинган тебранишлар энергияси бу қабул қилинган электромагнит тўлқинлар энергиясидир, у жуда кичик. Қабул қилинган юкори частотали модуляцияланган тебранишлар детектор каскадига юборилади, энг оддий ҳолда у детектор (лотинча *detectu* — «кўрувчи» ёки «очувчи») деб номланган *D* яримўтказгич диоддан иборат бўлади.

Диоднинг бир томонлама ўтказувчанлиги туфайли ундан юкори частотали пульсацияловчи (тепувчи) ток ўтади. Бу токдаги импульсларнинг катталиги вақт ўтиши билан модуляцияловчи сигналга мос ҳолда ўзгаради. Телефонга параллел уланган конденсатор бу пульсацияларни текислайди (ундан юкори частотали тоқлар ўтиб кетади) ва телефон орқали микрофондан узатувчи станцияга берилган ток шаклидаги паст частотали ток оқади. Шунинг учун телефон ўхшаш товушларни қайтадан тиклайди.

Детекторли приёмникда телефон мембранасининг тебранишлари приёмник қабул қилган электромагнит тўлқин энергияси ҳисобига юз беради, шунинг учун бундай приёмникнинг овози паст бўлади: уни фақат бир киши этишиши мумкин.

**3\*.** **Тўғри кучайтириш приёмниги.** Қабул қилинган сигнални кўпчилик эшитиши зарур бўлган ҳолда янада такомиллашган приёмник керак бўлади. Улардан бири, блок-схемаси 144- расмда келтирилган тўғри кучайтириш приёмнигидир.



145- расм

Бу приёмникда қабул қилувчи контурда ажратиб олинган тебранишлар аввало кучайтиргичга берилади, сўнгра (кучайтирилгандан кейин) детекторланади. Детектор каскадида ажратиб олинган паст частотали тебранишлар товуш частоталари кучайтиргичи ёрдамида кучайтирилади ва радиокарнайга берилади.

**4\*. Экспериментал топшириқ.** 145-расмда тўғри кучайтириш приёмнигининг принципиал схемаси берилган. Контурник кириш занжири, юқори ва паст частотали кучайтиргичларнинг тайёр блокларидан фойдаланиб, тўғри кучайтириш приёмнигини йиғинг.

Бу приёмникда қабул қилувчи  $C_k$  контурда ажратиб олинган сигнал,  $L_k$  контур ғалтаги билан бир ўзакка ўралган  $L$  алоқа ғалтаги ва  $C_1$  конденсатор орқали  $T_1$  транзисторнинг базасига берилади. Эмиттер — база  $p-n$  — ўтишга таъминот батареясида сўндирувчи қаршилик орқали манфий силжиш берилади.

Қабул қилинган сигнал кучайтирилгандан сўнг  $C_1$  конденсатор орқали  $D$  детекторга узатилади. Детекторнинг нагрукаси  $R_3$  резистор бўлади.  $C_3$  конденсатор юқори частотали пульсацияларни текислайди ва  $R_3$  резисторда паст (товуш) частотали сигнал ажралади.

Ажратилган паст частотали сигнал  $C_4$  конденсатор орқали  $T_2$  транзисторнинг базасига берилади ва кучайтирилгандан сўнг радиокарнайга узатилади. Эмиттер — база  $p-n$  — ўтишга таъминот батареясида, кучланиш тақсимлагич  $R_4-R_5$  орқали, манфий силжиш берилади.

?

1. Детекторли приёмникнинг схемасини чизинг.
2. Тўғри кучайтириш приёмнигининг блок-схемаси бўйича унда юз берувчи жараёнларни тушунтиринг.
3. Тўғри кучайтириш приёмнигининг схемаси бўйича унинг ишлашини тушунтиринг.
4. Тўғри кучайтириш приёмнигининг схемасидаги  $R_1$  қаршилик ва  $R_4-R_5$  кучланиш тақсимлагич қандай вазифани бажаради?

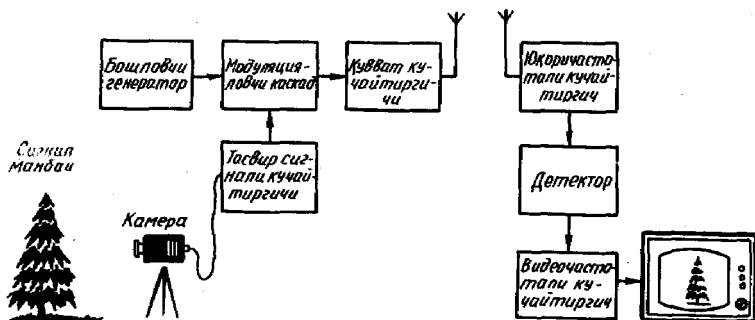
#### 44-§. \*ТЕЛЕВИДЕНИЕНИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

**1. Телевидениенинг ихтиро қилиниши тарихидан.** Тасвирларни телевизион узатиш асосида учта физик жараён ётади:

- 1) оптик тасвирларни электр сигналларга айлантириш;
- 2) алоқа каналлари орқали электр сигналларни узатиш;
- 3) узатилган электр сигналларни оптик тасвирларга айлантириш.

Бу жараёнларнинг асосини ташкил этувчи текширишларда рус физиклари ҳам иштирок этишган.

Оптик тасвирларни электр сигналларига айлантиришда А. Г. Столетов томонидан ўрганилган фотоэффект ходисасидан фойдаланилади. Тасвирларни люминесцион экранда қайта тиклаш гояси Б. Л. Розингга тегишли. Телевидениенинг инженерлик муаммоларини ҳал этишга ҳам ватанимиз олимлари ва инженерлари салмоқли хисса қўшишган. Рус инженер-ихтирочиси В. К. Зворыкин 30-йилларда биринчи узатувчи телевизион



146- расм

трубка — иконоскопни ишлаб чиқди. Тасвирларни элементлар бўйича кетма-кет узатиш гоёси бир вақтда португалиялик олим Де Пайва ва рус олими П. И. Бахметьевлар томонидан таклиф этилган.

## 2. Телевизион узаткичнинг блок-схемаси.

Тасвирларни узоқ масофаларга узатиш жараёни асосий жиҳатдан радио телефонияга ўхшайди. У оптик тасвирни электр сигналларга айлантиришдан бошланади. Бу узатувчи телевизион камерада амалга оширилади (146- расм). Олинган электр сигнали кучайтирилгандан сўнг элтувчи юқори частотали тебранишларни модуляциялайди. Модуляцияланган тебранишлар кучайтирилади ва узатувчи антеннага берилади. Антенна атрофида фазода электромагнит тўлқин кўринишида тарқаладиган ўзгарувчи электромагнит майдон ҳосил қилинади. Қатор сабабларга кўра телевизион сигналларни узатиш учун фақат метр ва дециметр диапазонидаги жуда қисқа электромагнит тўлқинларгина ярқли бўлади.

Телевизион приёмникда қабул қилиб олинган электромагнит тебранишлар кучайтирилади, детекторланади, яна кучайтирилади ва қабул қилувчи телевизион трубканинг бошқарувчи электродига берилади, трубка электр сигналини кўринадиган тасвирга айлантиради.

?

1. Телевизион узаткичнинг блок-схемасини чизинг ва унинг ишлашини тушунтиринг.
2. Энг оддий телевизион приёмникнинг блок-схемасини чизинг ва унинг ишлашини тушунтиринг.

## 45- §. РАДИОЛОКАЦИЯ ҲАҚИДА ТУШУНЧА

Радиотўлқинлар ёрдамида турли объектларни ахтариб топиш ва уларнинг ўрнини аниқлаш *радиолокация* деб юритилади. Радиолокация нурлантирилган объектлардан радиотўлқинларнинг қайтиш ҳодисасига асосланган. Объектнинг қизиқли ўлчамлари радиолокатор ишлайдиган тўлқин узунлигидан катта бўлган ҳолларда радиотўлқинларнинг қайтиши кучли бўлади. Шунинг

учун радиолокацион станциялар дециметр, сантиметр ва ҳатто, миллиметрли тўлқинлар диапазонида ишлайди.

Радиолокация флот, авиация ва космонавтикада кенг қўлланилади. Радиолокацион қурилмалар кемаларнинг ҳаракатини, ҳар қандай об-ҳаво шароитида ва сутканинг ҳар қандай вақтида, ҳатто кўриниш бутунлай бўлмаганда ҳам, хавфсиз бўлишини таъминлайди. Радиолокация ёрдамида кемаларнинг бир-бири билан ва бошқа ҳаракатланувчи ва қўзғалмас объектлар билан тўқнашувининг олди олинади. Радиолокацион қурилмаларнинг аэродром (тайёрагоҳ)ларда қўлланиши ҳар қандай шароитда ҳам самолёт (тайёра)нинг хавфсиз учиши ва қўнишини таъминлайди. Радиолокациянинг ҳарбий ишдаги аҳамияти бекиёсдир. Ҳаво ҳужумига қарши мудофаа қўшиқлари самолёт ёки ракеталарни ўз вақтида топа оладиган узокдан кўриш радиолокацион станцияларига эга. Радиолокацион станциялар ҳаводаги ҳолатни узокдан туриб кузата оладиган доиравий кўриш имкониятига эга.

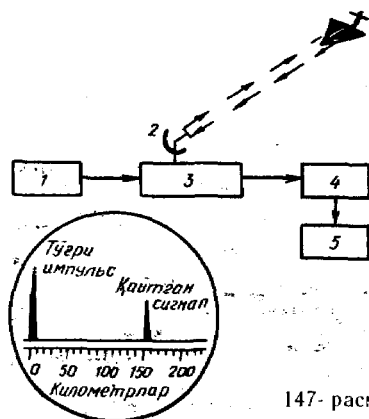
Радиолокация астрономик текширишларда ҳам муваффақият билан қўлланилмоқда. Радиолокацион усул билан 1946 йилдаёқ Ойгача бўлган масофа ўлчанган эди. Кейинчалик Венера, Марс, Меркурий ва Юпитер планеталаригача бўлган масофалар ҳам ўлчанган. Космик учишларда ҳам радиолокация жуда муҳим аҳамият касб этади.

Замонавий радиолокацион станция мураккаб радиотехник қурилмадан иборат. Радиолокацион станция ишлашининг энг умумий жиҳатлари 147-расмда тасвирланган блок-схема асосида тушунтирилиши мумкин.

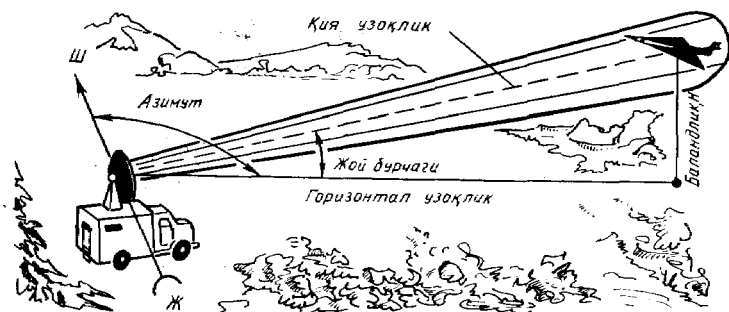
Схемадаги 1 узаткичада ўта юқори частотада тебранишлар ҳосил қилинади, улар қисқа импульслар кўринишида йўналиш бўйича таъсир этувчи 2 антеннага келади. Антенна узлуксиз равишда айланиб, объектни ахтаради. Объект топилгандан кейин у узлуксиз равишда кузатиб борилади. Агар объект фазода кўчса, унинг кетидан радиолокацион станциянинг нури ҳам кўчади. Бунга антеннанинг автоматик равишда бурилиши билан эришилади.

Радиоимпульслар объектгача бориб, ундан қайтади. Қайтган радиоимпульслар ҳар хил йўналишлар бўйича тарқалади. Уларнинг бир қисми радиолокацион станциянинг антеннасига қайтиб келади, станция автоматик ишловчи 3 антенна переключатели ёрдамида, узатувчи қурилмадан радиоимпульслар нурлатилгандан кейин, бирданига 4 приёмникка уланади. Кучсиз қайтган импульслар приёмникда кучайтирилади ва 5 индикаторга берилади.

Юқорида баён этилган жараён



147- расм



148- расм

даврий равишда қатъий кетма-кетлик билан қайтарилиб туради. Станциянинг барча элементларининг ишлаши ўзаро мослаштирилган. Индикатор қурилмаси энг оддий ҳолда масофа шкаласига эга бўлган электрон-нур трубкасидан иборат бўлади.

Қайтган сигнал индикаторга тўғри импульсга қараганда кейинроқ кирганлиги сабабли, унинг экрандаги тасвири тўғри импульснинг тасвиридан ўнғроқда ҳосил бўлади. Объектгача бўлган масофа қанча катта бўлса, қайтган сигнал шунча кечроқ етиб келади ва индикатор экрандаги тўғри ва қайтган импульслар орасидаги масофа ҳам шунча катта бўлади. Объектгача бўлган масофа бевосита индикатор экрандаги шкала бўйича километрларда ўлчанади.

Кузатилаётган объектнинг ҳолатини тўлиқ аниқлаш учун масофадан ташқари яна горизонтал текисликда объектга томон йўналиш билан шимолга томон йўналиш орасидаги бурчакни (148- расм) ва горизонтал текисликдан объект томон йўналишгача бўлган бурчакни билиш керак.

?

1. Нима сабабдан радиолокацияда тўлқин узунлиги жуда кичик бўлган электромагнит тўлқинлардан фойдаланилади?
2. Радиолокацион станциянинг ишлаш принципини 147-расм бўйича тушунтиринг.
3. Радиолокация объектгача бўлган масофа ва унинг турган жойи қандай аниқланади?
4. Нега радиолокацион станциянинг антеннаси айланиб туради?

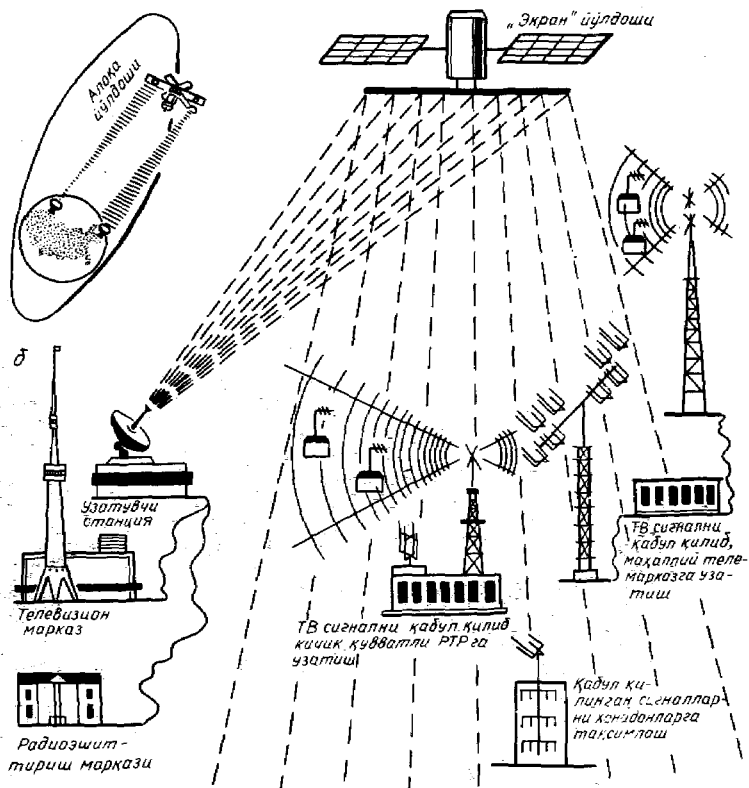
#### 46- §. РАДИОАЛОҚА ВА ТЕЛЕВИДЕНИЕНИНГ РИВОЖЛАНИШИ

Замонавий жамият ҳаётини, ишлаб чиқариш ва маданиятнинг ривожланишини узлуксиз ахборот алмашинишларисиз тасаввур қилиш қийин. Бундай алмашиниш асосан алоқа воситалари ёрдамида амалга оширилади, улар орасида энг муҳими ва истiqболлиги радио ва телевидениедир.

##### 1. Космик ретрансляторлар

Телевизион сигналларни узатиш метрли ва дециметрли тўлқин





149- расм

диапазонларида амалга оширилади. Бу диапазонлардаги электромагнит тўлкинлар тўғри чизик бўйлаб таркалади ва амалда ҳар қандай тўсик билан ушлаб қолинади. Шунинг учун телевизион марказларнинг антенналари махсус миноралар ёки мачталарнинг учига ўрнатилади.

Минора қанча баланд бўлса, ундан шунча узоқ масофада телевизион эшиттиришларни қабул қилиш мумкин бўлади. 1965 йили биринчи алоқа йўлдоши «Молния-1» учирилган эди. Бу йўлдошнинг орбитаси чўзилган эллипс шаклига эга (149- а расм), айланиш даври — 12 соат. «Молния» йўлдоши «Орбита» алоқа тармоғининг Ердан ташқаридаги ретранслятори ҳисобланади. Алоқа йўлдошидан ташқари «Орбита» тармоғига Ердаги узатувчи станция ва мамлакатнинг турли минтақаларига жойлашган қабул қилувчи станциялар тизими киради.

«Орбита» тармоғи қуйидагича ишлайди. Ердаги узатувчи станция бир неча киловатт қувватли радиопередатчик ёрдамида ўткир йўналишли антенна орқали «Молния» алоқа йўлдошига сигнал нурлантиради. Қабул қилинган сигнал кучайтирилади ва махсус узатувчи ёрдамида Ерга қайта узатилади. Йўлдош

антеннаси йўналганлик диаграммасининг кенлиги шундайки, антеннадан нурлантирилган электромагнит тўлкинлар дастаси йўлдошдан «кўринадиган» Ер сатҳини тўлиғича эгаллайди.

«Молния» йўлдошига ўрнатилган радиопередатчик -махсус кронштейнларда йўлдошдан ташқарига чиқарилган куёш фотоэлементлари батареясидан зарядланиб турувчи аккумуляторлар батареясида таъминланади.

Куёш батареяларидан мумкин бўлган максимал энергияни олиш учун йўлдош бутун учини давомида автоматик равишда Куёшга қаратиб турилади. Шу билан бир вақтда йўлдош антенналаридан бири автоматик равишда Ерга қаратиб турилади.

«Молния» йўлдошларидан ташқари, телевизион эшиттиришларни олиб кўрсатиш учун «Радуга» сериясидаги йўлдошлардан ҳам фойдаланилади. Бу йўлдошлар 36 000 км баландликдаги орбитага чиқарилади, айланннш даври Ернинг ўз ўқи атрофида айланнш даврига тенг, шунинг учун уларнинг Ер сиртига нисбатан ҳолати вақт ўтиши билан ўзгармайди. «Молния» ва «Радуга» алоқа йўлдошларига ўрнатилган ретрансляторлардан узок масофаларда телефон ва телеграф алоқаси ўрнатишда ҳам фойдаланилади.

**2. Космосдаги телевидение.** Телевидение — бу фақат телекўрсатув эмас. Телевидение космосни ўзлаштиришда ҳам иштирок этади. 1959 йили инсоният тарихида биринчи марта космик станциясида Ерга Ой тескари томонининг тасвири юборилган.

«Восток-2» космик кемага кичик телекамера ўрнатилган ва унинг ёрдамида Ердаги команда пунктидан туриб кемадаги космонавт Г. Титовнинг саломатлиги кузатиб-борилган эди.

1962 йили «Восток-3» ва «Восток-4» кемалари бортидан илк бор телекўрсатув олиб борилди ва телетомошабинлар космонавтлар А. Николаев ва П. Поповичларни вазнсизлик ҳолатида кузатишди.

1965 йили кўпгина мамлакатларнинг миллионлаб телетомошабинлари инсоннинг кема кабинасидан очик космосга чиқишини илк бор кузатишди. Космик фазодаги бу биринчи кадамни космонавт А. Леонов қилган эди.

1966 йилнинг февралда «Луна-9» автоматик станцияси Ойдан унинг сирти расмини Ерга узатди, 1966 йилнинг декабрида эса, «Луна-13» автоматик станцияси Ой сирти бошқа қисмининг панорамасини Ерга узатди.

Метеорологик йўлдошлар космосдан Ерга унинг тасвирини узатади. Метеорологлар олинган тасвирлар ёрдамида узок муддатли об-ҳаво маълумотини ишлаб чиқишди.

1979 йили телекўрсатувлар биринчи бор Ердан космик кемага узатилди. «Марс», «Венера», «Фобос» сунъий йўлдошларга ўрнатилган телевизион станциялар Ерга Марс, Венера ва Фобослар сиртининг тасвирларини узатишган.

**3. Саноат ва транспортда телевидение.** Телевидение халқ хўжалигида борган сари кенгрок қўлланилмоқда. Масалан,

диспетчер ўзининг иш жойидан туриб телевизион камералар ёрдамида ўзига керак бўлган цех участкасини, денгиз портини, темир йўл узелини кўриш мумкин.

Телевизион қурилмалар ер ости омборлари ва қудукларининг ҳолатини кузатувчи ягона восита ҳисобланади. Сувошти телевизион установкалар сув остида яширинган гидротехник иншоотларнинг қисмлари ва кемаларнинг ҳолатини назорат қилиш имконини беради. Телевидение илмий текширишларда ҳам кенг қўлланилади. Астрономияда у космик объектларнинг катта тасвирларини олиш имконини беради. Атом техникасида кучли радиация туфайли инсон кириши мумкин бўлмаган зоналар телевидение ёрдамида кузатилади. Телевидение бошқа жуда кўп соҳаларда ҳам кенг қўлланилади.

Телефон билан телевидениенинг қўшилишидан янги алоқа воситаси — видеотелефон юзага келган.

- 2
1. Нима сабабдан телевизион антенналарни жойлаштириш учун баланд миноралар қурилади?
  2. Радиоалоқа воситаларининг ривожланишини характерловчи далилларни келтиринг.
  3. «Орбита» системасининг ишлаш принципини тушунтиринг.
  4. Телевидениенинг халқ хўжалигида қўлланишларига мисоллар келтиринг.

### 5-МАШҚ

1. Самолётларни радиолокация қилиш учун  $3 \cdot 10^4$  Гц частотали электромагнит тўлқинлардан фойдаланиш мумкинми?
2. Узунлиги 20 см бўлган тўлқинларни қабул қилиш учун телевизор диполь антеннасининг узунлиги тахминан қанча бўлиши керак?
3. Диполь антенна ҳар бир «мўйловининг» узунлиги 1380 мм. Бу антенна қандай частотага созланган?
4. 12 телевизион каналнинг частотаси 223,25 МГц. Бу канални қабул қилиш учун қандай узунликдаги диполь антенна керак бўлади?

### VI БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Электромагнит тўлқинлар замонавий техникада кенг қўлланишларга эга (радиоалоқа, радиоёшиттириш, телевидение, радиолокация, радиобошқарув, радиотелеметрия, радиоастрономия ва бошқа).

2. Электромагнит тўлқинлардан фойдаланиш — кўп сонли олимлар ва инженерлар меҳнатининг натижасидир. Айниқса, М. Фарадей, Ж. Максвелл, Г. Герц ва А. С. Поповларнинг бу борадаги хизматлари каттадир.

3. Радиоалоқа учун частотаси 100 кГц дан 30 000 МГц гача бўлган радиотўлқинлардан фойдаланилади. Бундай юқори частоталар танланишининг сабаби электромагнит тўлқинлар нурланишининг қуввати электромагнит тебранишлар частотасининг тўртинчи даражасига пропорционаллигидир.

4. Радиоолока куйидаги жараёнлардан фойдаланишга асосланган:

— юқори (ёки ўта юқори) электромагнит тебранишлар хосил қилиш;

— юқори частотали электромагнит тебранишларни керакли информацияни элтувчи паст частотали сигнал билан модуляциялаш;

— модуляцияланган электромагнит тўлқинларни узатувчи антенна томонидан нурлантириш;

— модуляцияланган электромагнит тўлқинларни радиоприёмник антеннаси томонидан қабул қилиш;

— керакли частотадаги тебранишларни кириш контурида ажратиб олиш;

— қабул қилинган юқори частотали тебранишларни кучайтириш;

— юқори частотали тебранишларни детекторлаш ва узатилган информацияни элтувчи паст частотали сигнални ажратиб олиш;

— паст частотали сигнални кучайтириш ва уни алмаштириш.

5. Тасвирларни телевизион узатиш асосида ҳам радиотелефон алоқасидаги каби жараёнлар ётади. Аммо бу ҳолда оптик тасвирдаги маълумот махсус узатувчи телевизион электрон-нур трубкаларида электр сигналига (видеосигналга) айлантирилади.

Телевизион приёмникда эса, қабул қилувчи электрон-нур трубкаси — кинескоп ёрдамида видеосигнал тасвирга айлантирилади.

6. Радиотўлқинлар ёрдамида турли объектларни ахтариб топиш ва уларнинг ўрнашган жойини аниқлаш *радиолокация* дейилади.

Радиолокация радиотўлқинларнинг нурлантирувчи объектлардан қайтиш ҳодисасига асосланган.

## **VII боб. ИНФРАҚИЗИЛ, УЛЬТРАБИНАФША ВА РЕНТГЕН ДИАПАЗОНИДАГИ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАРНИНГ ЎЗИГА ХОС ХОССАЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ҚЎЛЛАНИЛИШИ**

Ҳозиргача ўрнатилган электромагнит тўлқинлар диапазони ниҳоятда кенг ( $10^{-15}$  м. дан  $10^6$  м гача) уларнинг ҳаммаси, биз олдинги бобларда танишган умумий хоссаларга эга. Аммо ҳар хил узунликли тўлқинларда бу хоссаларнинг намоён бўлишида ўзига хослик ҳам бор.

Мисол учун, радиодиапазондаги тўлқинлар қор қатламидан деярли тўлиғича қайтади, инфрақизил диапазондаги тўлқинлар эса, унинг қалинлигидан бемалол ўтиб кетади. Инфрақизил диапазондаги тўлқинлар инсон танаси сиртига тушиб, уни қизитади, ультрабинафша диапазондаги тўлқинлар терини қизартиради, рентген диапазонидаги тўлқинлар эса, тана тўқималаридан ўтиб кетади. Дераза ойнаси инфрақизил ва кўзга

кўринадиган диапазондаги тўлқинлар учун тиник, ультрабинафша диапазондаги тўлқинлар учун эса тиник эмас. Бундай мисоллардан жуда кўп келтириш мумкин.

Юқорида айтилганлар ҳар хил диапазондаги тўлқинларнинг ўзига хос хусусиятларини ўрганиш заруриятини аниқлаб беради.

Мисол тариқасида инфрақизил, ультрабинафша ва рентген диапазонидagi тўлқинларнинг ўзига хос хусусиятларини ўрганишимиз.

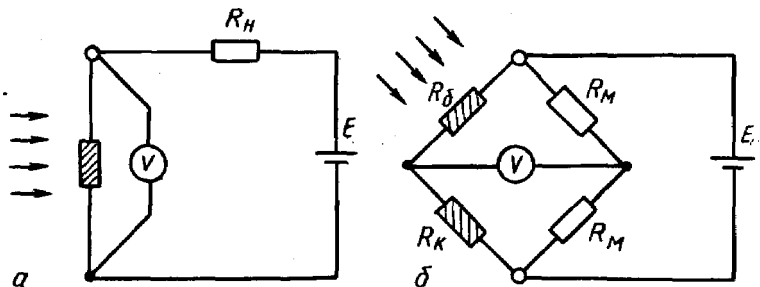
#### 47-§. ИНФРАҚИЗИЛ НУРЛАНИШ

Инфрақизил нурланиш электромагнит тўлқинлар шкаласида кўзга кўринадиган нурланиш спектрининг қизил ранги охири ( $\lambda=760$  нм) билан қисқа тўлқинлар радиодиазонидagi миллиметрли тўлқинлар спектрининг бошланиши ( $\lambda \approx 1-2$  мм) орасидаги участкани эгаллайди.

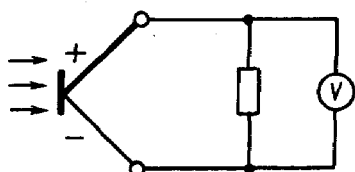
**1. Манбалар.** Қуёш, Ер, юлдузлар, планеталар инфрақизил нурланишнинг табиий манбаларидир. Мисол учун, Қуёш нурланиши энергиясининг 50 фоизи Ер сиртига инфрақизил нурланиш кўринишида етиб келади.

Температураси атроф-муҳит температурасидан юқори бўлган ҳар қандай жисм — гулхан, ёнувчи шам, ишлаётган ичидан ёнар двигателъ, ракета, уланган электр лампа ва бошқалар инфрақизил нурланишнинг сунъий манбаи бўлади. Эсда тутмоқ жоизки, чўғланма электр лампада унга берилган электр энергиясининг 3—4 фоизигина ёруғликка айланади, 95 фоизи эса — инфрақизил нурланиш бўлади.

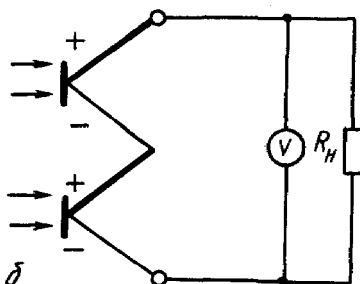
**2. Қабул қилувчи (приёмник)лар.** Инфрақизил нурланишнинг энг кўп тарқалган қабул қилувчилари болометрлар, термоэлементлар ва фоторезисторлар ҳисобланади. Болометрларнинг (грекча боло — нур, метрео — ўлчайман) ишлаши металл ёки ярим ўтказкичдан тайёрланган резисторлар электр қаршилигининг инфрақизил нурланиш таъсиридаги ўзгаришга асосланади. 150-расмда иккита термосезгир резисторларнинг занжирга уланиш схемаси келтирилган: а — нагрузка қаршиликли, б — кўприкчали. Кўприкчали схемада инфрақизил нурланишга бир хил



150- расм



а



б

151-расм

сезгирликка эга бўлган иккита резистор уланади.  $R_x$  резистор атроф ҳаводаги ўзгаришлар таъсирида датчик қаршилигининг ўзгаришини компенсациялайди.

Қаршилиқнинг тушувчи нурланишнинг ютилишида юзага келувчи ўзгариши сезгир элементдаги кучланишнинг ўзгаришига айлантирилади. Одатда бундай ўзгаришлар унча катта бўлмайди ( $10^{-7} \div 10^{-9} \text{В}$ ). Шунинг учун олинган кучланиш ўзгаришларини кучайтириш зарурияти туғилади.

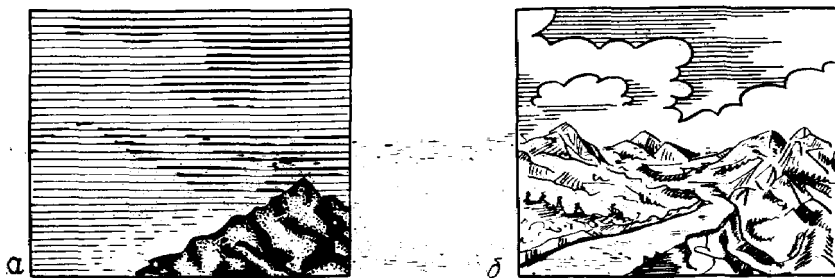
Термоэлементда инфрақизил нурланиш таъсирида сезгир гальванометр билан ўлчаш мумкин бўлган термо Э.Ю.К. пайдо бўлади (151-расм), аммо, одатда, у олдиндан кучайтирилади ва камроқ сезгирликка эга бўлган асбоб билан ўлчанади. Инфрақизил нурланишни кўриш ва ўлчаш учун фоторезисторлар занжирга худди терморезисторлар каби уланади (150-расмга к.).

**3. Инфрақизил нурланишнинг ўзига хос хусусиятлари.** Инфрақизил нурланишнинг ўзига хос хусусиятлари улар модда билан ўзаро таъсирлашганда намоён бўлади. Мисол учун, кўзга кўринадиган диапазондаги электромагнит тўлкинлар учун тиниқ бўлмаган кўпгина моддалар (қорайтирилган шиша, қора қоғоз, эбонит) инфрақизил нурланиш учун тиниқ бўлади. Аксинча, кўзга кўринадиган нурланиш учун тиниқ бўлган қатор моддалар (сув, сув буғи). Инфрақизил нурланиш учун тиниқ бўлмайди. Инфрақизил нурланиш Ер атмосферасидан ўтишида ундаги сув буғлари томонидан кучли ютилади.

Кўпгина металлларнинг инфрақизил нурланиш учун қайтариш қобилияти, ёруғлик тўлкинлари учун қайтариш қобилиятидан анча катта. Масалан, алюминий, мис, қумуш ўзларига тушган инфрақизил нурланишни 98 фоизга қайтаради.

**4. Қўлланишлари.** Инфрақизил нурланиш саноатда, илмий текширишларда, медицинада, ҳарбий техникада кенг қўлланилади. Мисол тариқасида инфрақизил нурланишнинг ўзига хос хусусиятларидан фойдаланиладиган бир нечта қурилмаларни кўриб чиқамиз.

Саноатда инфрақизил нурланиш бўялган сиртларни қуритиш ва материалларни иситиш учун фойдаланилади. Бу мақсадда кўп сондаги ҳар хил иситкичлар, шу жумладан махсус электр лампалари яратилган.



152- расм

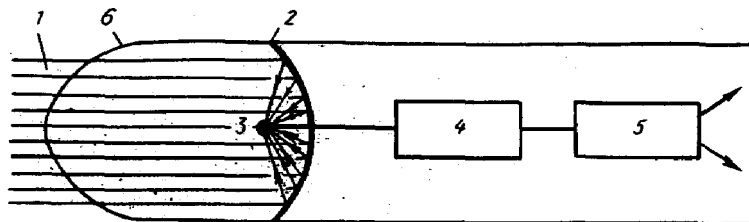
Инфрақизил ва кўринадиган нурланишларнинг моддалар билан ўзаро таъсиридаги ҳар хиллик махсус фотографияда (геодезия, криминалистика), медицина ва бошқаларда фойдаланилади. Инфрақизил диапазондаги фотография спектрнинг кўзга кўринадиган қисмидаги фотографияга қараганда қатор афзалликларга эга. Бу афзалликлардан бири тутун ёки кичик тумандан ўтишда сочилишнинг кичик бўлиши билан боғлиқ, бу узоклаштирилган (гоҳида 500 км гача) предметларнинг аниқроқ тасвирларини олиш имконини беради. 152- расмда битта манзаранинг иккита фотосурати келтирилди: бири (чапкиси) спектрнинг кўринадиган қисмида, иккинчиси (ўнгдагиси) — инфрақизил қисмида. Иккинчи расмда биринчига қараганда кўпроқ деталлар кўринади.

Инфрақизил нурланишнинг ўзига хос хусусиятлари ҳарбий техникада кенг қўлланилади. Бу қўлланишлар асосан душман объектларини уларнинг иссиқлик нурланиши бўйича топиш учун, тунда кўриш учун ишлатиладиган асбоблар билан ва ниҳоят, инфрақизил нурланиш приёмниклари билан таъминланган ўзи-ўзини нишонга тўғриловчи снарядлар билан боғлиқ.

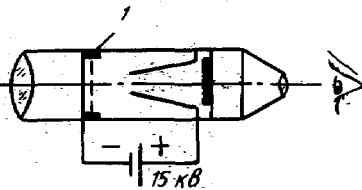
Иссиқлик локаторлари радиолокациядан фарқли ўларок ўзлари электромагнит тўлқинларни нурлантормайди, фақат душман объектларининг нурланишини қайд қилади, шунинг учун уларнинг ишлаётганини кўриб бўлмайди.

Реактив двигатель ишлаганда юқори температурали газ отилиб чиққанлиги сабабли ўз-ўзини мўлжалга тўғриловчи ракеталарда инфрақизил приёмниклардан фойдаланиш яхшироқ бўлади.

153- расмда ракетанинг ўзи-ўзини нишонга тўғрилаши принципини ойдинлаштирувчи схема келтирилди. Душман ракетасидан



153- расм



154- расм

келувчи 1 инфрақизил нурланиш 2 кабул қилувчи сферик кўзгу томонидан ушлаб олинади ва 3 инфрақизил приёмникда қайд қилинади, приёмник нурланиш энергиясини электр сигналга айлантиради. Олинган сигналлар 4 кучайтиргич билан автоматларнинг ишлаши учун зарур бўлган қатталиккача кучайтирилади. Ҳисоблаш — ҳал қилиш қурилмаси 5 ракета ўқи билан нишонга томон йўналиш орасидаги бурчакни аниқлайди. Автоматлар системаси ракетани нишонга томон бурувчи ролларни улайди, бу билан нишонга уриш таъминланади. Агар нишон учий йўналишини ўзгартирса, ракета ҳам ўз йўналишини ўзгартиради. Ўз-ўзини тўғрилаш системаси ракетанинг тумшук қисмига жойлашади ва инфрақизил нурланишни яхши ўтказувчи металлдан қилинган 6 тилоф билан беркитилган бўлади. Инфрақизил тўғрилаш системаларининг таъсир этиш узоқлиги юзлаб километрни ташкил қилади. Ўз-ўзини тўғрилашнинг инфрақизил системалари юқори аниқликка эга бўлиши билан бирга турли ҳалаларга ҳам яхши чидаш беради.

Тунда кузатиш олиб бориш учун ҳарбий ишда тунгги кўриш асбобларидан кенг фойдаланилади. Бундай асбобларнинг асосий қисми электрон-оптик ўзгартиргичлар (ЭОЎ) ҳисобланади. Электрон-оптик ўзгартиргичнинг ишлаш принципи 154- расмда кўрсатилди. Инфрақизил нурланиш таъсирида 1 фотокатоддан электронлар уриб чиқарилади. ЭОЎ баллони ичида юқори вакуум, фотокатод ва люминесциаланувчи экран орасида эса электр майдон ҳосил қилингани сабабли, экранда кузатилувчи объектнинг кўзга кўринадиган тасвири ҳосил бўлади, кузатувчи уни оптик система орқали кўради. Фотокатод ва экран орасидаги кучланишни сошлаб, тасвирнинг равшанлиги кенг доирада ўзгартрилиши мумкин.

1. Инфрақизил нурланишнинг асосий манбаларини номма-ном айтинг.
2. Инфрақизил нурланишнинг ўзига хос хусусиятларини санаб беринг.
3. Фоторезисторли болометрнинг электр схемасини чизинг ва унинг ишлашини тушунтиринг.
4. Инфрақизил нурланишнинг асосий қўлланишларини санаб беринг.
5. Электрон-оптик ўзгартиргич қандай ишлайди?



Электромагнит тўлқинлар спектрида ультрабинафша нурланиш кўринадиган нурланишнинг бинафша соҳаси (400 нм) билан рентген нурланиши (10 нм) орасидаги участкани эгаллайди.

**1. Манбалари.** Қуёш, юлдузлар, туманлиқлар ультрабинафша нурланишнинг табиий манбаларидир. Мисол учун, қуёшнинг бутун нурланиш энергиясини 10 фоизи ультрабинафша нурланиш билан олиб ўтилади. Ультрабинафша нурланишнинг сунъий манбалари бўлиб, 3000°К ва ундан юқори температурагача қизитилган қаттиқ жисмлар, юқори температурали плазма ҳисобланади. Амалий қўлланишлар учун кварц шишасидан тайёрланган баллонли симоб ва ксенон лампаларидан фойдаланилади.

**2. Қабул қилувчи (приёмник)лар.** Инфракизил нурланишни топиш ва қайд қилиш учун оддий фотоматериаллардан фойдаланилади. Нурланиш қувватини ўлчаш учун ультрабинафша нурланишга сезгир бўлган болометрлардан, термозлемент ва фотодиодлардан фойдаланилади.

**3. Ўзига хос хоссалари.** Ультрабинафша нурланишнинг ўзига хос хусусиятлари ҳам унинг модда билан ўзаро таъсирида намоён бўлади. Ультрабинафша нурланиш Ер атмосферасида кучли ютилади. Мисол учун, Қуёш нурланишининг фақат узун тўлқинли ( $\beta \approx 290$  нм) қисмигина Ер сиртига етиб келади. Қисқа тўлқинли қисмини атмосферанинг юқори қатламларига ( $h = 25$  км) жойлашган озон қатлами ютиб қолади. Ультрабинафша нурланиш кучли биологик таъсир этади. Кичик дозалари инсон организмига фойдали таъсир этади — Д группа витаминлари ҳосил бўлишига ёрдам беради, иммунобиологик хусусиятларни яхшилайти. Қатта дозалари кўзни шикастлантириши, терини куйдириши ва ҳатто хавфли ўсмалар пайдо бўлишига олиб келиши мумкин.

Модда билан ўзаро таъсирлашганда унинг атомларини ионлашуви ва фотозфферкт юз бериши мумкин. Моддаларнинг ультрабинафша нурлар учун оптик хусусиятлари кўзга кўринадиган нурлар учун ана шундай хусусиятларидан фаркланади. Дарҳақиқат, оддий шиша ва қор ультрабинафша нурланиш учун тиник эмас, аммо кварц шишаси — тиник. Ультрабинафша нурланиш таъсирида кўпгина пластик материалларда химиявий ўзгаришлар юз беради, улар хиралашади ва мўрт бўлиб қолади. Ультрабинафша нурланиш қатор материалларнинг люминесценциялашувиға сабаб бўлади.

**4. Қўлланишлари.** Газ разрядли плазмасининг ультрабинафша нурланиши газ разрядли лампаларда фойдаланилади. Бу лампаларда у лампа қолбасининг ич томонини қопловчи моддаларнинг люминесценцияси ёрдамида юқори ФИК ли (30 фоизгача) кўзга кўринадиган нурланишга ўзгартирилади.

Ультрабинафша нурланишдаги фотография кварц оптикеси билан ўтказилади, криминалистика ва санъатшуносликда фойдаланилади. Ультрабинафша нурланишнинг кучли биологик таъсирдан бактерицид лампаларида касалхоналарнинг операция

хоналаридаги, озик-овкат ва фармацевтика саноатининг ишлаб чиқариш хоналаридаги хавони тозалаш учун фойдаланилади. Товуқ фабрикалари ва мол фермаларида жўжа ва ёш чорва молларини нурлантириш учун ультрабинафша нурланишдан тобора кенгрок фойдаланилмоқда.

Моддаларнинг ультрабинафша нурланишни ютиш қобилиятидан атмосферадаги зарарли аралашмаларни топишда фойдаланилади.

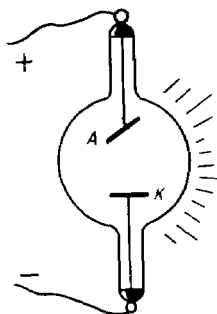
Химия корхоналарида ультрабинафша нурланиш пластмассаларнинг полимерланишини тезлатиш учун қўлланилади.

- 2
1. Ультрабинафша нурланишнинг асосий манбаларини номма-ном айтиб беринг.
  2. Нима сабабдан ультрабинафша нурланиш ҳосил қилишга мўлжалланган газ разрядли лампаларнинг баллонлари кварцдан, куздузги ёруғлик берувчи люминесцион лампаларининг баллонлари эса, шишадан қилинади?
  3. Ультрабинафша нурланишнинг асосий ўзига хос хусусиятларини сананг ва уларнинг қўлланишларига мисоллар келтиринг.

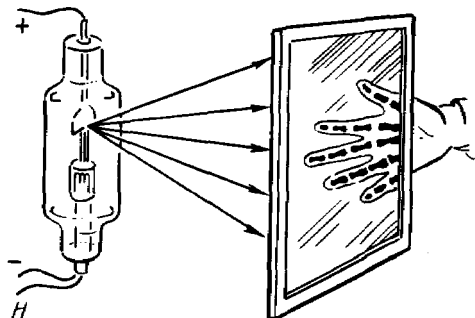
#### 49-§. РЕНТГЕН НУРЛАНИШИ

**1. Рентген кашфиёти.** В. Рентген 1895 йили анод текислиги катод текислигига параллел бўлмаган икки электродли вакуум трубкаларида (155- расм) тажрибалар ўтказиб, электродларга юқори кучланиш берилганда, трубканинг катода рўпарасида қандайдир янги (ўша давр учун) нурланишнинг таъсири билангина тушунтириш мумкин бўлган қатор ҳодисалар — шишанинг нурланиши, кумуш хлор эритмасининг қорайиши, хавонинг ионланиши ва бошқалар юз беришини аниқлади. Бу нурланишни Рентген  $x$  нурлар деб аталади. Кейинчалик у *рентген нурланиши* номини олди. Рентген нурланишнинг манбаи икки электродли вакуум трубканинг аноди бўлиб чиқди.

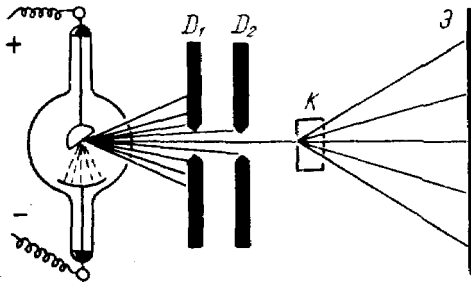
Рентген нурланишининг ўтувчанлик қобилияти дарҳол эътиборни ўзига қаратди. Рентген нурланиши таъсирида юқорида айtilган ҳодисалар, ҳатто трубка қорақоғоз, картон ва бошқа



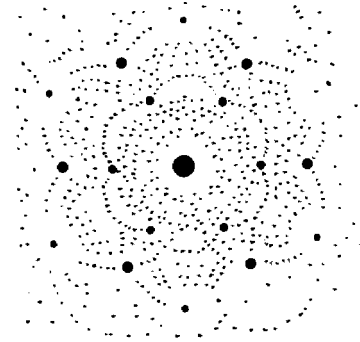
155- расм



156- расм



157- расм



158- расм

материаллар билан тўсилганда ҳам юз бераверди. Рентген нурланишининг модда томонидан ютилиши унинг зичлигига боғлиқ бўлиб чиқди. Модданинг зичлиги қанча катта бўлса, у рентген нурларини шунча кучлироқ ютади. Хусусан, инсон танасининг юмшоқ тўқималари рентген нурларини суякларга қараганда камроқ ютади. Бу Рентгенга ўзи кашф этган номаълум нурлар билан қўл панжаларининг биринчи расмини олиш имконини берди.

156- расмда замонавий рентген трубкасининг тузилиш схемаси келтирилди. Вакуум трубкага электродлар — кизитувчи катод ва анод жойлашган. Анод текислиги қийшайтирилган: катод текислигига параллел эмас. Катод юқори кучланиш манбаининг манфий кутбига, анод эса мусбат кутбига уланади. Шунда анод сиртидан рентген нурлари дастаси сочиледи. Нурланишининг йўналиши анод сиртига перпендикуляр бўлади.

**2. Рентген нурланишининг табиати.** Рентген нурланишининг табиати 1906 йилгача, унинг кутбланиши кашф этилмагунча аниқланмасдан қолаверди. Узил-кесил рентген нурларининг табиати 1912 йили аниқланди, бунда немис физиги М. Л а у э го я с а с о с и д а у л а р н и н г д и ф р а к ц и я с и б ў й и ч а т а ж р и б а қ ў й и ш г а м у в а ф ф а к бўлинди. Бу тажрибанинг схемаси 157- расмда келтирилди.  $D_1$  ва  $D_2$  диафрагмалар билан ажратиб олинган рентген нурланиш дастаси  $K$  монокристалдан ўтиб,  $Z$  экранга тушади. Экранда 158- расмда тасвирланган, *лауэграмма* деб номланган манзара кузатилади. Лауэграмма ёруғлик иккита кесишган (бир-бирига параллел, аммо тирқишлари ўзаро перпендикуляр бўлган) дифракцион панжарадан ўтишида кузатишган дифракцион манзарани эслатади.

Лауэграмманинг ҳосил бўлишини қуйидагича тушунтириш мумкин. Монокристалл рентген нурлари учун ўзига ҳос дифракцион панжара бўлади. Кристалл панжаранинг тугунлари тўсик хизматини ўтайди, тугунлар оралиғи эса, тиник бўлади. Рентген нурланиши панжарада дифракцияланади ва дифракцион максимум ва минимумлар ҳосил қилади. Шундай қилиб, рентген

нурларининг тўлқин табиатига эга эканлиги аниқланган эди. Рентген нурланишининг кутбланишини кашф этилиши, у кўндаланг тўлқинлар эканини кўрсатар эди. Нурланишнинг бошқа хоссаларини ўрганиш ҳам унинг электромагнит табиатига эга эканини тасдиқлади.

Дифракцион манзараларни ўрганиш рентген нурланишининг тўлқин узунлигини аниқлаш имконини берди. У  $10^{-14}$  дан  $10^{-7}$  м гача бўлган интервалда ётади.

Текширишларнинг кўрсатишича, рентген нурланиши катоддан чиқарилган ва электр майдон билан тезлаштирилган тез ҳаракатланувчи электронларнинг анод моддасида тормозланиши туфайли ҳосил бўлади. Электронлар тормозланишида уларнинг кинетик энергияси нурланиш энергиясига айланади. Бундай нурланиш *тормозланиш рентген нурланиши* деб юритилади.

**3. Қўлланишлари.** Рентген нурланишининг қўлланишлари хаддан ташқари кенг. Рентген нурланишининг касаллик манбаларини аниқлаш мақсадида инсоннинг турли аъзолари расмини олиш учун фойдаланилиши (рентгенодиагностика) ҳаммага маълум. Рентген нурлари хавfli ўсмаларни даволашда ҳам (рентгенотерапия) қўлланилади. Техникада машина деталлари, уларда бўлиши эҳтимол тутилган дефект (камчилик)ларни аниқлаш мақсадида рентген нурлари билан ёритиб кўрилади.

Айниқса, кристаллар тузилишини ўрганишда рентген нурланишининг аҳамияти бекиёс. Чунончи, рентген нурлари кристаллардан ўтганда ҳосил бўладиган дифракцион манзара, уларнинг тузилиши ҳақидаги энг тўлиқ маълумотни ўзида сақлайди. Дифракцион манзара бўйича кристалл панжараларнинг доимийлари аниқланган.

1971 йили рентген диапазонидаги электромагнит нурланиши берувчи юлдуз топилди. Ҳозирги вақтда Коинотдаги 500 дан ортик рентген нурланиши манбалари аниқланган. Бундан ташқари Ерга осмоннинг барча қисмларидан келувчи фон (таг) рентген нурланиши деб юритилувчи нурланиш ҳам аниқланган. Космосдан келувчи рентген нурлари унда юз берувчи жараёнлар ҳақидаги янги ва қизикарли маълумотларни олиб келади. Астрономиянинг янги бўлими — рентген астрономияси пайдо бўлди.

- ?
1. Рентген трубкасининг схемасини чизинг ва рентген турларининг манбаи нима эканлигини тушунтиринг.
  2. Рентген нурланишининг табиати қандай?
  3. Рентген нурланишининг асосий хоссаларини сананг ва уларнинг амалий қўлланишларини айтиб беринг.

## VII БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Электромагнит тўлқинлар умумий хоссалари билан бир қаторда, уларнинг тўлқин узунлигига боғлиқ бўлган ўзига хос хусусиятларга ҳам эга.

2. Турли диапазондаги электромагнит тўлқинларнинг ўзига хос хусусиятлари техникада кенг қўлланилади.

## ХУЛОСА

Тўлқин тушунчаси — физиканинг асосий хусусиятларидан биридир. Тўлқинлар бизни ҳамма жойда ўраб олган: сув ҳавзаси кирғоғида туриб, биз сув бетидаги тўлқинларни кўрамиз, буғдойзор ва ўрилмаган ўтлоқда биз шамол ҳосил қилган тўлқинларни кўрамиз. Музыка асбоблари торларининг ва бизнинг товуш пардаларимизнинг тебранишлари товуш тўлқинларини юзага келтиради. Электромагнит тўлқинлар, сейсмик тўлқинлар, ёруғлик тўлқинлари — биз кундалик ҳаётимизда дуч келадиган тўлқинларнинг тўлиқ бўлмаган рўйхати ана шундай.

Тўлқинларни ўрганиш билан одамлар қадимдан шуғулланишадди. Ун бешинчи асрдаёқ Леонардо да Винчи ёзган эди: «... Тўлқин югуради..., ва сув ўз ўрнида қолади, — экинзорларда шамол ҳосил қилган тўлқинга ўхшаб: тўлқинлар дала бўйлаб югуради, ўсимликлар эса ўз ўринларидан кетмайди». *Тўлқин — бу тебранишларнинг тарқалиш жараёнидир.*

Барча тўлқинларнинг асосий хусусияти, уларнинг табиатидан қатъи назар, тўлқинлар манбандан атроф фазога (моддаларни кўчирмай) энергия олиб ўтишдир.

Реал шароитларда тўлқинларнинг тарқалиши улар энергиясининг камайиши билан бирга юз беради: ишқалиш (қаршилиқ) туфайли энергиянинг бир қисми иссиқликка айланади ва тўлқинлар секин-аста сўнади.

Тўлқинларнинг хусусиятларини ўрганишни осонлаштириш ва уларнинг сўнишини эътиборга олмаслик учун, физикада энергияси ўзгармас бўлган *идеал тўлқин* тушунчаси киритилади. Идеал тўлқин чексиз-чегарасиздир. Идеал тўлқин ҳосил қилувчи вибратор

$$a = A_m \sin \omega t$$

гармоник конун бўйича тебранади, шунинг учун идеал тўлқин *гармоник тўлқин* деб ҳам юритилади.

Тўлқинни ифодалаш учун тўлқин фронти, фазавий тезлик, тўлқин узунлиги каби тушунча ва катталиқлар киритилади.

*Тўлқин фронти* деб шундай сиртга айтиладики, унинг барча нукталарида берилган вақт моментида тўлқин бир хил фазога эга бўлади. Тўлқин сиртининг шаклига қараб, тўлқинлар ясси, сферик ва доиравий тўлқинларга ажратилади.

Тўлқин фазасининг аниқ йўналиш бўйича тарқалиш тезлиги *фазавий тезлик* дейилади. Гармоник тўлқинлар ҳолида фазавий тезлик тўлқин фронтининг, унга перпендикуляр йўналиш бўйича кўчиш тезлигига тенг. Тўлқинларнинг фазавий тезлиги ҳар қандай муҳитда, вакуумдан ташқари, частотага боғлиқ (дисперсия ходисаси).

Бир даври ичида тўлқин тарқалган масофа ёки тўлқиннинг тебранишлари фазаси  $2\pi$  га фарқланувчи иккита энг яқин нукталари орасидаги масофа *тўлқин узунлиги* дейилади.

Агар кўлмак устига иккита тош ташланса, кўриш мумкинки, улар тушган жойдан тарқалувчи тўлқинлар бир-бирига боғланмасдан ҳаракатланади.

Тажрибалар асосида аниқланганки, кичик амплитудали бир нечта тўлқинлар устма-уст тушганда натижали тўлқиннинг силжиши, келувчи тўлқинларнинг силжишлари йиғиндисига тенг бўлади (суперпозиция принципи):

$$x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n.$$

Фазонинг бирор соҳасида бир вақтда иккита когерент тўлқинлар системаси тарқалса, улар *интерференцияланади*: тўлқинлар бир хил фаза билан келган нукталарда, тўлқинларнинг кучайиши, қарама-қарши фаза билан келган нукталарда сусайиши юз беради. Когерент тўлқинлар холида интерференцион манзара кўзгалмас бўлади, нокогерент тўлқинлар холида эса, тўхтовсиз ўзгариб туради.

Вақт ўтиши билан фазалари фарқи ўзгаришсиз қоладиган тўлқинлар *когерент тўлқинлар* дейилади.

Тўлқинлар тўсиқлар билан учрашганда уларнинг тўсиқларни айланиб ўтиш ҳодисаси кузатилади. Бу ҳодиса дифракция дейилади. Дифракция иккиламчи тўлқинларнинг интерференцияси билан тушунтирилади.

Кўндаланг тўлқинларни тўлиқ ифодалаш учун амплитуда, частота, фаза ва тезликдан ташқари *қутбланиш текислиги* ҳам кўрсатилиши керак.

*Механик тўлқинларнинг қутбланиш текислиги* деб, силжиш тебранишлари йўналиши билан тўлқин тарқалиши йўналиши орқали ўтувчи текисликка айтилади.

*Электромагнит тўлқинларнинг қутбланиш текислиги* деб  $\vec{E}$  электр майдон кучланганлик вектори тебранишлари йўналиши билан тўлқин тарқалиш йўналиши орқали ўтувчи текисликка айтилади.

Табиати ҳар қандай бўлган тўлқинлар икки муҳит чегарасида ўтишда бир вақтда қайтади ва синади. Бунда қайтиш бурчаги тушиш бурчаги  $\alpha$  га тенг бўлади, тушиш бурчаги синусини  $i$  синиш бурчаги синусига нисбати эса, тўлқиннинг биринчи муҳитдаги фазавий тезлигининг иккинчи муҳитдаги тезлиги нисбати билан аниқланади:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}.$$

Бу ердаги  $n_{21}$  катталиқ *иккинчи муҳитнинг биринчи муҳит нисбатан синдириш кўрсаткичи* деб номланган. Электромагнит тўлқин вакуумдан ҳар қандай бошқа муҳитга ўтганда

$$\frac{\sin \alpha}{\sin i} = \frac{c}{v_2} = n_2$$

бўлади,  $n_2$  катталиқ *иккинчи муҳитнинг абсолют синдир кўрсаткичи* дейилади.

Тўлқинлар тўсик билан ўзаро таъсирлашганда, улар тўсикка босим беради, босимнинг катталиги тўлқин энергиясига тўғри ва тезлигига тескари пропорционал бўлади:

$$p = \frac{W}{v}.$$

Ёруғлик — узунлиги 380 ÷ 760 нм диапазонда ётувчи электромагнит тўлқинлардан иборат.

Ёруғлик босимининг ( $p = 10^{-6}$  Н/м<sup>2</sup>) Москва университети-нинг профессори П. Н. Лебедев томонидан ўлчаниши (1899 й.) Ж. Максвелл томонидан яратилган ёруғликнинг электромагнит назарияси тўғрилигининг фундаментал исботларидан бири бўлиб хизмат қилди.

Инглиз физиги У. Томсон (Кельвин) рус олими К. А. Тимирязев билан суҳбатлашганда айтган эди: «Биласизми, мен ҳар доим Максвелл билан, унинг ёруғлик босимини тан олмасдан, курашиб келган эдим... Лебедев мени унинг тажрибалари олдида таслим бўлишга мажбур этди».

Юқорида санаб ўтилган умумий хоссалардан ташқари, тўлқинлар ўзларининг табиати ва частотасига боғлиқ бўлган, ўзига хос хусусиятларга ҳам эга. Тўлқинларнинг бу ўзига хос хусусиятлари улар моддалар билан ўзаро таъсирлашганда намоён бўлади.

## **XX АСР ФИЗИКАСИ**

Хозиргача биз классик физика асосларини ўргандик. XX аср бошланишигача энергиянинг сақланиш ва айланиш, бутун олам тортилиш қонунлари, динамика, электродинамика қонунлари, газ қонунлари таърифланди, электролиз, термоэлектрон эмиссия, фотоэффект, радиоактивлик, ўта ўтказувчанлик, электромагнит индукция ҳодисалари кашф қилинди, электромагнит майдон ўрганилди ва кундалик илмий таомилга киритилди, индукцион генератор, доимий ва ўзгарувчан ток электр двигателлари, радиоузаткич, радиоприёмник ва бошқалар ихтиро қилинди. Классик физиканинг ютуқлари шу қадар катта эдики, гўё физика фанининг биноси қуриб бўлингандек, уни батамом битириш учун озгина қолгандек туюлар эди. Бу «озгина» — атомнинг тузилишини, радиоактивликни ва нурланишнинг табиатини тушунтириш билан боғлиқ муаммолар эди. Бундан ташқари, Ньютон механикаси билан Максвелл электродинамикаси орасида қандайдир зиддият борлиги маълум бўлди.

XX асрнинг бошларигача яратилган классик физика бу «озгина» билан боғлиқ муаммоларни ҳал эта олмади.

### **VIII б о б. НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИ ЭЛЕМЕНТЛАРИ**

А. Эйнштейн томонидан XX аср бошларида яратилган нисбийлик назарияси физика тарихида алоҳида ўрин тутди. Бир томондан у XIX аср классик физикасини тугаллади, иккинчи томондан, замонавий физикани бошлаб берди ва унинг асосларидан бири бўлиб қолди.

#### **50- §. НИСБИЙЛИК НАЗАРИЯСИНING БОШЛАНИШИ ВА АСОСЛАРИ**

##### **1. Нисбийлик назариясининг бошланиши**

Г. Галилей томонидан аниқланган классик механиканинг нисбийлик принципи қуйидагича: механикада барча инерциал санок системалари тенг ҳуқуқли ёки механика қонунлари барча инерциал санок системаларида бир хил шаклга эга. Шунинг учун санок системасининг тўғри чизиқли текис ҳаракати бу системада юз берувчи механик жараёнларга ҳеч қандай таъсир этмайди.



Узоқ вақт (деярли XX аср бошигача) физиклар бу принцип механикада ўринли, электродинамикада эса, ўринли эмас деб ҳисоблашган. Нисбийлик принципнинг бундай талқин қилиниши электромагнит ҳодисаларни нотўғри тушуниш билан боғлиқ эди. Электромагнит тўлқинлар (шу жумладан ёруғлик ҳам) — бу бутун фазони эгалловчи махсус муҳит — эфирда тарқалувчи тўлқинлардир, деб ҳисобланар эди. Шунинг учун электроманит ҳодисалар эфирга нисбатан қўзғалмас бўлган санок системасида, унга нисбатан тўғри чиқиқли текис ҳаракат қилувчи системадагига караганда бошқачароқ юз бериши керак.

Аммо эфирнинг мавжудлигини тасдиқловчи ҳодисаларни топиш йўлидаги барча уринишлар муваффақиятсиз тугади.

Электромагнит тўлқинларга эфирнинг мавжудлигини инкор этувчи янгича, замонавий қараш 1905 йили А. Эйнштейн томонидан илгари сурилди.

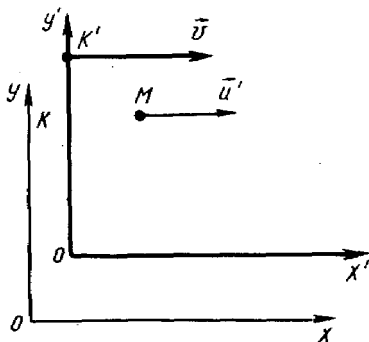
**2. Эйнштейннинг нисбийлик принципи.** Эйнштейн ўзининг «Ҳаракатланувчи жисмлар электродинамикасига оид» номли биринчи ва асос қилиб олинувчи ишида постулат\* тарзида Галилейнинг нисбийлик принципи фақат механикадагина эмас, балки электродинамикада ҳам ўринлидир, деган фикрни айтган эди. Кейинчалик бу постулат *Эйнштейннинг нисбийлик принципи* номини олди. Уни қуйидагича таърифлаш мумкин: **физика қонунлари барча инерциал санок системаларида бир хил шаклга эга бўлади. Эки ҳар қандай физик ҳодисалар бир хил бошланғич шартларда барча инерциал санок системаларида бир хилда юз беради.**

Эйнштейннинг нисбийлик принципи — замонавий физиканинг фундаментал қонунларидан бири, Оламни тушунишнинг замонавий асосидир.

**3. Ғруғликнинг вакуумдаги тезлиги ҳақидаги постулат.** А. Эйнштейн нисбийлик принципини, қуйидаги постулат билан тўлдирди: ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги чегаравийдир, яъни табиатда учрайдиган тезликларнинг энг каттасидир ва манбанинг ҳаракат тезлигига ҳам, қузатувчининг ҳаракат тезлигига ҳам боғлиқ эмас. Одатда бу постулат қуйидагича таърифланади: **ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги барча инерциал санок системаларида чегаравий тезлик бўлади, манба ва қузатувчининг ҳаракат тезлигига боғлиқ эмас.**

**4. Тезликларни қўишнинг релятивистик қонуни.** Нисбийлик назариясининг ёруғлик тезлигининг чегаравий характери ҳақидаги принципи тезликларни қўиш қонунини қайта кўриб чиқишни талаб этади. Айтайлик,  $M$  моддий нукта  $K'$  инерциал санок системасига нисбатан  $X'$  ўқ йўналишида  $\vec{u}'$  тезлик билан бир текис ҳаракатлансин,  $K'$  система ўз навбатида  $K$  қўзғалмас системага нисбатан  $\vec{u}$  доимий тезлик билан ҳаракатлансин (159- расм).

\* Постулат — бу бошланғич қонда сифатида исботсиз қабул қилинган даъводир.



159- расм

Классик механикада моддий нуктанинг  $K$  санок системасига нисбатан натижали тезлигининг модули

$$u = u' + v$$

формула билан аниқланади.

Нисбийлик назариясида эса, кўрилади хол учун тезликларни қўшиш қонуни

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

формула билан ифодаланади.

Бу формуланинг тўғрилиги ундан келиб чиқадиган барча натижаларнинг тажрибага мос келиш билан тасдиқланади.

Ҳаракат тезликлари ёруғлик тезлигидан анча кичик ( $u' \ll c$ ,  $v \ll c$ ) бўлганда,  $u'v/c^2 \approx 0 \ll 1$  бўлади ва релятивистик формула бўйича ҳисобланган натижавий тезлик, амалда, классик физиканинг тезликларни қўшиш формуласи бўйича ҳисобланган тезлик билан бир хил бўлади. Аммо катта тезликлар қўшилганда натижа бошқача бўлади.

Айтайлик, икки жисм бир-бирига қараб,  $u' = 200000$  км/с ва  $v = 200\ 000$  км/с тезлик билан ҳаракатлансин. Тезликларни қўшишнинг классик формуласига кўра уларнинг нисбий тезлиги  $u = 200\ 000$  км/с +  $200\ 000$  км/с =  $400\ 000$  км/с бўлади.

Бундан кўринадики, Ньютон механикаси қонунларига кўра ёруғлик тезлигидан катта тезликдаги ҳаракатлар ҳам бўлиши мумкин. Аммо тезликларни қўшишнинг релятивистик қонуни бунга йўл қўймайди:

$$u = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ км/с} + 2 \cdot 10^5 \text{ км/с}}{1 + \frac{2 \cdot 10^5 \text{ км/с} \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ км/с}}{(3 \cdot 10^8 \text{ км/с})^2}} = 277 \cdot 10^3 \text{ км/с}.$$

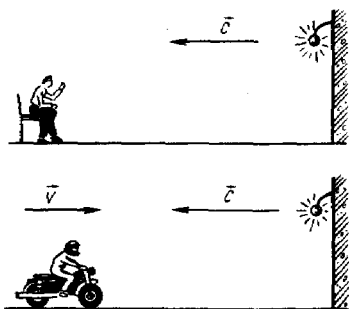
Ҳаракатланувчи  $K'$  системага маҳкамланган манбадан ёруғлик  $X'$  ўқ йўналишида (вакуумда)  $c$  тезлик билан тарқалсин. Манба  $K'$  система билан бирга нур йўналишида  $K$  системага нисбатан  $v$  тезлик билан ҳаракатланади. Ёруғликнинг  $K$  системага нисбатан (нисбий) тезлиги классик формулага кўра

$$u = c + v$$

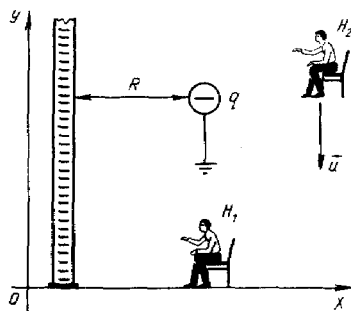
га, релятивистик формулага кўра

$$u = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c + v}{c + v} \cdot c = c$$

га тенг бўлади.



160- расм



161- расм

Кўрамизки, ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги манба тезлигига боғлиқ эмас ва бир вақтда ҳам доимий ҳам чегаравий катталиққа эга бўлади: ҳеч нарса ёруғликнинг вакуумдаги тезлигидан кўра тезроқ ҳаракатлана олмайди (160- расм).

?

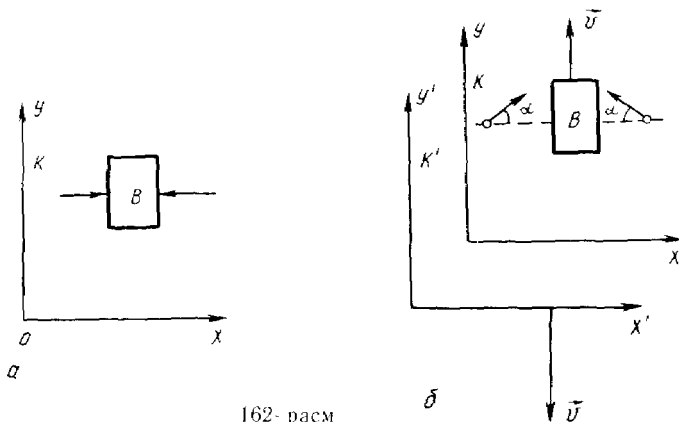
1. Зарядланган узун ўтказгичдан  $R$  масофада —  $q$  заряд жойлашган. Заряд ва ўтказгичнинг ўзаро таъсирини «ўтказгич — заряд» системасида тинч ҳолатда турувчи  $H_1$  кузатувчи ва ўтказгич ва зарядга нисбатан  $u$  тезлик билан ҳаракатланувчи  $H_2$  кузатувчи ўрганади. Кузатувчилар нимани кўришини тасвирлаб беринг (161- расм).
2. Нисбийлик назариясининг приципларини таърифланг.
3. Эйнштейннинг нисбийлик принципи Галилейнинг нисбийлик принциpidан нима билан фарқланади?
4. Тезликларни қўшишнинг релятивистик қонунини классик механикадаги тезликларни қўшиш қонунидан нима билан фарқланади?

### 51- §. МАССА ВА ЭНЕРГИЯНИНГ ЎЗАРО БОҒЛИҚЛИК ҚОНУНИ

Классик физикада танлаб олинган санок системасида тинч ҳолатда турувчи жисмнинг массаси ва энергияси ўзаро боғланмаган. Нисбийлик назариясида бу катталиқларнинг ўзаро боғланганлиги аниқланган. Қуйида А. Эйнштейн томонидан таклиф этилган масса билан энергия орасидаги боғланишни келтириб чиқариш усулларида бири келтирилади.

Айтайлик,  $B$  жисм  $K$  санок системасига нисбатан тинч ҳолатда бўлсин (162- а расм). Жисмга ўнг ва чап томондан бир хил қисқа муддатли ёруғлик импульслари тушсин. Ҳар бир импульс энергиясини  $\frac{\Delta E}{2}$  билан белгиласак, иккала импульснинг тўлиқ энергияси  $\Delta E$  га тенг бўлади.  $B$  жисм ҳар иккала импульс энергиясини тўлиқ ютади дейлик. Ёруғлик жисмга ўнг ва чап томондан бир хил шароитда таъсир этгани сабабли,  $B$  жисм  $K$  системага нисбатан тинч ҳолатда қолади.

Ана шу ходисанинг ўзини  $K$  системага нисбатан вертикал равишда паства томон  $c$  тезлик билан ҳаракатланувчи  $K'$



162- расм

системада қараб чиқамиз. Бу системада  $B$  жисм вертикал равишда юқорига  $v$  тезлик билан ҳаракатланади (162- б расм).

Айтайлик, жисмнинг ёруғликни ютгунгача бўлган массаси  $m$  бўлсин.  $Y$  ҳолда жисмнинг  $K'$  системадаги ёруғлик ютгунгача бўлган импульси  $mv$  га тенг бўлади. Жисмга ютилган битта ёруғлик импульсини

$$\Delta p_1 = \frac{\Delta E}{2c}$$

кўринишда, унинг  $Y$  ўқ бўйича проекциясини

$$\Delta p_{1y} = \frac{\Delta E}{2c} \sin \alpha$$

шаклида ёзиш мумкин. 162- б расмдан кўринадики,  $\sin \alpha = \frac{v}{c}$  га тенг.  $Y$  ҳолда ҳар иккала томондан тушган ёруғликнинг жисмга берган тўлиқ импульсининг  $Y$  ўқдаги проекцияси

$$\Delta p_y = 2\Delta p_{1y} = 2 \frac{\Delta E}{2c} \cdot \sin \alpha = 2 \frac{\Delta E}{2c} \cdot \frac{v}{c} = \frac{\Delta E v}{c^2}$$

га тенг бўлади. Жисм ва иккита ёруғлик импульсидан иборат системанинг ёруғлик ютилгунгача бўлган йиғинди импульси

$$p_y = mv + \frac{\Delta E v}{c^2}$$

га тенг.

Айтайлик,  $B$  жисм ҳар иккала ёруғлик импульсини тўлиқ ютган бўлсин. Бунинг натижасида унинг массаси ортади ва  $m'$  бўлиб қолади. Системанинг  $B$  жисм ёруғлик импульсларини ютгандан кейинги импульси (унинг  $Y$  ўқдаги проекцияси)

$$p_{y'} = m'v$$

формула билан аниқланади.

Импульснинг сакланиш қонунига кўра  $p'_u = p_u$  ёки  $m'v = mv + \frac{\Delta E v}{c^2}$  бўлади, бундан

$$m' - m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

топилади.

Бу муносабат масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонунини ифодалайди.

**Жисм энергиясининг  $\Delta E$  га кўпайиши унинг массасини  $m' - m = \Delta m$  га кўпайиши билан боғлиқ;**

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

олинган формула масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлигини кўрсатади. Бу — *масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонунидир.*

Масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонуни — физиканинг фундаментал қонуниларидан бири. У илгари бир-бирига боғлиқ эмасдек туюлган иккита физик катталикларни ўзаро боғлайди. Бу қонундан кўринадики, тинч ҳолатдаги ҳар қандай  $m$  массали жисм, бу массага пропорционал бўлган  $E$  энергияга эга бўлади, ва аксинча,  $E$  энергияга эга бўлган ҳар қандай жисм бу энергияга пропорционал бўлган  $m$  массага эга бўлади:

$$E = mc^2$$

Қонуннинг маъноси шундан иборатки, *энергия ва масса — бу ҳар қандай физик объектнинг иккита, бир-бирига боғлиқ бўлган характеристикаларидир.*

?

1. Масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонунини таърифлаб беринг.
2. Еруғликнинг модда билан ўзаро таъсирида масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонуни ўринли бўлишини кўрсатинг.

## 6-МАСҲ

1. Тезлатгичда бир-бирининг рўпарасидан келувчи дасталардаги протонлар қурилмага нисбатан 0,99000 с тезлик билан ҳаракатланади. Бир протоннинг иккинчисига нисбатан нисбий тезлиги қанча?

2. Еруғликнинг қўзғалмас моддадаги тезлиги  $v = \frac{c}{n}$  га тенг ( $c$  —

ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги,  $n$  — модданинг синдириш кўрсаткичи). Еруғликнинг манбага нисбатан бир текис ҳаракатланувчи моддадаги тезлигини топинг.

3. Электрон кучланишлиги  $3 \cdot 10^3$  В/м бўлган электр майдонида тезлаштирилади. Электроннинг 1 нс дан кейинги тезлигини топинг.

1. Нисбийлик назарияси — бу катта тезликлардаги жисмлар ва элементар заррачалар ҳаракатини ўрганувчи физик назариядир. Нисбийлик назариясининг асослари 1905 йили А. Эйнштейн томонидан таърифлаб берилган.

Нисбийлик назарияси тажрибаларда тасдиқланган иккита принципга таянади:

а) барча инерциал санок системаларида ҳамма физик ҳодисалар (механик ва электромагнит) бир хилда юз беради.

б) ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги ҳар қандай ўзаро таъсирнинг чегаравий тезлиги ва манбанинг ҳаракат тезлигига боғлиқ эмас.

2. Тезлиги ёруғликнинг вакуумдаги тезлигига яқин бўлган ҳаракатларга ўтишда ёруғлик тезлигидан анча кичик тезликдаги ҳаракатлар учун аниқланган классик механика қонунилари ва муносабатларига ўзгаришлар киритиш зарур. Чунончи, тезликларни қўшишнинг  $u = u' + v$  классик қонуни нисбийлик назариясида

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

шаклга эга бўлади.

3. Классик механикада танлаб олинган санок системасида тинч турувчи жисм массаси билан энергияси орасида ўзаро боғланиш йўқ. Нисбийлик назариясида бу катталиклар ўзаро боғланган.

Масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонуни замонавий физиканинг асосий қонуниларидан бири бўлиб қолди:

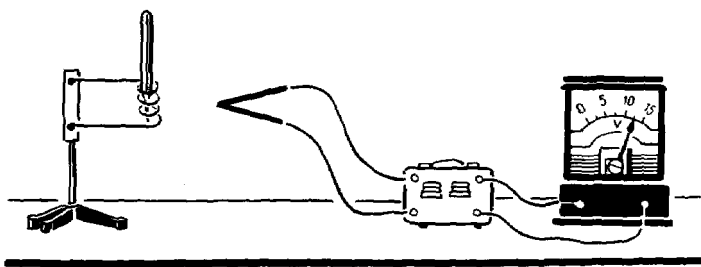
$$E = mc^2.$$

4. Ньютон механикасининг татбиқ этилиш соҳаси — кичик тезликлар (ёруғлик тезлигига нисбатан) соҳасидир, нисбийлик назариясининг татбиқ этилиш соҳаси эса, ёруғлик тезлигига яқин бўлган тезликларгача кенгайди. Нисбийлик назариясининг тўғрилиги кўп сонли тажрибалар ва кичик тезликларда унинг асосий қонун ва муносабатлари Ньютон механикасининг мос қонун ва муносабатларига ўтиши билан тасдиқланади.

## IX БОБ. КВАНТ ФИЗИКАСИ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

### 52-§. КВАНТ ФИЗИКАСИНING ПАЙДО БУЛИШ ТАРИХИДАН

Квант физикасининг пайдо бўлиши немис физиги М. Планк номи билан боғлиқ. Унинг илмий текширишлари иситилган жисмни ўрганшга бағишланган. Бу текширишларнинг энг муҳим натижалари М. Планк томонидан 1900 йили чоп этилган эди. Бинобарин, квант физикаси XIX ва XX асрлар чегарасида пайдо бўлган.



163- расм

**1. Иситилган жисмнинг нурланиши.** Металл спирални созланувчи кучланиш манбаига улаймиз. Спиралнинг температурасини ўлчаш учун унга термометр кўямиз. Спирал озгина исийди ва ёруғлик сочмайди.

Агар спирал яқинига сезгир гальванометрга уланган термовара кўйилса (163-расм), асбоб кўзга кўринмайдиган нурланиш борлигини кайд қилади.

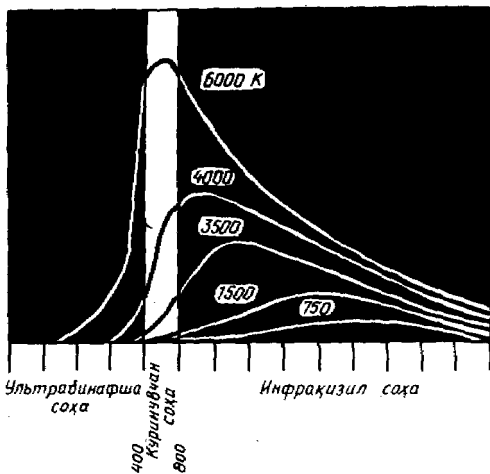
Спиралга кўйилган кучланишни ошириб бориб, шуни пайкаш мумкинки, спиралнинг температураси ортиши билан унинг нурланиши ҳам ортади. Температура  $500^{\circ}\text{C}$  га етганда спирал кизғиш рангли ёруғлик чикара бошлайди.

Спирал температурасининг кейинги ортишида нурланиш интенсивлиги яна ортади, нурланувчи ёруғлик ранги эса, аввал зарғалдоқ, кейин сарик ва ниҳоят, одатдаги оқ ёруғлик бўлади.

Агар юқорида баён этилган тажрибада спиралдан чикувчи ёруғлик спектроскоп ёрдамида кузатилса, бошида фақат спектрнинг қизил чеккаси кўринади. Аммо кейин унга кетма-кет равишда зарғалдоқ, сарик, яшил, кўк ва ниҳоят, бинафша рангли соҳалар ҳам кўшилади. Шундай қилиб, температура ортиши билан иссиқлик нурланишининг интенсивлиги ортади ва унда тобора юқори частотали нурланиш пайдо бўлади.

Бир неча минг градус температурагача қизитилган жисм, кўзга кўринмайдиган инфрақизил нурланишдан кўзга кўринмайдиган ультрабинафша нурланишгача бўлган соҳани эгалловчи ёппа нурланиш спектрига эга бўлади.

164-расмда кўмир спиралнинг ҳар хил температурадаги нурланиш спектрида  $E$  энергия тақсимотининг тажрибада топилган графиклари келтирилди. Ордината ўқи бўйича берилган тўлқин



164- расм

узунлигига тўғри келувчи энергия, абсцисса ўқи бўйича — тўлқин узунлиги қўйилган.

**2. Планк гипотезаси,** экспериментал топилган нурланиш спектридаги энергия тақсмоти назарий талқинга муҳтож эди. Равшан эдики, барча жисмлар атомлардан иборатлиги сабабли, иссиқлик, қўзга кўринадиган ва ультрабинафша нурланишлар атомлар томонидан чиқарилади. Аммо қандай? Максвеллнинг классик электродинамикасида, тажрибага тўлиқ мос ҳолда, тебранувчи заряд электромагнит тўлқинлар нурлантиради ва ўз энергиясини узлуксиз равишда йўқотади, деб ҳисобланади. Кўпчилик йирик физикларнинг нурланиш механизмини классик физика позициясида туриб тушунтиришга уринишлари беҳуда бўлиб чикди. Ўз текширишларининг дастлабки боскичларида Планк ҳам муваффақиятсизликдан қочиб кутула олмади. У ўзининг муваффақиятсизлиги сабабини таҳлил қилар экан, Максвеллнинг электромагнетизм назариясига асосланган, классик физиканинг электромагнит тўлқинлар нурланиш қонунлари атомлар учун яроқсиз деган хулосага келди.

Планк, *атомларнинг нурланиши узлуксиз эмас, балки узлукли, энергияси тебранишлар частотасига пропорционал бўлган порциялар — квантлар тарзида бўлади* деган тахминни илгари сурди ва хар бир квант энергияси учун

$$E = h\nu$$

ифодани таклиф этди, бу ерда  $E$  — квант энергияси,  $h$  — доимий катталиқ бўлиб, кейинчалик Планк доимийси деб номланган:

$$h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}.$$

Иситилган жисм нурланишининг узлукли характери хақидаги Планк гипотезаси тажрибада топилган нурланишнинг температурага боғлиқлигини тасдиқлади. Аммо бу боғланиш классик физикага зид эди. Планкнинг замондошлари, бошида Планкнинг ўзи ҳам нурланишнинг узлуксиз характери хақидаги гипотезани фақат иссиқлик нурланиши қонуниятларини тушунтиришга имкон берувчи ажойиб усул деб қабул қилишди. Аммо Планк гипотезасининг аҳамияти бекиёс катта бўлиб чикди: у янги физика — микродунё физикасининг яратилишидан дарак берад эди.

?

1. Иситилган жисмининг нурланиш графигини диққат билан ўрганинг (164-расм) ва қуйидаги саволларга жавоб беринг: а). Иссиқлик нурланишининг  $E/\lambda$  спектрал зичлиги температурага қандай боғланган? б). Энергиянинг тўлқин узунликлари бўйича тақсмоти эгрилигининг максимуми температурага қандай боғланган?
2. Планк гипотезаси нимадан иборат? Квант назариясининг классик назариядан асосий фарқи нимада?
3. Квантлар гипотезасини қайси ҳодисалар тасдиқлайди?
4. Энг қисқа инфрақизил тўлқинларга мос келувчи квант энергиясини ҳисобланг.



## 53-§. ФОТОЭЛЕКТРИК ЭФФЕКТ. ФОТОНЛАР

Планк гипотезасининг теранлиги ва физиканинг кейинги тараққиётидаги ахамияти 1900 йили ҳатто йирик олимлар учун ҳам маълум эмас эди. Аммо 1905 йили А. Эйнштейн куйидаги гипотезани илгари сурди: *электромагнит нурланиши нафақат порциялар (квантлар) тарзида чиқарилади, балки электромагнит майдоннинг  $E = h\nu$  энергияга эга бўлган алоҳида зарралари — фотонлар кўринишида тарқалади ва ютилади.*

Агар Планк, квантлар гипотезасини илгари сурганда, квант фақат ёрдамчи тушунча сифатида зарур деб ҳисоблаган бўлса, Эйнштейн янада олға кетди: у квантни электромагнит майдоннинг реал мавжуд бўлган заррачаси деб билди ва уни *фотон* деб атади.

**1. Фотон.** Фотоннинг асосий хоссалари билан танишамиз. Фотон электромагнит майдон заррачаси бўлиб, ёруғлик тезлиги билан ҳаракатланади. У фақат ҳаракат ҳолатидагина мавжуд бўла олади. Фотонни тўхтатиш мумкин эмас, у ё ёруғлик тезлиги билан ҳаракатланади, ёки мавжуд бўлмайди. Фотон  $E = h\nu$  энергияга эга бўлгани сабабли, масса ва энергиянинг пропорционаллик қонунига кўра массага ҳам эга бўлиши керак:

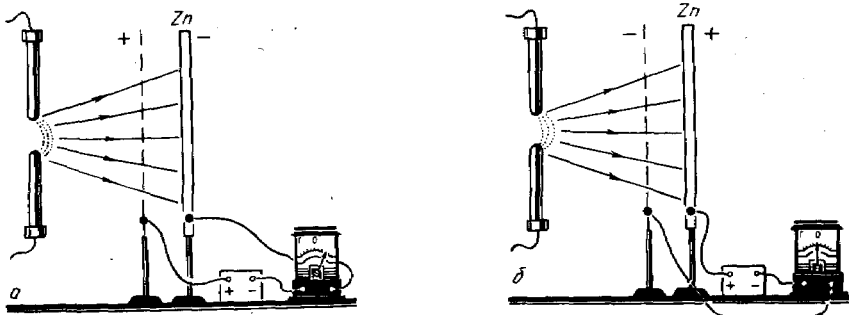
$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}.$$

Фотон фақат ёруғлик тезлигидаги ҳаракатда мавжуд бўлганлиги сабабли, унинг тинчликдаги массаси йўқ! Фотоннинг оддий модда заррачаларидан фарқи ҳам ана шунда, Фотон ҳаракатлангани сабабли, у импульсга ҳам эга:

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

Фотоннинг импульси борлиги ёруғлик босимининг мавжудлиги билан тасдиқланади.

**2. Фотозэффект.** Биз X синф физикасидан биламизки, ёруғлик таъсирида металлдан электронлар эмиссияси (учиб чиқиши) юз беради. Бу ҳодиса *фотозэлектрон эмиссия* ёки *фотозэффект* номини олган. Фотозэффект 1879 йили Г. Г. е р ц томонидан кашф этилган.



165- расм

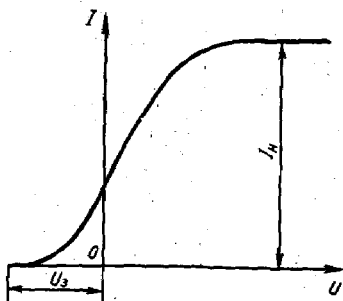
Герцнинг кашфиёти ҳақида хабар топган Москва университети-нинг профессори А. Г. Столетов 1888 йили бу ҳодисани ўрганишга киришди. 165-расмда А. Г. Столетов фотозэффект ҳодисасини ўрганган курилманинг схемаси келтирилди. Яхшилаб тозаланган рух пластинка олдига металл тўр жойлаштирилади, у орқали рух пластинка электр ёйи билан ёритилади. Агар рух пластинка ток манбаининг манфий кутбига уланган бўлса, занжирда ток ҳосил бўлади (165-а расм), у гальванометр билан ўлчанади. Рух пластинка манбанинг мусбат кутбига уланганда эса, занжирда ток ҳосил бўлмайди (165-б расм). Демак, фотозэффект вақтида электронлар катодни ташлаб чиқади.

Занжирда ҳосил бўлувчи ток, кейинчалик, фототок номини олди, манбанинг манфий кутбига уланган рух (ёки бошқа) пластинка эса фотокатод деб номланди. А. Г. Столетов фототок фотокатоднинг ёритилиши билан деярли бир вақтда пайдо бўлишини аниқлади.

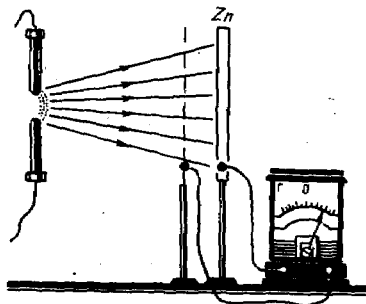
Фототокнинг қўйилган кучланишга боғлиқлигини текширган А. Г. Столетов у Ом қонунига бўйсунмаслигини аниқлади. 166-расмда пластинканинг ёритилиши ўзгармаган ҳолда фототокнинг электродлар орасидаги кучланишга боғлиқлик графиги келтирилди. Графикдан кўринадики, аввал фототок ортади, кейин, нисбатан унча катта бўлмаган кучланишда, ортишдан тўхтайтиди. Фототокнинг максимал қиймати тўйиниш фототоки номини олган. Столетов тўйиниш фототоки (демак, ёруғлик билан чиқарилувчи фотозэлектронлар сони) рух пластинкага тушувчи ёруғлик интенсивлигига тўғри пропорционал эканини аниқлади.

А. Г. Столетов рух пластинка фақат тўлқин узунлиги қандайдир чегаравий тўлқин узунлигидан кичик бўлган ёруғлик билан ёритилгандагина фотозэффект кузатилишини аниқлади. Бу фотозэффект кузатиладиган чегаравий максимал тўлқин узунлик кейинчалик фотозэффектнинг қизил чегараси номини олди.

Занжирда манба бўлмаганда ҳам фототок мавжуд бўлади (167-расм). Бу қуйидагича тушунтирилиши мумкин: электронлар фотокатодни нолдан катта тезлик билан ташлаб чиқишади, уларнинг бир қисми электродлар орасида кучланиш бўлмаганда ҳам анодга етиб келади. Фототок нолга тенг бўлиши учун



166-расм



167-расм

электродлар орасига қандайдир ушлаб қолувчи —  $U_3$  манфий кучланиш қўйиш керак (166-расмга қ.). Бу кучланиш шундай бўлиши керакки, ҳатто катоддан учиб чиқишда энг катта  $v$  тезликка эга бўлган электронлар ҳам ушлаб қолувчи майдон қаршилигини енгиб анодга кела олмасин. Ёруғлик таъсирида катоддан учиб чиқувчи электронларнинг  $v_m$  максимал бошланғич тезлиги билан  $U_3$  ушлаб қолувчи кучланиш орасида қуйидаги боғланиш мавжуд:

$$\frac{1}{2} m_e v_m^2 = e U_3,$$

бу ерда  $m_e$  — электрон массаси. Шундай қилиб,  $U_3$  ушлаб қолувчи кучланишни тажрибада ўлчаб, фотоэлектроннинг максимал тезлигини аниқлаш мумкин:

$$v_m = \sqrt{\frac{2eU_3}{m_e}}.$$

Текширишларнинг кўрсатишича, фотоэлектронларнинг максимал тезлиги фақат фотокатод ёритилаётган ёруғлик частотасига боғлиқ.

Шундай қилиб, тажрибада фотоэффектнинг қуйидаги қонуниятлари аниқланади:

1. Ҳар бир модда учун шундай чегаравий тўлқин узунлиги мавжудки, бунда фотоэффект бўлиши давом этади, аммо бундан катта узунликдаги тўлқинлар билан ёритилганда фотоэффект бўлмайди (фотоэффектнинг кизил чегараси).

2. Вақт бирлиги ичида фотокатоддан юлиб чиқарилувчи фотоэлектронлар сони катодга тушувчи ёруғлик интенсивлигига тўғри пропорционал.

3. Фотоэлектронларнинг максимал бошланғич тезлиги нурланиш частотаси билан аниқланади ва фотокатодга тушувчи ёруғлик интенсивлигига боғлиқ эмас.

4. Фотоэффект деярли инерциясиз.

Классик физика фотоэффектнинг юқорида санаб ўтилган қонуниятларини тушунтира олмади. Уларни фақат квант физикасигина тушунтира олди.

**3. Фотоэффектнинг тушунтирилиши.** А. Эйнштейн 1905 йили, агар ёруғлик қандай порциялар (квантлар) тарзида чиқарилса ва тарқалса, шундай порциялар тарзида ютилади ҳам деб фарз қилинса, фотоэффектнинг барча қонуниятларини осонгина тушунтириш мумкинлигини кўрсатди. Ёруғликни металл ютганда фотон ўз энергиясини тўлиғича битта электронга беради. Бу энергиянинг бир қисми электроннинг металлдан чиқиши учун, яъни  $A$  чиқиш иши бажарилиши учун сарфланади. Агар электрон металл сиртидан эмас, балки бироз ичкаридан чиқарилса, энергиянинг  $E'$  қисми электроннинг модда ичидаги тасодифий тўқнашувлари туфайли йўқолади ва моддани иситишга кетади. Қолган энергия моддadan чиққан электроннинг  $E_k$  кинетик энергиясини ҳосил қилади. Агар электрон металл сиртидан уриб

чиқарилса, унинг энергияси максимал бўлади. Бу ҳолда  $E' = 0$  ва

$$h\nu = A + \frac{m_e v_m^2}{2}.$$

Бу — фотозффект учун Эйнштейн тенгламасидир. Ундан кўринадики, фотозлектроннинг максимал кинетик энергияси, бинобарин, унинг максимал бошланғич тезлиги ҳам  $v$  ёруғлик частотасига ва  $A$  чиқиш ишига боғлиқ, аммо ёруғлик окими қувватига боғлиқ эмас:

$$v_m = \sqrt{\frac{2}{m_e}(h\nu - A)}.$$

Эйнштейн тенгламасидан яна шу нарса кўринадики, фотозффект фотон энергияси чиқиш ишидан катта бўлгандагина бўлиши мумкин. Фотон энергияси энг камида металлдан электронни уриб чиқариш учун етарли бўлиши керак:

$$h\nu \geq A.$$

Фотозффект юз бериши учун етарли бўлган энг кичик ёруғлик частотасини (фотозффектнинг кизил чегарасини)  $\nu_0$  билан белгилаб, унинг учун

$$\nu_0 = \frac{A}{h}$$

муносабатни оламиз. Фотозффектнинг кизил чегараси фақат электроннинг чиқиш ишига ( $h$  — доимий), яъни металлнинг химиявий табиатига боғлиқ.

Эйнштейн томонидан топилган

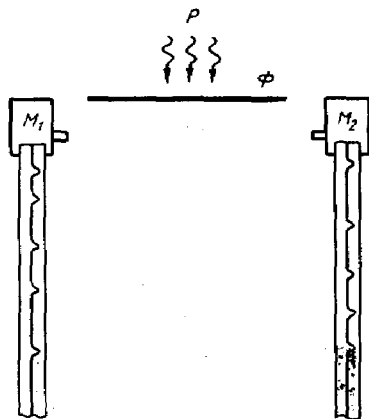
$$h\nu = A + \frac{m_e v_m^2}{2}$$

тенглама жуда кўп тажрибаларда тасдиқланган.

**4\*. Боте тажрибаси.** Планк иссиқлик нурланиши қонунларини тушунтириш учун ёруғлик порциялар тарзида *чиқарилади* деб ҳисоблади. Фотозффект ходисасини тушунтириш учун ёруғлик квантлар тарзида *ютилади* деб фараз қилиш етарли эди. Аммо Эйнштейн бу билан чегараланмади: у ёруғлик *порциялар* тарзида, электромагнит майдоннинг ўзига хос зарралари — *фотонлар* кўринишида ҳам тарқалади деб ҳисоблади.

Планкнинг ўқувчиси Боте томонидан кўйилган тажриба Эйнштейн гипотезасининг экспериментал тасдиқланиши бўлди. 168-расмда Боте экспериментал қурилмасининг схемаси келтирилди. Юпқа металл  $\Phi$  фольга иккита Гейгер газ разряди саногичларидан бир хил масофага жойлаштирилди. Фольга  $P$  кучсиз рентген нурлари манбаи билан ёритилади ва ўзи ҳам уларнинг янада кучсизрок манбаи бўлиб қолади. Агар рентген

нурланиши сферик тўлкинлар кўринишида тарқалганда эди, тўлқин хар иккала саногичга бир вақтда етиб келар эди, уларга уланган  $M_1$  ва  $M_2$  механизмлар ҳаракатланувчи лентага бир вақтда белги кўяр ва улар бир-бирининг карши-сига жойлашар эди. Аммо тажриба қоғоздаги белгилар устмас-уст тушмаганлигини ва тартибсиз жойлаганлигини кўрсатди. Бу металл фольга рентген нурланишини порциялар тарзида гоҳ бу, гоҳ бошқа йўналишда чиқарганлигидан ва улар ўзига ҳос зарралар кўринишида ҳаракатланишидан далолат берар эди.



168-расм

?

1. Фотон қандай хоссаларга эга? Фотонни тўхтатиш мумкинми?
2. Фотозффектнинг асосий қонуниятларини сананг ва уларни квант тасаввурлар асосида тушунтириб беринг.
3. Фотоэлектрон цезийдан 2 эВ кинетик энергия билан уриб чиқарилади. Бу электронни «уриб чиқариши» мумкин бўлган ёруғликнинг максимал тўлқин узунлиги қандай бўлади?
4. Рух учун чиқиш иши 4,3 эВ. Рух пластинка тўлқин узунлиги 100 нм бўлган ёруғлик билан нурлантирилади. Рухдан «уриб чиқарилган» электронлар кинетик энергияси қандай?
5. Боте тажрибасининг ғоясини, боришини ва натижасини тушунтиринг.

#### 54-§. ПЛАНК ДОИМИЙСИНИ АНИҚЛАШ (ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ)

Планк доимийси  $h$  гоят муҳим аҳамиятга эга. Бу шу билан боғлиқки, у орқали фотон энергияси аниқланади ( $E = h\nu$ ) ва, бинобарин, усиз нурланишнинг узлуклигидан иборат микродунёнинг ўзига ҳос хусусиятини тушунтириб бўлмайди. Планк доимийси квант физикасининг кўпчилик муносабатларига бевосита ёки билвосита киради. Бу катталикнинг фундаментал характери, унинг квант назариясидаги ўрни уни экспериментал аниқлаш заруриятини туғдирди. Бу масала ниҳоятда қийин бўлиб чиқди, чунки жуда кўп экспериментал қийинчиликларни енгишга тўғри келди. Буни биринчи бўлиб Р. А. Милликен (1916 й.) сўнгра П. И. Лукирски й ва С. С. Прилежаевлар (1928 й.) амалга оширишди. Ҳозирги кунда Планк доимийсининг тақрибий қиймати мактабларнинг физика кабинетларида замонавий ўлчов техникаси ёрдамида аниқланиши мумкин.

**1. Планк доимийсини ўлчаш принципи.** Планк доимийсини ўлчашнинг бир нечта усуллари мавжуд. Фотозффект ходисасидан фойдаланишга асосланган усул энг содда ва қулайдир: агар

фотозлемент ва сезгир гальванометрдан иборат занжир тузилса (169-расм) ва фотозлемент катоди  $\nu_1$  частотали ёруғлик билан ёритилса, занжирда фототок ҳосил бўлади. Бу, фотокатод ёритилганда ундан  $\nu_1$  тезликли ва  $m_e v_1^2/2$  кинетик энергияли электрон уриб чиқарилишини кўрсатади. Бу электронлар анодгача учиб боради ва занжирда ток ҳосил қилади.

Агар фотокатод ва анод орасига тормозловчи кучланиш қўйиб (170-расм) ва уни аста-секин орттира бориб, кучланишнинг шундай  $U_1$  қийматини топиш мумкинки, бунда занжирдаги фототок тўхтайти. Бу фотозлектронлар анодга етиб бормаганлигини англатади, чунки уларнинг кинетик энергияси тормозловчи электр майдоннинг анод-катод қисмда бажарган ишига тенг (ёки бироз кичик) бўлади:

$$\frac{1}{2} m_e v_1^2 = eU_1.$$

Бу ҳол учун Эйнштейн тенгламаси

$$h\nu_1 = A + \frac{m_e v_1^2}{2} \text{ ёки } h\nu_1 = A + eU_1 \quad (1)$$

кўринишда ёзилади.

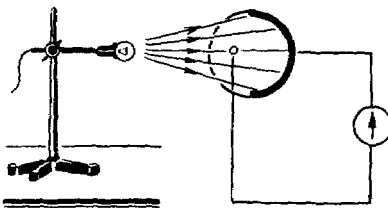
Фотокатодни  $\nu_2$  частотали ёруғлик билан ёритиб, тажриба такрорланади. Бу ҳолда тормозловчи кучланиш  $U_2$  бўлганда фототок тўхтайти ва Эйнштейн тенгламаси

$$h\nu_2 = A + \frac{m_e v_2^2}{2} \text{ ёки } h\nu_2 = A + eU_2 \quad (2)$$

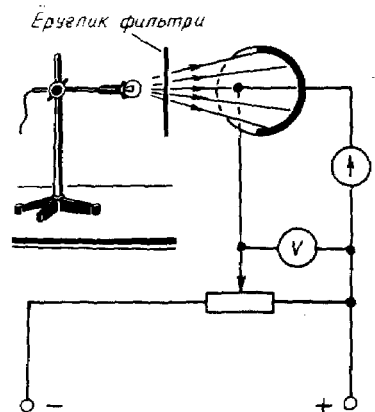
кўринишга эга бўлади. Биз  $h$  ва  $A$  номаълумлари бўлган икки тенглама системасини олдик, (2) дан (1) ни айириб, ҳосил бўлган ифодадан  $h$  ни топсак,

$$h = e \frac{U_2 - U_1}{\nu_2 - \nu_1}$$

бўлади.  $e$ ,  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  ларни билган ҳолда,  $U_1$  ва  $U_2$  кучланишларни тажрибада ўлчаб,  $h$  Планк доимийсини топиш мумкин.



169- расм



170- расм

2. **Экспериментал иш.** Мактаблар учун «Квант-1» махсус асбоблар комплекти чиқарилган, унинг таркибига қуйидаги асбоблар киради: махсус ғилофга жойлаштирилган Ф-26 фотозлементи; лампани ёриткич (6В, 21 Вт); ўлчаш чегаралари  $0 \div \div 1,5$  В бўлган вольтметр; сезгирлиги  $10^{-8}$  А/бўл. бўлган гальванометр, ёруғлик филтрлари, зарғалдоқ ОС-1, яшил ЗС-1, кўк СС-1; қаршиллиги 100 Ом бўлган потенциалометр; бирлаштирувчи симлар. «Квант-1» комплектига кирувчи бу асбоблардан ташқари лампани таъминловчи ток манбаи — гальваник элемент ҳам зарур бўлади.

### Ишни бажариш тартиби

1. 169-расм бўйича қурилмани йиғинг ва занжирда манба бўлмаган ҳолда ҳам фототок борлигига ишонч ҳосил қилинг.

2. 170-расм бўйича занжирни йиғинг ва фотокатодни ОС-1 зарғалдоқ ёруғлик филтридан ўтувчи ёруғлик билан ёритинг.

3. Тормозловчи кучланишни бир текис орттириб, фототокнинг йўқолиш моментини аниқ топинг ва фототок тўхтаган моментдаги  $U_1$  кучланишни ўлчанг.

4. Фотокатодни яшил ва кўк ёруғлик филтрларидан ўтувчи ёруғлик билан ёритиб, тормозловчи кучланишни ўлчанг.

5. Ёруғлик филтрларининг паспортлари бўйича улардан ўтувчи тўлқинларнинг ўртача частотасини аниқланг.

6. Ўлчаш натижалари бўйича Планк доимийсининг учта қийматини ҳисобланг ва ўртача қийматини топинг.

3\*. **Қизиқ тарихий далил.** Илмий олам томонидан ёруғлик кванти (фотон)ни тап олиниши нақадар қийин бўлганлигига қуйидаги тарихий факт гувоҳлик беради.

1911 йили ўша даврнинг энг йирик физиклари, улар ичида М. Планк ҳам бор эди, 34 ёшли А. Эйнштейнни Пруссия академиясининг ҳақиқий аъзоллигига сайлаш учун тавсия этишди. Тавсиянома матнида, жумладан, қуйидагилар ҳам ёзилган эди: «Умуман, айтиш мумкинки, замонавий физиканинг А. Эйнштейн салмоқли ҳисса қўшмаган бирорта ҳам муаммоси йўқ. Агар айрим изланишлар, масалан, унинг ёруғлик кванти ҳақидаги гипотезаси мақсадга олиб келмаган бўлса, буни унинг айби деб билмаслик керак, чунки янги ғоялар илгари сурилганда, айниқса аниқ фанлар бўйича таваккал қилмаслик мумкин эмас».

### 55-§. ФОТОННИНГ ИМПУЛЬСИ

Фотоннинг массаси бўлиши, у импульсга ҳам эга, деган фикрга олиб келади. Фотоннинг импульсга эга эканлиги ёруғлик босими билан ва америкалик физик А. Комптон қўйган махсус тажриба билан тасдиқланади.

1. **Ёруғлик босими.** Биз ёруғлик босимини ёруғликнинг тўлқин

табиати нуқтаи назаридан қараб чиққан эдик (28- §). Аммо унн квант тасаввурлар асосида ҳам тушунтириш мумкин.

Айтайлик, ёруғликни ютувчи сиртга ҳар секундда частотаси  $\nu$  бўлган  $N$  ва фотон тушсин. Ҳар бир фотон сиртга

$$p_1 = \frac{h\nu}{c}$$

импульс беради (53- § га к.).  $N$  та фотонлар томонидан берилган йиғинди импульс

$$p = \frac{N h \nu}{c}$$

бўлади.

Аммо,  $h\nu$  — бу битта фотон энергияси. У ҳолда барча  $N$  та фотонлар томонидан сиртга берилган энергия

$$\Delta W = N h \nu$$

га тенг, шунинг учун

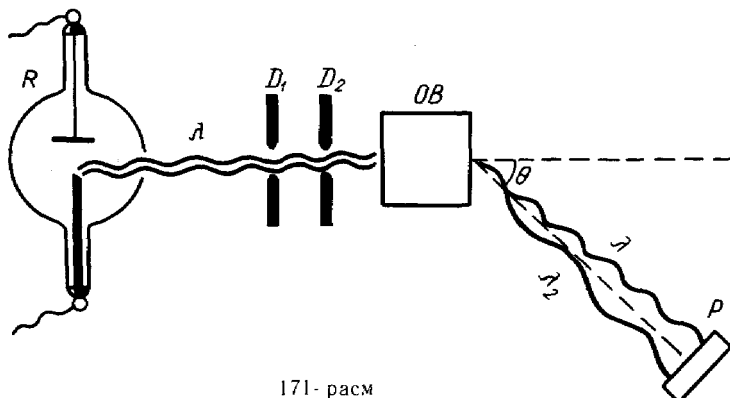
$$P = \frac{\Delta W}{c}$$

келиб чиқади.

**2\*. Комптон эффекти.** 171- расмда Комптон рентген нурларининг модда билан ўзаро таъсирини текширган қурилманинг схемаси келтирилди. Қурилмада  $R$  рентген нурлари манбаидан  $D$  диафрагма орқали  $OB$  модда намунасига (парафин)  $\lambda$  узунликли тўлқинлар келади. Сочилган тўлқинлар  $P$  приёмникда ҳисобга олинади, унда тўлқинлар узунлиги аниқланади. Тажрибаларда қуйидагилар маълум бўлади:

а) сочилган нурланиш таркибида бошланғич  $\lambda$  узунликдаги тўлқинлар билан бир қаторда каттарок  $\lambda_2$  узунликли тўлқинлар ҳам бўлади ( $\lambda_2 > \lambda$ );

б) тўлқин узунликлари фарқи  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda$  тушувчи тўлқин узунлигига ва сочувчи модда табиатига боғлиқ эмас, балки фақат



171- расм



$\theta$  сочилиш бурчагининг қиймати билан аниқланади. Тажрибада куйидаги муносабат топилган:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda = k \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

бу ерда  $k$  — доимий катталиқ.

Кузатилган ҳодисани тўлқин тасаввурлари асосида тушунтириб бўлмайди. Гап шундаки, тўлқин назария нуктаи назаридан сочилган тўлқинлар — бу бирламчи тўлқинларнинг электромагнит майдонида тебранувчи электронлар томонидан уйғотилган иккиламчи тўлқинлардир.

Электронларнинг мажбурий тебранишлари частотаси тушувчи (мажбур этувчи) нурланиш частотасига тенглиги сабабли, сочилган нурланиш узунлиги тушувчи тўлқинлар узунлигига тенг бўлиши керак, ундан катта бўла олмайди, бу эса, тажрибага тўлиқ мос келмайди.

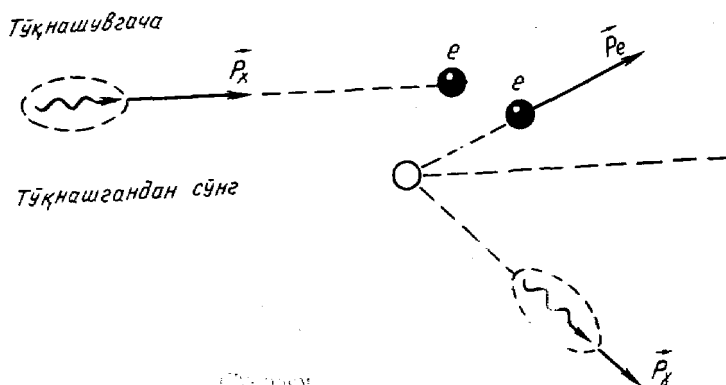
Аммо кузатилган эффект квант тасаввурлар асосида осонгина тушунтирилади. Электромагнит тўлқин фотони унинг энергиясига боғлиқ ҳолда сочувчи модда билан икки хил таъсирлашади.

Агар фотон энергияси электронни атомдан бўшатиш учун зарур бўлган энергиядан кичик бўлса, бу ҳолда у бутун атом билан таъсирланади. Атом массаси фотон массасидан анча катталиги сабабли, бу ўзаро таъсир газ молекулаларининг идиш девори билан ўзаро таъсирини эслатади: фотон атомдан қайтади, унинг частотаси, демак, тўлқин узунлиги ҳам, ўзгаришсиз қолади.

Агар фотон энергияси электронни атомдан бўшатиш учун етарли бўлса, фотон электрон билан ўзаро таъсирлашади, унга энергия ва импульс беради, улар охир-оқибатда иккиламчи фотон (нурланиш) ва электрон орасида қайта тақсимланади (172- расм).

Бу ҳолда иккиламчи фотон энергияси бирламчиникидан кичик, тўлқин узунлиги эса катта бўлади, тажрибада ҳам худди шундай ҳолат кузатилади.

Назарий ҳисоблашларнинг натижаси тажриба далилларини ишлаш натижасига мос келади, бу фотоннинг импульсга эга эканлиги ҳақида фикрни тасдиқлайди.



172-расм

?

1. Фотоннинг импульси борлигининг қандай экспериментал исботларини биласиз?
2. Комптон тажрибасининг ғоясини, экспериментал қурилмаси схемасини ва натижаларини тушунтиринг.
3. Нега Комптон тажрибасининг натижасини тўлқин тасаввурлари асосида тушунтириб бўлмайди?
4. Кўзгудек силлиқланган сиртга секундига  $\nu$  частотали  $N$  та фотон тушади. Нурланишнинг сиртга берадиган босимини аниқланг.

## 56- §. ФОТОХИМИЯВИЙ ҲОДИСАЛАР

**1. Фотохимиявий реакциялар.** Ёруғлик таъсирида, ёритилишсиз ўтмайдиган (бошқа шартлар ўзгаришсиз қолса ҳам) жуда кўп химиявий реакциялар юз беради.

Бундай реакциялар *фотохимиявий реакция* дейилади.

Фотохимиявий реакциялар жуда хилма-хилдир. Мисол тариқасида бундай реакциялардан икки хилини — *синтез реакциясини* ва *бўлиниши (парчаланиши) реакциясини* кўрамиз.

Синтез реакцияси шундан иборатки, бунда бошланғич модда молекулаларининг ёруғлик таъсирида мураккаброк молекула-ларга айланиши юз беради.

Ўсимликларда углеводлар ҳосил бўлиши ва кислород ажрали-ши билан юз берадиган, биринчи босқичи

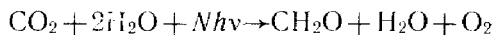


схема бўйича ўтувчи синтез реакцияси энг мухим ҳисобланади. Бу реакциянинг Ердаги ҳаёт учун аҳамияти бекиёсдир, чунки у туфайли углероднинг айланиб туриши таъминланади. Инсон ва ҳайвонларнинг янаши натижасида узлуксиз равишда углерод (кўмир)нинг оксидланиши — карбонат кислота ҳосил бўлиши жараёни юз беради. Агар ўсимликларнинг баргларида карбонат кислотанинг бўлиниши ва кислород ажралиши билан углеводлар ҳосил бўлиши юз бермаганда эди, аллақачон Ердаги ҳаёт тўхтаган бўлар эди. Карбонат ангидрид ( $\text{CO}_2$ )нинг тикланиши учун ҳар бир молекулага 5 эВ энергия керак бўлади, шунинг учун фотосинтезга тўлқин узунлиги 700 нм бўлган учтадан кам бўлмаган фотонлар керак, ана шундай фотонлар хлорофилга максимал ютилади.

Фотосинтезнинг бошқа реакциясига айрим бактерияларнинг организмда куйидаги

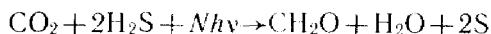
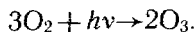


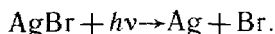
схема бўйича юз берувчи реакция мисол бўла олади. Фотосинтез реакциялари натижасида Ер юзиде йилга 100 млрд. т. органик моддалар ва эркин ҳолдаги кислороднинг асосий қисми ҳосил қилинади. Фотосинтез вақтида йилга истеъмол қилинадиган Қуёш энергияси инсоният томонидан истеъмол қилинадиган ҳамма энергиядан кўп марта катта.

Фотосинтез реакциясига яна бир мисол сифатида ультрафиол-нафша нурланиш таъсирида озон ҳосил бўлишини олиш мумкин,

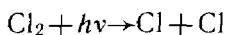
бу реакция куйидаги схема бўйича кечади:



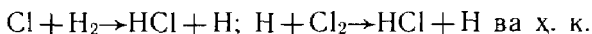
Бўлиниш (парчаланиш) реакцияси ёруғлик таъсирида мураккаброк молекулалардан оддийрок молекулалар ҳосил бўлишига олиб келади. Мисол учун, ёруғлик таъсирида аммиак азот ва водородга, кумуш бром тузи ( $AgBr$ ), кумуш ва бромга ажралади:



**2. Фотохимиявий реакцияларнинг асосий қонуниятлари.** Фотохимиявий реакциялар анчадан буён маълум. Аммо, уларни ўрганиш анча мураккаб, чунки бу реакциялар тез-тез иккиламчи реакциялар билан биргаликда кечади. Айниқса, водород билан хлорнинг ўзаро таъсирлашишида иккиламчи реакцияларнинг роли яққол кўринади. Химия курсидан маълумки, коронгида бу газлар ўзаро таъсирлашмайди. Бу газларнинг аралашмаси коронгида узок вақт ўзгаришсиз қолади. Аммо аралашмани киска муддатли ёритиш ҳам шиддатли реакцияга — портлашга олиб келади. Бунинг моҳияти шундаки, хлор молекуласининг иккита атомга ажралишидан иборат бирламчи фотореакция



кейинроқ занжир реакцияга олиб келади:



Бошланган реакция ўз-ўзига хлор ва водород атомларини етказиб беради ва портлаш билан тамом бўлади.

Бирламчи фотохимиявий реакциялар учун куйидаги қонуниятлар аниқланган:

1) Фотохимиявий реакция давомида реакцияга киришган модда массаси модда томонидан ютилган ёруғлик энергиясига пропорционалдир:

$$m = kE,$$

бу ерда  $k$  — фотохимиявий реакция табиатига боғлиқ бўлган коэффициент.

2) Ҳар бир фотохимиявий реакция учун  $\nu_0$  минимал частота мавжуд. Частотаси  $\nu_0$  минимал частотадан кичик бўлган ёруғлик берилган фотохимиявий реакциянинг бошланишига сабаб бўлмайди (фотохимиявий реакциянинг қизил чегараси). Турли фотохимиявий реакциялар учун қизил чегара турлича бўлади.

**3. Фотохимиявий реакцияларнинг тушунтирилиши.** Классик физика фотохимиявий реакцияларнинг тажрибада топилган қонуниятларини тушунтира олмади. Квант физикасида эса бу қонуниятлар аниқ тушунтирилади.

Молекула ичидаги атомлар химиявий боғланишлар билан ушлаб турилади, молекула  $E$  энергияли фотонни ютса, бу боғланишлар узилади, натижада молекула парчаланadi. Аммо фотон энергияси кичик ( $h\nu < h\nu_0$ ) бўлса, фотохимиявий реакция юз бермайди.

**4. Фотография.** Фотохимиявий ходисалар фотография асосида ётади. Фотосуратни олиш жараёни тўртта асосий операциялардан иборат: расмга олиш (съёмка), очилтириш (проявление), мустахкамлаш (закрепление), нусха кўчириш (копирование).

Расмга олиш фотоплёнканинг ёруғликни сезувчи қатламида объектив ёрдамида расмга олинувчи объектнинг ҳақиқий тасвирини ҳосил қилишдан иборат. Фотосезувчан қатлам желатинадан иборат, унда кумуш тузларининг (масалан, кумуш бром тузининг) майда дончалари бўлади. Ёруғлик таъсирида кумуш атомлари ажралади. Экспозиция тўғри бўлганда, ажралган кумуш атомлари сони ёритилганликка пропорционал бўлади. Расмга олишда ажралган кумуш атомлари миқдори жуда оз ва плёнкага қаралганда кўринмайди. Шунинг учун фотоплёнкада ҳосил қилинган тасвир яширин тасвир дейилади.

Очилтириш — бу фотоплёнкаларга ишлов бериш жараёни бўлиб, бунда яширин тасвир кўринадиган тасвирга айланади. Очилтиришнинг моҳияти шуки, махсус эритма — очилтирувчи (проявитель) таркибига кирувчи реактивлар таъсирида фотоэмульсиянинг илгари (расмга олишда) фотохимиявий реакция натижасида эркин кумуш атомлари ажралиши бошланган дончаларида кумуш атомлари ажралиши давом этади. Эмульсия дончаларида ёруғлик таъсирида ажралган кумуш атомлари ўзига ҳос катализаторлар вазифасини ўтайди. Ҳар бир ана шундай кумуш атоми атрофида очилтирувчи таъсирида кўшимча равишда бир неча миллион эркин кумуш атомлари ажралади. Плёнканинг қаерида ёруғлик таъсирида ажралган кумуш атомлари кўп бўлса, ўша ерни, яъни ёритилганлиги катта бўлган жойлари кучлироқ қораяди. Очилтирилгандан сўнг фотоплёнкада яхши кўринадиган негатив тасвир ҳосил бўлади.

Мустахкамлаш — бу плёнкага химиявий ишлов бериш жараёнининг иккинчи босқичи бўлиб, бунда кумуш тузларининг парчаланишга улгурмаган барча ёруғликка сезгир дончалари фотоқатламдан кетказилади. Агар бундай қилинмаса, фотоплёнка ёруғликда қорайиб кетади. Фотоқатламдан реакцияга киришмаган кумуш дончаларини кетказиш учун плёнка махсус эритма — мустахкамловчи (закрепитель)га туширилади. Тасвирларни мустахкамлаш операцияси плёнкани сувда тозалаб ювиш билан тугатилади, бунинг натижасида реакцияга кириша олмай қолган ёруғликка сезгир дончалар қолдиғи кетказилади.

Нусха кўчириш — бу тасвирни фотоплёнкадан фотосезгир қатлам билан қопланган фотоқоғозга кўчириш операциясидир. Расмга олинган объектнинг негатив тасвири катталаштиргич (увеличитель) ёрдамида фотоқоғозга туширилади (проекцияланади). Қоғознинг ёруғликка сезгир қатламида ҳосил қилинган яширин тасвир бу ҳолда ҳам очилтирилади, мустахкамланади ва яхшилаб ювилгандан сўнг қурилади.

?

1. Қандай реакциялар фотохимиявий реакция дейилади?
2. Синтез ва парчаланиш фотохимиявий реакцияларига мисоллар келтиринг.
3. Фотохимиявий реакцияларнинг асосий қонуниятларини таърифлаб беринг.
4. Фотохимиявий реакцияларнинг асосий қонуниятларини квант физикаси позициясида туриб тушунтиринг.
5. Нима сабабдан чўлганма лампа ёруғлиги таъсирида озон ҳосил бўлмайди?

## 57-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ НУРЛАНИШНИНГ ИККИ ЕҶЛАМАЛИК ТАБИАТИ

**1. Нурланишнинг табиати ҳақида.** Бу бобда биз электромагнит нурланиши (шу жумладан ёруғлик ҳам) электромагнит майдон зарралари — фотонлар кўрinishида нурланиши, тарқалиши ва ютилишини кўрсатувчи қатор ҳодисаларни қараб чиқдик. Аммо дифракция, интерференция, дисперсия, қутбланиш ҳодисаларини ўрганишда биз нурланишнинг тўлқин характерга эга эканлигига ишонч ҳосил қилган эдик.

Қатор ҳолларда (босим, қотиш, синиш) электромагнит нурланишнинг хусусиятлари ҳам тўлқин, ҳам квант тасаввурлар асосида бир хилда яхши тушунилиши ва тушунтирилиши мумкин. Бейхтиёр савол туғилади: нурланиш ўзи нима? Унинг ҳақиқий табиати қандай? Нима бу — фотонлар оқимими ёки тўлқинларми?

Саволнинг бундай қўйилиши асосли, аммо нотўғридир. Гап шундаки, электромагнит нурланиш бир вақт ҳам квант, ҳам тўлқин хусусиятларга эга. Нурланишнинг тўлқин ва квант хусусиятларининг бирлиги квант назариянинг асосий формулаларида ҳам ўз аксини топган:

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c}.$$

Бу формулалардаги  $E$  энергия,  $p$  импульс ва  $h$  Планк доимийси ёруғликни фотонлар оқими сифатида характерлайди,  $\nu$  частота эса, ёруғликни тўлқин сифатида талқин этади. Бундан, *ҳар бир алоҳида фотон бир вақтда ҳам квант, ҳам тўлқин хусусиятларига эга эканлиги келиб чиқади.* Ёруғликнинг квант ва тўлқин хусусиятлари бир-бирини инкор этмайди, балки бир-бирини тўлдиради.

**2. Микдорий ўзгаришларнинг сифат ўзгаришларга ўтиши.** Электромагнит нурланишнинг, бир қарашда зиддиятлидек туюлган икки ёқламалик хусусиятини намоён бўлишида ниҳоятда қизик ва муҳим қонуният бор: тўлқин узунлиги қанча қисқа бўлса, квант қонуниятлар шунча яхши бажарилади ва аксинча, тўлқин узунрок бўлган сари нурланишнинг тўлқин хусусиятлари шунча яхшироқ намоён бўлади.

Табиатнинг энг умумий қонуни — микдор ўзгаришларининг сифат ўзгаришларига ўтиш қонуни ана шунда намоён бўлади.

Куйида келтирилган жадвал юқорида айтилган фикрларни жуда яхши акс эттиради.

5 - жадвал

| Нурланишнинг номи      | Частота, Гц                         | Хусусиятларининг устуңлиги |
|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Ўзгарувчан ток         | $5 \cdot 10^1$                      | тўлқин                     |
| Юқори частотали тоқлар | $5 \cdot 10^1 - 2 \cdot 10^4$       | — « —                      |
| Узун радиотўлқинлар    | $2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$       | — « —                      |
| Ўртача —»—             | $3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$       | — « —                      |
| Қиска —»—              | $3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$       | — « —                      |
| Метрли —»—             | $3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$       | — « —                      |
| Дециметрли —»—         | $3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$       | — « —                      |
| Сантиметрли —»—        | $3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$    | — « —                      |
| Миллиметрли —»—        | $3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$ | — « —                      |
| Инфракизил нурланиш    | $3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$ | тўлқин ва квант            |
| Кўринадиган — « —      | $4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$ | — « —                      |
| Ультрабинафша — « —    | $8 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$ | — « —                      |
| Рентген нурланиши      | $3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{20}$ | — « —                      |
| Гамма-нурланиши        | $3 \cdot 10^{20}$ ва ундан катта    | квант                      |

## 7- МАШҚ

1. Рентген нурланиши фотонининг энергияси, массаси ва импульсини топинг.

3. Агар фототок 1,0 В ушлаб қолувчи кучланишда тўхтаса, фото-электронлар тезлиги қанча бўлади?

3. Қизил ( $\lambda_{\text{к}} = 760$  нм) ва бинафша ( $\lambda_{\text{б}} = 380$  нм) ёруғлик фотонлари энергияларининг нисбатини топинг.

4. Агар бирор нурланиш фотонининг энергияси 3,0 эВ бўлса, бу нурланиш тўлқин узунлиги қандай бўлади?

5. Радиостанция 3 м.ли тўлқинда ишлайди, нурланиш қуввати 1 Вт. Бу нурланиш фотонининг энергиясини ва 1 с.да чиқувчи фотонлар сонини топинг.

6. Тўлқин узунлиги  $1,6 \cdot 10^{-8}$  м бўлган нурланиш фотонининг импульсини топинг.

7. Квант тасавурлардан келиб чиқиб, 70 фоиз фотонни ютувчи ва 30 фоиз фотонни қайтарувчи сирга бўлган босимни ҳисобланг. Тушувчи фотонлар оқимининг энергияси  $E = h\nu$  га тенг.

## IX БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Электромагнит нурланиш манбаи атомлар ҳисобланади. Электромагнит нурланиш электромагнит майдон зарралари — фотонлар кўринишида чиқарилади, тарқалади ва ютилади.

2. Нурланишнинг квант характери биринчи марта М. Планк томонидан 1900 йили иситилган жисмларнинг иссиқлик нурланишини тушунтиришда аниқланган эди.

Кейинрок, 1905 йили А. Эйнштейн ёруғлик, бу  $E = h\nu$  — энергияли фотонлар оқими, ёруғлик  $E = h\nu$  энергияли квантлар

кўринишида тарқалади ва ютилади, деган ғояни илгари сурди. Еруғликнинг квантлар кўринишида тарқалишини Боте тажрибаси, ютилишнинг квант характерини эса, фотоэффект ходисаси тасдиқлади.

3. Фотон энергияга, массага ва импульсга эга. Фотоннинг энергияга эга эканлиги унинг бошқа энергия турларига (фотоэффект, фотосинтез, бошқа фотохимиявий реакциялар) айланиши билан тасдиқланади. Фотоннинг импульси борлигини еруғлик босими ва Комптон эффекти тасдиқлайди. Фотоннинг массаси борлиги энергия ва массанинг ўзаро боғлиқлик қонунидан келиб чиқади. Аммо фотоннинг массаси зарра ва жисмлар массасидан принципиал равишда фарқланади. Бу — тинчликдаги масса эмас. Фотон тинчликдаги массага эга эмас.

4. Фотохимиявий реакциялар инсоният ҳаётида ниҳоятда муҳим роль ўйнайди (масалан, фотосинтез).

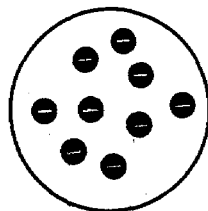
5. Барча электромагнит ходисалар тўплами электромагнит нурланиш бир вақтда квант ва тўлқин хоссаларига эга эканлигига гувоҳлик беради. Электромагнит нурланишнинг квант ва тўлқин хусусиятлари — бу унинг иккита ҳар хил томонлари. Улар бир-бирини инкор этмайди, балки тўлдиради. Электромагнит нурланишнинг тўлқин хоссалари кичик частоталарда жуда аниқ намоён бўлади, катта частоталарда эса — унча аниқ бўлмайди. Аксинча, квант хусусиятлар катта частоталарда жуда аниқ намоён бўлади, кичик частоталарда эса унча аниқ бўлмайди.

## Х б о б. АТОМ

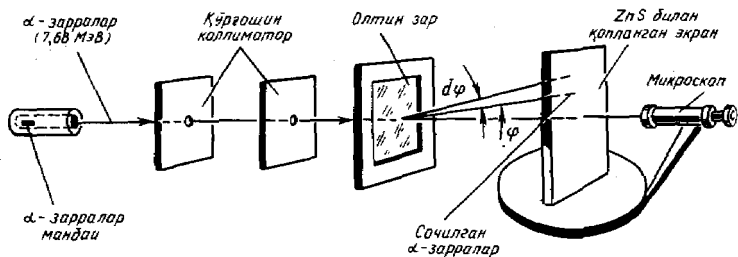
### 58-§. АТОМНИ УРГАНИШ ТАРИХИДАН

XIX аср охирида атомнинг мураккаб тузилишга эга эканлигини кўрсатувчи далиллар пайдо бўлди. Айниқса, бу 1896 йили француз олими А. Беккерель уран тузлари қандайдир номаълум нурланиш манбаи эканлигини аниқлагандан сўнг яққол бўлиб қолди. Бу нурланиш кейинчалик *радиоактив нурланиш* номини олди. Радиоактив нурланишнинг ионлаштириш қобилиятини ўрганган Резерфорд 1899 йили бу нурланишнинг бир жинсли эмаслигини ва икки қисмдан иборатлигини аниқлади, уларни  $\alpha$ - ва  $\beta$ -нурлар деб атади. У  $\alpha$ -нурлар мусбат зарядли заррачалар оқими эканини исботлашга муваффақ бўлди. Ҳақиқатан ҳам 1903 йили А. Беккерель  $\beta$ -нурлар электронлар оқими эканини исботлади.

1. **Атомнинг Томсон модели.** Радиоактив нурланиш атом таркибига мусбат ва манфий зарядланган зарралар киришини кўрсатди. 1903 йил инглиз физиги Ж. Ж. Томсон атомнинг биринчи моделини таклиф этди. Томсон фикрича, атомлар мусбат зарядланган моддадан иборат бир жинсли шарлар бўлиб, уларда электронлар бўлади (173-расм).



173-расм



174- расм

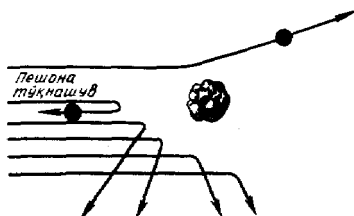
Электронларнинг йнғинди заряди атомнинг мусбат зарядига тенг. Шунинг учун атом бир бутун ҳолда электр нейтрал бўлади.

Атомдаги электроннинг мувозанат ҳолатидан четланиши қайтарувчи куч пайдо бўлишига олиб келади. Шунинг учун қандайдир йўл билан мувозанат ҳолатдан чиқарилган электрон тебранишлар қилади, шу боис электромагнит нурланиш манбаи бўлади.

**2. Резерфорд тажрибаси.** 1911 йили Э. Резерфорд ўз ходимларига атомнинг Томсон моделининг тўғрилигини тажрибада текшириб кўришни таклиф этди. Тажрибанинг ғояси жуда содда эди. Агар атомнинг Томсон модели ҳақиқатга тўғри келса, жуда юпка металл плёнкадан тез ҳаракатланувчи  $\alpha$ - зарраларнинг энсиз дастаси ўтказилганда, экспериментаторлар бу зарраларнинг сезиларли оғишларини кузатмасликлари керак.

Экспериментал қурилманинг схемаси 174- расмда кўрсатилди.  $\alpha$ - заррачаларни нурлантирувчи радиоактив препарат жуда кичик тешикчали кўрғошин идишга жойлаштирилган. Идиш тешикчасидан учиб чикувчи  $\alpha$ - заррачаларнинг энсиз дастаси жуда юпка олтин фольгага тушади. Фольга атрофида айлана олувчи экраннинг  $\alpha$ - заррачалар тушган жойида чакнашлар пайдо бўлади. Чакнашлар микроскоп ёрдамида кузатилади.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, қалинлиги бир неча минг атомлараро масофага тенг бўлган плёнкадан ўтишда  $\alpha$ - заррачаларнинг жуда оз микдори ўз ҳаракати йўналишини кескин ўзгартиради (175- расм). Мисол учун, қалинлиги  $6 \cdot 10^{-7}$  м бўлган олтин фольгадан 5 МэВ энергияли-заррачалар ўтганда ўртача 20 000 заррачалардан фақат биттаси  $90^\circ$  бурчакка оғади. Тажрибаларнинг натижаларини таҳлил қилиб, Резерфорд электронга нисбатан катта массага эга бўлган ва нихоятда катта ( $v \approx 10^7$  м/с) тезлик билан ҳаракатланувчи  $\alpha$ - заррачалардан айримларининг ўз йўлидан кескин оғиши, агар мусбат зарядлар фольга ҳажми бўйича бир текис эмас, балки бир-бирдан катта ораликлар билан ажратилган қандайдир зичлашган соҳачалар кўринишида тақсимланган дейилса,



175- расм



осонгина тушунтириш мумкин, деган хулосага келади. Металлардан атомлар жуда зич жойлашгани сабабли, бу зичлашган соҳачалар атомлар ичида бўлиши керак.

**3. Атомнинг Резерфорд модели.** Резерфорд  $\alpha$ - заррачаларнинг юпка металл фольгадан ўтишдаги сочилиши бўйича ўтказилган тажрибаларни чуқур таҳлил қилиб, 1911 йили атомнинг ядро моделини таклиф этди. Бу моделга кўра, атом зарраларнинг мураккаб системаси бўлиб, унинг марказида  $+Ze$  мусбат зарядли массив ядро жойлашган (176- расм), ядро атофида  $Z$  электронлар айланади. Атомнинг деярли ҳамма массаси ядрога тўп-ланган.

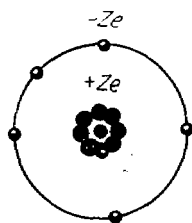
Атомнинг ядро модели классик физикага зид бўлиб чиқди.

1-зиддият. Максвелл назариясига кўра тезланиш билан ҳаракатланувчи ҳар қандай заряд узлуксиз равишда электромагнит тўлқинлар нурлантириши керак. Ядро атофида айланувчи электронлар марказга интилма тезланиш билан ҳаракатланади, бинобарин, Максвелл электродинамикасига кўра, улар узлуксиз равишда электромагнит тўлқинлар нурлантириши керак. Ваҳоланки, нормал ҳолатдаги атомлар нурланмайди.

2-зиддият. Қундалик тажрибалар атомларнинг турғунлигини кўрсатади. Аммо электромагнит тўлқинлар нурлантиргани сабабли ядро атофида айланувчи электронларнинг энергияси узлуксиз равишда камайиши ва улар ядрога яқинлашиб бориши ва охири унга «тушиши» керак эди. Ҳисоблашларнинг кўрсатишича, электронларнинг ядрога «тушиш» жараёни  $10^{-8}$  с ичида тугаши керак.

Шундай қилиб, агар классик электродинамика нуқтаи назардан ёндошилса, атомларнинг узоқ вақт мавжуд бўлиши далили билан атом тузилишининг Резерфорд модели бир-бири билан келиша олмайди.

XIX аср охирида умуман чизикли спектрларни ўрганишда ва



176- расм

айниқса водороднинг чизикли спектрини ўрганишда катта ютуқларга эришилган эди. Бир қарашда спектрдаги чизикларнинг жойлашуви тасодифийдек туюлади. Аммо диққат билан таҳлил қилиш, 1885 йили Швейцария мактабларидан бирининг физика ўқитувчиси И. Балъмерга водороднинг кўринадиган спектридаги чизикларга мос келувчи частоталарни қуйидаги



177- расм

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

формула билан ҳисоблаш мумкинлигини аниқлашга имкон берди, бу ердаги  $R$  — Ридберг доимийси деб юритилувчи қандайдир доимий катталиқ,  $n$ ,  $m$  — доимий сонлар, улар, мос ҳолда 1, 2, 3, 4 ... ва  $n+1$  кийматларни қабул қилади.

Бу формула Бальмер формуласи деб юритилади.

Резерфорднинг ядро модели бундай спектрал қонуниятларни тушунтира олмади.

Буларнинг ҳаммаси классик электродинамика ва Ньютон механикасига таянувчи атом тузилишининг ядро модели атомда юз берувчи ҳодисаларни тушунтиришга яроқли эмаслигини кўрсатади.

### 59-§. АТОМНИНГ БОР МОДЕЛИ

Дания физиги Н. Бор 1913 йили атомнинг тамоман янги моделини яратишга уришиб кўрди. У ўз олдига Резерфорднинг атом тузилиши ядровий моделини, чизикли спектр қонуниятларини ва ёруғлик сочилиши ва ютилишининг квант характерини бирлаштириш мақсадини қўйди. Бор ўз назариясининг асосига иккита постулатни қўйди.

**1. Бор постулатлари.** Бор постулатлари қуйидагича ифодаланиши мумкин:

1) Атомлар, улардаги электронлар тезланиш билан ҳаракатланишига қарамай, узоқ вақт нурланмайдиган ҳолатларда бўлиши мумкин. Бу ҳолатлар стационар ёки рухсат этилган ҳолатлар номини олган. Стационар ҳолатларнинг ҳар бирида атом фақат қатъий бир аниқ қийматга эга бўла олади:  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ .

Атомнинг барча стационар ҳолатлари 1 дан чексизгача номерланади. Атомнинг стационар ҳолати номери бош квант сони деб номланган.

2) Атом бир стационар ҳолатдан иккинчи стационар ҳолатга сакраш билан ўтиши мумкин. Атом каттароқ энергияли  $m$ -ҳолатдан кичикроқ энергияли  $n$ -ҳолатга ўтганда у нурланади. Нурланиш частотаси

$$v = \frac{E_m - E_n}{h}$$

формула билан аниқланади. Атомнинг  $E_1$  энг кичик энергия мос келувчи ҳолати асосий ҳолат, юқорироқ ( $E_2, E_3, \dots, E_m$ ) энергиялар мос келувчи ҳолатлари — қўзғалган ҳолатлар дейилади.

**2. Водород атомининг чизикли спектри қонуниятларини тушунтириш.** Бор постулатлари тажрибада аниқланган спектрал чизикларнинг барча қонуниятларини тушунтириш имконини берди: спектрал чизиклар атомларнинг кўзғалган стационар ҳолатлардан кичикроқ энергияли у ёки бу стационар ҳолатларга

ўтишларига мос келади. Водород атомининг турли қўзғалган ҳолатлардан битта стационар ҳолатга ўтишда ҳосил бўладиган барча спектрал чизиқлар серияларга бирлаштирилган ва уларга бу серияларни кашф этган олимларнинг номи берилган: Л а й м а н серияси ( $n=1$ ), Б а л ь м е р серияси ( $n=2$ ), П а ш е н серияси ( $n=3$ ), Б р э к е т серияси ( $n=4$ ), П ф у н д серияси ( $n=5$ ).

178-расмда водород атомидаги электроннинг стационар ҳолатлари ва мос серияларнинг ҳосил бўлишига олиб келувчи улар орасидаги ўтишлар схематик тасвирланди. Ўтишлар стрелкалар билан белгиланди. 1, 3, 4 ва 5 чизиқлар спектрнинг ультрабинафша қисмида жойлашган.

**3. Бор назариясининг аҳамияти ва камчиликлари.** Бор назарияси атомнинг тузилиши ҳақидаги тасаввурларнинг ривожланишида муҳим қадам бўлди. Водород спектридаги чизиқларга мос келувчи частоталарнинг назарияда топишган ва тажрибаларда аниқланган қийматларини тенглиги, шунингдек водородсимон атомларнинг тушунтирилиши Бор постулатлари атомларда юз берувчи жараёнларнинг объектив қонуниятларини ақс эттиришини кўрсатади. Борнинг кўп ғоялари (ўзгартирилган кўринишда бўлса ҳам) атомнинг замонавий квант назариясида сақланиб қолган.

Бор назарияси асосида атомнинг магнит майдондаги ҳуққатворини, элементларнинг Менделеев жадвалида жойлашиш тартибини, каттарок тартиб номерларга ўтилгани сари атомлар тузилишининг мураккаблашиб боришини тушунтириш мумкин бўлди.

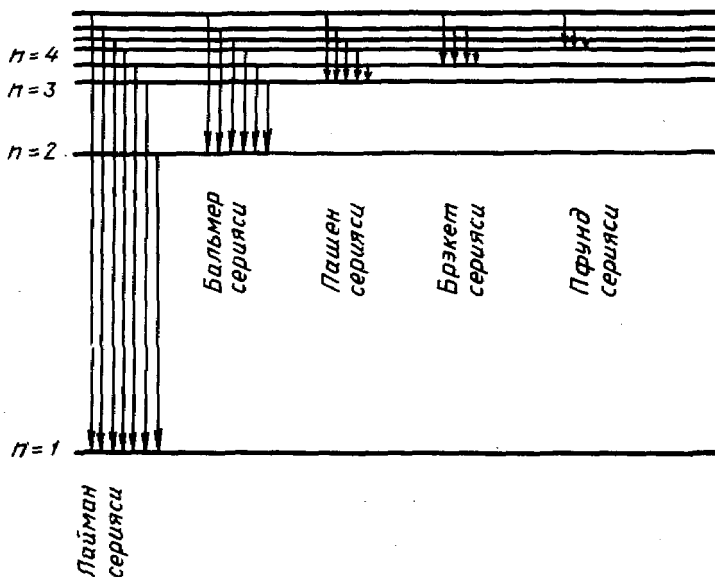
Бор назарияси микроолам ҳодисаларини тушунтиришда классик тасаввурлардан воз кечиш кераклигини кўрсатди ва атомнинг квант назариясини яратишда муҳим босқич бўлди. Аммо Бор назарияси тўлиғича изчил эмас эди. У классик физикага зид бўлган қатор квант тасаввурларни киритди ва шу билан бир вақтда айрим классик тасаввурларни ҳам (масалан, электрон траекторияси тушунчаси) сақлаб қолди.

Бор назариясининг изчил эмаслиги, ички зиддиятларга эгаллиги унинг гелий атомини ва бошқа элемент атомларини тушунтира олмаслигида кўринади. Бор назарияси атомларнинг бир ҳолатдан бошқасига ўтиш сабаблари ҳақидаги саволга жавоб бера олмади.

Шунинг учун Бор назарияси ўз ўрнини атомнинг янада тақомиллашган назарияси — квант назариясига бўшатиб берди. Квант назарияси ўта мураккаблиги туфайли ўрта мактабда ўрганилмайди.

?

1. Атомнинг Резерфорд модели билан классик физика орасидаги асосий зиддиятларни кўрсатинг.
2. Бор постулатларини таърифланг ва нима учун улар киритилганлигини тушунтириб беринг.
3. Бальмер тажрибада топган формулани ёзинг ва унга кирувчи катталикларнинг аҳамиятини тушунтиринг.



178- расм

4. Бальмер формуласини Бор постулатлари асосида тушунтиринг.
5. 178- расмни диққат билан ўрганинг ва қандай принцип асосида водороднинг спектрал чизиқлари серияларга бирлаштирилишини тушунтиринг.

## 60- §. ЛАЗЕР — КОГЕРЕНТ НУРЛАНИШ МАНБАИ

1. Одатдаги манбалардан келувчи ёруғлик когерент эмас. Маълумки, жуда кўп турли-туман ёруғлик манбалари (аланга, чўғланма лампа толаси, учқунли ва ёйли электр разряди лампаларидаги газ, люминафорлар ва ҳ. к.) мавжуд. Аммо ёруғлик манбалари турли-туман бўлишига карамай уларнинг ишлаши асосида ёруғлик генерациясининг битта механизми ётади.

Ёруғлик атомлар, молекулалар ва ионлар томонидан нурланади. Атом (молекула, ион) турғун (асосий) ҳолатда бўлганда, у нур сочмайди. Бундай ҳолатда атом чексиз узоқ вақт бўлиши мумкин. Аммо атом, унга ташқи электромагнит майдон ёки зарралар (масалан, бошқа атомлар ёки электронлар) таъсир этиши натижасида қўзғалган ҳолатга ўтиши мумкин. Атомнинг қўзғалган ҳолатда бўлиш вақти жуда кичик. Чунончи, қўзғалган водород атомининг яшаш вақти  $10^{-7} - 10^{-8}$  с.

Атом қўзғалган ҳолатдан асосий ҳолатга ўтганда ўзидан фотон чиқаради. Атомнинг нур сочиш вақти  $10^{-8}$  с тартибда, нурланган энергия эса,  $\Delta W \approx 10^{-19}$  Ж га тенг.

Ёруғлик манбаларидаги нур сочувчи атомлар сони жуда катта. Хусусан, ёруғлик қуввати 5 Вт бўлган лампада (бундай қувватга,

мисол учун, ёруғлик ФИК си 5 фоиз бўлган юз ваттли чўғланма, лампа эга бўлади). Ҳар секундда бирданига

$$N = \frac{5Вт}{10^{-19}Ж/10^{-8}с} \approx 5 \cdot 10^{11}$$

та атомлар нур сочади.

Бу — ҳар секундда лампа чўғланиш толасининг  $5 \cdot 10^{11}$  атоми бир-бирига боғланмаган ҳолда фотонлар чиқаради демакдир.

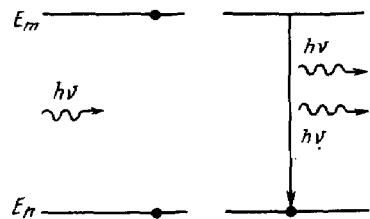
Атомларнинг кўзғалган ҳолатдан кўзғалмаган ҳолатга ўтиши ўз-ўзидан юз берганлиги сабабли, нурланиш ҳар хил кутбланиш текислигига эга бўлган ва ҳар хил фазали фотонлардан иборат бўлади. Ҳар хил атомлар нурланишининг фазалари ва кутбланиши орасида ҳеч қандай мослик йўқ. Ҳар хил атомлар нурланишининг частоталари ҳам ҳар хил. Бундай нурланиш когерент эмас. Унинг тўлкинлари фазода турғун интерференцион манзара ҳосил қилмайди. Кўз қандайдир ўртачалашган ёритилганликни қабул қилади.

Чўғланма лампалар, нурланувчи газли трубкалар, люминесцент манбалар ва бошқалардан нурланувчи ёруғлик, стадионда бўлғуси мусобақадан олдинги говур-ғувурни эслатади, бунда ўз қўшилари билан бўлғуси мусобақа ҳақида фикр алмашаётган одамларнинг ўзаро мослашмаган овозлари қўшилиб, умумий шовкинни ҳосил қилади.

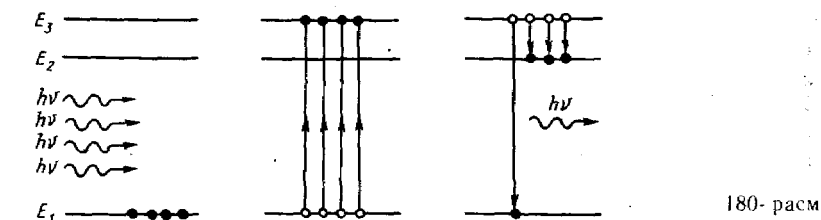
**2. Мажбурий (индукцияланган) нурланиш.** А. Эйнштейн 1916 йили назарий текширишлар асосида атомларнинг кўзғалган ҳолатдан кўзғалмаган ҳолатга ўтиши на фақат ўз-ўзидан (спонтан), балки мажбурий (индукцияланган) бўлиши ҳам мумкин, деган хулосага келди. Бундай ўтиш кўзғалган атом ёнидан ўтувчи бошқа фотон таъсирида содир бўлиши мумкин. Бунда кўзғалган атом (молекула, ион) ўзини кўзғалган ҳолатдан кўзғалмаган ҳолатга ўтишини юзага келтирган фотондан мутлақо фарқланмайдиган фотон чиқаради. Бунда индукцияланган нурланишни юзага келтирувчи фотон ҳам ўзгармайди (179-расм).

Фотон ўз йўлида кўзғалган атомга тўқнашиб, ундан ўз қиёфадошини уриб чиқаргандек бўлади. Ҳар иккала фотонлар бир хил частота, ҳаракат йўналиши, фаза ва кутбланиш текислигига эга бўлади.

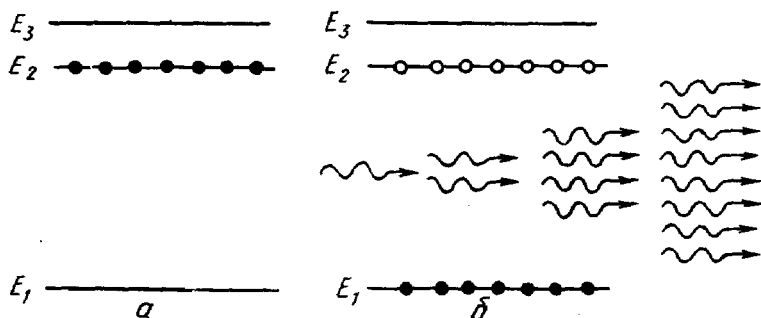
**3. Ёруғликни кучайтириш.** Машҳур физик В. А. Фабрикант 1939 йили ёруғликни кучайтиришнинг мажбурий нурланиш ҳодисасидан фойдаланишга асосланган усулини таклиф этди. Бу усулнинг моҳияти қуйидагича. Айрим моддаларнинг атомларида шундай кўзғалган стационар ҳолатлар борки, атомлар бу ҳолатларда анча узок вақт давомида (бир неча секунд) бўла олади. Бундай ҳолатлар *метастабил* ҳолат номини олган. Атомларида



179-расм



180- расм



181- расм

метастабил ҳолатлари бўлган моддаларга рубин-алюминий оксиди  $Al_2O_3$  мисол бўла олади, уларда алюминий атомларининг бир қисми ўрнини метастабил ҳолатлари бўлган хром ионлари эгаллаган.

Рубин ёруғлик билан ёритилганда хром ионлари кўзғалади ва  $E_3$  энергетик сатҳга мос келувчи ҳолатга ўтади (180- расм). Жуда қисқа вақт оралиғи ( $10^{-8}$  с) ўтгандан сўнг кўзғалган хром атомларининг кўпчилиги  $E_2$  метастабил сатҳга ўтади.

$E_3$  сатҳдан  $E_2$  сатҳига ўтишда нурланиш бўлмайди; бу ўтишда ажралган энергия кристалл панжарага берилади, натижада кристаллнинг температураси кўтарилади. Агар рубин кристали узок вақт давомида ёритилса, хром ионларининг  $E_2$  метастабил сатҳига электронларнинг жуда зич «жойлашуви» юз беради (181- а расм). Агар рубин стерженга унинг учларидан бири орқали стержен ўки йўналишида кучсиз ёруғлик дастаси тушса,  $E = h\nu$  энергияси хром ионининг метастабил ва асосий ҳолатлари энергиялари айирмаси  $E_2 - E_1$  га тенг бўлган фотонлар бу ионларнинг  $E_2$  ҳолатдан  $E_1$  ҳолатга ўтишларини ва ана шундай

$$h\nu = E_2 - E_1$$

энергияли фотонларнинг нурланишини юзага келтиради. Фотонлар сони икки марта ортади. Мажбурий тебранишларнинг фотонлари хром ионларининг ўтишларини юзага келтирувчи фотонлардан фақат энергия ва частоталари бўйича эмас, балки фазалари, тарқалиш йўналишлари ва қутбланиши бўйича ҳам фарқланмайди. Сони икки марта ортган бир хилдаги фотонлар рубин стержен ичида ҳаракатланиб, хромнинг янги ионлари нурланишини юзага

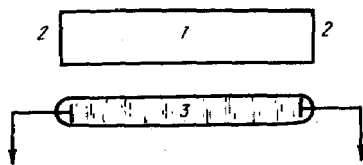
келтиради. Бунда фотонлар сони кучайтирилувчи ёруғлик дастасидаги бошланғич сонидан 4 марта ортади. Рубин стерженда метастабил ҳолатдаги хром ионлари етарли миқдорда бўлар экан, бу жараён давом этади ва стерженнинг иккинчи учига томон ҳаракатланувчи фотонлар сони шиддат билан кўчкисимон ортади (181- б расм). Бунинг натижасида рубин стержендан, унга кирган ёруғликка когерент бўлган ёруғлик дастаси чиқади, яъни ёруғлик дастасининг кучайиши юз беради.

Аммо фақат ёруғлик дастаси энергиясининг ортишигина муҳим эмас. Ундан ҳам муҳими, шундай йўл билан частотаси, фазаси ва ҳаракат йўналиши бир хил бўлган фотонлар оқимидан иборат когерент тўлкинлар дастасининг олинишидир.

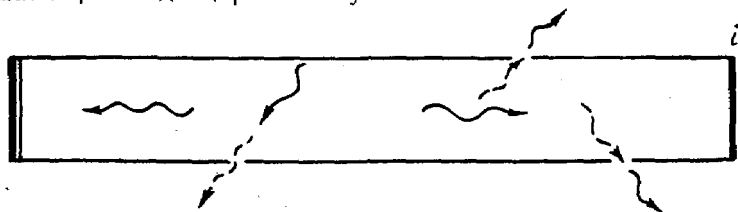
**4. Когерент нурланиш генератори.** Атомларнинг метастабил ҳолатдан турғун ҳолатга мажбурий ўтиши принциpidан фойдаланиб ёруғликни кучайтиришдан когерент нурланиш генерациясигача бир қадам қолади, холос. Биринчи марта когерент нурланиш генератори ҳақидаги гоёя 1957 йили Н. Г. Б а с о в ва А. М. П р о х о р о в л а р ва улардан беҳабар ҳолда америкалик физик Ч. Т а у н с томонидан айтилган эди. Биринчи когерент ёруғлик генератори америкалик физик Т. М е й м а н томонидан қурилган. 182- расмда бу генераторнинг асосий қисмлари кўрсатилди. Рубин стержень 1, кўзгу 2 ва ксенон газ разряди лампаси 3, бу лампанинг нурланиши рубин стерженга тушиб, ундаги хром ионларини кўзғалган ҳолатга ўтказди.

Агар хром ионлари кўзғатилган ва улардан бир қисми метастабил ҳолатда бўлса, система турғун бўлмайди. Ундаги хром ионларининг метастабил ҳолатдан асосий ҳолатга спонтан (ички сабаб натижасида вужудга келадиган) ўтишлари эҳтимоллиги жуда юкори бўлади. Бундай ўтишларда  $h\nu = E_2 - E_1$  энергияли фотонлар нурланади. Спонтан нурланган фотоннинг ҳаракат йўналишини олдиндан билиш қийин — у ихтиёрий. Спонтан нурланган ҳар хил фотонлар ҳар хил йўналиш бўйича ҳаракатланади. Агар фотон стержен ўқиға параллел бўлмаган йўналиш бўйича чиқарилган бўлса, у тезда ён девор орқали стержендан чиқиб кетади (183- расм).

Аммо спонтан чиқарилган фотонлар ичида рубин стержен ўқиға параллел равишда ҳаракатланув-



182- расм



183- расм

чилари ҳам, албатта, бўлади. Улар ўз йўлида хром атомларининг индукцияланган ўтишларини ҳосил қилади ва фотонлар сони (улар стержень учига етгунча) тез ортади. Бу фотонлар стержень учидаги кўзгудан қайтиб (тўлик ёки қисман), яна стержень ўки бўйлаб ҳаракатланади ва улар сонининг ортиши давом этади.

Фотонлар оқими ҳар сафар ярим шаффоф кўзгуга етганда, унинг бир қисми когерент нурланиш дастаси кўринишида ташқарига чиқади. Барча фотонларнинг ҳаракат йўналишлари бир хиллиги сабабли, кичик дастада жуда катта нурланиш энергияси тўпланади.

Мажбурий когерент нурланиш манбалари *лазерлар*\* деб юритилади. Бундай ном берилишининг боиси шундаки, генерация жараёнида асосий ролни индукцияланган нурланиш ҳисобига ёруғлики кучайтириш жараёни ўйнайди. Лазерларнинг бир тури — когерент нурланишнинг молекуляр генераторлари (лазерлар)ни яратишга олиб келган. Н. Г. Басов, А. М. Прохоров ва америкалик физик Ч. Таунс лазерлар соҳасидаги ишлари учун Нобель мукофотига сазовор бўлишган (1964 й.).

Лазерлар яратилиши билан оптиканинг когерент ёруғликнинг хоссаларини ва мумкин бўлган қўлланишларини ўрганувчи янги бўлимлари юзага келди.

**5. Лазерларнинг қўлланишлари.** Лазерлар замонавий техникада кенг қўлланилади.

Лазерларнинг амалий қўлланишидаги йўналишлардан бири лазер нури дастасида жуда катта кувват (ўнлаб мегаватт) тўпланиши билан боғлиқ. Лазерлар кийин эрийдиган материалларни пайвандлаш ва кесиш учун, тешиқлар тешиш (масалан, олмосларда) учун, медицинада нозик ва мураккаб операциялар (масалан, кўзнинг оқ тушган тўр пардасини эритиб ёпиштириш) ўтказиш учун ишлатилади. Ярим ўтказгич асбоблар ишлаб чиқаришда лазерлар ёрдамида нуктавий пайванд амалга оширилади.

Лазерларнинг қўлланишидаги бошқа йўналиш лазерлардан чиқарилган ёруғлик тарқалишда деярли сочилмаслиги билан боғлиқ. Лазер нурунинг бу хусусиятидан, масалан, метрополитен линияларини қуришда, геодезияда масофа ва бурчакларни ўлчашда, кема, самолёт ва ракеталарнинг тезлиги ва ҳаракат йўналишини аниқлашда, сайёраларни локациялашда фойдаланилади.

Лазерлардан фойдаланишдаги учинчи йўналиш лазерлардан нурланувчи ёруғликнинг когерентлиги билан боғлиқ: лазер нури ниҳоятда ингичка спектрга эга, уни модуляциялаш ва унинг ёрдамида турли маълумотларни узоқ масофаларга узатиш мумкин.

---

\*«Лазер» сўзи инглизча қуйидаги ифодадаги сўзларнинг биринчи ҳарфларидан тузилган: «Light amplification by stimulated emission of radiation» — таржимаси «Ёруғликни мажбурий нурланиш билан кучайтириш».



Ҳозирги кунда лазер алоқа линиялари ишга туширилган. Лазерлар товуш ва телевизион тасвирларни ёзиб олиш ва қайта кўрсатишда ва замонавий техниканинг бошқа соҳаларида фойдаланилади.

Лазерларнинг қўлланишидаги асосий йўналишларнинг тўлиқ бўлмаган рўйхати ана шулардан иборат.

?

1. Қандай нурланиш индукцияланган нурланиш дейилади?
2. Еруғликни кучайтириш нимадан иборат?
3. Рубинли лазернинг схемасини чизинг ва унинг ишлаш принципини тушунтиринг.
4. Лазерларнинг қўлланишидаги асосий йўналишларни номма-ном айтиб беринг.

## 61-§. ЗАРРАЛАРНИНГ ТЎЛҚИН ХОССАЛАРИ

Бор назарияси атомнинг табиати ва унинг таркибига кирувчи зарралар ҳақидаги ўша вақтда шаклланган тасаввурларни қайта кўриб чиқишга ёрдам берди.

**1. Де Бройль гипотезаси.** Л. де Бройль 1924 йили тўлқин ва корпускула хоссаларига эга бўлган электромагнит нурланишга ўхшаб, атомлар ва улар таркибига кирувчи зарралар ҳам ана шундай хоссаларга эга бўлади деган гипотезани илгари сурди. Бунда де Бройль биринчи марта фотонлар учун топилган:

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

муносабатлар универсал характерга эга ва зарралар учун ҳам ўринли деб ҳисоблади.

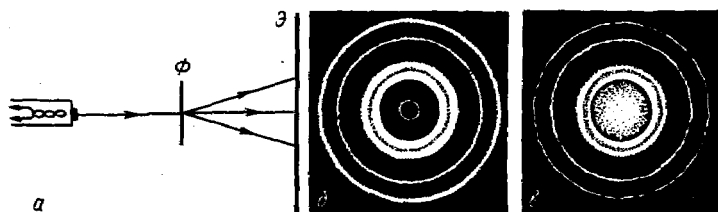
Де Бройль ғоясига кўра ҳар қандай зарра ва хатто ҳар қандай жисм тўлқин хоссаларига ҳам эга. Зарра (ёки жисм)нинг тўлқин узунлиги ва частотаси куйидаги

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}, \quad \nu = \frac{E}{h}$$

формулалари билан аниқланиши мумкин. Де Бройль гипотезаси тез кунда тажрибада тасдиқланди: тажрибада электронлар дифракцияси кузатилди.

**2. Электронлар дифракцияси.** Биринчи марта электронлар дифракцияси америкалик физиклар К. Дэвиссон ва Л. Жермерлар томонидан кузатилган (184- расм). Катта тезлик билан ҳаракатланувчи электронлар дастаси, бу тажрибада электронлар учун ўзига хос дифракцион панжара ролини ўйновчи, юпка фольгага йўналтирилади. Электронлар фольгадан ўтиб, яхши чақнайдиган люминесценцион экранга тушади. Экранда аниқ дифракцион манзара кузатилади.

184- б расмда фольга тез ҳаракатланувчи электронлар билан ёритилганда олинган дифракцион манзаранинг фотосурати келти-



184- расм

рилди, 184-в расмда эса, фольга рентген нурлари билан ёритилганда олинган ана шундай фотосурат берилди. Хар иккала фотосуратларнинг бир-бирига ўхшаши ҳайрон қоларли даражада.

Дэвиссон ва Жермер тажрибаларида ва шунга ўхшаш бошқа тажрибаларда электронлар дифракцияси *электронлар оқими* учун кузатилади. Аммо дифракция ҳодисаси алоҳида электронлар учун ҳам хосми? Бу саволга И. Б. Биберман, Н. Т. Сушкин, В. А. Фабрикантлар томонидан ўтказилган тажриба жавоб берди. Уларнинг тажрибасида электронлар оқими шундай кучсиз эдики, асбоб орқали улар битта-биттадан ўтар эди. Экспозиция вақти етарли катта бўлганда электронлар оқимининг интенсивлиги катта бўлган ҳолдагидан фарқланмайдиган дифракцион манзара ҳосил бўлади. Бинобарин, электроннинг тўлқин хоссалари электронлар дастасига эмас, балки ҳар бир алоҳида электронга хос хусусият экан.

Шунингдек, протонлар, нейтронлар, атомлар ва молекулаларнинг ҳам дифракцияси кузатилган эди. Шундай қилиб, де Бройль гипотезаси тажрибада тўлиқ тасдиқланди.

**3. Модданинг корпускуляр — тўлқин дуализми ҳақида.** Тажрибаларда исботланганлигига қарамай электрон, протон, нейтрон ва атомлар бир вақтда ҳам тўлқин, ҳам зарра хусусиятига эга бўлишига ишониш қийин. Бу қийинчилик шу билан боғлиқки, биз аτροφимиздаги бевосита қабул қилинадиган макродунё ҳақидаги билимларимизни беихтиёр микродунё зарраларига кўчираемиз. Бизнинг барча кундалик тажрибаларимиз, физикавий объектлар ҳақидаги барча билимларимиз, микродунёни ифодалашда фойдаланган барча тушунчаларимиз, буларнинг ҳаммаси макродунё физикасидан олинган.

Аммо атом ва унинг таркибига кирувчи зарралар биз кундалик ҳаётимизда ва макрожисмлар физикасида тўқнашган ҳеч бир нарсага ўхшамайди. Уларни классик физика тушунчалари асосида ҳар томонлама тўла ва аниқ ифодалаб бўлмайди. Бу зарра ҳам эмас, тўлқин ҳам эмас, уларнинг биргаликда олингани ҳам эмас, аммо уларда ҳам зарраларнинг, ҳам тўлқинларнинг хоссалари бор.

Йўл-йўлакай шуни ҳам таъкидлаб ўтамизки, тўлқин хоссалар макроскопик жисмлар учун ҳам хос, аммо кичиклиги туфайли биз уларни сезмаймиз. Мисол учун, 100 м/с тезлик билан ҳаракатланган 1 кг массали жисмга узунлиги

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}}{1 \text{ кг} \cdot 100 \text{ м/с}} = 6,626 \cdot 10^{-36} \text{ м}$$

бўлган де Бройль тўлкини мос келади. Бундай узунликни ўлчаб бўлмайди. Массаси  $1 \text{ м/с}$  тезлик билан ҳаракатланувчи  $1 \text{ г}$  массали нўхатга узунлиги  $\lambda = 6,626 \cdot 10^{-31} \text{ м}$  бўлган тўлқин мос келади.

Электромагнит нурланишнинг икки ёқламалик табиати ҳақида илгари айтилган (57- § га қ.) ва модданинг иккиёқламалик табиати тўғрисида юқорида баён этилган фикрларни эслаб, улар асосида қуйидаги умумлаштиришни қилиш мумкин: модда ва электромагнит майдон зарралари бир вақтда ҳам тўлқин, ҳам корпускуляр хусусиятларга эга. Бунда шароитга қараб, бу икки хусусиятдан гоҳ униси, гоҳ буниси ёркинрок намоён бўлади. Уларнинг бу хусусияти дуализм (лотинча *dualis* — иккиёқламалик) номини олган.

?

1. Де Бройль гипотезаси нимадан иборат?
2. Электронлар дифракциясини қандай кузатиш мумкин?
3. Электронлар дифракцияси нимани исботлайди?
4. Тўлқин — зарра дуализмининг моҳияти нимадан иборат?
5. Энергияси  $15 \text{ кэВ}$  бўлган электрон учун де Бройль тўлқин узунлигини аниқланг.

#### 8- МАШҚ

1.  $9 \cdot 10^7 \text{ м/с}$  тезлик билан учувчи электронга мос келадиган де Бройль тўлқин узунлиги нимага тенг?

2. Электромагнит тўлқинлари де Бройль тўлқинларининг хусусий ҳоли деб ҳисоблаб, бу ҳолда фотонлар вакуумда ёруғлик тезлигига тенг тезлик билан тарқалишини ва тинчликдаги массага эга эмаслигини исботланг.

#### X БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. XIX асрнинг иккинчи ярмида атомларнинг мураккаб тузилишга эга эканлигига гувоҳлик берувчи далиллар тўплана бошлади. Физикада модданинг тузилиши тўғрисида янги далиллар тўплана бориши билан атомларнинг тузилиши ҳақидаги аниқ тасаввурлар ривожланди. XX аср бошида атомнинг Томсон модели кўпчилик томонидан тан олинди. Э. Резерфорд ва унинг ходимлари ўтказган тажрибалар Томсон моделининг асоссизлигини кўрсатди. Унинг ўрнини Резерфорднинг ядровий модели эгаллади (1911 й.). Ядровий модель классик физикага зид ва спектрал қонуниятларни тушунтира олмас эди. Н. Бор 1913 йили атом тузилишининг, Резерфорд ядровий моделини, чизикли спектр қонуниятларини, нурланиш ва ютилишнинг квант характерини бирлаштирувчи тамомила янги моделини яратишга уриниб кўрди. Бор назарияси атом тузилиши ҳақидаги тасаввурларнинг ривожланишида йирик кадам бўлди. Унинг кўпгина ғоя ва тасаввурлари атомнинг замонавий назариясига кирган.

2. Аммо Бор назарияси қутилмаган қийинчиликларга дуч келди. Чунончи, бу назария гелий ва бошқа моддалар атомларининг тузилишини, нурланишнинг табиатини тушунтира олмади. Бундан ташқари Бор назариясида бир вақтда классик ва квант тушунчалардан фойдаланилган эди. Чунончи, атомдаги электрон-

ларга ядронинг электростатик майдонида кулон кучлари таъсирида аниқ орбиталар бўйлаб ҳаракатланувчи моддий нукталар сифатида қаралган, кейин эса бу соф классик моделга квант сакрашлари киритилган. Бор назариясидан фойдаланиб атомларнинг турғунлигини ҳам тушунтириб бўлмади. Булардан бошқа қийинчиликлар ҳам аниқланган эди.

Атомнинг Бор назарияси дуч келган қийинчиликлар уни қайта кўриб чиқиш зарурлигини кўрсатар эди. Бундай қайта кўриш натижаларидан бири зарраларнинг тўлқин хоссалари ҳақидаги Л. де Бройль гипотезаси бўлди (1924 й.). Де Бройль гипотезаси тез орада тажрибада тасдиқланди (1927 й.). Атом ва атом зарралари корпускуляр хоссалар билан бир қаторда тўлқин хоссаларга ҳам эга эканлиги маълум бўлди. *Корпускуляр-тўлқин дуализми — модда зарралари ва электромагнит майдон фотонларининг умумий хоссаси бўлиб чиқди.*

3. Одатдаги манбалардан чиқарилувчи ёруғлик когерент эмас. Лазерлар — когерент ёруғлик манбаларидир.

## XI б о б. АТОМ ЯДРОСИ

### 62-§. АТОМ ЯДРОСИНИ ЎРГАНИШ ТАРИХИДАН

Атом ядросининг кашф этилиши ва ўрганилиш тарихи ниҳоятда ибратли ва кизиқарлидир. Ядро ҳақидаги замонавий тасаввурлар секин-аста, экспериментал далиллар тўпланишига қараб шакллانган. Бу шаклланишнинг муҳим босқичларига тўхталиб ўтамиз.

**1. Атом ядросининг кашф этилиши. Унинг ўлчамларини аниқлаш.** Резерфорд тажрибалари (1911 й.) атом ичида мусбат ядро борлигига шубҳа қолдирмайди. Бу тажрибаларнинг натижалари  $\alpha$ -зарралар ядрога яқинлашган энг киска  $x$  масофани баҳолаш имконини берди. Бу масофада  $\alpha$ -зарранинг кинетик энергияси

$$W_p = \frac{q_n q_\alpha}{4\pi\epsilon_0 x}$$

формула билан ҳисоблаш мумкин бўлган электростатик итаришиш потенциал энергиясига тўлиқ айланади.

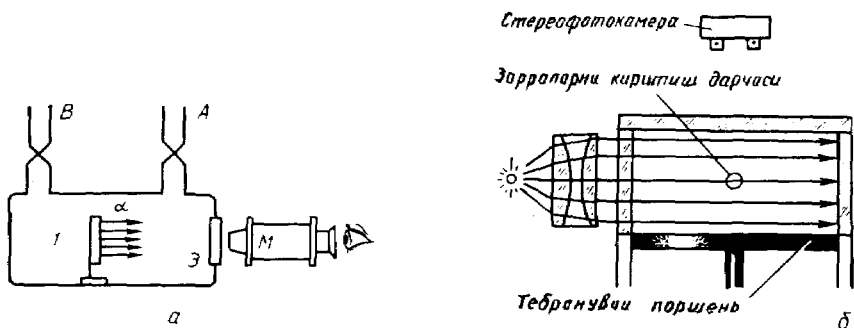
Равшанки,  $q_n = Ze$ ,  $q_\alpha = 2e$ ,  $W_p = W_k$ . У ҳолда

$$W_k = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 x}$$

бўлади, бундан

$$x = \frac{Ze^2}{2\pi\epsilon_0 W_k}$$

топилади. Агар  $\alpha$ -зарранинг кинетик энергиясини  $W_k = 5 \cdot 10^6$  эВ деб қабул қилсак ва олтин учун  $Z = 79$  эканини эътиборга олсак,



185- расм

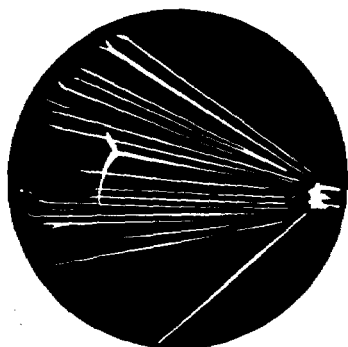
$x \approx 10^{-14}$  м бўлади. Бундан,  $\alpha$ - зарра ва атом ядроси радиусларининг йиғиндиси  $10^{-14}$  м дан кичик экани келиб чиқади. Демак, атом ядросининг диаметри  $10^{-14}$  м дан бўлиши керак экан. Замонавий далиллар бўйича ядроларнинг ўлчамлари  $10^{-14} \div 10^{-15}$  тартибда.

Резерфорд тажрибасида  $\alpha$ -зарралар атом ядролари билан тўқнашганда уларнинг парчаланиб кетмаганлиги атом ядроларининг мустаҳкамлигини кўрсатади.

**2. Протоннинг кашф этилиши.** Э. Резерфорд 1919 йили азот атомларини  $\alpha$ -зарралар билан бомбардимон қилиш бўйича ўз тажрибаларини амалга оширди. 185-а расмда бу мақсадда фойдаланилган асбобнинг схемаси тасвирланди. Тажрибанинг бошланишида *I* камера ҳаво билан тўлдирилган бўлади, тажриба давомида ҳаво *A* трубка орқали сўриб олинади. *B* трубка орқали камера азот билан тўлдирилиши мумкин. Камеранинг ўнг томонидаги деворига зарядли зарраларнинг урилиши таъсирида ёритувчи *Э* экран қилинган.  $\alpha$ -зарралар манбаи камера ичида ҳаракатлана олади. Экранда ҳосил бўлган чакнашлар *M* микроскоп ёрдамида кузатилади.

Тажриба бошида  $\alpha$ -зарралар манбаи экрандан шу қадар узоқлаштириладики, экранда чакнашлар кўринмай қолади. Бу  $\alpha$ -зарралар экранга етиб келмаганлигини билдиради. Кейин камерадаги ҳаво сўриб олиниб, унинг ўрнига азот гази киритилади. Экранда чакнашлар пайдо бўлади. Резерфорд экран  $\alpha$ -зарраларнинг азот атомлари билан тўқнашувида азот атомларидан учиб чиққан қандайдир бошқа зарралар таъсирида ёришади деб тахмин қилади.

Бу тахминни текшириб кўриш учун бошланғич қурилма 185-б расмда тасвирланган Вильсон камераси билан алмаштирилади. Бу камеранинг юқориги қопқоғи тиник, туби вазифасини эса, кескин туширилиши мумкин бўлган поршень ўтайди. Вильсон камерасида азотдан ташқари тўйинган сув (ёки спирт) буғи ҳам бўлади. Камеранинг туби (поршень) кескин туширилганда ундаги буғ совиёди ва ўта тўйинган бўлиб қолади. Айтайлик, ана шу моментда камерага  $\alpha$ -зарралар учиб кирсин. Бу зарралар газ (азот) молекулалари билан тўқнашиб, уларни ионлаштиради ва



186- расм

сув бугининг конденсацияланиш марказларини ҳосил қилади. Ўта тўйинган сув буғи азот ионларида конденсацияланади, натижада, атмосферанинг юқори қатламларида учувчи самолёт қолдирадиган изга ўхшаш трек — туман изи ҳосил бўлади.

Треklar бевосита кузатилиши мумкин, аммо одагда уларнинг фотосурати олинади. 186- расмда Резерфорд тажрибасида  $\alpha$ - зарралар ҳосил қилган треklarнинг фотосурати кўрсатилди. Кўлгина тўғри чизиqli треklar орасида «вилкалар»

(айрилар) ҳам учрайди, улардан бири фоторасмда кўриниб турибди. Бу «вилка» нимани англатади? Бу саволга жавоб бериш учун Вильсон камераси магнит майдонга жойлаштирилади. Магнит майдонда излар эгриланади. Бу — излар зарядли зарраларга тегишли эканини кўрсатади. Треklarнинг эгилишига қараб, улардан бири  $\alpha$ - заррага, иккинчиси — заряди  $+e$  га ва массаси водород ядросининг массасига тенг бўлган заррага, учинчиси — кислород ядросига тегишли эканлиги аниқланади.

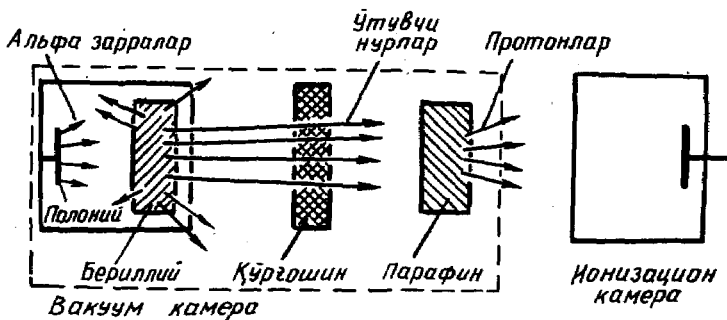
Шундай қилиб, азот  $\alpha$ - зарралар билан бомбардимон қилинганда азот ядросидан водород атомининг ядроси уриб чиқарилади, у *протон* деб номланган. Бу натижа ядро таркибига протонлар қирувчи мураккаб система эканлигидан далолат беради.

**3. Нейтроннинг кашф этилиши.** Э. Резерфорд 1920 йили массаси протон массасига тенг бўлган, аммо электр зарядига эга бўлмаган зарра мавжуд бўлиши керак, деган тахминни айтган эди. Аммо бундай заррани Резерфорд топа олмади.

Бундан ўн йил ўтгандан сўнг немис олимлари В. Боте ва Г. Беккерлар бериллийни  $\alpha$ -зарралар билан бомбардимон қилинганда ўтиш қобилияти ниҳоятда катта бўлган қандайдир нурлар пайдо бўлишини аниқлашди, улар каттик  $\gamma$ -нурлар олдик, деб ўйлашади.

Француз олимлари Ф. Жолио-Кюри ва И. Жолио-Кюрилар 1932 йили бериллийни  $\alpha$ -зарралар билан бомбардимон қилинганда олинган нурларни текширишга қарор қилишди. Энг аввало улар бу нурлар хаводан ўтганда уни деярли ионлаштирмаслигини аниқлашди. Аммо уларнинг йўлига парафин ёки кўп водородли бошқа бирор модда жойлаштирилса, нурларнинг ионлаштириш қобилияти кескин ортади (187- расм).

Уша 1932 йили инглиз олими Д. Чедвик (Резерфорднинг ходими) бериллийни  $\alpha$ -зарралар билан бомбардимон қилинганда  $\gamma$ -нурлар эмас, балки электр зарядига эга бўлмаган, массаси ва ўлчами бўйича протонларга яқин бўлган қандайдир зарралар оқими чиқади деган гипотезани илгари сурди. Бу зарраларни у *нейтронлар* деб атади. Нейтронлар зарядсиз бўлгани сабабли,



187- расм

хисоблагичдан ўтишида улар ҳеч қандай ионлаштиришни юзага келтирмайди.

Нейтронлар бевосита камерага тушса, ҳар минутда бир нечта зарра қайд қилинади холос. Зарраларнинг бу сони камера олдига юпка қўрғошин экран қўйилганда ҳам ўзгармайди, аммо камера олдига юпка парафин пластинка қўйилса, унга тушувчи зарралар сони кескин ортади. Ҳар минутдаги санаشلар сонининг ортиши шу билан боғлиқки, нейтронлар парафиндаги водород атомларининг ядролари билан тўқнашиб, парафиндан протонларни уриб чиқаради, улар ионизацион камерага тушади ва қайд қилинади.

Эркин, яъни ядро таркибига кирмаган нейтрон фақат 1000 с аф-рофида яшаши мумкин, бундан кейин у протон, электрон ва нейтринога (жуда кичик массали зарра, у билан кейинроқ батафсил танишамиз) ажралади.

?

1. Радиоактивлик ҳодисаси қачон ва ким томонидан кашф этилган?  
У нимадан иборат?
2. Резерфорд тажрибасини 185-а расмдан фойдаланиб тушуниринг.
3. Протон қачон ва қандай кашф этилган?
4. Нейтроннинг кашф этилишини айтиб беринг.
5. Атом ядросини ўрганиш тарихининг асосий босқичларини гапириб беринг.

### 63- §. АТОМ ЯДРОСИНИНГ ТАРКИБИ. БОҒЛАНИШ ЭНЕРГИЯСИ

**Атом ядросининг таркиби.** Нейтрон кашф этилгандан биров кейинроқ (1932 й.) машҳур физик Д. Д. И в а н е н к о, кейинроқ немис физиги В. Гейзенберг атом ядроси протон ва нейтронлардан тузилган, деган фикрни айтишди. Бу зарралар *нуклонлар* деб номланди. Ядро таркибига кирувчи протонлар сони  $Z$  унинг зарядини аниқлайди, у  $Ze$  га тенг.  $Z$  сони химиявий элементнинг Менделеев даврий жадвалидаги тартиб номерини аниқлайди ва *атом номери* ёки ядронинг заряд сони деб юритилади.

Ядрога нуклонлар сони (яъни протон ва нейтронларнинг йиғинди сони)  $A$  ядронинг *масса сони* дейилади. Ядрога нейтронлар сони  $N = A - Z$  га тенг.

Ядроларни белгилаш учун



белгидан фойдаланилади, бу ерда  $X$  — элементнинг химиявий белгиси, юқорига унинг  $A$  масса сони, пастга —  $Z$  атом номери кўйилган.

**2. Изотоплар** — 1906 йилда битта химиявий элементнинг барча атомлари бир хил массага эга бўлмаслиги маълум бўлди.

*Берилган химиявий элемент ядроларининг массаси билан фарқланувчи турли хиллари изотоплар дейилади.* Бир элемент турли изотопларининг хоссалари бир-бирига жуда яқин, бу уларнинг электрон қобиклари бир хил тузилишга эга эканлигидан, ядроларининг зарядлари, демак, улардаги протонлар сони бир хиллигидан далолат беради. Уларнинг номи ҳам шундан келиб чиқиб (грекча «изос» — бир хил ва «топос» — ўрин), бир элементнинг барча изотоплари элементлар Даврий жадвалида бир хил ўринни эгаллашини англатади. Изотоплар массасининг ҳар хиллиги уларнинг ядроларидаги нейтронлар сонининг ҳар хиллиги билан боғлиқ.

**3. Ядровий кучлар.** Оддий далиллар атом ядроларининг мустаҳкамлигидан далолат беради: атрофимиздаги буюмлар зарраларга ажралиб кетмасдан узоқ вақт яшайди. Аммо буни қандай тушунтириш мумкин? Чунки атом ядролари таркибига протонлар киради ва электр ўзаро итаришиш кучлари уларни тарқатиб юбориши керак эди. Бундан ядролар ичидаги нуклонлар орасида электростатик итаришиш кучидан катта бўлган қандайдир кучлар таъсир этади деган хулоса келиб чиқади. Бу кучлар *ядровий кучлар* деб номланган. Ядровий кучлар ҳар қандай нуклонлар (протонлар, нейтронлар, протон ва нейтронлар) орасида таъсир этади. Ядровий кучларнинг ўзига хос хусусияти уларнинг яқиндан таъсир қилишидир:  $10^{-15}$  м масофаларда улар электростатик ўзаро таъсир кучларидан тахминан 100 марта катта, аммо  $10^{-14}$  м масофалардаёқ улар жуда кичик бўлади.

**4. Боғланиш энергияси.** Ядродан протон ёки нейтронни чиқариб юбориш учун яқиндан таъсир ядровий кучларни енгиб, иш бажариш зарур. Нажижада «қолган ядро — чиқарилган нуклон» системасининг энергияси ташқи кучлар бажарган ишга тенг бўлган  $\Delta E$  га ортади.

**Ядрони алоҳида протон ва нейтронларга тўлиқ ажратиш учун зарур бўлган энергия ядронинг боғланиш энергияси дейилади.**

Масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонунига кўра бунда зарраларнинг массаси ҳам

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

га ортади. Демак, ядронинг массаси ҳамма вақт уни ташкил этувчи зарраларнинг алоҳида олинган ҳолдаги массалари йиғиндисидан кичик бўлади. Бу ердаги  $\Delta m$  *масса дефекти* деб юритилади.



Ядро физикасида зарраларнинг массаси массанинг атом бирлиги (м.а.б.) да ифодаланadi. *Массанинг атом бирлиги кўмир* — 12 изотопи атоми массасининг 1/12 қисмига тенг:

$$1 \text{ м.а.б.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Куйидаги жадвалда айрим турғун ядролар ва элементар зарраларнинг массалари келтирилди.

6-жадвал

| Ядронинг белгиси  | Массаси, м.а.б. | Ядронинг белгиси        | Массаси, м.а.б. |
|-------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| ${}^1_1\text{H}$  | 1,008665        | ${}^{14}_7\text{N}$     | 14,003242       |
| ${}^2_1\text{H}$  | 1,007825        | ${}^{16}_8\text{O}$     | 16,999134       |
| ${}^4_2\text{He}$ | 4,002603        | ${}^{235}_{92}\text{U}$ | 235,043933      |

Жадвалдан фойдаланиб, гелий атоми ядросининг

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

боғланиш энергиясини ҳисоблайлик.

Маълумки, алоҳида олинган гелий атоми ядроси, протон ва нейтронларнинг массалари

$m_{\text{He}} = 4,002603$  м.а.б.,  $m_p = 1,007825$ , м.а.б.,  $m_n = 1,008665$  м.а.б. га тенг. У ҳолда

$$\Delta m = (2m_p + 2m_n - m_{\text{He}})$$

массалар фарқи (масса дефекти),  $\Delta m = (2 \cdot 1,007825 + 2 \cdot 1,008665 - 4,002603)$  м.а.б. = 0,030377 м.а.б. га тенг бўлади. Ниҳоят,  $1 \text{ м.а.б.} = 1,660566 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  экани эътиборга олинса,  $\Delta E = 0,030377 \cdot 1,660566 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2$ , ёки  $\Delta E = 0,030377 \cdot 1,660566 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ Ж}$  бўлади. Ядро физикасида энергияни электрон-вольтларда ҳисоблаш кабул қилинган. Маълумки,

$$1 \text{ эВ} = 1,60219 \cdot 10^{19} \text{ Ж.}$$

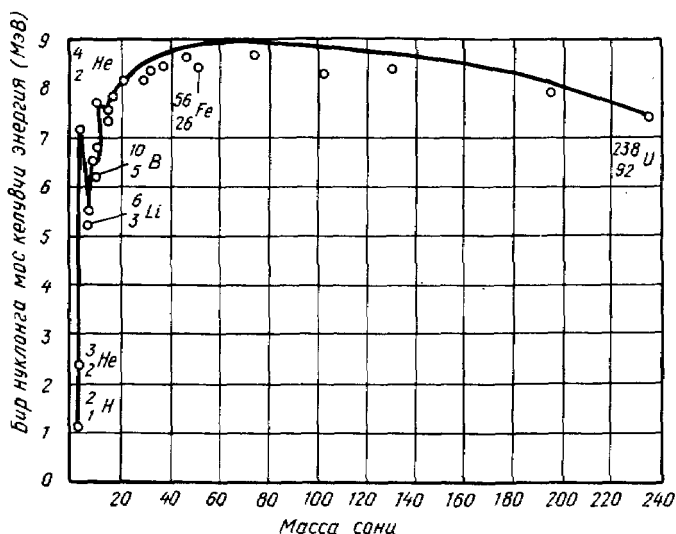
Шунинг учун,

$$\Delta E = 0,030377 \frac{1,660566 \cdot 9 \cdot 10^{-11}}{1,60219 \cdot 10^{-19}} \text{ эВ.}$$

Сезиш мумкинки,

$$\frac{1,66056 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ Ж}}{1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Ж/эВ}} = 931 \cdot 10^9 \text{ эВ} = 931 \text{ МэВ}$$

нисбат масала шартига боғлиқ эмас, шунинг учун ядровий реакцияларда бажарилadиган кейинги ҳисоб-китоблари



188- расм

$$\Delta E = \Delta m \text{ м.а.б.} \times 931 \text{ МэВ/м.а.б.}$$

формула асосида амалга оширамиз. Шундай қилиб, гелий атоми ядросининг боғланиш энергияси учун

$\Delta E = 0,030377 \text{ м.а.б.} \times 931 \text{ МэВ/м.а.б.} \approx 28,2 \text{ МэВ}$  натижа топилади.

Атом ядросининг  $\Delta E$  тўлиқ боғланиш энергиясини ундаги  $N$  нуклонлар сонига бўлиб, *солиштирма боғланиш энергияси* деб юритилувчи

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta E}{N}$$

катталикини топиш мумкин. Гелий атоми ядроси учун солиштирма боғланиш энергияси

$$\Delta \varepsilon = \frac{28,2}{4} \text{ МэВ} \approx 7,05 \text{ МэВ}$$

га тенг. 188- расмда битта нуклонга тўғри келадиган (солиштирма) боғланиш энергиясининг  $A$  масса сонига боғлиқлик графиги келтирилди. Бу графикнинг таҳлили қуйидаги хулосаларни қилишга имкон беради:

а) солиштирма боғланиш энергияси ҳар хил элементларнинг ядролари учун ҳар хил бўлади;

б) энг катта солиштирма боғланиш энергияси масса сонлари 40 дан 100 гача бўлган ядроларга тўғри келади;

в) энгил ядроларда солиштирма боғланиш энергияси ядродаги

нуклонлар сонининг камайиши билан камаяди, оғир ядроларда эса у ядронинг масса сони ортиши билан камаяди.

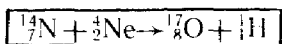
?

1. Атом ядросининг таркибига қандай зарралар киради?
2. Изотоплар нима? Изотопларга мисоллар келтиринг.
3. Ядро кучларини таърифлаб беринг.
4. Боғланиш энергияси нима? У нималарга боғлиқ?

#### 64-§. ЯДРО РЕАКЦИЯЛАРИ. ЯДРО РЕАКЦИЯЛАРИДА ЭНЕРГИЯ АЖРАЛИШИ ВА ЮТИЛИШИ

Натижаси атом ядроларининг қайта тузилишидан иборат бўлган жараёнлар ядро реакциялари дейилади.

**1. Ядро реакцияларида сақланиш қонунлари.** Ядро реакциялари сақланиш қонунларига мос ҳолда ўтади. Хусусан, электр зарядининг, энергиянинг, импульснинг ва нуклонлар сонининг масса сонининг сақланиш қонунлари амал қилади. Мисол тарикасида Резерфорд томонидан 1919 йили амалга оширилган:



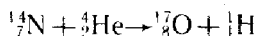
биринчи сунъий ядро реакциясини қараб чиқамиз. Бу реакцияда заррачаларнинг масса сони реакциядан олдин ва реакциядан кейин ҳам 18 га тенг. Зарраларнинг заряди реакциядан олдин 9 e га, реакциядан кейин ҳам 9 e га тенг.

**2. Ядро реакцияларида энергия ажралиши ва ютилиши.** Энергиянинг сақланиш қонуни ва масса энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонуни ядро реакцияларида ажралган ва ютилган энергияларни ҳисоблаб топиш имконини беради. Бунинг учун қуйидагиларни аниқлаш керак:

- а) ядро ва зарраларнинг реакциягача бўлган массаси  $m_1$  ни;
- б) ядро ва зарраларнинг реакциядан кейинги массаси  $m_2$  ни;
- в) массанинг ўзгариши  $\Delta m = m_1 - m_2$  ни;
- г) энергиянинг ўзгариши  $\Delta E = \Delta mc^2$  ни;

Мисол тарикасида бир нечта ядро реакцияларини қараб чиқамиз:

а) Резерфорд реакцияси биринчи сунъий ядро реакцияси эди, уни эслаймиз:



зарраларнинг массасини олдинги параграфнинг охирида келтирилган жадвал бўйича аниқлаймиз:

Реакциягача бўлган масса:

$${}^1_7\text{N} = 14,003242 \text{ м.а.б.}$$

$${}^4_2\text{He} = 4,002603 \text{ м.а.б.}$$

---


$$m_1 = 18,005845 \text{ м.а.б.}$$

Реакциядан кейинги масса:

$${}^{17}_8\text{O} - 16,999134 \text{ м.а.б.}$$

$${}^1_1\text{H} - 1,007825 \text{ м.а.б.}$$

$$m_2 = 18,006959 \text{ м.а.б.}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2;$$

$$\Delta m = (18,005845 - 18,006959) \text{ м.а.б.} = -0,001114 \text{ м.а.б.}$$

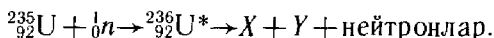
Реакция натижасида энергиянинг ўзгариши

$$\Delta E = \Delta mc^2:$$

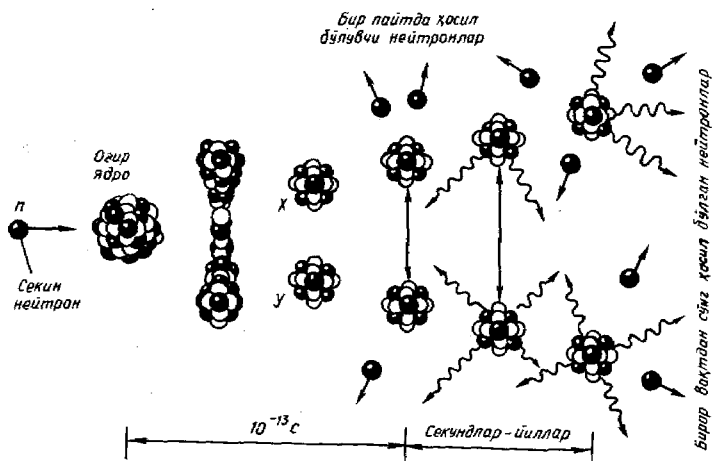
$$\Delta E = -0,001114 \text{ м.а.б.} \times 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.б.}} = -1,04 \text{ МэВ.}$$

Бу ердаги « — » ишора реакциянинг энергия ютилиши билан юз беришини кўрсатади.

**3. Уран ядросининг бўлиниш реакцияси.** Кўп сонли нуклонларга эга булган атом ядролари турғун бўлмайди ва бўлиниб кетиши мумкин. Г. Н. Флёрер ва К. А. Петржак уран ядросининг ўз-ўзидан бўлинишини топишди. Тахминан ўша вақтнинг ўзида немис физиклари О. Ган ва Ф. Штрассман уран ядроси нейтронлар билан бомбардимон қилинганда Менделеевнинг химиявий элементлар даврий системасининг ўрталарига жойлашган элементларга бўлиниб кетишини кашф этишди. Бу ходисани инглиз олими О. Фишер ва австралиялик олим Л. Мейнтерлар тушунтириб беришди. Улар секин ҳаракатланувчи нейтронни бириктириб олган уран ядроси ураниннг  ${}^{235}_{92}\text{U}^*$  радиоактив изотопига айланади, у ўз навбатида тахминан тенг  $x$  ва  $y$  қисмларга бўлинади, бунда бир неча нейтронлар ажралади, деб тахмин қилишган. Реакция куйидаги схема бўйича ўтади (189- расм):



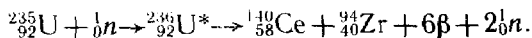
Кейинги текширишлар уран ядроси нейтронлар билан бомбар-



189- расм

димон қилинганда 80 хил бўлақлар ҳосил бўлишини кўрсатди. Шу билан бирга массалари нисбати 2:3 бўлган бўлақларга бўлиниш энг эҳтимолли экани маълум бўлди.

Уран ядросининг мумкин бўлган бўлиниш реакцияларидан бири куйидаги схема бўйича ўтади:



Реакцияда ажраладиган энергияни ҳисоблаймиз.

Бўлинишгача бўлган масса:

235,0439 м.а.б. ( ${}_{92}^{235}\text{U}$ )

1,0087 м.а.б. ( ${}_0^1n$ )

---

$m_1 = 236,0526$  м.а.б.

Бўлинишдан кейинги масса:

139,9054 м.а.б. ( ${}_{58}^{140}\text{Ce}$ )

93,9036 м.а.б. ( ${}_{40}^{94}\text{Zr}$ )

2,0173 м.а.б. ( ${}_0^1n$ )

0,0033 м.а.б. ( $6\beta$ )

---

$m_2 = 235,8296$  м.а.б.

Массалар айирмаси:  $\Delta m = m_1 - m_2 = 0,223$  м.а.б.

Ажралган энергия  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ :

$\Delta E = 0,223$  м.а.б.  $\cdot 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.б}} \approx 208$  МэВ!

Келтирилган ҳисоблашлар уран ядросининг бўлиниш реакцияси энергия ажралаши билан юз беришини кўрсатади. Бу реакция жараёнида уран ядросининг боғланиш энергияси бошқа энергия турларига (бўлақлар ва нейтронларнинг механик энергиясига, нурланиш энергиясига) айланишини англатади.

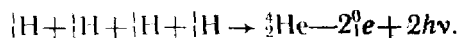
Ҳисоблаш охирида 208 МэВ натижани олиб, ундов белгиси қўйилди. Бу бежиз эмас. Гап шундаки, атом қўламларида бу жуда катта энергия. Қиёслаш учун шуни кўрсатиш кифояки, иккита водород атоми ва битта кислород атомининг бирикишида бор-йўғи 10 эВ энергия ажралади. Битта уран ядросининг бўлиниш реакциясида бундан тахминан 20 миллиард марта кўп энергия ажралади! Агар 1 кг уран-235 нинг барча ядроларининг бўлинишига эришиб бўлганда эди, бунда 20 000000 кВт·соат энергия ажралар эди. Бундай энергияни олиш учун 2000000 тонна кўмирни ёқиш зарур бўлади.

#### 4. Енгил ядроларнинг бирикиш реакцияси.

Америкалик физик Х. Бете 1939 йили Қуёш ва юлдузлар энергиясининг манбаларидан бири уларнинг таркибига кирувчи водороддан гелий ҳосил бўлиши деган гипотезани илгари сурди, бу реакция соддалаштирилган ҳолда куйидагича ёзилиши мумкин\*:

---

\*  ${}^0_1e$  билан белгиланган зарра *позитрон* деб номланган, унинг заряди электрон зарядига тенг, аммо мусбат ишорали, массаси электрон массасига тенг.



Бу реакцияда ажралувчи энергияни ҳисоблаймиз.

Реакциягача бўлган масса:

$$m_1 = 4 \cdot 1,007825 = 4,031300 \text{ м.а.б. (4H)}$$

Реакциядан кейинги масса:

$$4,002603 \text{ м.а.б. (He)}$$

$$0,001098 \text{ м.а.б. (2e}^+$$

$$m_2 = 4,003701 \text{ м.а.б.}$$

Массалар фарқи  $\Delta m = m_1 - m_2$ :

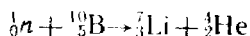
$$\Delta m = 4,031300 - 4,003701 = 0,0276 \text{ м.а.б.}$$

Ажралган энергия:  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

$$\Delta E = 0,0276 \text{ м.а.б.} \cdot 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{м.а.б.}} \approx 26 \text{ МэВ.}$$

### 5. Нейтронларни қайд этиш реакцияси

Нейтронларни қайд этиш учун қуйидаги



реакция асосида ишловчи маҳсус ҳисоблагичлардан фойдаланилади.

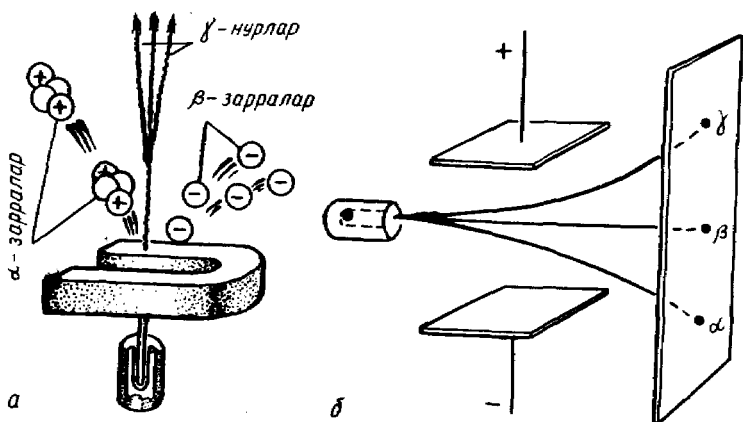
Ҳисоблагич камераси бор фторид  $\text{BF}_3$  гази билан тўлдирилади. Агар камерага нейтрон киритилса, юкорида келтирилган реакция нагжасида  $\alpha$ -зарра ва лигий атомининг ядроси ҳосил бўлади. Бу зарралар уларнинг газ молекулаларини ионлаштириш қобилиятига асосланувчи усуллар билан қайд этилади.

?

1. Қандай жараёнлар ядро реакциялари дейилади?
2. Ядро реакцияларида сақланиш қонунларининг аниқ бажарилишини тасдиқловчи мисоллар келтиринг.
3. Енгил ядроларнинг бирикиш реакциясига мисоллар келтиринг. У энергия ажралиши билан юз беришини кўрсатинг.
4. Уран-235 изотопининг бўлиниш реакциясини ёзинг ва тушунтириб беринг. Бу реакцияда ажралувчи энергиянинг катталигини аниқланг.

### 65-§. РАДИОАКТИВЛИК ҲОДИСАСИ

А. Беккерель томонидан 1896 йили кашф этилган радиоактивлик ҳодисаси (58-§ га қ.) ўша заҳоти кўп олимларни қизиқтириб қолди. М. Складовская-Кюри ўзининг умр йўлдоши П. Кюри нинг маслаҳати билан 1897 йили радиоактивлик ҳодисасини ўрганиш билан шугулланди. Тез орада бу муаммо билан П. Кюри нинг ўзи ҳам шугуллана бошлади. 1898 йили улар иккита янги радиоактив элементни кашф этишди ва уларга полоний ва радий деб ном қўйишди. Бу элементларнинг радиоактив нурланиши уран тузларининг нурланишидан анча интенсив эди.



190-расм

Бизга маълумки, Резерфорд 1899 йили радиоактив нурланишнинг ионлаштириш қобилиятини ўрганар экан, унинг бир жинсли эмаслигини, икки қисмдан иборатлигини аниқлаган ва уларга  $\alpha$ - ва  $\beta$ -нурлар деб ном берган. У  $\alpha$ -нурлар гелий атомлари ядроларининг окимидан иборатлигини исботлашга эришди. Уша йили А. Беккерель  $\beta$ -нурлар электронлар окимидан иборатлигини исботлади.

Француз физиги П. В и л а р д 1900 йили радиоактив нурланиш таркибида учинчи ташкил этувчи ҳам борлигини аниқлади ва уни  $\gamma$ -нурлар деб атади.  $\gamma$ -нурларни ўрганиш шуни кўрсатадики, улар тўлқин узунлиги рентген нурларининг тўлқин узунлигидан кичик бўлган электромагнит тўлқинлар экан.

Шундай қилиб, радиоактив нурланиш  $\alpha$ -,  $\beta$ - ва  $\gamma$ -нурлардан иборатлиги аниқланди. 190-расмда бу нурларнинг магнит майдондаги хатти-ҳаракати акс эттирилди.

Э. Резерфорд ва унинг ходими Ф. Содди 1903 йили радиоактивлик ҳодисаси бир химиявий элементнинг бошқа элементга, масалан, радийнинг родонга айланиши билан биргаликда юз беришини кўрсатишган эди.

Радиоактивлик ҳодисаси ҳамма вақт энергия ажралishi билан бирга бўлади. Маълум бўлишича, 1 г радийдан 600 Ж энергия ажралади, у  $\alpha$ -,  $\beta$ - ва  $\gamma$ -нурлар томонидан олиб чиқилади.

Радиоактивлик ҳодисасини бошида тушунтириб бўлмади. Айниқса, бунда ажралувчи энергиянинг манбаини тушуниб бўлмас эди. Тажрибаларнинг кўрсатишича, радиоактивлик ҳодисасига атомнинг электрон қобигини ўзгартириши мумкин бўлган ташқи таъсирлар (қизитиш, электр ва магнит майдонлар, химиявий бирикма, агрегат ҳолат, босим ва ҳ.к.) ўз таъсирини ўтказмайдми. Бинобарин, радиоактивлик ҳодисасига фақат атом ядросининг ички тузилиши сабаб бўлиши мумкин. Аниқланишича радиоактивлик — айрим атом ядроларининг ўзидан зарралар чиқариши билан ўз-ўзидан бошқа ядроларга айлана олиши хусусияти экан.

**1. Радиоактив емирилишни характерловчи катталиклар.** Радиоактив емирилиш асосан статистик ходисадир. У ёки бу ядронинг қачон емирилишини ҳеч қачон аниқлаб бўлмайди. Ядролар бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда радиоактив ўзгаришларни бошдан кечирадн. Радиоактив ядролар  $N$  бошланғич сонининг ярми емирилиши учун кетган вақт *ярим емирилиш даври* дейилади ва  $T_{1/2}$  билан белгиланади.

Вақт бирлиги ичидаги радиоактив емирилишлар сони радиоактив манба (модда) нинг активлиги дейилади ва  $A$  билан белгиланади:

$$A = \frac{dN}{dt},$$

бу ердаги  $dN$  — кичик  $dt$  вақт ичидаги емирилишлар сони.

Халқаро бирликлар системасида активлик бирлиги учун 1 с. да 1 та емирилиш бўладиган модданинг активлиги олинади. Бу бирликни беккерель (1 Бк) деб аташади:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ емир./с.}$$

Активликнинг системадан ташқари бирлиги — кюри (Ки):

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ емир./с.}$$

**2. Радиоактив емирилиш қонуни.** Айтайлик, ихтиёрий  $t_0$  вақт моментида  $N_0$  та емирилмаган атомлари бўлган радиоактив модда берилган бўлсин. Чекли  $t$  вақт ўтгандан кейин моддада қолган радиоактив ядролар сонини топайлик.

Равшанки,  $t$  вақт моментидаги емирилган атомлар сони  $dN$  шу моментдаги емирилмаган атомлар сони  $N$  га пропорционал бўлади. Радиоактив атомларнинг умумий  $N$  сони қанча кўп бўлса, емирилганларининг сони ҳам шунча кўп бўлади:

$$dN \sim N.$$

Радиоактив атомларнинг емирилиши ўз-ўзидан ва хаотик бўлгани сабабли,  $t$  дан  $t+dt$  гача бўлган вақт интервалида емирилган атомлар сони  $dt$  вақт оралиғига пропорционал бўлади деб ҳисоблаш мумкин:

$$dN \sim dt.$$

Шундай қилиб,  $dN \sim Ndt$  ёки

$$dN = -\lambda Ndt$$

бўлади, бу ердаги  $\lambda$  — пропорционаллик коэффициентини бўлиб, *радиоактив емирилиш доимийси* дейилади. Унинг қиймати ҳар хил моддалар учун ҳар хил. Тенгликнинг ўнг томонидаги « — » ишора емирилмаган атомлар сони  $N$  камайиши сабабли,  $dN$  маъфий катталик бўлишини кўрсатади.

Емирилмаган атомлар сонини топиш учун юқоридаги тенгликни

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



кўринишда ёзиб, сўнгра интеграллаймиз:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt,$$

бундан

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

ёки

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

натижа топилади.

Бу формула радиоактив емирилиш қонунининг математик ифодасидир:

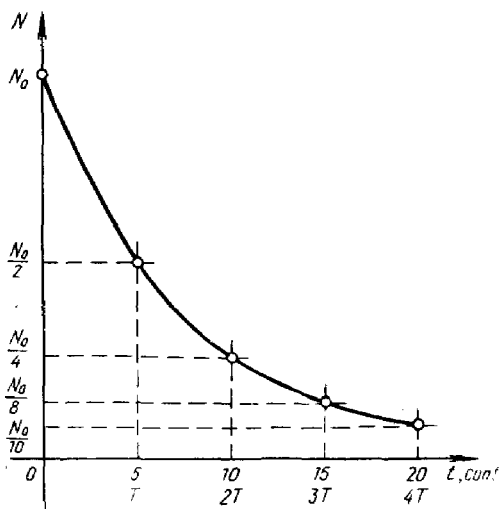
**емирilmagan радиоактив ядролар сони вақт ўтиши билан экспоненциал равишда камаяди.**

191- расмда бу боғланишнинг графини келтирилади. Графикдан радиоактив емирилиш активлиги ўзгаришнинг умумий характери ва вақтга боғлиқ бўлмаган ҳолда, ярим емирилиш вақти ичига (берилган ҳолда 5 соат) модданинг активлиги икки баробар камайиши кўриниб турибди.

**3. Альфа емирилиш.**  $\alpha$ -емирилиш ҳодисаси шундан иборатки, айрим элементларнинг радиоактив ядролари ўз-ўзидан  $\alpha$ -зарралар чиқаради. Тажрибаларда  $\alpha$ -емирилиш билан боғлиқ қуйидаги далиллар аниқланган:

а) Альфа-емирилиш фақат оғир ядролар учун ўринли;

б)  $\alpha$ -актив ядроларнинг ярим емирилиш даври  $10^6$  с дан  $10^{17}$  йилгача;



191- расм

в) Бир модданинг ядроларидан учиб чикувчи  $\alpha$ -зарраларнинг ҳаммаси бир хил энергияли (2 МэВ дан 9 МэВ гача) бўлади;

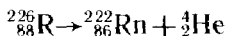
г) Ярим емирилиш даври учиб чикувчи  $\alpha$ -зарралар энергиясига болиқ.  $\alpha$ -зарралар энергияси канча кичик бўлса, ярим емирилиш даври шунча катта бўлади.

Нима сабабдан атомларнинг ядролари  $\alpha$ -зарралар чиқариб емирилишини тушунтириш учун  $\alpha$ -зарралар фақат кўп сонли протон ва нейтронлар (нуклонлар) га эга бўлган оғир ядролар томонидан чиқарилишига эътиборни қаратамиз.

Маълумки, ядродаги нуклонлар орасидаги тортишиш кучлари яқиндан таъсир қилувчи, электростатик ытаришиш кучлари эса, узокдан таъсир қилувчи кучлардир. Барча химиявий элементларда ядро моддасининг зичлиги деярли бир хил бўлгани сабабли, оғир ядроларнинг ўлчамлари енгил ядроларга караганда катта бўлади (уларда нуклонлар сони кўп!) Шунинг учун оғир ядроларнинг ядровий тортишиш кучлари туфайли ҳосил бўлган мустаҳкамлиги кичик бўлади. Оғир ядро ичида юз берувчи жараёнлар натижасида унинг  $\alpha$ -зарралар чиқариш билан емирилишига қулай шароит юзага келади.  $\alpha$ -емирилишдан ядро катта мустаҳкамликка эга бўлиб қолади.

Аммо нима сабабдан оғир ядролар протон ёки нейтрон чиқармасдан  $\alpha$ -зарра чиқаради? Ядродан чиқиб кетиши учун нуклон ядровий тортишиш кучларини енгиши керак, бунинг учун эса у етарли энергияга эга бўлиши зарур. Бундан энергиянинг манбаи ядро нуклонларининг  $\alpha$ -заррага бирикишида ажралувчи энергия (бундай бирикиш энергия ажралиши билан юз бериши бизга маълум) бўлиши мумкин.

Мисол учун, радий ядросининг емирилиш реакциясини қуйидагича ёзиш мумкин:



Реакцияда ажралувчи энергияни ҳисоблайлик.

Реакциягача бўлган масса:  $m_1 = 226,03120$  м.а.б. ( ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ )

Реакциядан кейинги масса:

222,02335 м.а.б. ( ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ )

4,00260 м.а.б. ( ${}_2^4\text{He}$ )

---

$m_2 = 226,02595$  м.а.б.

Массалар айирмаси  $\Delta m = m_1 - m_2$ :

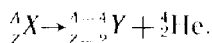
$\Delta m = (226,03120 - 226,02595)$  м.а.б. = 0,00525 м.а.б.

Ажраладиган энергия  $\Delta E + \Delta m \cdot c^2$ :

$$\Delta E = 0,00525 \text{ м.а.б.} \cdot 931 \text{ МэВ/м.а.б.} \approx 4,9 \text{ МэВ.}$$

$\alpha$ -зарралар чиқариш билан бўладиган радиоактив нурланиш натижасида бошланғич «она» ядрога нисбатан масса сони тўрт бирликка, заряди эса, икки бирликка кам бўлган янги «бола»

ядро ҳосил бўлади:



«Бола» ядро ҳам кўп ҳолларда радиоактив бўлади ва маълум вақт ўтгандан кейин у ҳам емирилади. Радиоактив емиришни жараёни тургун, яъни радиоактив бўлмаган ядро пайдо бўлгунча давом этади. Кўп ҳолларда улар кўрғонини ёки висмут ядроси бўлади.

**4. Бета-емирилиш.**  $\beta$ -емирилиш ҳодисаси шундан иборатки, айрим элементларнинг ядролари ўз-ўзидан электронлар ва жуда кичик массали нейтрал зарра антинейтрино чиқаради. Қизиғи шундаки, радиоактив емирилиш жараёнида ядролар ўзида бўлмаган электронларни чиқаради (ядролар протон ва нейтронлардан тузилган). Бу жуда осон тушунирилади. Аниқ шароитларда ядрода нейтроннинг протон ва электронга айланиши юз беради. Пайдо бўлган электрон ядродан учиб чиқади. Ядро нейтронининг протон ва электронга айланиш жараёни нейтронлари кўп бўлган ядроларда кузатилади. Ядродан учиб чиқувчи электрон  $\Delta m$  массалар фарқига эквивалент бўлган  $\Delta E$  кинетик энергияга эга бўлади.

Ана шу  $\Delta E = \Delta mc^2$  энергияни ҳисоблайлик.

Емирилишгача бўлган масса:

$$m_1 = 1,00866 \text{ м.а.б. } ({}^1_0n).$$

Емирилишдан кейинги масса:

$$\begin{array}{l} 1,00728 \text{ м.а.б. } ({}^1_1\text{H}) \\ 0,00055 \text{ м.а.б. } ({}^0_{-1}e) \end{array}$$

---

$$m_2 = 1,00783 \text{ м.а.б.}$$

Массалар фарқи  $\Delta m = m_1 - m_2$ :

$$\Delta m = (1,00866 \pm 1,00783) \text{ м.а.б.} = 0,00083 \text{ м.а.б.}$$

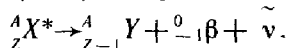
Ажралувчи энергия  $\Delta E = \Delta mc^2$ :

$$\Delta E = 0,00083 \text{ м.а.б.} \cdot 931 \text{ МэВ/м.а.б.} \approx 0,8 \text{ МэВ.}$$

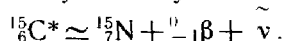
$\beta$ -емирилишни диққат билан ўрганиш шунини кўрсатадики, бунда энергия ва импульснинг сақланиш қонунлари бузилгандан бўлади. Аммо швейцариялик физик В. Паули  $\beta$ -емирилиш жараёнида яна қандайдир зарра туғилади ва у энергия ва импульснинг бир қисмини ўзи билан олиб чиқиб кетади деган фикрни айтди. Бу гипотеза асосида италиялик физик Э. Ферми  $\beta$ -емирилиш назариясини ишлаб чиқди. Ферминини ҳисоблашлари Паули томонидан башорат қилинган зарра нейтрал ва жуда кичик (электронга нисбатан ҳам) массага эга бўлиши кераклигини кўрсатди. У бу заррани *нейтрино* деб атади. Нейтринони узок вақтларгача аниқлай олишмади, чунки у модда билан нисбатан кучсиз таъсирлашар эди. Ҳозирги вақтда нейтринонинг мавжудлиги экспериментал тасдиқланган.

Кейинчалик  $\beta$ -емирилишда иштирок этувчи икки хил нейтрино мавжудлиги аниқланган: нейтрино ( $\nu$  билан белгиланади) ва антинейтрино ( $\bar{\nu}$  билан белгиланади).

$\beta$ -емирилиш натижасида масса сони олдингидек, ammo атом номери (заряд сони) бирга ортик бўлган янги ядро ҳосил бўлади:

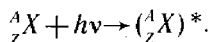


Масалан ушбу реакция бўлиши мумкин:

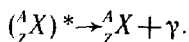


Ядролардан  $\beta$ -емирилиш жараёнида чикувчи электронлар энергияси 0 дан берилган ядро учун мумкин бўлган максимал қийматгача узлуксиз равишда ўзгариб туриши тажрибаларда аниқланган. Ammo фақат аҳён-аҳёндагина максимал энергияли электронлар нурланади.

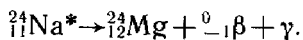
**5. Ядроларнинг  $\gamma$ -нурланиши.** Ядро, худди атом сингари, энг кичик энергияли ҳолатда ва кўзгалган ҳолатда бўлиши мумкин. Ядронинг энг кичик энергияли ҳолатдан кўзгалган ҳолатга ўтиши уни зарралар ёки фотонлар билан бомбардимон қилиш орқали амалга оширилади. Мисол учун,  ${}^A_Z X$  элемент ядроси  $\nu$  частотаси фотонлар билан бомбардимон қилинганда у ( ${}^A_Z X$ )<sup>\*</sup> кўзгалган ҳолатга ўтиши мумкин:



Ўзининг асосий ҳолатига қайтиб, ядро  $\gamma$ -квантлар чиқаради:



Шундай қилиб,  $\gamma$ -квантнинг чиқиш атомнинг бузилиши билан боғлиқ эмас, улар атомлар томонидан эмас, балки ядролар томонидан нурланади.  $\gamma$ -нурланиш радиоактив емирилиш билан биргаликда юз беради, масалан, натрийнинг радиоактив емирилиши  $\beta$ - ва  $\gamma$ -нурланиш билан биргаликда содир бўлади:



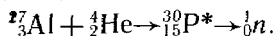
$\gamma$ -нурланишнинг асосий хоссалари билан танишайлик. Энг аввало унинг ниҳоятда юқори частотали эканини таъкидлаш керак. Шунинг учун унинг тўлқин хоссалари заиф бўлиб, биринчи ўринга корпускуляр хоссалари чиқади.

$\gamma$ -нурланиш фотонлари электр зарядига ва тинчликдаги массага эга эмас. Шунинг учун моддадан ўтишда  $\gamma$ -квантлар ядро ва электронлар билан жуда кам тўқнашади. Ammo онда-сонда тўқнашишлар натижасида улар ўзларининг дастлабки йўналишидан кескин оғади. Бунда  $\gamma$ -квантлар энергияси деярли ўзгармайди, ammo  $\gamma$ -квантларнинг бир қисми моддада ютилади.

$\gamma$ -нурланишнинг катта ўтувчанлик қобилияти уларни инсон учун хавfli қилиб кўяди.

**6. Сунъий радиоактивлик.** Фредерик ва Ирен Жолио-Кюрилар 1932 йили радиоактив бўлмаган моддаларни  $\gamma$ -зарралар билан

бомбардимон қилиб, уларнинг айримларини нурлантирилгандан сўнг радиоактив бўлиб қолишини аниқлашди. Бу ҳодиса сунъий радиоактивлик деб номланди. Шундай қилиб, одатда радиоактив бўлмаган моддаларнинг радиоактив изотопларини ҳосил қилиш мумкинлиги маълум бўлди. Чунончи, алюминий ядроси  $\alpha$ -зарралар билан бомбардимон қилинса, фосфорнинг радиоактив изотопи ҳосил бўлади ва нейтрон учиб чиқади:



Ҳозирги кунда одатдаги шароитда радиоактив бўлмаган жуда кўп элементларнинг радиоактив изотоплари олинган. Радиоактив изотоплар ишлаб чиқаришда ва фаннинг турли соҳаларида кенг қўлланилади.

?

1. Ядроларнинг радиоактив емирилишида ҳосил бўлган маҳсулотларнинг тинчликдаги массаси бошланғич ядроларнинг тинчликдаги массасидан кичик бўлади. Бу сақланиш қонунларининг бузилиши эмасми?
2.  $\alpha$ -емирилиш механизмини тушунтиринг.
3.  $\beta$ -емирилиш механизмини тушунтиринг.
4.  $\gamma$ -нурланиш механизмини тушунтиринг.
5. Қуйидаги

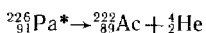


схема бўйича юз берувчи протактиний ядросининг  $\alpha$ -емирилишида қанча энергия ажралишини ҳисобланг.

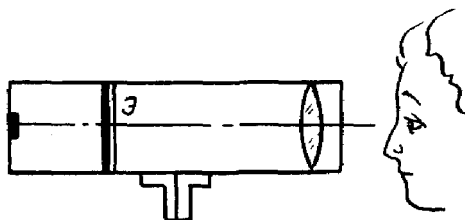
Ядроларнинг массалари:  ${}^{226}_{81}\text{Pa} - 226,0280$  м. а. б;

${}^{222}_{83}\text{Ac} - 222,0178$  м. а. б.;  ${}^4_2\text{He} - 4,0026$  м. а. б.

## 66-§. РАДИОАКТИВ НУРЛАНИШЛАРИ ВА ЗАРРАЛАРНИ ҚАЙД ҚИЛИШ УСУЛЛАРИ

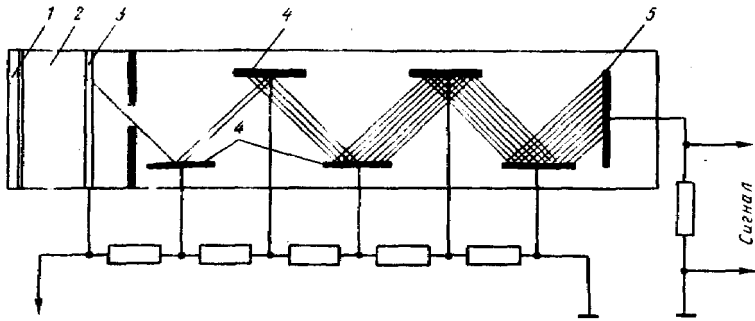
Радиоактив ( $\alpha$ -,  $\beta$ -, ва  $\gamma$ -) нурланиш ва зарраларни кузатиш ва қайд этишнинг барча усуллари уларнинг ионлаштириш ва атомларни кўзғатиш хусусиятларига асосланган. Ўзларидан ўтувчи зарраларни қайд қилишга ёки уларнинг изини кузатишга имкон берувчи айрим асбобларнинг тузилиши ва ишлаш принципи билан танишамиз.

1. **Сцинтилляцiяловчи саногич.** Бу — зарра билан асбоб экранининг тўқнашиш жойини кузатиш имконини берувчи асбоблардан биридир. Энг оддий ҳолда у хавфсиз радиоактив нурланиш манбаи, люминофор (масалан, ZnS, NaI) копланган экран ва экранни кузатиш учун хизмат қилувчи лупадан иборат (192-расм).



192- расм

Резерфорд тажрибала-рида  $\alpha$ -зарраларнинг со-



193- расм

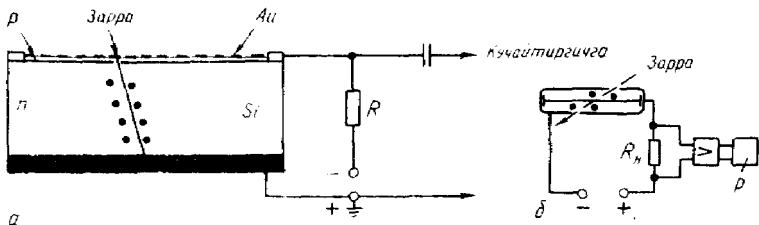
чилишини кузатиш учун ана шундай асбобдан фойдаланилган, фақат унда кузатиш микроскоп оркали олиб борилган (185- расмга к.).

Зарядланган зарра экрандан ўтаётиб, унинг чакнашини юзага келтиради. Асбобнинг номи ҳам ана шундан (лотинча *scintillation* — чакнаш) олинган.

Замонавий сцинтилляцион саногичнинг схемаси 193- расмда келтирилди. Унинг асосий қисми 1 люминесценцион экран бўлиб, у 2 световод ёрдамида фотоэлектрон кўпайтиргич (ФЭК) билан туташтирилган. Экранга  $\alpha$ -,  $\beta$ - ёки  $\gamma$ -нурланиш тушиши билан унда ҳосил бўлган чакнашлар световод оркали ФЭК нинг 3 фотокатодига узатилади. Фотокатодга тушган фотонлар ундан электрон уриб чиқаради. Бу электронлар фотокўпайтиргичнинг биринчи динод деб юритилувчи, 4 биринчи электродига йўналтирилади. Динод материалнинг чиқиш иши кичик. Шунинг учун унга тушган электронлар ундан бир нечта (3 тадан 10 тагача) электронларни уриб чиқаради. Уриб чиқарилган электронлар иккинчи динодга тушди ва ҳ.к.

Замонавий ФЭК ларда  $10 \div 20$  динодлар бўлади. Бу  $10^8$  мартагача кучайтириш имконини беради. Сцинтилляцион саногичлар ўзларича тушувчи зарралар 100 фоизгача  $\gamma$ -квантларни 30 фоизгача қайд этди.

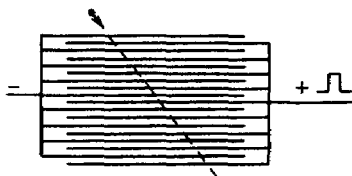
**2. Яримўтказгич саногич.** Бу — занжирга тескари йўналишда уланган оддий яримўтказгич диоддир (194- а расм). Агар  $p$ - $n$  ўтиш оркали тез ҳаракатланувчи зарядли зарра ўтса, у юзага келтирган



194- расм



195- расм



196- расм

электрон ва тешикчалар занжирда киска муддатли ток импульси ҳосил қилади, у кучайтирилгандан кейин махсус асбобда қайд этилади.

**3. Газ разрядли саногич.** Сиз X синфда газлардан электр токининг ўтишини ўрганганингизда, газнинг номустакил разрядидан фойдаланиб ишлайдиган, газ разрядли саногичнинг тузилиши ва ишлаш принципи билан танишган эдингиз (194- б расм). Бундай саногичлар *пропорционал саногич* номини олган, чунки уларда кириш импульси қайд қилинувчи зарраларнинг энергиясига пропорционал бўлади.

**4. Ионизацион камера.** Бу асбоб газ билан тўлдирилган юпка деворли берк идишдан иборат. Идишга иккита электрод жойлаштирилган (195- расм), уларга кучланиш (100 ÷ 1000 В) берилади. Идишга кирган зарядли зарра ундаги газни ионлаштиради. Зарра ҳосил қилган ионлар электродларга интилади, занжирда киска муддатли ток импульси ҳосил бўлади ва у асбоблар томонидан қайд қилинади.

**5. Пуфакли камера.** Зарядланган зарраларнинг изини (трекни) кузатишга имкон берувчи Вильсон камераси 62- § да баён этилган эди. Пуфакли камера Вильсон камерасининг ўзига хос бир туридир. Пуфакли камерадаги ишчи моддаси — босим остидаги шаффоф суюклик (суюк водород ёки суюк пропан, ксеион) дир. Босим камайганда суюклик ўта кизиган ҳолатга ўтади. Бу ҳолатда у юқори энергияли зарраларни яхши сезадиган бўлиб қолади. Ўта кизиган суюкликка учиб, кирган юқори энергияли зарра суюкликни қайнатади ва унинг траекторияси пуфакчалар тизими тарзида кўринади. Ҳосил бўлган изнинг фотосурати олинади. Пуфакли камераларнинг ўлчамлари бир неча ўн сантиметрдан бир неча метргача бўлади.

**6. Учкунли камера.** Учкунли камеранинг асосий қисми кўпқопламали доимий снгим конденсаторига ўхшайди (196- расм), унинг қопламалари бир-биридан бир неча миллиметр масофада бўлади. Барча тоқ қопламалар тоқлари билан, барча жуфт қопламалар эса — жуфтлари билан бирлаштирилади. Камерадан зарра ўтаётган моментда қопламаларга метрига минглаб киловольт кучланиши майдон ҳосил қилувчи юқори кучланиш импульси берилади. Қопламалар орасида зарра учиб ўтган жойларда учкун пайдо бўлади. У фотосуратга олинishi ёки ультратовуш детекторлари ёрдамида унинг товуш ёзилиши мумкин.

**7. Нейтрал зарраларни кайд қилиш ҳақида.** Нейтрал зарралар кайд қилинишидан олдин реакцияни зарядли зарралар ҳосил бўлиши билан ўтадиган модда билан реакцияга киришишга мажбур этилади, бунда юзага келган зарядли зарралар одатдаги усуллар билан кайд этилади.

#### 67- §. БИОЛОГИҚ ТАЪСИР ВА НУРЛАНИШЛАРДАН САҚЛАНИШ

**1. Нурланишларнинг биологик таъсирини характерловчи катталиқ.** Ядро нурланишлари барча тирик организмларга кучли шикастлантирувчи таъсир ўтказида. Бу таъсирнинг қандай бўлиши нурланиш олиб ўтган энергияга ва унинг ионлаштириш қобилиятига қараб аниқланади. Ютилган нурланиш дозаси ҳақида ҳукм чиқариш мумкин. Буни характерлаш учун иккита катталиқ киритилган: *ютилган нурланиш дозаси ва нурланишнинг экспозицион дозаси.*

*Ютилган нурланиш дозаси деб, нурлантирилаётган жисм томонидан ютилган  $\Delta W$  нурланиш энергиясининг жисм массасига нисбати билан ўлчанадиган катталиққа айтилади ва  $D$  ҳарфи билан белгиланади:*

$$D = \frac{\Delta W}{m}$$

Халқаро бирликлар системасида ютилган нурланиш дозасининг бирлиги сифатида  $\text{грэй}$  ( $1 \text{ Гр}$ ) қабул қилинган:

$$1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Ж}}{1 \text{ кг}} = \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$$

*Нурланишнинг экспозицион дозаси деб, ҳавонинг қандайдир ҳажмида нурланиш томонидан ҳосил қилинган бир хил ишорали ионлар йиғинди зарядининг шу ҳажмдаги ҳаво массасига нисбати билан ўлчанадиган катталиққа айтилади ва  $\text{НЭД}$  билан белгиланади:*

$$\text{НЭД} = \frac{Q}{m}$$

Нурланишнинг экспозицион дозаси бирлиги учун шундай нурланиш интенсивлиги олинадики, у  $1 \text{ кг}$  қуруқ ҳавода йиғинди заряди  $1 \text{ Кл}$  бўлган бир хил ишорали ионлар ҳосил қилади:

$$1 \text{ НЭД} = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Амалда тез-тез системадан ташқари бирлик — рентген ва унинг улушлари ишлатилади:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

Тирик организмлар, хусусан одам нурлантирилганда, нурланишнинг шикастлантирувчи таъсири, ютилиш дозаси бир хил бўлганда, нурланиш турига боғлиқ бўлади. Шунинг учун ҳамма турдаги нурланишларнинг биологик таъсирларини рентген ва



γ-нурланишнинг биологик таъсири билан солиштириш кабул қилинган.

*Берилган турдаги нурланишнинг шикастлантирувчи таъсири ютилган нурланиш дозаси бир хил бўлганда, рентген нурланиши-ни-кига қараганда неча марта юқори эканлигини кўрсатувчи катталик нисбий биологик эквивалентлик коэффиценти (НБЭК) ёки нурланишнинг сифат коэффиценти (НСК) деб юритилади. Қуйидаги 7- жадвалда нурланишнинг асосий турлари учун НБЭК нинг қийматлари келтирилди.*

7- ж а д в а л

| Нурланиш тури                | НБЭК |
|------------------------------|------|
| Рентген ва γ-нурланиш        | 1    |
| β-зарралар (электронлар)     | 1    |
| Иссиклик (секин) нейтронлари | 3    |
| Тез нейтронлар               | 10   |
| Протонлар                    | 10   |
| α- зарралар                  | 10   |

Шунинг учун нурланишнинг тирик организмга таъсирини баҳолаш учун махсус катталик — *эквивалент доза* киритилган.

**Ютилган нурланиш дозаси ( $D$ ) билан нисбий биологик эквивалентлик коэффиценти (НБЭК) нинг кўпайтмасига тенг бўлган катталик ютилган нурланишнинг эквивалент дозаси дейилади ва  $D_{\text{эқв}}$  билан белгиланади:**

$$D_{\text{эқв}} = D \cdot \text{НБЭК}.$$

Халқаро бирликлар системасида эквивалент доза бирлиги учун зиверт (1 Зв) кабул қилинган. Бу бирлик нисбий биологик эквивалентлик коэффиценти 1 га тенг бўлгандаги 1 Грэй ютилган дозага мос келади.

Амалда ютилган нурланишнинг эквивалент дозасини ўлчаш учун, р б э (рентгеннинг биологик эквиваленти) деб юритилувчи, системадан ташқари бирлик ишлатилади:

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ рбэ}.$$

**2. Радиоактив нурланишнинг инсонга таъсири.** Инсон узлуксиз равишда радиоактив нурланиш таъсирига учраб туради. Бу нурланиш манбалари: космик жисмлар; радиоактив моддаси бўлган Ер бағри; биз яшаётган бинолар (гранитда, ғишларда ва темирбетонда радиоактив моддалар бор); рентген аппаратлари; телевизорлар; ҳатто бизнинг танамизда ҳам 0,01 г радиоактив калий  $^{40}\text{K}$  мавжуд, у секундига 4000 емирилиш активлиги билан бўлинади.

Йил давомида ҳар бир киши ўртача 400—500 мрбэ га яқин нурланиш дозасини олади, бу доза қуйидагича тақсимланади:

Космос ва Ер нурланиши тахминан 150 мрбэ;

рентгеноскопия вақтида олинадиган нурланиш 140 мрбэ; телевизион эшиттиришларни тамоша қилиш вақтида олинадиган нурланиш 100 мрбэ;

Нурланишнинг бошқа турлари 80 мрбэ га яқин.

Булар йил давомида ютиладиган ўртача дозалар. Аммо бундай доза инсон саломатлигига ҳеч қандай таъсир кўрсатмайди. Чунки инсон биологик объект сифатида узлуксиз равишдаги ана шундай нурланиш шароитида шаклланган ва унинг организми бундай дозаларга ўрганиб қолган. Радиологик химоя бўйича халқаро комиссиянинг маълумотига кўра йилига 35 рбэ дан юқори бўлган дозалар хавфли ҳисобланади.

**3. Ядро нурланишларининг инсонга таъсири.** Ядро нурланишининг инсонга таъсири нафақат ютилган нурланиш дозасига ва унинг НБЭЖ га боғлиқ бўлади балки бу доза қанча вақт давомида қабул қилинганига ҳам боғлиқ. Инсон томонидан қисқа вақт ичида ва узок вақт давомида олинган бир хил дозали нурланиш организмга ҳар хил таъсир этади. Ҳар хил дозали радиоактив нурланишнинг инсон организмга таъсири 8- жадвалда берилди.

8- ж а д в а л

| Доза, Р | Инсонга таъсири:                   |
|---------|------------------------------------|
| 0—25    | Аниқ белгилари йўқ                 |
| 25—50   | Кон таркиби ўзгариши мумкин        |
| 50—100  | Кон таркиби ўзгаради               |
| 100—200 | Меҳнатга лаёқати йўқолиши мумкин   |
| 200—400 | Меҳнатга лаёқатсизлик. Ҳали мумкин |
| 400—600 | 50 фоиз ўлим                       |
| 600     | Ўлдирадиган доза                   |

Нурланишнинг организмга бирламчи таъсири молекулаларнинг шикастланиши бўлади. Хужайранинг ядроси нурланишга цитоплазмага қараганда сезгирроқдир. Ядро нурланишлари хужайранинг бўлиниш қобилиятини бузади. Хужайранинг бўлиниш функциясининг бузилиши учун нурланишнинг шу даражадаги кичик дозаси етарлики, у иссиқликка айлантирилса хужайрани гравиднинг мингдан бир улушига иситилади.

Инсоннинг қон ишлаб чиқарувчи органлари (илик, қоражигар, лимфа безлари), жинсий безларнинг тўқималари, ошқозон ва ичакларнинг шиллик пардаси нурланишга ниҳоятда сезгир бўлади.

Нурланиш дозаси жуда юқори бўлганда ўлим ичак-чавокнинг зарарланиши натижасида содир бўлади. Юқори дозаларда иликнинг қон ишлаб чиқарувчи хужайралари (лейкемия)нинг бузилиши натижасида ўлим юз беради. Ўлдирадигандан камроқ бўлган дозаларда организмда жуда кўп ўзгаришлар юз беради: организмнинг эрта қариши, унинг инфекцион касалликларга қаршилигининг камайиши, рақ шишлари пайдо бўлиши мумкин. Ҳар қандай, ҳатто озгина нурланиш ҳам хромосомнинг қайтариб

бўлмайдиган ўзгаришларини юзага келтириши мумкин, бу эса оғир ирсий касалликларга ва наслнинг бузилишига олиб келади. Радиоактив нурланишнинг, хатто, кичик дозалари ҳам кам-конликни, нур куюкларини, тузалиши қийин яраларни, сочнинг тўкилишини, кўз, милк ва томокнинг оғир жароҳатланиши ва бошқаларни келтириб чиқаради.

**4. Эҳтиёт чоралари ва химояланиш.** Ядро нурланишлари яна шуниси билан хавфлики, уларнинг хатто юқори дозаларини ҳам инсон сезги органлари сезмайди. Шунинг учун радиоактив моддалар билан ишлаганда эҳтиёт бўлиш ва хизмат инструкцияларида ёзилган йўл-йўриқларга қатъий риоя қилиш зарур.

Радиоактив нурланишга йўликмаслик учун, ундан химояланиш зарур. Ҳеч қандай ҳолатда ҳам радиоактив моддани қўлга олиш мумкин эмаслигини, бунинг учун узун дастали махсус қискичлардан фойдаланиш зарурлигини эсдан чиқармаслик зарур.

Радиоактив ядролардан учиб чикувчи  $\alpha$ -зарралардан химояланиш анча осон, чунки улар ҳавода бир неча сантиметр масофагача уча олади ва қийим-бош томонидан ушлаб қолинади.  $\beta$ -нурланиш эса ҳавода 5 м гача масофани ўта олади, шунинг учун ундан химояланиш анча мураккаб. Шунинг учун  $\beta$ -актив моддаларни албатта махсус завод упаковкаларида сақлаш зарур.  $\gamma$ -нурланиш бир метр қалинликдаги сувдан ва 6 см қалинликдаги қўрғошин листидан бемалол ўтиб кетади, шунинг учун ундан химояланиш анча мураккаб.  $\gamma$ -нурланишдан сақланиш учун радиоактив моддани махсус қўрғошин контейнерлардан чиқармаслик керак, контейнернинг қопқоғини очганда эса,  $\gamma$ -нурланиш тўғри қизик бўйлаб тарқалишини эсда тутиш керак.

Нейтронлар чиқарувчи моддалар билан ишлашда ниҳоятда эҳтиёт бўлиш зарур: тез ҳаракатланувчи нейтронлар ҳар қандай моддада жуда кучсиз ютилади. Радиоактив моддалар билан ишланадиган ҳамма ҳолларда нурланиш девордан ва лаборатория асбобларидан қайтиши мумкинлиги кўзда тутилиши зарур.

Радиоактив моддалар билан ишлашда ниҳоятда батартиб бўлиш, иш жойи ва лабораторияни радиоактив ифлосланишига йўл қўймаслик керак. Масалан, радиоактив моддаларни канализацияга юиб юбориш, радиоактив чангни ҳавога учуриб юбориш мумкин эмас. Бундан сизнинг бирга ишлайдиган ўртоқларингиз ҳам ва сиз ишлаётган лабораториядан узоқда бўлган мутлақо нотаниш кишилар ҳам зарарланиши мумкинлигини эсдан чиқармаслик зарур.

#### **68- §. ТАЙЕР ФОТОРАСМЛАР БЎЙИЧА ЗАРЯДЛИ ЗАРРАЛАРНИНГ ТРЕК (ИЗ) ЛАРИНИ ЎРГАНИШ (ЛАБОРАТОРИЯ ИШИ)**

*Ишнинг мақсади.* Вильсон камерасида фоторасмга олинган зарядли зарралар ҳаракатининг фоторасмларини ўқишда элементар кўникмалар ҳосил қилиш.

*Асбоб-ускуналар:* 1) трек (из) ларнинг фоторасмлари; 2) тиник

(шаффоф) коғоз; 3) учбурчак линейка (гуння); 4) циркуль; 5) калам.

### Тайёргарлик ишлари.

Вильсон камераси ёрдамида ҳаракатланувчи зарядли зарраларнинг треки (изи) ни кузатиш ва фоторасмини олиш. Зарранинг треки сув ёки спиртнинг микроскопик томчилари тизимидан иборат, улар бу суюқликлар ўта тўйинган буғларининг ионларда конденсацияланиши туфайли ҳосил бўлади. Ионлар эса камерада бўлган буг ва газларнинг атом ва молекулалари билан зарядли зарраларнинг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўлади.

Айтайлик,  $Ze$  зарядли зарра атом электронидан  $r$  масофада  $v$  тезлик билан ҳаракатлансин (197- расм). Электроннинг бу зарра билан кулон ўзаро таъсири туфайли электрон зарранинг ҳаракат чизиғига перпендикуляр йўналишда қандайдир  $\Delta p = F\Delta t$  импульс олади. Зарра ва электроннинг ўзаро таъсири зарра траекториянинг электронга энг яқин бўлган ва  $r$  масофа билан таққосланадиган масалан,  $2r$  га тенг бўлган қисмидан ўтиш вақтида энг самарали бўлади. У ҳолда

$$\Delta p = F\Delta t$$

формуладаги  $\Delta t$  — зарра  $2r$  масофани ўтиши учун кетган вақт бўлади:

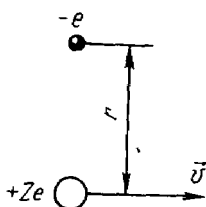
$$\Delta t = \frac{2r}{v},$$

$F$  эса зарра ва электроннинг ана шу вақт оралиғидаги ўртача ўзаро таъсир кучи бўлади.

Кулон қонунига кўра  $F$  куч зарра ва электроннинг  $Ze$  ва  $e$  зарядлари кўпайтмасига тўғри ва улар орасидаги масофанинг квадратига тесқари пропорционал бўлади. Демак, зарра ва электроннинг ўзаро таъсир кучи тахминан

$$F \approx \frac{Ze \cdot e}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

га тенг (шунинг учун тахминанки, бизнинг ҳисоб-китобларда атом ядросининг, бошқа электронлар ва муҳит атомларининг таъсири ҳисобга олинмаган). У ҳолда



197- расм

$$\Delta p = F\Delta t = \frac{Ze \cdot e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{2r}{v} = \frac{Ze \cdot e}{2\pi\epsilon_0 rv}$$

бўлади.

Шундай қилиб, электрон олган импульс унинг яқинидан ўтувчи зарранинг зарядига тўғри, тезлигига тесқари пропорционал экан.

Электрон олган импульснинг қандайдир етарли катта қийматида электрон атомдан узилиб чиқади ва атом ионга айланади.

Зарранинг заряди қанча катта ва тезлиги қанча кичик бўлса, электрон олган импульс, демак, унинг атомдан чиқиб кетиш эҳтимоллиги шунча катта бўлади (сўннга формулага к.) бинобарин, зарра ўтган йўлнинг ҳар бирлигида шунча кўп ионлар демак, суюқлик томчилари пайдо бўлади. Бундан зарра трекалари фоторасмини «ўқиш» учун зарур бўлган куйидаги хулосалар келиб чиқади:

1. Бошқа шартлар бир хил бўлганда катта зарядли зарранинг треки қалинроқ бўлади. Масалан, тезликлар бир хил бўлганда  $\alpha$ -зарранинг треки протон ва электронниқидан қалин бўлади.

2. Агар зарралар бир хил зарядга эга бўлса, тезлиги кичик бўлган, секинроқ ҳаракатланувчи зарранинг треки қалинроқ бўлади. Бундан равшанки, зарранинг ҳаракат охиридаги треки ҳаракат бошидагига қараганда қалинроқ бўлади, чунки зарранинг энергияси муҳит атомлари ионлаштиришга сарфланганлиги туфайли унинг тезлиги камайиб боради.

3. Радиоактив моддадан ҳар хил масофалардаги нурланишни текшириш шуни кўрсатадики, ҳар бир радиоактив модда учун характерли бўлган қандайдир масофада  $\gamma$ -нурланишнинг ионлаштирувчи ва бошқа таъсирлари кескин узилиб қолади. Бу масофа зарранинг *югуриш масофаси* дейилади. Равшанки, югуриш масофаси зарранинг энергиясига ва муҳитнинг зичлигига боғлиқ бўлади. Масалан,  $15^\circ\text{C}$  температура ва нормал босимдаги ҳавода бошланғич энергияси 4,8 МэВ бўлган  $\alpha$ -зарранинг югуриш масофаси 3,3 см, бошланғич энергияси 8,8 МэВ бўлган  $\alpha$ -зарранинг югуриш масофаси эса — 8,5 см бўлади. Қаттиқ жисм, масалан, фотоэмульсияда эса, ана шундай энергияли  $\alpha$ -зарранинг югуриш масофаси бир неча микрометрга тенг.

Агар Вильсон камераси магнит майдонга жойлаштирилган бўлса, унда ҳаракатланувчи зарядли зарраларга (зарра тезлиги майдон чизикларига перпендикуляр бўлган ҳолда)

$$F = ZevB$$

Лорентц кучи таъсир этади, бу ерда  $Ze$  — зарранинг заряди,  $v$  — унинг тезлиги,  $B$  — магнит майдон индукцияси. Чап қўл қондаси Лорентц кучи ҳамма вақт зарра тезлигига перпендикуляр равишда йўналишини, бинобарин, марказга интилма куч бўлишини кўрсатишга имкон беради, шунинг учун

$$ZevB = \frac{mv^2}{r}$$

бўлади, бу ерда  $m$  — зарра массаси,  $r$  — унинг треки (изи)нинг эгрилик радиуси, сўнгни тенгликдан

$$r = \frac{mv}{ZeB} \quad (1)$$

топилади.

Агар зарра тезлиги ёруғликнинг вакуумдаги тезлигидан кўп марта кичик бўлса ( $v \ll c$ , яъни зарра релятивистик бўлмаса),

унинг кинетик энергияси ва эгрилик радиуси орасидаги муносабат ( $v$  ни (1) дан топиб,  $mv^2/2$  га қўйилганда)

$$E_{\kappa} = \frac{mv^2}{2} = \frac{(ZeBr)^2}{2m} \quad (2)$$

кўринишга эга бўлади.

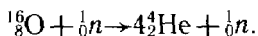
Топилган формулалар асосида зарралар трекларининг фото расмларини таҳлил қилиш учун зарур бўлган яна қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин.

1. Трекнинг эгрилик радиуси зарранинг массасига, тезлигига ва зарядига боғлиқ (1). Зарранинг массаси ва тезлиги қанча кичик ва унинг заряди қанча катта бўлса, эгрилик радиуси шунча кичик (зарранинг тўғри чизиқли ҳаракатдан оғиши шунча катта) бўлади. Мисол учун, битта магнит майдонида ва бир хил бошланғич тезликларда электроннинг оғиши протоннинг оғишидан катта бўлади, фоторасмда эса, электрон треки протон трекининг радиусига қараганда кичикроқ радиусли айлана эканлиги кўринади. Тез ҳаракатланувчи электрон секин ҳаракатланувчи электронга қараганда камроқ оғади. Гелийнинг битта электрони етишмайдиган атоми ( $\text{He}^+$  иони)  $\alpha$ -заррага (иккита электрони етишмайдиган гелий атомига) қараганда камроқ оғади, чунки массалари бир хил бўлгани ҳолда  $\alpha$ -зарранинг заряди бир қарра ионлашган гелий атомининг зарядидан катта бўлади. Зарра энергияси билан трекнинг эгрилик радиуси орасидаги (2) боғланишдан ҳам зарра энергияси қанча катта бўлса, унинг тўғри чизиқли ҳаракатдан оғиши шунча катта бўлиши кўринади.

2. Югуриш масофаси охирида зарранинг тезлиги камайгани сабабли, трекнинг эгрилик радиуси ҳам камайди (тўғри чизиқли ҳаракатдан оғиш кўпаяди). Эгрилик радиусининг ўзгаришига қараб зарранинг ҳаракат йўналишини аниқлаш мумкин — ҳаракатнинг бошланиши трекнинг эгрилиги кичик бўлган жойда бўлади.

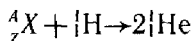
3. Трекнинг эгрилик радиусини ўлчаб, айрим бошқа катталикларни билган ҳолда зарра зарядининг массасига нисбати — зарранинг  $Ze/m$  солиштирма зарядини ҳисоблаб топиш мумкин. Бу нисбат зарранинг муҳим характеристикаси ҳисобланади. У зарранинг қандай зарра эканлигини аниқлашга имкон беради, уни идентификация қилишга, яъни бошқа маълум заррача билан солиштиришга имкон беради.

Агар Вильсон камерасида атом ядросининг бўлиниш реакцияси юз берган бўлса, емирилиш маҳсулотлари бўлган зарраларнинг треклари бўйича қандай ядро емирилганлигини аниқлаш мумкин. Бунинг учун ядро реакцияларида тўлиқ электр зарядининг ва тўлиқ нуклонлар сонининг сақланиш қонунлари бажарилишини эслаш керак. Масалан, қуйидаги



реакцияда реакцияга киришувчи зарраларнинг йиғинди заряди 8 га тенг ( $8+0$ ), реакция маҳсулотлари бўлган зарраларнинг

йиғинди заряди ҳам 8 га тенг ( $4 \cdot 2 + 0$ ). Чап томондаги нуклонларнинг тўлиқ сони 17 га ( $16 + 1$ ), ўнг томондагиларининг сони ҳам 17 га ( $4 \cdot 4 + 1$ ) тенг. Агар қандай элемент ядроси бўлинганлиги маълум бўлмаганда эди, оддий арифметик ҳисоблашлар асосида унинг заряд сонини топиш, сўнгра Д. И. Менделеев жадвали бўйича бу элементнинг номини аниқлаш мумкин бўлар эди. Нуклонлар тўлиқ сонининг сакланиш қонуни қаралаётган ядро бу элементнинг қайси изотопига тегишли эканини аниқлаш имконини беради. Мисол учун,



реакцияда  $Z = 4 - 1$  ва  $A = 8 - 1$ , демак,  ${}^7_3 X$  ядро литийнинг изотопига тегишли экан.

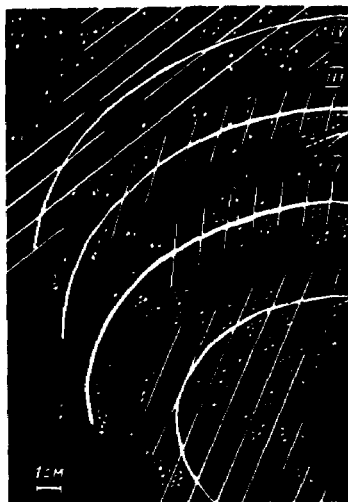
**Топшириқ.** Фоторасмда енгил элемент ядроларининг треклари (улар югуриш масофасининг сўнги 22 сантиметри) берилган (198- расм). Ядролар расмга перпендикуляр йўналган  $B = 2,17$  Тл индукцияли магнит майдонда ҳаракатланади. Барча ядроларнинг бошланғич тезликлари бир хил ва магнит қизикларга перпендикуляр.

1. Магнит майдон индукция векторининг йўналишини аниқланг. Нима сабабдан зарраларнинг траекториялари айланаларнинг ёйларидан иборат бўлишини тушунтиринг. Ҳар хил ядролар траекторияларининг эгрилиги ҳар хил бўлишига сабаб нима? Нима сабабдан ҳар бир траекториянинг эгрилиги зарра югуриш масофасининг бошидан охирига томон ўзгариб боради?

2. Ҳар хил ядролар трекларининг қалинлиги ҳар хил бўлишининг сабабини тушунтиринг. Нима сабабдан ҳар бир зарранинг треки югуриш масофасининг охирида бошланишидаги қараганда қалинроқ бўлади?

3. Фоторасм устига тиник қоғоз (калька) варағини кўйинг ва аста-секин унга трекни ҳамда фоторасмнинг ўнг қисмини кўчиринг. I зарра трекининг тахминан югуриш масофаси бошидаги ва охиридаги эгрилик радиусларини ўлчанг ва I зарра протонга тенглаштирилганини билган ҳолда, югуриш вақтида зарранинг энергияси қанчага ўзгарганлигини аниқланг.

4. III зарра трекининг югуриш бошланишидаги эгрилик радиусини ўлчанг. Бу зарранинг бошланғич тезлиги протоннинг (пастки трек) бошланғич тезлигига тенглигини билган ҳолда III зарра учун заряднинг массага нисбати  $q/m$  ни ҳисобланг. Олинган сон бўйича бу зарра қайси элементнинг ядроси эканини аниқланг.



198- расм

Текшириш учун савол. II ва IV треклар қайси ядрога тегишли — дейтерийгами ёки тритийга?

### 9- МАШҚ

1.  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$  ядросининг массаси 19,9924 м.а.б. га тенг. Унинг солиштирма боғланиш энергиясини аниқланг.

2. Гамма-квант  ${}^1_0\text{n}$  дейтрон ядроси билан тўқнашиб, уни протон ва нейтронга ажратади.  $\gamma$ -квантнинг қандай энергиясида бу реакция бўлиши мумкин?

3.  ${}^{16}_8\text{O}$  ядросидан битта нейтронни чиқариш учун қанча энергия керак бўлади? Нейтрал  ${}^{16}_8\text{O}$  атомнинг массаси 15,0030 м.а.б. га тенг.

4. Резерфорднинг атом ядросини аниқлаш бўйича ўтказган тажрибасидан олинган маълумотлардан фойдаланиб, массаси 12 м.а.б. га тенг бўлган  ${}^{12}_6\text{C}$  кўмир атоми ядросидаги модданинг зичлигини аниқланг.

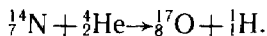
### XI БОБНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

1. Атомларнинг ядролари протон ва нейтронлардан иборат. Агар ядро шар шаклида деб ҳисобланса, унинг диаметри  $10^{-15}$  м тартибда бўлади.

2. Ядроларнинг таркибига кирувчи протон ва нейтронлар нуклонлар деб юритилади. Нуклонлар орасида ядровий кучлар таъсир этади.  $10^{-15}$  м тартибдаги масофаларда ядровий кучлар электростатик ўзаро таъсир кучларидан тахминан 100 марта катта,  $10^{-14}$  м масофаларда эса, улар жуда кичик бўлади.

3. Ядрони протон ва нейтронларга тўлиқ ажратиб юбориш учун зарур бўлган энергия ядронинг боғланиш энергияси дейилади.

4. Микрозарраларнинг атом ядроси билан тўқнашуви билан бошланиб, атом ядросининг ўзгариши билан тугайдиган жараёнлар ядро реакциялари дейилади. Ядро реакциялари сақланиш қонунларига қатъий риоя қилинган ҳолда ўтади. Биринчи сунъий ядро реакцияси 1919 йили Э. Резерфорд томонидан амалга оширилган. Бу реакция давомида азотнинг ядроси кислород ядросига айланади:



5. Енгил ядроларнинг оғирроқ ядроларга бирикиш реакцияси ва оғир ядроларнинг енгилроқ ядроларга бўлиниш реакцияси энергия ажралиши ва тинчликдаги массаларнинг камайиши билан юз беради.

6. Ядроларнинг битта ёки бир нечта зарралар чиқариб, ўз-ўзидан емирилиши ва бунинг натижасида янги ядро ҳосил бўлиши радиоактивлик ҳодисаси деб юритилади.

Радиоактив емирилиш жараёнлари сақланиш қонунларига бўйсунди.



## ХII б о б. АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИННИНГ ФИЗИК АСОСЛАРИ

Инсоният моддий ва маънавий бойликлар яратмасдан яшай олмайди. Уларни ишлаб чиқариш учун эса иш бажариш зарур. Аммо ҳар қандай иш охир оқибатда ҳаракатнинг бир турини бошқа турга айлантириш билан боғлиқ. Ҳар қандай ҳаракатнинг универсал ўлчови энергия. Демак, инсониятга энергия керак.

Инсониятнинг энергияга бўлган эҳтиёжи сўзсиз ортиб бормоқда. Саноатнинг барча соҳаларидаги, кишлоқ хўжалиги, транспорт, алоқа ва халқ хўжалигининг бошқа тармоқларидаги меҳнат унумдорлиги энергия билан таъминланганликка боғлиқ. Инсон фойдаланадиган барча бойликларга қандайдир энергия сарфланган. Мамлакатнинг фаровонлиги унинг энергия билан таъминланганлик даражасига боғлиқ.

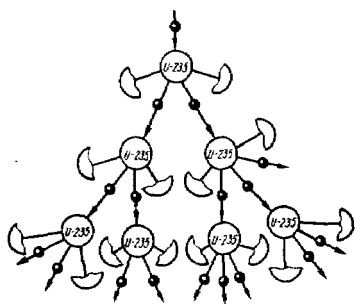
Охириги пайтларгача инсоният энергия олиш учун асосан табиий газ, кўмир, нефть, сланец, торфдан фойдаланиб келди. Ёқилғининг бу турлари, биринчидан, барча мамлакатларнинг территорияларида бир текис тақсимланмаган, иккинчидан, айниқса бу нефтга тегишли, уларнинг запаслари чегараланган. Бу шунга олиб келадик, ёқилғининг айрим турларини узоқ масофаларга ташиш (бу эса иқтисодий жиҳатдан фойдасиз), бошқа турларини эса, масалан, нефтни, унинг запаслари чегараланганлиги сабабли тежаб сарфлаш зарур бўлади. Ёқилғининг ҳамма турлари химиявий саноат учун қимматли хом ашё ҳисобланади. Инсоният олдида турган энергия муаммосини ядро реакцияларида ажраладиган энергиядан фойдаланиш билан маълум даражада ҳал этиш мумкин.

### 69- §. ЯДРО РЕАКТОРИ. АТОМ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСИ.

Ядро реакцияларини ўрганиш жараёнида биз  $^{235}_{92}\text{U}$  ядросининг бўлиниш реакцияси энергия ажралиши билан юз беришини кўрдик. Бу реакцияларда реакцияга киришувчи модданинг масса бирлиги ҳисобига ажраладиган энергия химиявий реакциялардагига қараганда миллионлаб марта катта. Шунинг учун XX аср ўрталарида фан ва техниканинг барча қучлари ядро энергиясини эгаллашга, уни ажратиб олиш ва қўллашни ўрганишга йўналтирилди.

**1. Занжир реакция.** Ядро энергиясининг ажралиши учун уран ядросининг бўлинишида янги нейтронларнинг чиқиши принципиал аҳамиятга эга. Аниқланишича, аниқ шароитларда уранда ядролар бўлинишининг занжир реакцияси юз бериши мумкин экан.

Айтайлик,  $^{235}_{92}\text{U}$  уран изотопининг етарли катта бўлагиде битта нейтрон таъсирида ядролардан бирининг бўлиниши реакцияси юз берсин ва бунинг натижасида иккита нейтрон ажралсин. Бу нейтронлар яна иккита ядронинг бўлинишига сабаб бўлади ва бунда тўртта нейтрон ажралади, улар яна тўртта ядрони бўлинишига сабаб бўлади ва х. к. (199- расм). Бундай реакция



199- расм

бўлинишининг *занжир реакция*-си деб юритилади. Уран-235 бўлинишининг занжирий реакцияси назариясини 1938 йили Я. Б. Зелёдович ва Ю. Б. Харитонлар ишлаб чиқишган.

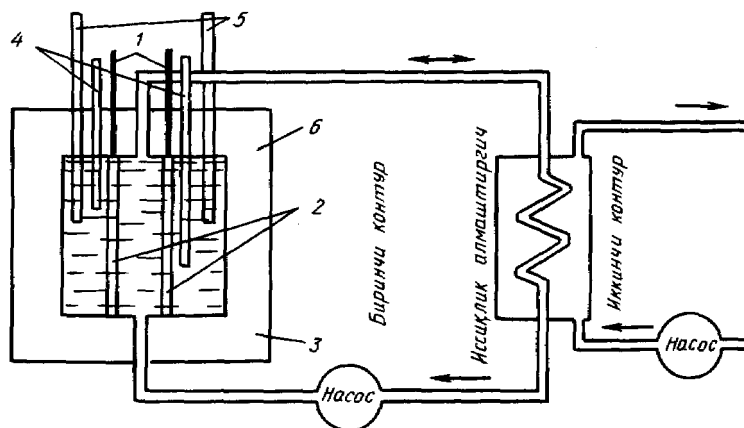
Амалда ядролар бўлинишида чикувчи барча нейтронлар янги ядролар томонидан бириктириб олинмайди. Нейтронларнинг бир қисми уран бўлагидан чиқиб кетади, бир қисми эса аралашмаларнинг атомларига тушади ва

уран ядроларининг бўлинишларини юзага келтирмайди. Шунинг учун уран ядролар бўлинишининг занжирий реакцияси ҳамма вақт ҳам содир бўлавермайди. Занжир реакция юз бериши учун биринчидан  $^{235}_{92}\text{U}$  изотопининг бўлаги етарли катта бўлиши керак. Уран бўлагининг ўлчамлари етарли катта бўлганда бўлиниш реакцияси давомда ажралувчи нейтронларнинг кўп қисми уран бўлагининг чеккасига еггунча реакцияга киришиб улгуради. Уран бўлагини нейтронларни қайтарувчи махсус ғилофга жойлаштириш ҳам занжир реакциянинг амалга ошишига ёрдам беради.

**2. Критик масса.** Уран ядролари бўлинишининг занжирий реакцияси амалга ошиши учун ядроларнинг бўлиниши натижасида ҳосил бўладиган нейтронларнинг кўп қисми уран бўлагидан чиқиб кетмаслиги, балки ядролар томонидан бириктириб олиниши керак. Бунинг учун уран бўлагининг массаси қандайдир чегаравий қийматдан кичик бўлмаслиги керак. Уран массасининг занжир реакция бўлиши учун зарур бўлган минимал қиймати *критик масса* деб юритилади. Ураннинг массаси критик массадан кичик бўлганда ҳосил бўлувчи нейтронларнинг кўп қисми ядроларнинг бўлинишини юзага келтирмай ташқарига чиқиб кетади, шунинг учун ядролар бўлинишининг занжирий реакцияси юз бермайди. Ураннинг массаси критик массадан катта бўлганда нейтронлар сони тез ортади ва реакция портлаш характерига эга бўлади. Атом бомбасининг ишлаши ана шу принципга асосланган.

**3. Иссиқлик нейтронлари ядро реактори.** Уран ядроларининг бўлинишида ажралувчи энергиядан тинчлик мақсадларида фойдаланиш учун занжир реакция бошқариладиган бўлиши керак. У уюмасимон ривожланмаслиги керак, балки бошқарилиши мумкин бўлган қандайдир доимий тезлик билан узок вақт давом этиши зарур. Оғир ядролар бўлинишининг бошқариладиган занжир реакциясини амалга оширадиган қурилма *ядро реактори* дейилади. Ядро реакторларининг икки тури мавжуд: секин (иссиқлик) нейтронлар ядро реактори ва тез нейтронлар ядро реактори. Секин нейтронлар ядро реакторларида ядро ёқилғиси  $^{235}_{92}\text{U}$  бўлади. Табiiй уранда 0,7 фоиз уран-235 изотопи бўлганлиги сабабли, у ядро реакторида фойдаланишдан олдин бойитилади.

Секин нейтронлар ядро реакторларида ишлатиладиган уран



200- расм

стерженларида 5 фоизгача уран-235 бўлади. 200-расмда секин нейтронлар ядро реакторининг соддалаштирилган схемаси кўрсатилди. Уран стерженлари 1 сувга туширилган герметик берк 2 пўлат трубаларга туширилади. Алоҳида уран стерженининг массаси критик массадан кичик, шунинг учун битта стерженда (уран-235 ядроларининг айрим ўз-ўзидан емирилишлари юз берсада) занжирий реакция бўлиши мумкин эмас, ҳамма стерженлар реакторга туширилгандан кейин ураннынг массаси критик массадан катта бўлиб қолади. Аммо занжир реакция бошланмайди, бунга икки ҳолат тўсқинлик қилади. Биринчидан, ядроларнинг бўлинишида ажралувчи нейтронлар катта тезликка эга бўлади ва уран-235 ядролари томонидан ушлаб қолинмайди, иккинчидан, нейтронлар сони занжирий реакциянинг бошланиши учун етарли бўлмайди, чунки улар (тезлиги катта бўлгани сабабли) тезда реакторнинг уран стерженлари жойлашган актив зонадан чиқиб кетади. Шундай қилиб, занжир реакция бошланиши учун нейтронлар секинлаштирилиши ва уларнинг актив зонадан чиқиб кетишига йўл қўйилмаслиги керак.

Биринчи муаммо сув ёрдамида ҳал этилади. Уран стерженларидан чиққан нейтронлар сувга кириб, водород ва кислород атомларининг ядролари билан тўкнашади, уларга ўз энергиясининг бир қисмини беради ва секинлашади. Бунда сув исийди. Иккинчи муаммони ҳал этиш учун актив зона нейтронларни яхши қайтарадиган материалдан қилинган 3 экран билан ўралади. Агар бу шартлар бажарилса, реакторда уран-235 ядролари бўлинишининг занжир реакцияси бошланади.

Агар секин нейтронлар сонини бошқариш бўйича зарурий чоралар қўрилмаса, реакторнинг актив зонасида ядро портлаши юз бериши мумкин.

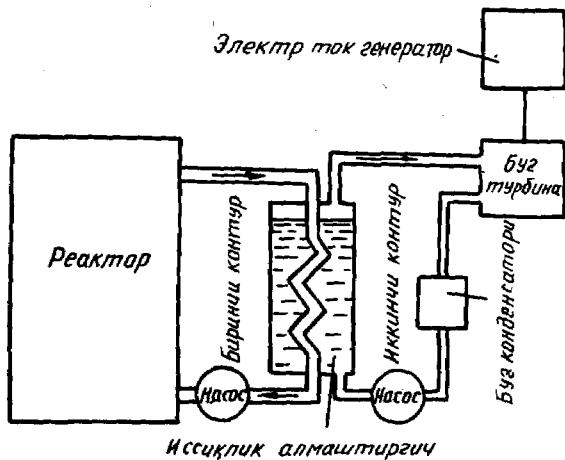
Занжир реакцияни бошқариш нейтронларни кучли ютувчи материаллар (борли пўлат, кадмий)дан тайёрланган 4 стерженларни тушириш ва қўтариш билан амалга оширилади. Бу

стерженларни актив зонага қисман ва тўлиқ киритиш билан ундаги нейтронлар сонини, бинобарин, уран-235 изотопи ядроларининг бўлиниш тезлигини бошқариш мумкин. Реакциянинг тўсатдан тезлашиб кетишининг олдини олиш учун 5 авария стержени қилинган, у актив зонага туширилса занжирий реакция дарҳол тўхтайди.

Актив зонадан (агар у тўсилмаса) нейтронлар ва  $\gamma$ -нурларнинг интенсив оқими чиқади. Шунинг учун актив зона нейтронларни қайтарувчи ва  $\gamma$ -нурланишни ютувчи моддадан қилинган 6 совут билан ўралади. Уран-235 ядроларининг бўлиниши натижасида, нейтронлар билан бирга, кўп сонли парчаланган атом бўлақлари ҳам ажралади, улар сувдан ўтиб, уни юқори температурагача иситади. Исиган сувни насослар ёрдамида реактор, трубалар ва исиклик алмаштиргичдан иборат берк контур бўйлаб ҳаракатга келтирилади. Исиган сув исиклик алмаштиргичда иккинчи контур бўйича айланувчи сувни иситади. Шундай қилиб, бундай реакторда сув иккита функцияни бажаради: у уран-235 ядроларининг бўлиниш реакцияларида ажралувчи нейтронларни секинлаштиради ва исикликни олиб кетади. Шунинг учун бундай реакторлар *сув — сувли* реактор деб юритилади. Агар нейтронларни секинлатгич графит бўлса, графит тахламидаги махсус каналлар бўйича исиклик ташувчи (сув, ҳаво, азот, карбонат ангидрид ёки эритилган натрий) айланади, у исикликни реактордан олиб, исиклик алмаштиргичдаги, иккинчи контурда айланувчи сувга узатади. Бу ҳолда секинлатувчи ва исиклик ташувчи функциялари ажратилган. Иккинчи контурдаги сув олинган исиклик ҳисобига юқори босимли бугга айланади.

Шундай қилиб, ядро реактори буғ-куч қурилмасининг «ўтхонаси» бўлади, унда одатдаги химиявий ёқилғи ўрнига ядро ёқилғиси — уран-235 нинг бўлинувчи изотопи ишлатилади.

**4. Атом электр станцияси (АЭС).** Ядро реакторларида ажралувчи энергия электр энергияси олиш учун ишлатилади. АЭС — бу электр генераторлари буғ турбиналари ёрдамида



201 - расм

айлантириладиган иссиқлик электр станциясидир (201-расм). Аммо унинг одатдаги иссиқлик электр станцияларидан фарқи шуки, унда турбиналарни айлантириш учун зарур бўлган юқори босимли буғ ядро реакторларида ажралувчи энергия ҳисобига ҳосил қилинади.

Биринчи атом электр станцияси 1954 йили рус физиги И. В. Курчатов раҳбарлигида қурилган эди; унинг қуввати этиги 5 МВт ни ташкил этган.

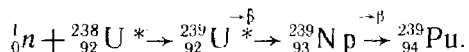
**5\* . Тез нейтронлар реактори.** Табиий уранда  ${}_{92}^{235}\text{U}^*$  изотопи 0,7 фоизни,  ${}_{92}^{238}\text{U}^*$  изотопи эса, 99,3 фоизни ташкил этади. Шунинг учун секин нейтронлар реакторлари учун ядро ёқилғисининг запаслари чегараланган ва ҳисобларга кўра, улар бир неча ўн йилларга етади. Уран-238 дан ядро ёқилғиси сифатида фойдаланиш мумкин эмас, чунки унда бўлиниш занжирий реакцияси бўлиши мумкин эмас. Аммо бу изотопни, ядроларнинг бўлиниш занжирий реакцияси бўлиши мумкин бўлган, плутонийнинг  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  изотопига айлантириш мумкин. Уран-238 ни плутоний-239 изотопга айлантириш қуйидаги схема бўйича боради:

а) Ураннинг  ${}_{92}^{238}\text{U}^*$  изотопи тез нейтронни ютиб,  ${}_{92}^{239}\text{U}^*$  изотопга айланади;

б) 23 минутдан сўнг ураннинг  ${}_{92}^{239}\text{U}^*$  изотопи  $\beta$ -емирилишга учрайди ва нептуннинг  ${}_{93}^{239}\text{Np}^*$  изотопига айланади;

в) 2—3 суткадан кейин  ${}_{93}^{239}\text{Np}^*$  нептун изотопи ядроларининг бир қисми  $\beta$ -емирилишга учраб, плутонийнинг  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  изотопига айланади.

Юқорида баён этилган ўзгаришларни қисқача қуйидагича ёзиш мумкин:



Ураннинг  ${}_{92}^{239}\text{U}$  изотопни  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  плутоний изотопига айлантириш, *реактор-кўпайтиргич* номини олган махсус реакторларда амалга оширилади. Реактор-кўпайтиргичларнинг стерженлари табиий ёки бироз бойитилган урандан тайёрланади. Қайтаргичга ҳам табиий уран киритилади. Реактор-кўпайтиргичларда секинлатгич йўқ, унинг ўрнини уран стерженлари таркибига кирувчи ураннинг  ${}_{92}^{238}\text{U}^*$  изотопи босади. Реактор-кўпайтиргичнинг иши давомида  ${}_{92}^{238}\text{U}^*$  уран изотопи секин-аста янги ядро ёқилғиси —  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  плутоний изотопига айланади. Тез нейтронлар реактори бир неча йил ишлагандан сўнг ядро ёқилғисининг миқдори икки марта ортади.

Биринчи реактор — кўпайтиргич БР-2 1956 йили Обнинск шаҳрида қурилган. АҚШда тез нейтронлар реактори 1962 йили қурилган, Ҳозирги вақтда тез нейтронлар билан ишлайдиган бир неча кучли реакторлар қурилган ва янгилари қурилмоқда.

Шевченко атом электр станциясида иссиқлик қуввати 1000 МВт бўлган иссиқлик нейтронлари реактори 1973 йилдан буён ишлаб турипти. Унинг энергияси денгиз сувини қучук қилиш ва электр энергияси ишлаб чиқариш учун ишлатилади. Белоярск АЭСда электр қуввати 600 МВт бўлган тез нейтронлар реактори ишлайди. Қуввати 1600 МВт бўлган тез нейтронлар реакторини қуриш бўйича ишлар олиб борилмоқда. Умумий ёқилғи истеъмолида электр энергияси ишлаб чиқаришга 20 фоиз, саноат ва маиший иссиқлик олишга ва транспортга 80 фоиз ёқилғи сарфланади. Кейинги йилларда катта шаҳарларни иссиқлик билан таъминлаш учун атом иссиқлик марказлари қурила бошланди.

6. Атом электр станциялари хавфлими? Тез-тез атом электр станциялари хавфли деб гапиришади. Бу нотўғри фикр. Атом электр станциялари тўғри эксплуатация қилинганда, улар мутлақо хавфсиз. Буни тасдиқлаш учун фақат битта мисол келтирамиз. Территорияси ва аҳолиси Украинанинг территорияси ва аҳолисига тахминан тенг бўлган Францияда атом электр станциялари кўп. 1989 йили Францияда ишлатилган ҳамма энергиянинг 80 фоизи атом электр станцияларида, 13 фоизи гидроэлектр станцияларида ва фақат 7 фоизи иссиқлик электр станцияларида ишлаб чиқарилган. Қизғи шуки, Франция ўзида ишлаб чиқарилган электр энергиясининг 12 фоизини Англияга, Швейцарияга, Италияга, Бельгияга ва ГФРга сотади.

Атом электр станциялари бошқаларга қараганда қуйидаги шубҳасиз устунликларга эга. Биринчидан, улар экологик жиҳатдан энг «тоза». Тўғри эксплуатация қилинганда атом электр станциялари атмосферага ва ҳавога ҳеч қандай (на радиоактив, на нейтрал) чиқиндилар чиқармайди. Иккинчидан, атом электр станциясининг ишлаши учун нисбатан оз ядро ёқилғиси талаб қилинади.

Чернобиль АЭС сидаги авария ва шу муносабат билан ишлаб турган атом электр станцияларининг ва қурилаётган қатор станциялар қурилишининг тўхтатилиши электр энергияси ишлаб чиқаришни кескин камайтириб юборди. Фақат Чернобиль ва Арманистон АЭС лари ҳисобига электр энергияси етказиб бериш 100 млрд. кВт. соатга камайди. Ишлатилмай қўйилган ва ишга туширилмаган атом энергия блокларининг умумий қуввати 30 млн. кВт га яқин.

Чернобиль АЭС сидаги авариядан кейин (1986 й.) авариялар бўлишининг ва АЭС лари атрофидаги ҳудудларда радиоактивлик даражаси ортишининг олдини олиш учун АЭС лари қурилишига кўшимча маҳсус талаблар белгиланди. Сейсмик актив районларда ва катта шаҳарлар яқинида АЭС лари қуриш тақиқланди.

Шундай қилиб, электр энергиясига айлантириш учун ярқли бўлган энергия турлари ичида атом энергияси иқтисодий жиҳатдан энг фойдали, экологик жиҳатдан энг «тоза» экан. Аммо атом электростанцияларидан фойдаланиш хавфсиз бўлиши учун улар ишончли химояга эга бўлиши ва уларни аъло профессионал тайёргарлиги бўлган кишилар бошқариши зарур.

?

1. Уран ядроси бўлиниш реакциясини ёзинг ва бу реакцияда ажралувчи энергияни ҳисобланг.
2. 1 кг мазут ёнганда 40 000 кЖ энергия ажралади. Бу энергияни 1 кг уран  ${}_{92}^{235}\text{U}^*$  емирилганда ажралувчи энергия билан солиштиринг.
3. Қандай реакцияни занжир реакция дейилади? Нима сабабдан уран  ${}_{92}^{235}\text{U}^*$  да занжир реакция бўлиши мумкин?
4. Критик масса нима?
5. Секин нейтронлар ядро реакторининг тузилиши ва ишлаш принципини 200- расм асосида тушунтиринг.
6. Атом электр станциясининг ишлаш принципини тушунтиринг.

## 70- §. ТЕРМОЯДРО РЕАКЦИЯСИ. ТЕРМОЯДРО ЭНЕРГЕТИКАСИНING ИСТИҚБОЛЛАРИ

Кучли энергетика базаси мамлакат иқтисодиётини ҳар томонлама ривожлантиришнинг, ишлаб чиқариш техникаси ва технологиясининг барча тармоқларини такомиллаштиришнинг ва халқ фаровонлигини оғишмай оширишнинг асоси ҳисобланади. Шунинг учун энергетикани, ва айниқса электр энергетикасини ривожлантиришга алоҳида эътибор берилади. Аммо электр станцияларида фақат ёқилғи, гидравлик, ва ядро энергиялари электр энергиясига айлантирилади. Мамлакатимиз ёқилғи ва ядро ёнилғисининг энергетика эҳтиёжларини узок йиллар давомида қаноатлантирадиган даражадаги катта ва бой запасларига эга. Аммо бу запаслар ҳам абадий эмас ва қайта тикланмайди. Энергиянинг гидравлик манбалари қайта тикланади, аммо улар чегараланган. XX аср ўрталарига келиб янги энергия манбаларини ахтариб топиш муаммоси пайдо бўлди.

Олимларнинг эътиборини атом ядроларининг синтези реакцияси ўзига қаратди. Олдинги 64- § да уран-235 ядросининг бўлиниш реакциясида 208 МэВ энергия ажрალიш, водород ядроларидан гелий ядросининг синтези реакциясида эса, 26 МэВ энергия ажрალიши кўрсатилган эди. Биринчи ҳолда битта нуклонга

$$E_1 = \frac{208}{235} = 0,9 \text{ МэВ}$$

энергия, иккинчи ҳолда эса

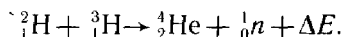
$$E_2 = \frac{26}{4} \approx 6,5 \text{ МэВ!}$$

энергия тўғри келади. Шундай қилиб, энергетика нуктаи назардан ядролар синтези реакцияси, оғир ядроларнинг бўлиниш реакциясига қараганда фойдалироқ экан.

**1. Термоядро реакцияси.** Гелий ядролари синтези реакциясини амалга ошириш учун, улкан электростатик итарилиш кучларини енгиб, атом ядроларини жуда қисқа —  $10^{-15}$  м масофаларгача яқинлаштириш керак. Водород ядроларининг бундай яқинлашуви фақат бир неча юз миллион градус температурагача кизитилган водород плазмасидагина бўлиши мумкин. Бундай температурада

ядроларнинг кинетик энергияси улар орасидаги электростатик ятаришиш кучларини енгишга етарли бўлади. Бундай реакциялар *термоядро реакциялари* деб юритилади.

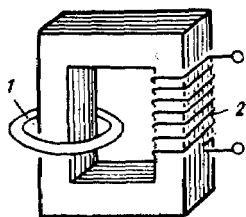
Биринчи термоядро реакцияси водород бомбасида амалга оширилган. Унда водороднинг  ${}^2_1\text{H}$  (дейтерий) ва  ${}^3_1\text{H}$  (тритий) изотопларидан гелий ядросининг синтези амалга оширилган:



**2. Бошқарилувчи термоядро реакциялари.** Водород бомбасидаги термоядро реакциясини бошқариб бўлмайди. Бошқарилувчи термоядро реакциясини амалга ошириш учун  $10^8$  К тартибдаги температурани ҳосил қилиш ва ушлаб туриш керак. Бундан ташқари, олинган газ плазмасини берилган ҳажмда ушлаб туриш зарур, чунки плазманинг идиш деворларига тегиши унинг совигиша олиб келади.

Физикларнинг куч-ғайрати бошқарилувчи термоядро реакциясини яратишга йўналтирилган. Оптимал ечимларни топиш йўлидаги узок муддатли изланишлардан, кўп сонли қийинчиликларни енгиш борасидаги курашлардан сўнг, энг истикболли йўналишлар аниқланди ва уларга асосий куч-ғайрат йўналтирилди. Ҳозирда бу муаммони ҳал этишнинг икки йўналиши белгиланди: термоядро реакциясини «токамак» типидagi қурилмаларда тинч ядро «алангаси» шаклида ва ядро ёнилғиси кичик «таблетка»ларининг «микропортлашлари» кўринишида амалга ошириш.

**3. «Токамак» типидagi қурилма.** Биринчи марта яратилган «Токамак» типидagi қурилмада плазмани қизитиш учун кучли электр разрядидан, уни ушлаб туриш учун эса, магнит майдонидан фойдаланилади. «Токамак»да плазма 1 тороидал камерада ҳосил қилинади (202-расм). Камера паст босимли дейтерий ( ${}^2_1\text{H}$ ) билан тўлдирилади. Тороидал камера импульс трансформаторининг иккиламчи ўрами бўлади, унинг 2 бирламчи ўрами жуда катта сифимли конденсаторлар батареясига уланади (202-расмда кўрсатилмаган). Конденсаторлар батареяси трансформаторнинг бирламчи ўрами орқали зарядсизланганда тороидал камерада уярмавий электр майдон юзага келади, у ишчи газни ионлаштиради ва унда кучли ток импульсини ҳосил қилади. Электр токи ишчи газни қаттиқ қизитади. Бир неча ўн миллион кельвингача температурали плазма ҳосил бўлади.

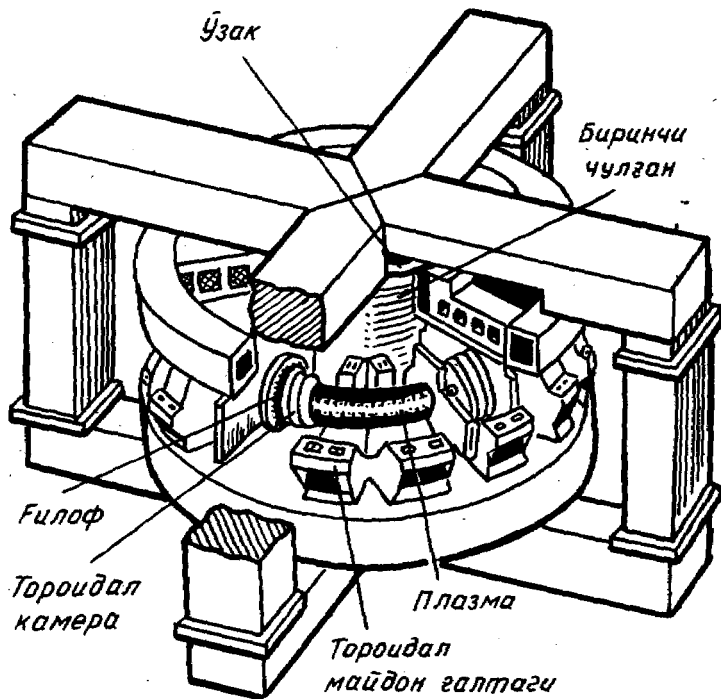


202-расм

Бундан ташқари, тороидал камерада ҳосил қилинган электр токи иккинчи муҳим функцияни бажаради: унинг магнит майдони электрон ва ионларни плазма устунда ушлаб туради ва бу билан уларнинг камера деворларига тўғридан-тўғри тегишига тўсқинлик қилади.

Плазма шнурининг эгилишларга ва бошқа мумкин бўлган шакл ўзгаришларига нисбатан тургун бўлиши учун «Токамак»да





203- расм

индукция чизиклари плазмадаги ток йўналишига параллел бўлган кучли магнит майдон ҳосил қилинади. Бу стабилизацияловчи тороидал магнит майдонни тороидал камеранинг ташқарисидан ўралган ўрамлар ҳосил қилади.

«Токамак-10» қурилмасининг умумий кўриниши 203- расмда берилди. Унда трансформаторнинг магнитопроводи, тороидал магнит майдонининг ўрамлари ва вакуум камерасининг деталлари кўринади. Электр таъминот, вакуум ҳосил қилиш, бошқариш системалари ва ўлчов диагностика комплекси бошқа хоналарга жойлашган. «Токамак-10» да юқори температурали плазма 0,06 с гача ушлаб турилади, бундан бир оз кам вақт давомида тороидал камерада гелий синтези термоядро реакцияси юз беради.

Шуни таъкидлаш лозимки, ажраладиган термоядро энергияси, ҳозирча плазма ҳосил қилиш учун сарфланган энергияга nisbatan жуда кичик Аммо термоядро реакциялари натижасида ҳосил бўладиган нейтронлар оқими «Токамак»да интенсив термоядро реакцияси бораётганлигидан далолат беради.

Термоядро реакциясининг мавжуд бўлиш вақтини кўпайтириш йўллари қурилманинг ўлчамларини катталаштириш билан боғлиқ. Шунинг учун ҳозир бундай типдаги катта «Токамак-20» қурилмаси қурилмокда.

#### 4. Термоядро реакцияси учун лазер қурилмаси: Лазер

қурилмасининг тузилиши ва ишлаш принципи билан танишайлик.

Музлатилган дейтерий ва тритий аралашмасидан ёки уларнинг химиявий бирикмаларидан қилинган, миллиметрдан камроқ ўлчамли, ҳамма томонидан лазер нури билан бир текис ёритиладиган шарчани кўз олдингизга келтиринг. Лазер нурланиши шарча сиртидаги моддани қизитади ва буғлантиради, бунда босим ўнлаб миллиард атмосферагача ортади. Бу босим таъсирида шарчанинг марказий қисми қисилади ва қизийди. Модда зичлигининг ортиши термоядро реакциясининг бошланишига олиб келади. Лазерли термоядро реакциялари бўйича текширишларнинг биринчи даврида (1961—1968 йй.) термоядро синтези учун лазердан фойдаланиш гоёси асосланди, керакли асбоблар яратилди, дастлабки текширишлар ўтказилди ва ядро синтези мумкинлигини исботловчи биринчи нейтронлар олинди. Лазер нурланиши билан қизитилган плазмадан нейтрон импульси, биринчи марта 1968 йили П. Н. Лебедев номидаги физика институтида (ФИАН) олинган.

Текширишларнинг иккинчи даври энергетика масалаларини ҳал қилиш учун комплекслар қуришдан бошланди. 1970 йили ФИАНда биринчи қурилма ишга туширилди. У нишонни сферик (хар томондан) ёритиш учун мўлжалланган, 1,3 кЖ энергияли ва импульс вақти  $0,1 \cdot 10^{-6}$  с бўлган тўққиз каналли лазерни, шунингдек, диагностика аппаратларининг катта комплексини ўз ичига олади. Бу қурилма  $10^{12}$  Вт қувватга эга. Шунга ўхшаш қурилмалар 1972—73 йилларда Франция ва АҚШ да ишлай бошлади.

Ҳозирги кунда дунёнинг турли лабораторияларида — АҚШ, Франция ва Японияда — ўн ёки хатто юз минг жоуль энергияли кучли лазер қурилмаларига катта эътибор берилмоқда.

Ҳисоблашларнинг кўрсатишича энергия ажраладиган термоядро синтезини амалга ошириш учун 100 кЖ дан катта энергияли ва импульс вақти секунднинг ўн миллиарддан бирига яқин бўлган лазерлар керак бўлар экан.

Ҳозирги вақтда лазерли термоядро синтези илмий-текшириш лабораторияларидан ташқарига чиққани йўқ. Аммо энг муҳими — бу физик нуктаи назаридан асосланган муаммо эканлиги, лазерли термоядро синтези истиқболларини баҳолашда буни ҳисобга олиш зарур. Бошқарилувчи термоядро реакциясининг амалга оширилиши инсониятга деярли туганмас энергия манбаини беради, чунки дейтерийнинг океан сувларидаги запаси жуда катта, уни ажратиб олиш эса, оддий ва арзон.

?

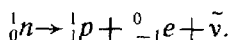
1. Қандай ядро реакцияси термоядро реакцияси дейилади? 2. Термоядро реакциясини қандай амалга ошириш мумкин?
3. «Токамак» қурилмасининг ишлаш принципини тушунтиринг.
4. Термоядро синтези учун лазер қурилмасининг ишлаш принципини тушунтиринг.

1. Дунёда биринчи атом электр станциясининг яратилиши (1954 й.) энергетикада янги йўналишни бошлаб берди.

2. Атом энергетикаси ривожининг биринчи боскичида секин (иссиқлик) нейтронлар реактори курилди ва уларда ядро «ёнилғиси» сифатида уран-235 дан фойдаланилади. Атом энергетикаси ривожининг иккинчи боскичида, секин нейтронлар реакторлари билан бир қаторда, тез нейтронлар реакторларидан ҳам фойдаланилди. Тез нейтронлар реакторларида плутоний (ёки унинг уран-235 билан аралашмаси)дан фойдаланилади. Бу реакторлар актив зонасининг ташки қисми уран-238 дан қилинади. Реактор ишлаганда ажралган нейтронлар уран-238 ядролари томонидан бириктириб олинади ва улар ядро реакцияси натижасида плутонийга айланади. Натижада тез нейтронлар реакторларида уларга бошида киритилганга қараганда бир ярим марта кўп ядро «ёнилғиси» (плутоний) ҳосил бўлади. Ядро энергетикасининг учинчи боскичи, афтидан, енгил ядролар синтези жараёнида ажралувчи энергия билан боғлиқ бўлади.

### ХIII БОБ. ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР

Радиоактивлик ҳодисасининг кўрсатишича, на фақат атом ядролари ўз-ўзидан бошқа (кичикроқ боғланиш энергиясига эга бўлган) ядроларга айланиши мумкин, балки нейтронлар ҳам протон, электрон ва нейтринога айланиши мумкин:



Физика қаршисида янги муаммолар пайдо бўлди: нега табиатда бундай зарралар мавжуд? Уларнинг хоссалари нимага боғлиқ? Нега улар бир-бирига айланади? Қанча зарра мавжуд бўлиши мумкин? Бу саволларга жавоб бериш йўлидаги изланишлар физиканинг янги бўлими — элементар зарралар физикасининг пайдо бўлишига олиб келди.

Элементар зарралар физикаси ўта кичик ( $R < 10^{-15}$  м) масофаларда, ўта кичик ( $t < 10^{-8}$  с) вақт давомида ва ўта юқори ( $E > 1$  ГэВ) энергияларда юз берувчи ҳодисаларни ўрганади. Ҳозирча физиканинг бу бўлими ўз ривожининг дастлабки боскичида.

Кейинги йилларда элементар зарралар физикасида қатор фундаментал кашфиётлар қилинди, улар материянинг тузилиши ва бунгача элементар деб ҳисобланувчи зарраларнинг хоссалари ҳақидаги тасаввурларни тубдан ўзгартириб юборди.

Бу бобда биз элементар зарралар физикасининг асосини ташкил этувчи асосий илмий далиллар билан танишамиз.

## 71-§. АСОСИЙ ЭЛЕМЕНТАР ЗАРРАЛАР ВА ҲАЗО ТАЪСИРЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Замонавий физикада «элементар зарралар» термини материянинг атомлари ёки атом ядролари бўлмаган кичик зарраларига қўлланади. Бундан буён «элементар зарралар» дейилганда протонлар, нейтронлар, электронлар, фотонлар, нейтрино, шунингдек, мазкур бобда танишиладиган позитрон ва антипротонлар тушунилади. Бу рўйхат тўла эмас. Ҳозирги вақтда бошқа қўпгина элементар зарралар ҳам маълум.

Бизга маълум бўлган айрим элементар зарраларни характерловчи асосий катталиклар 9-жадвалда келтирилди.

9-жадвал

| Зарралар | Белгиси  | Тинчликдаги массаси | Заряди | Яшаш вақти |
|----------|----------|---------------------|--------|------------|
| Электрон | $e^-$    | $m_e$               | -1     | Турғун     |
| Протон   | $p$      | $1836,1 m_e$        | +1     | Турғун     |
| Нейтрон  | $n$      | $1838,6 m_e$        | 0      | 1000 с     |
| Нейтрино | $\nu$    | $< 10^{-4} m_e$     | 0      | Турғун     |
| Фотон    | $\gamma$ | 0                   | 0      | Турғун     |

**1. Элементар зарраларнинг бир-бирига айланиши.** Юқоридаги 9-жадвалга кирган зарраларнинг хоссаларини таҳлил қилар эканмиз, уларнинг ҳаммаси бир-бири билан қандайдир боғланишга эга эканлиги эътиборни жалб этади. Чунончи, электрон, протон ва нейтрино нейтроннинг емирилиши натижасида юзага келади, фотон эса, атомнинг қўзғалган ҳолатдан кичик энергияли стационар ҳолатга ўтиши билан боғлиқ. Элементар зарраларнинг бир-бирига айланиши — уларнинг энг муҳим хусусиятларидан бири.

Барча элементар зарралар ғоят кичик массага эга, уларнинг кўпчилигини массаси нейтрон массасидан кичик. Уларнинг ўлчамлари  $10^{-15}$  м дан кичик.

**2. Ҳазо таъсир турлари.** Ҳозирги вақтда элементар зарралар дунёсида тўртта фундаментал типдаги Ҳазо таъсирлар бўлиши мумкинлиги аниқланган: кучли, электромагнит, кучсиз ва гравитацион. Барча зарралар орасида гравитацион Ҳазо таъсир бор, унинг ўлчови гравитацион кучлардир. Гравитацион Ҳазо таъсир (демак, гравитацион кучлар ҳам) узокдан (узун) таъсир қилувчидир. Гравитацион Ҳазо таъсир ҳамма вақт зарраларнинг Ҳазо тортишида намоён бўлади.

Электромагнит Ҳазо таъсир ҳам узокдан таъсир қилади. Электромагнит Ҳазо таъсир кучлари гравитацион кучлардан катта. Мисол учун, иккита протоннинг электромагнит Ҳазо таъсир кучи уларнинг гравитацион Ҳазо таъсир кучидан  $10^{36}$  марта катта. Электромагнит Ҳазо таъсир ҳам тортишиш кучлари кўринишида (хар хил ишорали зарядга эга бўлган зарралар орасида), ҳам

тортишиш кучлари кўринишида (бир хил ишорали зарядга эга бўлган зарралар орасида) намоён бўлади.

Энг кучли ўзаро таъсир кучли ўзаро таъсирдир. Унинг ўзига хос хусусияти — якиндан таъсир қилишидир. Кучли ўзаро таъсирнинг яқин (қиска) таъсир кучлари  $10^{-15}$  м масофаларда электромагнит кучлардан тахминан 100 марта катта. Ниҳоят, кучсиз ўзаро таъсир фақат  $10^{-16}$  м дан кичик масофалардагина намоён бўлади.

Электромагнит ўзаро таъсирлар электромагнит майдон квантлари — *фотонлар* орқали узатилади. Гравитацион ўзаро таъсир ҳам махсус зарралар — *гравитонлар* орқали узатилади деб тахмин қилинади, ammo гравитонлар хали аниқланганича йўқ.

Кучли ўзаро таъсир *глюонлар* деб номланган зарралар орқали амалга оширилади.

Куйидаги 10- жадвалда фундаментал ўзаро таъсирлар ҳақидаги асосий маълумотлар келтирилди.

10- ж а д в а л

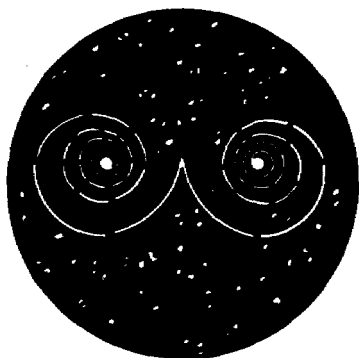
| Ўзаро таъсир турлари | Таъсирланувчи зарралар | Максимал таъсир радиуси | Қайси зарралар орқали амалга ошади |
|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Кучли                | Нуклонлар              | $10^{-15}$ м            | Глюонлар                           |
| Электромагнит        | Зарядли зарралар       | $\infty$                | Фотонлар                           |
| Кучсиз               | Кварклар               | $10^{-16}$ м            | —                                  |
| Гравитацион          | Ҳамма зарралар         | $\infty$                | Гравитонлар                        |

## 72- §. ПОЗИТРОН. АНТИЗАРРАЛАР

**1. Диракнинг башорати.** Инглиз физиги П. Дирак 1928 йили электрон ҳаракатининг релятивистик ( $c$  га яқин тезликлар учун ҳам ўринли бўлган) назариясини яратди. Бу назарияни яратишда Дирак нисбийлик назариясининг ва квант назариянинг умумий принципларига ва булардан ташқари, иккита экспериментал катталиқ — электроннинг заряди ва массасига таянди.

Аmmo Дирак назариясидан электрон мусбат зарядга ҳам эга бўлиши мумкинлиги келиб чиқар эди. Дирак массаси ва заряди электронникига тенг бўлган, фақат электрондан зарядининг ишораси билан фарқланувчи зарра мавжуд бўлиши керак деган фикрни илгари сурди.

**2. Позитроннинг кашф этилиши.** Космосдан Ер сиртига тўлқин узунлиги ҳар хил бўлган электромагнит тўлқинлар ва ҳар хил энергияли зарралар келади. Бу нурланиш *космик нурлар* деб номланган. Олимлар космик нурларни узоқ вақтдан буён синчиклаб ўрганиб келишади. Америкалик физик К. Д. Андерсон 1932 йили космик зарраларнинг Вильсон камерасидаги изларини фотосуратини ўрганар экан, расмлардан бирида худди электронга, ammo «заряди мусбат бўлган» электронга тегишли изни кўриб қолди. Дирак томонидан башорат қилинган зарра ана шундай топилган эди.



204- расм

Бу зарранинг кашф этилиши фундаментал аҳамиятга эга: 1932 йилда маълум бўлган электрон, протон ва нейтрондан фаркли ўларок бу зарра «одатдаги» модда таркибига кирмас эди. Ажойиб из қолдирган бу заррани Андерсон *позитрон* деб атади.

Позитроннинг кашф этилиши катта кизиқиш уйғотди. Олимлар позитронни ва фақат космик нурларда, балки Ер шароитида, радиоактив ядролар иштирок этувчи жараёнларда ҳам излай бошлашди. 1933 йили  $\gamma$ -квантларнинг модда билан ўзаро таъсирлашувида электрон ва

позитрон ҳосил бўлиш ҳодисаси кашф этилди:

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

1934 йили айрим радиоактив ядроларнинг позитронлар чиқариши аниқланди. Кейинчалик радиоактив ядролардан позитрон чиқиши ядродаги протоннинг нейтронга айланиши билан боғлиқлиги маълум бўлди:

$${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_1^0e^+ + \nu.$$

Мисол учун, фосфор  ${}_{15}^{30}\text{P}^*$  изотопининг радиоактив ядроси кремний ядросига, позитронга ва нейтринога бўлинади:

$${}_{15}^{30}\text{P}^* \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^0e^+ + \nu.$$

**3. Позитроннинг пайдо бўлиши ва сакланиш қонулари.** Элементар зарралар физикасида сакланиш қонуларининг катъий бажарилиши юқорида таъкидланган эди. Позитрон пайдо бўлишида ҳам улар бажарилади. Чунончи,  $\gamma$ -квантларнинг модда билан ўзаро таъсирлашувида электрон ва позитроннинг бир вақтда пайдо бўлиши заряднинг сакланиш қонунидан келиб чиқади: нейтрал фотон фақат умумий заряди нолга тенг бўлган зарраларгагина айланиши мумкин. Вильсон камерасида олинган фоторасмдан килинган 204-расмда бир вақтда туғилган электрон ва позитронларнинг трекари кўрсатилди.

Масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонуни ( $E = mc^2$ ) позитрон — электрон жуфтига ҳар қандай фотонлар эмас, балки энергияси  $8,2 \cdot 10^{-14}$  Ж дан катта бўлган фотонларгагина айланиши мумкинлигини тушунтириш имконини беради. Ҳақиқатан ҳам, энергиянинг сакланиш қонунидан ва масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонунидан электрон-позитрон жуфтига айланувчи фотоннинг  $E$  энергияси бу зарраларнинг тинчликдаги  $2m$  массаси билан боғлиқ  $2mc^2$  энергиядан кичик бўлиши мумкин эмаслиги келиб чиқади:

$$E \geq 2mc^2.$$

Еруғлик тезлигининг ва электрон массасини кийматларини қўйиб,  
 $2me^2 \approx 2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 16^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \approx 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ Ж} = 1,64 \cdot 10^{-13}$ .

$$\frac{эВ}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 1,10^6 \text{ эВ} = 1 \text{ МэВ}, \text{ демак, } E \geq 1 \text{ МэВ бўлишини топамиз.}$$

Импульснинг сақланиш қонуни эса, электрон-позитрон жуфти туғилиши жараёнида,  $\gamma$ -квант импульсининг электрон ва позитрон импульслари йиғиндисидан ортиқча қисмини қабул қилиш керак бўлган, учинчи зарра (электрон ёки ядро) ҳам иштирок этиши зарурлигини такозо этади. Шунинг учун  $\gamma$ -квантларнинг мода билан ўзаро таъсирида электрон-позитрон жуфтнинг туғилиш схемаси қуйидагича ёзилади:

$$\gamma + e^- \rightarrow e^- + e^- + e^+,$$

ёки

$$\gamma + x \rightarrow x + e^- + e^+,$$

бу ерда  $x$  — электрон-позитрон жуфти туғилишида иштирок этувчи ядро.

**4. Позитроннинг электрон билан ўзаро таъсири.** П. Дирак позитрон электрон билан тўқнашганда тескари жараён — бу зарраларнинг иккита фотонга айланиши юз бериши кераклигини назарий башорат этган эди. Позитрон тажрибада топилгандан кейин кўп ўтмай ана шундай тескари жараён кашф этилди. Бу жараён унча тўғри бўлмаган *аннигиляция* (лотинча nihil — ҳеч нима) номини олди.

Ерда позитронлар йўқлигининг сабаби аннигиляциядир: позитрон пайдо бўлгандан кейинроқ электрон билан тўқнашади ва ҳар иккала зарра иккита фотонга айланади.

**5. Антизарралар.** Позитроннинг кашф этилиши физика тарихида ғоят муҳим воқеа бўлди — бу биринчи *антизарра* эди. Гап шундаки, Дирак назариясидан протоннинг ҳам манфий зарядли қиёфадоши бўлиши кераклиги келиб чиқар эди. У *антипротон* деб номланди. Антипротонни тажрибада топиш учун узоқ вақт қатъият билан уринилди. Ниҳоят, 1955 йили америкалик физиклар Э. Сегре ва О. Чемберленлар уни топишга муваффақ бўлишди. Айни вақтда унинг протон билан аннигиляцияси ҳам кузатилди.

Антипротон кашф этилгандан кўп ўтмай антинейтрон ҳам кашф этилди.

### 73-§\*. КВАРКЛАР.

60-йилларнинг бошланишига келиб, кашф этилган элементар зарраларнинг сони шу қадар кўпайиб кетдики, ҳатто уларнинг элементарлигига шубҳа туғила бошлади.

Америкалик физик М. Гелл — Манн ва ундан беҳабар ҳолда Ж. Цвейг кучли ўзаро таъсирланувчи элементар зарралар, *кварклар* деб номланган учта заррадан тузилган деган гипотезани илгари суришди.

**1. Кварклар ҳақида нималар маълум?** Дастлаб кварклар физикага гипотетик, яъни тахмин қилинган объектлар сифатида қиритилган эди. Аммо ҳозирги вақтда уларнинг реал мавжудли-

гини тасдиқловчи экспериментал далиллар мавжуд. Кварклар ҳақидаги гипотеза кузатилган ходисаларнинг кўпини муваффақиятли тушунтиришга қарамай эркин ҳолатдаги кварклар ҳозиргача тажрибада топилгани йўқ. Физиканинг бу соҳасида ишловчи мутахассисларнинг кўпчилиги кваркларнинг эркин ҳолатда кузатиб бўлмаслигининг сабаби, кваркларни зарралар ичида ушлаб турувчи кучларнинг ниҳоятда катталигида ва алоҳида характерида деб ҳисоблашади.

Кваркларни зарралар ичида ушлаб турувчи кучлар  $10^{-15}$  м дан катта масофаларда ниҳоятда улкан ва масофа ортиши билан ортади. Улар табиатдаги энг катта кучлар бўлиб, гравитацион, электромагнит ва ядро кучларидан кўп марта катта. Бу кучлар кийматининг катталиги зарралар ичидаги кварклар боғланиш энергиясининг катта бўлишига олиб келади ва уларнинг эркин ҳолда мавжуд бўлишига тўсқинлик қилади.

Кварклар орасида таъсир этувчи кучларнинг алоҳида характери шундаки, улар  $10^{-15}$  м дан кичик масофаларда жуда кичик бўлиб қолади. Бу кучларнинг манбаи *глюонлар* (инглизча *glue* — елим) деб номланган алоҳида зарралардир. Кваркларнинг ўлчамлари  $10^{-18}$  м (яъни кварк протондан камида 1000 марта кичик).

Кваркларнинг бир қисми электр зарядига эга, аммо бу заряд ... касрий. Чунончи, *u* ҳарфи билан белгиланган кваркнинг заряди  $+\frac{2}{3}e$  га, *d* ҳарфи билан белгиланган кваркнинг заряди эса,  $-\frac{1}{3}e$  га тенг. Глюонлар электр жиҳатдан нейтрал.

**2. Кварклар ва глюонларнинг «ранги» ҳақида.** Кварклар ва глюонлар — бу бизга маълум бўлган барча кучли ўзаро таъсирлашувчи зарраларни қандайдир тарзда ташкил этувчи зарралардир.

Кварклар (ва глюонлар), биз макродунёда учратмайдиган, алоҳида ўзига хос хоссаларга эга. Бу алоҳида хоссаларга қандайдир ном бериш керак эди. Кваркларнинг хоссаларидан бири «ранг» деб номланган. Равшанки, кваркларнинг биз кундалик ҳаётимизда учратадиган ранги йўқ. Кварк учун «ранг» сўзи унинг ўзига хос хусусиятининг белгиси сифатида ишлатилади.

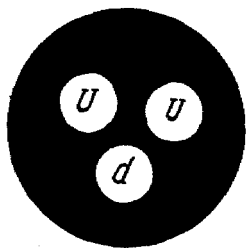
Бу хоссаларни бир-биридан фарқлаш мақсадида кваркларга уч хил — қизил, кўк, яшил ранглар ва уч хил — антиқизил, антикўк ва антияшил антиранглар берилган.

Кваркларнинг бу шартли белгиларига, худди «мусбат заряд», «манфий заряд» терминларига кўниккандек кўникиш лозим.

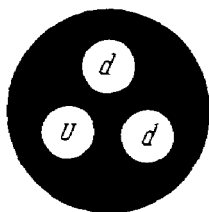
Кварк назариясининг ажойиб ютуқларига қарамай, табиатда қанча кварклар борлиги ҳалигача номаълум.

**3. Кварк назариясида протон ва нейтроннинг тузилиши.** Кварк назарияси яратилиши вақтида протон учта кварклардан — иккита и кварк (ҳар бирининг заряди  $+\frac{2}{3}e$  бўлган) ва битта *d* кварк ( $-\frac{1}{3}e$  зарядли) дан тузилган деган фикр илгари сурилган эди





205- расм



206- расм

(205- расм). Протоннинг тўлик заряди  $+e$  га тенг.

Бу тахминни текшириб кўриш мақсадида протонларни ... электронлар ёрдамида ўрганишга қарор қилинди. Бу тажрибанинг ғояси худди Резерфорд тажрибасиникидек, аммо бу ҳолда фольга ўрнига протонлар бомбардимон қилинади.  $\alpha$ - зарралар ўрнига эса 20 000 МэВ гача энергияли электронлардан фойдаланилади. Электронларнинг снарядлар сифатида танланишининг сабаби шундаки, улар кучли ўзаро таъсирда иштирок этмайди ва катта энергияларда протонга анча осон киради.

Тажрибаларнинг натижалари шуни кўрсатадики, электронлар протондан ўтишида худди манфий зарядли зарраларга дуч келгандек, катта бурчакларга сочилиб кетади (натижалар Резерфорд тажрибаси натижаларига жуда ўхшайди). Тажриба натижаларини синчиклаб таҳлил қилиш, электр зарядлари протон ичида уч нуктада бўлишини ва, мос ҳолда,  $+\frac{2}{3}e$ ,  $+\frac{2}{3}e$  ва  $-\frac{1}{3}e$  га тенглигини кўрсатди.

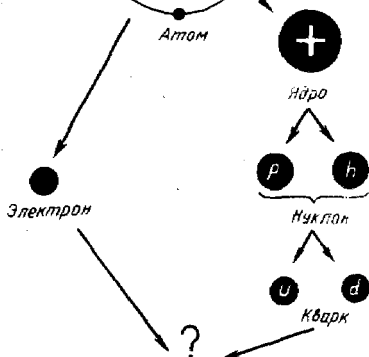
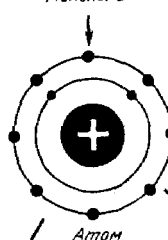
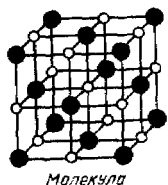
Шундай қилиб, протоннинг кваркли модели муҳим экспериментал текширувдан ўтди: протон ичида кварклар топилди!

Кварк назариясига кўра нейтрон ҳам учта кваркдан тузилган (206- расм): битта  $u$  кварк ( $q_u = \frac{2}{3}e$ ) ва иккита  $d$  кварк

( $q_d = -\frac{1}{3}e$ ), шунинг учун у электр жихатдан нейтрал.

**4. Модданинг тузилиши ҳақида.** Ҳозиргача модда тузилишининг тўртта даражаси аниқланди: молекулалар, атомлар, ядролар, кварк ва электронлар (207- расм).

Электрон — кучли ўзаро таъсирда иштирок этмайдиган зарра,



207- расм

шунинг учун ҳам у кваркларга боғлиқ эмас. Электрон ҳаммавақт ички тузилишга эга бўлмаган нуктавий объект сифатида намоён бўлади (унинг де Бройль тўлқини жуда кичик).

### ТАҚРОРЛАШ УЧУН МАСАЛАЛАР

1. Қаттиқлиги 100 Н/м бўлган пружинага осилган 1 кг массали жисм амплитудаси 8 см бўлган гармоник тебранишлар қилади. Маятникнинг тебраниш бошлагандан 1/6 давр ўтгандан кейинги силжиши ва тезлиги аниқлансин. Пружинанинг массаси ҳисобга олинмайди, бошланғич фаза нолга тенг. (Ж а в о б:  $x=4$  см;  $v=0,7$  м/с).

2. Пружинали горизонтал маятникнинг массаси 100 г, пружинасининг қаттиқлиги 10 Н/м. Агар тебраниш амплитудаси 4 см бўлса, маятникнинг тебранишлар бошланганда 1/6 давр ўтгандан кейинги кинетик, потенциал ва тўлиқ энергиялари қанчага тенг бўлади? (Ж а в о б:  $E_k=2 \cdot 10^{-3}$  Ж,  $E_p=6 \cdot 10^{-3}$  Ж,  $E=8 \cdot 10^{-3}$  Ж).

3. Вазнсиз илга осилган 10 г массали шарча  $x=0,5\cos(0,6t+0,8)$  қонун бўйича тебранади. Шарча тебранишларининг тўлиқ энергиясини ва қайтарувчи кучнинг максимал қийматини топинг (Ж а в о б:  $E=4,5 \cdot 10^{-6}$  Ж,  $F_m=1,8 \cdot 10^{-4}$  Н).

4. Тебраниш системаси 0,1 м амплитуда билан эркин гармоник тебранишлар қилади. Тебранишлар даври 10 с, бошланғич фаза нолга тенг. Бу тебранишлар қонунини ёзинг ва тебранишлар бошлангандан 42 с кейинги силжиш, тезлик ва тезланишни топинг. (Ж а в о б:  $x=0,1\cos(0,628t)$ ;  $x=0,095$  м;  $v=1,95 \cdot 10^{-2}$  м/с;  $a=-3,73 \cdot 10^{-2}$  м/с<sup>2</sup>).

5. Маятник мувозанат ҳолатдан 8 см га оғдирилган. Унинг ҳисоблаб топилган тебранишлари даври 24 с. Тебранишлар бошлангандан 2 с кейин силжиш қандай бўлади? (Ж а в о б:  $x \approx 7$  см).

6. Гармоник тебранишлар амплитудаси 10 см, частотаси 1 кГц. Бу тебранишлар қонунини ёзинг. (Ж а в о б:  $x=10 \cos(6,28 \cdot 10^3 t)$ ).

7. Тебраниш контури индуктивлиги 400 мкГн бўлган ғалтақдан ва сифими 400 пФ бўлган конденсатордан иборат. Агар қўйилган кучланиш амплитудаси 100 В бўлса, контурдаги ток кучининг амплитудаси қиймати қанчага тенг бўлади? (Ж а в о б:  $I_m=0,1$  А).

8. Контурдаги эркин тебранишлар частотаси 100 мГц, конденсатор сифими 50 пФ. Контур индуктивлиги қандай? (Ж а в о б:  $L=5,1$  мкГн).

9. Қўндаланг кесими 2 мм<sup>2</sup> бўлган мис симдан 100 ўрам ўриб тайёрланган, юзи 500 см<sup>2</sup> бўлган рамка индукцияси 0,1 Тл бўлган бир жинсли магнит майдонда 20 айл/с тезлик билан бир текис айланади. Бунда ҳосил бўлувчи индукцион ЭЮК нинг амплитуда қийматини топинг. (Ж а в о б:  $E=63$  В).

10. Конденсатор 220 В кучланишли ва стандарт частотали ўзгарувчан ток тармоғига уланган. Бу конденсатор занжиридаги ток кучи 2,5 А. Конденсатор сифими қандай? (Ж а в о б:  $C=36$  мкФ).

11. Стандарт частотали ва 200 В кучланишли ўзгарувчан ток тармоғига кетма-кет равишда 150 Ом ли актив қаршилик ва 16 мкФ сифимли конденсатор уланган. Занжирнинг тўлиқ қаршилиги, ундаги ток кучи, актив қаршилик ва конденсатор қисқичларидаги кучланиш топилсин. (Ж а в о б :  $Z=250$  Ом;  $I=0,5$  А;  $U_R=120$  В,  $U_C=160$  В).

12. 220 В кучланишли ва 50 Гц частотали ўзгарувчан ток занжирига индуктивлиги 0,1 Гн ва актив қаршилиги 20 Ом бўлган галтак уланган. Занжирдаги ток кучи топилсин. (Ж а в о б :  $I \approx 6$  А).

13. Индуктивлиги 0,05 Гн, сифими эса 20 мкФ бўлган контурнинг резонанс частотаси топилсин. (Ж а в о б :  $\nu=0,16$  кГц).

14. Агар электр двигателига уланган вольтметр — 220 В ни, амперметр — 10 А ни ва ваттметр 2 кВт ни кўрсатади, қувват коэффициентини ва кучланиш билан ток кучи орасидаги фаза силжишини аниқланг. ( $\cos\varphi=0,91$ ,  $\varphi=25^\circ$ ).

15. Кўндаланг тўлқин эластик шнур бўйлаб 10 м/с тезлик билан тарқалади. Шнур бўш учининг тебранишлари частотаси 10 Гц, амплитудаси 6 см. Тўлқин узунлигини ва шнурнинг бўш учи охиридан 20 м масофада ётувчи нуқтанинг тебранишлар бошлангандан 2 с ўтгандан кейинги силжишини топинг. (Ж а в о б :  $\alpha=1$  м;  $x=0$ ).

16. Электромагнит тўлқинлар бир жинсли муҳитда  $2 \cdot 40^8$  м/с тезликда тарқалади. Уларнинг вакуумдаги тўлқин узунлиги 3 м бўлса, муҳитдаги тўлқин узунлиги қанча бўлади? (Ж а в о б : 2 м.)

17. Момақалдирок вақтида чакмок чакқандан 10 с кейин инсонга унинг овози эшитилган. Ундан қанча масофада разряд бўлган? (Ж а в о б :  $l \approx 3,4$  км).

18. Кузатувчи самолётнинг овози бўйича уни зенитда (боши устида) деб қабул қилганда, у самолётни горизонтга нисбатан  $\alpha=73^\circ$  бурчак остида кўради. Самолёт қандай тезлик билан учади? (Ж а в о б :  $v=100$  м/с).

19. Частотаси 1000 Гц бўлган товуш тўлқинининг сувдаги тўлқин узунлиги ва частотасини аниқланг. (Ж а в о б :  $\nu=1000$  Гц;  $\lambda=1,4$  м).

20. Денгизнинг кема остидаги чуқурлигини эхолот ёрдамида аниқлашда ультратовушни юбориш ва қабул қилиш орасидаги вақт оралиғи 1 с га тенглиги маълум бўлган. Денгизнинг кема остидаги чуқурлиги қанча? (Ж а в о б :  $h \approx 700$  м.).

21. Денгиздаги тўлқинларнинг ўрқачлари орасидаги масофа 5 м. Катер тўлқинининг рўпарасидан келаётганда тўлқин унга секундига 4 марта урилади, тўлқин бўйлаб ҳаракатланганда эса 2 марта урилади. Катер ва тўлқиннинг тезлигини топинг. (Ж а в о б :  $v_k=15$  м/с,  $v_t=5$  м/с).

22. Абсолют синдириш кўрсаткичи 1,5 бўлган шишада ёруғлик қандай тезлик билан тарқалади. (Ж а в о б :  $v=2 \cdot 10^8$  м/с).

23. Даври 2 нм бўлган дифракцион панжара максимал тўлқин узунлиги  $5,89 \cdot 10^{-7}$  м бўлган натрийли лампа билан ёритилади. Бунда нечта ёруғ (сарик) йўллар кўриш мумкин? (Ж а в о б :  $n=6$ ).

24. Вакуумдаги тўлқин узунлиги 0,760 нм бўлган ёруғлик учун сувнинг синдириш кўрсаткичи 1,329 га тенг, тўлқин узунлиги 0,4 нм бўлган ёруғлик учун эса, у 1,344 га тенг. Қайси нур учун ёруғликнинг сувдаги тезлиги катта? (Ж а в о б: кизил нурлар учун).

25. Мактаб физика хонасида 1 мм да 50 та ва 100 та штрихи бўлган дифракцион панжаралар бор. Бошқа шартлар бир хил бўлганда, улардан қай бири экранда кенгрок спектр беради?

26. Кўл ёқасида турган одам сувнинг силлик сиртида Қуёш тасвирини кўради. Одам кўладан узоклашганда бу тасвир қандай кўчади? Қуёш нурлари параллел ҳисоблансин.

27. Предмет оптик кучи 10 дптр. бўлган йиғувчи линзадан 12,5 см масофада жойлашган. Линзадан қанча масофада тасвир ҳосил бўлади ва у қандай бўлади? (Ж а в о б:  $b = 50$  см, 4X).

28. Ёруғлик кучи 200 кд бўлган нуктавий манбадан 10 м масофада жойлашган 10 см<sup>2</sup> юзага тушувчи ёруғлик оқимини ҳисобланг. (Ж а в о б:  $\Phi = 0,002$  лм).

29. Нуктавий манбанинг чап томонида ундан 2 м масофада экран, ўнг томонида эса ана шундай масофада кўзгу бор. Экраннинг лампага энг яқин жойлашган нуктасидаги ёритилганликни ҳисобланг. Манбанинг ёруғлик кучи 10 кд. (Ж а в о б:  $E = 2,8$  лк).

30. Баландлиги 5 м бўлган симёғочда горизонтал майдончани ёритувчи лампа осилган. Симёғочдан қандай масофада майдончанинг ёритилганлиги лампа остидаги ёритилганликка караганда 2 марта кичик бўлади? (Ж а в о б:  $l = 3,8$  м).

31. Агар электр энергиясининг фақат 3 фоизи ёруғликка айланиши маълум бўлса, электр қуввати 100 Вт бўлган чўғланма лампа ҳар секундда тахминан нечта фотон чиқаради? (Ж а в о б:  $1,3 \cdot 10^{19}$ ).

32. Частоталари  $\nu_k = 7 \cdot 10^{15}$  Гц;  $\nu_s = 4 \cdot 10^{14}$  Гц бўлган кизил ва бинафша ёруғликларнинг фотонлари энергиясини аниқланг. (Ж а в о б:  $E_s = 46 \cdot 10^{-20}$  Ж;  $E_k = 26 \cdot 10^{-20}$  Ж).

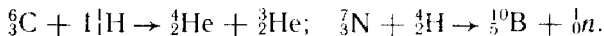
33. Электроннинг цезий сиртидан чиқиш иши 1,89 эВ. Цезий катод тўлқин узунлиги  $4 \cdot 10^{-7}$  м бўлган ёруғлик билан ёритилади. Фотоэлектронларнинг максимал тезлиги қанча? (Ж а в о б:  $v = 6,5 \cdot 10^5$  м/с).

34. Водород атомидаги электроннинг чизикли тезлигини аниқланг. (Ж а в о б:  $v = 2,2 \cdot 10^6$  м/с).

35. Водород атомидаги электроннинг, у ядрога энг яқин орбита бўйлаб ҳаракатлангандаги энергиясини топинг. (Ж а в о б: 13,56 эВ).

36. Куйидаги  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_0\text{n}$  ядро реакциясида ажралувчи энергияни ҳисобланг.  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$  ва  ${}^3_1\text{H}$  водород изотопларининг нисбий атом массалари, мос ҳолда 1,00783; 2,01410; 3,01605 га тенг. (Ж а в о б:  $\Delta E \approx 4$  МэВ).

37. Куйидаги реакцияларда энергия ажраладими ёки ютиладими?



## МАШҚЛАРГА ЖАВОБЛАР

- № 1. 5.  $I = 2 \cdot 10^{-5}$  А; 6.  $Q = 25$  Ж.  
 № 2. 1.  $T = 6,28 \cdot 10^{-8}$  с,  $I_{max} = 0,1$  А; 2.  $\omega_0 = 1,7 \cdot 10^8$  с<sup>-1</sup>,  $U_c = 100$  В;  
 3.  $W_n = 0,5 \cdot 10^{-4}$  Ж; 4.  $C = 2,5 \cdot 10^2$  Ф.  
 № 3. 1.  $U_{max} = 180$  В; 2.  $W_{max} \approx 13$  Ж; 3.  $I = 4,25$  А,  $W_{max} 2,3$  Ж.  
 4.  $I \approx 12$  А; 5.  $P \approx 346$  Вт,  $\cos\varphi \approx 0,6$ ; 6.  $P \approx 2000$  Вт; 7.  $v \approx 41$  Гц;  
 8.  $P \approx 214$  Вт.  
 № 4. 1.  $\lambda \approx 526$  нм; 4.  $\lambda_2 \approx 660$  нм; 5.  $v \approx 226\,000$  км/с; 8.  $h \approx 12$  см;  
 9.  $\varphi \approx 698$  мм.  
 № 5. 2.  $l = 10$  см; 3.  $v \approx 54$  МГц; 4.  $l \approx 672$  мм.  
 № 6. 1.  $u \approx 299\,985$  км/с; 3.  $v \approx 527\,641$  м/с.  
 № 7. 1.  $E = 19,88 \cdot 10^{-18}$  Ж,  $m \approx 2,2 \cdot 10^{-30}$  кг,  $p \approx 6,6 \cdot 10^{-26}$  кг·м/с;  
 2.  $v \approx 5,91 \cdot 10^9$  м/с; 3. 2; 4.  $\lambda = 4,14 \cdot 10^{-7}$  м; 5.  $E = 6,63 \cdot 10^{-26}$  Ж,  
 $N = 1,5 \cdot 10^{25}$ ; 6.  $p = 4,14 \cdot 10^{-26}$  кг·м/с; 7.  $p = 1,3 \frac{E}{c}$ .  
 № 8. 1.  $\lambda \approx 8 \cdot 10^{-12}$  м.  
 № 9. 1.  $E_b \approx 7,78$  МэВ; 2.  $E_\gamma > 2,226$  МэВ; 3.  $E = 15,6$  МэВ; 4.  $\rho = 8,5 \cdot 10^{15}$  кг/м<sup>3</sup>.

## МУНДАРИЖА

### ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (ДАВОМИ)

|   |    |   |    |
|---|----|---|----|
| 1 б о б. Электромагнит индукция . . . . .                                   | 3  |   |    |
| 1- §. Электромагнит индукция ходисаси . . . . .                             | 3  | нишларнинг олиниси ва параметрлар . . . . .                               | 23 |
| 2- §. Электромагнит индукция конуни . . . . .                               | 6  | 7- §. Эркин электромагнит тебранишларнинг асосий конуниятлари . . . . .   | 26 |
| 3- §. Ҷиндукция ходисаси. Индуктивлик . . . . .                             | 10 | 8- §. Тебранишларнинг график тасвири . . . . .                            | 30 |
| 4- §. Электромагнит индукция ходисасини ўрганиш (лаборатория иши) . . . . . | 13 | 9- §. Қаршиликли системалардаги эркин электромагнит тебранишлар . . . . . | 31 |
| 5- §. Магнит майдон энергияси . . . . .                                     | 14 | Масалалар ечиш намуналари . . . . .                                       | 33 |
| Масалалар ечиш намуналари . . . . .   | 16 | 2- машқ . . . . .   | 34 |
| 1- машқ . . . . .   | 17 | II бобнинг асосий мазмуни . . . . .                                       | 34 |
| I бобнинг асосий мазмуни . . . . .  | 18 | III б о б. Автотебранишлар  |    |
| Хулоса . . . . .  | 19 | 10- §. Автотебранишлар ҳақидаги дастлабки маълумотлар . . . . .           | 35 |
| <b>ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЕБРАНИШЛАР</b>  |    | 11- §. Электр автотебраниш системаси . . . . .                            | 37 |
| II б о б. Эркин электромагнит тебранишлар . . . . .                         | 22 | 12- §. Автотебранишларнинг асосий конуниятлари . . . . .                  | 40 |
| 6- §. Эркин электромагнит тебранишларнинг олиниси ва параметрлар . . . . .  | 23 | 13- §. Тебранишлар модуляцияси . . . . .                                  | 41 |
|   |    | III бобнинг асосий мазмуни . . . . .                                      | 44 |

|  |     |   |     |
|--|-----|---|-----|
| IV б о б. <b>Мажбурий тебранишлар</b> . . . . .  | 45  | 32- §. Тўла қайтиш . . . . .  | 108 |
| 14- §. <b>Мажбурий тебранишлар-</b><br><b>нинг умумий қонуниятлари</b> . . . . .   | 45  | 33- §. Тўлқинлар интерференция-<br><b>си</b> . . . . .  | 111 |
| 15- §. <b>Ўзгарувчан ток генератори</b> . . . . .  | 48  | 34- §. <b>Еруғлик интерференцияси</b> . . . . .   | 117 |
| 16- §. <b>Ўзгарувчан токнинг қуввати</b> . . . . .   | 51  | 35- §. <b>Тўлқинлар дифракцияси</b> . . . . .   | 120 |
| 17- §. <b>Ўзгарувчан ток занжиридаги</b><br><b>нагрузка</b> . . . . .  | 53  | 36- §. <b>Еруғлик дифракцияси</b> . . . . .   | 124 |
| 18- §. <b>Ўзгарувчан ток занжиридаги</b><br><b>конденсатор</b> . . . . .   | 57  | 37- §. <b>Еруғлик тўлқинининг узун-</b><br><b>лигини аниқлаш (лаборато-</b><br><b>рия иши)</b> . . . . .  | 128 |
| 19- §. <b>Ўзгарувчан ток занжиридаги</b><br><b>индуктив ғалтак</b> . . . . .   | 61  | 38- §. <b>Тўлқинлар дисперсияси</b> . . . . .   | 130 |
| 20- §. * <sup>1</sup> <b>Актив, индуктив ва сиғим</b><br><b>қаршилиқлар кетма-кет улан-</b><br><b>ган ўзгарувчан ток занжи-</b><br><b>ри</b> . . . . . | 66  | 39- §. <b>Спектрал анализ</b> . . . . .   | 134 |
| 21- §. * <b>Қувват коэффициенти</b> . . . . .  | 69  | 40- §. <b>Спектрал анализнинг асосий</b><br><b>усуллари ва афзалликла-</b><br><b>ри</b> . . . . .   | 136 |
| 22- §. <b>Ўзгарувчан токни трансфор-</b><br><b>мациялаш</b> . . . . .  | 71  | 41- §. <b>Тўлқинларнинг кутбланиши.</b><br><b>4- машқ</b> . . . . .   | 139 |
| 23- §. <b>Резонанс ҳодисаси</b> . . . . .  | 74  | V бобнинг асосий мазмуни . . . . .  | 143 |
| 24- §. <b>Электр энергиясини ишлаб</b><br><b>қиқариш ва узатиш</b> . . . . .   | 79  | <b>VI б о б. Радиоалоканинг физик</b><br><b>асослари</b> . . . . .  | 144 |
| 25- §. <b>Электр энергетикасининг ри-</b><br><b>вожланиши</b> . . . . .  | 82  | 42- §. <b>Радиоузатишнинг физик</b><br><b>асослари</b> . . . . .  | 145 |
| <b>3- машқ</b> . . . . .   | 83  | 43- §. <b>Радиокабулнинг физик асо-</b><br><b>слари</b> . . . . .   | 146 |
| <b>IV бобнинг асосий мазму-</b><br><b>ни</b> . . . . .   | 84  | 44- §.* <b>Телевидениенинг физик</b><br><b>асослари</b> . . . . .   | 149 |
| <b>Хулоса</b> . . . . .  | 85  | 45- §. <b>Радиолокация ҳақида ту-</b><br><b>шунча</b> . . . . .   | 150 |
| <b>ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР</b>   |     | 46- §. <b>Радиоалока ва телевидение-</b><br><b>нинг ривожланиши</b> . . . . .   | 152 |
| <b>V б о б. Тўлқинларнинг умумий</b><br><b>хоссалари</b> . . . . .   | 89  | <b>5- машқ</b> . . . . .  | 155 |
| 26- §. <b>Электромагнит тўлқинлар</b><br><b>ҳақидаги дастлабки маълум-</b><br><b>отлар</b> . . . . .   | 89  | <b>VI бобнинг асосий мазму-</b><br><b>ни</b> . . . . .  | 155 |
| 27- §. <b>Тўлқинни характерловчи</b><br><b>асосий тушунча ва катта-</b><br><b>ликлар</b> . . . . .   | 93  | <b>VII б о б. Инфрақизил, ультраби-</b><br><b>нафша ва рентген диапазонда-</b><br><b>ги электромагнит тўлқинлар-</b><br><b>нинг ўзига хос хоссалари ва</b><br><b>уларнинг қўлланиши</b> . . . . . | 156 |
| 28- §. <b>Тўлқинлар босими</b> . . . . .   | 97  | 47- §. <b>Инфрақизил нурланиш</b> . . . . .   | 157 |
| 29- §. <b>Тўлқинларнинг икки муҳит-</b><br><b>чегарасида қайтиши</b> . . . . .   | 100 | 48- §. <b>Ультрабинафша нурла-</b><br><b>ниш</b> . . . . .  | 161 |
| 30- §. <b>Тўлқинларнинг икки муҳит</b><br><b>чегарасида синиши</b> . . . . .   | 103 | 49- §. <b>Рентген нурланиши</b> . . . . .   | 162 |
| 31- §. <b>Тўлқинларнинг синиш қонун-</b><br><b>лари</b> . . . . .  | 106 |   |     |

<sup>1</sup> Юлдузча билан белгиланган параграфлар физикага кизикувчи ўқувчи-ларга мўлжалланган, уларни ўрганиш шарт эмас.

|  |   |
|--|---|
| VII бобнинг асосий мазмуни . 164                                 | 62- §. Атом ядросини ўрганиш тарихидан . . . . . 204  |
| Хулоса . . . . . 165   | 63- §. Атом ядросининг таркиби. Боғланиш энергияси . . . . . 207  |
| <b>XX АСР ФИЗИКАСИ</b>   | 64- §. Ядро реакциялари. Ядро реакцияларида энергия ажралиши ва ютилиши . . . . . 211                   |
| <b>VIII б о б. Нисбийлик назарияси элементлари . . . . . 168</b> | 65- §. Радиоактивлик ходисаси . . . . . 214   |
| 50- §. Нисбийлик назариясининг бошланиши ва асослари . 168       | 66- §. Радиоактив нурланишларни ва зарраларни қайд қилиш усуллари . . . . . 221                         |
| 51- §. Масса ва энергиянинг ўзаро боғлиқлик қонуни . . . . . 171 | 67- §. Биологик таъсир ва нурланишлардан сақланиш . . . . . 224   |
| 6- машқ . . . . . 173  | 68- §. Тайёр фоторасмлар бўйича зарядли зарралар треки (йўли)ни ўрганиш (лаборатория иши) . . . . . 227 |
| VIII бобнинг асосий мазмуни . . . . . 174                        | 9- машқ . . . . . 232   |
| <b>IX б о б. Квант физикаси элементлари. . . . . 174</b>         | XI бобнинг асосий мазмуни. 232  |
| 52- §. Квант физикасининг пайдо бўлиш тарихидан . . . . . 174    | <b>XII б о б. Атом энергетикасининг физик асослари . . . . . 233</b>                                    |
| 53- §. Фотозлектрик эффект. Фотонлар. . . . . 177                | 69- §. Ядро реактори. Атом электр станцияси. . . . . 233  |
| 54- §. Планк доимийсини аниқлаш (лаборатория иши) . . . . . 181  | 70- §. Термоядро реакцияси. Термоядро энергетикасининг истикболлари . . . . . 239                       |
| 55- §. Фотоннинг импульси . . . . . 183                          | XII бобнинг асосий мазмуни. 243   |
| 56- §. Фотохимиявий ходисалар . 186                              | <b>XIII б о б. Элементар зарралар. . 243</b>  |
| 57- §. Электромагнит нурланишнинг иккиёқламалик табиати. 189     | 71- §. Асосий элементар зарралар ва ўзаро таъсирларнинг турлари . . . . . 244                           |
| 7- машқ . . . . . 190  | 72- §. Позитрон. Антизарралар . 245   |
| IX бобнинг асосий мазмуни . . . . . 190                          | 73- §.* Кварклар . . . . . 247  |
| <b>X б о б. Атом . . . . . 191</b>                               | XIII бобнинг асосий мазмуни . . . . . 250   |
| 58- §. Атомни ўрганиш тарихидан . . . . . 191                    | Такрорлаш учун масалалар . . . . . 250  |
| 59- §. Атомнинг Бор модели . . . . . 194                         | Машқларнинг жавоблари . . . . . 254   |
| 60- §. Лазер-когерент нурланиш манбаи . . . . . 196              |   |
| 61- §. Зарраларнинг тўлқин хоссалари . . . . . 201               |   |
| 8- машқ . . . . . 203  |   |
| X бобнинг асосий мазмуни . 203                                   |   |
| <b>XI б о б. Атом ядроси . . . . . 204</b>                       |   |

Самарқанд вилояти Ургенч тумани 34- ўрта мактабнинг олий тоифали физика ўқитувчиси. А. Мирзаевага дарсликнинг ушбу 3- нашрини тайёрлашдаги фойдали таклиф ва мулохазалари учун муаллифлар миннатдорчилик билдирадилар.

**Шахмаев Н. М.**, ва бошқ.

Физика: 11- синф учун дарслик/Н. М. Шахмаев, С. Н. Шахмаев, Д. Ш. Шодиев.— Т.: Ўқитувчи, 1998.— 256 б.

I.1,2 Автордош.

ББК 22.3я721

ШАХМАЕВ НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ  
ШАХМАЕВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ  
ШОДИЕВ ДАВРОН ШОДИЕВИЧ

## Ф И З И К А

**Ўрта мактабнинг 11- синфи учун дарслик**

М. «Просвещение», 1991 й. русча нашрига мувофиқ ўзбекча 3- наشري

*Тошкент «Ўқитувчи» 1998*

Тахририят мудури *М. Пўлатов*  
Таржимон *А. Ҳ. Раҳимов*  
Мухаррир *М. Пўлатов, Х. Пўлатхўжаев*

Расмлар муҳаррири *Т. Қаноатов, М. Қудряшова*  
Тех. муҳаррир *Т. Грешникова*  
Мусаххиха *З. Содиқова*

ИБ № 7371

Диапозитивдан босишга рухсат этилди 28.04.97. Бичими 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тип қоғози. Литературная гарн. Кегли 10 шпонсиз, 8 шпонли. Офсет босма усулида босилди. Шартли б. л. 16,0+0,25 рангли вкл. Шартли кр.-отт. 17,5. Нашр л. 15,69+0,19 рангли вкл. 120 000 нускада босилди. Буюртма 2923.

«Ўқитувчи» нашриёти, Тошкент, 129. Навоий кўчаси, 30. Шартнома 09-67-97

Ўзбекистон Давлат матбуот қўмитасининг Тошполиграфкомбинати. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. 1997.

**Мактаб кутубхонаси жамғармасига киритилган. Бепул.**