

М. Ш. ҲАЙДАРОВА, Ў. К. НАЗАРОВ

# ФИЗИКАДАН ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИ

*ЎзССР Олий ва ўрта махсус таълим министрлиги техника олий ўқув юртларининг студентлари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этган*

ТОШКЕНТ „ЎҚИТУВЧИ“ 1989

Тақризчилар проф. Э. Назиров,  
доцентлар М. Исамуҳамедова, Х. Абдувоҳидов

Ушбу қўлланмала умумий физика курси бўйича лаборатория ишларининг тавсифи берилган. Қўлланма техника олий ўқув юр-ларарида физика ўқитиш программасига мос ҳолда ёзилган. Шунинг-дек, қўлланмада ижодий ва касбий характердаги лаборатория иш-ларидан намуналар, лаборатория машғулотларини ўтказишда элек-трон ҳисоблаш машина (ЭХМ) ларнинг роли ва улардан фойдаланиш усуллари келтирилган.

Қўлланма техника олий ўқув юрлари студентлари учун мўл-жалланган.

X  $\frac{1604010000 - 15}{353(04) - 89}$  239 - 89

ISBN 5 - 645 - 00142 - 7

© „Ўқитувчи“ нашриёти, 1989 й.

## СЎЗ БОШИ

Жамиятимизнинг ҳозирги тараққиётида фан-техника ютуқларини ишлаб чиқаришга жорий қилиш ҳар қачонгидан кўра катта аҳамият касб этмоқда. Бу борада техника олий ўқув юртлари томонидан тайёрланаётган малакали инженер-мутахассисларнинг роли мислсиз кенгдир. Бинобарин, ишлаб чиқаришни фан ютуқлари, айниқса микроэлектроника, ҳисоблаш техникаси, асбоб-созлик, машинасозлик асосида янгилаш билан унинг самарадорлигини ошира олувчи, моддий бойликларни иқтисод эта олувчи инженерлар тайёрлаш, олий техника ўқув юртларининг асосий вазифаларидан бири ҳисобланади. Бу эса ҳозирги замон технологиясини тараққий эттиришга катта ҳисса қўшаётган фундаментал фанлардан бири ҳисобланган физика ва унинг татбиқига алоҳида эътибор берилишини тақозо этади. Ушбу фан бўйича бўлғуси инженерларга чуқур билим бериш билан бир қаторда, физиканинг ютуқларини техникага, ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларига қўллай билиш кўникмаларини шакллантириш ҳам зарур. Шу жиҳатдан қараганда, физика фани бўйича ўтказиладиган лаборатория машғулотлари катта аҳамиятга ва кенг имкониятларга эгадир.

Маълумки, олий ўқув юртига кирган талабаларнинг дастлабки билим ва кўникмалари турличадир: ўрта мактабни битириб олий ўқув юрти студенти бўлган ёшларда назарий билим кенгроқ бўлиб, амалий кўникмалари етарли бўлмайди, ишлаб чиқариш стажига эга

бўлганларда эса аксинча. Бошланғич курсларда ўтиладиган амалий машғулотларда, жумладан, лаборатория машғулотларида бу тафовутни йўқотиш имкониятларини излаш мақсадга мувофиқ.

Ана шу камчиликларни йўқотиш мақсадида қўлланма муаллифлари биринчи курс студентларининг олий ўқув юрти шароитига тезроқ кўникишлари, ижодий фаолиятларининг юксалиши, ўзларига маълум бўлмаган жараёнларни тезроқ тушуна билишлари, ҳамда ўз касбларига доир баъзи бир кўникмалар шакллана боришини назарда тутган ҳолда физика практикуми бўйича ўқув қўлланмасининг янги структурада тузилишини лозим деб топди: ҳар бир бўлимга доир лаборатория ишларининг тавсифини келтиришдан аввал асбоблар билан танишув ишлари берилади ва ўқув жараёнида дастлаб уларнинг бажарилиши кўзда тутилади. Ушбу ҳолат асосий лаборатория ишларини муваффақиятли бажаришга студентларни тайёрлаш билан бир қаторда қисқа муддат ичида ўрта мактаб физика курсининг мазкур бўлими бўйича олган билимларини қайта эслаш имконини беради.

„Механика, молекуляр физика ва термодинамика асослари“ бўлими учун берилган асосий ишлар бошқа мавжуд ўқув қўлланмаларидан кескин фарқ қилмасда (ҳар бир лаборатория иши учун қисқагина назарий тушунчалар, қурилма тавсифи, иш бажариш тартиби ва сўнгида жадвал берилиши каби), „Электр ва магнетизм“, „Оптика ва атом физикаси“ бўлимларига доир лаборатория ишлари эса асосий темалар бўйлаб группалашган комплекс ишлар кўринишида берилган бўлиб, ҳар бир комплекс иш учун янги назарий маълумотлар ва контрол саволлар баён этилади. Комплексга киритилган лаборатория ишларининг бажариш тартиби йўналтирувчи савол-план билан алмаштирилган бўлиб, улар асосида студентлар иш бажариш кетма-кетлигини мустақил равишда тузадилар. Бу эса уларнинг ижодий қобилиятларини ривожлантиришга, физика фани

бўйича олган билимларини махсус фанларни ўзлаштиришда қўллай билишга ўргатади.

Шунингдек, қўлланмада ижодий ва касбий характердаги лаборатория ишларидан ҳам намуналар келтирилган. Қўлланма сўнгида лаборатория машғулоти ўтказишда электрон ҳисоблаш машиналарининг роли ва улардан фойдаланиш усуллари ҳақида зарурий кўрсатмалар ва лаборатория иши натижаларини, хатolikларини ҳисоблаш йўллари ва жадваллар келтирилган.

Китобнинг I бобидаги лаборатория ишларининг назарий қисмини ва II бобидаги айрим лаборатория ишларининг назарий қисмини Ў. Назаров, қолган қисмини М. Ҳайдарова ёзган.

Авторлар ушбу қўлланмани нашрга тайёрлашда қимматли маслаҳатлар берган педагогика фанлари доктори, проф. Б. М. Мирзаҳмедов, проф. Э. Н. Назиров. Беруний номидаги Тошкент Политехника институтининг „Экспериментал ва назарий физика“ ҳамда „Физика“ кафедраларининг доцент ва ассистентларига сამимий ташаккур изҳор қиладилар.

## ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИ ВА УЛАРНИ БАЖАРИШ ҲАҚИДА

### 1-§. Лаборатория машғулоти ва уларни ташкил қилиш усуллари ҳақида

Лаборатория машғулоти назария ва практикани боғловчи ва уларнинг бирлигини таъминловчи асосий звено бўлиб, студентларнинг билимларини мустаҳкамлашда, мустақиллик, ўлчов асбоблари билан ишлаш олиш ва тажриба ўткази билиш кўникмаларини шакллантириш ва ривожлантиришда, ўлчаш хатоликларини баҳолаш билиш каби амалий кўникмаларни ривожлантиришда катта роль ўйнайди.

Олий ўқув юртида ўтказиладиган лаборатория машғулотларини уч хил усул билан ташкил қилиш мумкин: фронтал, лаборатория ишларини аралаш бажариш, цикли.

*Фронтал усул.* Ҳар бир студент лекцияда ўтилган темага тааллуқли муайян бир ишни бажариш имконига эга бўлади. Ушбу усул дарсни ташкил қилиш ва ўтказишни, дарс давомида студентларнинг фаолиятини бошқариб боришни енгиллаштиради. Фронтал усул лабораторияларда бир хил қурилмалардан бир нечтаси бўлиши, лозим бўлганда лаборатория хоналарининг кенгайтирилиши ва барча студентларнинг бир хил мазмунли ва бир тартибдаги вазифаларнинг бажарилишига шароит туғдирилишини талаб қилинади. Бундан ташқари, лаборатория ишларининг бир хиллиги, қийин ўзлаштирадиган студентларнинг фикрлаш қобилиятини чегаралайди. Ушбу усулдан физика фани лаборатория машғулотининг бошланғич даврларида, яъни тайёрлов бўлими тингловчилари ва биринчи курс студентларининг илк машғулотида фойдаланиш мумкин. Агар тайёрлов бўлими тингловчилари ишчи, колхозчи, шунингдек меҳнат стажига эга бўлган, ҳарбий хизматни ўтаб келган ёшлардан иборат бўлишини ҳисобга олсак, у вақтда фронтал усулнинг аҳамияти янада яққол кў-

ринади. Урта мактабни тугатгандан сўнг икки ва ундан кўпроқ йил ишлаб чиқаришда банд бўлган, тайёрлов бўлимини тугатган студентларнинг амалий иш бажариш кўникмалари ривожланган бўлса, ўқишни янги тамомлаган ёшлар кенгроқ назарий тушунчаларга эга бўладилар. Фронтал усул студентлар орасидаги бу тафовутни йўқотишга ёрдам бериш билан бир қаторда бошланғич курс талабаларида дастлабки билимларнинг пухта шаклланишига имкон беради.

*Лаборатория машғулотларини аралаш бажариш усули.* Ҳар бир студент лекцияда ўтилган ёки ўтилмаганидан қатъи назар алоҳида-алоҳида лаборатория ишларини бажаради. Бу ишларнинг мазмуни ҳам, бажариш усули ҳам турлича. Лаборатория ва лекция мавзуларининг бир-бири билан мос келмаслиги студентларнинг тегишли адабиёт билан мустақил ишлашга ўргатади, фикрлаш жараёнларини активлаштиради. Аммо, педагогик тажрибаларнинг кўрсатишича, лаборатория машғулотлари ўтказиш учун кам соат ажратилган олий ўқув юртларида бу усул баъзи муаммоларни туғдиради, чунончи, студентларнинг мустақил ишлашлари учун вақтнинг етишмаслиги каби. Лекин ушбу усул олий ўқув юртларининг юқори курсларида ўқитиладиган махсус предметлар бўйича ўтказиладиган лаборатория машғулотларида яхши натижаларга олиб келади.

*Циклли усул.* Бу усулда эса практикумга киритилган лаборатория ишлари, умумий физика курсининг маълум бўлимлари асосида ёки бирон-бир физик катталикнинг турли ўлчаш усулларини бирлаштириш йўли билан группаланиб ташкил қилинади, бу усул лаборатория ва лекция машғулоти темаларини мослаштириш имконини беради, лаборатория ишларининг группаланишида эффектив вариантларни қўллашга кўмаклашади.

Юқорида баён этилган усуллар билан танишиш, техника олий ўқув юртларида физикадан ўтказиладиган лаборатория машғулотларининг циклли усули ўқиш самарадорлигини оширишга кўпроқ ёрдам қилишига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Умумий физика курси ҳар бир бўлимига доир лаборатория ишлари икки группага бўлиниб, икки циклда ўтказилади: биринчи циклга киритилган ишларни ўлчов асбоблари билан танишув ва физик тажриба ўтка-

зиш техникасини ўрганиш ишлари группаси деб аталиб, улар семестрнинг дастлабки 3—4 ҳафтаси давомида бажарилади. Лекцияда ўтилган темаларни мустақамлашга доир, касбий ва ижодий характерга эга бўлган лаборатория ишлари эса асосий практикум ишлари ҳисобланади ва лекциянинг йирик темалари бўйича группаланган. Ҳар иккала циклга алоқадор ишлар ушбу ўқув қўлланмасининг кейинги бобларида келтирилган.

## 2-§. Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларининг ҳисобланиши, хаголиклар ҳақида тушунчалар

Ўлчашларни иккига бўлиш мумкин: бевосита ва билвосита ўлчашлар. Бирор катталиқни бевосита ўлчаш ушбу катталиқни бошқа бирлик ўлчов қилиб қабул қилинган (эталон) бир жинсли катталиқ билан солиштириш демакдир. Узунлик, масса, температура, ток кучи каби катталиқлар бевосита ўлчов асбоблар ёрдамида (турли масштабдаги чизғичлар, тарозилар, термометр ва амперметрларда) ўлчанади. Билвосита ўлчаш—бирор катталиқни бевосита ўлчаниши мумкин бўлган катталиқларнинг функционал боғланишидан аниқлаш демакдир. Масалан, эркин тушиш тезланиши  $g$  математик маятникнинг  $l$  узунлиги ва  $T$  тебраниш даври билан қуйидаги функционал боғланишга эга:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

демак,  $g$  ни аниқлаш учун  $l$  ва  $T$  катталиқлар бевосита ўлчанади.

Тажриба ўтказувчининг сезги органлари, ўлчов асбобларининг етарли такомиллашмаганлиги сабабли ҳар қандай ўлчаш ишларида физик катталиқнинг тақрибий қийматини олиш мумкин. Натижада ҳар қандай ўлчаш муайян аниқлик билангина бажаришни талаб қилади. Масалан, бирор узунлик 0,1 мм аниқлик даражаси билан ўлчанади, дейлик, у вақтда унинг ҳақиқий қиммати ўлчанганидан 0,1 мм дан ортиқ фарқ қилмайди, деб айтиш мумкин.

Ўлчаш пухталлиги ўлчов асбобларининг аниқлиги билан белгиланади. Асбоб аниқлиги эса шкаланинг энг кичик улуши билан берилиб, у ўлчанаётган катталиқнинг ҳақиқий қийматига яқинлашиш даражасини белгилайди. Бу катталиқ асбобларнинг аниқлик классиси деб аталувчи катталиқ билан характерланиб, унинг паспортига ёки панелига ёзиб қўйилади. Аниқлик классиси



ушбу асбобда ўлчаниши мумкин бўлган энг кичик қийматни асбоб стрейкаси максимал оғандаги қийматига нисбатининг 100% га кўпайтирилганига тенг. Шунингдек, ўлчаш аниқлигига тажриба ўтказиш жараёни, тажриба ўтказувчининг кузатиш ҳолатлари ҳам таъсир қилади. Юқорида кўриб ўтилган таъсирларни ўрганиш ва қийматларини ҳисобга олиш мақсадида тажриба ўтказиш жараёнига ўлчаш хатоликлари деган тушунча киритилади. Ўлчаш хатоликларини икки турга бўлиш мумкин:

1. *Систематик хатоликлар*—муайян усул ва ўлчаш асбобларидан фойдаланилганида миқдори ўзгармайдиган хатоликлардир. Бундай хатоликлар ташқи муҳит таъсири (масалан, температура натижасида ўлчовчи қисмларнинг ўзгариши), ўлчаш ва ҳисоблаш жараёнида тўғри бўлмаган информациялардан фойдаланиш орқасида юзга келади. Шунингдек, ўлчов асбобларининг хатолиги ҳам систематик хатоликлар қаторига киради. Систематик хатоликлар ўлчанувчи ёки ҳисобланувчи катталиқнинг аниқлигини белгилайди, яъни уни ҳақиқийсидан ё орттиради, ёки камайтиради. Бу турдаги хатолик катталигини аниқлаб, ўлчашларга мос тузатма киритиш мумкин.

2. *Тасодифий хатоликлар*—муайян усул ва ўлчаш асбобларидан фойдаланилганда миқдори турлича бўладиган хатоликдир. Бундай хатоликлар ўлчаш объектида ҳавонинг турлича тебраниши, тажриба ўтказувчининг қўл ҳарорати, аниқ тарози палласидаги чанг зарраси, тажриба ўтказувчининг ҳаяжонланиши, асбоб шкаласининг тўлиқ ёритилмаганлиги каби ҳодисалар натижасида пайдо бўлади. Тажриба ўтказишда эҳтиётликни ошириш, ўлчаш малакасини юксалтириш билан бундай хатоликни камайтириш мумкин. Тасодифий хатоликлар эҳтимоллик назарияси қондаларидан фойдаланиб ҳисобланади. Шулардан баъзиларини кўриб чиқамиз.

Агар ўлчашлар сони етарлича кўп бўлиб, аниқланган қийматлар бир-биридан фарқ қилса, у ҳолда тасодифий хатоликни ҳисоблаш лозим бўлади.

Аниқланган катталиқларнинг ўртача арифметик қиймати унинг ҳақиқий қийматига энг яқин қиймат ҳисобланади. Масалан, бирор катталиқ  $x$  бевосита ўлчовчи асбоб (чизғич, термометр ва ҳ.к.) лар ёрдами билан  $n$  марта ўлчаниб  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  натижалар ҳосил қи-

линсин. Ҳар бир ўлчанган катталиқ  $x_i$ , унинг ҳақиқий қийматидан

$$\delta x_i = x_i - x \quad (0.1)$$

миқдорга фарқ қилади.  $\delta x_i$  — систематик  $\delta_{ic}$  ва тасодифий  $\delta_{iT}$  хатоликлар йиғиндиси ( $\delta x_i = \delta_{ic} + \delta_{iT}$ ) га тенг бўлиб, унинг бизга номаълум бўлган қиймати ҳақида қуйидаги фикрларни баён қилиш мумкин:

1.  $x_i$  ва  $\delta x_i$  катталиқлар узлуксиз қийматларга эга бўлишлари мумкин.

2. Ўлчашлар сони ортиши билан  $\delta x_i$  нинг бир-бирига яқин қийматлари (ишоралари турлича бўлган) кўпроқ пайдо бўла бошлайди.

3. Бир-биридан сезиларли фарқ қилувчи тасодифий хатолик қийматлари  $\delta_{iT}$  камроқ пайдо бўла бошлайди.

4. Систематик хатоликлар  $\delta_{ic}$  фақат асбоб хатолигидан иборат бўлиб, унинг энг катта қиймати асбоб бўлим баҳоси (бир бўлимга мос келувчи ўлчанаётган катталиқ) нинг ярмига тенг деб қабул қилинади.

Эҳтимоллик назариясига кўра юқорида келтирилган фикрлар бажарилгандагина олинган натижаларнинг ўртача арифметик қиймати

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (0.2)$$

унинг ҳақиқий қийматига энг яқин бўлади. Бу қиймат баъзан танланган ўртача қиймат ҳам деб юритилди  $\bar{x}$  бу тасодифий катталиқдир, чунки маълум  $n$  тўпلام (бир серия тажриба натижалари) учун бир қийматга эга бўлса, бошқа  $n$  (иккинчи серия тажрибалар) учун бошқа қийматга эга бўлади.

Шундай қилиб, ўлчаш натижалари асосида ўртача қиймат, яъни ҳақиқийсига энг яқин (0.2) қийматни аниқлаш мумкин экан. Эҳтимоллик назарияси бу қийматдан оғишларни белгиловчи катталиқлар ҳақида тушунчалар беради.

Тажрибалар натижаси асосида ўртача арифметик қийматдан оғишлар

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i \quad (0.3)$$

ифода орқали аниқланади,

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad (0.4)$$

ифода эса танланган дисперсия деб юритилади. Ўртача квадратик хатолик ўлчанган катталиқ алоҳида қийматларининг ҳақиқий қийматидан  $\bar{x} - s < x < \bar{x} + s$  интервалдаги оғиш даражасини белгиловчи катталиқ бўлиб,

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2} \quad (0.5)$$

ифода билан аниқланади. Ушбу оғиш даражаси яна ўртача арифметик хатолик

$$r \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i) \quad (0.6)$$

билан ҳам белгиланади.

Танланган дисперсия  $s^2$  ҳам тасодифий қиймат бўлиб, ўлчашлар кўп бўлганда, у бош дисперсия деб аталувчи аниқ қиймат  $\sigma^2$  га интилади.

Эҳтимоллик назариясига кўра тасодифий катталиқ  $x_i$  нинг  $x$  ва  $x + dx$  интервалда бўлиш эҳтимоллиги қуйидаги функция билан белгиланади:

$$p_0(x_i)dx = p(x < x_i < x + dx). \quad (0.7)$$

$p_0(x)$  ифода  $x$  катталиқнинг эҳтимоллик зичлиги деб аталувчи функциядир. Агар бу функция маълум бўлса, у ҳолда  $\bar{x}$  катталиқнинг ўртача қиймати

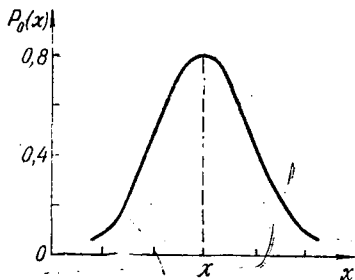
$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} x p_0(x) dx,$$

дисперсияси эса

$$\sigma_2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 p_0(x) dx$$

ифодадан аниқланади. Хусусан,  $p_0(x)$  катталиқнинг эҳтимоллик зичлиги 1-расмдаги эгрилик кўринишига эга бўлса,  $\bar{x}$  унинг максимумига тўғри келиб,  $\sigma^2$  бош дисперсия эгрилик кенглигини ифодалайди.

Энди ўлчаш аниқлиги



1- расм.

тушунчасини ойдинлаштириб олайлик (бу ҳисоблаш аниқлиги эмас). Ўлчаш аниқлиги — бу бирлик қийматни аниқлашда йўл қўйиладиган хатолик. Бу қиймат турли йўллар билан аниқланади. Агар ўртача квадратик хатолик асбоб (системали) хатолигидан катта, яъни  $s \gg \delta_{ic}$  бўлса, у ҳолда ўлчаш усулининг хатолиги ўртача квадратик хатолик билан белгиланади ва аксинча  $\delta_{ic} \gg s$  бўлганда, асбоб хатолиги билан белгиланади. Кейинги ҳолда ўлчашлар сонининг чексиз кўп бўлиши шарт эмас. Амалда ўртача арифметик хатоликни аниқлаш қулай бўлгани учун  $s$  ўрнига  $r$  ни аниқлаб,  $r \ll \delta_{ic}$  тенгсизликни кўриб чиқиш кифоя. Биринчи ҳолда, яъни  $s \gg \delta_{ic}$  тенгсизлик бажарилганда  $\delta_{ic}$  ни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бу ҳолда танланган дисперсия  $\sigma'^2 (\bar{x} - x)$  билан ифодаланади. бу ерда  $x$  ўлчанаётган катгаликнинг ҳақиқий қиймати. Ушбу танланган дисперсия бош дисперсия билан  $\sigma'^2 = \frac{\sigma^2}{n}$  ифода кўринишида боғланади.

Амалда  $\sigma$  эмас,  $s$  катталики аниқланиши мумкин бўлгани учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{s}{\sqrt{r}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (0.8)$$

Бу катталики алоҳида гажрибалар учун ўлчаш аниқлиги деб юритилади.

Ўлчашлар сони қанча кўп бўлса, аниқлик шунча катта бўлади, амалда бундай қилиш қийин. Ўлчаш аниқлигини ( $\sigma'$ ) асбоб хатолигидан кичик бўлиши, масалан асбоб хатолигининг ярмига тенг бўлиши назарда тутилса, (0.8) ва  $\sigma' = \frac{1}{2} \delta_{ic}$  ифодаларга асосан ўлчашлар сонини чегаралаш мумкин, яъни

$$n \approx \left( \frac{2s}{\delta_{ic}} \right)^2. \quad (0.9)$$

Ўлчашлар сони амалда (0.9) ифода билан аниқланган қийматидан камроқ бўлиши мумкин, шунинг учун ўлчашларнинг ишонч интервали ва ишонч эҳтимоллиги тушунчалари киритилади. Ишонч интервали  $\Delta x_x$  ўрғанилаётган катгаликнинг ҳақиқий қиймати  $\bar{x} \pm \Delta x_x$  ора-

лиқда бўлиш эҳтимоллиги  $\alpha$  га тенг эканлигини белгилайди, яъни:

$$p(\bar{x} - \Delta x_a < x < \bar{x} + \Delta x_a) = \alpha. \quad (0.10)$$

Хатоликнинг қайси тури (систематик ёки тасодифий) ҳал қилувчи ролга эга эканлигига қараб ишонч эҳтимоллиги ва ишонч интервали турли йўллар билан аниқланади.

Агар асосий хатолик систематик хатоликдан иборат бўлиб, тасодифийси амалда жуда кичик бўлса, у ҳолда ўлчанадиган катталикнинг  $(\bar{x} - \delta_{ic}) < x < (\bar{x} + \delta_{ic})$  интервалда бўлиш эҳтимоллиги 100% га тенг дейиш мумкин, яъни:

$$p(\bar{x} - \delta_c < x < \bar{x} + \delta_c) \approx 1. \quad (0.11)$$

Тасодифий хатоликлар катта бўлган ҳолларда (амалда кўпинча шундай бўлади) қўшимча статистик гипотезалардан фойдаланилади. Булардан асосийси эҳтимоллик зичлигининг Гаусс тақсимоти

$$p_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (0.12)$$

бўлиб, ишонч интервали  $\Delta x_a$  Стьюдент томонидан аниқланган ифода

$$\Delta x = t_{an} \sigma' \approx t_{an} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (0.13)$$

орқали аниқланади. Бу ерда

$$t_{an} = \frac{\Delta x_n \sqrt{n}}{s} \quad (0.14)$$

Стьюдент коэффиценти.

Шундай қилиб,  $t_{an}$  ни билган ҳолда махсус жадвалдан ишонч эҳтимоллигини аниқлаш мумкин.

Кўпгина физик катталиклар билвосита аниқланади, яъни бевосита ўлчанувчи бир қанча катталикларнинг функцияси кўринишида  $N = N(x_1, x_2, \dots)$  бўлади. Бундай ҳолларда аргументларнинг ўртача қийматлари топилади ва қидирилаётган катталикнинг  $N = N(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n)$  қиймати унинг ҳақиқий қийматига энг яқин

бўлади. Абсолют ва нисбий хатоликлар қуйидаги ифодалардан аниқланади:

$$dN = \pm \left\{ \left| \frac{\partial N(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} dx_1 \right| + \left| \frac{\partial N(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} dx_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial N(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} dx_n \right| \right\} \quad (0.15)$$

$$\frac{dN}{N} = \pm d|\ln N(x_1, x_2, \dots, x_n)|. \quad (0.16)$$

Охирги ифодада  $x_i$  дан бошқа ҳамма қийматлар ўзгармас деб ҳисобланади.

Шунингдек, бирор физик катталикнинг ўлчаш усули хатолигини тажриба ўтказмасдан аввал ҳам аниқлаш мумкин. Бунинг учун берилган ҳисоблаш формуласидан абсолют ва нисбий хатоликлар аниқланадиган ифодалар ҳосил қилинади. Ушбу ифодалардаги хатоликлар ўрнига асбобларнинг хатолиги ва изланаётган қийматлар ўрнига эса унинг тақрибий (жадвалдан олинган) қийматлари қўйилади. Ўлчаш усули хатоликларини бундай аниқланиши экспериментаторга асбобларни тўғри танлай билиш имконини беради. Баъзи ҳолларда танланган усул тўғри эмаслигини кўрсатади. Масалан, ички ишқаланиш коэффициентини Стокс усули билан аниқлаш лозим бўлсин, дейлик, бунинг учун 0,1 мм аниқликдаги штангенциркуль, 1 мм аниқликдаги чизғич, 0,2 с аниқликдаги секундомер ва ҳисоблаш формуласи  $\eta = \frac{2(\rho - \rho_0)}{9h} gr^2t$  дан фойдаланилади. У ҳолда нисбий хатолик қуйидагича аниқланади:

$$\frac{d\eta}{\eta} = \pm \frac{2}{9} \left( \frac{\partial(\rho - \rho_0)}{\rho - \rho_0} + \frac{\partial h}{h} + \frac{\partial g}{g} + 2 \frac{\partial r}{r} + \frac{\partial t}{t} \right).$$

$$\frac{\partial h}{h} = \frac{0,1}{100} \cdot 100\% = 0,1\% \quad (\text{чизғич билан ўлчанади}).$$

$$\frac{\partial r}{r} = \frac{0,1}{0,4} \cdot 100\% = 25\% \quad (\text{штангенциркуль билан ўлчанади}).$$

$$\frac{\partial t}{t} = \frac{0,2}{4} \cdot 100\% = 5\% \quad (\text{секундомер билан ўлчанади}).$$

$\frac{\partial(\rho - \rho_0)}{\rho - \rho_0}$  ва  $\frac{\partial g}{g}$  катталиклар жадвалдан олинандиган ифодалар бўлиб, жуда кичик миқдорга эга.

Юқорида келтирилган ифодалар анализ қилинганда, шарчалар радиусини ўлчашда катта хатоликка (25%

гача) йўл қўйилиши аниқланди, уни камайтириш учун аниқлиги каттароқ асбоб-микрометр ишлатилгани мақсадга мувофиқ. Шу йўл билан ўлчаш усулини бир қадар мукамаллаштиришга эришиш мумкин.

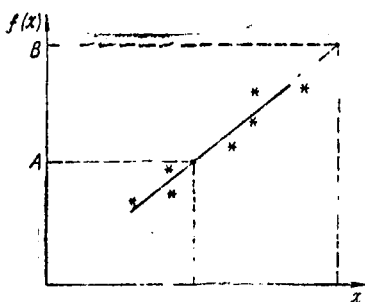
Лаборатория ишларининг натижаларини ҳисоблашда электрон ҳисоблаш машиналари (ЭҲМ) лардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Ҳисоблаш аниқлиги ўлчов асбоблари аниқлигидан бир бирлик юқори аниқликда олинади. Масалан, бирор катталиқ 0,1 аниқлик билан ўлчанса, ҳисоблаш 0,01 дан юқори бўлмаслиги керак, бундай ҳисоблашларда тажриба хатоликлари юқоридаги усуллардан бири ёрдамида аниқланади (ЭҲМ лардан фойдаланиш йўллари қўлланма сўнггида келтирилган).

Кўпинча тажрибалар ўтказишда жуда катта аниқлик билан (кичик хатолик билан) ўлчашга ҳаракат қилинади, аммо ўлчаш аниқлиги ортиши билан ўлчаш жараёни мураккаблашиб боришини унутмаслик керак. Шунинг учун муайян шароитда талаб қилинганидан ҳам юқори аниқликда ўлчашга интилиш бефойдадир. Масалан, шарикоподшипник деталларини тайёрлашда 0,001 мм аниқликда ўлчаш талаб қилинса, спектрал чизиқларнинг тўлқин узунликларини ўрганиш  $10^{-10}$  мм аниқликда ўлчаш талаб қилинади. Шундай қилиб, зарур бўлган шароитларда юқори аниқликда ўлчаш учун сарф қилинган вақт ва меҳнатга афсусланмаслик керак. Шунингдек янги шароитда изланиш илгари фанга маълум бўлмаган қонуниятларни очилишига сабаб бўлиши ҳам мумкин.

Фан ва техникадаги кўп тадқиқотларда график боғланишлар кенг қўлланилади. Шунини назарда тутиб натижалари график кўринишида яқунланадиган бир қанча лаборатория ишлари ушбу қўлланмада ўз аксини топган.

Одатда физик катталиқларнинг чизиқли (график) боғланишларини тасвирлашда тўғри бурчакли координат системасидан фойдаланилади. Ордината ўқига функция  $R = f(T)$ , яъни ўлчанадиган катталиқларга боғлиқ бўлган параметр (жисмнинг электр қаршилиги  $R$ ) абсцисса ўқига эса аргумент—бевосита ўлчанадиган катталиқлар (температура  $T$ ) қўйилади. График боғланишларни миллиметрли қоғозга қўйидаги қоидаларга риоя қилган ҳолда чизилади:

1. Координата ўқларида келтирилган бўлимлар бу-



2- расм.

наталар билан чегараланган юза график чизилишида тўлиқ фойдаланилсин. Шунингдек, координаталардаги масштаб ҳам бир хил бўлиши шарт эмас, масалан, ордината ўқи бўлимлари 10, абсцисса ўқи бўлимлари эса 1 бирликка тенг бўлиши мумкин, аммо графикдан аниқланадиган баъзи катталиклар ҳисобланишида ўқлардаги катталиклар ўлчов бирликларини бир хил қилиб олишни унутмаслик керак.

3. График тузишда тажриба натижасида олинган нуқталар синиқ чизиқлар билан туташтирилмай, балки узлуксиз чизиқ чизилади. Нуқталарнинг узлуксиз чизиққа жойлаша олмаганлари тажриба хатолиги бўлади.

График боғланишдан фойдаланиб, унинг чегараси ўқларидаги бирор катталик (юқоридаги мисолда маълум температурага мос келувчи қаршилиқ) орқали иккинчисини аниқлаш мумкин, бу усул интерполяция дейилади. Баъзан график чегарасида бўлмаган катталикларни ҳам аниқлашга тўғри келади, бу усул экстраполяция дейилади (2- расм). Экстраполяция усули фақат монотон ўзгарувчи боғланишлардагина қўлланилади.

### 3- §. Лаборатория машғулотида контроль ўтказиш ҳақида

Олий ўқув юртларида лаборатория машғулотидаги ўтказиш жараёнини уч босқичга бўлиш мумкин:

1. лаборатория машғулоти ўтказишга тайёргарлик, яъни – назарий тушунчаларни мустаҳкамлаш мақсадида шу ишга тааллуқли адабиётлар билан танишиш, асбоблар ва қурилма ҳақида маълумотга эга бўлиш.

тун сонларга каррали бўлиши керак, яъни 1, 10, 100 ва ҳ. к. Агар ўлчаш натижасида каср сонлар ҳосил бўлса, у ҳолда уларни бутун сонлар кўпайтмалари кўринишида ёзиш лозим, яъни  $0,1 = 1 \cdot 10^{-1}$ ;  $0,02 = 2 \cdot 10^{-2}$  ва ҳ. к.

2. Координата бошини ноль деб олиш шарт эмас, уни шундай танлаб олиш керакки, координаталар билан чегараланган юза график чизилишида тўлиқ фойдаланилсин.



2. ўлчашлар ўтказиш ёки мазкур топшириққа асосланган физик ҳодисани асбоблар ёрдамида кузатиш,

3. назарий тушунчаларни эксперимент натижалари билан таққослаб ҳисобот тузиш.

Булардан асосий ўринни иккинчиси эгаллайди. Биринчи ва учинчи босқичлар унга тайёргарлик ва ундан чиқадиган хулосалардир. Машғулотга тайёргарлик ва уни ўтказиш ишларини, шунингдек, ҳисобот тузиш ва тўғри хулосалар чиқаришни текшириб бориш, яъни машғулотнинг ҳар бир босқичида контроль ўтказиб туриш мақсадга мувофиқ.

Одатда, техника олий ўқув юртларида физика курси ва унинг лаборатория машғулотларига камроқ вақт ажратилган бўлиб, контролнинг эффектив шаклларидан фойдаланиш тавсия этилади. Шунинг учун студентларнинг лаборатория ишларини бажаришга тайёргарликларини текширишда программалаштирилган контроль усулини қўллаш қулай.

Бундай контрол усули ўқитувчи ва студентларнинг вақтларини тежаш, техник воситаларидан фойдаланишга имконият туғдиради. Ушбу усул баъзи бир камчиликлардан ҳам холи эмас: студентларнинг билим доираларини кенгайтиришни, ижодий қобилиятларини ва нутқларини ривожлантиришни чегаралайди.

Контрол вариантларини тузишда маълум қондаларга риоя қилиш ва уларнинг вариантларини кўпайтириш йўли билан бу камчиликларга бир қадар барҳам бериш мақсадга мувофиқдир. Бу қондаларни қисқача ифодалаш мумкин:

1. Савол ва жавобларни аниқ ифодалаш.

2. Вариантларда студентлар жавобларида тез-тез учраб турадиган типик хатоликларни ҳисобга олиш.

3. Жавобларнинг нотўғри пунктларида физик қонунлар, формулаларни нотўғри талқин қилмай, уларнинг тўлиқ бўлмаган ёки айнан шу ҳодисани ёритиб бера олмайдиган шаклларида бериш.

4. Ҳар бир вариант мазкур лаборатория ишининг назарий қисми, амалий қўлланишини тўлиқ қамраб олиши.

Программалаштирилган контрол саволларнинг 80 ва ундан юқори процентига тўғри жавоб берган студентлар машғулотнинг иккинчи босқичи, яъни бевосита эксперимент ўтказишга руҳсат этиладилар, қолганлари:

эса, ўқитувчи консультацияси ёки қайта тайёргарликдан сўнг рухсат оладилар.

Студентларнинг дастлабки билим даражалари аниқлангандан сўнг асбоб ёнида ўқитувчи ёки лаборант томонидан қисқача таништириш суҳбати ўтказилади. Ўлчаш ва кузатишлар давом эттирилади. Машғулотнинг бу қисмида асосан қурилма йиғилади, созланади ва зарур катталиклар ўлчаниб, ҳисобот дафтарига ёзилади. Илк ўлчаш натижалари ҳисобланади, хатоликлар ўрганилади. Бу ерда ўтказиладиган контрол суҳбат қурилма ва ўлчов асбобларга алоқадор бўлиши керак.

Ҳар бир лаборатория иши бажарилиб, натижалари ишлаб чиқилгандан кейин студент бу ишни ўқитувчига топшириши керак. Бундай ҳисоботни қуйидаги усулларда ўтказиш мумкин:

- 1) программалаштирилган контрол,
- 2) ҳар бир студент билан алоҳида суҳбатлашиш,
- 3) группа студентлари билан семинар шаклида суҳбат ўтказиш.

Программалаштирилган контрол ҳақида юқорида фикр юритилган эди ва бу усул лаборатория ишлари бўйича тўлиқ ҳисобот учун қўллашга ярамайди. Иккинчи усул группанинг ҳар бир студенти билан суҳбатлашиш жараёнида мазкур лаборатория иш асосида ётган физик қонуният ва ўлчанадиган катталиклар, уларнинг ўлчаш ва ҳисоблаш аниқликлари, асбобларнинг ишлаш принципи ва қўлланишларини чуқур анализ қилиш имкони беради. Ўрганилаётган физик ҳодиса ёки ўлчанаётган катталикнинг хусусиятлари ва ўлчаш жараёнининг бошқа (ўқув лабораториясида бўлмаган) усуллари ўрганилади. Аммо, илмий ва техник информация тез суръатлар билан ортиб бораётган ҳозирги даврда бундай суҳбатлар кўпроқ вақт талаб қилади, натижада графикда кўрсатилган вақтда группанинг барча студентлари билан бир вақтда дарсда суҳбатлашиб бўлмайди.

Бизнингча, иш топширишнинг учинчи усули анчагина қулайдир. Юқорида эслатилган практикумнинг цикли усулда ташкил қилиниши, лаборатория ишлари бўйича ҳисоботни семинар кўринишдаги суҳбат тарзида амалга оширишни анча енгиллаштиради. Муайян темага доир ишлар бажарилгандан сўнг, семинар машғулотлари ўтказилади. Ушбу машғулотни икки кўринишда ўтказиш мумкин: ўрганилаётган тема бўйича

бир ёки бир неча студент доклад қилади, бошқа студентларнинг билимлари ушбу докладлар асосида қисқа савол-жавоблар ёрдамида текширилади, группанинг ҳар бир студенти кўрилади савол юзасидан ўз фикрларини билдирадилар. Ҳар икки ҳолда ҳам дарс студентларнинг фикр ва мулоҳазаларини ўқитувчи томонидан умумлаштириш билан яқунланади. Анализ қилинаётган тема, лаборатория иши бўйича ҳар бир студентнинг билимига алоҳида топширди ёки топширмади ўрнига, қониқарсиз, қониқарли, яхши, аъло баҳо қўйилади. Бунга студентларнинг лаборатория ишларига тайёргарлик, иш бажариш жараёнидаги билимларининг контроли ҳам киради. Студентларнинг семинар кўринишидаги ҳисоботга тайёрланишлари (аввалдан маълум бўлган план бўйича) ва унда иштирок этишлари уларнинг илмий ва техник нутқларини ўстиради. Фан ва техника қўяётган турли масалаларни коллектив бўлиб ҳал қилишга, ҳамда кўпчиликка ўз фикрларини тушунтира билишга ўргатади. Бу эса ҳозирги замон мутахассислари учун зарур бўлган касбий кўникмалар қаторига киради.

#### 4- §. Студентлар учун методик кўрсатмалар

Юқорида танишганимиздек лаборатория машғулотларидаги тажрибалар студентлар томонидан мустақил бажариладиган қуйидаги уч босқични ўз ичига олади:

а) *Лаборатория ишини бажаришга тайёргарлик.* Берилган иш асосланадиган физик жараён ва ҳодисалар, қонуниятлар ва уларни характерлайдиган физик катталиклар ҳақидаги маълумотларни қўлланмада кўрсатилган адабиётлардан фойдаланиб йиғиш ҳамда ўрганилиши керак бўлган физик катталик ҳақида тўлиқ тасаввурга эга бўлиш. Шунингдек, тажриба қурилмаси, унинг ташкил қилувчи элементлар, ўлчов асбоблари, уларнинг аниқликлари, ўлчаш усуллари билан танишиб, ўқитувчи билан утказиладиган дастлабки савол-жавобга тайёр бўлиш. Юқоридаги фикрлар лаборатория дафтарида кўрсатилиши ва мос жадваллар тузилган бўлиши керак.

б) *Лаборатория машғулотида тажриба ўтказиш.* Ўқитувчи иш бажаришга тайёр эканлигига ишонч ҳосил қилиб студентга рухсат бергандан сўнг лаборатория столидаги қурилма билан мукамал танишиш, асбоблар-

ни ўз ўрнига жойлаштириш, илгари кўрилмаган асбобларнинг инструкцияси билан танишишга кўмаклашиш. Барча ўлчашларни хавфсизлик техникасига риоя қилган ҳолда мустақил, етарлича юқори аниқликда ўтказиб, физик катталикларни (қўлланмада кўрсатилмаган бўлса) Халқаро бирликлар системаси (СИ) га келтириб лаборатория дафтарига ёзиш, тажриба натижаларидан бирини охиригача ҳисоблаб, ўқитувчига кўрсатиб, дафтарга шунга мос белги қўйдириб олишга эришиш.

в) *Бажарилган иш юзасидан тўлиқ ҳисобот тузиш ва ўқитувчи билан суҳбатга тайёргарлик.* Ўлчанган, ҳисобланган катталиклар ва уларнинг ўлчаш хатоликларини ёзиш, лозим бўлса график боғланишларни миллиметрли қоғозга чизиш. Лаборатория иши асосланган физик жараёни яна бир марта эслаб, тажриба ўтказиш усули ютуқ ва камчиликларини анализ қилиш, уни такомиллаштириш борасида фикрлар билдириш. Ушбу тушунча ва фикрлар иш бўйича тайёрланган ҳисоботда ўз аксини топади. Маълум бир темага доир ишлар (комплекс машғулотлар) бажарилгандан сўнг, ўқитувчи раҳбарлигида бу иш атрофлича муҳокама қилиниб зачѐг топширилади. Ўқув семестри давомида 6—8 темага оид ишлар бажарилиши мақсадга мувофиқдир.

## 5-§. Ўқитувчилар учун методик маслаҳатлар

Лаборатория иши бажарилишининг семестр графиги ўрганилиши зарур бўлган фундаментал физик ҳодисаларни ўз ичига олувчи ишларни бажаришга мўлжалланиб тузилиши керак. Педагогик тажриба, студентларнинг бир хил мавзуга оид ишлардан бир нечтасини бажариб, бошқа мавзу бўйича кам иш (ёки умуман четда қолиши) бажариши, машғулот самарадорлигини оширишга кўмаклашмаслигини кўрсатади. Умумий ишлар сони оз бўлса ҳам, ҳар бир ишнинг студент томонидан тушуниб, ижодий бажарилиши, уларнинг юқори курсларда ўқитиладиган махсус предметлар бўйича чуқур ва пухта билим олишларига мустаҳкам асос яратади.

Студентлар билан ўтказиладиган суҳбатларда уларни баъзи бир қонун қоидаларни кўр-кўрона ёдлаб олишларига имконият бермайдиган, балки уларни тушуна олишларига, ижодий қўллай билишларига эъти-

бор бериш, аввалги билимларидан тўлиқ фойдалана билиш кўникмаларини ҳосил қилишга қисқа ва тушунарли саволлар билан йўлланма бериш керак.

Студентларнинг бўлғуси мутахассисликларига мос бўлган касбий характердаги ишларни бажариш, уларда ўқишга қизиқиш ўйғотади, давомат яхшиланади. Қўлланмада ўқув лабораторияларида йиғиш унчалик қийин бўлмаган бундай касбий ишларнинг бир нечтаси келтирилган.

**МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ**

**1- §. Оддий ўлчов асбоблари ҳақида тушунчалар**

Табиат ҳодисаларини кузатиш, уларнинг хусусиятлари характерланидиган катталикларни аниқлаш, улар ҳақидаги информацияларни қайта ишлаш ва турли ма-софаларга узатиш, турли жараёнларни бошқариш, ҳам-да тадқиқ этишда ишлатиладиган қурилмалар асбоблар деб аталади. Асбобларни уларнинг қўлланишларига кўра қуйидаги синфларга ажратиш мумкин:

1. Табиат ва техникада кузатиладиган турли ҳоди-салар ҳақида маълумот олишга кўмаклашувчи асбоб-лар, яъни кузатув ва ўлчов асбоблари (кузатиш тру-баси, термометр, вольтметр кабилар).

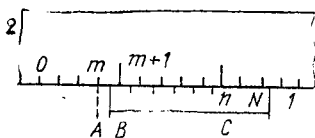
2. Эталон ва ўлчагичлар (чизгич, тарози тошлари ва бошқалар).

3. Информацияларни қайта ишлаш ва уларни уза-тиш асбоблари (алоқа воситалари, датчиклар, кучай-тиргичлар, дифференциал ва интеграл схемалар, опе-рацион кучайтиргичлар, турли ЭҲМ лар).

4. Энергия турларини ўзгартирувчи ва узатувчи асбоблар (турли ток манбалари, трансформаторлар, ге-нераторлар ва ҳ. к.)

5. Бирор объектга таъсир этувчи асбоблар (насос, ёритгич ва бошқалар).

Физик катталикларни бевосита ўлчашда ишлатила-диган, ишлаш ва қўлланиш принциплари мураккаб бўлмаган асбобларни оддий ўлчов асбоблари деб юри-тилади. Шулардан бир неча-сини кўриб чиқайлик.



3- расм.

**Нониус.** Нониус асосий шкаланинг тўлдирувчиси бў-либ, ўлчаш аниқлигини 10—20 марта ошириш имкониятини берувчи махсус қурилма ёки

оддий ўлчов асбобидир. Амалда чизиқли ва бурчакли нониуслар қўлланилади. 3-расмда (1 билан белгиланган) чизиқли нониус кўрсатилган бўлиб, у 2 асосий шкала бўйлаб ҳаракатлана оладиган чизғичдир. Нониусдаги бўлимлар сони  $N_0$ , бир бўлимининг узунлиги  $a_n$  ва асосий шкала бўлимининг узунлиги  $a_m$  бўлсин. Нониуслар шундай тайёрланадики, унинг  $N$  та бўлими узунлиги асосий шкаланинг  $kN - 1$  бўлими узунлигига тенг бўлади, бу ерда  $k$  бутун сонлар, демак:

$$Na_n = (kN - 1)a_m \quad (1.1)$$

тенглик ўринли.

Узунлиги аниқланиши лозим бўлган бирор жисм (ёки унинг қисми) нинг бир нуқтаси асосий шкала ноль бўлимига, иккинчи нуқтаси эса,  $m$  ва  $m+1$  бўлимлари орасига жойлашсин. Бу ҳолда нониуснинг  $n$ -бўлими асосий шкаланинг ихтиёрий бирор бўлимига мос келади. Ўлчанаётган предметнинг узунлиги

$$l = ma_m + \Delta$$

ифода билан аниқланади, бу пайтда  $\Delta = AB$  топилиши керак бўлган миқдор ҳисобланади.  $AC$  (3-расм) бўлимлари бутун сонга тенг бўлган кесма бўлиб,

$$AC = na_n + \Delta \quad (1.2)$$

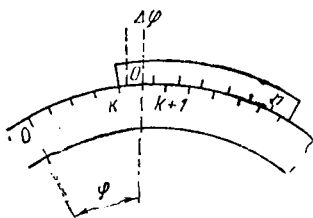
ифода билан аниқланади. (1.1) ва (1.2) ифодалар солиштирилса

$$AC = nka_m + \left( \Delta - \frac{n}{N} a_m \right) \quad (1.3)$$

ифода ҳосил бўлади. Бу ерда  $n$  ва  $k$  бутун сонлар бўлиб,  $nka_m$  бутун сонларга эга бўлган узунлик ифодасидир.  $n < N$  бўлгани учун  $\frac{n}{N} a_m < a_m$  бўлади.  $\Delta$  — асосий шкаланинг бир бўлимидан кичик бўлган катталиқ. ( $\Delta = a_m$  бўлса ўлчанаётган узунлик асосий шкаланинг бутун сонларига тенг бўлган қиймат билан ўлчанади ва нониус ишлатилмайди). Шундай қилиб,

$$\left( \Delta - \frac{n}{N} a_m \right) < a_m.$$

$AC$  кесмадаги бўлимлар бутун сонга тенг бўлгани учун (1.3) ифодадан  $\Delta - \frac{n}{N} a_m = 0$  бўлади ва  $\Delta = \frac{n}{N} a_m$  шундай қилиб ўлчанаётган узунлик:



4- расм.

$$l = ma_{\text{ш}} + n \frac{a_{\text{ш}}}{N} \quad (1.4)$$

ифода билан аниқланади.

$$l_0 = \frac{a_{\text{ш}}}{N} \quad (1.5)$$

узунлик нониус билан аниқланадиган энг кичик миқдор.

Юқорида кўриб чиқилганлар асосида нониусдан фойдаланиш тартибини қуйидагича таърифлаш мумкин: узунлиги аниқланадиган предмет асосий ва нониус шкаласи ноллари орасига жойлаштирилади. Бу предметнинг узунлиги нониус ноль бўлиmidан чап томонда турган асосий шкала бўлимлари бутун сонининг шкала узунлигига кўпайтмаси ( $ma_{\text{ш}}$ ) ва нониус шкаласи узунлигининг унинг асосий шкала бирор бўлими билан мос келувчи бўлимлар сони кўпайтмалари  $na_n$  нинг йиғиндисига тенг бўлади.

Бурчакли нониус назарияси чизиқликидан деярли фарқ қилмайди (4- расм), чизиқли ўлчамлар ўрнига бурчакли ўлчамлар ёзилади холос. Асосий шкала лимба деб юритилади. Ўлчаниши керак бўлган бурчак

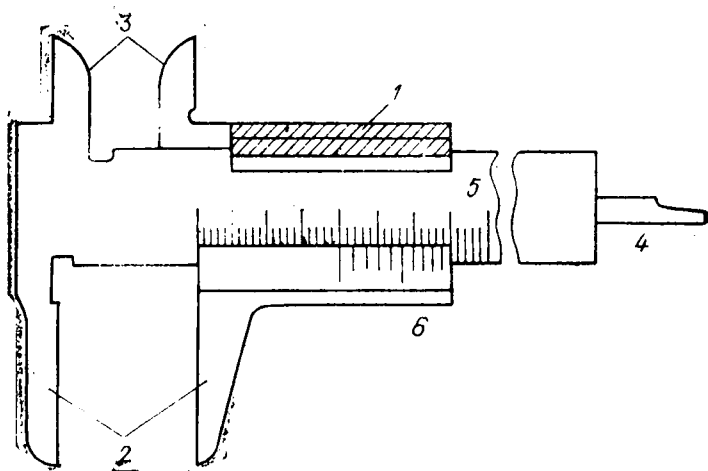
$$\varphi = m\nu + \frac{n}{N} \nu \quad (1.6)$$

ифода билан аниқланади,  $\nu$  — лимба шкаласининг баҳоси.

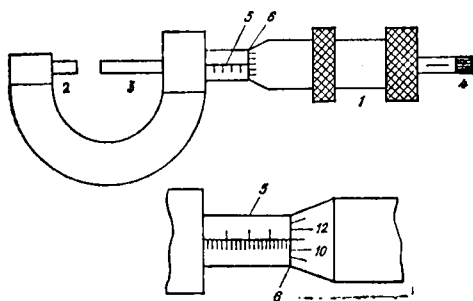
**Штангенциркуль** жуда катта аниқлик талаб қилинмайдиган узунликларни ўлчашда ишлатиладиган асбоб (5- расм). Бу асбобнинг ўлчаш хатолиги: 0,1; 0,05 мм га тенг. Нониус бўлимлари 5 асосий шкала бўйлаб ҳаракатлана оладиган мосламага чизилган. Ўлчаниши керак бўлган жисм шу 2 тишлар орасига жойлаштирилади. 3 тишлар эса, ички чизиқли катталиклар (труба диаметрлари) ни, 4 стержень чуқурликларни ўлчашда қўлланилади.

**Микрометр.** Симларнинг диаметрини, юпқа пластинкаларнинг қалинлигини ва бошқа кичик жисмларнинг чизиқли ўлчамларини катта аниқлик билан ўлчашга хизмат қилувчи нониусли асбоб. (6-расм) шунингдек, бу асбоб баъзи ўлчов қурилмалари (микроскоп, оптик труба ва бошқалар) нинг асосий қисмини ҳам ташкил қилади. Микрометрларнинг ўлчаш чегаралари қуйида-





5- расм.



6- расм.

гича бўлади: 0—25 мм, 0—50 мм, 0—75 мм, 0—600 мм. Микрометр айланувчи микровинт ўрнатилган 1 барабан, 2 ва 3 қўзгалувчан стерженлар, микровинтни айлантирувчи 4 стержень, 6 бурчакли ва 5 горизонтал чизиқли шкалардан ташкил топган. 5—горизонтал стерженга бир-бирига нисбатан ярим бўлимга силжитилган ва бўлим қиймаглари 0,5 мм га тенг бўлган иккита шкала ўрнатилган. Кўпинча микровинтнинг қадами (битта тўлиқ айланганда силжиши) 0,5 мм бўлади,

бу ҳолда бурчакли шкалага эга бўлган барабаннинг бўлим баҳоси:

$$a = \frac{h}{n} \quad (1.7)$$

ифода билан аниқланади  $h = 0,5$  мм микровинтнинг қадами,  $n$  эса бўлимлар сони, агар  $n = 5$  бўлса, у ҳолда  $a = \frac{0,5}{5} = 0,1$  мм бўлади. Ўрганилаётган предметнинг ўлчами  $0,5$  мм аниқлик билан чизиқли шкалаларда ҳисобланиб, миллиметрнинг юзлик бўлаклари бурчакли шкаладан олинади ва улар қўшиб ҳисобланади.

Юқорида кўриб чиқилган асбоблардан ташқари текис юзларни ўлчашга мўлжалланган планиметр, бурчакларнинг катталигини аниқловчи теодолит, чизиқли ўлчамларни  $0-0,1$  мкм аниқлик билан ўлчаш имкониятини берувчи компаратер МИР-12, бурчакли катталикларни юқори аниқлик билан ўлчашда қўлланиладиган гониометр каби асбоблар мавжуд бўлиб, уларнинг ишлаш принципи биз кўриб ўтган асбоблардан деярли фарқ қилмайди.

**Техник тарозилар.** Ўқув лабораторияларида техник тарозилар асосан жисм массаларини аниқлашда ишлатилади. Бу тарозилар коромисло деб атаувчи тенг елкали ричагдан ташкил топган бўлиб, у ўз текислигига перпендикуляр жойлаштирилган пўлат призма қиррасига таянади. Таянч призмадан тенг масофаларда тарози паллалари жойлаштиришга мўлжалланган призмалар ўрнатилган. Тарозининг мувозанат ҳолатини елкага ўрнатилган ва шкала бўйлаб ҳаракатлана оладиган стрелка белгилайди. Бу асбоб ишлатилмаётган вақтда арретирлаб, яъни призмалари бўшатилиб қўйилади. Техник тарози ўзининг тошларига эга.

Тарозидан фойдаланилганда қуйидаги қоидаларга риоя қилиш шарт:

1. Тарози тошларини, уларнинг оғирлик марказлари тарози палласи ўртасига тўғри келадиган ҳолда қўйиш керак.

2. Тарози арретирланмаган ҳолатда паллаларига юк қўйилмаслиги ва олинмаслиги керак.

3. Тарози тошларини фақат пинцет ёрдамида олиш ва қўйиш керак.

4. Тортиш давомида тўла мувозанатга эришмагунча арретирдан бўшатмаслик керак, сўнг қисман бўшатиб мувозанат текшириб борилади.

5. Жисм тортиб бўлингандан сўнг тарози арретир-ланиб, тошларни махсус идишга солиб қўйиш зарур.

6. Ўлчаш аниқлигини ошириш учун жисм ва тарози тошлари ўринларини алмаштириб яна қайта ўлчаш лозим бўлади.

## 2-§. Температура ва уни ўлчаш усуллари

Температура ва уни ўлчаш. Жисмларнинг иссиқлик ҳолатларини характерлайдиган микроскопик параметрлардан бири температурадир. Бу параметр термодинамик мувозанат тушунчаси асосида аниқланади. Ҳар қандай жисм ёки жисмлар системасида микроскопик ўзгаришлар кузатилмаса, улар термодинамик мувозанатда бўлади. Ташқи муҳит билан боғланмаган (изоляцияланган) система, дастлаб қандай ҳолатда бўлмасин, бирор вақт ўтгандан сўнг термодинамик мувозанат ҳолатга эришади.

Икки ва ундан ортиқ жисмлар температураси фарқини аниқлаш учун қўлланиладиган асбоб *термоскоп* деб аталади. Маълум бир қонуният асосида даражаланган термоскоплар термометрлардир. Уларнинг асосий параметрлари бу асбобларнинг сезгирлиги, ўлчаш аниқлиги, ўлчанаётган жисм билан термодинамик мувозанат ўрнатилиш вақти билан характерланади. Температураси ўлчаниши лозим бўлган жисм билан контактга келувчи термометрнинг қисми термометрик жисм ва температура индикатори деб аталувчи физик катталик эса, термометрик катталик деб юритилади. Масалан, симобли термометрларда симоб термометрик жисм ҳисобланса, унинг ҳажми термометрик катталик бўлади.

Ихтиёрный термометрнинг термометрик катталиги (суюқлик ҳажми, электр қаршилиқ, нурланиш энергияси ва ҳ.к)  $a$  билан белгиланса, жисм қиздирилганда бу катталик монотон (бир меъёрда) ўзгариши керак. Масалан, маълум миқдордаги сувнинг ҳажми термометрик катталик бўла олмайди, чунки  $4^{\circ}\text{C}$  да унинг минимал нуқтаси мавжуд. Жисм температураси қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$T = f(a) \quad (1.8)$$

яъни  $f(a)$   $a$  нинг монотон функциясидир, кўпинча бу функция бир жинсли чизиқли бўлади,

$$T = Aa. \quad (1.9)$$

А катталиқ температура даражасини кўрсатувчи нуқталар (қайнаш ва эриш) ёрдамида аниқланади. 1954 йилгача икки температура оралиғи—сувнинг қайнаш  $T_k$  ва музнинг эриш  $T_s$  нуқталари қўлланиб, қуйидаги муносабатдан аниқланарди:

$$A = \frac{T_k - T_s}{a_k a_s} = \frac{100}{a_k - a_s},$$

бунда  $a_k$  ва  $a_s$  температура нуқталарига мос термометрик катталиқлар. Ҳозирги вақтда эса халқаро келишувга биноан бу катталиқ қуйидагича аниқланади:

$$A = \frac{T_y}{a_y} = \frac{273,16}{a_y}. \quad (1.10)$$

$T_y$ —сувнинг учлик нуқтаси.  $a_y$ —шу нуқтага мос келувчи термометрик катталиқ.

Температура Халқаро Бирликлар системасида асосий ўлчов бирликларидан бўлиб, у Кельвин шкаласида ўлчанади ва К билан белгиланади. Баъзан цельсий шкаласи ҳам қўлланилади. Улар орасида қуйидаги боғланиш мавжуд.

$$t = T - 273,16 \quad (1.11)$$

$T$ —Кельвин (абсолют),  $t$ —Цельсий шкалаларида ўлчанган температура қийматларидир.

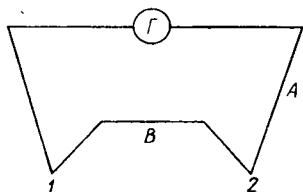
**Термометрлар.** Сезгирлиги юқори ва ўлчаш аниқлиги билан ажралиб турадиган термометр, газ термометри бўлиб, термометрик катталиқ вазифасини газнинг босими ўтайди. Газ термометрининг шкаласи абсолют шкала билан мос келади. Аммо бу термометр конструкцияси, уни қўллашни анча мураккаблаштиради. Бу исбоб бошқа термометрларни даражалашда кўп ишлатилади. Амалда суюқликли термометрлар кенг қўлланилади, бироқ унинг сезгирлиги унча катта эмас. Бу турдаги термометрларнинг қўлланиши суюқликлар ва бу суюқлик солинган найча шишанинг хусусиятлари билан чегараланади. Барча суюқликли термометрлар— $200^\circ$  дан  $+600^\circ$  С гача оралиқдаги температураларни ўлчайди. Кўп қўлланиладиган суюқликли термометр ва улар ёрдамида ўлчаш мумкин бўлган температура оралиқлари қуйидагича: 1) пентан,  $-200+20^\circ$  С, 2) этил спирти,  $-110+50^\circ$  С, 3) толуол,  $-70+100^\circ$  С, 4) сымоб,  $31,86+600^\circ$  С. Буларнинг ичида энг кўп ишлатиладиган

суюқлик симоб бўлиб, унинг қайнаш температураси нормал атмосфера босимида  $357^{\circ}\text{C}$  га тенг. Босим ортиши билан унинг қайнаш температураси орта боради, шунинг учун  $375^{\circ}\text{C}$  дан юқори температураларни ўлчаш мақсадида ишлатилмайдиган термометр капиллярлари босими 70 атм гача бўлган газ билан тўлдирилади. Албатта бундай босимга бардош бера олиши учун идиш деворлари қалин қилиб ясалади. Бошқа суюқлик термометрларда капилляр идиш деворларини суюқлик ҳўл-ламаслиги мақсадида доимо газ билан тўлдирилади.

Қаршилик термометрларида термометрик жисм сифатида соф металл ёки унинг қотишмаларидан ясалган сим ишлатилади. Бу ерда термометрик катталик электр қаршилигидир. Қаршиликнинг  $1^{\circ}\text{C}$  температура оралигида ўзгариши температура коэффициентлари деб аталади. Бундай термометрларда қаршилик ва температуранинг чизиқли боғланиши жуда кичик температура диапазонида мос келади. Шунинг учун бундай термометрлар шкаласи чизиқли бўлмайди, кўпинча ишлатилиши олдида даражалаш талаб қилинади. Энг кўп ишлатилмайдиган қаршилик термометрлари соф платина ( $10^{\circ}\text{C}$  дан  $1100^{\circ}\text{C}$  гача) ва мис (водороднинг эриш температурасидан  $20^{\circ}\text{C}$  гача бўлган температураларни ўлчашда ишлатилади) дан ясалади. Қаршилик термометрларининг аниқлиги турли температура диапазонларида турличадир, масалан 20 К, 70 К да платина термометрининг аниқлиги 0,01 К бўлса, паст температураларда 0,001 К ни ташкил қилади, уларнинг конструкцияси ҳам қўлланишига қараб турлича бўлади.

Ўзининг сезгирлиги ва қўлланишининг қулайлиги билан ажралиб турадиган термометрлар орасида термистор ёки термоқаршиликлар алоҳида ажралиб туради. Бундай асбобларнинг термометрик элементлари асосан яримўтказгичлардир. Улар 20 К дан паст температураларни юқори аниқлик билан ўлчай олади. Ўта ўтказувчанлик ҳолати кўп термоқаршиликлар ишини чегаралаб қўяди. Паст температураларни аниқлашда, қаршилиги 7 К дан 1 К гача температурада чизиқли ўзгарадиган бронза фосфори ишлатилади.

Илмий-тадқиқот лабораторияларида термопаралар — термометрик элементи турли металлларнинг кавшарланишидан ва термометрик катталлиги эса температуралар фарқи натижасида пайдо бўладиган термоэлектр юритувчи кучга тўғри келадиган асбоблар ишлатилади.



7- расм.

А ва В элемент (7-расм) учлари кавшарланиб уларнинг 1 ва 2 учлари турли температурада тутилса, у ҳолда температуралар фарқига пропорционал бўлган электр юритувчи куч ҳосил бўлади. Термопаралар турли жуфт металллардан ясалади, энг кўп қўлланиладиган: мис-константан,  $-200 \div 350^{\circ} \text{C}$ , темир-константан,  $0 \div 750^{\circ} \text{C}$ , хромель-алюминель<sup>1</sup>,  $-200 \div 1100^{\circ} \text{C}$ , хромель-константан,  $20 \text{ K} - 1000^{\circ} \text{C}$ , платина-родий,  $1400 \div 1600^{\circ} \text{C}$  гача, платина-иридий,  $1500^{\circ} \text{C}$  гача, иридий-родий  $200^{\circ} \text{C}$

Термопаралар кенг диапазондаги ( $4\text{K} + 3000 \text{ K}$ ) температураларни юқори аниқлик ( $0,01$ ) ва сезгирлик ( $100 \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$ ) билан ўлчайдиган асбобдир. Бу асбобларнинг ясалиш технологияси ҳам анчагина қулай. Асосий камчилиги уларнинг паст температураларда жуда кичик ЭЮК нинг ҳосил бўлиши ва сезгирлигининг камайиб кетиши.

Жуда юқори ҳамда электромагнит нур сочувчи жисм температураларни ўлчашда пирометрлар деб аталувчи асбоблар ишлатилади. Уларнинг термометрик элементлари юқори температурада нурланувчи жисм ва термометрик катталиги эса нурланиш интенсивлигидир.

### 3-§. Асбоблар билан танишув ишлари

#### 1. Жисмларнинг чизиқли ўлчамларини аниқлаш

1. Турли шакл ва ўлчамга эга бўлган предметлар, чизиқли ўлчамларни ўлчовчи асбоб (штангенциркуль, микрометр ва бошқалар) лар тажриба столига келтириб қўйилади.

2. Ҳар бир жисмни  $0,1$  ва  $1\%$  аниқлик билан (унга мос ўлчов асбоблари танлаб олиниб) ўлчанади ва жисм ҳажмлари ҳисобланади.

3. Ўлчаш аниқлиги ва жисм шаклини ҳисобга олган ҳолда ҳисобот тайёрланади.

<sup>1</sup>. Хромель қотишмаси  $90\%$  никель ва  $10\%$  хром, алюминель— $94\%$  никель,  $3\%$  марганец,  $2\%$  алюминий ва  $1\%$  кремнийдан иборат.

## 2. Жисм массаларини ўлчаш ва зичликларини аниқлаш

1. Бир хил шаклдаги турли моддалардан иборат жисмлар танлаб олинади.

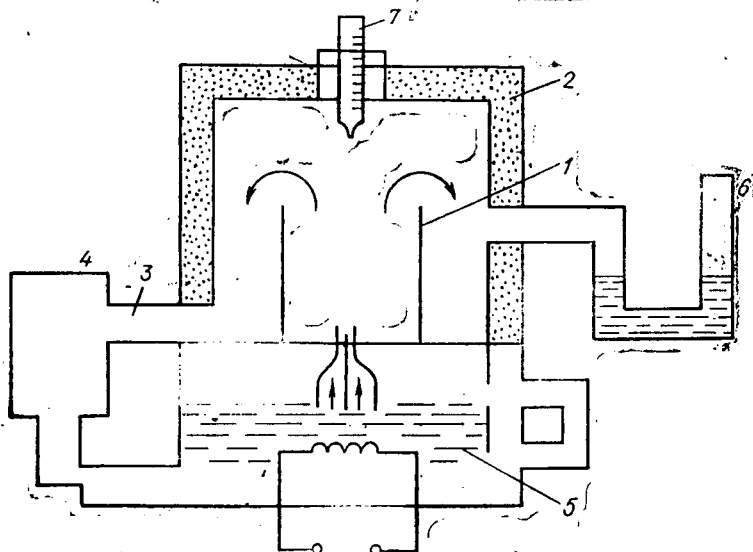
2. Ҳар бир жисм массаси 0,1 ва 0,01 г аниқлик билан ўлчанади.

3. Танлаб олинган қаттиқ жисмлар зичлиги  $\rho = \frac{m}{V}$  ифода ёрдамида жисм ҳажми 1-машқдан олиниб ҳисобланади.

## 3. Музнинг эриш ва сувнинг қайнаш температурасини ўлчаш

1. Термометрни Дьюар идишидаги музга туширилиб, унинг температураси аниқланади, ўлчашлар 4—5 марта такрорланади.

2. Сув бугининг температураси, схемаси 8-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланиб аниқланади. 5 қайнатгичдаги сув буглари 1 цилиндрга ўтади ва бутун ҳажми эгаллайди. Ортиқча буг 3 труба орқали 4 хлодильникка ўтади ва қиздиргичга қайтиб тушади. Ички



8- расм.

ва ташқи томонидан буғ қамраб олган  $I$  цилиндрнинг ичидаги буғ температураси ўзгармас бўлиб, сувнинг қайнаш температурасига тенг.

3. Термометр ёрдами билан юқорида тавсифланган сув буғининг температураси ўлчанади ва  $t = 100,000 + 0,367(P - 760) - 0,000023 \cdot (P - 760)^2$  ифодадан унинг босимга боғлиқ ифодаси аниқланади, босими эса  $h$  манометр билан ўлчанади.

#### 4. Қиздирилган жисмлар олган иссиқлик миқдорини ҳисоблаш ва суюқликларнинг иссиқлик сиғимларини аниқлаш

Бир-бири билан бевосита (ёки билвосита) контактга келтирилган икки жисм ёки жисм қисмларининг кўпроқ иситилганидан камроқ иситилгани томонига энергия узатилади. Энергиянинг бу кўринишдаги узатилиши иссиқлик узатиш, узатилган энергия эса иссиқлик миқдори деб юритилади. Бундай энергия узатиш жараёнида макроскопик иш бажарилмайди, иссиқлик узатилиши ҳисобига жисм ёки жисмлар системасининг ички энергиялари ўзгаради, холос. Узатилаётган иссиқлик миқдорининг унга мос келувчи температуралар ўзгаришига нисбати иссиқлик сиғими дейилади ва қуйидагича ифодаланади:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (1.12)$$

Бирлик массага эга бўлган модда температураси бир бирликка ўзгарганда, у узатган ёхуд қабул қилинган иссиқлик миқдори солиштирма иссиқлик сиғими, бир моль модданики эса, моляр иссиқлик сиғими деб юритилади.

Муайян шароитда солиштирма иссиқлик сиғимини ўзгармас деб ҳисобланилса, узатилган (ёки қабул қилинган) иссиқлик миқдори:

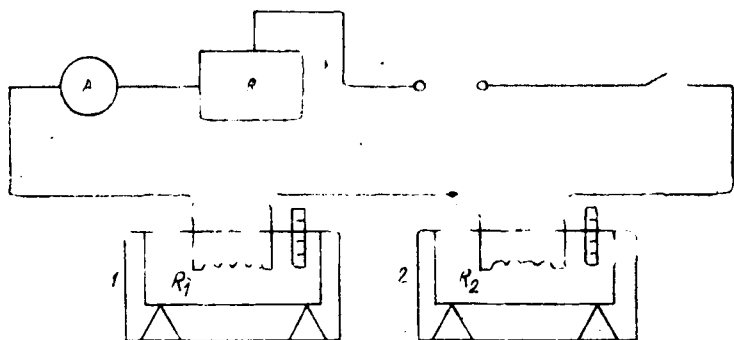
$$dQ = cmdT \quad (1.13)$$

ифода билан аниқланади, бу ерда  $c$ —солиштирма иссиқлик сиғими, (1.13) ифодани интеграллаб

$$Q = mc(T_2 - T_1) \quad (1.14)$$

муносабатни ҳосил қиламиз.  $T_1$  ва  $T_2$  мос равишда бошланғич ва охири температуралардир. Иссиқлик сиғимларини ҳисоблаш ва солиштирма иссиқлик сиғи-





9- расм.

мини аниқлашда схемаси 9-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланилади. 1, 2 калориметр (амалда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашишига йўл қўймайдиган дасбоб) лардан бирига сув ва иккинчисига текширилаётган суюқлик солинган бўлиб, улар  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликлардан ток ўтганда ажралган Жоуль—Ленц  $Q = I^2 R t$  иссиқликлиги ҳисобига исийди.

Сувнинг олган иссиқлик миқдорини ҳисоблаш

1. Калориметр ички идишининг массаси  $m_1$ , унинг сув солингандан кейинги  $M$  массаси 0,1 г аниқлик билан ўлчанади ва сувнинг массаси  $m = M - m_1$  ҳисобланади, термометр ёрдами билан сувнинг дастлабки температураси  $T_1$  аниқланади.

2. 0,5 А га тенг бўлган электр токи 30 мин. давомида қаршиликдан ўтказилади ва кейинги температура  $T_2$  ёзиб олинади.

3.  $Q = cm(T_2 - T_1)$  ифодадан сувнинг олган иссиқлик миқдори топилади ( $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$ ).

Суёқликнинг солиштирма иссиқлик сифимини аниқлаш

1. Аввалги машқдаги усул билан биринчи калориметрнинг, ундаги сувнинг, сўнгра иккинчи калориметрнинг, ундаги суёқликнинг массалари  $m_1$ ,  $m$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  аниқланади ва дастлабки температуралари ёзиб олинади.

2.  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликлардан 0,5 ÷ 1 А ток кучини 20, 30, 40 минут давомида ўтказилади, уларга мос ке-

лувчи сув ва суюқлик температуралари  $T_1$  ва  $T_2$  ёзиб олинади (қаршилиқ қийматлари қурилмага ёзиб қўйилган бўлади).

3.  $Q_1 = I^2 R_1 \tau$  ва  $Q_2 = I^2 R_2 \tau$  ифодалар орқали 1,2 калориметрлар спиралларидан ток ўтганда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорлари,  $Q'_1 = (m_1 c + m_1 c_1)(T_1 - T_0)$  ва  $Q'_2 = (m_2 c_x + m_2 c_2)(T_2 - T_0)$  ифодалар орқали эса, калориметр ва ундаги суюқликларнинг олган иссиқлик миқдорлари ҳисобланади. Қаршилиқлар шундай танлаб олиндики, атроф-муҳитга сарф этилган иссиқлик миқдорлари  $\Delta Q_1 = Q - Q'_1$  ва  $\Delta Q_2 = Q_2 - Q'_2$  тенг деб қаралади. У ҳолда текширилатган суюқликнинг солиштирма иссиқлик сифими қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$C_x = \frac{I^2 \tau (R_1 + R_2) - (m_1 c + m_1 c_1)(T_1 - T_0) - m_2 c_2 (T_2 - T_0)}{m_2 (T_2 - T_0)}. \quad (1.15)$$

Калориметрлар солиштирма иссиқлик сифимлари жадвалдан олинади.

4. Ўлчаш хатоликлари ҳисобланади  $\Delta C_x$  ва  $\frac{\Delta C_x}{C_x}$ .

5. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиқларни қуйидаги жадвалга ёзиб қўйилади:

№	$m$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$T_1$	$T_2$	$T_0$	$I$	$\tau$	$c_x$	$\bar{c}_x$	$\Delta c_x$	$\bar{\Delta c}_x$	$\frac{\Delta c_x}{c_x} 100$
														%
	кг	кг	кг	кг	К	К	К	А	С	Ж	Ж	Ж	Ж	
										кг·к	кг·к	кг·к	кг·к	

6. Қўшимча топшириқ: Қаттиқ жисмлар солиштирма иссиқлик сифимларини қандай аниқлаш мумкин. Тажриба плани тузилсин.

### 5. Жисмларнинг иссиқликдан кенгайишини ўрганиш

Жисмлар қиздирилганда уларнинг чизиқли ўлчамларининг ўзгариши маълум. Бундаги нисбий узайиш  $\frac{dl}{l} = \alpha dt$  ифода билан аниқланади.  $\alpha \ll 1$  бўлиб, чизиқли кенгайиш коэффициентини деб аталади.

Ихтиёрий температурадаги жисмларнинг узунлиги:

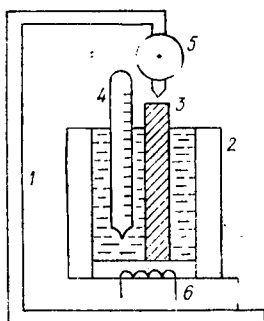
$$l_t = l_0(1 + \alpha t) \quad (1.16)$$

ҳажми.

$$V_t = V_0(1 + \beta t) \quad (1.17)$$

ифодалар билан аниқланади,  $l_0$  ва  $V_0—0^\circ \text{C}$  даги жисмнинг узунлиги ва ҳажми,  $\beta \approx 3\alpha$  бўлиб, ҳажм кенгайиш коэффициентидир.

Жисмларнинг чизикли кенгайиш коэффициентларини аниқлашда 10-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланиш мумкин.



10- расм.

1. Ҷрганилаётган стержень 3 узунлигини штангенциркуль ёрдамида бир неча марта ўлчаб, ўртача қиймати ва хона температураси ёзилиб, 5 асбобнинг ноль нуқтаси аниқланади.

2. Қиздиргични улаб, маълум вақтдан кейин температура ва жисмнинг шу температура интервалига мос келувчи узайиши ёзиб олинади (узайиш бир неча температура қийматлари учун ёзилади).

3.  $\alpha = \frac{\Delta l}{l(t_1 - t_0)}$  ифодадан чизикли узайиш коэффициенти ҳисобланади.

4. Бошқа стерженлар учун 1, 2, 3 пунктлар такрорланади. Ҳар бир стержень учун хатоликлар ҳисобланади.

5. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар қуйидаги жадвалга ёзилади:

N	$l$ , м	$t_0$ , К	$t_1$ , К	$\Delta l$ , м	$\alpha$ , К <sup>-1</sup>	$\bar{\alpha}$ , К <sup>-1</sup>	$\Delta\alpha$ , К <sup>-1</sup>	$\overline{\Delta\alpha}$ , К <sup>-1</sup>	$\frac{\overline{\Delta\alpha}}{\alpha} 100$ , %

6. Азотнинг буғланиш иссиқлигини фазалар мувозанатидан фойдаланиб аниқлаш

Макроскопик параметрлари ( $T$ ,  $p$ ) узлуксиз ўзгара бориш хусусиятига эга бўлган термодинамик система-

нинг бир жинсли бўлаги фаза дейилади. Масалан, нам буғ термодинамик системанинг икки фазасидан—қайнаётган сув ва қуруқ буғдан иборат бўлади. Агар бундай системанинг биринчисидан иккинчисига ва иккинчисидан биринчисига ўтувчи молекулалар сони тенг бўлса, у ҳолда система мувозанат ҳолатда бўлади. Мувозанат ҳолатда системанинг макроскопик параметрлари ўзгармайди, яъни  $T_1 = T_2$ ,  $p_1 = p_2$ ,  $\mu_1 = \mu_2$ ;  $\mu$  — макроскопик система ҳолатини ифодаловчи катталиқ бўлиб, химиявий потенциал деб юритилади.

$$\mu_1(p_1, T_1) = \mu_2(p_2, T_2) \quad (1.18)$$

муносабат мувозанат ҳолатини характерлайди.

Термодинамик системанинг бир фазадан иккинчисига ўтиши иссиқлик ажралиши билан содир бўлади, бу иссиқлик миқдорини  $Q = \frac{T}{\Delta S}$  муносабатдан аниқлаш мумкин, бу ерда  $T$  — мувозанат ҳолат температураси,  $\Delta S = S_2 - S_1$  эса энтропия ўзгариши. (1.18) ифодани температура бўйича дифференциаллаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{\partial \mu_1}{\partial T_1} + \frac{\partial \mu_1}{\partial p_1} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial T_1} = \frac{\partial \mu_2}{\partial T_2} + \frac{\partial \mu_2}{\partial p_2} \cdot \frac{\partial p_2}{\partial T_2}.$$

$\frac{\partial \mu}{\partial T} = -S$  ва  $\frac{\partial \mu}{\partial p} = V$  эканлиги ҳисобга олиниб,

$$\frac{dp}{dT} = \frac{S_2 - S_1}{V_2 - V_1} = \frac{Q}{T(V_2 - V_1)} \quad (1.19)$$

ифода ҳосил қилинади, бу Клапейрон—Клаузиус тенгламасидир. Ушбу ифодани қаттиқ жисм ёки суюқликнинг буғ билан мувозанат ҳолати учун ёзамиз. Маълумки, буғнинг ҳажми  $V_2$  худди шунча модда миқдорига эга бўлган суюқлик ҳажмидан анчагина каттадир, бинобарин

$$\frac{dp}{dT} = \frac{Q}{TV_2}. \quad (1.20)$$

Буғни идеал газ деб ҳисоблаб, ҳолат тенгламасидан ( $pV_2 = RT$ ) буғ ҳажмини аниқлаймиз, у ҳолда (1.20)

ифода  $\frac{dp}{dT} = \frac{Qp}{RT^2}$  кўринишида ёзилади, ёки  $\frac{d \ln p}{dT} = \frac{Q}{RT^2}$ ,

бу ифодани интеграллаб

$$\ln p = \frac{Q}{RT} + C = -\frac{Q}{R} \left( \frac{1}{T} \right) + C$$

ёки

$$p = A \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} + C \quad (1.21)$$

муносабатни ҳосил қиламиз.

Схемаси 11-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланиб  $\ln p = f\left(\frac{1}{T}\right)$  боғланиш аниқланади.

1. 2 Дьюар идиш очик ҳолда азот босими атмосфера босимига ва температураси 77,4 К га тенг деб, бу қийматлар ёзиб олинади.

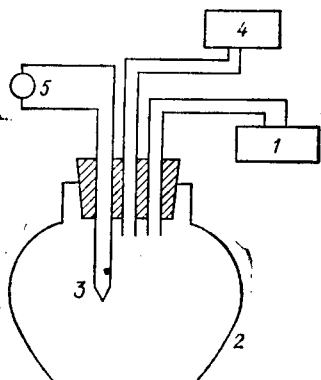
2. 1 форвакуум насосни улаб, азот буғлари ҳайдалади ва босимнинг бир неча қийматлари (манометрнинг кўрсатиши асосида) учун термомпара ёрдами билан мувозанат ҳолатидаги азот температураси аниқланади.

3. Миллиметрли қоғозга  $\ln p$  ва  $\frac{1}{T}$  нинг қийматлари қўйилиб,  $\ln p = f\left(\frac{1}{T}\right)$  боғланиш эгрилиги чизилади.

4. Ҳосил қилинган эгри чизиққа уринма ўтказиб, унинг абсцисса ўқи билан ҳосил қилган бурчагининг тангенси аниқланади. Бурчак коэффициент  $\operatorname{tg} \alpha = -\frac{Q}{R}$  ифодасидан фойдаланиб азотнинг буғланиш иссиқлиги аниқланади. Минус ишора ушбу фазавий ўтишда иссиқлик ажралишини кўрсатади.  $R$ —газнинг универсал доимийси бўлиб, унинг сон қиймати  $8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$  га тенг.

#### Контрол саволлар

1. Ўлчашлар нима?
2. Ўлчаш хатоликлари, уларнинг турлари ва хатоликларнинг ҳисоблаш усулларини айтиб беринг.
3. Содда ўлчов асбобларига қандай асбобларни киритиш мумкин?
4. Жисмларнинг чизиқли ўлчамларини қандай усуллар билан ўлчаш мумкин? Ўлчаш аниқликларини қандай ошириш мумкин?
5. Турти жисмларнинг зичликларини қандай аниқлаш мумкин? Ўлчаш аниқликларини ошириш ҳақида нималарни биласиз?
6. Температура ва иссиқлик миқдори тушунчалари ҳақида



11-расм.

маълумот беринг. Турли диапазондаги температураларни ўлчаш усулларини айгиб беринг.

7. Босим нима? У қандай аниқланади?

8. Термодинамик система (жисм) фазалари нима? Қандай ҳолат мувозанатли ҳолат дейилади? Фазавий ўтишлардаги иссиқлик ажралишини тушунтиринг.

#### 4-§. Механика бўлимига доир лаборатория ишлари

1- лаборатория иши. Обербек маятниги ёрдами билан жисмларнинг айланма ҳаракат қонуларини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Қаттиқ жисмларнинг айланма ҳаракат қонунларини тажрибада кузатиш.

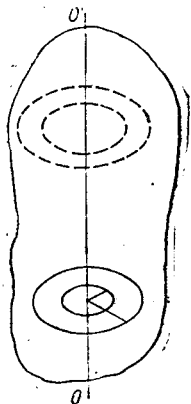
*Адабиёт:* [1] — III боб, 1 — 7 § лар: [2] — 36, 38, 39, 43-§ лар: [3] 30, 32, 33, 34-§ лар.

Қаттиқ жисмлар ҳаракат қонунларини ўрганишда абсолют қаттиқ жисм тушунчаси киритилади. Механикада қаттиқ жисм деганда моддий нуқталарнинг ўзгармас системаси, яъни шундай идеаллаштирилган системаси тушуниладики, бу системанинг ҳар қандай ҳаракатида ҳам, унга кўрсатилган ҳар қандай таъсир натижасида ҳам моддий нуқталар орасидаги масофалар ўзгармай қолаверади, деб қаралади.

Қаттиқ жисмнинг ҳар қандай ҳаракатини иккита асосий турга: илгарилама ва айланма ҳаракатларга ажратиб мумкин.

Айланма ҳаракат вақтида қаттиқ жисмни ташкил қилган моддий нуқталар маркази бир тўғри чизиқда ётган айланалар чизади. Ушбу чизиқ айланиш ўқи деб юритилади. Моддий нуқталарнинг жойлашувига қараб улар чизган ёйларнинг узунликлари турлича бўлади (12-расм). Марказдан узоқлашган сари тезликлари ортиб боради. Демак, айланма ҳаракат қонунларини ўрганиш учун илгарилама ҳаракат параметрлари: босиб ўтилган йўл, силжиш, тезлик, тезланиш каби тушунчалар етарли бўлмай яна бурчлиш бурчаги, бурчак тезлик, бурчак тезланиш каби параметрлар ҳам киритилади.

Вақт ўтиши билан бурчак тезлиги ўзгармайдиган ҳаракат текис



12- расм.

айланма ҳаракат дейилади. Бу ҳолда бурчак тезлик вақт бирлиги ичида бурилиш бурчагини қанчага ўзгаришини кўрсатади:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (1.22)$$

Битта тўла айланиш учун кетган  $T$  вақт давр, вақт бирлигидаги айланишлар сони  $\nu$  частота деб юритилди ва улар орасида қуйидагича боғланиш мавжуд:  $T = \frac{1}{\nu}$ . Булар орқали текис айланма ҳаракатнинг бурчак тезлиги

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad (1.23)$$

кўринишида ёзилади.

Ўзгарувчан айланма ҳаракатни ўрганишда оний бурчак тезлик тушунчаси киритилиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.24)$$

Оний бурчак тезлик бурилиш бурчагидан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиллага тенг бўлиб, у вектор катталиқдир:

$$\vec{v} = [\vec{\omega} \cdot \vec{r}], \quad (1.25)$$

унинг йўналиши ўнг винт қондаси бўйича аниқланади. (1.25) ифоданинг модули  $v = \omega r \sin(\vec{r} \vec{\omega})$  кўринишида ёзилади.

Ўзгарувчан ҳаракатда бурчак тезлик вақтнинг функцияси бўлиб, унинг ўзгариши бурчак тезланиш билан характерланади. Бу катталиқ вақт бирлиги ичида бурчак тезлик қанчага ўзгаришини кўрсатади:

$$\vec{\epsilon} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}.$$

Ўзгарувчан айланма ҳаракат бурчак тезланиши оний бурчак тезланиши билан характерланади:

$$\vec{\epsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \quad \epsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (1.26)$$

Оний бурчак тезланиш бурчак тезликдан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила ёки бурилиш бурча-

гидан олинган иккинчи тартибли ҳосила билан аниқланади.

Қаттиқ жисмнинг айланма ҳаракати кучнинг қўйилиш нуқтасига ҳам боғлиқ. Айланиш ўқидан ҳар хил масофада таъсир қилаётган тенг кучлар жисмга турлича тезланиш беради. Шунинг учун айланма ҳаракат динамикасининг асосий қатталиклари куч, масса тушунчалари билан бир қаторда куч моменти, инерция моменти каби тушунчалар ҳам киритилади. Куч моменти, вектор катталиқ бўлиб, куч билан айланиш марказидан ўтказилган радиус векторнинг векториал кўпайтмасига тенг:

$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}], \quad (1.27)$$

унинг модули:

$$M = F \cdot r \sin(\vec{r} \cdot \vec{F}). \quad (1.28)$$

Айланиш марказидан куч йўналишига туширилган перпендикулярнинг узунлиги  $l = r \sin \varphi$  елка дейилади. Кучнинг елкага кўпайтмаси айланиш ўқига нисбатан куч моментидир:

$$M = F \cdot l \quad (1.29)$$

Моддий нуқтанинг ихтиёрий ўққа нисбатан инерция моменти унинг массасини айланиш ўқидан шу моддий нуқтагача бўлган масофа квадрати кўпайтмасига тенг:

$$I = mr^2. \quad (1.30)$$

Ушбу ифодага асосан қаттиқ жисмнинг ихтиёрий ўққа нисбатан инерция моменти, уни ташкил қилган моддий нуқталарнинг шу ўққа нисбатан инерция моментларининг йиғиндисига тенг дейиш мумкин:

$$I = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2. \quad (1.31)$$

Қаттиқ жисмни ташкил қилувчи моддий нуқталар сони чексиз кўп бўлса, у ҳолда (1.31) муносабат интеграл кўринишида ифодаланади:

$$I = \int_m r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV$$

$\rho$  — модданинг зичлиги,  $dV$  — элементар ҳажм.

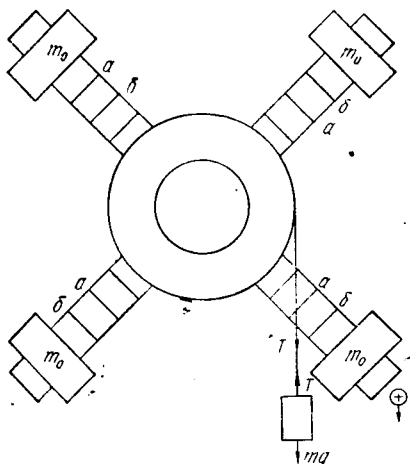
Куч моменти, инерция моменти ва бурчак тезланиш



орасидаги боғланиш Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан қуйидаги кўринишга эга:

$$\vec{M} = I\vec{\epsilon} \quad (1.32)$$

Бу ифода айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасидир. Айланма ҳаракат қонунларини Обербек маятниги ёрдамида ўрганиш мумкин. Бу асбоб (13-расм) бир хил массали ( $m_0$ ) юклар ўрнатилган



13-расм.

горизонтал ўққа маҳкамланган крестовинадан иборат. Агар бу юклар айланиш ўқидан бир хил масофаларга жойлаштирилса, у ҳолда айланиш ўқи крестовина марказидан ўтади. Юкларни айланиш ўқидан ихтиёрӣ масофаларга силжитиш учун штрихлар қилинган бўлиб системанинг инерция моментини ўзгартириш имкониятини беради. Бу асбоб шкивга ўралган ипга осилган  $m$  массали юк ёрдамида ҳаракатга келади. Қурилма ҳаракати шкивнинг айланма ва юкнинг илгарилема ҳаракатидан ташкил топган бўлиб, қуйидаги тенгламалар системасига асосланади:

$$\left. \begin{aligned} m\vec{a} &= m\vec{g} + \vec{T}, \\ I\vec{\epsilon} &= [\vec{r} \vec{T}] + \vec{M}_{\text{иш.}} \end{aligned} \right\} \quad (1.33)$$

Бу ерда  $m$  ўқга осилган юк массаси (ипнинг массаси ҳисобга олинмайди),  $m\vec{g}$  — ўққа осилган юкнинг оғирлик кучи,  $\vec{T}$  — ипнинг таранглик кучи бўлиб, юкка қўйилганда юқорига, шкивга қўйилганда пастга йўналади,  $\vec{\epsilon}$  — бурчак тезланиши ва  $[\vec{r} \vec{T}]$  ипнинг таранглик кучи momenti бўлиб, пастга тушаётганда ичкарига, ҳамда юк кўтарилаётганда биз томонга йўналади. Агар ишқаланиш куч momenti  $M_{\text{иш}}$  ҳаракат тезлигига боғ-

лиқ эмас деб қаралса, у ҳолда юк пастга тушаётганда текис секинланувчан ҳаракат ҳосил бўлади.

Юкнинг пастга томон ҳаракатини кузатайлик. Бу ҳолда, шартли равишда пастга ва биздан ичкарига бўлган йўналишларни мусбат йўналишлар деб қабул қилсак, (1.33) тенгламалар системасининг скаляр кўринишида қуйидагича ёзиш мумкин: ип ингичка, чўзилмайдиган ва шкивга бир қават ўралган деб фараз қилинса,

$$\begin{aligned} ma &= mg - T, \\ I\varepsilon &= Tr - M_{\text{ин.}} \end{aligned} \quad (1.34)$$

Шкив сиртидаги нуқталарнинг тангенциал тезланиши бурчак тезланиши билан қуйидагича боғланишга эга бўлади:

$$a_{\tau} = \varepsilon r = a. \quad (1.35)$$

Агар  $m$  — юкнинг массаси 0,2 — 0,4 кг агрофида олинса, ишқаланиш куч моментини ҳисобга олмасак ҳам бўлади ва (1.34) га асосан қуйидагича муносабат ўринли бўлади:

$$I\varepsilon = m(g - a)r. \quad (1.36)$$

Тезланиш:

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (1.37)$$

муносабатдан аниқланади.

Юқорида тасвирланган асбоб ёрдамида айланма ҳаракат динамикаси асосий қонуни (1.32) ни ва Штейнер теоремасини текшириш мумкин.

1. Агар юклар ҳолати ўзгартирилмаса, у ҳолда — инерция моменти ўзгармас бўлиб куч момент  $M$  ва бурчак тезланиши  $\varepsilon$  юкнинг массаси  $m$  ўзгариши билан турли қийматларни олиши ва

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{M_2}{M_1} \quad (1.38)$$

муносабат текширилиши мумкин ва аксинча, система инерция моменти ўзгартирилиб

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (1.39)$$

муносабат текширилади.

2. Штейнер теоремасини текшириш мақсадида (1.32), (1.35), (1.36), (1.37) муносабатлардан система инерция

моментини тажрибада аниқлаш учун қўйидаги ифода ҳосил қилинади:

$$I_{\tau} = mr^2 \left( \frac{gl^2}{2h} - 1 \right). \quad (1.40)$$

Қурилманинг инерция моменти металл стержень, шкив ва юкларнинг инерция моментлари йиғиндисидан иборат эканлигини ҳисобга олиб

$$I_x = I_{\text{ст}} + I_{\text{шк}} + I_{\text{ю}} \quad (1.41)$$

муносабатни ёзамиз ва юклар инерция моментини ҳисоблашда Штейнер теоремасидан фойдаланамиз. Қўйида мос равишда стержень, шкив ва юкларнинг инерция моментларини ҳисоблаш ифодаларини ёзилган:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{ст}} &= 2 \cdot \frac{1}{12} m' l^2, \\ I_{\text{шк}} &= \frac{1}{2} Mr^2 \\ I_{\text{ю}} &= I_{\text{ю}} + m_{\text{ю}} d^2 = \frac{1}{2} m_{\text{ю}} \cdot r_{\text{ю}}^2 + m_{\text{ю}} d^2. \end{aligned} \right\} \quad (1.42)$$

$m'$   $M$ ,  $m_{\text{ю}}$  стержень, шкив ва юкларнинг массалари,  $l$  стерженнинг узунлиги,  $d$  айланмиш ўқидан юк масса марказигача бўлган масофа  $r_{\text{ю}}$  — юк (цилиндрсимон) нинг радиуси.

*Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Штангенциркуль ёрдами билан шкив диаметри  $D$  ўлчаниб, унинг радиуси  $r = \frac{D}{2}$  аниқланади.

2. Кривовина айлантирилиб, юк жойлаштириладиган мосламани  $h$  баландликка кўтарилади ва  $\nu$  масофа чизғич ёрдамида ўлчанади.

3. Кривовина стерженлари, ундан чиқариб олинган юклар массаси  $m'$  ва  $m_0$  ўлчанади (ёки қурилмада кўрсатилган қиймат ёзиб олинади).

4. Кривовина юкчаларсиз бўлган ҳолда мосламага  $m = 100\text{г}$  тош қўйилиб, унинг тушиш вақти ҳисобланади.

5. 4-пункт, 200 г, 300 г, 400 г, тошчалар учун бажарилади.

6. Кривовина стерженларидаги юк  $a$ ,  $b$ ,  $v$  ҳолатларга жойлаштирилиб 4 ва 5 пунктлар такрорланади.

7. Ҳар бир ҳолат учун  $\epsilon$ ,  $M$  ва  $I_1$  катталиклар аниқланади ва Штейнер теоремасига асосан  $I_x$  ҳисобланади.
8. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар мос равишда жадвалга ёзилади.

№	$m$ , кг	$t$ , с	$h$ , м	$\epsilon$ , с <sup>-2</sup>	$M$ , Н·м	$I_x$ , кг·м <sup>2</sup>	$I_T$ , кг·м <sup>2</sup>

9. Айланма ҳаракат динамикаси асосий қонунини текширишдаги нисбий хатолик  $\delta = \pm \frac{x-y}{y} 100\%$  ифода ёрдами билан ҳисобланади, бу ерда  $x = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$ ,  $y = \frac{M_1}{M_2}$ .

10. Штейнер теоремасини текширишдаги нисбий хатолик  $\delta = \pm \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\Delta_2} 100\%$  ифода ёрдами билан ҳисобланади, бу ерда  $\Delta_1 = I_{1T} - I_{2T}$ ,  $\Delta_2 = I_{1x} - I_{2x}$ .

2-лаборатория иши. Маховик ғилдиракнинг инерция моментини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Маховик ғилдирак инерция моментини тажрибада аниқлаш.

*Адабиёт:* 1 ишда келтирилган адабиётлардан фойдаланилади.

Айланиш ўқиға эга бўлган қаттиқ жисмга уринма куч таъсир қилса, у айланма ҳаракатга келади. Унинг айлантирувчи моменти

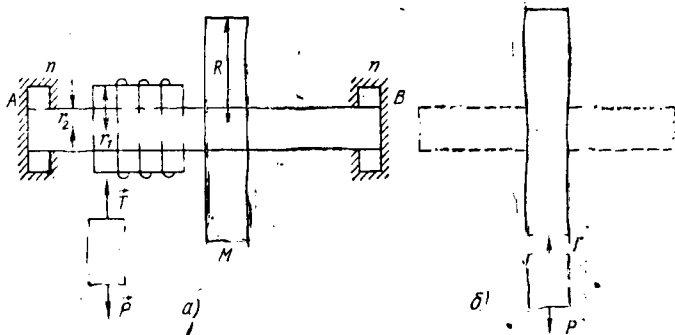
$$\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}] \quad (1.43)$$

ифодадан аниқланади.  $\vec{r}$  радиус вектор куч йўналишига перпендикуляр бўлган ҳолда айлантирувчи момент модули

$$M = F \cdot r \quad (1.44)$$

кўринишда ёзилади. Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасига кўра бу моментни яна қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$M = I\epsilon \quad (1.45)$$



14- расм.

(1.44) билан (1.45) ни солиштирсак

$$I = \frac{F \cdot r}{\epsilon} \quad (1.46)$$

ифода ҳосил бўлади. Бу ифода тажрибада маховик ғилдиракнинг инерция моментини аниқлаш имкониятини беради.

Ғилдирак ўқига ўралган ва иккинчи учига юк осилган ил уни айланма ҳаракатга келтиради. Бу ҳаракат давомида системага бир неча кучлар таъсир қилади. Уларнинг тенг таъсир этувчиси системага тезланиш беради (14- расм):

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}. \quad (1.47)$$

Агар юкнинг пастга йўналган ҳаракат йўналиши мусбат деб қабул қилинса ва ишқаланиш кучи эътиборга олинмаса, у ҳолда (1.47) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$F = P - T \text{ ёки } ma = mg - T. \quad (1.48)$$

Илнинг таранглик кучи маховик ғилдиракка уринма равишда таъсир қилиб уни айлантиради.

(1.46) ва (1.48) ифодалардан махозик ғилдиракнинг инерция моментини ҳисоблаш ифодасини топамиз:

$$I = \frac{m(g-a)r}{\epsilon}. \quad (1.49)$$

Маховик ғилдиракка таранглик кучидан ташқари яна ишқаланиш кучи ҳам таъсир этади. Бу кучнинг қийматини системанинг мувозанат ҳолатидан чиқарувчи минимал юкчанинг оғирлиги  $P_0$  билан аниқланади.

Ишқаланиш кучини эътиборга олсак (1.49) муносабат қуйидагича кўринишда ёзилади:

$$I = \frac{[m(g-a) - m_0g]r}{\epsilon} \quad (1.50)$$

Уринма куч таъсирида маховик филдиракнинг олган тангенциал тезланиши юкнинг илгарилама ҳаракатидаги тезланишига тенг:  $a_\tau = a$ , у ҳолда филдиракнинг бурчак тезланиши  $\epsilon = \frac{a}{r}$  ифода билан аниқланади.

Ушбу айланма ҳаракатнинг тангенциал ва бурчак тезланишларини топишда бошлангич тезликсиз текис тезланувчан ҳаракат тенгламаларидан фойдаланилади:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad \epsilon = \frac{2h}{t^2 r}. \quad (1.51)$$

Бу муносабатларни ҳисобга олган ҳолда (1.50) ифода қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$I = mr^2 \left[ \frac{gt^2}{2h} \left( 1 - \frac{m_0}{m} \right) - 1 \right] \quad (1.52)$$

ёки филдирак радиуси унинг диаметри орқали ифодаланса

$$I = \frac{md^2}{4} \left[ \frac{gt^2}{2h} \left( 1 - \frac{m_0}{m} \right) - 1 \right] \quad (1.52)$$

ифода ҳосил бўлади.

Системада ҳосил бўлган ишқаланиш кучини энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланиб ҳам аниқлаш мумкин. Ипга осилган юк энг юқори ҳолатда бўлганда  $W_{\text{п}} = mgh$  потенциал энергияга эга бўлади. Юкнинг ҳаракати давомида бу энергия ишқаланиш кучини енгилшга ва система кинетик энергиясини оширишга сарф бўлади:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} + F_{\text{иш}}h \quad (1.53)$$

$\frac{mv^2}{2}$  — илгарилама ҳаракат қилаётган юкнинг,  $\frac{I\omega^2}{2}$  — айланаётган системанинг кинетик энергияси.  $F_{\text{иш}} \cdot h$  — ишқаланиш кучининг бажарган иши.

Ишқаланиш кучини қуйидагича аниқлаш мумкин.  $P$  юк  $h$ , баландликдан тушгач, маховик филдирак ўз инерцияси бўйича айланади ва юк  $h$  баландликка кўтарилиб,  $W'_{\text{п}} = mgh_2$  потенциал энергияга эга бўлади. Потенциал энергияларнинг фарқи ишқаланиш кучининг бажарган ишига тенг:

$$mgh_1 - mgh_2 = F_{\text{иш}}(h_1 + h_2),$$

бундан ишқаланиш кучини топамиз:

$$F_{\text{иш}} = mg \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}. \quad (1.54)$$

Юқорида эслатилганидек ҳаракат бошланғич тезликсиз тезланувчан бўлганидан илгарилама ва айланма ҳаракат кинематикаси тенгламаларида тезликлар  $v = \frac{2h_1}{t}$

ва  $\omega = \frac{2h_1}{2t}$  ифодаларидан аниқланади. Ушбу катталикларни ва ишқаланиш кучи (1.54) ифодасини (1.53) га қўйиб, ундан инерция моментининг ҳисоблаш формуласини ҳосил қиламиз:

$$I = mr^2 \left[ gt^2 \frac{h_1}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right] \quad (1.55)$$

*Ўлчалар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Маховик филдирак, шкив, ўқнинг радиуслари,  $R$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  системани мувозанат ҳолатидан чиқарувчи минимал юк массаси  $m_0$  аниқланади (кўпинча қурилмага ёзиб қўйилган бўлади).

2. Сантиметрли масштаб ёки чизғич ёрдами билан  $h_1$  баландлик ва штангенциркуль билан шкив диаметри ўлчаниб, унинг радиуси ҳисобланади.

3. Юк мосламага жойлаштирилиб, система ҳаракатга келтирилади ва юкнинг  $h_1$  баландликдан тушиш вақти ёзиб олинади.

4. Юк энг пастки нуқтага тушиб, қайтиб юқорига чиққанда унинг баландлиги  $h_2$  ўлчанади.

5. Мосламага бошқа массали юклар қўйилиб 3 ва 4 пунктлар такрорланади.

6. (1.52) ва (1.55) ифодалардан система инерция momenti ҳисобланади ва ҳисоблаш хатоликлари аниқланади.

7. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

N	$m$ , кг	$r$ , м	$t$ , с	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$F$ , Н	$I$ , кг·м <sup>2</sup>	$I$ , кг·м <sup>2</sup>	$I_0$ , кг·м <sup>2</sup>

8. Системанинг инерция моменти  $I_0 = \frac{1}{2} [M(R_1^2 + r_1^2) + m_0(R_2^2 + r_2^2) + mr^2]$  ифодадан ҳисобланади ва тажрибада аниқланган қийматлар билан солиштирилади:  $\Delta = \pm \frac{I_0 - I}{I} 100\%$ .

Э с л а т м а: Ҳар бир физик катталиқ уч мартадан ўлчаниб, ўртача қиймати жадвалга ёзилади.

3- лаборатория иши. Эркин тушиш тезлигини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* эркин тушиш тезлигини аниқлаш.

*Адабиёт:* [1] II боб, 3, 4-§.

Маълумки, жисмлар ерга тортилади. Жисмлар орасидаги ўзаро таъсир қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\vec{F} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (1.56)$$

Икки моддий нуқтанинг ўзаро тортишиш кучи уларнинг массалари кўпайтмасига тўғри пропорционал, улар орасидаги масофанинг квадратига тескари пропорционал. Бунда  $\gamma$  гравитацион доимийси бўлиб, унинг қиймати  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$  га тенг.

Жисмлар орасидаги бу тортишиш кучи гравитацион майдон орқали узатилади. Майдон таъсири гравитацион майдон кучланганлиги билан характерланади Бирлик массага таъсир этаётган кучга сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқ гравитацион майдон кучланганлиги дейилади:

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (1.57)$$

Ернинг массасини  $M$ , унинг сиртидаги жисм массасини  $m$ , Ер билан жисмнинг оғирлик марказлари орасидаги масофани  $R$  деб ҳисоблаб, (1.56) ва (1.57) ифодадан фойдаланган ҳолда гравитацион майдони кучланганлигини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$G = -\gamma \frac{M}{R^2} \cdot \frac{\vec{R}}{R} \quad (1.58)$$



Бу ифодадаги минус ишора гравитацион майдон кучланганлиги радиус вектор билан қарама-қарши йўналганини кўрсатади.

Ер билан жисмнинг тортишиш кучи оғирлик кучи сифатида намоён бўлишини, яъни  $\vec{P} = \gamma \frac{Mm}{R^2} \cdot \frac{\vec{R}}{R}$ ;  $\vec{P} = m \vec{g}$  эканини эътиборга олсак, эркин тушиш тезланишининг формуласи

$$\vec{g} = \gamma \frac{M}{R^2} \frac{\vec{R}}{R} \quad (1.59)$$

кўринишда бўлади. (1.58) ва (1.59) ифодаларни солиштириб, Ернинг гравитацион майдон кучланганлиги эркин тушиш тезланишига миқдор жиҳатдан тенг эканлигини кўриш мумкин.

Ер сиртидаги жисмлар массаларининг қандай бўлишидан қатъи назар тортишиш кучи таъсирида бир хил тезланишга эга бўлади. Бу тезланишни юқорилан тушаётган жисмларнинг ҳаракатини текшириб аниқлаш мумкин. Унча юқори бўлмаган нуқтадан бошланғич тезликсиз тушаётган жисмга ҳавонинг қаршилик кучи ва Архимед кучининг таъсири жуда кичик. Уларнинг таъсирини эътиборга олмаса ҳам бўлади. Бу ҳолда жисмнинг юқоридан тушиш баландлиги қуйидаги формуладан аниқланади:

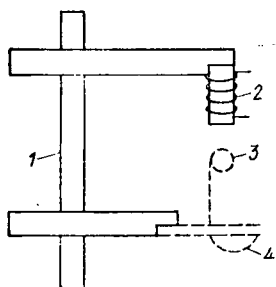
$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad \text{бундан } g = \frac{2h}{t^2}. \quad (1.60)$$

Эркин тушиш тезланиши жисмнинг Ер сиртидан қандай баландликда эканлигига боғлиқ бўлиб, уни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$g_H = \gamma \frac{M}{(R+H)^2}. \quad (1.61)$$

Ифодадан кўриниб турибдики, юқорига кўтарилган сари  $g$  нинг қиймати камая боради. Шу билан бирга Ер сиртида турган жисм унинг суткалик ҳаракатида ҳам иштирок этади. Бинобарин,  $g$  географик кенгликка ҳам боғлиқ.

Демак, эркин тушиш тезланишини аниқлаш учун жисмнинг босиб ўтган йўлини ва уни ўтиш учун кетган вақтни билиш зарур экан. Бунинг учун вертикал



15- расм.

ўрнатилган (15- расм) штанга ва унга бир-бирдан 1,5—2,0 м масофада ўрнатилган иккита муфтадан иборат қурилмадан фойдаланилади. Юқори муфтага пўлат шарчаларни тутиб турувчи электромагнит (у махсус мослама ёрдамида электр секундомерга уланган) ва пастки муфтага эса шарчалар тушиш пайтида секундомерни узувчи калиб ва шарчалар учун йиғич ўрнатилган.

#### Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш

1. 1 штангага ўрнатилган муфталар орасидаги масофа 2 м га келтирилиб, 1 электромагнит уланади ва секундомернинг кўрсатиши „0“ ҳолатга келтирилади.

2. 3 шарча электромагнитга ўрнатилиб, ундаги ток узилади ва шу вақтда секундомер юргизилади.

3. Шарча пастки нуқтага (4 мосламага) етиши билан секундомер тўхтатилиб,  $t$  вақт аниқланади. (1.60) ифодадан  $g$  ҳисобланади.

4. Тажриба 10 марта такрорланади.

5. Нисбий хатолик  $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta t}{t}$  ифодадан ҳисобланади.

6. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиқлар жадвалга ёзилади.

№	$h$ , м	$t$ , с	$g$ , м/с <sup>2</sup>	$\bar{g}$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta g$ м/с <sup>2</sup>

7. Эркин тушиш тезланиши  $g_H$  нинг назарий қиймати (1.59) ифодадан ҳисобланади, бу ёрда  $R_{\text{Ер}} = 6,37 \times 10^6$  м,  $M_{\text{Ер}} = 6,0 \cdot 10^{24}$  кг,  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>/(кг·с<sup>2</sup>).

8. Тажриба хатолиги  $\Delta = \pm \frac{g_H - g}{g} \cdot 100\%$  ифодадан ҳисобланади.

4-лаборатория иши. Тебранма ҳаракат қонунларини ўрганиш. Математик маятник ёрдамида эркин тушиш тезлигини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* тебранма ҳаракат қонунларини амалда кузатиш ва математик маятник ёрдами билан эркин тушиш тезлигини тажрибада аниқлаш усуллари билан танишиш.

**Адабиёт:** [1] VII боб, 1,2-§; [2] 49, 53, 54-§; 39, 40-§.

Механик ҳаракатни характерловчи катталиклар даврий равишда ўзгариб турадиган ҳаракат тебранма ҳаракат деб аталади. Тебранма ҳаракат эластиклик ёки квазиэластик кучлар таъсирида юзага келади. Масалан, пружинага осилган юк эластиклик кучи таъсирида тебранса, ипга осилган шарча квазиэластик куч таъсирида тебранма ҳаракат қилади. Гук қонунига асосан эластиклик кучи силжиш масофасига пропорционалдир:

$$F = -kx, \quad (1.62)$$

бунда мінус ишора эластиклик кучи доимо мувозанат ҳолатига тескари йўналишини кўрсатади,  $k$ —пружинанинг эластиклик хусусиятини характерлайдиган коэффициент. Ньютоннинг II қонунига асосан (ҳавонинг қаршилик кучи ҳисобга олинмаса):

$$m\ddot{x} = -kx \text{ ёки } \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (1.63)$$

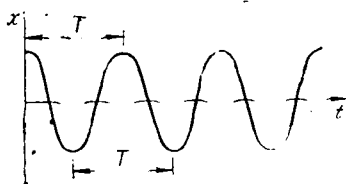
муносабат ҳосил қилинади.

Агар  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$  белгилаш киритилса, у ҳолда

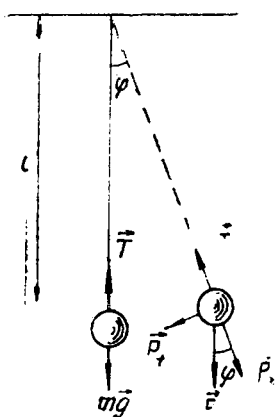
$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (1.63 \text{ а})$$

$$\text{Бундан } x = A \sin(\omega_0 t + \alpha). \quad (1.64)$$

Демак, ҳаракат синус ёки косинуслар қонуни бўйича ўзгарар экан. Бундай ҳаракат гармоник тебранма ҳаракат дейилади 16-расмда унинг графиги тасвирланган. (1.64) ифодада  $A$ —силжишнинг энг катта қиймати—амплитуда,  $\omega_0$ —тебранма ҳаракатнинг хусусий циклик частотаси,  $(\omega_0 t + \alpha)$ —фазаси,  $\alpha$ —бошланғич фазаси. Битта тўла тебраниш:



16-расм.



17- расм.

га кетган  $T$  вақт *давр* деб юритилади. Вақт бирлиги ичидаги тебранишлар сони *частота* деб аталади. Частота ва давр орасидаги боғланиш қуйидагича:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (1.65)$$

Тебранма ҳаракат қонунларини ўрганишда маятниклардан фойдаланилади. Чўзилмайдиган, вазнсиз ипга осилган шарча математик маятник дейилади (17-расм). Бу маятник мувозанат ҳолатидан чиқарилса, оғирлик кучининг тангенциал ташкил этувчиси  $P_t$  мувозанатлашмай қолади.

Табиати жиҳатидан эластик бўлмаган, лекин боғланишига кўра эластик кучга ўхшаш кучлар квазиэластик кучлар дейилади.

Маятникнинг тебранма ҳаракатини айланма ҳаракатнинг бир қисми деб қараш мумкин. Маятник инерция моменти  $I = ml^2$ , айлантирувчи куч моменти  $M = -P_t l = -mg \sin\phi l = -mgl \sin\phi$  бўлгани учун айланма ҳаракат динамикасининг тенгламасига асосан маятникнинг тебранма ҳаракат тенгламаси:

$$I \ddot{\phi} = -gl \sin\phi$$

ёки

$$\ddot{\phi} + \frac{g}{l} \phi = 0 \quad (1.66)$$

$\frac{g}{l} = \omega_0^2$  белгилаш киритиб,

$$\ddot{\phi} + \omega_0^2 \phi = 0 \quad (1.67)$$

тенглама ҳосил қилинади. Математик маятникнинг тебраниш даври:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (1.68)$$

Бу ифода ёрдамида эркин тушиш тезланишини аниқлаш мумкин. Лекин бу ифодадаги физик катталикларни

юқори аниқлик билан ўлчаш қийин. Ҳисоблаш ва ўлчаш хаголикларини камайтириш мақсадида қуйидаги усулдан фойдаланамиз. (1.68) ифодани квадратга кўтариб,

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l. \quad (1.69)$$

ни ҳосил қиламиз. Бунда  $T^2$  ва  $l$  катталиклар чизиқли боғланишга эга,  $\frac{4\pi^2}{g}$  — ўзгармас катталиқ, яъни бурчак коэффициенгидир. Агар маятникнинг турли узунликлари учун тебраниш даври аниқланиб,  $T^2$  нинг  $l$  га боғланиш графиги чизилса, у ҳолда тўғри чизиқнинг бурчак коэффициенти  $\frac{4\pi^2}{g} = \operatorname{tg} \alpha$  дан фойдаланиб,  $g$  ни ҳисоблаш мумкин (18-расм).

Бу усулдан фойдаланилганда шарча радиуси  $r$  ни ўлчаш зарурати қолмайди, натижада ўлчаш хатолиги камаяди. Маятникнинг узунлиги  $l'_1 = l_1 - r$  бўлганда тўла тебраниш даври  $T_1$  ва  $l'_2 = l_2 - r$  бўлганда  $T_2$  бўлсин дейлик, у ҳолда (1.68) ифодага асосан:

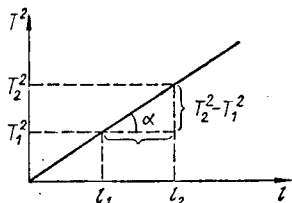
$$g = \frac{4\pi^2(l_2 - l_1)}{T_2^2 - T_1^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_2^2 - T_1^2}{l_2 - l_1}, \quad (1.70)$$

бунда  $l_1$  ва  $l_2$  — маятникнинг осилиш нуқтасидан шарчанинг пастки нуқтасигача бўлган масофалар;  $T_1$  ва  $T_2$  эса  $l_1$  ва  $l_2$  ларга тегиншли тебраниш давларидир.

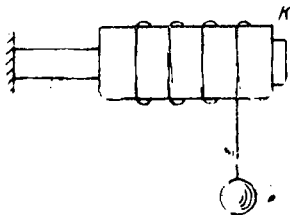
Эркин тушиш тезланишини аниқлаш учун 19-расмдаги қурилмадан фойдаланилади.  $P$  шарча осилган ип катта ишқаланиш билан айланувчи  $K$  ғалтакка маҳкамланган бўлиб, бу шарча оғирлик кучи таъсирида тебранма ҳаракат қилади.

*Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1.  $K$  ғалтакни бураш орқали маятникнинг энг кичик узунлиги ( $l \gg 2r$  шарт бажарилиши керак)  $l$  танлаб оли-



18-расм.



19-расм.

нади, чизгич ёрдамида унинг узунлиги, штангенциркуль билан шарча диаметри ўлчанади ва радиуси аниқланади.

2. Маятникни мувозанат ҳолатидан чиқариб (кичик бурчакларга оғдирилиб), тебрантирилади ва 50 марта тебраниш учун кетган вақт секундомер билан аниқланади ва тебраниш даври  $T = \frac{t}{n}$  ҳисобланади.

3. Маятникнинг узунлиги ўзгартирилиб, 1 ва 2-пункт такрорланади (тажриба 10 ва ундан ортиқ марта такрорланади) ва нагжалар жадвалга ёзилади.

№	$r$ , м	$l$ , м	$t$ , с	$T$ , с	$T^2$ , с <sup>2</sup>	$g$ , м/с <sup>2</sup>

4. Абсцисса ўқига  $l$  нинг, ордината ўқига  $T^2$  нинг қийматларини қўйиб, график чизилади ва тўғри чизиқнинг бир неча вазиятларига мос келувчи бурчак коэффициентлари  $\operatorname{tg}\alpha = \frac{T_n^2 - T_k^2}{l_n - l_k}$  аниқланади. Бу ерда  $T_n^2$ ,  $T_k^2$ ,  $l_n$ ,  $l_k$  лар графикдан олинган ихтиёрый давр ва узунликлардир.  $g = \frac{4\pi^2}{\operatorname{tg}\alpha}$  ифодадан эркин тушиш тезланиши аниқланади.

5. Ҳисобланган ва графикдан аниқланган қийматларни солиштириш мақсадида  $\Delta_1 = \pm \frac{g' - g}{g} 100\%$  қиймат ҳисобланади. Бу ерда  $g' = \frac{4\pi^2(l-r)}{T^2}$ .

6. Тавсиф этилган усулнинг аниқлигини ўрганиш мақсадида  $\Delta_1 = \pm \frac{g' - g_0}{g_0} 100\%$ ,  $\Delta_2 = \pm \frac{g - g_0}{g} 100\%$  катталиклар таққосланади, бу ерда  $g_0$ —эркин тушиш тезланишининг жадвалдан олинган қиймати.

#### *Қўшимча машқ*

1. Маятник мувозанат ҳолатидан чиқарилади ва чизгич ёрдамида силжишнинг максимал қиймати ўлчанади ( $X-A$ ).

2. Шу ҳолатда иккинчи чизгич ёрдамида  $H$  баланд-

лик ва  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{A}{H}$  формула орқали бошланғич фаза аниқланади.

3. Мувозанат ҳолатидаги маятникнинг узунлиги ўлчанади.

4. 50 марта тебраниш учун кетган вақт секундомер билан ўлчаниб, тебраниш даври аниқланади.

Аниқланган катталиклардан фойдаланиб маятникнинг тебраниш тенгламаси ёзилади:  $x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \alpha\right)$ .

5-лаборатория иши. Физик маятникнинг инерция моментини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* физик маятник хоссалари билан танишиш ва унинг инерция моментини аниқлаш.

Адабиёт: [1] VII боб, 1, 2-§; [2] 49, 51, 53-§; [3] 39, 40, 41-§.

Оғирлик марказидан ўтмайдиган горизонтал ўққа нисбатан тебрана оладиган ҳар қандай қаттиқ жисм физик маятник дейилади. Физик маятникнинг тебранма ҳаракатини айланма ҳаракатнинг бир қисми деб қараш мумкин. Мувозанат ҳолатидан чиқарилган физик маятникнинг айлантирувчи куч momenti:

$$M = -mgl_0 \sin \varphi, \quad (1.71)$$

бу ерда  $l_0$  маятникнинг осилиш нуқтасидан инерция марказигача бўлган масофа (20-расм),  $m$ —унинг массаси. Оғиш бурчаги кичик бўлгани учун  $\sin \varphi \approx \varphi$  ифода ўрнили бўлиб, (1.71) тенглама қуйидагича ёзилади:

$$M = -mgl_0 \varphi. \quad (1.72)$$

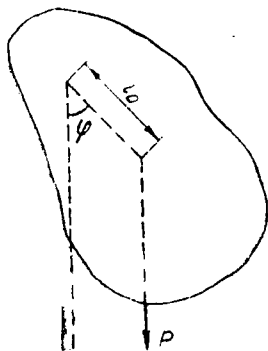
Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасига кўра

$$M = I \ddot{\varphi} \text{ ёки } I \ddot{\varphi} = -mgl_0 \varphi. \quad (1.73)$$

Бу ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\ddot{\varphi} + \frac{mgl_0}{I} \varphi = 0. \quad (1.74)$$

Агар  $\frac{mgl_0}{I} = \omega_0^2$  (1.75) белгилаш киритилса, (1.74) муносабаг



20- расм,

$$\ddot{\varphi} + \omega_0 \varphi = 0 \quad (1.76)$$

кўринишини олади, бу тенгламанинг ечими:

$$\varphi = \varphi_0 \sin(\omega_0 t + \alpha). \quad (1.77)$$

Бу ерда  $\varphi_0$ —тебраниш амплитудаси,  $\alpha$ —бошланғич фаза,  $\omega_0$ —тебранишнинг хусусий частотаси. Физик маятникнинг тебраниш даври:

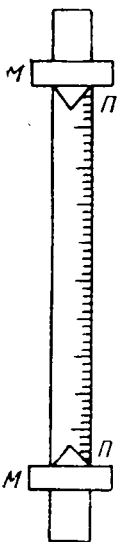
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mg l_0}}. \quad (1.78)$$

Агар  $\frac{l}{m l_0} l_{\text{кел}}$  (бу ерда  $l_{\text{кел}}$  келтирилган узунлик) белгилаш киритилса, у ҳолда физик маятникнинг тебраниш даври шундай ёзилади:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{\text{кел}}}{g}} \quad (1.79)$$

Физик маятникнинг тебраниш даврини билган ҳолда (1.78) ифода ёрдамида унинг инерция моментини аниқлаш мумкин:

$$I = \frac{m l_0 g T^2}{4\pi^2}. \quad (1.80)$$



21- расм.

Оғирлик марказидан ўтувчи ўққа нисбатан жисмларнинг инерция моментлари маълум бўлса, бу ўққа параллел ҳар қандай ўққа нисбатан инерция моментини Штейнер теоремаси ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$I = I_0 + m l_0^2, \quad I_0 = \frac{1}{12} m \left(\frac{L}{2}\right)^2, \quad (1.81)$$

бу ерда  $I_0$ —физик маятник (стержень) нинг оғирлик марказидан ўтувчи ўққа нисбатан инерция momenti,  $l_0$ —ўқлар орасидаги масофа.

21-расмда физик маятник тасвирланган. У оралиғи 1 см дан бўлган чизиқлар чизилган металл стержендир. Стерженга  $\Pi$  призмали енгил  $M$  муфта ўрнатилган бўлиб, уни стержень бўйлаб силжитиш мумкин.  $M$  муфта ва  $\Pi$  призманинг массаси ва ўлчами стерженнига қараганда жуда кичик бўлганидан уларнинг маятник ҳаракатига таъсирини ҳисобга олмаслик мумкин.



*Ўлчалар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Стерженга ўрнатилган призма маятникнинг бирор штрихига жойлаштирилиб, горизонтал ўққа ўрнатилади ва бу нуқтадан оғирлик марказигача бўлган  $l_0$  масофа аниқланади.

2. Маятник мувозанат ҳолатидан  $6-8^\circ$  бурчакка оғдирилиб, 25 марта тебраниш учун кетган вақт ҳисобланади ва  $T = \frac{t}{n}$  ифодадан тебраниш даври аниқланади.

3. Маятникнинг массаси  $m$ , узунлиги  $L$  асбобда берилган бўлади, оғирлик кучи тезланиши жадвалдан ёзиб олинади.

4. Призма ҳар гал 5 см дан силжитилиб (4—5 марта), 1 ва 2-пунктлар такрорланади.

5. (1.80) ифодадан система инерция моменти ҳисобланади. Шунингдек, таққослаш учун (1.81) ифодадан  $I_0$  ҳисобланади.

6.  $m$ ,  $L$  нинг қийматлари тажриба столида ёзилган бўлади,  $g$  эса физик катталиклар жадвалидан ёзиб олинади.

7. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

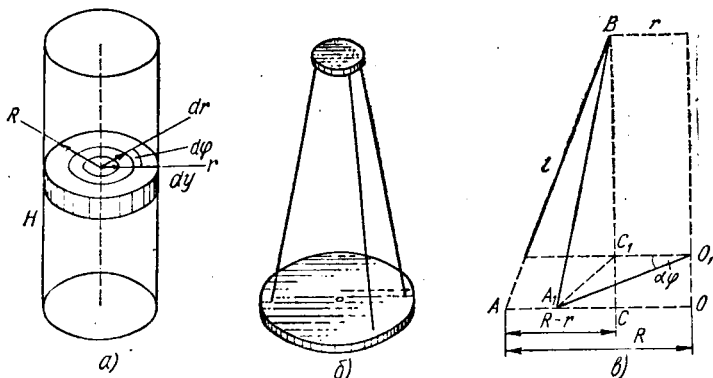
№	$l_0$ , м	$t$ , с	$T$ , с	$I$ , кг·м <sup>2</sup>	$I_0$ , кг·м <sup>2</sup>

8. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижаларини таққослаш учун қуйидаги катталик ҳисобланади:  $\Delta = \pm \frac{I - I_0}{I_0} 100\%$ .

6- лаборатория иши. Буралма тебранма ҳаракат усули билан ҳар хил жисملарнинг инерция моментларини ҳисоблаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* турли шаклдаги жисملарнинг инерция моментларини аниқлаш усуллари билан танишиш.

Адабиёт: [1] III боб, 6- §; [2] 39- §; [3] 33- §.



22- расм.

Қаттиқ жисмнинг инерция моменти:

$$I = \int_V \rho r^2 dV. \quad (1.82)$$

Бу ифода ёрдами билан симметрик жисмларнинг инерция моментларини ҳисоблаш қулай. Масалан  $R$  радиусли,  $m$  массали ва  $H$  баландликка эга бўлган яхлит бир жинсли цилиндрнинг (22-*a* расм) инерция моменти қуйидагича аниқланади. Расмдагидек  $dV$  элементар ҳажм катталиги ажратиб олинади:

$$dV = r dr dy d\varphi \quad (1.83)$$

ва цилиндрнинг инерция моменти қуйидаги ифода билан ҳисобланади:

$$I = \rho \int_0^R r^3 dr \int_0^H dy \int_0^{2\pi} d\varphi, \quad (1.84)$$

бу ифодада  $\rho \pi R^2 H = m$  — цилиндрнинг массаси эканлигини эътиборга олсак, унинг инерция моменти

$$I = \frac{1}{2} m R^2 \quad (1.85)$$

бўлади. Шакли турлича бўлган жисмларнинг инерция моменти буралма тебранма ҳаракат усули билан аниқланади. Бу усул билан тўғри геометрик шаклдаги жисмларнинг инерция моментларини аниқлаб, натижани (1.85) ифода билан солиштирайлик. Буралма тебран-

ма ҳаракат қонуниятларига асосланиб жисмларнинг инерция моментларини аниқлашга имкон берувчи асбоб—трифиляр осма маятник деб юритилади. Бу маятник  $R$  радиусли доира шаклидаги платформадан иборат бўлиб (22-б расм), у четидан симметрик нуқталарга боғланган иплар ёрдамида  $r$  радиусли дискка осилган. Платформа оғирлик марказидан ўтувчи ўқ ятрофида айланма тебранишга кела олади. Унинг тебраниш даври инерция моментига боғлиқ. Агар платформага қўшимча юк қўйилса, тебраниш даври ўзгаради. Массаси  $m$  бўлган платформа бир томонга айланма тебранма ҳаракат қилса, унинг оғирлик маркази  $h$  баландликка кўтарилиб,

$$W_n = mgh \quad (1.86)$$

потенциал энергияга эга бўлади. Платформа тескари томонга буралса, унинг кинетик энергияси:

$$W_k = \frac{I\omega_0^2}{2}, \quad (1.87)$$

бу ерда  $I$ —платформанинг инерция momenti,  $\omega_0$ —унинг мувозанат нуқтасидан ўтаётгандаги бурчак тезлиги. Ишқаланишга сарф бўлган энергияни ҳисобга олмай, энергиянинг сақланиш қонунини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{I\omega_0^2}{2} = mgh. \quad (1.88)$$

Платформа тебраниши гармоник тебраниш деб қаралса, унинг силжиши:

$$\beta = \alpha \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad (1.89)$$

бу ерда  $\alpha$ —бурилиш амплитудаси,  $T$ —тўла тебраниш даври,  $t$  вақт. Бурчак тезлик:

$$\omega = \frac{d\beta}{dt} = \frac{2\pi\alpha}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t.$$

Тезликнинг амплитуда қиймати мувозанат нуқтасидан ўтаётган ҳолатидаги тезликка тенгдир, яъни

$$\omega_0 = \frac{2\pi\alpha}{T}. \quad (1.90)$$

(1.88) ва (1.90) ифодалар солиштирилиб қуйидаги муносабат ҳосил қилинади:

$$mgh = \frac{1}{2} I \cdot \left(\frac{2\pi\alpha}{T}\right)^2. \quad (1.91)$$

Агар трифиляр маятник осилган ипнинг узунлиги  $l$  бўлса, 22-с расмдаги учбурчаклар  $ABC$ ,  $BA_1C_1$  ва  $A_1CO_1$  дан оғирлик марказининг кўтарилиш баландлиги  $h$  ни топиш мумкин:

$$h = \frac{Rr\alpha^2}{2l}, \quad (1.92)$$

бу муносабат (1.91) билан солиштирилиб, платформа инерция моментини ҳисоблаш формуласи ҳосил қилинади:

$$I_0 = \frac{m_0 g R r}{4\pi^2 l} T_0^2. \quad (1.93)$$

Платформа устига  $m'$  массали жисм қўйилса, унинг инерция моменти:

$$I = \frac{(m_0 + m') g R r}{4\pi^2 l} T^2. \quad (1.94)$$

Келтирилган бу ифодалардан текширилаётган жисмлар инерция моментлари қўйидаги муносабатдан аниқланиши кўришиб турибди:

$$I_x = I - I_0 = \frac{g R r}{4\pi^2 l} [(m_0 + m') T^2 - m_0 T_0^2] \quad (1.95)$$

Платформа ва жисмлар симметрик шаклга эга бўлгани учун уларнинг инерция моментлари (1.82) ифода асосида келтириб чиқарилган формулалардан аниқланиши мумкин. Хусусан платформа юпқа диск кўринишида, яъни унинг радиуси  $R$  қалинлиги „ $b$ “ дан жуда катта бўлса, у ҳолда платформанинг инерция моменти:

$$I_0 = \frac{1}{4} m R^2 \quad (1.96)$$

ифода, аксинча  $R > b$  (қалинроқ) бўлса,

$$I_0 = \frac{1}{2} m R^2 \quad (1.96 a)$$

ифода ёрдамида ҳисобланади.

Симметрик юклар қўйилган ҳолда уларнинг инерция моментлари:

$$I_{\text{юк}} = I_0 + m'd, \quad (1.96 б)$$

бу ерда  $I_0$ —юкнинг ўз ўқига нисбатан инерция моменти,  $d$ —платформа оғирлик марказидан юк оғирлик марказигача бўлган масофа.

Бу усул турли жисмлар инерция моментларини ҳам аниқлаш имконини беради. Инерция моментлари ўрганилиши керак бўлган жисмлар платформага шундай қўйиладики, уларнинг масса марказлари платформа айланиш ўқига мос келсин.

#### *Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Диск радиуслари, нп узунлиги, платформа массаси ўлчанади (ёки қурилма ўрнатилган столда ёзиб қўйилган қиймати дафтарга ёзиб олинади).

2. 50 марта тебранишга кетган вақт аниқланиб, тебраниш даври  $T = \frac{t}{50}$  ҳисобланади.

3. (1.93), (1.96) ёки (1.96 а) ифодалардан фойдаланиб, платформа инерция моменти аниқланади ва турли усул билан топилган қийматлари таққосланади.

4.  $m'$  массали жисм платформага жойлаштирилади ва 2 пункт такрорланади.

5. (1.94) ифодадан фойдаланиб, жисм қўйилган платформа инерция моменти ҳисобланади.

6. (1.95) ифода ёрдамида платформага қўйилган жисмнинг инерция моменти аниқланади.

7.  $m'_2, m'_3, \dots, m'_i$  массали жисмлар учун 4,5 ва 6-пунктлар такрорланади.

8. Тажриба хатоликлари  $\Delta_i = \pm \frac{I_{\text{юк}} - I_x}{I_x} 100\%$  ва

$\Delta_0 = \frac{I_0 - I_x}{I_x} 100\%$ , бунда  $i$ —ўрганилаётган жисмларнинг

тартиб номери,  $I_0$ —тажриба натижалари асосида,  $I_x$  эса жисмнинг геометрик ўлчамларидан фойдаланиб аниқланган қийматлар.

9. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиқлар жадвалга ёзилади:

№	$m_0$ кг	$m$ кг	$R$ м	$r$ м	$t$ с	$I_x$ кг·м <sup>2</sup>	$I_0$ кг·м <sup>2</sup>	$\Delta_i$ %	$\Delta_0$ %

## Контрол саволлар

1. Қандай ҳаракат илгариланма ҳаракат деб аталади?
2. Илгариланма ҳаракат турлари ҳақида нималарни биласиз?
3. Қандай ҳаракат айланма ҳаракат деб аталади?
4. Жисмларнинг илгариланма ва айланма ҳаракатларини характерловчи физик катталиқлар ҳақида нималарни айта оласиз?
5. Илгариланма ва айланма ҳаракатларнинг қандай ўхшашликлари ва фарқлари бор?
6. Инерция моменти нима? Турли жисмларнинг инерция моментларини аниқлашнинг қандай усулларини биласиз?
7. Механик катталиқларнинг ўлчов бирликларини айтиб бериш.
8. Бир вақтнинг ўзида ҳам айланма, ҳам илгариланма ҳаракатда ишироқ этаётган жисмнинг ҳаракат энергияси қандай аниқланади?
9. Гравитацион майдон ҳақида нима биласиз?
10. Механик энергия сақланиш қонунининг бажарилиш шартларини айтинг ва мисоллар келтиринг.
11. Механик қонунлари қаерларда қўлланилади?

## 5-§. Молекуляр физика ва термодинамика асосларини ўрганишга доир лаборатория ишлари

### 7-лаборатория иши. Идеал газ қонунларини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* идеал газ қонунларини унинг физик моделидан фойдаланиб тажрибада ўрганиш.

**Адабиёт:** [1] IX боб, 2, 3, 4, 5-§; [2] 81, 86-§ [3] II қисм 7, 8-§.

Сийраклаштирилган, яъни молекулалари орасидаги масофа молекулаларининг ўлчамларига қараганда жуда катта бўлган реал газлар идеал ҳисобланади.

Берилган  $M$  массали газнинг ҳолати унинг  $p$  босими  $T$  температураси,  $V$  ҳажми билан характерланади. Улар орасидаги боғланиш газ ҳолати тенгламаси ёрдамида топилади. Молекуляр кинетик назарияга асосан газнинг босими:

$$p = nkT, \quad (1.97)$$

бу ерда  $n$  – ҳажм бирлигидаги молекулалар сони,  $k$  – Больцман доимийси бўлиб, унинг қиймати  $k = 1,38 \times 10^{23}$  Ж/К га тенг. Агар  $V$  ҳажмда  $N$  та молекула бўлса,  $n = \frac{N}{V}$  бўлиб, (1.97) ифода қуйидагича ёзилади:

$$pV = NkT. \quad (1.98)$$

Берилган газ молекуласининг массаси  $m_0$  орқали  $V$  ҳажмдаги газ массасини топиш мумкин:

$$M = m_0 N. \quad (1.99)$$

Газ молекуляр массасининг кг (ёки г) билан ифодаланган миқдори киломоль (ёки граммоль) дейилади. Бу массадаги молекулалар сони  $N_0 = 6,02 \cdot 10^{26}$  га тенг. У Авогадро сони деб аталади. (1.99) ифодага асосан 1 киломоль газнинг массаси:

$$\mu = m_0 N_0. \quad (1.100)$$

Бу охирги икки ифодадан фойдаланиб

$$N = \frac{M}{\mu} N_0 \quad (1.101)$$

ни ёзиш мумкин. Уни (1.98) га қўйиб қуйидаги муносабат ҳосил қилинади:

$$pV = \frac{M}{\mu} N_0 kT. \quad (1.102)$$

икки ўзгармас катталиқнинг кўпайтмаси ҳам ўзгармас катталиқдир, яъни  $N_0 \cdot k = R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{Кмоль} \cdot \text{К}}$ ,

бунда  $R$ —газнинг универсал доимийси. Бу катталиқлар асосида газнинг ҳолат тенгласи

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \quad (1.103)$$

кўринишида ёзилади ва Менделеев—Клапейрон тенгласи деб юритилади. Агар газ массаси  $M = \mu$  бўлса, у ҳолда тенглама

$$pV_{\text{кмоль}} = RT \quad (1.104)$$

шаклда ёзилади, бунда  $V_{\text{кмоль}}$ —1 кмоль газ ҳажми.

Газ ҳолатини характерловчи параметрдаи бири  $T$  температура ўзгармас бўлса, (1.104) тенгламанинг ўнг томони ўзгармас бўлиб, Бойль—Мариотт қонуни ифодаси ҳосил қилинади:

$$pV = \text{const}. \quad (1.105)$$

Ўзгармас температурада газ кенгайса ёки сиқилса, унинг босими ҳажмга тескари пропорционал равишда ўзгаради, у пайтда уларнинг кўпайтмаси берилган газнинг ҳар хил ҳолатлари учун ўзгармас бўлиб қолаверади:

$$pV = p_1 V_1 = p_2 V_2 = p_3 V_3 = \dots \quad (1.106)$$

Температура ўзгармас бўлганда ўтадиган процесс изотермик процесс дейилади. Изотермик процессда газ ҳолатини тасвирловчи эгри чизиқ изотерма дейилади.

Агар босим ўзгармас бўлса, у ҳолда (1.104) тенглама

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad (1.107)$$

кўринишида ёзилади. Температура Цельсий шкаласи бўйича ҳисобланса тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$V = V_0(1 + \alpha t). \quad (1.108)$$

Ҳажм ўзгармас бўлганда босим билан температура орасида қуйидаги кўринишда боғланиш ҳосил бўлади:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (1.109)$$

ёки

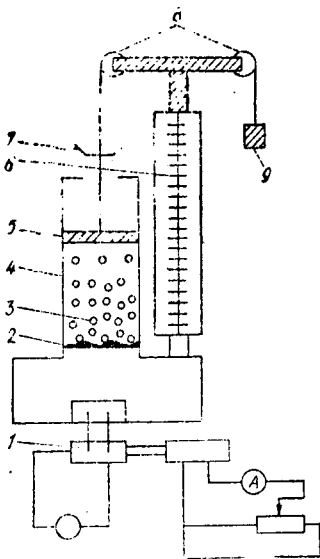
$$p = p_0(1 + \alpha t). \quad (1.110)$$

Бу тенгламаларда  $t$ —Цельсий шкаласи бўйича ҳисобланган температура,  $V_0$ — $0^\circ \text{C}$  даги ҳажм,  $p_0$ — $0^\circ \text{C}$  даги босим  $\alpha = \frac{1}{273} \cdot \text{град}^{-1}$ .

Ўзгармас босимда юз берадиган процесс изобарик процесс деб аталади.  $VT$  диаграммасида газ учун бундай процесс тасвирланган тўғри чизиқ бўлиб, уни изобара дейилади.

Ўзгармас ҳажмда юз берадиган процесс изохорик ва  $P, T$  диаграммасидаги тўғри чизиқ изохора деб аталади.

Идеал газ қонунларини ўрганишда унинг физик моделидан фойдаланилади. Бунинг учун 23-расмда берилган қурилмани кўриб чиқайлик. Қурилмада идеал газ молекулари вазифасини шаффоф 4 цилиндр ичидаги диаметри 4 мм бўлган 3 металл шарчалар ўтайди. Цилиндр туби 2 нотекис рельефи сиртга эга, у 1 генератордан таъминланувчи электр мотори ёрдамида текис айлантирилади. Бундай сирт



23- расм.



айлантирилганда шарчалар юқорига итарилиб тартибсиз ҳаракатга келади. Сиртнинг айланиш частотаси ва унинг натижасида вужудга келадиган шарчалар кинетик энергияси электр моторидаги ток ва кучланишнинг функциясидир. Газ молекулалари температурасини уларнинг кинетик энергияси белгилаши ҳисобга олинса, бу қурилмадаги молекулалар—шарчалар системасидан иборат „идеал газ“ температурасини мотордаги ток кучи миқдори белгилайди дейиш мумкин.

Шарчаларнинг умумий ҳажми цилиндрникига қараганда кичик бўлиб унинг тахминан 1/100 қисмини ташкил этади. Тартибсиз ҳаракатланаётган шарчалар 5 поршенга урилиб уни юқорига кўтаради, натижада „газ ҳажми“ кенгайди. Ҳажм ўзгариши 7 юзчага маҳкамланган 6 стрелка билан аниқланади. Поршень 8 блоклар орқали мувозанатловчи 9 юк га уланган. „Газ“ босими 7 юзчага қўйилган тошлар оғирлигидан фойдаланиб аниқланади.

1 моль газдаги молекулалар сонининг (Авогадро сони) кўплиги унинг асосий параметрлардан бирини ўзгартирмай туриш процессини таъминлайди. Юқорида тавсиф этилган идеал газ модели 10<sup>23</sup> дона „молекула“ га эга. Шунинг учун уларда етарлича доимийликни таъминлаш анчагина қийин. Босимни (тошлар оғирлиги) температурани (электромотордаги ток кучи) ўзгартирмаган ҳолда ҳам 6 стрелка „газ“ ҳажмини ўзгараётганлигини кўрсатади. Шунинг учун ҳажмнинг ўртача қиймати, яъни  $V = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2}$  ни олиш тақозо этилади.

#### *Ўлчалар ва ўлчаш натижаларини таҳлил қилиш*

1. Юзача 7 га қўйилган юклар оғирлиги, яъни босимни ўзгартирмай электромотордаги ток кучи—„газ температураси“ ва унга мос ҳажм ўзгаришлари ўлчанади ва жадвалга ёзилади:

$V$	.
$T$	

2.  $X$  ўқи а температура,  $U$  ўқиға ҳажм қўйилиб, изобарик процесснинг графиги—изобара чизилади.

3. Электромотордаги ток кучи миқдори—„температура“ ни ўзгартирмай юкларнинг оғирлиги—„босими“

нинг турли қийматларига мос ҳажм ўзгариши ўлчанади ва жадвалга ёзилади.

$P$	
$V$	

4. Ўлчаш натижалари асосида изотерма чизилади.

5. Юзача 7 га бир неча юк қўйиб, ток кучининг маълум қийматига мос келувчи ҳажм ўлчанади.

6. Ток кучининг қиймати — „газ температураси“ ўзгартирилиб, юзачага шундай юклар қўйилдики, ҳажм дастлабки қийматига эришсин. Бу ўлчанган катталиклар жадвалга ёзилади.

$P$	
$T$	

7. „X“ ўқига температура ва „У“ ўқига босим қийматлари қўйилиб, изохора чизилади.

8-лаборатория иши. Ҳаво ёки газ моляр иссиқлик сифимлари нисбати  $\frac{C_p}{C_v}$  ни аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Ҳавонинг солиштирма иссиқлик сифимлари нисбатини тажрибада аниқлаш, уни молекуляр кинетик назарияга асосланиб ҳисобланган қиймат билан солиштириш.

*Адабиёт:* [1] X боб, 5, 6, 7-§; [2] 83, 87, 89-§; [3] 13, 15, 18, 22-§.

Бирор миқдордаги газ эркин ҳаракат қила оладиган поршенли цилиндрга қамалган дейлик. Газ қиздирилса, температураси кўтарилади ва поршень ҳаракатга келади. Системага берилган иссиқлик миқдори  $dQ$  унинг ички энергиясини  $du$  оширишга ва элементар  $dA$  иш бажаришга сарф бўлади:

$$dQ = du + dA. \quad (1.111)$$

Бажарилган иш  $dA = Fdx = pSdx = pdV$  бўлгани учун (1.111) ифода қуйидагича ёзилади:

$$dQ = du + pdV. \quad (1.112)$$

Газнинг иссиқлик хоссалари иссиқлик сифими деган тушунча билан характерланади. Иссиқлик сифими де-

ганда модданинг температурасини  $1^\circ \text{K}$  га ўзгартириш учун керак бўлган иссиқлик миқдори тушунилади. 1 кг модданинг температурасини 1 K га ошириш учун керак бўлган иссиқлик миқдори солиштирма иссиқлик сифими дейилади. Газ хоссаларини тушунтиришда моляр иссиқлик сифими тушунчасидан ҳам фойдаланилади. 1 моль газнинг температурасини 1 K га ошириш учун сарф бўлган иссиқлик миқдори моляр иссиқлик сифими дейилади.

Солиштирма иссиқлик сифими билан моляр иссиқлик сифими орасидаги боғланиш қуйидагича:

$$C = \frac{c}{\mu},$$

бунда  $\mu$  — газнинг моляр массаси.

Агар бир моль газнинг температурасини  $dT$  миқдорга ортирсак, газнинг олган иссиқлик миқдори:

$$dQ = CdT \quad \text{ёки} \quad C = \frac{dQ}{dT} \quad (1.113)$$

Газнинг иссиқлик сифими газнинг қандай ҳолатда қиздирилишига боғлиқ бўлади. Газ ўзгармас ҳажмда қиздирилса, бажарилган иш  $dA = 0$  бўлади, у ҳолда (1.112) билан (1.113) га асосан:

$$C_V = \left( \frac{du}{dT} \right)_V, \quad (1.114)$$

бунда  $C_V$  — ўзгармас ҳажмдаги газнинг моляр иссиқлик сифими. Бир моль газнинг ички энергияси  $u = \frac{i}{2} RT$  кўринишдаги ифода билан аниқланишини эътиборга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad (1.115)$$

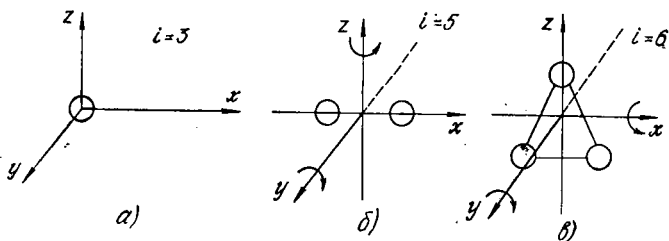
бунда  $i$  — молекуланинг эркинлик даражаси,  $R$  — газнинг универсал доимийси.

(1.114) билан (1.115) га асосан термодинамиканинг биринчи қонунини яна қуйидагича ёзиш мумкин:

$$dQ = C_V dT + p dV. \quad (1.116)$$

Ўзгармас босимда қиздирилатган газ учун (1.116) ифодани  $dT$  га бўлиб, қуйидагини ҳосил қилиш мумкин:

$$\frac{dQ}{dT} = C_V + p \left( \frac{dV}{dT} \right)_p, \quad (1.117)$$



24-расм.

бунда  $\left(\frac{dQ}{dT}\right)_p = C_p$  — ўзгармас босимдаги газнинг моляр иссиқлик сифими. Бир моль газ учун ёзилган ҳолат тенгламаси ( $pV = RT$ ) дан

$$p \frac{dV}{dT} = R \quad (1.118)$$

эканлигини аниқлаб, (1.117) ифодани қуйидагича ёзиш мумкин;

$$C_p = C_v + R = \frac{i+2}{2} R. \quad (1.119)$$

Демак,  $C_p > C_v$  экан, чунки ўзгармас босимда газга берилган иссиқлик миқдори унинг ички энергиясини оширишга, яъни иш бажаришга сарфланади.  $C_p$  ва  $C_v$  катталиклар газ молекулаларининг эркинлик даражасига боғлиқ.

Молекулаларнинг ҳолатини аниқлаш учун керак бўлган эркин координаталар сони эркинлик даражаси дейилади. Бир атомли газнинг эркинлик даражаси  $i=3$  (атомнинг  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ўқлари бўйича ҳолатини аниқлаш етарли) (24-расм). Икки атомли газнинг молекуласи учта ўқ бўйлаб илгариланма ва иккита ўқ бўйлаб айланма ҳаракат қилади, шунинг учун  $i=5$ . (24-б расм). Уч ва кўп атомли молекулаларнинг эркинлик даражаси  $i=6$  (24-в расм), улардан учтаси илгариланма ва учтаси айланма ҳаракатларни характерлайди, деб айтиш мумкин.

Ўзгармас босимдаги моляр иссиқлик сифими  $C_p$  нинг ўзгармас ҳажмдаги моляр иссиқлик сифимига нисбати адиабата даражаси дейилади:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{2}. \quad (1.120)$$

Бу катталиқ берилган газ учун ўзгармас бўлиб, молекулаларнинг эркинлик даражасига боғлиқ. Икки атомли газлар учун бу катталиқ  $\frac{C_p}{C_v} = 1,4$ . Адиабата даражасини баллонга қамалган газни адиабатик кенгайтириш орқали аниқлаш мумкин.

Ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмай ( $dQ = 0$ ) ўз ҳолатини ўзгартирадиган процесс адиабатик процесс дейлади. Ушбу процесслар учун термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидагича:

$$du + pdV = 0 \quad \text{ёки} \quad du = -pdu.$$

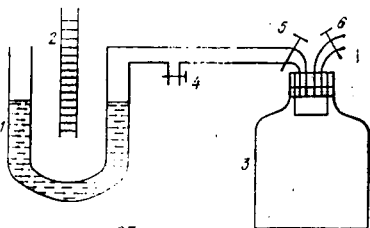
Агар газ адиабатик кенгайса  $dV > 0$ , газнинг ички энергияси камаяди, аксинча газ адиабатик сиқилса  $dV < 0$ , унинг ички энергияси ортади. Қисқа муддатда содир бўладиган процессларни ҳам адиабатик процесс деб қараш мумкин. Қисқа вақт ичида система ташқи муҳит билан иссиқлик алмашишга улгура олмайди. Адиабатик процессда учала параметр  $p$ ,  $V$ ,  $T$  ўзгаради, улар орасидаги боғланиш Пуассон тенгламалари орқали аниқланади.

$$pV^\gamma = \text{const}; \quad T p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const}; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}. \quad (1.121)$$

Газларнинг солиштирма иссиқлик сифимларининг нисбатини аниқлашда фойдаланиладиган қурилма схемаси 25-расмда тасвирланган. 4 трубка орқали уланган насос ёрдами билан 3 шиша баллонга ҳаво дамланиб, унинг босими  $p_1$  гача орттирилади:

$$p_1 = H + h_1,$$

бу ерда  $H$ —атмосфера босими,  $h_1$ —сув манометри билан ўлчанадиган қўшимча босим. Баллондаги ҳаво температураси атрофдагига тенглашгандан кейин жўмрак 6 очилиб, ҳаво ташқарига чиқарилади ва баллондаги босим атмосфера босими-га камайтирилади. Бал-



25-расм.

лондаги ҳаво ташқарига тезгина чиқарилганлиги учун иссиқлик алмашиш кўзатилмайди деб, фараз қилиш мумкин ва баллондаги ҳаво адиабатик кенгайиб атмосфера босим кучига қарши иш бажаради. Натижада баллондаги температура пасаяди. Агар жумрак 6 ёпилиб баллондаги ҳаво температураси атрофдаги температурагача орттирилса, унинг босими  $p_2$  қийматга эга бўлади:  $p_2 = H = h_2$ , бу ерда  $h_2$  қўшимча босим.

Хаёлан тажриба давомида ўзгармай қоладиган  $m$  массати ҳавони ажратамиз ва унинг учта ҳолатдаги параметрларини кўриб чиқамиз:

N	Система ҳолати	Ҳажм	Босим	Температура
1.	Жўмрак 6 ёпиқ, ҳаво сиқилган	$V_1$	$H+h_1$	Ҳона температураси
2.	Жўмрак 6 очиқ, ҳаво адиабатик кенгайган	$V_2$	$H$	Ҳона температурасидан паст
3.	Жўмрак 6 ёпиқ	$V_2$	$H+h_2$	Ҳона температураси

1 ва 3 ҳолатларда ҳаво температураси ўзгармайди, шунинг учун Бойль—Мариотт қонунини қўллаш мумкин:

$$V_1(H+h_1) = V_2(H+h_2) \quad \text{ёки} \\ \frac{V_1}{V_2} = \frac{H+h_2}{H+h_1}. \quad (1.122)$$

1 ва 2 ҳолатларда ҳаво адиабатик кенгайди, бунда Пуассон қонунини ёзиш ўринли бўлади:

$$(H+h_1)V_1^\gamma = HV_2^\gamma \quad \text{ёки} \quad \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma = \frac{H}{H+h_1}. \quad (1.123)$$

(1.122) ва (1.123) ифодаларни солиштириб,  $\frac{H}{H+h_1} = \left(\frac{H+h_2}{H+h_1}\right)^\gamma$  ни ҳосил қиламиз.

Охирги ифодани логарифмлаб,  $\gamma$  ни аниқлаймиз:

$$\gamma = \frac{\lg H - \lg(H+h_2)}{\lg(H+h_2) - \lg(H+h_1)}.$$

$H$ ,  $H+h_1$  ва  $H+h_2$  босимлар бир-биридан жуда кам фарқ қилгани учун логарифмларни ўз қийматлари билан алмаштириш мумкин:

$$\lambda = \frac{C_p}{C_v} = \frac{h_1}{h_1-h_2}. \quad (1.124)$$

*Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Жўмрак 6 ёпилиб, 5 очилади манометрдаги сув сатҳларининг фарқи 20—25 см бўлгунча баллон 3 га ҳаво ҳайдалади ва насос тўхтагилиб 3—5 мин ўтгач, сув сатҳларининг фарқи  $h_1$  ёзиб олинади.

2. Жўмрак 6 жуда тез очиб-ёпилади (бунда сув сатҳлари тенглашиши керак) ва 3—5 мин ўтгач, сув сатҳларининг фарқи  $h_2$  аниқланади.

3. (1.124) ифода ёрдами билан  $\gamma$  аниқланади ва ўлчаш хатолиги ҳисобланади.

4. Тажриба 8—10 марта такрорланади.

5. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари жалвалга ёзилади:

N	$h_1$ , см	$h_2$ , см	$\gamma$	$\bar{\gamma}$	$\Delta\gamma$	$\Delta\bar{\gamma}$	$\gamma_0$

6.  $\delta = \frac{\bar{\gamma} - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot 100\%$  ифодадан тажрибада йўл қўйилган

хатолик ҳисобланади. Бу ерда  $\bar{\gamma}$ —тажриба натижасида аниқланган ўртача қиймат,  $\gamma_0$  эса, (1.120) ифодадан аниқланган қиймат.

9. лаборатория ишм. Ҳавонинг ички ишқаланиш коэффициентини ўлчаш орқали молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўли узунлиги ва эффектив диаметрини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* газларда ички ишқаланиш ҳодисасини ўрганиш, газ молекулаларининг эркин югуриш йўл узунлигини аниқлаш.

**Адабиёт:** [1] XI боб, 3,6-§; [2] 94-§; [3] 86, 87, 88, 89-§.

Газнинг труба ёки идишдаги оқишини ҳар хил тезликда ҳаракатлаётган қатламларнинг оқими деб қараш мумкин. Труба ўқиға яқин қатламларнинг тезлиги энг катта бўлиб, идиш деворига яқинлашган сари уларнинг тезликлари камая боради. Бу ҳолда тезлиги катта бўлган қатлам тезлиги кичик бўлган қатламни ўзига илаштириб тезлатишга, аксинча тезлиги кичик бўлгани эса тезлиги катта бўлганини секинлатишга ҳаракат қилади. Натижада қатламлар орасида бир-бирининг тезлиги-

га таъсир қилувчи ички ишқалиш кучи ҳосил бўлади.

Тезликнинг бирор ўқ, масалан,  $X$  ўқи бўйича камайишини характерлаш учун тезлик градиенти деган тушунча киритилади:  $grad v_x = \frac{dv}{dx}$ . Бу катталиқ кўри-лаётган йўналишнинг бирлик узунлигида тезликнинг қанчага ўзгаришини кўрсатади.

Ички ишқалиш жараёнида молекулалар бир қатламдан иккинчисига ўтганда ўзлари билан импульс олиб ўтишини ҳисобга олиб, ишқаланиш кучини қуйидаги формуладан ҳисоблаймиз:

$$F = -\eta \frac{dv}{dx} S, \quad (1.125)$$

бунда  $\eta$  — ички ишқаланиш коэффиценти, минус ишора эса импульс тезликнинг камайиши томонига қараб йўналганлигини кўрсатади.

(1.125) ифодадаги тезлик градиенти  $\frac{dv}{dx} = 1$  бир-бирлик-

ка ўзгарганда юз бирлигига таъсир этаётган кучга сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқ ички ишқалиш коэффиценти дейилади. Унинг бирлиги СИ системасида

$[\eta] = \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}} \cdot \eta$  — газнинг ҳаракатини белгиловчи макроско-

пик катталиқ бўлиб, бевосита тажрибадан аниқланади. Молекуляр кинетик назарияга асосан газнинг ички ишқалиш коэффиценти молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўли узунлиги  $\bar{\lambda}$  билан қуйидагича боғланган:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{v}. \quad (1.126)$$

Реал газлар учун бу ифода

$$\eta = 0,499 \rho \bar{\lambda} \bar{v} \approx 0,5 \rho \bar{\lambda} \bar{v} \quad (1.127)$$

кўринишга эга бўлади, бунда  $\rho$  — газнинг зичлиги,  $\bar{v}$  — молекуланинг ўртача арифметик тезлиги. Бу икки катталиқ қуйидагича аниқланади:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (1.128)$$

$$\rho = \frac{\mu P}{RT}. \quad (1.129)$$



(1.126), (1.128) ва (1.129) муносабатлардан молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўл узунлиги ифодасини ҳосил қилиш мумкин:

$$\bar{\lambda} = 1,15 \cdot 10^2 \frac{\eta}{\rho} \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (1.130)$$

Молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўли узунлиги уларнинг эффектив диаметри билан қуйидагича боғланган:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}, \quad (1.131)$$

бунда  $n$  — ҳажм бирлигидаги молекулалар сони.

(1.130), (1.131) ва  $n = \frac{p}{kT}$  ифодаларни солиштириб, газ молекулаларнинг эффектив диаметрларини аниқлаш формуласи ҳосил қилинади:

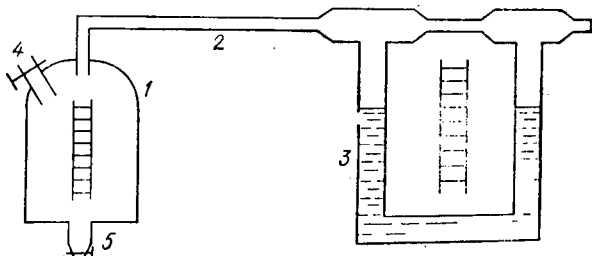
$$d = \frac{1,65 \cdot 10^{-13}}{\sqrt{\bar{\lambda}}} \sqrt{T \mu}. \quad (1.132)$$

Агар газнинг ички ишқаланиш коэффициенти берилган бўлса, (1.130) ва (1.132) ифодалар орқали бу газ молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўл узунлиги ва эффектив диаметрини аниқлаш қийин эмас.

Ҳажми  $V$  бўлган газнинг капилляр труба учларидаги босимлар фарқи  $\Delta p$  булса, унинг кўндаланг кесимидан  $t$  вақтда ламинар тарзда оқиб ўтадиган газнинг ички ишқаланиш коэффициенти Пуазейли ифодасидан топилади:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8Vl} \cdot \Delta p \cdot t, \quad (1.133)$$

бу ерда  $r$  — капилляр трубка радиуси,  $l$  эса унинг узунлиги.



26- расм.

Газ молекулаларининг эркин югуриш йўли узунлиги ва эффектив диаметрларини аниқлашда 26-расмда тасвирланган қурилмадан фойдаланиш мумкин.

Қурилма шиша идиш 1, ўрганилиши лозим бўлган газ оқиб турувчи найчалар 2, улардаги босим фарқларини ўлчаш учун манометр 3 ҳамда сув қуйиш ва чиқариш учун жўмраклар 4, 5 дан ташкил топган.

*Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Лаборатория хонасидаги барометр ва термометрларнинг кўрсатишлари ва қурилмадан  $r$  ва  $l$  нинг қийматлари ёзиб олинади.

2. Жўмрак 4 очилиб, шиша идишга сатҳи шкаланинг юқори чизиғига етгунча сув қуйилади ва жўмрак ёпилади.

3. Манометрдаги сатҳлар фарқи ўзгармас бўлгандан сўнг пастки жўмрак очилиб, 1 л сувнинг оқиб чиқиш вақти секундомер ёрдамида ҳисобланади, ҳамда сувнинг оқиб чиқиш вақтидаги босимлар фарқи ўлчанади.

4. Тажриба 2, 3, 4 л сув оқиб чиқиш вақти учун такрорланади

5. (1.133) ифодадан ички ишқалиш коэффициенти ҳамда (1.130) ва (1.132) ифодалардан ҳаво молекулаларининг эркин югуриш йўли узунлиги ҳамда эффектив диаметрлари ҳисобланади.

6. Ўлчашлар ва ҳисоблашлар натижаси жадвалга ёзилди.

№	$V$ м <sup>3</sup>	$t$ , с	$\frac{\Delta p}{H}$ , м <sup>2</sup>	$\lambda$ , м	$\bar{\lambda}$ , м	$\Delta\lambda$ , м	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 100\%$	$d$ , м	$d_{ж}$ , м	$\Delta d$ , м	$\frac{\Delta d}{d} \cdot 100\%$

7.  $r$  ва  $l$  нинг қийматлари қурилма ўрнатилган столга ёзиб қўйилган,  $T$  ва  $p$  эса лабораториядаги асбобларда кўрсатилган бўлади.

8.  $\delta_1 = \frac{\lambda_T - \lambda_{ж}}{\lambda_T} \cdot 100\%$  ва  $\delta_2 = \frac{d - d_{ж}}{d_{ж}} \cdot 100\%$  ифодаларидан тавсифланган усулнинг хатоликлари ҳисобланади ( $\lambda_{ж}$  ва  $d_{ж}$ ) нинг қиймати жадвалдан олинади.

10-лаборатория иши. Идеал газ қонунларидан фойдаланиб ҳавонинг олган иссиқлик миқдорини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Иссиқлик миқдорини аниқлаш усуллари билан танишиш.

Ҳавонинг олган иссиқлик миқдори:

$$Q = C_p m \Delta t; \quad (1.134)$$

бунда  $C_p$ —ўзгармас босимдаги ҳавонинг иссиқлик сифими бўлиб, унинг сон қиймати  $1 \cdot 10^3$  Ж/(кг·К) га тенгдир,  $m$ —ҳавонинг массаси,  $\Delta t$ —температуралар фарқи. Ҳаво массасини Менделеев—Клапейрон тенгламасидан аниқлаш мумкин:  $m = \frac{\rho V_{\text{олт}}}{RT}$ . (1.135)

Температуралар фарқи Гей-Люссак қонунидан аниқланади:

$$V_t = V_0(1 + \alpha \cdot t),$$

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{\alpha \cdot V_0} = \frac{\Delta x}{\alpha V}. \quad (1.136)$$

Бу катталикларни (1.134) ифодага қўйиб, иссиқлик миқдорини ҳисоблаш формуласини ҳосил қиламиз:

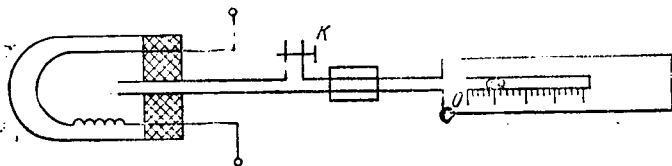
$$Q = C_p \frac{p \mu \cdot S}{RT \alpha} \Delta x, \quad (1.137)$$

бу ерда  $p$ —атмосфера босими,  $\mu$ —ҳавонинг молекуляр массаси,  $R$ —газнинг универсал доимийси,  $\alpha = 1/273$ ,  $\Delta S$ —ҳаво ўтаётган трубаинг кўндаланг кесим юзи,  $\Delta x$ —ундаги суюқликнинг силжиш масофаси.

Ҳавонинг олган иссиқлик миқдорини аниқлаш учун схемаси 27-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланилади.

**Ишни бажариш тартиби**

1. К жўмракни очиб суюқлик шкаланинг ноль нуқтасига етгунча силжитилади.



27- расм.

2. Штангенциркуль ёрдами билан капилляр трубканинг диаметрини ўлчиб,  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  ифодадан унинг кўндаланг кесим юзи ҳисобланади.

3. Клеммалар потенциометр орқали манбага уланади ва маълум миқдорда ( $\approx 3$  А) ги ток 10 минут давомида ўтказилади,  $\Delta x_1$  натижа ёзиб олинади.

4. Ток кучининг 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 А қийматлари учун ҳам  $\Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4, \Delta x_5$  аниқланади.

5  $p, \rho, R, \alpha, C_p$  катталиклар қиймати жадвалдан олиниб, (1.137) ифодадан ҳавонинг олган иссиқлик миқдори ҳисобланади.

6.  $Q = f(\Delta x)$  функциянинг графиги чизилади.

11- лаборатория иши. Стокс ўсули билан суюқликларнинг ички ишқаланиш коэффициентини аниқлаш.

*Ишни бажаришдан мақсад:* суюқлик ичида жисмларнинг ҳаракати билан боғлиқ бўлган ҳодисаларни кузатиш ва ички ишқаланиш коэффициентини аниқлаш.

**Адабиёт:** [1] V боб, 3- §; [2] 75- §.

Маълумки, суюқлик молекулаларининг зичлиги газ молекулалариникига қараганда бир неча баробар катта. Молекулалар орасидаги масофа тахминан битта молекула диаметрига тенг бўлади, деб фараз қилиш мумкин. Бинобарин суюқлик молекулалари учун ўртача эркин югуриш йўл масофаси ўз маъносини йўқотади. Шунинг учун суюқлик молекулалари газларники каби эркин ҳаракат қила олмайди. Улар қўшни молекулалар орасида тебранма ҳаракат қилиб „ўтроқ“ ҳаёт кечирилади, вақт-вақти билан тартибсиз равишда ўз ўринларини ўзгартириб туради. Суюқлик молекулаларининг бундай табиати ички ишқаланиш ҳодисасига ҳам таъсир қилади. Суюқликларда ички ишқаланиш вақт-вақти билан ўз ўринини ўзгартириб, бир қатламдан иккинчи қатламга импульс олиб ўтадиган молекулалар ҳисобига содир бўлади. Молекулаларнинг бундай „сақраб“ ўтиши камроқ содир бўлгани учун суюқликларнинг ички ишқалиш коэффициенти газларникига нисбатан анча катта бўлади. Паст температура-ларда, айниқса, бу фарқ сезиларлидир. Температура кўтарилиши билан „сақраб“ ўз ҳолатини ўзгартири-дан молекулаларнинг сони ортади. Ички ишқаланиш коэффициенти температура ортиши билан тез камаяди.

Тезликлари ҳар хил бўлган икки қўшни қатлам орасидаги ишқаланиш кучи:

$$F = -\eta \frac{dv}{dx} \cdot S, \quad (1.138)$$

бунда  $\eta$  — ички ишқаланиш коэффициентини,  $\frac{dv}{dx}$  — тезлик градиенти,  $S$  — ишқаланиш кучи таъсир қилаётган қатлам юзи, минус ишора куч, импульснинг камайиши томонга йўналганлигини кўрсатади. Юқорида кўриб ўтилган  $m$  — массали суюқлик ишқаланиш коэффициентидан ташқари унинг ҳажм бирлигидаги массага нисбати билан белгиланадиган кинематик ишқаланиш коэффициентини ҳам ишлатилади, у қуйидагича ёзилади.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}.$$

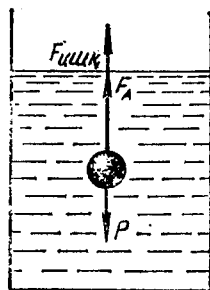
Суюқликларнинг ички ишқаланиш коэффициентлари вискозиметрлар ёрдами билан ўлчанади. Шунингдек, ишқаланиш билан боғлиқ бўлган яна бир неча усуллардан фойдаланиб ички ишқаланиш коэффициентини тажрибада аниқлаш мумкин. Улардан бири кичик шарчаларнинг суюқликлардаги ҳаракатига асосланади. Маълумки, шарча суюқликда вертикал ҳаракатлаша, унга бир вақтнинг ўзида учта куч таъсир қилади. Шарчанинг оғирлик кучи  $\vec{P}$ , Архимед кучи  $\vec{F}_A$  ва суюқликнинг ички ишқаланиш кучи  $\vec{F}_{\text{ишқ}}$ . Тенг таъсир этувчи куч бу кучларнинг вектор йиғиндисига тенг:

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_A + \vec{F}_{\text{ишқ}}.$$

Ҳаракат йўналишидаги кучларнинг тенг таъсир этувчиси (28- расм)

$$F = P - (F_A + F_{\text{ишқ}}) \quad (1.139)$$

билан мос тушади. Ҳаракат бошида  $P > F_A + F_{\text{ишқ}}$  бўлиб, жисм тезланувчан ҳаракат қилади. Шарчанинг тезлиги орта борган сари ишқаланиш кучи орта боради. Бу куч Стокс қонуни асосида аниқланади: суюқликда ҳаракатланаётган шар шаклидаги жисмлар учун



28- расм.

суюқликнинг қаршилиқ кучи ҳаракат тезлигига, шар радиусига ва суюқликнинг ишқаланиш коэффициентига пропорционал:

$$F_{\text{ишқ}} = 6\pi\eta vr. \quad (1.140)$$

Ҳаракат тезлиги маълум бир қийматга етганда кучларнинг тенг таъсир эгувчиси нолга тенг:

$$P - (F_A + F_{\text{ишқ}}) = 0. \quad (1.141)$$

Шу вақтдан бошлаб шарчанинг тезлиги ўзгармай қолади, у тўғри чизиқли текис ҳаракат қилади. Бундай ҳаракат ички ишқаланиш коэффициентини аниқлаш имкониятини беради. (1.141) тенгликка Архимед кучи

$$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_c g, \quad (1.142)$$

оғирлик кучи

$$P = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_m g \quad (1.143)$$

ва Стокс кучи (1.40) қийматларини қўйиб, ички ишқаланиш коэффициенти аниқланади:

$$\eta = \frac{2}{9} (\rho_m - \rho_c) \frac{gr^2}{v} = \frac{1}{18} (\rho_m - \rho_c) \frac{gd^2}{v}, \quad (1.144)$$

бу ерда  $r$  — шарчанинг радиуси,  $\rho_c$  ва  $\rho_m$  — мос равишда суюқлик ва шарча материалининг зичликлари,  $d$  — шарчанинг диаметри.

Шарча  $l$  масофани  $t$  вақтда босиб ўтса, унинг ўзгармас тезлиги  $v = \frac{l}{t}$  бўлади, у ҳолда (1.144) ифода қуйидагича ёзилади:

$$\eta = \frac{1}{18} (\rho_m - \rho_c) \frac{gd^2 t}{l} C d^2 \cdot t, \quad (1.145)$$

$$\text{бу ерда } C = \frac{1}{18} (\rho_m - \rho_c) \frac{g}{l}. \quad (1.146)$$

*Ўлчалар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Шиша идиш деворларига қўйилган белгилар орасидаги масофа чизғич ёрдамида ўлчанади, шарча ва суюқликнинг зичлиги қурилмадан ёзиб олинади.

2. (1.146) ифодадан муайян тажрибага боғлиқ доимий „С“ ҳисобланади.

3. Суюқликка тушириладиган шарчанинг диаметри 0,01 мм аниқликда ўлчанади, бу шарча пинцет ёрдамида мумкин қадар цилиндр ўқига ва суюқлик сиртига яқин ташланади.

4. Шарчанинг суюқликдаги белгилар орасидаги масофани ўтиш вақти аниқланади.

5. Тажриба 8 — 10 та шарча учун такрорланади.

6. (1.145) ифодадан ички ишқаланиш коэффициентини ҳисобланади.

7. Ўлчаш ва ҳисоблаш натижалари жадвалга ёзилади

№	$l$ , м	$d$ , м	$t$ , с	$\eta$ , $\frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}}$	$\bar{\eta}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}}$	$\Delta\eta$ , $\frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}}$	$\overline{\Delta\eta}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}}$	$\frac{\Delta\eta}{\eta} \cdot 100\%$

9.  $\delta = \frac{\bar{\eta} - \eta_{\text{ж}}}{\eta_{\text{ж}}} \cdot 100\%$  ифодадан тажриба хатолиги ҳисобланади.  $\eta_{\text{ж}}$  — ички ишқаланиш коэффициентининг жадвалдан олинган қиймати.

12-лаборатория иши. Қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* иссиқлик ўтказувчанлик ҳодисаси билан танишиш.

Қаттиқ жисмлар тузилиши бўйича икки турга, яъни аморф ва кристалл жисмларга бўлинади.

Аморф жисмларда атомлар 2 ÷ 3 атом диаметрига тенг бўлган масофада тартибли бўлиб, узоқроқ масофадаги атомларнинг жойлашиши эса тартибсиз бўлади. Аморф жисмлар ўз тузилиши билан суюқликларга жуда ўхшаш бўлгани учун уларнинг қупгина хоссалари ҳам суюқликларникига ўхшаш. Шунинг учун суюқликлардан фарқли равишда қаттиқ жисм дегаанда кристалл жисмлар тушунилади. Кристалл жисмлар маълум геометрик шаклга эга бўлган панжаралардан тузилган бўлиб, уларнинг тугунларида атом ёки ионлар жойлашади. Атомлар ва ионлар бир-бирига яқин ва узоқ масофаларда тартибли жойлашган бўлади. Қаттиқ жисмларда иссиқлик ўтказувчанлик уни ташкил этган

атомларнинг тебраниши туфайли содир бўлади. Бу тебранма ҳаракат бир атомдан иккинчисига тўлқин орқали узатилади. Квант назариясига кўра қаттиқ жисмларда товуш тезлиги билан тарқаладиган тўлқин-фононлар-квазизарралар мавжуд бўлиб, унинг энергияси тебраниш частотасининг Планк доимийсига кўпайтмасига тенг:

$$E = h\nu. \quad (1.147)$$

Абсолют ноль температурада модда атомларининг иссиқлик ҳаракати йўқолади, қаттиқ жисмлардаги фононларнинг сони ҳам нолга тенг бўлади, температура ортиши билан фононлар сони температуранинг кубига пропорционал равишда ортади.

Бу назарияга асосан қаттиқ жисм фононлар билан тўлдирилган идиш деб қаралиши мумкин. Уларнинг табиати идеал газ табиатига ўхшаш. Фононлар панжара атомлари билан тўқнашиб иссиқлик ўтказувчанликни юзага келтиради. Шунинг учун қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти айнан идеал газ иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ифодаси билан аниқланиши мумкин:

$$\kappa = \frac{1}{3} \rho \lambda c v, \quad (1.147)$$

бунда  $\rho$  — қаттиқ жисмнинг зичлиги,  $c$  — солиштира иссиқлик сифими,  $v$  — қаттиқ жисмда товуш тезлиги,  $\lambda$  — фононнинг эркин югуриш масофасининг ўртача узунлиги. Фурье қонунига кўра кўндаланг кесими  $S$  бўлган юздан  $dt$  вақт ичида ўтган иссиқлик миқдори температура градиентига тўғри пропорционал:

$$dQ = -\kappa \frac{T_1 - T_2}{dx} S \cdot dt, \quad (1.148)$$

бу ерда  $\kappa$  — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти,  $\frac{T_1 - T_2}{dx} = \frac{dT}{dx}$  — температура градиенти.

Агар бу иссиқлик миқдори температураси ўзгармас  $T_k$  ва юқорироқ бўлган бир муҳитдан  $x$  қалинликдаги қатлам орқали пастроқ температурали иккинчи муҳитга узатилаётган бўлса, иккинчи муҳит температураси ҳам кўтарилади. Иккинчи муҳит ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмаса, у

$$dQ = c m dT \quad (1.149)$$



иссиқлик миқдори олади. Бу ерда  $c$  ва  $m$  — иккинчи муҳитнинг солиштирма иссиқлик сифими ва массаси (1.148) ва (1.149) ифодалардан

$$mcdT = \frac{\kappa S}{x} (T_{\kappa} - T) dt,$$

$$mcx \frac{dT}{T_{\kappa} - T} = \kappa S dt \quad (1.150)$$

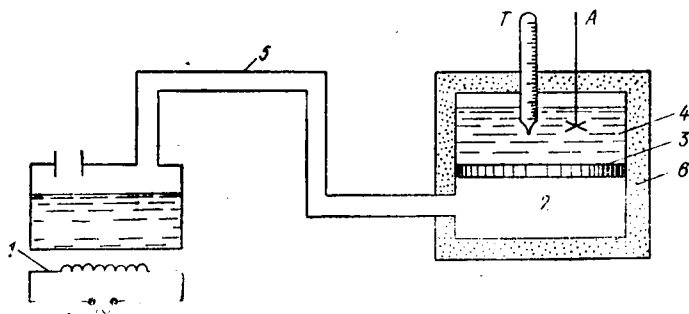
ни ҳосил қиламиз. Агар иккинчи муҳит температураси  $\tau$  вақт давомида  $T_0$  дан  $T$  гача кўтарилса, у ҳолда иссиқлик ўтказувчанлик коэффицентини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$mcx \int_{T_0}^T \frac{dT}{T_{\kappa} - T} = \kappa S \int_0^{\tau} dt,$$

$$mcx \ln \frac{T - T_0}{T_{\kappa} - T} = \kappa S \cdot \tau,$$

$$\kappa = \frac{mcx}{S\tau} \cdot \ln \frac{T_{\kappa} - T_0}{T_{\kappa} - T}. \quad (1.151)$$

Бу ифода иссиқлик ўтказувчанлик коэффицентини тажрибада аниқлаш имконини беради. Бунинг учун 29-расмда схемаси келтирилган қурилмадан фойдаланамиз. Иситкич 1 дан сув буги трубка орқали термостатда жойлашган идиш 2 га узлуксиз узатилиб туради, натижада идиш деворлари температураси ўзгармайди ва буғ температураси  $T_{\kappa} = 373 \text{ K}$  га тенг бўлади. 2 идиш устига иссиқлик ўтказувчанлиги текшириляётган



29- расм.

моддадан ясалган диск 3 ва калориметр ички идиши 4 жойлаштирилади. Температура ўзгариши термометр  $T$  билан аниқланади. Текширилаётган модда қалинлиги  $x$  ва  $S$  юзи маълум бўлса, (1.151) ифодадан иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти аниқланади.

*Ўлчишлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Калориметр ички идиши аралаштиргич билан ўлчаниб, унинг массаси  $m_1$  аниқланади.

2. Калориметрга сув қуйилиб, унинг массаси  $m_2$  аниқланади.

3. Штангенциркуль билан текширилаётган жисм қалинлиги  $x$  ва диаметри  $d_0$  ўлчанади ва  $S = 0,25\pi d_0^2$  ифодадан юзи аниқланади.

4. Электроплитка уланиб, трубалардан буғ чиқа бошлагандан кейин бошланғич температура  $T_0$  ёзиб олинади  $\tau = 5$  минутдаги сувнинг кўтарилган температураси  $T$  ўлчанади (тажриба давомида сув аралаштириб турилади).

5.  $x = \frac{m_1 c_1 + m_2 c_2}{S\tau} \ln \frac{T_K - T_0}{T_K - T_0}$  ифодадан иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти ҳисобланади ( $T_K$  сувнинг қайнаш температураси).

6 3, 4 ва 5- пунктлар бошқа намуналар учун ҳам бажарилади.

7. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

№	$x$	$\tau$	$d_0$	$T_K$	$T_0$	$T$	$\frac{x}{\text{Вг}}$	$\bar{x}$	$\Delta x$	$\Delta \bar{x}$	$\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$
	м	с	м	К	К	К	$\frac{\text{м}}{\text{м} \cdot \text{к}}$	$\frac{\text{м}}{\text{м} \cdot \text{к}}$	$\frac{\text{м}}{\text{м} \cdot \text{к}}$	$\frac{\text{м}}{\text{м} \cdot \text{к}}$	

13- лаборатория иши. Суюқликларнинг сирт таранглик коэффиценти аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* суюқлик хусусиятларини ўрганиш ва сирт таранглик коэффиценти аниқлаш.

Адабиёт.: [1] V боб, 5-§.

Суюқликлар ўз тузилишлари билан қисман газлар-

га, қисман қаттиқ жисмларга ўхшаб кетади. Уларда газларнинг ҳам қаттиқ жисмларнинг ҳам хусусиятлари намоён бўлади. Хусусан суюқлик газ каби оқувчан бўлса, қаттиқ жисм каби ўз ҳажми ва сатҳига эга. Унинг бу охири хусусияти икки муҳит чегарасила фақат суюқликларгагина хос бўлган сирт таранглик кучини пайдо қилади. Масалан, суюқлик сирти ўз буғи ёки ҳаво билан чегараланган бўлсин. Суюқлик сатҳида жойлашган молекулаларнинг таъсир сфераси бир қисмида суюқлик, иккинчи қисмида эса ҳаво молекулалари жойлашади. Суюқлик молекулаларининг зичлиги ҳаво ёки бугникига қараганда каттароқ бўлгани учун уларнинг тенг таъсир этувчиси сиртга перпендикуляр ҳолда суюқлик ичига йўналган бўлади. Суюқлик ичида эса молекулаларнинг тенг таъсир этувчи кучи нолга тенг. Бинобарин, суюқлик ҳажмидаги молекулалар унинг юзига кўтарилиши учун бу кучни енгиб иш бажариши керак. Бу манфий иш молекулаларнинг кинетик энергияси камайиши, потенциал энергиясининг ортиши ҳисобига бўлади.

Демак, суюқлик сирти қатламида жойлашган молекулалар унинг ҳажмидаиларга нисбатан ортиқча потенциал энергияга эга. Бу энергия сирт эркинлик энергияси дейилади. Равшанки, у сирт юзасига пропорционал:

$$u_s = \sigma \cdot S, \quad (1.152)$$

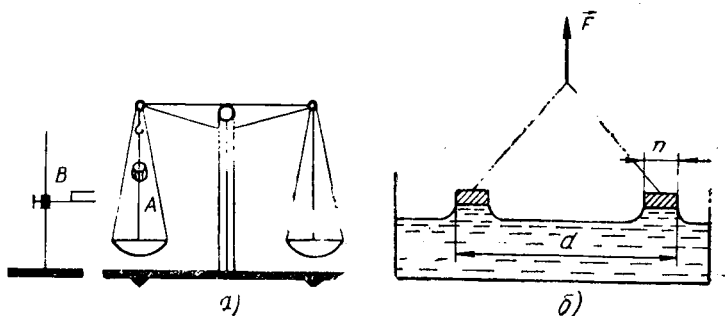
бунда  $\sigma$  — сирт таранглик коэффициенти. Бу катталиқ суюқлик табиатига ва унинг температурасига боғлиқ. Температура ортса, сирт таранглик коэффициенти камайди. Критик температурада, яъни суюқлик билан газ орасидаги чегара йўқолганда  $\sigma = 0$ . (1.152) ифодадан

$$\sigma = \frac{u_s}{S} \quad (1.153)$$

Унинг бирлиги  $\frac{Н \cdot м}{м^2} = \frac{Н}{м}$ .

Сиртнинг бирлик юзига мос келувчи эркин энергия сирт таранглик коэффициенти дейилади.

Маълумки, системанинг потенциал энергияси жуда кичик бўлса, у мувозанат ҳолатида бўлади. Суюқлик сирти ҳам мувозанат ҳолатда бўлиши учун қисқаришга ҳаракат қилади. Суюқлик сиртида уни қисқартирувчи уринма бўйлаб йўналган сирт таранглик кучи пайдо бўлади. Бу кучнинг қиймати:



30- расм.

$$F = \sigma l, \quad \text{бундан} \quad \sigma = \frac{F}{l}. \quad (1.154)$$

Сирт таранглик коэффициентини аниқлаш усуллари-дан бири суюқлик эркин сиртида ҳалқани ажратиб олиш усулидир.

Маълумки, суюқликка ботирилган жисмларни ундан ажратиб олиш учун унга перпендикуляр йўналган куч таъсир эттириш керак. Бинобарин, суюқлик сиртидан узиб олинаётган жисм ҳўлланади ва у билан маълум миқдорда суюқлик кўтарилади, яъни суюқликнинг эркин сирти ортади, бу сиртнинг дастлабки вазиятга интилиши сирт таранглик кучини келтириб чиқаради.

А ҳалқа тарозининг бир елкасига осилиб, у текшири-риллаётган В суюқликнинг эркин сиртига теккизилади (30- а расм). Бу ҳалқа суюқликдан кўтарилаётганда у билан суюқлик сирти орасида ташқи сирти  $\sigma\pi d$  ва ички сирти  $\sigma\pi(d - 2h)$  куч билан ҳалқани тортувчи суюқлик сирти ҳосил бўлади (30- б расм). Ҳалқани тутиб турувчи куч:  $F = 2\sigma\pi(d - h)$ , бунда  $\sigma$  — сирт таранглик ко-эффициенти,  $d$  — ҳалқанинг ташқи диаметри,  $h$  — қалин-лиги.

$$\sigma = \frac{F}{2\pi(d - h)} \quad (1.155)$$

ифодадан сирт таранглик коэффициентини аниқлаш мумкин.

*Ўлчамлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш*

1. Штангенциркуль ёрдами билан ҳалқанинг ташқи диаметри  $d$  ва қалинлиги  $h$  ўлчанади.

2. Тарозининг чап палласига ҳалқа осилади ва ўнг палласига қум солиб, у мувозанатга келтирилади.

3. Жўмрак очилиб, идишдаги суюқлик сирти ҳалқага етгунча кўтарилади.

4. Ҳалқа узилгунча тарозининг ўнг палласига қум солиб турилади. Ҳалқа узилиши пайтида қумнинг оғирлиги сирт таранглик кучи  $F$  нинг қийматини беради.

5. (1.155) ифода ёрдамида сирт таранглик коэффициентини ҳисобланади.

6.  $1 \div 5$  пунктлар бошқа ҳалқалар учун ҳам такрорланади.

7. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

№	$D,$ м	$d,$ м	$F,$ Н	$\sigma,$ Н/м	$\bar{\sigma},$ Н/м	$\Delta\bar{\sigma},$ Н/м	$\Delta\sigma,$ Н/м	$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} \cdot 100\%$

8. Тажрибанинг абсолют ва нисбий хатоликлари ҳисобланади.

9.  $\delta = \frac{\bar{\sigma} - \sigma_{ж}}{\sigma_{ж}} \cdot 100\%$  ифодадан ушбу усулнинг хатолиги аниқланади ( $\sigma_{ж}$  жадвалдан олинган қиймат).

#### Контрол саволлар

1. Молекуляр кинетик назариянинг моҳияти нима?
2. Қандай газ идеал газ дейилади ва унинг ҳолати қандай катталиклар билан характерланади?
3. Қандай шароитларда реал газлар учун идеал газ қонуналарини татбиқ этиш мумкин?
4. Изотермик, изобарик, изохорик ва адиабатик процессларни айтиб беринг.
5. Термодинамика қонуларини айтиб беринг.
6. Газлар, суюқликлар ва қаттиқ jismlарнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари ҳақида маълумот беринг. Нима учун газларда  $C_p$  ва  $C_v$  мавжуд?
7. Ички ишқаланиш ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентларини аниқлаш қурилмаларининг ишлаш принципини айтиб беринг.
8. Сирт таранглик кучи қандай юзага келади? Сирт таранглик коэффициентини аниқлаш тажрибасини тушунтириб беринг.

## ЭЛЕКТР ВА МАГНЕТИЗМ ЭЛЕКТР АСБОБЛАР ВА УЛАРНИНГ ҚЎЛЛАНИШИ

### 1-§. Электр схемалари ҳақида тушунча

Маълумки, турмушда электр энергиясидан кенг фойдаланилади. Бир-биридан узоқ жойлашган истеъмолчилар ва манбалар ўтказгичлар, трансформаторлар, тўғрилагич ва кучайтиргичлар ёрдамида бир-бирига уланади, бу эса электр занжирларини ташкил қилади. Уларнинг махсус белгилар ёрдамида тасвирланиши электр схемалари деб юритилади.

Гальваник элементлар ва турли аккумуляторлар электр энергияси манбаларидир. Уларнинг ишлаши химиявий энергиянинг электр энергиясига айланишига асосланган. Иссиқлик (ТЭС), гидравлик (ГЭС), атом (АЭС) электростанциялари катта қувватли манбалардир. Электр токини характерловчи асосий катталикларни, яъни ток кучи ва кучланишни ўзгартириш учун турли қаршиликлардан фойдаланилади.

Қаршиликларнинг хоссалари қуйидаги параметрлар билан аниқланади:

1. Қаршилигининг номинал катталиги:

$$R_{\text{ном}} = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.1)$$

бу ерда  $\rho$  — ток ўтказувчи қисмнинг солиштира қаршилиги,  $l$  ва  $S$  — мос равишда ток ўтказувчи қисмининг узунлиги, кўндаланг кесим юзи.

2. Аниқлик класи — қаршиликнинг ҳақиқий катталиги аниқлик класи чегараларида қуйидаги номинал қийматидан фарқ қилмаслиги керак: I класс — + 5%, II класс — + 10%, III класс — + 20%.

3. Қаршиликдаги номинал қувват  $P_{\text{ном}}$

$$P_{\text{ном}} = I^2 R. \quad (2.2)$$

Бу қувватнинг шундай максимал қийматики, у ўзгармас электр нагрукда, атроф-муҳитнинг маълум температурасида ўз параметрларини ўзгартирмасдан резисторда тарқаб кета олади.

4. Қаршилик қийматини ўзгартирмайдиган максимал кучланиш. У қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$u_m = \sqrt{P_{\text{ном}} \cdot R_{\text{ном}}} \quad (2.3)$$

5. Резисторнинг хусусий сифими  $C_0$  ва индуктивлиги  $L_0$ .  $C_0$  элементнинг ток ўтказувчи қисми ва чиқиш клеммалари сифимидан иборат бўлиб, уларнинг ўлчамлари ва жойлашувига боғлиқ.  $L_0$  ток ўтказувчи қисмининг узунлиги, каркасининг ўлчамлари ва элемент чиқиш клеммаларининг шаклига боғлиқ.

6. Қаршиликнинг турғунлик коэффициентлари: а) температура коэффициенти:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}, \quad (2.4)$$

бу қиймат температураси  $1^\circ\text{K}$  га қизишидаги қаршилик ўзгаришини аниқлайди; б) намга бардошлик коэффициенти. Резистор намлиги юқори атмосфера муҳитида турганида химиявий жиҳатдан эскиради, бунда унинг номинал қаршилиги ўзгаради.

Электр занжир қисмларидаги кучланишни пасайтириш ёки ортириш учун трансформаторлардан фойдаланилади. Уларнинг асосий қисмини электромагнит чулғамлар ташкил қилиб, ишлаш принциплари электромагнит индукция ҳодисасига асосланади. Электр энергияси манбанга уланувчи чулғам бирламчи, истеъмолчига уланувчиси иккиламчи чулғам деб юритилади. Трансформатор ғалтакларининг ўзаклари асосан ферромагнит материаллардан тайёрланади. Уларнинг асосий параметри

$$k = \frac{u_2}{u_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.5)$$

трансформациялаш коэффициенти ҳисобланади, бу ерда  $n_1$  ва  $n_2$  — бирламчи ва иккиламчи ғалтаклардаги ўрамлар сони,  $u_1$  ва  $u_2$  — улардаги кучланишлар.

Электр ўлчов асбоблари электр катталиклари — ток кучи, кучланиш, қаршилик, заряд миқдори, электр қуввати, ўзгарувчан ток частотаси ва бошқаларни аниқлашда ишлатилади.

Электр ўлчов асбобларини қуйидаги белгиларга кўра классификациялаш мумкин:

а) ўлчанаётган физик катталиқнинг турига кўра — амперметр, вольтметр, омметр, ваттметр;

б) занжирдаги токнинг турига кўра — ўзгарувчан ток асбоблари, ўзгармас ток асбоблари, ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирларида ишлатиладиган асбоблар;

в) ишлаш принципига кўра — магнитоэлектрик, электромагнит, электродинамик ва ғошқалар;

г) аниқлик классларига кўра — 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,6; 2,5.

Ўлчов асбобларининг классификациясига доир маълумотлар уларга тўғри шартли белгилар тарзида ёзиб қўйилади.

Ҳар қандай электр ўлчов асбобида қўзғалувчан қисм мавжуд. Электр тоқининг магнит ёки электр кучи таъсирида қўзғалувчан қисм ҳаракатга келади ва бошқа бирор эластик куч билан мувозанатланади. Физик катталиқ шкала бўйлаб ҳаракатланувчи стрелка ёки қўзғалувчан қисмига жойлаштирилган кўзгудан қайтувчи шуъла ёрдамида аниқланади.

## 2-§. Асосий физик катталиқларни аниқловчи асбоблар

*Гальванометрлар.* Бу асбоблар билан жуда кичик ток кучи ва кучланишларни ҳам аниқлаш мумкин. Гальванометр шкаласи ток кучи ёки кучланишнинг маълум қийматлари ёрдамида даражаланади. Электр занжирининг бирор қисмида ток бор-йўқлигини билиш мақсадида, гальванометрдан фойдаланишга тўғри келса у ҳолда даражалашга эҳтиёж қолмайди.

*Амперметрлар.* Ток кучини аниқлашда амперметрлардан фойдаланилади. Бу асбоб занжир қисмига кетма-кет уланади. Шу сабабли амперметрларнинг ички қаршилиги занжир қаршилигидан кичик бўлиши мақсадга мувофиқдир. Акс ҳолда манба энергиясининг кўп қисми асбобда йўқолади. Сизгирлиги юқори бўлган амперметр корпуслари ичида асбобга параллел уланган қаршиликлар-шунтлар жойлаштирилади. Шунтлар асбоб қаршилигини янада камайтиради. Бундай ҳолда ток кучи иккига бўлинади: 1) шунтдан оқаетган ток кучи; 2) амперметрдан ўтувчи ток кучи. Шунтнинг қаршилиги амперметр қаршилигидан қанча кичик бўлса,



шундан оқаетган ток кучи амперметрдан оқаетган ток кучидан шунча катта бўлади

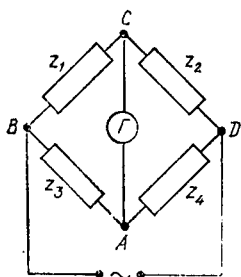
*Вольтметрлар.* Занжирнинг икки нуқтаси орасидаги потенциаллар фарқи (ёки кучланиш) ни аниқлашда вольтметрлардан фойдаланилади. Бу асбоблар занжир қисмларига параллел уланади. Ўлчанаётган қисмларнинг потенциал фарқлари сезиларли ўзгармаслиги учун вольтметрнинг ички қаршилиги занжирнинг қаршиликдан анча катта бўлиши лозим. Кўпинча унинг корпуси ичига асбобга кетма-кет уланган қўшимча қаршиликлар жойлаштирилади.

*Кўп чегарали ўлчов асбоблари.* Амперметрга уланган шунт, вольтметрдаги қўшимча қаршиликлар сонини ўзгартириб бу асбоблар билан ўлчанадиган катталик миқдорини ўзгартириш мумкин. Шундай мосламали асбоблар кўп чегарали асбоблар ҳисобланади. Шунт ёки қўшимча қаршиликка эга бўлган кўп чегарали ўлчов асбоблари электр занжирларига қуйидаги усуллар билан уланади:

1. Ўтказгичлардан бири асбобнинг бир клеммасига, иккинчиси ўлчанадиган физик катталикнинг тахминий қийматига мос келувчи рақам белгиси қўйилган клеммага уланади. Бу рақамлар стрелка (ёки шуъла) нинг максимал бурнилишига мос келувчи физик катталикнинг қийматлари.

2. Асбоб иккитагина клемма ва белгиси муайян рақамни кўрсатувчи бурғичга эга бўлиб, бундай рақамлар стрелка (ёки шуъла) нинг максимал бурнилишига мос келувчи физик катталикнинг қийматидир. Ўтказгичлар асбоб клеммаларига уланади, бурғич ўлчаниши керак бўлган катталикнинг максимал қийматига қўйилади.

*Авометрлар-тесторлар.* Бу асбоблар ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирларидаги ток кучи, қисмларидаги потенциал фарқлари ҳамда қаршиликларни ўлчашда ишлатилади. Шунингдек, электр занжирларини созилашда қулай восита ҳисобланади. Авометрларнинг аниқлиги жуда катта бўлмайди, улар магнитоэлектрик системасига кирувчи асбоблардан бўлиб, унинг корпуси ичига турли катталикдаги шунт ва қўшимча қаршиликлар, тўғрилагичлар ўрнатилган. Бу асбобнинг корпусида электр занжиридаги токнинг хили, ўлчанувчи физик катталикнинг тури ва миқдорларини ўзгартиришга мослаган бурғич ҳамда клеммалар ўрнатилган. Шунинг учун у кўп чегарали асбоблардан ҳисобланади.



31- расм.

**Ваттметрлар.** Бу асбоблар ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирларидаги қувват катталигини ўлчашда ишлатилади. Ваттметрлар электр ўлчов асбобларининг электродинамик системасига тааллуқли. Уларнинг ғалтакларидан бирининг қаршилиги кичик, иккинчисиники катта. Шунинг учун занжир қисмларига бири кетма-кет, иккинчиси параллел уланади.

**Ўлчов кўприклари.** Бу қурилмалар электр қаршиликлари, сифим, индуктивликларни ўлчашда қўлланилади. Ўлчов кўприкларининг ишлаш принципи физик катталикларни таққослашга асосланган. Бу мосламани мувозанатлаб, ўлчанаётган катталиқни ҳисоблаш зарур бўлган ифода ҳосил қилинади. 31-расмда ўзгарувчан ток кўприги тасвирланган бўлиб, кўприк елкаларидаги қаршилиқни ўзгартириш йўли билан мувозанат ҳолатга келтирилади, бу ҳолат AC диагоналга уланган индикатор билан кузатилади (A ва C нуқталар потенциали тенг бўлган ҳолат). Қуйидаги муносабатлар кўприк мувозанатини характерлайди:

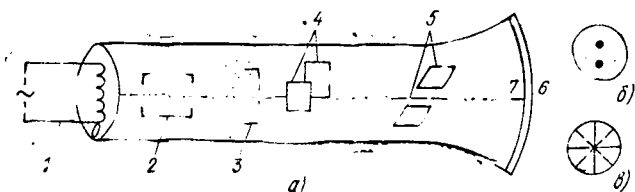
$$z_1 z_3 = z_2 z_4,$$

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$$

$z_i$  ва  $\varphi_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) мос равишда кўприк елкаларидаги қаршилиқлар, ҳамда ток кучи ва кучланиш орасидаги фаза фарқларидир. Бу муносабатлар воситаси билан қолган учта катталиқ берилган ҳолат учун битта номаълум физик катталиқ аниқланади.

**Осциллограф.** Бу асбоб тез ўзгарувчан электр сигналларини ўрганишда қўлланиладиган асбобдир. Осциллографнинг асосий элементлари электрон нур труба-си ва таъминлаш манбаидир (32-расм).

Электрон нур трубка ҳавоси сўриб олинган баллонга жойлаштирилган электрон пушка, вертикал ва горизонтал оғдирувчи пластинкалар, люминофор қатламли экрандан ташкил топгандир. Термоэлектрон эмиссия ҳодисаси катод 1 ни 0 спираль орқали қиздириш билан ҳосил қилинади. Катоддан чиқаётган электронлар 2 фокусловчи электрод томонидан йиғилиб электрон нур дастасини ҳосил қилади. Катод, фокусловчи электрод



32- расм.

ва тирқишга эга бўлган анод 3 биргалликда электрон пушка деб аталади.

Электрон пушкadan чиқаётган электронлар пластинкалари ўзарo перпендикуляр равишда жойлаштирилган ясси конденсаторлар орасидан ўтиб, электронлар таъсирида шуълаланувчи экран 6 га тушади.

Осциллограф панелида экрандаги шуъланинг ўлчамлари ва ёритилганлигини электрондрларга бериладиган потенциални ўзгартириш ёрдами билан бошқариш имкониятини берувчи „Ёрқинлик“ ва „Фокусловчи“ регуляторлари ўрнатилган. Шуъла вазияти „X“ ва „Y“ белгилар қўйилган регуляторлар орқали ўзгартирилади. 4 ва 5 конденсаторлар пластинкаларига кучланиш берилганда мос равишда шуъланинг горизонтал ва вертикал йўналишларда силжишлари кузатилади. Берилётган кучланиш қийматлари ва силжиш масофаларини аниқлаб, асбобнинг сезгирлигини аниқлаш мумкин:

$$S = \frac{L_{+-}}{V_{+-}} \frac{\text{мм}}{\text{В}} \quad (2.6)$$

Конденсатор пластинкаларига ўзгарувчан кучланиш берилганда шуъла гармоник тебранма ҳаракатга келади. Ушбу кучланишнинг катта частоталарида шуълаланувчи чизиқ ҳосил бўлади (32-в расм).

Асбобнинг сезгирлиги

$$S = \frac{L_{\sim}}{2\sqrt{2}u_{\text{эфф}}} = \frac{L_{\sim}}{2u_0}; \quad u_{\text{эфф}} = \frac{u_0}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

ифода билан аниқланади. Бу ерда  $u_0$  — ўзгарувчан кучланишнинг амплитуда қиймати,  $u_{\text{эфф}}$  — эффектив қиймати (стрелкали асбоблар кўрсатади). Агар иккала пластинкага бир вақтда бир хил синусоидал кучланиш берилса, у ҳолда бу тебранишлар қўшилиб тўғри чизиқни ҳосил қилади (32-в расмда пунктир чизиқ).

Ҳар икки конденсатор пластинкаларига турли манбалардан кучланиш берилса, яъни

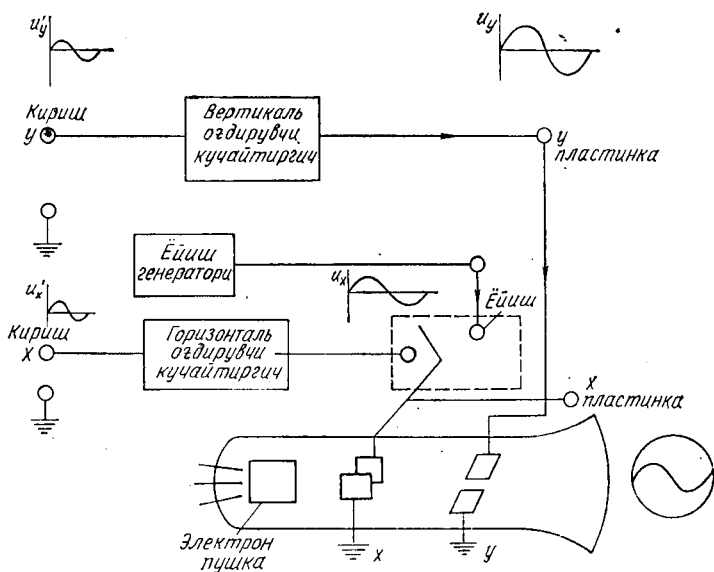
$$u_x = u_{ox} \cos(\omega_x t + \varphi_x) \text{ ва } u_y = u_{oy} \cos(\omega_y t + \varphi_y) \quad (2.8)$$

бўлса, у ҳолда экранда шуъла траекторияси мураккаблашиб, турғун бўлмаган манзара кузатилади. Агар частоталар орасидаги муносабат

$$\omega_x = n\omega_y \quad (n = 1, 2, 3, \dots, 1 \ 2 \ 1 \ 3 \ \dots)$$

шартни қаноатлантирса, ҳаракатсиз манзарани кузатиш мумкин. Частоталардан бирини аста-секин ўзгартириш йўли билан юқоридаги шартга эришилади. Бу ҳолда Лиссажу шакллари ҳосил бўлади.

Аррасимон кучланиш генератори горизонтал оғдирувчи пластинкаларни таъминлайди. Кучланишнинг аррасимон тебраниши релакцион тебранишларнинг хусусий ҳоли бўлиб,  $u(u_x)$  нинг кескин камайиши билан бир онда шуъла ўнгдан чапга қайтади.  $T_x = \frac{2\pi}{\omega_x}$  даврда бу жараён қайтарилиб туради. Бундай горизонтал ҳаракат билан бир вақтда унга вертикал синусоидал



33- расм.

кучланиш ҳам берилса, шуъла унга монанд ҳаракат қилади. Тебраниш даврлари  $T_x = nT_y$  ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ) муносабатни қаноатлантирганда осциллограф экранида турғун шакл пайдо бўлади.

33-расмда осциллографнинг соддалаштирилган тўлиқ блок схемаси келтирилган. Осциллографда юқорида кўриб ўтганимиздек электрон нурли трубкадан ташқари бир қанча элементлар мавжуд бўлиб, уларнинг жойлашуви 33-расмда блок схемасида курсатилган.

Булардан ташқари яна синхронизация занжири мавжуд бўлиб, у экрандаги шаклни турғун ҳолатга келтириш учун хизмат қилади. Энг содда синхронизация аррасимон кучланиш бош нуқтасини, ўрганилаётган сигналнинг шу нуқта фазасига мос келувчи фазали нуқтага мажбуран жойлаштиришдир. Синхронизацияловчи тебраниш частотаси аррасимон кучланиш частотасидан анча катта бўлиши керак. Кўпинча синхронизацияловчи кучланиш сифатида текширилувчи сигнал қўлланилади (ички синхронизация). Баъзан бошқа синхронизацияловчи кучланишни қўллаш зарур бўлади (ташқи синхронизация). Буларга мос „Ички“, „Ташқи“, „Тармоқдан“ бурғичлар мавжуддир.

### 3-§. Ўлчов асбобларининг сезгирлиги, бўлим қиймати ва хатоликлари

Электр ўлчов асбобларининг сезгирлиги ва бўлим қийматлари уларнинг сифатини белгиловчи параметрлар ҳисобланади.

Асбоб қўзғалувчан қисми бурилиш бурчаги орттирмасининг ўлчанадиган катталиқ орттирмасига нисбатини кўрсатувчи катталиқ асбоб сезгирлигидир. Масалан,  $dI$  қийматига эга бўлган ток қўзғалувчан қисмининг  $d\varphi$  бурчакка бурса, асбоб сезгирлиги  $\Delta = \frac{d\varphi}{dI}$  муносабатдан

аниқланади.  $C = \frac{1}{S} = \frac{dI}{d\varphi}$  катталиқ асбобнинг ток кучи бўйича бўлим қиймати деб юритилади. Бўлим қиймати асбобнинг ҳаракатланувчи қисмининг бир бўлимга бура олувчи физик катталиқни ифода қилади.

Асбобнинг аниқлик класи унинг корпусига ёзиб қўйилган 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 рақамлари орқали белгиланади. Бу рақамлар стрелка (ёки шуъла)нинг бутун шкала бўйича максимал оғишида кузати-

ладиган хатоликнинг процентлардаги ифодасидир. Шунинг учун кичик бўлимларга мос келувчи қиймат ўлчанганда катта нисбий хатога йўл қўйилади.

Масалан, аниқлик класи 0,5 бўлган асбобнинг шкаласи 150 бўлимга эга бўлсин, стрелка 1±0 бўлимга бурилганда нисбий хатолик 0,5% ва абсолют хатолик  $0,5\% \cdot 150 = \frac{0,5 \cdot 150}{100} = 0,75$  га тенг бўлади. Стрелка

25 бўлимга бурилганда эса нисбий хатолик 3%, абсолют хатолик эса 0,75 бўлади.

#### 4-§. Электр ўлчов асбобларининг ишлаш принципи ҳақида тушунча

Электр ўлчов асбоблари электр ҳодисалари билан боғлиқ бўлган физик қонуниятларга асосланиб ясалади. Улар ишлаш принципларига кўра қуйидаги турларга бўлинади: магнитоэлектрик, электромагнит, электродинамик, индукцион, электростатик, термоэлектрик, электрон, фотоэлектрон ва бошқалар.

**Магнитоэлектрик системага** тааллуқли ўлчов асбобларининг ишлаши қўзғалмас магнитнинг магнит майдони билан қўзғалувчан рамка чулғамидан ўтувчи электр токининг ўзаро таъсирига асосланган (34-расм).

Бу таъсир натижасида рамкага маҳкамланган стрелкани бурувчи куч momenti ҳосил бўлади:

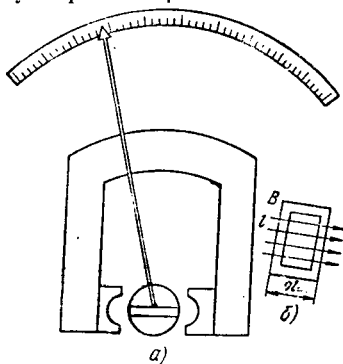
$$M_1 = F \cdot d = BIlNd = BISN = C_1 I, \quad (2.9)$$

бу ерда  $d$  рамканинг кенглиги,  $S = l \cdot d$  рамканинг юзи,  $N$  — рамкадаги чулғамлар сони,  $l$  — рамкадан оқиб ўтаётган ток кучи,  $C_1 = BS \cdot N$  пропорционаллик коэффициентидир.

Стрелкани тўхтатувчи куч momenti:

$$M_2 = C_2 \cdot \alpha. \quad (2.10)$$

$\alpha$  — стрелканинг бурилиш бурчаги  $M_1 = M_2$  тенгликни қаноатлантирса, стрелка тўхтайдди, бу бурчак:



34-расм.

$$\alpha = \frac{C_1}{C_2} I = kl. \quad (21.1)$$

Ушбу ифода магнитоэлектрик системага оид ўлчов асбобларининг шкаласи ўзаро тенг бўлимларга бўлиниши лозимлигидан далолат беради, яъни бурилиш бурчаги уни бурувчи куч моментини ҳосил қилувчи ток кучининг биринчи даражасига пропорционал.

Магнитоэлектрик системасидаги ўлчов асбоблари амперметрлар, вольтметрлар сифатида кенг қўлланилади. Бу системадаги асбобларнинг сезgirlиги юқори ва кам электр энергияси сарфлаши уларнинг афзалликлари ҳисобланади. Уларни ўзгарувчан ток занжирларига улашда махсус қўшимча элементлар-тўғрилагичлардан фойдаланиш зарур.

Электромагнит системасидаги ўлчов асбобларининг ишлаш принципи қўзғалмас токли ғалтак магнит майдонининг енгил темир ўзакка таъсирига асосланган (35-расм). Темир ўзакка таъсир этувчи куч momenti қуйидаги ифода билан аниқланади:

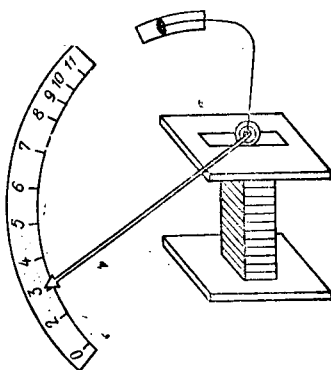
$$M_1 = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}, \quad (2.12)$$

бу ерда  $I$  — ғалтакдан ўгаётган ток кучи,  $L$  — ғалтакнинг индуктивлиги. Акс таъсир этувчи куч momenti  $M_2 = C_2\alpha$  ва  $M_1 = M_2$  шарт бажарилса:

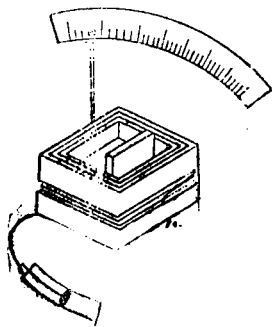
$$\alpha = \frac{1}{2C_2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \approx I^2. \quad (2.13)$$

Ушбу ифода электромагнит системасига оид асбоблар шкаласи ўзаро тенг бўлмай, ўзгариб борувчи кенгликлардаги бўлимларга эга бўлиши лозимлигини кўрсатади, яъни стрелка бурилиш бурчаги уни бурувчи куч моментини ҳосил қилувчи ток кучи квадратига тўғри пропорционал.

Электродинамик системага тааллуқли ўлчов асбоблари икки ғалтакдан ўтувчи токларнинг ўзаро таъсирларига асосланади. Бу ғалтаклардан бири қўзғалмас,



35- расм.



36- расм.

иккинчиси қўзғалувчан бўлиб, унга стрелка маҳкамланган (36-расм). Стрелкани бурувчи куч моменти:

$$M_1 = I_1 I_2 \frac{\partial M}{\partial \alpha} \cos \psi \quad (2.14)$$

уни

$$\alpha = k \frac{\partial M}{\partial \alpha} I_1 I_2 \cos \psi \quad (2.15)$$

бурчакка буради.  $I_1$  ва  $I_2$  мос равишда биринчи ва иккинчи ғалтакдан ўтувчи ток кучлари,  $k$  — пропорционаллик коэффи-

циенти,  $M$  — ўзаро индукция коэффиценти,  $\psi$  —  $I_1$  ва  $I_2$  тоklarнинг фаза фарқлари. Бу асбоблар ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида амперметр, вольтметр, ваттметр вазифаларини ўтайди. Электродинамик системасидаги асбобларга ташқи магнит майдони таъсир қилади.

Илмий-тадқиқот лабораторияларда, ишлаб чиқаришда асосан юқорида тавсиф этилган ўлчов асбоблари қўлланилади. Баъзи ҳолларда ушбу асбобларнинг тақомиллашган кўринишлари, жумладан, ташқи магнит майдон таъсири компенсацияланган астатик, ўзгарувчан токни тўғриловчи мосламаларга эга бўлган детекторли асбоблар ишлатилади. Шунингдек, юқори частотага электр занжирларида ишлатиладиган вибрацион (индукцион) асбоблар, рақамли ўлчов асбоблари ҳамда уларнинг турли кўринишдаги физик ҳодисаларни ўрганиш имкониятини бера оладиган хиллари бор.

## 5- §. Рақамли ўлчов асбоблар

Барча электр ўлчов асбобларини узлуксиз таъсир этувчи ва дискрет таъсир этувчи асбобларга бўлиш мумкин. Аввалги параграфда кўриб ўтилган асбоблар узлуксиз таъсирлиларга, рақамли ўлчов асбоблар эса дискрет таъсир этувчиларга киритилади.

Рақамли ўлчов асбоблари энг тақомиллашган ҳозирги замон асбобидир. Уларнинг асосий қисмини актив элементлар-радиолампа, ярим ўтказгичли элементлар ташкил этади. Ҳар бир актив элемент учун қуйидаги икки хусусият характерлидир: элемент 1



электр токини ўтказадн (очиқ ҳолат), элемент 2 электр токини ўтказмайди (ёпиқ ҳолат). Бу иккили саноқ системасига асосланган электрон ҳисоб қурилмаларини яшаш имкониятини ярагади. Иккили саноқ системаси асосини 10 эмас, 2 ташкил қилади, бу система рақамлари фақат 0 ва 1 лардан иборат. Масалан, 2 рақамни 10 кўринишида, 3—11, 4—100, 5—101 ва ҳоказо кўринишида ёзилади. Кўришиб турибдики, катта сонларни бу системада ёзиш анча ноқулай, шунинг учун ҳозирги замон электрон ҳисоблаш ва ўлчаш асбобларида иккили-ўнли системаси ишлатилади. Бу системада сонлар ўнли шаклда ёзилиб, ҳар бир рақам тетрада (четвертка) деб аталувчи иккили кўринишидаги тўртта разряддан иборат бўлади. Масалан, 572 сони 0101 0111 0010 кўринишида тасвирланади. Бундай ҳисоб системаси электрон ҳисоблаш машиналарида счётчик сифатида ишлатилади. Счётчик бир-бири билан электрик боғланган икки электрон лампа ёки транзистордан иборат бўлиб, у триггер деб аталади. Триггер иккига турғун ҳолатга эга:

1. Биринчи лампа очиқ, иккинчиси ёпиқ.

2. Биринчи лампа ёпиқ, иккинчиси очиқ.

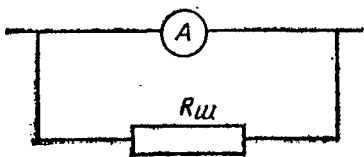
Иккили системада очиқ ҳолат 1, ёпиқ ҳолат 0 белгиси сифатида ишлатилади.

Ҳисоблаш қуйидагича ижро этилади.

Ўнли шаклдаги ҳар бир разряд, яъни тетрада ўзининг триггерига эга бўлади. Саналиши керак бўлган импульслар биринчи-кетини декаданинг кириш қисмига йўналиб, триггерни „айлантиради“, яъни очиқ лампалар ёпилади ва ёпиқлари очилади.

Триггернинг чиқиш кучланиши 0 ёки 1 кўринишида тасвирланади. Шундай қилиб, барча декадаларнинг турғун ҳолати иккили системасида ёзилган рақамларга мос келади. Декадалар сони тетрадалар сонига тенг бўлгани учун индикатор қурилмасига ўнли кўринишидаги ҳисобланаётган сонлар берилади.

Индикатор маълум рақамли лампалар билан боғланган. Бу лампалар бирор нейтрал газ тўлдирилган шиша баллон бўлиб, тўрсимон анод ва ҳар бири алоҳида 0 дан 9 гача бўлган рақамлар кўринишидаги катодлардан иборатдир. Анод билан катодлардан биринга кучланиш берилганда газ разряди ҳосил бўлиб индикатор таблосида катод шаклига мос келувчи рақам тасвирланади.



37- расм.



38- расм.

## 6-§. Электр ўлчов асбобларининг қўшимча элементлари

Амперметр ёки миллиамперметрга параллел уланиб, уларнинг ўлчаш чегараларини оширишга ёрдам берувчи қаршиликлар шунтлар деб юритилади. Бундай қаршиликлар амперметрлардан ўтаётган ток кучи миқдорини камайтириш имкониятини бера оладиган

қилиб асбобга параллел уланади (37- расм). Шунт қаршилиги қуйидаги ифодадан ҳисобланади:  $R_{ш} = \frac{R_A}{n-1}$ , бунда  $n = \frac{I}{I_A}$ , бу ерда  $I$  — занжирдаги ток кучи,  $I_A$  — амперметрдан оқаётган ток кучи,  $R_A$  — амперметрнинг ички қаршилиги.

Шунт қаршилиги сифатида солиштирма қаршилиги катта, термик коэффиценти кичик бўлган материаллар ишлатилади.

Вольтметрга кетма-кет уланиб, уларнинг ўлчаш чегараларини кенгайтиришга ёрдам берувчи қаршиликлар қўшимча қаршиликлар деб юритилади (38- расм). Улар қуйидаги ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$R_g = R_V(n-1); \quad n = \frac{u}{u_B} = \frac{R}{R_V}, \quad (2.17)$$

бу ерда  $R_V$  — асбобнинг ички қаршилиги,  $u$  — умумий кучланиш,  $u_B$  — вольтметрдаги кучланиш.

## 7-§. Электр катталикларини ўлчаш хатоликларини ҳисоблаш

Электр ўлчов асбоблари ёрдамида ўлчанган физик катталикнинг абсолют хатолигини ҳисоблашда уларнинг аниқлик класидан фойдаланилади. Ўлчов асбоби кўрсатадиган максимал қиймат  $A'$  ва аниқлик класи  $n$  бўлсин, у ҳолда асбобнинг абсолют хатолиги

$$\Delta A = A' \cdot n$$

бўлади. Масалан, вольтметрнинг аниқлик класи 0,2 ( $n = 0,002$ ), шкаласи 50 В га мўлжалланган бўлса, унинг абсолют хатолиги  $\Delta u = 0,002 \cdot 50 = \pm 0,01$  В бўлади.

Электр юритувчи кучи  $E$  бўлган элементнинг ички қаршилигини ўлчашдаги хатоликни ҳисоблайлик. Электр юритувчи кучни ва кучланишни ўлчашда аниқлик класи 0,5 ( $u = 2,5$  В) бўлган вольтметр, ток кучини ўлчашда аниқлик класи 0,01 ( $I = 1,5$  А) бўлган амперметр ишлатилсин. Ўлчаш натижасида  $E = 2$  В,  $u = 1,3$  В ва  $I = 1,2$  А аниқланган бўлсин, у ҳолда

$$\Delta E = \Delta u = \pm 0,005 \cdot 2,5 \text{ В} = \pm 0,0125 \text{ В},$$

$$\Delta I = \pm 0,01 \cdot 1,5 = \pm 0,015 \text{ А}.$$

Ички қаршилиқ  $r = \frac{E - u}{I} \approx 0,58$  Ом.

Максимал нисбий хатолик қуйидаги усул билан аниқланади. Охириги нфодани логарифмлаб, абсолют ва нисбий хатоликлар ҳисобланади:

$$\ln r = \ln(E - u) - \ln I,$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta(E - u)}{E - u} + \frac{\Delta I}{I} \approx 0,05,$$

$$\Delta r = \pm 0,05 \cdot 0,58 = \pm 0,03 \text{ Ом}$$

ва натижа қуйидагича ёзилади:

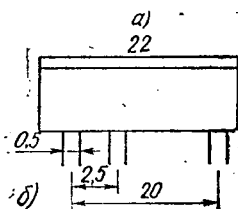
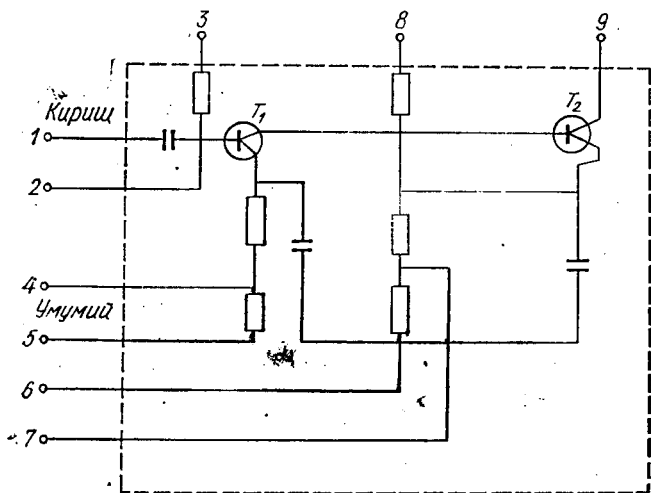
$$r = (0,58 \pm 0,03) \text{ Ом}.$$

Ушбу бўлим сўнгида содда электр занжирлари, баъзи ўлчов асбоблари ҳақидаги тушунчаларни мустаҳкамлаш ҳамда урга мактаб материалларини такрорлаш мақсадида таклиф этиладиган лаборатория ишларини келтирамиз. Бу ишларни бажариш учун тўлиқ маълумот-кўрсатмалар берилмай, студентларга йўланма берувчи, уларнинг фикрлаш, изланиш қobiliятларини ривожлантиришга имкониёт яратувчи саволлар келтирилган.

## 8-§. Интеграл микросхемалар ҳақида тушунча

Ҳажмининг  $10^{-6}$  м<sup>3</sup> қисмида беъш ва ундан ортиқ элемент жойлашадиган схемалар микросхемалар деб аталади. Элементлари ёки уларнинг бир қисми ўзаро

электрик боғланиб, бир бутун қурилмани ҳосил қиладиган микросхемалар интеграл микросхемалар дейилади. Интеграл микросхемалар бир вақтнинг ўзида юзлаб микросхемалар ясашига мўлжалланган планар технология асосида тайёрланади. Бу технология яримўтказгич асосда турли қатламли диффузия, оксидлаш, фотолитография усуллари билан асбоблар ясаш демакдир. Интеграл микросхемалар ясашда эпитаксиал қатламга эга бўлган кремний қўлланилади. Кремний ва бошқа яримўтказгич материалларидан ясалиб ташқи таъсирдан муҳофазаловчи корпусга жойлаштирилган интеграл микросхемалар яримўтказгичли интеграл микросхемалар дейилади. Соддалиги, чидамлилиги туфайли ярим ўтказгичли интеграл микросхемалар кенг қўлланилади. Микросхема ичидаги маълум бир группа элементлари алоҳида тайёрланиб йиғилса, булар гибрид интеграл микросхемалар ҳисобланади. Улар 8, 12, 18



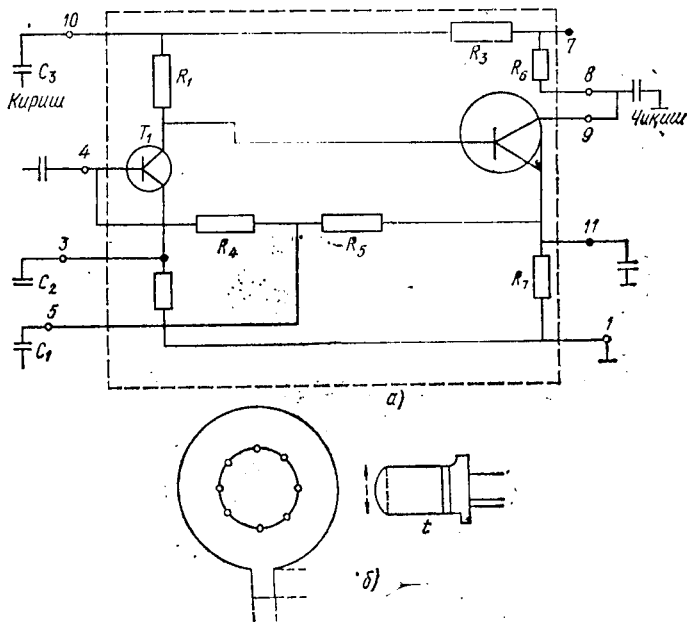
39- расм.

тадан оёқчалари бўлган корпусга жойлаштирилади (39-расм).

Булардан бошқа технологик усулларни қўллаш йўли билан тайёрланадиган микросхемалар ҳам мавжуд бўлиб, улар ҳақидаги маълумотлар махсус фанларда берилади.

Интеграл микросхемалар функционал вазифасига кўра икки асосий категорияга бўлинади — аналогли ва рақамли. Аналогли интеграл микросхемаларга узлуксиз функция сигналларни ўзгартиришга ва қайта ишлашга мўлжалланганлари киради. Хусусий ҳолда булар чизиқли характеристикали микросхемалар бўлиши мумкин. Рақамли интеграл микросхемалар иккили ёки бошқа рақамли кодларда ифодаланган сигналларни ўзгартиришга ва қайта ишлашга мўлжалланган.

Интеграл микросхемалар ҳарф ва сонлар билан белгиланади. Улар билан таништириб ўтамиз: ҳозирги вақтда асосий микросхемаларнинг белгиси *K* ҳарфи билан бошланади, бу ҳарфдан кейинги белгиларни 4 та элементга бўлиш мумкин. Биринчи элемент бир қатор



40- расм.

сонлар бўлиб, улар тайёрланиш технологиясини кўрсатади — 1, 5, 7 рақамлари яримўтказгичли, 2, 4, 6, 8 рақамлари гибрид ва 3 рақами бошқа усуллар асосида тайёрланганлигини билдиради. Иккинчи элемент яна рақамлар бўлиб, тайёрланиш тартиб номери-сериясини билдиради, учинчи элемент иккита ҳарфдан иборат бўлиб, микросхема группачаси ва кўринишини билдиради. Тўртинчи элемент мазкур серияга тааллуқли микросхеманинг номеридир. Масалан, К1УС221—К микросхема, 1- яримўтказгичли, 221 серияси, УС—синусоидал кўчайтиргич (40- расм).

Агар шартли белги охирида ҳарф қўйилган бўлса, бу шу сериядаги бир хил интеграл микросхемаларнинг бир-биридан электрик параметрларининг турлича бўлиши билан фарқ қилишини кўрсатади.

Интеграл схемаларда „К“ ҳарфидан сўнг „П“ ҳарфи бўлса, бу схеманинг корпуси пластмассадан, „М“ ҳарфи бўлса, керамикадан тайёрланганини билдиради, „Б“ ҳарфи микросхемаларнинг корпуссиз эканлигини кўрсатади. Агар „К“ ҳарфидан сўнг „Э“ ҳарфи бўлса, у ҳолда шу сериядаги интеграл микросхемалар чег давлатларга экспорт қилиш учун чиқарилганини билдиради.

## 9- §. Ўлчов асбоблари билан танишиш ва содда электр занжирларини йиғишга доир ишлар<sup>1</sup>

### 1. Амперметр ва вольтметрни даражалаш

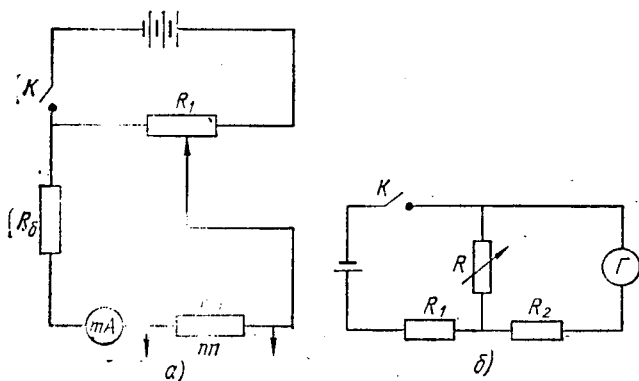
#### а) Амперметрни даражалаш

1. Амперметр билан қандай катталиклар ўлчанади?
2. Амперметр занжирга қандай уланади?
3. Электр занжирларига уланадиган қаршиликларнинг вазифаларини айтинг.
4. 41- расмдаги келтирилган электр схемаларини тушутиринг.

5. Ўлчов асбоби даражаланмаган бўлса, потенциометр ва маълум қаршиликлар, электр юритувчи кучи қийматларидан фойдаланиб, унда ўтаётган ток кучини ҳисоблаш мумкинми?

---

<sup>1</sup> Ушбу параграфда келтирилган лаборатория ишларининг назарий қисми 3—4 та савол билан алмаштирилган бўлиб, улар студент ари адабиётдан кейин фойдалана билишга, элементлар физикадан олган билимларини амада қўллай билишга ундади.



41- расм.

### Тажриба ўтказиш

1- у су л. 1. 41-а расмда келтирилган схема асосида электр занжири йиғилади.

2.  $R_2$  қаршилликнинг турли қийматларига мос келувчи амперметр кўрсатиши  $n$  ни ва  $I = \frac{u}{R_2}$  ифодадан фойдаланиб, ток кучини ҳисоблаб, жадвалга ёзилади:

$n$				
$I$				

3. Даражалаш эгрилиги  $n = f(I)$  миллиметрли қоғозга чизилади.

2- у су л. 1. 41-б расмда келтирилган схема асосида электр занжири тузилади.

2. Манба электр юритувчи кучи авометр билан ўлчанади (ёки лаборатория столига ёзиб қўйилган қийматдан фойдаланилади).

3.  $R_2$  қаршилик максимал,  $R$  қаршилик минимал ҳолатга келтирилади.

4.  $R_2$  қаршилликни камайтириб ва  $R$  ни орттириб, уларнинг бир печа қийматларига мос келувчи гальванометр стрелкаси кўрсатиши  $n$  ёзиб олинади ва

$I = \frac{eR}{R_1(R_2 + R_2 + R) + R(R_2 + R_2)}$  ифодадан ток кучи қий-

мати ҳисобланади,  $R_g$  — гальванометрнинг ички қаршилиги.

5. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади:

№	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R$ , Ом	$n$	$I$ , А

6. Даражалаш эгрилиги  $n = f(I)$  миллиметрли қоғозга чизилади.

б) *Вольтметрни даражалаш*

1. Вольтметр қандай катталикларни ўлчашда ишлатилади?

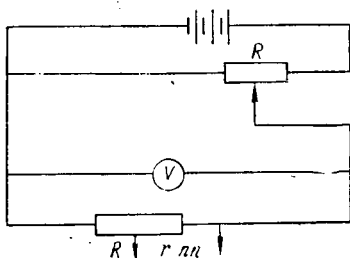
2. Вольтметр занжирга қандай уланади?

3. Қаршиликлар электр занжирларига нима учун уланади?

4. 42-расмда келтирилган схема асосида электр занжири тузилади.

5.  $R_1$  қаршиликнинг бир неча қийматлари учун вольтметр стрелкаси кўрсатиши  $n$  ва  $u = \frac{R+r}{r} u_{np}$  ифодадан кучланиш ҳисобланиб жадвалга ёзилади.

$n$				
$u$				



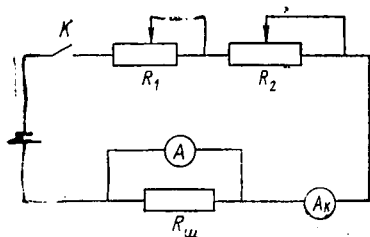
42- расм.

6. Даражалаш эгрилиги  $n = f(u)$  миллиметрли қоғозга чизилади.

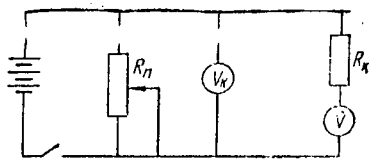
2. Амперметрга шунт танлаш

1. Шунт нима, нима учун амперметрга шунт уланади?





43- расм.



44- расм.

2. Амперметрга шунт улаш схемасини чизинг.

3. Ток кучининг тармоқланиши ва занжирнинг бир қисми учун Ом қонунидан фойдаланиб, шунт қаршиликни ҳисоблаш ифодаси  $R_{ш} = \frac{I_{асб}}{I_{ул} - I_{асб}} R_{асб}$  ҳосил қилинади.

4. Миллиамперметр қаршилиги  $R_{асб}$  авометр ёрдами билан ўлчанади ва бу асбоб шкаласидан аниқлаш мумкин бўлган чегаравий ток  $I_{асб}$  белгиланади.

5. 1 А га тенг чегаравий токни ўлчаш учун зарур бўлган шунт қаршилиги ҳисобланади ва мавжуд қаршиликлардан ёки маълум узунлик ( $l = \frac{\pi d^2 R_{ш}}{4\rho}$ ) даги симдан ушбу қаршилик танлаб олинади.

6. Схемаси 43- расмда келтирилган электр занжири йиғилади.

7.  $R_1$  реостат ёрдамида занжирдаги ток кучи 1 А га келтирилади.  $R_2$  реостатдан фойдаланиб занжирдаги токнинг минимал қиймати ўрнатилади ва аста-секин 1 А гача ўзгартириб, иккала ўлчов асбоби кўрсатишлари жадвалга ёзиб олинади.

$I_{асб}$	
$R_M$	

8. 5,7- пунктларни 2 А ва 2,5 А ток кучлари учун такрорланади.

3. Вольтметрга қўшимча қаршилик танлаш

1. Цима учун вольтметрга қўшимча қаршилик уланади?

2. Вольтметрга қўшимча қаршилик улаш схемасини чизинг.

3. Занжирнинг бир қисми учун Ом қонунидан фойдаланиб, қўшимча қаршиликларни аниқлаш ифодаси ёзилади:  $R_k = \frac{u - IR_V}{I}$ .

4. Авометр ёрдамида вольтметр ички қаршилиги  $R_V$  ўлчанади ва чегаравий ток кучи аниқланади.

5. Ўлчанадиган кучланишнинг чегараси қилиб маълум бир кучланиш  $u$  танланади ва қўшимча қаршилик қиймати  $R_k$  ҳисобланиб, мавжуд резисторлардан танлаб олинади ва улар вольтметрга уланади.

6. Схемаси 44-расмда келтирилган электр занжири тузилади.

7. Потенциометрик уланган  $R_n$  қаршиликнинг бир неча вазиятлари учун контроль  $V_k$  вольтметр ва йиғилган  $V$  вольтметр кўрсатишлари ёзиб олинади ва  $\Delta u = |u_k - u|$  айирмага тенг тузатма ҳисобланади. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

$u_x$	
$u$	
$\Delta u$	

8. 5, 6, 7-пунктларни 3 В ва 6 В кучланиш учун такрорланади.

4. Қаршиликларни амперметр ва вольтметр ёрдами билан аниқлаш

1. Занжирнинг бир қисми учун Ом қонуни ифодасини ёзинг.

2. Ом қонунидан фойдаланиб қаршиликни аниқлаш учун электр занжири схемаси чизилади ва занжир тузилади.

3. Берилган занжир ва  $R_x = \frac{u}{I - \frac{u}{R_V}}$  ёки  $R_x = \frac{u - u_A}{I}$

ифодадан фойдаланиб ўтказгичлар қаршилиги аниқланади.

4. Ўтказгичларни кетма-кет улаб, уларнинг қарши-

ликлари аниқланади ва ҳисобланган  $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$  қиймати билан солиштирилади.

5. Ўтказгичларни параллел улаб, уларнинг қаршиликлари аниқланади ва ҳисобланган  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$  қиймати билан солиштирилади.

6. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

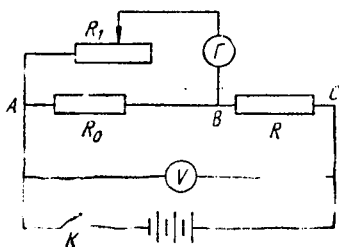
$R$	$N$	$I, A$	$R_x, \text{ Ом}$	$\bar{R}_x, \text{ Ом}$	$\Delta R_x, \text{ Ом}$	$\Delta \bar{R}_x, \text{ Ом}$	$\varepsilon, \%$
$R_{x_1}$	1 2 3						
$R_{x_2}$	1 2 3						
$R_{x_n}$	⋮						
$R_{x_{\text{кк}}}$	1 2 3						
$R_{x_{\text{пар}}}$	1 2 3						

5. Гальванометрнинг ток кучи ва кучланиш бўйича бўлим қийматларини аниқлаш

1. Гальванометр қандай асбоб?

2. Гальванометрнинг ток кучи ва кучланиш бўйича бўлим қийматлари нима?

3. Схемаси 45-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.



45- расм.

4.  $I = k_i n$  ифодадан гальванометрнинг бўлим қиймати  $k_i = \frac{I}{n}$  (стрелканинг оғиши), ток кучи  $I = \frac{u_{AB}}{R_2 + r_g}$ , агар  $R_1 = 0$  ва  $u_{AB} = \frac{u}{R + R_0} R$  эканлиги ҳисобга олинса, гальванометрнинг ток кучи бўйича бўлим қийматини аниқлаш ифодаси  $k_i = \frac{u R_0}{n(R + R_0) r_g}$  ҳосил бўлади.

5.  $u = k_v \cdot n = k_i r_g n$  ёки  $k_v = k_i r_g$  ифодалар ва аввалги пунктдаги мулоҳазалардан фойдаланиб, гальванометрнинг кучланиш бўйича бўлим қиймати учун  $k_v = \frac{u R_0}{n(R + R_0)}$  ифода ҳосил қилинади.

6.  $R_1 = 0$  ҳолат учун гальванометр кўрсатиши ва кучланиш  $u$  аниқланади.

7. Авометр ёрдами билан  $R_0$ ,  $R$ ,  $r_g$  қийматлар ўлчанади.

8. Ўлчанган катталиклар орқали  $k_i$  ва  $k_v$  ҳисобланади ва жадвал тўлдирилади.

№	$R_0$ , Ом	$R$ , Ом	$n$	$u$ , В	$k_i$ А/бўл	$k_v$ , В/бўл

6. Ток манбаининг фойдали иш коэффициентини аниқлаш

1. Электр манбалари фойдали иш коэффициенти нима?

2. Электр зарядини берк занжир бўйлаб кўчиришда бажарилган тўлиқ иш  $A$ , манба ичида кўчиришда бажарилган иш  $A_1$ , ташқи қисми бўйлаб кўчиришдаги иш  $A_2$  ҳамда фойдали иш  $A_3$  ифодалари ёзилади.

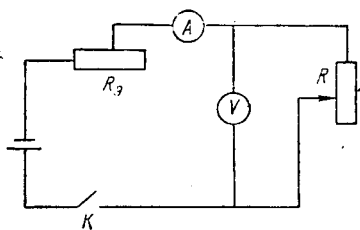
3. Фойдали иш коэффициентини аниқлаш ифодаси

$$\eta = \frac{A_3}{A} = \frac{A_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{I^2 R t}{I^2 r t + I^2 (R + R_3) t} = \frac{R}{R_3 + R + r}$$

ҳосил қилинади ( $R_3$  — электр энергиясини узатувчи симларнинг қаршилиги,  $r$  — элементнинг ички қаршилиги,  $R$  — истеъмолчи қаршилиги).

4. Схемаси 46-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.

5.  $r$  ни авометр ёрдамида ўлчанади,  $R_3 = \text{const}$  бўлгандаги қаршиликнинг бири-биридан фарқ қилувчи 8—10 қиймати учун  $\eta$  аниқланиб,  $\eta = f(R)$  эгри чизиги чизилади.



46- расм.

6.  $R = \text{const}$  бўлгандаги  $R_3$  нинг бир неча қиймати учун  $\eta$  ҳисобланади ва  $\eta = f(R_3)$  боғланиш графиги ҳосил қилинади.

7. 5 ва 6- пункт натижаларидан фойдаланиб,  $u = f(R)$  ва  $I = f(R)$  функциялар графиги чизилади.

8.  $\eta = f(R)$ ,  $\eta = f(R_3)$ ,  $u = f(R)$ ,  $I = f(R)$  эгриликлар изоҳланади.

#### 7. Авометрнинг қўлланиш усуллари билан танишиш

1. Авометр қандай асбоб?

2. Авометр ёрдамида ўзгармас ва ўзгарувчан ток кучлари қандай ўлчанади.

3. Авометр билан ўзгарувчан ва ўзгармас кучла-нишларни ўлчанг.

4. Берилган ўтказгичлар ва реостатнинг қаршиликларини ўлчанг.

5. Электр занжирларидаги камчилликларни ўрганишда авометрдан қандай фойдаланилади?

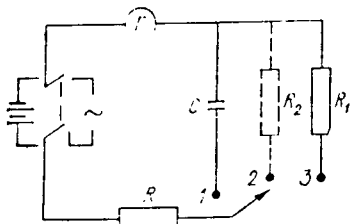
6. Авометр режими бузилмаслиги учун уни қандай ҳолатда сақлаш лозим?

7. Берилган электр занжири (47-расм) да калитларни турли (1, 2, 3) ҳолатларга қўйиб, унинг иш режими авометр ёрдамида кузатилинсин.

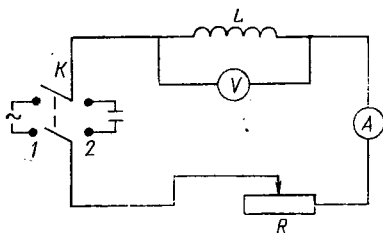
#### 8. Ўтказгичларнинг қаршиликларини турли усуллар билан аниқлаш

1. Ўтказгичларнинг электр қаршиликларини ўлчаш усулларини айтинг.

2. Мис, алюминий сим-лари, реостат, металл бў-



47- расм.



48- расм.

лакчалари қаршиликларини содда усуллар билан аниқланг.

### 9. Ғалтак индуктивлигини аниқлаш

1. Узиндукция ҳодисаси ҳақида нима биласиз? Индуктивлик ва унинг ўлчов birlikлари-

ни айтиб беринг.

2. Индуктивлик ғалтаги ва қаршиликдан иборат ўзгарувчан ток занжири учун Ом қонуни ифодасини ёзинг. Актив ва реактив қаршиликларни қандай аниқлаш мумкин?

3. Схемаси 48-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.  $K$  иккиёқлама калитни 1 ҳолатга қўйиб, амперметр ва вольтметр кўрсатиши ёзиб олинган, индуктивлик ғалтагининг актив қаршилиги  $R_0 = \frac{u_0}{I_0}$  ҳисобланади.

4.  $K$  калитни 2 ҳолатга қўйиб, занжирнинг умумий қаршилиги ҳисобланади:  $R_L = \frac{u}{I}$ .

5. Ғалтакнинг омик қаршилиги ва тўлиқ қаршилигини билган ҳолда унинг индуктивлиги  $L = \frac{\sqrt{R_L^2 + R_0^2}}{\omega}$  ифодадан фойдаланиб ҳисобланади.

6. 3, 4, 5- пунктлар ток ва кучланишнинг бошқа қийматлари учун ҳам бажарилади.

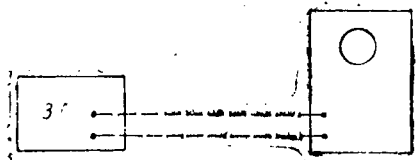
7. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

№	$u_0$ , В	$I_0$ , А	$u$ , В	$I$ , А	$R_0$ , Ом	$R_L$ , Ом	$L$ , Гн	$\bar{i}$ , Гн	$\Delta L$ , Гн	$\Delta \bar{L}$ , Гн	$\epsilon$ , %

### 10. Осциллограф ишини ўрганиш

а) Осциллограф экрандаги сигналларни ўрганиш

1. Схемаси 49-расмда келтирилган электр занжир йиғилади.



49- расм.

2. Ёйиш кучланишнинг ўзгармас қийматларида товуш генератори сигналлари частотасини ўзгартириб экрандаги шакллар шаффоф қоғозга чизиб олинади ва улар тушунтирилади.

б) *Осциллографнинг асосий параметрларини аниқлаш*

1. Блок схемаси 50-расмда келтирилган занжир йиғилади.

2. Товуш генераторидан навбат билан  $x$  ва  $y$  пластинкаларга сигнал берилади ва уларга мос шуъла узунлиги  $l_x$  ва  $l_y$ , лампали вольтметрдан унинг қиймати  $u_x$  ва  $u_y$  ёзиб олинади.

3.  $j_x = \frac{l_x}{u_x}$ ,  $j_y = \frac{l_y}{u_y}$  ифодадан горизонтал ва вертикал пластинкалар сезгирлиги ҳисобланади.

4. Осциллографнинг частота характеристикаси аниқланади. Бунинг учун вертикал оғдирувчи пластинка четки чап ҳолатга, горизонталники четки ўнг ҳолатга ўрнатилади. Генератордан берилаётган 1 кГц частотага мос келувчи  $L$  аниқланади, бошқа частоталар учун ҳам тажриба такрорланиб,  $L = f(\omega)$  боғланиш ҳосил қилинади ва унинг графиги чизилади.

в) *Кучланишни ўлчаш*

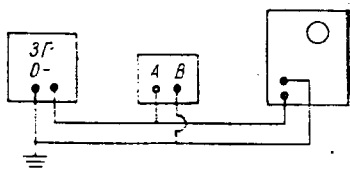
1. Схемаси 50-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.

2. Генератордан берилаётган турли кучланиш қийматлари учун узунлик аниқланади.

3.  $u = \frac{l}{2j}$  ифодадан кучланиш қиймати ҳисобланади.

г) *Қаъшликларни ўлчаш*

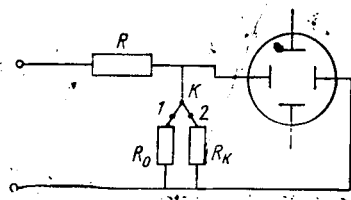
1. Схемаси 51-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.



50- расм.

2.  $K$  калитни 1 ҳолатга қўйиб, экранда ҳосил бўлган шуъла узунлиги  $l$  ўлчанади.

3.  $K$  калитни 2 ҳолатга қўйиб, экранда  $l_0$  узунликдаги шуъла ҳосил бўлгунча  $R_0$  қаршилик ўзгартирилади. Бу ҳолда  $R_x = R_0$  бўлади.



51-расм.

## 11. Рақамли ўлчов асбобларини ўрганиш

(Ш 68000 вольтметр ёрдами билан ток кучи ва кучланишни ўлчаш)

1. *Асбобни тайёрлаш* а) „Тармоқ“ кнопка босилади, бунда рақамлар таблоси ёритилади ва 20 минут давомида қиздирилади. Переключатель „0,04 S“ ҳолатга келтирилади.

б) Асбобда кўрсатилган ўлчаш чегаралардан бири ўрнатилиб, ноль ҳолат аниқланади.

2. *Кучланишни ўлчаш.* а) Асбобнинг ўлчаш режими ўрнатиш учун кучланиш кнопкаси босилади.

б) Ток манбалари ва потенциометрдан фойдаланган ҳолда занжир йиғилади, ўлчаниши лозим бўлган кучланиш 10V ёки 1000V белгили клеммаларга уланади.

в) асбобнинг кўрсатиши ёзиб олинади ва паспортида келтирилган  $\Delta \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{u_0}{u} - 1 \right) \right] \%$  ифодадаги максимал хатолик ҳисобланади (бу ерда  $u_0$  — ўлчаш чегараси,  $u$  — ўлчанадиган кучланиш қиймати).

3. *Ток кучини ўлчаш.* а) асбобнинг ўлчаш режими ўрнатиш учун МА ёки 0,1 МА кнопкалар босилади.

б) ўлчаш чегараларини кўрсатувчи переключатели ўлчаниши лозим бўлган чегарага ўрнатилади  $x$  ва 1 клеммаларга сигнал берилади.

в) асбоб кўрсатиши ёзиб олинади ва  $\Delta = \pm \left[ 0,1 + 0,02 \left( \frac{I_0}{I} - 1 \right) \right] \%$  ифодадан максимал хатолик аниқланади.



## Контрол Ҷавоблар

1. Электр ўлчов асбоблари қандай турларга бўлиниди: ишлаш принципага кўра, қўлланишига кўра, занжирдаги токнинг турига кўра, конструкциясига кўра ва бошқа белгиларига кўра.

2. Магнитоэлектрик, электромагнит, электродинамик, электростатик системасига кирувчи асбобларнинг ишлаш принципини айтиб беринг.

3. Электр ўлчов асбобларининг сезgirлиги, бўлим қиймати, аниқлик класи ҳақида маълумот беринг.

4. Электр ўлчов асбобларининг ўлчаш чегараларини қандай ўзгартириш мумкин?

5. Электр занжири ва схемаси нима?

6. Рақамли ўлчов асбоблари ҳақида маълумот беринг.

7. Интеграл схемалар нима?

8. Электр кўприкларнинг ишлаш принципини айтиб беринг.

9. Осциллограф қандай асбоб, унинг қўлланиш соҳаларини айтиб беринг.

10. Турли электр катталиклари (электр сизими, ўтказгич қаршилиги, индуктивлиги ва бошқалар) ни ўлчаш усулларини айтиб беринг.

## 11-§. Электростатика

*Назарий маълумотлар.* Маълумки, жисмлар атомлардан ташкил топган. Атомлар мусбат зарядланган ядро ва унинг атрофида ҳаракатланувчи электронлардан тузилган. Нормал ҳолатда жисмдаги, ёхуд атомдаги мусбат ва манфий зарядларнинг миқдори бир-бирига тенг. Улар электронейтрал ҳолатда бўлади. Агар бирор таъсир туфайли бу модда ўз электронларидан ажралса, у мусбат зарядланади, аксинча, қабул қилса, манфий зарядланади. Демак, зарядланган жисмнинг заряди унинг, нейтрал ҳолатидагига нисбатан, етмаган ёки ортиқча электронлари сони  $N$  билан аниқланади. Электронларнинг сони  $N$  ва битта электрон заряди  $e$  билан белгиланса, шу жисм заряди  $Ne$  бўлади.

Нуқтавий зарядларнинг ўзаро таъсири Кулон қонунига бўйсунди. Икки нуқтавий заряд орасидаги ўзаро таъсир кучи бу зарядларнинг миқдорига тўғри, улар орасидаги масофа квадратига тескари пропорционал бўлиб, уларни бирлаштирувчи тўғри чизиқ бўйлаб йўналади:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \quad (2.19)$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м, абсолют электр доимийси,  $\epsilon$  — муҳитнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги. Бир

хил ишорали зарядларнинг таъсири — итариш кучи  $F > 0$ , ҳар хил ишорали зарядларнинг тортишиш кучи  $F < 0$  бўлади.

Халқаро бирликлар системасида заряд бирлиги қилиб кулон (Кл) қабул қилинган. 1 секундда ўтказгичдан 1 ампер (А) ток ўтса, ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан ўтган заряд миқдори 1 кулон бўлади.

Зарядларнинг таъсири майдон воситасида намоён бўлади. Тинч турган заряд майдони электростатик, яъни вақт ўтиши билан ўзгармайдиган майдон дейилади. Майдонни характерлаш учун майдон кучланганлиги тушунчаси киритилади. Бирлик мусбат зарядга таъсир қилаётган кучга сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқ электр майдон кучланганлиги дейилади:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2.20)$$

(2.19) ва (2.20) формулаларга асосан нуқтавий заряд майдонни кучланганлиги:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r},$$

ёки унинг модули:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{\epsilon r^2}. \quad (2.21)$$

Майдон кучланганлиги унинг куч характеристикасидир. Майдоннинг бирор нуқтасида унга киритилган зарядга кўрсатилаётган таъсир кучи (2.20) ифодага кўра

$$\vec{F} = q_0 \cdot \vec{E} \quad (2.22)$$

кўринишга эга.

Майдоннинг нуқтавий зарядлар системаси ёки бирор зарядланган жисм томонидан юзага келишини, шунингдек диэлектрик муҳит мавжуд бўлган ҳолларини кўриб чиқамиз. Зарядланган жисмлар системаси томонидан юзага келган майдоннинг кучланганлиги ҳар бир заряд ҳосил қилган майдон кучланганлигининг вектор йиғиндисига тенг:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (2.23)$$

Зарядланган жисм учун:

$$\vec{E} = \int d\vec{E}.$$

Бу ифодалар орқали зарядланган системаларнинг майдон кучланганлигини ҳисоблаш анча мураккаб. Кўп ҳолларда бир текис зарядланган симметрик шаклга эга бўлган жисмларнинг майдон кучланганлиги Гаусс теоремаси орқали аниқланади.

Ихтиёрий ёпиқ сиртни кесиб ўтаётган майдон кучланганлиги оқими:

$$\Phi = \int_S E_n dS, \quad (2.24)$$

шу сирт ичидаги зарядларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\int_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i, \quad (2.25)$$

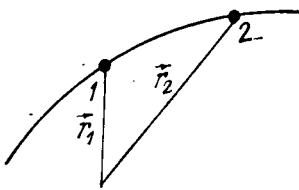
$E_n$  — кучланганлик векторининг  $dS$  юзга ўтказилган нормал йўналишидаги ташкил этувчиси. Агар заряд бирор диэлектрик муҳитга жойлашган бўлса, электр майдон куч чизиқлари бир муҳитдан иккинчисига ўтганда ўзгаради. Бу ҳолат майдон кучланганлигини ҳисоблашда маълум қийинчиликларни туғдиради. Диэлектрик модда электр майдонга киритилганда, диэлектрикларда боғланган зарядлар қутбланиб, асосий майдонга тескари йўналишда қўшимча майдон ҳосил қилади ва дастлабки майдонни кучсизлантиради, агар молекула дастлаб диполь тарзда бўлмаса, майдонга киритилгач, у диполга айланади. Бу жараёнини характерлаш учун силжиш вектори деб аталувчи катталиқ киритилади:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} \quad \text{ёки} \quad \vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}. \quad (2.26)$$

Бу ифодалар мос равишда вакуум ва изотроп диэлектрик муҳит учун силжиш векторининг майдон кучланганлиги билан боғланишини кўрсатади. Силжиш вектори учун Гаусс теоремаси қуйидагича ифодаланади:

$$\oint D_n dS = \sum_i q_i. \quad (2.27)$$

$D_n$  ўзгармас бўлса, (2.27) ифодадаги интеграл, юзанинг қийматини беришини ва  $\sigma = \frac{dq}{dS}$  муносабатни ҳи-



собга олсак, силжиш вектори бир текисда зарядланган ўтказгич учун қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$D = \sigma \quad (2.28)$$

(2.26) ифодага асосан

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.29)$$

52- расм.

Демак зарядланган ўтказгичнинг электр майдон кучланганлиги заряд сирт зичлигига тўғри пропорционал бўлади.

Электростатик майдон ҳам гравитацион майдон каби потенциал характерга эгадир. Чунки майдон кучларининг бирлик зарядни майдон бўйлаб, кўчиришда бажарган иши, ҳаракат траекториясига боғлиқ бўлмай, кўчирилувчи заряднинг бошланғич ва охириги вазиятлари билан характерланади. Масалан,  $q$  нуқтавий заряд майдонида бирлик заряди 1 нуқтадан 2 нуқтага (52-расм) кўчирилишида  $A$  иш бажарилсин:

$$A = \int_r \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_r q_0 \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{d\vec{r}}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r},$$

$|d\vec{r}| = r dr$  ни ҳисобга олиб,

$$A = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.30)$$

ифодани ҳосил қилиш мумкин, бу ерда  $r_1$  ва  $r_2$  1 ва 2 нуқта ҳолатларини характерлайдиган катталиқ. (2.30) ифода электр майдонида зарядлар кўчириш иши йўл шаклига боғлиқ эмаслигини кўрсатади. Демак, потенциал характерга эга бўлган майдоннинг асосий хусусиятларидан бири майдон кучланганлик векторининг циркуляцияси нолга тенг бўлишидир, яъни

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{e} = 0. \quad (2.31)$$

Потенциал майдонда бажарилган иш унга киритилган бирлик мусбат заряд энергиясининг камайишига тенгдир:

$$A = -\Delta W = W_1 - W_2. \quad (2.32)$$

Бу ифодани (2.30) билан солиштирсак,

$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (233)$$

эканлиги кўринади, бу ерда  $\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1}$ ,  $\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2}$  катталиклар мос равишда нуқтавий заряд майдонининг 1 ва 2 нуқталаридаги потенциаллари деб юритилади.

Шундай қилиб, потенциал электростатик майдоннинг энергетик характеристикаси бўлиб, унга киритилган заряд потенциал энергиясининг шу заряд миқдorigа нисбатига  $\frac{W_n}{q}$  сон жиҳатдан тенг бўлган катталикдир.

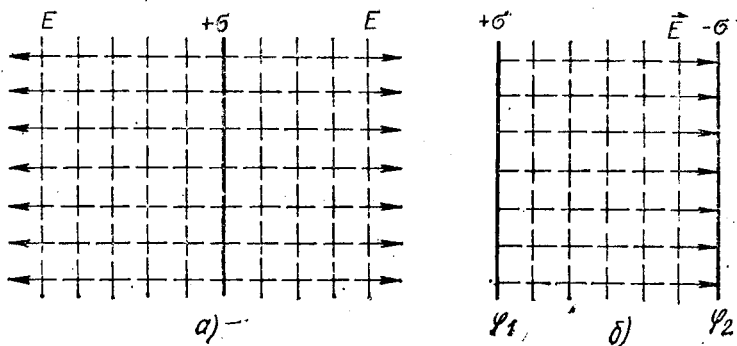
Хусусан нуқтавий заряд майдонига киритилган бирлик мусбат заряд  $q_0$  нинг потенциал энергияси  $W_n = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r}$  ва шу нуқтадаги майдон потенциаллари

$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$  ифода кўринишига эгадир.

Потенциаллари тенг бўлган нуқталарнинг геометрик ўрни эквипотенциал сирт дейилади. Нуқтавий заряд майдонининг эквипотенциал сирти чексиз кўп сфералардан иборатдир.

Электр майдонининг таъсир қилиш йўналишини белгилаш учун куч чизиғи тушунчаси киритилади. Куч чизиғи деб шундай чизиққа айтиладики, бу чизиқнинг ҳар бир нуқтасига ўтказилган уришма шу нуқтадаги майдон кучланганлик йўналишига мос келади. Бу тарифга асосан мусбат нуқтавий заряднинг куч чизиқлари радиал равишда заряддан чексизликка, манфий нуқтавий заряднинг куч чизиқлари эса чексизликдан зарядга қараб йўналган бўлади. Агар куч чизиқларининг йўналиши кучланганлик таъсир йўналишини белгиласа, уларнинг зич ёки сийраклиги майдоннинг кучли ёки кучсизлигини ифода қилади.

Агар майдоннинг ҳамма нуқталарида  $E = \text{const}$  бўлса, бундай майдон бир жинсли майдон деб юритилади. Бир жинсли майдоннинг эквипотенциал сирти ўзаро параллел текисликлар кўринишида бўлади: куч чизиқлари эквипотенциал сиртларга перпендикуляр бўлади. Чунки заряд эквипотенциал сирт бўйлаб кўчирилганда бажарилган иш нолга тенг, лекин бу иш  $dA = = q_0 \vec{E} d\vec{r} \cos(\vec{E} d\vec{r})$  ифода орқали ҳам аниқланади, бу ифода  $E$  ва  $d\vec{r}$  орасидаги бурчак  $90^\circ$  бўлгандагина нолга тенг бўлишини тушуниш қийин эмас. Куч чи-



53- расм.

зиқлари ва эквипотенциал сиртлар ўзаро перпендикуляр.

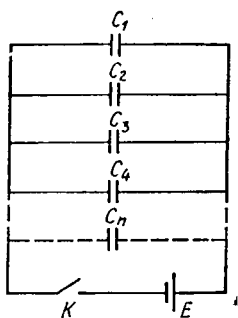
Бир текисда зарядланган пластинканинг майдон кучланганлиги бир жинсли бўлиб, унинг сирти эквипотенциал сирт бўлади. Майдоннинг эквипотенциал сиртлари пластинкага параллел текисликлардир (53- а расм). Миқдор жиҳатдан тенг, лекин қарама-қарши зарядланган икки параллел пластинка майдони ҳам бир жинсли бўлиб, эквипотенциал сиртлари ўзаро параллел текисликлардан ташкил топган (53- б расм). Ҳар икки пластинка эквипотенциал сирт бўлиб, уларнинг потенциаллари  $\varphi_1$  ва  $\varphi_2$  кўринишида белгиланса, у ҳолда пластинкалар орасидаги майдон кучланганлиги қуйидагича аниқланади:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{u}{d}.$$

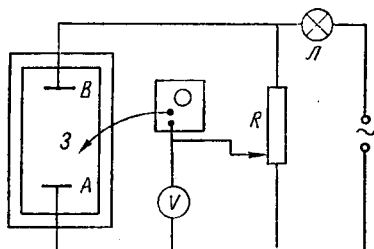
Бирлик мусбат заряд майдони учун кучланганлик ва потенциал нфодаларини солиштирсак, улар орасидаги боғланиш  $E = \frac{\varphi}{r}$  муносабатини ҳосил қилиш мумкин. Бундай майдон кучланганлиги Халқаро бирликлар системасидаги бирлиги В/м ҳосил бўлади. Ихтиёрий шаклдаги зарядлар майдони учун кучланганлик ва потенциал орасидаги боғланиш қуйидагича ёзилади:

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dr} \quad \text{ёки} \quad \vec{E} = -\text{grad}\varphi. \quad (2.34)$$

Шундай қилиб, майдон кучланганлиги потенциалдан олинган градиентга тенг бўлиб, потенциалнинг кама-



55-расм.



56-расм.

бир жиисли майдоннинг миқдорий параметрларини аниқлаш усули билан танишиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 113—119-бетлар, [1] боб, 4, 5, 6, 7-§ [2] 5, 6, 13, 14-§; [3] 4, 5, 10-§.

Тажириба қурилмасининг асосий қисмини пеликсиядан ясалган идиш (ванна) даги сувга жойлаштирилган электродларнинг электростатик майдон модели (физик модели) ташкил қилади. Сувнинг электр ўтказувчанлиги металликкага нисбатан жуда кичик бўлгани учун ундаги электродлар манбага уланганда сувдан жуда кучсиз ток ўтади. Бу токнинг зичлиги Ом қонунига асосан  $\vec{j} = \gamma \vec{E}$  ифода билан аниқланади ( $\gamma$  — сувнинг солиштирма ўтказувчанлиги).

Қурилмада ток чизиқлари майдон чизиқлари билан мос тушади ва электролитик ваннадаги эквипотенциал сиртлар электр майдон эквипотенциал сирглари ҳисобланади.

*Тажириба қурилмаси ва уни ўтказишга доир кўрсатмалар*

Ваннага солинган электролит бир жиисли ва катта омик қаршиликка эга бўлиши керак.

Потенциали бир хил бўлган нуқталар изоляцияланган дастага ўрнатилган учли ўтказгич—зонд  $\mathcal{Z}$  ёрдами билан аниқланади (56-расм). Зонднинг иккинчи учи ўлчов асбоби (осциллограф, гальванометр, вольтметр) га, асбобнинг иккинчи клеммаси реостат жилгичига уланади.

Эквипотенциал сирт потенциали реостат  $R$  билан потенциометрик уланган вольтметр  $V$  ёрдамида аниқланади. Электролитга туширилган зонднинг потенциали

вольтметр кўрсатишига тенг бўлганда зонд занжиридан ток ўтмайди. Буни индикатор-гальванометр стрелкасининг ноль қийматни кўрсатиши ёки осциллограф экрандаги шуъланинг нуқтага айланишидан билиш мумкин. Ўзгарувчан ток уланган занжирга лампочка *L* ёки катта қаршилиқ уланса, улар қурилмани „*A*“ ва „*B*“ электродлар бехосдан бир-бирига текканда содир бўладиган қисқа туташувдан сақлайди.

Қндирилайётган нуқталар ванна остига ўрнатилган ва координата тўри туширилган миллиметрли қоғоз ёрдамида аниқланади.

### *Ишни бажариш тартиби*

1. Схемаси 56-расмда келтирилган электр занжири йиғилади, ваннага сув қуйилиб, майдони текшириладиган электродлар ўрнагилади.

2. Ванна ўлчамларига тенг ёки маълум масштабда кичрайтирилган миллиметрли қоғоз олинади ва электродларнинг шакли ва ўрни қоғозда белгиланади.

3. Осциллограф манбага уланиб, реостатнинг жилгичи охириги нуқтага суриб қўйилади ва *B* электроднинг энг катта потенциали аниқланади. Зонд учи бу электродга теккизилса, осциллограф экрандаги тўғри чизиқ нуқтага айланади (гальванометр стрелкаси нолни кўрсатади). Вольтметрнинг кўрсатиши ёзиб олинади.

4. Реостат ёрдами билан вольтметрнинг кўрсатишини 10% га камайтириб ва унинг потенциалига тенг бўлган нуқтани ваннадаги электродлар атрофидан аниқлаб, ёзиб олинади.

5. Вольтметр кўрсатишини ўзгартирмай, эквипотенциал сирт чизигини чизиш учун бир-биридан 1—2 см узоқликда ётган нуқталар аниқланади.

6. Вольтметр кўрсатишини яна 10% га камайтириб, 4 ва 5-пунктлар такрорланади. (Тажриба 3—4 марта такрорланиши керак.)

7. Аниқланган нуқталар асосида эквипотенциал сиртларнинг чизиқлари ва кучланганлик чизиқлари чизилади. Бу чизиқлардан фойдаланиб, майдоннинг бир жинсли қисмлари учун  $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$  ифодадан кучланганлик аниқланади.

8. Ваннага бошқа шаклдаги электродларни тушириб, 4, 5, 6 ва 7-пунктлар такрорланади.



2-лаборатория иши. Конденсаторлар сифимини кўприк усули билан ўлчаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* конденсатор электр сифимларини Сотти кўприги ёрдамида аниқлаш.

Адабиёт. Ушбу қўлланма 119—120-бетлар, [1] 3 боб, 1, 3-§; [2] 24, 25, 26 27-§; [3] 26-§.

1. Схемаси 57-расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда  $C_x = AB$  тармоққа ва  $C_0$  эса  $BD$  тармоққа уланган сифими номаълум ва маълум конденсаторлар,  $AD$  — реохорд — бир жинсли ўтказгич,  $TГ$  — товуш генератори.

2. Электр кўпригининг ишлаш принципи (ушбу қўлланма 90-бет) билан танишиб, унинг мувозанат шартидан  $C_x = C_0 \frac{e^2}{l_1}$  ифода ҳосил қилинади. Сифим қаршиликлари:

$$R_{C_x} = \frac{1}{\omega C_x} \quad \text{ва} \quad R_{C_0} = \frac{1}{\omega C_0}.$$

Мувозанат ҳолатдаги реохорд елкалари қаршиликлари:

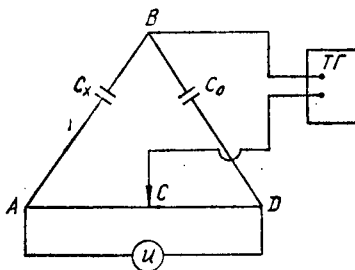
$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S}; \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S}.$$

3. Тажриба столида жойлаштирилган сифими номаълум конденсаторлардан бири занжирга уланади ва  $l_1 \approx l_2$  ҳол учун конденсаторлар магазинидан фойдаланиб, индикаторнинг ноль ҳолига мос келувчи нуқта топилади.

4. Реохорднинг жилгичини суриб, индикаторнинг ноль нуқтаси белгиланади. Бу нуқта 3-пунктда тахминий, бу пунктда эса аниқ топилади.  $C_x$  нинг қийматлари яна бир неча марта аниқланади.

5. Кейинги номаълум сифимли конденсаторлар учун ҳам 3 ва 4-пунктларни такрорлаб,  $C_x$ ,  $l_1$  ва  $l_2$  қийматлари ўлчанади.

6. Ўлчанган номаълум сифимли конденсаторларни ўзаро кетма-кет ва параллел улаб, 3 ва 4-пунктлар такрорланади, бу натижаларнинг (2.37), (2.38) ифодалар билан ҳисобланган қийматлари солиштирилади, фарқи тушунтирилади.



57- расм.

7. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

	Конденсаторлар	$C_0, \Phi$	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$C_{x1}, \Phi$	$C_{x2}, \Phi$	$\Delta C_x$	$\Delta \bar{C}_x$	$\Delta C_x / C_x$
1 2 3	$C_{x1}$								
1 2 3	$C_{x2}$								
1 2 3	Параллел								
1 2 3	Кетма-кет								

3- лаборатория иши. Қаттиқ жисмларнинг диэлектрик сингдирувчанлигини аниқлаш

*Ишни баъсаришдан мақсад:* диэлектрикнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлигини аниқлаш.

Адабиёт. Ушбу қўлланма 114—116; 119—120- бетлар, [1] 2 боб, 2, 3, 4-§, [2] 15, 16, 17, 18, 19-§; [3] 10, 12, 13, 15-§.

Ўрганилаётган диэлектрик пластинка конденсатор қопламалари орасига, бир жинсли майдонга жойлаштирилади, у ҳолда бу майдоннинг кучланганлиги ўзгаради, конденсатор қопламаларидаги заряд унинг сирт зичлиги ва электр майдон индукция вектори ўзгармайди. Икки хил диэлектрик пластинка навбатма-навбат махсус мослама ёрдами билан ясси конденсатор қопламалари орасига киритилса, мос равишда майдон кучланганлиги  $E_1$ ,  $E_2$ , кучланиш  $u_1$ ,  $u_2$ , диэлектрик сингдирувчанлик  $\epsilon_1$  ва  $\epsilon_2$  ўзгаради, бу ҳол учун қуйидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{u_1 d}{u_2 d} = \frac{u_1}{u_2}, \quad \frac{u_1}{u_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}.$$

Агар пластинкалардан бирининг диэлектрик сингдирувчанлиги маълум бўлса,  $\epsilon_x = \epsilon \frac{u}{u_x}$  муносабатдан иккинчисиники ҳам аниқланади.

*Ишни бажариш тартиби*

1. 58-расмда келтирилган схема асосида электр занжири йиғилади.

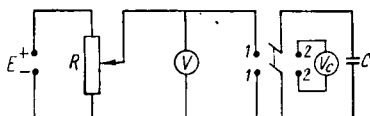
2. *П* переключатель *1* ҳолатга қўйилиб, *V* вольтметр кўрсатиши  $u_0$  аниқланади, кейин *2* ҳолатга қўйилиб,  $V_c$  вольтметрдан  $u_x$  қиймат ёзиб олинади.

3. *C* конденсатор қопламаси орасига текширилувчи диэлектрик пластинкалардан бири жойлаштирилади ва  $u_0$  нинг 2-пунктдаги қиймати учун  $V_c$  вольтметрдан  $u_x$  қиймат ёзиб олинади.

4. Бошқа диэлектрик пластинкалар учун ҳам 3-пункт такрорланиб,  $\epsilon_x = \epsilon \frac{u}{u_x}$  (бунда  $\epsilon = 1$  ҳавонинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги) муносабатдан пластинканинг диэлектрик сингдирувчанлиги аниқланади.

5.  $u_0$  нинг бошқа қийматлари учун 3 ва 4-пункт такрорланади.

6. Ўлчаш хатоликлари ҳисобланади. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.



58- расм.

№	$u$ , В	$u_x$ , В	$\epsilon$ ,	$\epsilon_x$ ,	$\bar{\epsilon}_x$	$\Delta\epsilon_x$	$\Delta\epsilon_x$ ,	$\frac{\Delta\epsilon_x}{\epsilon_r} \times 100\%$

*Контрол саволлар*

1. Электростатик майдон деб нимага айтилади?
2. Электростатик майдон қандай катталиклар билан характерланади?
3. Электростатик майдонни график усулда қандай тасвирлаш мумкин?
4. Гаусс теоремасидан фойдаланиб, турли усуллар билан ҳосил қилинган майдон кучланганликлари қандай аниқланади?
5. Электростатик майдонга киритилган ўтказгич, диэлектрик, ярим ўтказгичларда қандай ҳодисаларни кузатиш мумкин?
6. Диэлектрик сингдирувчанлик тушунчалари нимани кўрсатади?
7. Ўтказгичларнинг электр сигими нима?
8. Конденсаторлар, уларнинг сигимлари ва электр занжиридаги вазифаларини айтиб бериңг.
9. Тажрибада электростатик майдонни ўрганиш усулларини айтиңг.
10. Конденсатор сигимлари қандай усуллар билан ўлчанади? Бу усулларнинг асосий моҳияти ва афзалликларини айтиңг.

## 11-§. Ўзгармас ток қонунларини ўрганиш

*Назарий маълумотлар.* Зарядли зарраларнинг тартибли ҳаракати электр токи дейилади. Зарядланган ва потенциаллари турлича бўлган икки ўтказгични учинчи ўтказгич билан уласак, бу икки ўтказгичнинг потенциаллари тенглашгувча ундан қисқа муддатли электр токи ўтади.

Ўтказгичда юзага келган электр майдони ундаги эркин электронларни майдон кучланганлигига тескари йўналишида тартибли ҳаракатга келтиради (59-расм). Электронларнинг бу ҳаракати мусбат зарядларнинг майдон бўйлаб ҳаракатига эквивалентдир. Токнинг йўналиши қилиб мусбат зарядларнинг тартибли ҳаракат йўналиши қабул қилинган.

Вақт бирлиги ичида ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан оқиб ўтган заряд миқдорига тенг бўлган катталик ток кучи дейилади ва у қуйидагича ифодаланади:

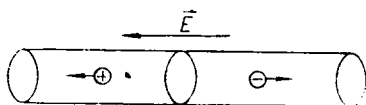
$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.39)$$

Вақт бирлиги ичида оқаётган заряд миқдори ўзгармайдиган электр токи ўзгармас ток деб юритилади. Ўзгармас ток учун (2.39) ифода қуйидагича ёзилади:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.40)$$

Халқаро birlikлар системасида ток кучининг бирлиги ампер (А) бўлиб, ушбу системада асосий birlik ҳисобланади. Ўтказгичдаги ток кучи 1 А бўлганда 1 секундда ўтган заряд миқдори 1 кулон бўлади. Вакуумда бир-биридан 1 м масофада жойлашган, жуда кичик кўндаланг кесим юзига ва чексиз узунликка эга бўлган параллел тўғри чизиқли ўтказгичлардан ток ўтиши нағижасида ўтказгич узунликларининг ҳар бир метрига  $2 \cdot 10^{-7}$  Н га тенг бўлган куч таъсир қилса, у ҳолда ўтказгичлардаги ток кучи 1 амперга тенгдир.

Электр токининг йўналишини характерлайдиган катталик ток кучининг зичлиги бўлиб, унинг йўналиши мусбат зарядли зарранинг электр майдонидаги ҳаракат йўналиши билан мос бўлади. Ток кучи ва унинг зичлиги орасида



59- расм.

$$I = \int_S \vec{j} \vec{m} dS \quad (2.41)$$

боғланиш мавжуддир, бу ерда  $\vec{j}$  — ток зичлиги,  $dS$  — зарядлар оқими ўтадиган юз элементи,  $\vec{m}$  — юзга перпендикуляр йўналган бирлик вектор.

Агар электр майдонида тартибли ҳаракатланаётган зарядли зарраларнинг концентрация  $n$ , тезлиги  $u$  бўлса, у ҳолда ток зичлиги  $\vec{j} = nqu\vec{e}$  ёки электрон учун ( $q = e$ )

$$\vec{j} = ne\vec{u} \quad (2.42)$$

кўринишида ифодаланади, бу ерда  $e$  — электрон заряди.

Ток ўтказгичдаги потенциаллар фарқининг функцияси:

$$I = f(u). \quad (2.43)$$

Бу боғланиш ўтказгичнинг вольтампер характеристикаси ҳисобланади.

Муайян шароитда  $\frac{u}{I} = R$  нисбат ўзгармас катталиқ бўлиб, (2.43) боғланиш

$$I = \frac{u}{R} \quad (2.44)$$

кўринишида ёзилади (металлар учун) (2.44) ифода электр занжирининг бир жинсли (ЭЮК бўлмаган) қисми учун Ом қонуни бўлиб, ток кучининг кучланишга тўғри пропорционал эканлигини кўрсатади.  $R$  ўтказгичнинг қаршилиги деб юритилади ва Ом деб қабул қилинган бирликда ўлчанади. Ўтказгич учларидаги кучланиш 1 В бўлганда, ундан 1 А ток ўтса, бу ўтказгичнинг қаршилиги 1 Ом бўлади,  $1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}$ .

Узунлиги  $l$  ва кўндаланг кесими  $S$  бўлган бир жинсли цилиндрик ўтказгичнинг қаршилиги:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.45)$$

$\rho$  — ўтказгичнинг табиатига боғлиқ бўлган коэффициент бўлиб, солиштирма қаршилик дейилади. Ихтиёрий шакл-

даги ўтказгич қаршилиги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$R = \int_l \rho \frac{dx}{S(l)}. \quad (2.46)$$

(2.45) ни (2.44) га қўйиб,  $\frac{1}{\rho} = \gamma$  солиштирма ўтказувчанлик,  $\frac{u}{l} = E$  бир жинсли майдон кучланганлиги,  $\frac{l}{S} = j$  ток зичлиги эканлигини эътиборга олсак, бир жинсли ўтказгич учун Ом қонунининг дифференциал ифодаси ҳосил бўлади:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}. \quad (2.47)$$

Бир жинсли оўлмаган ўтказгич қисми учун бу ифода қуйидагича:

$$\vec{j} = \gamma (E + E'). \quad (2.48)$$

Электр қаршилиги ўтказгичдаги эркин электронларнинг тартибсиз ҳаракати ва кристалл панжара тугунларига жойлашган мусбат ионларнинг тебранма ҳаракатлари туфайли юзага келади. Бу ҳаракатлар температурага боғлиқ бўлгани учун ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги ҳам температурага боғлиқ:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (2.49)$$

бу ерда  $\rho_0$ ,  $0^\circ \text{C}$  даги ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги,  $\alpha$  — термик коэффициент. Ўтказгичнинг қаршилиги температурага боғлиқ:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t), \quad (2.50)$$

$R_0$  —  $0^\circ \text{C}$  даги ўтказгич қаршилиги.

Шунингдек, электр майдони таъсирида тартибсиз ҳаракатга келтирилган эркин электронлар ўзларининг хаотик ҳаракати туфайли ўтказгич кристалл панжарасидаги мусбат ионлар билан тўқнашиб, ўз энергияларининг бир қисмини уларга узатади. Бу энергия ўтказгичда иссиқлик тарзида намоён бўлади, унинг интеграл кўринишидаги ифодаси:

$$Q = I^2 R t = I u t. \quad (2.51)$$

$j = \frac{I}{S}$  ва (2.47) муносабатларга асосан вақт бирлиги

ичида ўтказгичнинг ҳажм бирлигидан ажралиб чиққан иссиқлик миқдори

$$w = \frac{Q}{Slt} = \gamma E^2. \quad (2.52)$$

(2.51) ва (2.52) ифодалар занжир қисмлари учун Жозуль-Ленц қонунининг мос равишда интеграл ва дифференциал ифодалари, ток ўтиш жараёнида электр энергиянинг бир қисми иссиқлик энергияси сифатида йўқотилиб турилади.

Демак, занжирдан узлуксиз ток оқиши учун зарядни кўчиришда йўқотилган энергияни ташқи куч ёрдами билан тўлдириб туриш керак. Табиати ноэлектрик бўлган бу кучнинг бажарган иши ЭЮК деган физик катталик билан белгиланади:

$$\epsilon = \oint \vec{E}' d\vec{l} \quad (2.53)$$

(2.53) ифодада  $E'$  — мусбат бирлик зарядга таъсир қилаётган ноэлектрик куч майдонининг кучланганлиги,  $d\vec{l}$  — заряднинг кўчиш масофаси. Шундай қилиб, мусбат бирлик зарядни ёпиқ контур бўйлаб кўчиришда ташқи кучнинг бажарган ишига сон жиҳатдан тенг бўлган катталик ЭЮК дейилади. У потенциаллар фарқи каби вольт (В) да ўлчанади. Кўпинча ЭЮК манбаи кутбларига уланган вольтметрнинг кўрсатиши ЭЮКнинг сон қиймати сифатида қабул қилинади. ЭЮК уланган занжир учун Ом қонуни:

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}, \quad (2.54)$$

бунда  $r$  — ЭЮК манбаининг қаршилиги. Агар ташқи қаршилик  $R = 0$  бўлса, у ҳолда занжирдан оқаётган ток ўзининг энг катта қийматига эришади. Бу ҳодиса қисқа туташув дейилади. Қисқа туташувда манбаининг қуввати ҳам максимал бўлади:

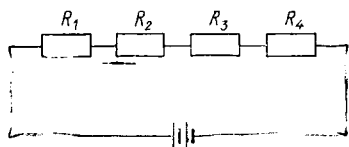
$$N = I \cdot \epsilon. \quad (2.55)$$

Ташқи қаршилиқда ажралиб чиққан қувват:

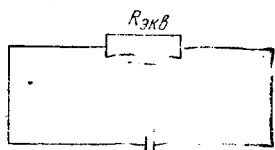
$$N = Iu. \quad (2.56)$$

Халқаро birlikлар системасида қувват бирлиги ватт (Вт) дир.

1 Вт = 1 А · В, унинг системага кирмаган birlikлари 1 гВт =  $10^2$  Вт, 1 кВт =  $10^3$  Вт, 1 МВт =  $10^6$  Вт.



60- рasm.



61- рasm.

Энергия бирлиги жоуль (Ж),  $1 \text{ Ж} = 1 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{с}$ . Электротехникада ишлатиладиган энергия бирликлари:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{сaat} = 10^3 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ж}.$$

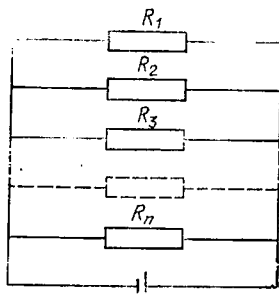
Ом қонуни ифодаларидан фойдаланиб, содда электр занжирларидаги токни аниқлаш мумкин. Кўпинча занжирларга бир неча қаршиликлар кетма-кет ёки параллел уланиши мумкин. Агар қаршиликлар ўзаро кетма-кет уланган бўлса, бу занжир битта елкадан таъкил топган бўлади. Электр асбоблари кетма-кет уланган занжирнинг қисми елка дейилади. Елкадан бир хил ток ўтади. Қаршиликлар кетма-кет уланган занжирни (60-рasm) унга эквивалент бўлган содда занжир (61-рasm) билан алмаштириш мумкин. Ҳар икки занжирга Ом қонунини татбиқ этиб, қуйидаги тенгламаларни ҳосил қиламиз:

$$u = I(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) \text{ ёки } u = IR_{\text{экв}},$$

бу икки тенгламаларнинг тенглигидан

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \text{ ёки}$$

$$R_{\text{экв}} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (2.57)$$



62- рasm.

ни ҳосил қилиш мумкин. Демак, қаршиликлар кетма-кет уланганда эквивалент қаршилик занжирга киритилган қаршиликлар йиғиндисига тенг.

Қаршиликлар параллел уланганда, уларнинг сонига қараб, елкалар белгиланади, масалан  $n$  та қаршилик параллел уланса, бу занжирда  $n$  та елка бўлади (62-рasm). Умумий ток  $n$  та тармоққа тармоқланади.



Бу занжирдаги токнинг умумий миқдори елкалардаги токнинг йиғиндисига тенг бўлади, яъни  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ . Занжирнинг бир қисми учун Ом қонунига асосан:

$$\frac{u}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{u}{R_1} + \frac{u}{R_2} + \frac{u}{R_3} + \dots + \frac{u}{R_n}.$$

Бу тенгламалардан қуйидаги муносабатни аниқлаш мумкин:

$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}. \quad (2.58)$$

Шундай қилиб, қаршиликлар ўзаро параллел уланганда эквивалент қаршиликнинг тескари қиймати занжирдаги барча қаршиликлар тескари қийматларининг йиғиндисига тенг бўлар экан.

Уч ва ундан ортиқ ўтказгичларнинг уланган нуқта-си занжир тугунлари дейилади. Масалан, 7 та токли ўтказгич тугунда учрашсин (63-расм). Зарядларнинг сақланиш қонунига асосан тугунга келаётган заряд миқдори ундан чиқиб кетаётган заряд миқдорига тенг:

$$q_1 + q_2 + q_3 = q_4 + q_5 + q_6 + q_7.$$

Зарядларнинг оқиш вақти ўзаро тенг бўлгани учун тугундаги ток кучлари йиғиндиси қуйидаги муносабатда ёзилади:

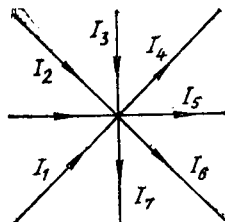
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6 + I_7. \quad (2.59)$$

(2.59) ифодани ихтиёрий сондаги ўтказгичлар учун ёзамиз:

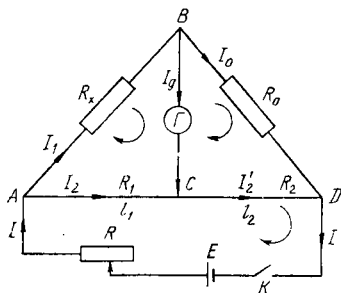
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0. \quad (2.60)$$

Шундай қилиб, тугунда учрашаётган ток кучларининг алгебраик йиғиндиси нолга тенг. Бу Кирхгофнинг биринчи қонунидир.

Мураккаб занжирларнинг ихтиёрий ёпиқ қисмлари учун қуйидаги ифода ўринлидир:



63- расм.



64- рasm.

$$\sum_{i=0}^n I_i R_i = \sum_{k=1}^N \varepsilon_k. \quad (2.61)$$

Бу ифода Кирхгоф иккинчи қонунининг аналитик ифодаси. У шундай таърифланади: тармоқланган электр занжиридаги ихтиёрий берк контур учун, бу контур айрим қисмларидаги ток кучларининг мос қисмларидаги қаршиликларга кўпайтмаларининг алгебраик йиғиндиси

ушбу контурдаги барча ЭЮКларнинг алгебраик йиғиндисига тенг.

Ихтиёрий шаклга эга ва бир жинсли бўлмаган ўтказгичларнинг қаршиликларини илмий лабораторияларда ва техникада кўприк усули билан аниқланади. Бу усулда қўлланиладиган электр занжири схемаси 64-рasmда келтирилган. Кўприкнинг мувозанат ҳолатини аниқлаш *C* жилгич ёрдамида реохордда потенциали *B* нуқтаникига тенг бўлган нуқтани топиш демакдир. Кўприк мувозанатга келганда индикатор вазифасини бажарувчи гальванометрдан ўтаётган токнинг нолга тенг бўлиши кўрсатади.

Берилган занжир схемаси учун Кирхгофнинг биринчи қонидасини татбиқ этамиз. Схemaдаги тугунлар сони тўртта (*A*, *B*, *C*, *D*), улардан учтаси учун тенгламалар тузилади:

$$\left. \begin{aligned} A \text{ тугун учун } I - I_1 - I_2 &= 0 \\ B \text{ тугун учун } I_1 - I_d - I_0 &= 0 \\ C \text{ тугун учун } I_2 + I_d - I_2' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.62)$$

Ажратиб олинган контурлар учун унинг айланиш йўналиши бўйлаб Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида қуйидаги тенгламалар тузилади:

$$\left. \begin{aligned} ABCA \text{ контур учун } I_1 R_x + I_d R_d - I_2 R_1 &= 0 \\ BDCB \text{ контур учун } I_0 R_0 - I_d R_d - I_2' R_2 &= 0 \\ ABDEA \text{ контур учун } I_1 R_x + I_0 R_0 + IR &= E. \end{aligned} \right\} \quad (2.63)$$

Занжирнинг мувозанат ҳолати учун  $I_d = 0$  бўлади ва юқорида келтирилган тенгламалар системаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 & I_2 R_x &= I_2 R_1 \\ I_2 &= I_2' & I_1 R_0 &= I_2 R_2. \end{aligned} \quad (2.64)$$

Буларнинг ўзаро нисбатидан

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2}$$

муносабатни ҳосил қилиш мумкин.

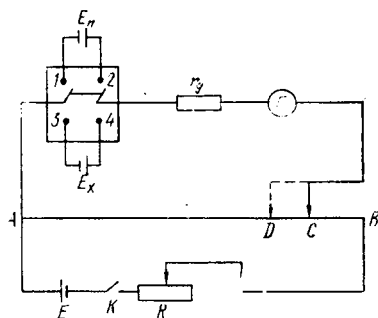
*AB* реохорд бир жинсли бўлгани учун қаршилиқларни уларнинг мос равишдаги узунлиги билан алмаштириш мумкин, яъни  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{l}{l_2}$  бундан

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{l_1}{l_2} \quad \text{ёки} \quad R_x = R_0 \frac{l_1}{l_2}. \quad (2.65)$$

Бу ифодадан номаълум қаршиликни аниқлаш мумкин.

Маълумки, ЭЮК нинг ўлчови сифатида бирор ташқи асбобларга уланмаган манба кутблари орасидаги потенциаллар фарқининг максимал қиймати олинади. Ток манбаи уланганда занжир бўйлаб электр зарядлари тартибли ҳаракатланади. Бунда кутблар орасидаги потенциаллар фарқининг максимал қиймати  $u = \varepsilon - Ir$  ифодадан аниқланади. Кучланиш деб аталувчи бу қиймат қаршилиги элементнинг хусусий қаршилигига нисбатан анча катта бўлган вольтметрлар билан ўлчанади. Бу ҳолда ЭЮК тахминан ўлчанади. Аниқроқ ўлчаш мақсадида компенсацион занжирлар қўлланилади. Бу усулда ЭЮК номаълум бўлган элемент ЭЮК маълум бўлган элемент билан таққосланади, улар навбатма-навбат бирор қаршилиққа уланиб, ҳосил қилинган потенциаллар фарқи бошқа манба ёрламида компенсацияланади.

Компенсация усулига асосланган электр занжири схемаси 65-расмда келтирилган. Бу ерда  $E_x$  ва  $E_n$  ўзаро таққосланувчи элементларнинг *AC* ва *AD* даги потенциаллар фарқи,  $E$  нинг шу ўтказгичларда ҳосил қилган потенциаллар фарқи билан компенсацияланади. Бу ҳолда занжирнинг  $A\bar{E}_nCA$  ва  $A\bar{E}_xDA$



65- расм.

қисмларидан ток ўтмайди. Реохордни таъминловчи  $E_x$ ,  $E_n$  нинг бир хил қутблари  $A$  нуқтага уланади. Реохорднинг  $A$  ва  $B$  учларида  $E_n$  ва  $E_x$  элементларнинг ЭЮК ларидан катта бўлган потенциаллар айирмаси ҳосил қилинади. У ҳолда ҳаракатланувчи контактни реохорд бўйлаб силжитганда шундай нуқтани топиш мумкинки, шу нуқта билан  $A$  нуқта орасидаги потенциаллар фарқи текширилаётган  $E_x$  ёки нормал  $E_n$  элементнинг шу нуқталар орасида ҳосил қилган потенциаллар айирмасига тенг бўлади.

Ҳақиқатан ҳам, Кирхгофнинг биринчи қондасига асосан  $A$  тугун учун  $I = I_1 + I_2$  тенгликни ва Кирхгофнинг иккинчи қондасига асосан  $AE_nCA$  ва  $AE_xDA$  контурлар учун

$$I_2 R_n - I_1 R_n = -E_n, \quad I_2 R_x - I_1 R_x = -E_x$$

тенгликларни ёзиш мумкин. Юқорида тавсиф этилган компенсация шартига кўра  $ACE_nA$  ва  $ADE_xA$  елкалардан ток ўтмайди, яъни  $I_2 = 0$ , у ҳолда юқорида келтирилган тенгламалар системаси қуйидагича ёзилади:

$$I = I_1, \quad I_1 R_n = E_n, \quad I_1 R_x = E_x. \quad (2.66)$$

Охириги икки тенгламадан

$$\frac{R_n}{R_x} = \frac{E_n}{E_x}$$

ифодани ҳосил қилиш мумкин.

Реохорд бир жинсли ўтказгич бўлгани учун  $R_n = \rho \frac{l_n}{S}$ ,  $R_x = \rho \frac{l_x}{S}$  тенгламаларга асосланиб, унинг қаршиликларини мос равишда узунликлари билан алмаштириш мумкин ва ниҳоят ЭЮКни аниқлаш учун лозим бўлган

$$E_x = E_n \frac{l_x}{l_n}$$

тенгликни ҳосил қиламиз.

#### 4-лаборатория ишнн. Ўтказгичлар қаршилигини Уитстон кўприги ёрдами билан ўлчаш

Ишнн бажаришдан мақсад: Уитстон кўприги ёрдами билан ўтказгичларнинг қаршилигини аниқлаш усуллари билан танишиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 125—126; 130—133-бетлар, [1] IV боб, 1, 3-§; [2] 31, 34, 35, 36-§; [3] 45-§.

Ўтказгичлар қаршилигини аниқлашнинг бир неча усуллари мавжуд бўлиб, кўприк усули юқори аниқликда ўлчаш имкониятига эга эканлиги билан ажралиб туради, чунки бу усулда контактдаги қаршиликлар таъсири ҳисобга олинмайди Уитстон кўприги асосида ишловчи қурилма  $R_x$ ,  $R_0$ ,  $r_1$  ва  $r_2$  қаршиликлар, гальванометр ҳамда ўзгармас ток манбаи жойлаштирилган яшиқдан иборат бўлиб, унда ўлчанувчи қаршилик уланадиган клеммалар ўрнатилган.

Уитстон кўприги ёрдами билан қаршиликларни ўлчаш тартиби қуйидагича:

1. Схемаси 64-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.  $AB$  реохорд сифатида миллиметрларга бўлинган, узунлиги бир метр чамасидаги чизгичга ўрнатилган никель сим ишлатилади. Бу симга ҳаракатланувчи контакт ўрнатилган. Номаълум қаршиликлар сифатида реостатлар олинади.

2. Номаълум қаршиликлардан бири  $AC$  елкага ва қаршиликлар магазини  $BD$  елкага уланади ва реохорддаги ҳаракатланувчи контакт симнинг ўртасига қўйилиб,  $R_0$  қаршилик шундай танланалики, натижада гальванометрдан ток ўтмасин. Бу ҳолат учун  $l_1$  ва  $l_2$  узунликлар ёзиб олинади.

3.  $R_0$  қаршиликнинг бир неча қийматлари учун 2-пункт такрорланади.

4. Бошқа номаълум қаршиликлар ва улар ўзаро кетма-кет ҳамда параллел уланган ҳоллари учун 2, 3-пунктлар такрорланади.

5. Барча аниқлашни керак бўлган қаршиликлар ўлчанган катталиклар орқали (2. 65) ифода ёрдамида ҳисобланади, кетма-кет, параллел уланган ҳолларда аниқланган катталиклар тажрибада аниқланган ва (2.57), (2.58) ифодалар ёрдамида ҳисобланганлари билан солиштирилади.

6. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

Текширилаётган қаршилик	№	$R_0$ , Ом	$I_1$ , м	$I_2$ , м	$R_{x'}$ , Ом	$R_{x''}$ , Ом	$\Delta R_x$ , Ом	$\Delta \bar{R}_{x'}$ , Ом	$\frac{\Delta R_x}{R_x}$ 100 %
$R_{x_1}$	1								
	2								
	3								
$R_{x_2}$	1								
	2								
	3								
Кетма-кет уланиш	1								
	2								
	3								
Параллел уланиш	1								
	2								
	3								

Эслатма: Электр қўпригини мумкин қадар камроқ вақт давомида манбага уланган ҳолда тутиш зарур, акс ҳолда реохорд симлари қизиб, қаршилик ўзгаради.

#### 5- лаборатория иши. Гальваник элементларнинг электр юритувчи кучларини компенсация усули билан аниқлаш

Ишни бажаришдан мақсад: ток манбаларининг ЭЮК ларини аниқлаш усули билан танишиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 125—128; 133—134-бетлар, [1], IV боб, 1, 2, 3-§; [2] 31, 33, 36-§; [3] 43, 44, 45-§.

1. Схемаси 65-расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бунда  $A$  нуқтага нормал ёки текширилаётган элементларнинг ва манбанинг бир хил қўтбларини улашни унутмаслик керак.

2. Ҳимоя қаршилиги бўлган  $r_g$  реостат энг катта қийматига қўйилади.  $K$  калигни улаб,  $\mathcal{E}$  манбадан  $AB$  реохордда солиштирилаётган элементларнинг нормал ва текширилаётган элементлар ЭЮК ларига нисбатан каттароқ бўлган кучланиш ҳосил қилинади.

3.  $K$  қўшқалитни 1 ва 2 ҳолатга ўрнатиб, нормал элемент занжирга уланади, ҳаракатланувчи контакт реохорд бўйлаб силжитилгандаги гальванометр нулли кўрсатадиган нуқта белгиланади ва  $AC = I_n$  узунлик ёзиб олинади.

4.  $K$  қўшқалитни 3 ва 4 ҳолатга кўчириб, занжирга ўрганилаётган элемент уланади ва яна гальванометр полни кўрсатадиган нуқта белгиланиб,  $AD = l_x$  масофа аниқланади.

5. (2.68) ифода ёрдами билан ўрганилаётган элемент ЭЮК ҳисобланади.

6. Занжирга ЭЮК и номаълум бўлган иккинчи элемент уланиб, 4 ва 5- пункт такрорланади.

7. Урганилаётган иккала элементни аввал кетма-кет, сўнг параллел улаб, ЭЮК лари аниқланади.

8. Тажриба натижалари жадвалга ёзилади.

№	$E_n$ , В	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$E_x$ , В	$E_x$ , В	$\Delta E_x$ , В	$\Delta \bar{E}_x$ , В	$\frac{\Delta E_x}{E_x} 100\%$

6- лаборатория иши. Чўғланма лампанинг ишини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* чўғланма лампа ишини ўрганиш унинг қаршилиги  $R$ , қуввати  $N$  ни аниқлаш ва температура ўзгариши билан қаршилиқнинг ўзгаришини кузатиш.

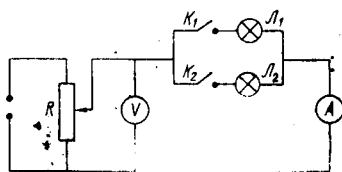
**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 126—128; 129—130-бетлар; [1] IV боб, 1, 2- §; V боб, 3- §, [2] 37- §.

1. Схемаси 66- расмда келтирилган  $A$  амперметр,  $V$  вольтметр,  $R$  потенциометр,  $K_1$  ва  $K_2$  калитлар,  $L_1$ ,  $L_2$  чўғланма лампочкалардан иборат электр занжири йиғилади.

2.  $K_1$  калит ёрдами билан  $L_1$  лампочкани занжирга уланади, потенциометрдан фойдаланиб 60, 80, 100, 120, 140 В кучланишлар бериб, уларга мос ток кучлари аниқланади.

3. (2.56) ва (2.44) ифодалар ёрдами билан аввалги пунктда аниқланган кучланиш ва ток кучининг ҳар бир қиймати учун лампочка қуввати ва спираль қаршилиги аниқланади.

4.  $K_2$  калит ёрдами билан  $L_2$  лампочкани улаб, 2 ва 3- пункт такрорланади.



66- расм.

5. Ҳар иккала лампочкани кетма-кет ва параллел улаб, 2 ва 3- пунктлар такрорланади.

6. Қаршиликларнинг температура билан боғланиш ифодаси (2.50) дан  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{T_1}{T_2}$  ёки  $T_2 = \frac{R_2}{R_1} T_1$  тенглама ҳосил қилинади, бу ерда  $T_1$  ва  $R_1$  — мос равишда хона температураси ва бу температурадаги спирал қаршилиги.

7.  $R_1$  қаршилик авометр ёки кўприк ёрдами билан ўлчанади.

8. 3 пунктда ҳисобланган ҳар бир қаршилик учун

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} T_1$$

ифодадан спирал температураси ҳисобланади.

9. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади:

Лампочкалар	$I$ , А	$u$ , В	$N$ , Вт	$R_2$ , Ом	$R_1$ , Ом	$T_1$ , К	$T_2$ , К

10.  $R = f(T)$  функциянинг графиги чизилади.

7- лаборатория иши. Электр иситгич асбобларининг фойдали иш коэффициентини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* электр иситгич асбобларининг фойдали иш коэффициентини аниқлаш усули билан танишиш.

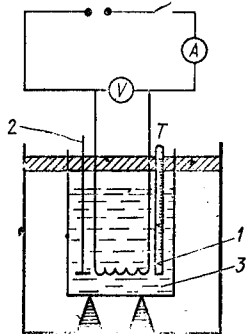
**Адабиёт:** 6- лаборатория ишида келтирилган

Маълумки, электр иситгич асбоблари, ўтказгичдан ток ўтганда ундан ажралиб чиқаётган иссиқлик ҳисобига ( $Q = Iu\tau$ ) бирор жисмни, масалан, сувни иситади ( $Q_0 = mc\Delta T$ ). Бундай асбобнинг фойдали иш коэффициенти  $\eta = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Iu\tau}{mc\Delta T}$  ифода билан аниқланади. Бу ерда

$I$  — ўтказгичдан ўтаётган ток кучи,  $u$  — ундаги кучланиш,  $\tau$  — ток ўтиш вақти,  $m$  — сув массаси,  $c$  — солиштирма иссиқлик сифими,  $\Delta T = T_2 - T_1$  температуралар фарқи.



1. Схемаси 67- расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда  $A$  — амперметр,  $V$  — вольтметр,  $T$  — термометр,  $1$  — ток ўтувчи спирал,  $2$  — аралаштиргич,  $3$  — сув.



67- расм.

2. Калориметрнинг ва ундаги сувнинг массаси аниқланади.

3. Калитни улашдан олдинги сув температураси ёзиб олинади.

4. Секундомерни юргизиб, калит уланади ва сувни  $90^{\circ}\text{C}$  гача иситиб, температура, ҳар  $5^{\circ}\text{C}$  га ўзгаргандаги вақт, сув температураси ёзиб олинади.

5.  $\Delta T$ ,  $\tau$ ,  $I$ ,  $u$ ,  $m$ ,  $c$  ларни билган ҳолда уларга мос  $\eta$  лар ҳисобланади. Миллиметрли қоғозга  $\eta = f\left(\frac{\Delta T}{\tau}\right)$  функция графиги чизилади.

#### Контрол саволлар

1. Электр токи нима?
2. Электр токи қандай физик катталиклар билан характерланади?
3. Нима учун ўтказгичлар қаршиликка эга бўлади? Солиштирма қаршилиқни, ўтказувчанликни электрош назария асосида тунунтиринг.
4. Қаршилиқ температурага қандай боғланган? Ўта ўтказувчанлик ҳодисаси ва унинг техникада қўлланиш соҳаларини айтиб беринг.
5. Электр тоқининг пайдо бўлиш шартларини айтинг. Электр юритувчи куч манбалари қандай бўлиши керак?
6. Ўзгармас ток қонунларини айтиб беринг.
7. Электр қўприк занжирининг ишлаш принципини айтиб беринг.
8. Компенсация методи моҳиятини айтиб беринг.

## 12-§. Турли муҳитларда электр тоқи ва контакт ҳодисалари

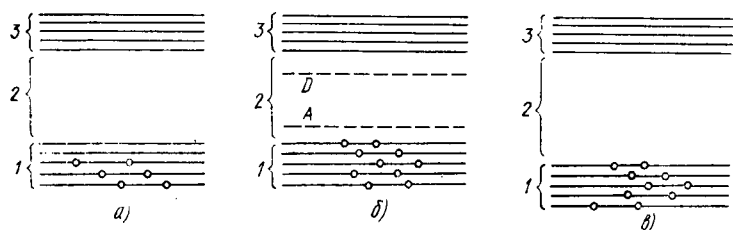
*Назарий маълумотлар.* Элементлар электр хусусиятларига кўра уч турга — ўтказгичлар, диэлектриклар, яримўтказгичларга бўлинади. Моддаларнинг ҳар бир агрегат ҳолатида уларнинг электр хусусиятлари турлича намоён бўлади. Қуйида умумий физика курсининг лаборатория машғулоғларида кузатиладиган ҳодисалар билангина танишамиз.

Газлар одатдаги шароитда ток ўтказмайдиган диэлектрик. Маълум таъсир билан уларнинг атомлари ионлаштирилса, яъни электронлари ўз қобидан чиқарилса, мусбат зарядланган ионлар ва электронлар — ток ташувчилар юзага келиб, газлар ўтказгич хусусиятига эга бўлади. Электр майдонида зарядли зарраларнинг тартибли ҳаракати вужудга келади. Газлар қиздириш, нурлантириш йўли билан ва кучли электр майдони таъсирида ионлаштирилади.

Баъзи суюқликлар ионланиши туфайли улардан ток ўтади. Улар электролит деб аталади, ток ташувчилари эса мусбат ва манфий ионлардир.

Металлар яхши ўтказгич ҳисобланади. Маълумки, металлар кристалл панжарасининг тугунлари валент электронларидан ажралган атомлар—ионлардан ташкил топган. Классик назарияга кўра валент электронлар эркин электронлар деб аталади. Ташқи электр майдони таъсирида улар тартибли ҳаракатга келиб, электр токини ҳосил қилади. Электр майдони бўлмаганда эркин электронлар металл ҳажми бўйлаб хаотик ҳаракат қилувчи ва энергиялари температурага боғлиқ равишда узлуксиз ўзгарувчи зарралар (бир атомли идеал газ) хусусиятига эга бўлади. Аввалги темада кўриб ўтилган ўзгармас ток қонунлари юқорида тавсиф этилган эркин электронларнинг классик назарияси ёрдами билан тушунтирилади. Металлардаги ўта ўтказувчанлик, диэлектрик ва яримўтказгичларда электр ўтказувчанлик билан боғлиқ бўлган ҳодисаларни классик назария тушунтириб беришга ожиздир. Ўтказувчанликнинг квант ёки зонали назарияси бу ҳодисаларни тўла-тўқис тушунтириб бера олади.

Квант назариясига кўра атомдаги ҳар бир электрон энергияси узлуксиз бўлмай, балки дискрет қийматларнигина ола олади. Маълумки, атомдаги ҳар бир электронга мусбат зарядли ядро ва бошқа қўшни электронларнинг электр майдони таъсир этади. Моддалардаги электронларга уларнинг ўз атом ядроси ва шу атомдаги бошқа электронлардан ташқари қўшни атомларнинг ядролари ҳам таъсир этади, натижада электронларнинг энергетик сатҳлари ўзгаради (силжийди), бу билан ҳар бир электроннинг жойлашуви мумкин бўлган энергетик сатҳлар сони ортади. Шунинг учун моддаларнинг электр хусусиятларини ўрганишда электронларнинг энергияларига мос келувчи бир-бирига



68- расм.

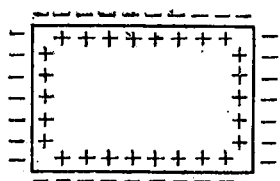
яқин сатҳлар тўплами — зоналар тушунчасини киритиш қулай.

Соддалаштирилган энергетик схемада валент электронлар томонидан эгалланган (1) валент зона ва бу зонага энг яқин бўлган рухсат этилган (3) бўш зона мавжуд бўлади (68-расм). Бу икки зона (2) тақиқланган зона билан ажратилган бўлади.

Валент зонадаги энергетик сатҳларни электронлар қанчалик эгаллаганлиги ва тақиқланган зонанинг энергетик кенглигига қараб, барча қаттиқ жисмлар уч синфга бўлинади. Агар валент зонадаги энергетик сатҳларнинг бир қисмигина электронлар томонидан эгалланган бўлса, электронлар қуйроқ энергетик сатҳдан юқорироқдагига кўтарилиш имкониятига эга бўлади. Зона ичидаги энергетик сатҳлар оралиги шу қалар кичикки, кучсиз электр майдон ҳам электронларни юқори энергетик сатҳга кўтарилиш имконини берадиган даражада тезлатиши мумкин. Металлар ана шундай хусусиятларга эга бўлар экан (68-а расм).

Металл бўлмаган кўпгина қаттиқ жисмларда валент зонадаги барча энергетик сатҳларни электронлар эгаллаган бўлади. Электронлар электр ўтказувчанликда иштирок этиши учун юқорироқ энергетик сатҳга, бўш зонадаги сатҳларга кўтарилиши керак. Бирор ташқи таъсир — қиздириш, нурлантириш, электр майдон энергиялари каби тақиқланган зона энергетик кенглигидан катта энергия берилиши натижасида электронларнинг бир қисми бўш зонага ўта олади. У ҳолда бўш зона ўтказувчанлик зонаси, ушбу хусусиятга эга бўлган қаттиқ жисмлар яримўтказгичлар дейилади.

Одатда баъзи яримўтказгичларга шундай киритма киритиладикки, натижада тақиқланган зонада, тўлдирилган зонага яқин А акцептор ёки ўтказувчанлик зона-



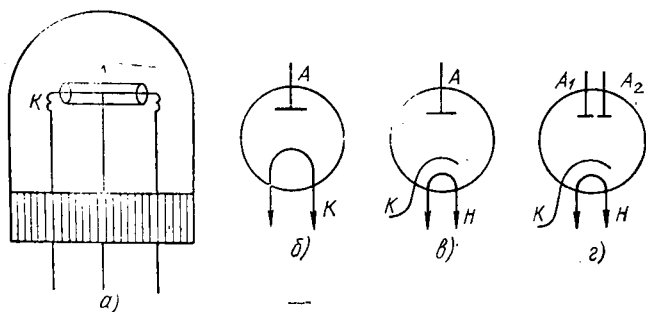
69- расм.

сига яқин  $D$  донор сатҳлари пайдо бўлади ва мос равишда  $p$  тип ёки  $n$  тип яримўтказгичлар ҳосил бўлади (68- б расм). Учинчи группа жисмлар — диэлектрикларда ўтказувчанлик зонаси бўш, тақиқланган зона эса кенг ( $\sim 3$  эВ) ва уларда қўшимча сатҳлар ҳосил бўлмайди. Электронлар тўлдирилган зонадан ўтказувчанлик зонасига ўта олмайди. Шунинг учун улар амалда электр токини ўтказмайди (68- в расм).

Металлдаги эркин электронларнинг тартибсиз ҳаракатининг ўртача арифметик тезлиги (классик электрон назарияга кўра)  $v = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$  ифодасига асосан  $T=300$  К

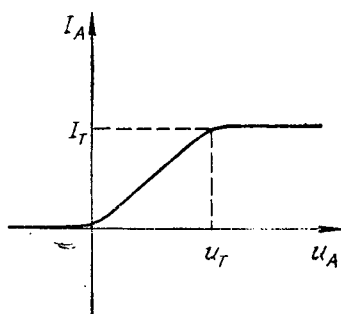
да тахминан 100 км/с дир. Нима учун бу электронлар металлдан чиқиб кетмайди, деган табиий савол туғилади. Манфий зарядли электрон металлдан узоқлашганда, металл сиртида мусбат заряд ортиқчилиги юзага келади ва электронни ўз ҳолатига қайтаради. Катта тезлик билан ҳаракатланаётган электронлар металл сиртидан  $10^{-7}$  см масофагача узоқлашиб, металл сиртида иккиланган электр қатламини ҳосил қилади (69-расм). Бу қатлам эркин электронлар учун тўсиқ бўлиб, потенциал чуқурлик орқали ифодаланади. Демак, металл электронлар учун потенциал чуқурлик бўлиб, бундан электронни металл ташқарисига чиқариб юбориш учун миқдори  $-e\varphi_k = A_{\text{чик}}$  бўлган иш бажарилиши керак. Электронни металл сиртидан узоқлаштириш учун керак бўлган энергия чиқиш иши дейилади. Бу иш металлнинг химиявий таркибига, сиртнинг тозаллигига, намлигига боғлиқдир.

Уй температурасида металлдан электронларнинг жуда оз қисмигина ташқарига чиқа оладиган кинетик энергияга эга бўлади. Температура орта бориши билан бундай энергияли электронлар сони ҳам ортади. Температуранинг маълум қийматида (2000 — 3000 К) металллардан учиб чиқаётган электронлар сони сезиларли даражада ортади. Бу ҳодиса термоэлектрон эмиссия ҳодисаси дейилади. Кўпгина радиолампарлар, электрон пушкалар шу ҳодисага асосланиб ишлайди. Бундай асбобларнинг энг кўп тарқалганлари — икки ва уч электронли лампарлар билан танишамиз.



70- расм.

Ҳаво босими  $10^{-5}$  Па га эга бўлган баллонга кавшарланган икки электроддан тузилган қурилма диод ёки икки электродли лампа дейилади. Электродлардан бири  $K$  катод чиқиш иши кичик, эмиссияси кучли бўлган спирал шаклидаги металл толадан ташкил топган. Катод  $A$  анод сифатида олинган юққа деворли металл цилиндрнинг марказига ўрнатилади (70-*a* расм). Катод ўзидан ток ўтиши натижасида (70-*b* расм) ёки қўшимча чўғланттирувчи батарея (70-*в* расм) ёрдамида қиздирилганда ундан электронлар ажралиб чиқа бошлайди. Ўз электронларининг бир қисмидан ажралган катод мусбат зарядланиб ўз атрофида электрон булути ҳосил қилади. Бу булутдаги электронларни анодга йўналтириш учун анодга мусбат кучланиш берилади. Потенциал майдонда тезланиш олган электронлар анод томон ҳаракатланади. Анод кучланишини ортиб борган сари, анодга келаётган электронлар сони ҳам ошиб боради. Электронларнинг бундай оқиши термоэлектрон ток дейилади. Термоэлектрон ток билан анод кучланишининг боғланиш эгри чизиги 71-расмда келтирилган. Бу боғланиш анод кучланишининг  $u_A < u_T$  қийматида Богуславский—Ленгмюр қонуни орқали



71- расм.

аниқланади:  $I = B_1 u^{3/2}$ ,  $B_1$  — электронларнинг шаклига ва жойланишига боғлиқ бўлган коэффициент.

Кучланишнинг маълум бир қийматида катоддан вақт бирлигида чиқаётган электронларнинг ҳаммаси анодга етиб келади ва анод токи ўзгармай қолади, бу ток тўйиниш токи  $I_T$  деб юритилади. Агар берилган температурада вақт бирлиги ичида катоддан чиқаётган электронларнинг сони  $N$  бўлса, ток кучи қуйидагича бўлади:  $I_m = Ne$ .

Катод температураси кўтарилса, ундан ажралиб чиқаётган электронлар сони ҳам ошади, тўйиниш токи ҳам ортади.

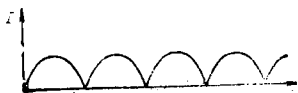
Тўйиниш токининг зичлиги билан температура орасидаги боғланиш:

$$j_T = B_2 T^2 e^{-\frac{A_{\text{чиқ}}}{kT}} \quad (2.70)$$

бу ерда  $A_{\text{чиқ}}$  — электроннинг металлдан чиқиш иши,  $k$  — Больцман доимийси,  $T$  — катоднинг абсолют температураси,  $B_2$  — катод материали ва сиртининг ҳолатига боғлиқ бўлган эмиссия доимийси.

Икки электродли лампанинг ўзига хос хусусиятларидан асосийси, электр токини бир томонлама ўтказишидир. Чунончи, анод манбанинг мусбат қутбига уланса, лампани занжирдан ток ўтади, манфий қутбга уланса, ток ўтмайди. Унинг бу хусусияти ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришда кенг ишлатилиш имкониятини беради. Саноатда ва радиотехникада ўзгарувчан токни тўғрилашда ишлатиладиган икки электродли лампа кенотрон дейилади. Оддий диод толасидан ўзгарувчан ток ўтганда, унинг температураси даврий ўзгариб, анод токига таъсир қилади. Бу камчиликни йўқотиш учун кенотронда чўғланувчи вольфрам толаси катоддан ажратилиб, унинг ичига ўрнатилади ва бунда катод бир текис қизийди.

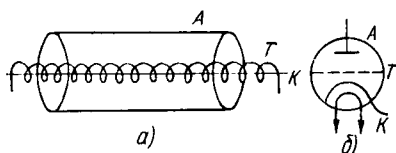
Кенотрон деб аталувчи лампаларга яна бир анод ўрнатилган бўлиб (70-г рasm), икки ярим даврли лампалар ҳисобланади. Бундай лампадан ўтган ўзгарувчан



72- рasm.

токнинг графиги 72- рasmда келтирилган бўлиб, бу тўғриланган токни ўзгармас токка айлантириш учун конденсатор ва индуктив ғалтакдан ташкил топган филтрлар ишла-

тилади. Диодда ҳосил бўлган анод токи  $I = \approx B, u^{3/2}$  ифодага асосан катоднинг берилган температурасида анод кучланишига боғлиқ ва лампанинг вольт-ампер характеристикаси дейилади.



73- расм.

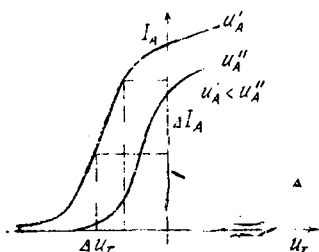
Катод кучланиши ўзгармас бўлганда анод кучланиши  $u_A$  оширилса, анод токи ҳам ошиб боради. Лекин юқорида кўрганимиздек  $u_m$  нинг маълум қийматида у ўзгармас бўлиб қолади. Тўйиниш токи зичлиги катод температурасига (2.70) боғлиқдир. Демак анод токи, анод ва катод орасидаги кучланишга ва катод температурасига боғлиқ бўлар экан. Бу боғланишлар лампанинг анод ва температура характеристикалари деб юритилади.

Юқорида тавсиф этилган икки электродли лампа аноди ва катода орасига спирал шаклидаги электрод тўр киритилиб, уч электродли лампа—триод ҳосил қилинади. Бошқарувчи электрод деб аталувчи  $T$  тўр унга берилган озгина кучланиш воситасида анодга борувчи электронлар сонини кескин оширади ва анод токини бошқаради (73- расм).

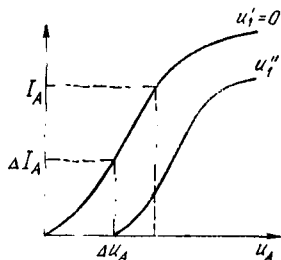
Катод кучланиши ўзгармас бўлганда ( $u_n = \text{const}$ ) анод токи тўр кучланиши  $u_T$  ва анод кучланиши  $u_A$  га боғлиқ, яъни

$$I_A = f(u_A, u_T). \quad (2.71)$$

Анод кучланиши ўзгармас бўлганда ( $u_A = \text{const}$ ) анод токининг тўр кучланишига боғлиқ бўлган графиги 74-расмда келтирилган. Бу эгри чизик лампанинг



74- расм.



75- расм.

статик тўр характеристикаси дейилади. Тўр кучланиши ўзгармас бўлганда ( $u_T = \text{const}$ ) анод токининг анод кучланишига боғлиқ бўлган графиги (75-расм) лампанинг статик анод характеристикаси бўлади. (2.71) ифода кўринишидаги функциянинг тўла дифференциали

$$dI = \left( \frac{\partial I_A}{\partial u_A} \right)_{u_T} du_A + \left( \frac{\partial I_A}{\partial u_T} \right)_{u_A} du_T$$

шаклда бўлиб, бу ифодадаги

$$R_i = \left( \frac{\partial u_A}{\partial I_A} \right)_{u_T} \quad (2.72)$$

триоднинг ички қаршилиги ва

$$S = \left( \frac{\partial I_A}{\partial u_T} \right)_{u_A} \quad (2.73)$$

ифода эса тўр характеристикасининг тиклиги деб аталади. Бу белгиларга асосан тўла дифференциал

$$dI = \frac{1}{R_i} du_A + S du_T \quad (2.74)$$

кўринишда ёзилади.  $R_i S = \mu$  белгилаш киритиб, (2.74) ни қўйидагича ёзиш мумкин:

$$dI = \frac{1}{R_i} (du_A + \mu du_T). \quad (2.75)$$

(2.75) тенгламадан кўриниб турибдики, тўр кучланишининг орттирмаси  $du_T$  худди шундай орттирмага эга бўлган анод кучланишига нисбатан анод токини  $\mu$  марта ортиқча оширади. Шунинг учун  $\mu$  лампанинг статик кучайтириш коэффициенти дейилади:

$$\mu = \frac{du_A}{du_T}. \quad (2.76)$$

Триод эса кучайтиргич сифатида радиотехникада ишлатилади.

Лампанинг аноди анод манбаи  $E$  га ташқи қаршилик  $R$  орқали уланса, бу қаршиликда кучланиш пасайиши  $u_R$  содир бўлиб, анод кучланиши камаяди, яъни

$$u_A = E - u_R.$$



Бу кучланиш билан анод токи орасидаги боғланиш лампанинг динамик характеристикасини ҳосил қилади.

Энди икки металл контактларида юз берадиган физик ҳодисалар ва уларнинг амалда қўлланиш усуллари кўриб чиқамиз.

Чиқиш ишлари фарқли ( $A_1 < A_2$ ) бўлган икки металл контактга келтирилса, уларнинг сиртидаги электр қатламлари устма-уст тушиб, биринчи металлдаги электронлар иккинчисига ўтиб, унинг энергетик сатҳларини тўлдира бошлайди. Ҳар икки металл энергетик сатҳлари тенглашганда динамик мувозанат содир бўлади ва электронларнинг ўтиши тўхтайдди. Натижада биринчи металл мусбат, иккинчиси манфий зарядланиб, улар орасида контакт потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади. Чиқиш ишларининг фарқи натижасида содир бўлган бу катталик ташқи контакт потенциаллар айирмаси дейилади:

$$u = \frac{A_1 - A_2}{e} = \frac{A_2 - A_1}{e}. \quad (2.77)$$

Контактнинг ташқи потенциаллар фарқи қиймати ҳар хил жуфт металллар учун 0,1 В дан бир неча вольтгача ўзгаради.

Жуфтланган металллар орасида ички контакт потенциаллар айирмаси ҳам кузатилади. Ички контакт потенциаллар фарқини бу металллардаги эркин электронларнинг концентрацияси ҳар хиллиги келтириб чиқаради. Агар биринчи металлдаги эркин электронлар зичлиги  $n_1$  иккинчи металлдаги  $n_2$  дан катта бўлса, у ҳолда бу металллардаги электрон газлар босимлари ҳам ҳар хил  $p_1 > p_2$  бўлади. Контактга келтирилган сиртлардан электронлар диффузияланиб, биринчисидан иккинчисига ўта бошлайди. Натижада биринчи металл мусбат, иккинчиси манфий зарядланади ва улар орасида ички контакт потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади.

Контакт чегарасида электрон газ зарралари Больцман тақсимот қонунига бўйсунди:

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{eu_1}{kT}} \quad (2.78)$$

бундан

$$u_1 = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_2}{n_1} \quad (2.79)$$

ифода ички контакт потенциаллар фарқидир, бу қиймат жуда кичик бўлиб,  $T = 300 \text{ K}$  да турли металллар контактлари учун  $10^{-2} - 10^{-3} \text{ В}$  оралиғида ўзгаради.

Демак икки металлнинг контакт потенциаллар айирмаси ташқи ва ички контакт потенциаллар фарқларининг йиғиндисига тенг:

$$u_{12} = \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_2}{n_1}. \quad (2.80)$$

Уч ва ундан ортиқ металллар контактга келтирилса, улар орасидаги контакт потенциаллар айирмаси фақат икки четдаги металлларнинг табиати орқали аниқланиб, орасидаги металлларнинг табиатига боғлиқ бўлмайди. Ҳақиқатан ҳам Ом қонунига асосан системанинг контакт потенциаллар айирмаси:

$$\begin{aligned} u_{13} = u_{12} + u_{23} &= \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_2}{n_1} + \frac{A_3 - A_2}{e} + \\ &+ \ln \frac{n_3}{n_2} = \frac{A_3 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_3}{n_1}. \end{aligned} \quad (2.81)$$

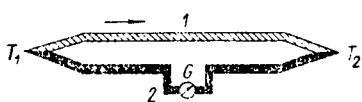
Бу система ёпиқ бўлса, унинг контакт потенциаллар айирмаси юқоридаги ифодага асосан нолга тенг:

$$u = u_{12} + u_{23} + u_{31} = 0.$$

Демак металллар контактга келтирилганда уларнинг кавшарланган қисмларининг температуралари бир хил бўлса, системадан ток ўтмайди. Агар кавшарланган сиртларнинг температуралари ҳар хил бўлса (76-расм), бу контурдан ток ўтади, чунки бундай системада катталиги қуйидаги ифода билан аниқланувчи ЭЮК ҳосил бўлади:

$$\begin{aligned} E &= \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_2}{n_1} + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_2}{n_1} (T_1 - T_2) = \\ &= C (T_1 - T_2), \end{aligned} \quad (2.82)$$

бу ерда  $C = \frac{k}{e} \ln \frac{n_2}{n_1}$  катталиқ берилган жуфт металл учун ўзгармас бўлиб, солиштира термоэлектр юритувчи куч деб юритилади.



76- расм.

Ёпиқ контурда ҳосил бўлган ток температуралар фарқига тўғри пропорционал бўлиб, унинг йўналиши температура-

лар айирмасининг ишорасига ва концентрациялар қийматига боғлиқ. Хусусан  $T_1 > T_2$ ,  $n_2 > n_1$  бўлса, ток расмда кўрсатилган йўналиш бўйича оқади. Термоток ҳосил бўлишининг асосий сабаби шундаки, системанинг температураси юқори бўлган қисмида электрон газнинг концентрацияси катта бўлиб, эркин электронлар температураси катта бўлган сиртдан температураси кичик бўлган сиртга қараб оқа бошлайди. Электронларнинг ёпиқ контур бўйлаб бу оқими электр токини ҳосил қилади.

Юқорида тавсиф этилган ҳодисанинг акси ҳам тажрибада кузатилади, яъни контурдан берилган йўналишда ток ўтса, кавшарланган сиртлар орасида температуралар фарқи ҳосил бўлади. Пелтье эффекти деб аталувчи бу ҳодиса қуйидагича тушунтирилади.

Заряд ташувчи зарралар табиати бир хил бўлган моддалар, масалан, металл-металл, металл- $n$ -типдаги ярим ўтказгич ва ҳоказо. Ўзаро контактга келтирилса, бу заряд ташувчи зарраларнинг контактга нисбатан ҳаракат икки томонлама бўлади. Шунингдек, бу зарралар (электрон ёки ковак) нинг энергияси ҳам турличадир. Агар заряд ташувчи зарралар контакт қатламни ўтгач, кичик энергияли зарралар орасига тушса, у ҳолда уларнинг ортиқча энергияси модданинг кристалл панжарасига берилади ва модда исийди. Қарама-қарши йўналишдаги ҳаракатланувчи зарралар эса етишмаган энергияни панжарадан олади ва модда совийди.

Заряд ташувчи зарралар табиати турлича бўлган моддалар, масалан,  $n$ -типдаги ва  $p$ -типдаги ярим ўтказгичлар контактга келтирилса, контактнинг бир томонида  $n$ -типдаги ярим ўтказгич зонасидан  $p$ -типдаги ярим ўтказгичга ўтган электрон ва ковак рекомбинациялашади. Бунда энергия ажралади ва унинг бир қисми кристалл панжарага узатилади. Электрон ва ковакларнинг камайиши ярим ўтказгич зонасида электрон ва ковакнинг қайга ҳосил бўлиши ҳисобига тўлдирилади. Бунда лозим бўлган энергия кристалл панжарадан олинади ва модда совийди. Шундай қилиб, металллар ва ярим ўтказгич контактларида Жоуль иссиқлигидан фарқ қилувчи Пелтье иссиқлиги ажралар экан.

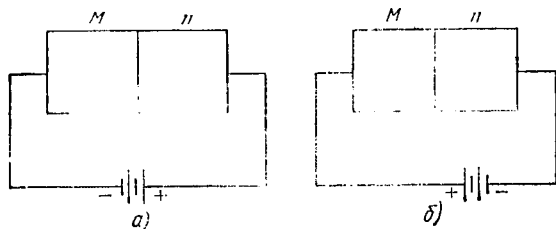
Термоэлектрик ҳодисалар бир жинсли металлларда ва ярим ўтказгичларда ҳам кузатилади. Агар металл парчасининг бир учи қиздирилса, электронлар темпе-

ратураси юқори бўлган томондан температураси паст бўлган томонга ўта бошлайди. Бинобарин, металлнинг юқори температурали қисми мусбат потенциалга, паст температурали қисми манфий потенциалга эга бўлади. Агар ўтказгичдан ток ўтказилса, электронлар мусбат потенциалли майдонда тезланувчан ҳаракат қилиб, ўз ички энергияларини оширади ва ўтказгичнинг бу қисмидан иссиқлик ажралиб чиқади ва температураси кўтарилади, электронлар манфий потенциалли майдондан ўтгач тормозланиб, ички энергияларининг бир қисмини йўқотади ва температураси пасаяди. Бу ҳодиса Томсон эффекти деб юритилади

Юқорида кўриб ўтилган ҳодисалар термоэлектрик ҳодисалар номи билан юритилиб, халқ хўжалигининг турли соҳаларида кенг қўлланилади. Масалан, юқори температураларни ўлчай оладиган термопаралар, термоқаршилиқларнинг ишлаш принципи термоэлектрик ҳодисага асосланган.

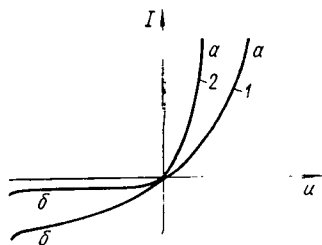
Металл ярим ўтказгич контактида ҳам бир қатор электр ҳодисалари кузатилади. Чиқиш ишлари мос рившда  $A$ ,  $A_n$  бўлган металл ва  $n$ -типдаги ярим ўтказгич контактига келтирилсин.  $A > A_n$  бўлганда электронлар ярим ўтказгичдан металл сиртига ўта бориб, уни манфий зарядлайди, ярим ўтказгич сирти эса мусбат зарядланиб қолади. Бу ерда қиймати  $\Delta\phi = \frac{1}{e} (A - A_n)$  ифода билан аниқланувчи контакт потенциаллар фарқи ҳосил бўлади.

Ярим ўтказгичнинг металлга тегиб турган сиртида электрон концентрацияси ҳажмидагига қараганда кичик ва қаршилиги катта бўлади. Бу қатлам беркитувчи қатлам дейилади. Юқорида кўриб ўтилган ҳодиса чиқиш ишлари  $A_p > A$  шартини қаноатлантирувчи ме-



77- расм.

талл ва  $p$ -тип ярим ўтказгич контактларида ҳам кузатилади, яъни қаршилиги катта бўлган беркитувчи қатлам ҳосил бўлади. Аксинча,  $A < A_n$  бўлган металл ва  $n$ -тип ярим ўтказгич контактларида ҳамда  $A > A_p$  бўлган металл ва  $p$ -тип ярим ўтказгич контактларида қаршилиқ кичик бўлиб қарама-қарши йўналишда беркитувчи қатлам пайдо бўлади.



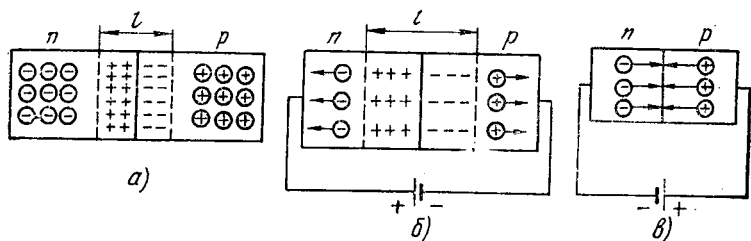
78- расм.

Агар бундай контактга манфий қутби ярим ўтказгичга ва мусбат қутби металлга уланган манба ўрнатсак (77-а расм), беркитувчи қатлам қалинлиги камайиб ток кучи 78-расмдагидек (1 эгри чизиқ,  $\alpha$  қисм) орта боради, манба аксинча уланса (77-б расм), контакт потенциаллар фарқи ортади ва кучланишнинг анчагина қисмида ток сезиларли ўзгармайдиган кичик қийматга эга бўлади (1 эгри чизиқ,  $\beta$  қисм), кучланишнинг жуда катта қийматида эса албатта электрик ионизация натижасида ток ортади.

Бундай контактлар ҳам тўғрилагич сифатида қўлланиши мумкин, лекин бир қатор камчиликларга эга: ўзгарувчан токни тўғрилаш хусусияти фақат ярим ўтказгич орқали бошқарилади, амалда идеал контакт ҳосил қилиш мумкин эмас, ҳар доим ярим ўтказгичнинг сиртида бегона атом ва ионлар бўлади.

Юқоридаги камчиликлар икки хил турдаги ярим ўтказгич контактда кузатилмайди, чунки ҳозирги замон технологияси яхлит ярим ўтказгич материалида икки типни ҳосил қилиш, шу билан бирга идеал контакт ҳосил қилиш имкониятини беради. Ўзаро контактда бўлган  $n$ - ва  $p$ -типдаги ярим ўтказгичларнинг сирт чегарасида электрон-ғовак ўтказувчанлик содир бўлиб, бу  $p-n$ -типдаги ўтиш дейилади.

Кристаллга махсус ишлов бериш билан ёки таркибига акцептор ва донор киритма атомларини киритиш орқали кристалл таркибида  $p-n$ - ўтишни ҳосил қилиш мумкин. Бундай таркибли ярим ўтказгичлар фақат бир томонлама ўтказувчанликка эга бўлиб, диод сифатида ишлатилади. Кристалл таркибида ҳосил бўлган  $n$  ва  $p$ -типдаги ярим ўтказгичлардан (79-а расм) электронлар диффузия туфайли  $p$ -типдаги зонага, „ғоваклар“  $n$ -



79- расм.

типтаги зонага ўтиб, шу икки зона чегарасида тўпланади. Бу қўш электр қатлам кучланганлиги  $E$  бўлган электр майдони ва қиймати „ $u$ “ бўлган контакт потенциаллар айирмасини ҳосил қилади. Бу майдон ток ташувчи зарраларнинг кейинги ҳаракатига тўсқинлик қилади ва кристаллда мувозанат ҳолати юз беради. Бунда қўш қатламнинг қалинлиги  $10^{-4}$  см дан  $10^{-5}$  см гача бўлади. Ҳосил бўлган контакт потенциаллар айирмаси ток ташувчи зарралар учун потенциал тўсиқ вази-фасини ўтайди. Уй температурасида мусбат ва манфий зарраларнинг кинетик энергияси потенциал тўсиқдан ўтиш учун етарли бўлмайди.

Ташқи манба 79-б расмдагидек уланса, ток ташувчи зарралар қўш қатлам электр майдони бўйлаб ҳаракат қилиб, потенциал тўсиқ кенглигини орттиради,  $p-n$ -ўтиш қаршилиги кескин ортиб кетади. Манба қутблари тескарига ўзгартирилса (79-в расм), ташқи электр майдони қўш қатламнинг майдонига тескари йўналиб, уни кучсизлантиради, тўпланган зарядларни нейтраллайди ва ярим ўтказгичнинг қаршилиги жуда кичиклашади. Шундай қилиб, амалда,  $p-n$ -ўтишда фақат бир томонлама ўтказувчанлик ҳосил бўлади. Бундай хусусиятга эга бўлган селен Se, германий Ge, кремний Si каби ярим ўтказгичларда ҳосил қилинган  $p-n$ -ўтишлар диод сифатида кенг қўлланилади.

Ярим ўтказгичли тўғрилагичда токнинг ўтиши унга қўйилган кучланишга боғлиқ бўлади, яъни  $I=f(u)$ . Бу боғланишни ифодалайдиган эгри чизиқ диоднинг вольт-ампер характеристикаси (78-расм, 2-эгри чизиқ) дейилади. Ярим ўтказгичнинг қаршилиги кичик бўлгандаги ток тўғри, қаршилиги катта бўлгандаги ток

тескари ток бўлиб, уларнинг нисбати  $k = \frac{I_{тўғ}}{I_{тес}}$  (2.83)

диоднинг тўғрилаш коэффициенти деб номланади.

Аниқланган ток кучи ва кучланиш орқали тўғри ва тескари тоқлар учун ярим ўтказгичнинг қаршилигини топиш мумкин.

### 8- лаборатория иши. Термопарани даражалаш ва унинг доимийсини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Контактларда кузатиладиган термоэлектрик ҳодисалар билан танишиш ва термопараларни даражалаш усулларини ўрганиш.

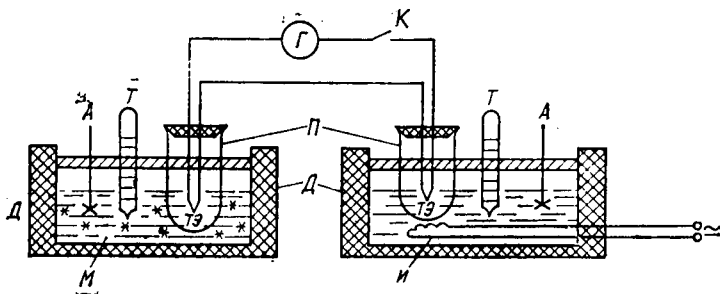
*Адабиёт.* Ушбу қўлланма 147—150-бетлар, [1] 6 боб, 4-§; [3] 104, 105, 106, 107-§.

Термоэлемент (термопара) ларни температураларни ўлчашга мослаштириш учун уларни даражалаш, яъни термоэлектр юритувчи куч билан температуралар фарқи орасидаги муносабатни аниқлаш керак. У қуйидагича бажарилади.

1. Схемаси 80-расмда келтирилган электр занжири тузилади. Бу ерда *Д* — Дьюар идиши, *М* — эриш температурасидаги муз, *Т* — термометр, *ТЭ* — термопара учлари, *Г* — гальванометр, *И* — иситгич, *А* — аралаштиргич, *К* — калит, *П* — пробирка (баъзан Дьюар идиши ўрнида хона температурасидаги сув солинган термостат ҳам ишлатилади).

2. Термопаранинг иккала учи солинган идишдаги суюқликлар (сув) температураси ўлчанади, агар улар бир хил бўлса, термоэлектр юритувчи куч нолга тенг бўлишига ишонч ҳосил қилинади.

3. Термостат ичидаги суюқликни аста-секин исита



80- расм.

бориб температуралар фарқи ва гальванометр кўрсатиши ёзиб олинади.

4. Иситгични ток манбаидан узиб, сувни аста-секин совишига имкон бериледи ва 3- пунктдаги каби ҳар 5—10 К учун гальванометр кўрсатиши ёзиб олинади.

5. Миллиметрли қоғозга гальванометр кўрсатиши  $n$  нинг температуралар фарқига боғлиқлик графиги чизилади.

6. Гальванометр кўрсатишидан фойдаланиб термо-электр юритувчи куч ифодаси бир неча температура учун аниқланади, яъни  $\mathcal{E} = nir$ , бу ерда  $n$  — гальванометр кўрсатиши,  $r$  — унинг ички қаршилиги,  $i$  — гальванометр сезгирлиги. Бу ифодани  $\mathcal{E} = C(T_1 - T_2)$  билан солиштириб,  $C = \frac{nir}{T_1 - T_2}$  ни келтириб чиқариш мумкин.

7. 6- пунктда келтирилган қийматлардан фойдаланиб, термопара доимийси  $C$  ҳисобланади.

9- лаборатория иши. Термисторни даражалаш ва тақиқланган зона энергиясини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* термисторни даражалаш ва тақиқланган зона энергиясини аниқлаш усули билан танишиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 149—150-бетлар, [1], 6-боб 4-§; [3], 104, 105, 106, 107-§.

Термистор ёки терморезистор шундай ярим ўтказгич, материалики, унинг қаршилиги температура кўтарилиши билан тез камаяди:

$$R_T = Ae^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$$

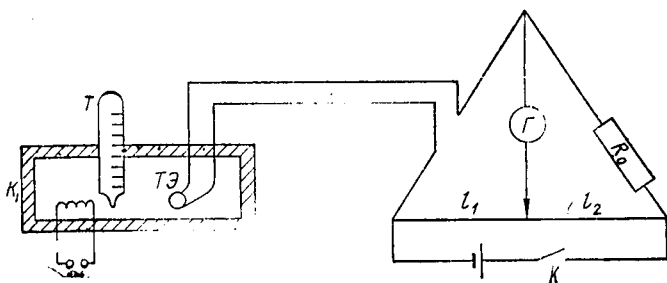
$\Delta E$  катталиқ тақиқланган зона кенглиги,  $A$  модда табиатига боғлиқ бўлган коэффицент. Бу ифодани икки хил температура  $T_1$  ва  $T_2$  учун ёзиб, мураккаб бўлмаган математик ўзгартиришлар киритсак,  $\Delta E$  ни аниқлаш учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$\Delta E = \frac{2k}{\ln e} \cdot \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{T_1}}{R_{T_2}} = 2k \cdot 2,3 \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{T_1}}{R_{T_2}}. \quad (2.84)$$

1. Схемаси 81-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.

2.  $K_1$  термостатдаги сув температурасини  $5^\circ$  дан ошира бориб, унга мос келувчи қаршиликлар электр кўприги ёрдами билан аниқланади.





81- расм.

3. Миллиметрли қоғозга қаршиликнинг температу-  
рага боғланиш графиги чизилади.

4. Ўлчанган ва аниқланган катталиклардан фойда-  
ланиб,  $\Delta E$  нинг 4—5 та қиймати ҳисобланади ва жад-  
вал тузилиб, ёзилади.

10- лаборатория иши. Диоднинг вольтампер харак-  
теристикасини ва унинг параметрларини аниқлаш

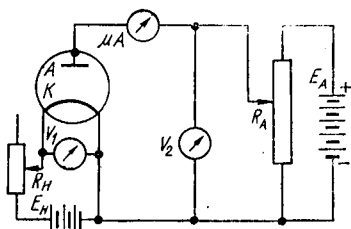
*Ишни бажаришдан мақсад:* Икки электродли  
электрон лампалар ишлаш принципи билан тажрибада  
танишиш.

**Адабиёт.** Ушбу қўлланма 142—145-бетлар. [1] VIII боб,  
1.2-§; [3] 101, 102-§.

1. Схемаси 82-расмда келтирилган электр занжири  
йиғилади. Бу ерда  $E_H$ ,  $E_A$  — лампа катодида термо-  
электрон эмиссия ҳосил қилувчи ва катод-анод орали-  
ғидаги майдонни таъминловчи манбалар;  $V_1$ ,  $V_2$  катод-  
даги ва катод-анод орасидаги кучланишни ўлчаш учун  
ўрнатилган вольтметрлар,  $R_H$ ,  $R_A$  катод ва катод-анод  
занжирларидаги кучланишни ўзгартирувчи потенцио-  
метрлар,  $\mu A$  анод токини  
ўлчашга мўлжалланган  
микроамперметр.

2.  $V_2$  вольтметрда 80 В  
кучланиш ўрнатиб,  $V_1$   
вольтметр кўрсатишни  
0,2 В дан орттира бори-  
лади, уларга мос келув-  
чи анод токи қийматлари  
ёзиб олинади.

3.  $V_2$  вольтметрдаги



82- расм.

кучланишни 100 ва 120 В қийматларга қўйиб, 2-пункт такрорланади.

4. Миллиметрли қоғозга диоднинг температура хара-  
ктеристикасини аниқловчи  $I_a = f(u_n)$  функция графиги  
чизилади.

5.  $V_1$  вольтметрдаги кучланишни ўзгартирмай қол-  
дириб, потенциометр ёрдами билан катод-анод кучла-  
нишини 5 В дан ўзгартирилади ва уларнинг қиймагига  
мос анод тоқлари ёзиб олинади. Тажриба катод тола-  
сини қиздирувчи кучланишнинг бошқа қийматлари  
учун ҳам такрорланади.

6. Миллиметрли қоғозга анод хара-  
ктеристикаси деб аталувчи  $I_a = f(u_a)$  функция графиги чизилади.

7. Диоднинг анод хара-  
ктеристикасини ифодаловчи  
графигидан  $S$ ,  $R_i$  катталиклар ҳисобланади.

8. Анод хара-  
ктеристикаси графигидан тўйиниш тоқи  
ва унга мос келувчи кучланиш қийматлари белгила-  
нади.

9. Тўйиниш тоқи зичлиги ифодасидан тўйиниш тоқ-  
ларининг катоднинг икки хил температураси учун ёзи-  
лади:

$$I_m = \frac{I_m}{S} = B_1 T_1^2 e^{-\frac{A}{kT_1}}; j_m = B_1 T_2^2 e^{-\frac{A}{kT_2}}, \quad (2.85)$$

бу ифодалар нисбатини олиб, мураккаб бўлмаган ма-  
тематик ўзгартиришлардан сўнг, қуйидаги ифодани  
ҳосил қиламиз:

$$A = \frac{k}{\lg e} \cdot \frac{T_1 \cdot T_2}{(T_2 - T_1)} \cdot \lg \left( \frac{I_{m2} T_1^2}{I_{m1} T_2^2} \right),$$

бу ерда  $\lg e = 0,4343$ ,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Ж/К — Больцман  
доимийси.  $T_1$  ва  $T_2$  эса  $I_{m1}$  ва  $I_{m2}$  — тўйиниш тоқларига  
мос келувчи температуралар.

10.  $T = T_2 \frac{R_1}{R_2} = T_{y\text{н}} \frac{u_n}{I \cdot R_{y\text{н}}}$  ифода ёрдами билан тур-  
ли тўйиниш тоқларига мос келувчи температуралар  
ҳисобланади.

11. Ўлчанган ва ҳисобланган  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $I_{m1}$ ,  $I_{m2}$  катта-  
ликлардан фойдаланиб, катод материали учун чиқиш  
иши аниқланади.

12. Жадвал тузилиб, ўлчанган ва ҳисобланган кат-  
таликлар ёзилади.

**11-лаборатория иши. Триоднинг характеристикалари-ни ва унинг параметрларини аниқлаш**

*Ишни бажаришдан мақсад:* уч электродли электрон лампалар ишлаш принципи билан танишиш ва характеристикаларини ўрганиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 145—147-бетлар, [1] VIII боб, 1,2-§; [3] 101, 102-§.

1. Схемаси 83-расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликлар занжирга потенциометрик уланган бўлиб, тўр ва анод кучланишларини ўзгартиради,  $\Pi$  переключатель лампани статик (1) ва динамик (2, 3, 4 ташқи қаршиликлар билан) режимда ишлатишга кўчириш учун мўлжалланган.

2.  $K$  калитни улаб,  $\Pi$  1 ҳолатга қўйилади ва  $R_1$  реостат ёрдами билан тўр кучланиши  $u_T = 0$  ўрнатади.

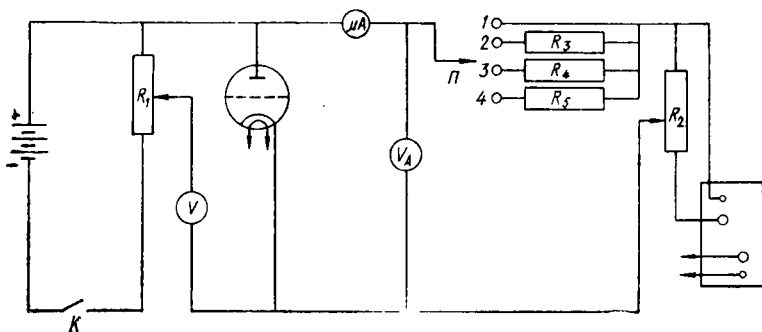
3. Анод кучланишини  $0 \div 250$  В оралигида  $R_2$  реостат орқали ҳар 20 В га мос келувчи анод токи қийматлари ёзиб олинади.

4. Ўлчанган катталиклар жадвалга ёзилади ва миллиметрли қоғозга  $I_A = f(u_a)$  функция графиги чизилади.

5. Тўр кучланишининг 1,5 ва 3 В қийматлари учун 3 ва 4-пунктлар такрорланади.

6. Анод кучланишини 150 В га қўйиб, тўр кучланиши 0 дан 6 В гача ўзгартирилиб, ҳар 0,5 В да анод тоқлари ёзиб олинади.

7. Анод кучланишини 250 В ўрнатиб, 6-пункт такрорлади.



83- расм.

8. Ўлчанган катталиклар тузилган жадвалга ёзилади ва миллиметрли қоғозга  $I_A = f(u_T)$  функция графиги чизилди.

9. П переключателни 2, 3, 4 ҳолатларга қўйиб, 3—8-пунктлар такрорланади, бу триоднинг динамик характеристикалари.

10. Ўлчанган катталиклар ва графиклардан фойдаланиб, триоднинг ички қаршилиги, характеристика тиклиги, кучайтириш коэффициенти аниқланади.

12-лаборатория иши. р-п-ўтиш характеристикаларини ўрганиш

1. Схемаси 84-а расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда  $T$ —пасайтирувчи трансформатор,  $B$ —тўғрилагич,  $\mathcal{E}O$ —осциллограф,  $R$ —қаршилик.

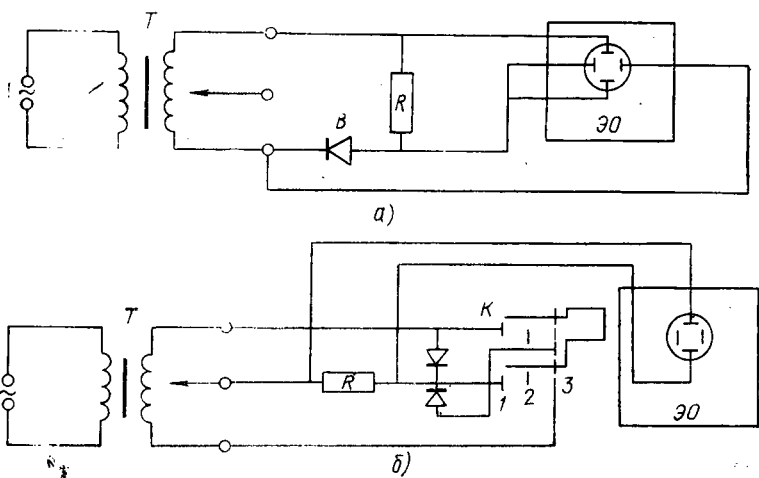
*Ишни бажаришдан мақсад:* р-п-ўтишнинг асосий хусусиятлари билан танишиш.

Адабиёт: Ушбу қўлланма 141—142; 150—153-бетлар, [1] VII боб, 3, 4-§; [3] 100, 108-§.

2. Осциллограф экранда турғун вольт-ампер характеристика ҳосил қилинади.

3. Экрандаги масштабни шкаладан фойдаланиб, ўрганилаётган график чизиб олинади.

4. Схемаси 84-б расмда келтирилган электр занжи-



84- расм.

ри тузилади. Бу ерда ҳам 84-а расмдаги асбоблардан фойдаланилади.

5.  $K$  калитни навбат билан 1, 2 ва 3 ҳолатларга қўйиб, мос равишда осциллограф экранида: а) ўзгарувчан; б) бир ярим даврли тўғриланган токка мос; в) икки ярим даврли тўғриланган токка мос сигналлар ҳосил қилинади.

6. Ҳосил қилинган манзара чизиб олинади ва натижалар изоҳланади.

### 13-лаборатория иши. Транзистор хара-теристикала рини ўрганиш ва унинг параметрларини аниқлаш

*Ишни ба жаришдан мақсад:* транзисторнинг асосий характеристикаларини ўрганиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 141—142; 150—153-бетлар [1] VIII боб, 3, 4-§; [6] 100, 108-§.

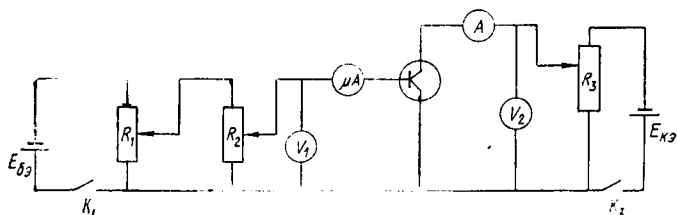
1. Схемаси 85-расмда келтирилган электр занжири тузилади. Бу ерда  $E_{бэ}$ ,  $E_{кэ}$  база-эмиттер ва коллектор-эмиттер занжирларини таъминловчи манба  $V_1$ ,  $V_2$ —база-эмиттер ва коллектор-эмиттер занжирларидаги кучланишларни ўлчашга мосланган вольтметрлар,  $\mu A$ .  $A$  база ва коллектордаги ток кучини ўлчовчи асбоблар.

2.  $K_1$  калитни улаб  $u_{бэ} = 0,2 - 0,3$  В кучланиш ўрнатилади,  $K_2$  калитни улаб,  $u_{кэ} = 2$  В ва  $\mu A$  амперметрдан  $I_б$  ёзиб олинади.

3.  $u_{бэ}$  ни 0,05 В дан ўзгартириб, уларга мос  $I_б$  аниқланади.

4.  $I_б = 50$  мкА қийматида  $u_{кэ} = 0,5$  В дан ўзгартирилади ва  $A$  амперметрдан уларга мос  $I_{кэ}$  ни аниқланади.

5.  $I_б = 100$  мкА га қўйиб 4 пунктни такрарланади.



85- расм.

6. Олинган натижалардан фойдаланиб,  $u_{в9} = f(I_k)$ ,  $u_{69} = f(I_6)$  функция графиклари чизилади ва улар изоҳланади.

#### Контрол саволлар

1. Турли муҳитлардаги электр токи ташувчилари ҳақида маълумот беринг.
2. Ҳўтазувчанликнинг зоналар назариясини тушунтиринг.
3. Ярим Ҳўтазгичлар Ҳўтазгич ва диэлектриклардан қандай фарқ қилади?
4. Ярим Ҳўтазгичли диод ва триоднинг ишлаш принципи, характеристикалари ва асосий параметрларини айтиб беринг.
5. Чиқиш ишлари ва эркин электрон концентрациялари ҳар хил бўлган металл контактларида кузатиладиган ҳодисаларни тушунтиринг.
6. Термоэлектрик ҳодисалар қандай ҳолларда кузатилади? Қандай асбоблар термоэлектрик ҳодисалар асосида ишлайди?
7. Диод ва транзисторнинг характеристикалари ва параметрларини тажрибада қандай ўрганиш мумкин?
8. Термопара қандай даражаланади?
9. Термистор ёрдами билан тақиқланган зона энергиясини ҳисоблашга мўлжалланган электр занжири схемасини чизинг.

### 14-§. Магнит майдон ва магнетиклар

*Назарий маълумотлар.* Магнит майдони ва унинг асосий характеристикалари. Кўп сонли тажрибаларнинг кўрсатишича, ҳаракатланувчи зарядлар, хусусан ток ўтаётган Ҳўтазгич атрофида магнит майдон ҳосил бўлади. Магнит майдони ҳам электростатик майдон каби, материянинг бир кўриниши бўлиб, фазонинг ҳар бир нуқтасида ҳосил бўлаверади, яъни фазода узлуксиз тақсимога эга.

Электростатик майдон унинг „синов заряди“ га таъсири орқали ўрганилса, магнит майдони, магнит диполи деб юритилувчи магнит стрелкаси ва „синов контури“ орқали ўрганилади.

Магнит майдоннинг асосий характеристикаси—магнит майдон индукция вектори

$$\vec{B} = \frac{\vec{M}}{I \cdot S} = \frac{\vec{M}}{P} \quad (2.86)$$

кўринишида ифодаланади, бу ёрда  $\vec{M}$  — магнит майдони домонидан „синов контурига“ таъсир этувчи куч айланма моментининг максимал қиймати,  $I$  — синов контуридан ўтувчи ток кучи,  $S$  — контурнинг юзаси,  $IS = P$  — контурнинг магнит моменти

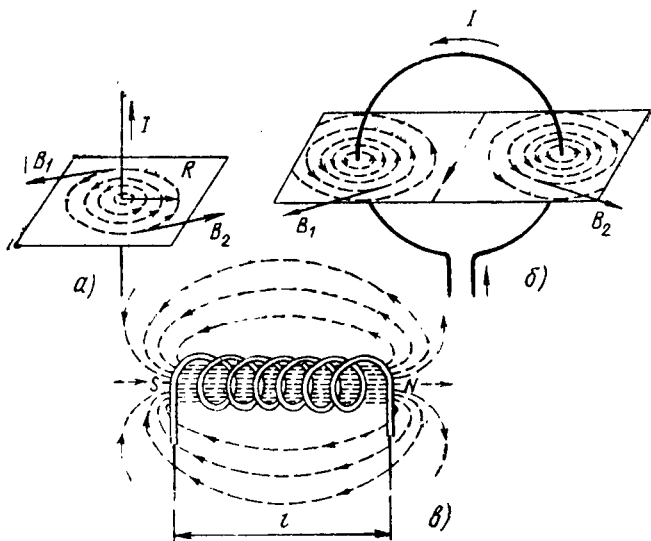
Магнит индукцияси вектор катталиқ бўлиб, унинг йўналиши майдоннинг текшириладиётган нуқтасига киритилган „синов контури“ нинг мувозанат вазиятидаги мусбат нормалнинг йўналиши билан, қиймати эса „синов контури“ га майдон томонидан таъсир этувчи айлантирувчи моментнинг максимал қийматининг „синов контур“нинг магнит моментига бўлган нисбати билан аниқланади.

Халқаро бирликлар системасида магнит индукциясининг ўлчов бирлиги тесла (Тл).

Магнит майдонини график усулда тасвирлаш учун магнит индукция чизиқларидан фойдаланилади. Бу чизиқларнинг ҳар бир нуқтасига ўтказилган уринма шу нуқтадаги магнит индукция векторининг йўналиши билан устма-уст тушади. Магнит индукция чизиқларининг зичлиги майдоннинг ушбу соҳасидаги магнит индукция векторининг қийматига пропорционал бўлиши лозим.

Магнит индукция чизиқлари магнит майдонни уйғотган тоқли ўтказгич шаклидан қатъи назар берк чизиқлар (86-расм).

Магнит майдоннинг асосий миқдорий характери-каларидан бўлган магнит майдон индукцияси Био-Савар-Лаплас қонунидан фойдаланиб аниқланади. Бу



86-расм.

қонунга асосан магнит майдон индукцияси ток кучи катталигига, унинг йўналишига, ўтказгич шакли ва ўрганилаётган нуқтанинг токли ўтказгичдан қандай масофада жойлашганлигига боғлиқ. Ўтказгичнинг  $d\vec{l}$  қисмидан ўтувчи токнинг ҳосил қилган магнит майдон индукцияси:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I [d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}, \quad (2.88)$$

$\mu$  — муҳитнинг магнит сингдирувчанлиги,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м}$  магнит доимийси,  $\vec{r}$  —  $d\vec{l}$  қисмдан ўрганилаётган нуқтага ўтказилган радиус-вектор. Ҳар қандай токли ўтказгич магнит майдон индукциясини бу ифодадан фойдаланиб ҳисоблаш анчагина мураккаб, шунингдек,  $\mu$  нинг майдон функцияси эканлиги ҳам  $B$  нинг аниқ қийматини топишни анча мушкуллаштиради. Бу қийинчиликларни бартараф қилиш мақсадида магнит индукцияси билан

$$d\vec{H} = \frac{d\vec{B}}{\mu_0\mu} \quad (2.89)$$

муносабат орқали боғланган магнит майдон кучланганлиги деб аталувчи катталик киритилади. Бу катталик учун Био Савар-Лаплас қонуни қуйидагича ёзилади:

$$d\vec{H} = \frac{I [d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{4\pi r^2}. \quad (2.90)$$

Халқаро бирликлар системасида магнит майдон кучланганлиги  $A/m$  ўлчов бирлигига эга, у эрстед деб аталувчи бирлик билан  $1\text{э} = \frac{1}{4\pi} \cdot 10^3 \frac{A}{m}$  муносабат орқали боғланади.

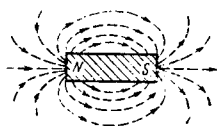
Магнит майдон учун суперпозиция принципи ўринли, яъни

$$\vec{B} = \int d\vec{B} \text{ ёки } \vec{H} = \int d\vec{H}. \quad (2.91)$$

Айрим моддалар, масалан, темир, никель, кобальт ва уларнинг қотишмалари маълум шароитда ўз атрофида магнит майдон ҳосил қилади. Бу моддалардан ўзгармас магнитлар тайёрланади. Уларнинг энг чекка қисмларида майдон кучли бўлиб, магнитнинг шимолий ва жанубий учларини ҳосил қилади. Майдоннинг куч



чизиқлари шимолий қутбдан бош-  
 ланиб жанубий қутбда тугайди  
 (87-расм), қутбларни бир-биридан  
 ажратиш мумкин эмас. Агар маг-  
 нит иккига бўлинса, у ҳолда ҳар  
 бири икки қутбдан иборат бўл-  
 ган икки магнит ҳосил бўлади.  
 Бундай бўлинишни жуда кичик бўлакчаларгача, ҳатто  
 молекуляр ўлчамларгача давом эттириш мумкин. Шу-  
 нинг учун ўзгармас магнитлар шимолий ва жанубий  
 қутблардан ташкил топган диполь деб ҳисобланиши  
 мумкин.

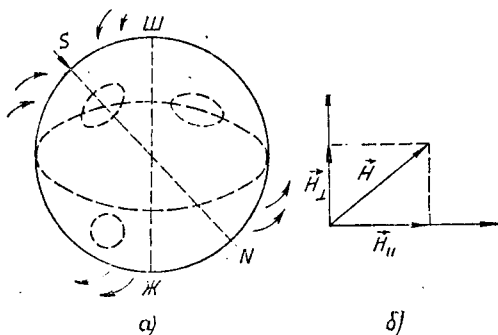


87- расм.

Ер ҳам ўз магнит майдонига эга бўлган, шимолий  
 ва жанубий қутбли магнит диполидир.

Ер магнит майдонининг вужудга келиш сабаблари  
 фанга тўлиқ маълум эмас. Айрим назарияларга кўра  
 унинг ҳосил бўлиш омиллари Ер ядроси сирти ва ра-  
 диацион поясларидаги айланма тоқлар, тоғ жинслари-  
 нинг магнитланиши натижаларидир. Ер сиртида ва ун-  
 дан унча узоқ бўлмаган нуқталарда бу майдоннинг  
 табиати магнит диполига ўхшаш бўлиб, шимолий ярим  
 шарда жанубий қутб— $S$ , жанубий ярим шарда эса ши-  
 молий қутб— $N$  жойлашган (88-а расм). Ер сиртидаги  
 магнит майдон кучланганлиги экватордан қутбга қа-  
 раб 33,4 дан 55,7 А/м гача ортиб боради. Темир руда  
 конлари, магнитланган тоғ жисмлари атрофида бу кат-  
 талик кескин ўзгариши мумкин.

Ер сирти ихтиёрий нуқтасидаги магнит майдон куч-  
 ланганлигини горизонтал ҳамда вертикал ташкил этув-



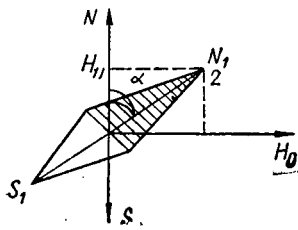
88- расм.

чилар ( $H_{\perp}$  ва  $H_{\parallel}$ ) га ажратиш мумкин (88-б расм).  $N$  нинг горизонтал текисликдаги проекцияси Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчиси дейилади. Шимолий қутбда жойлашган нуқталар учун  $N$  вертикал, экватордагилар учун горизонтал йўналишга эга бўлади.

Вертикал ўқ бўйлаб айланма ҳаракат қила олувчи магнит найзачаси—диполи ўрганилаётган нуқтага ўрнатилса, майдоннинг унга вертикал ташкил этувчисининг таъсири ноль бўлади ва найзача горизонтал ташкил этувчи таъсиридагина бирор бурчакка бурилади. Бу йўналиш магнит меридиани йўналиши ёки  $NS$  йўналиш деб қабул қилинган. Магнит найзачанинг бу хусусияти магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш қурилмасини яшаш имкониятини беради. Бундай асбоб горизонтал текисликда жойлашган найзачага кучланганлиги аниқ бўлган магнит майдон ва Ер магнит майдонининг биргаликдаги таъсирига асосланади.  $H_{\parallel}$ —Ер магнит майдонининг горизонтал ташкил этувчиси,  $H_0$ —қурилма ёрдамида ҳосил қилинган магнит майдон кучланганлиги. 89-расмдан кўринишича Ер магнит майдони кучланганлигини горизонтал ташкил этувчиси:

$$H_{\parallel} = \frac{H_0}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.92)$$

Кучланганлиги  $H_0$  маълум бўлган майдон ўрамлар сони  $n$  бўлган  $r$  радиусли ғалтак марказида ҳосил қилинади. Вертикал жойлаштирилган бундай ғалтак марказига компас ёки магнит найзача ўрнатиш йўли билан тайёрланган асбоб тангенс-гальванометр деб аталиб, Ер магнит майдонини ўрганишда ишлатилади. Ғалтакдан ток ўтмаётган вақтда магнит найзача  $NS$



89- расм.

йўналиш бўйича жойлашади. Ғалтакни буриб унинг текислигини ҳам шу йўналиш билан жойлаштириш мумкин. Шундай жойлаштирилган йўналишдаги ғалтак ток манбаига уланса, Био-Савар-Лаплас қонунига кўра унинг марказида кучланганлиги  $H_0 = \frac{In}{2r}$

ифода билан аниқланувчи маг-

нит майдони ҳосил бўлади. Бу ифода ва (2.92) ларни солиштириб, Ер магнит майдон кучланганлигини горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$H_{\parallel} = \frac{I_n}{2r \operatorname{tg} \alpha} = C \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.93)$$

бу ерда  $C = \frac{n}{2r}$  тенгенс-гальванометр доимийси деб аталади. Маълум бир географик кенглик учун  $H_{\parallel}$  ўзгармас миқдор (Тошкент учун  $H_{\parallel} = 0,25537$  эрстед  $= 20,33 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ ).

Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчисини аниқ ўлчаш, темир руда конларини топишда, авиация ва навигацияда, космик аппаратлар ҳолатларини аниқлашда катта аҳамиятга эгадир.

Қуёш радиацияси активлиги кучайганда Ер магнит майдони соатлаб, гоҳо суткалаб кучли ўзгариб туради, бу ҳодиса магнит бўрони дейилади.

*Магнетиклар.* Юқорида кўрганимиздек,  $\mu$  моддаларнинг магнит хусусиятларини белгилайди. Бу катталик моддаларнинг атомлари хусусияти билан боғлиқдир. Маълумки ҳар бир атом ядро атрофида ҳаракатланувчи электронлардан тузилган бўлиб, уларнинг бу ҳаракати доиравий токка эквивалентдир. Бу ток электрон заряди  $e$  ва тезлиги  $v$  билан ифодаланса, у ҳолда электроннинг магнит моменти қуйидаги ифода билан аниқланади:

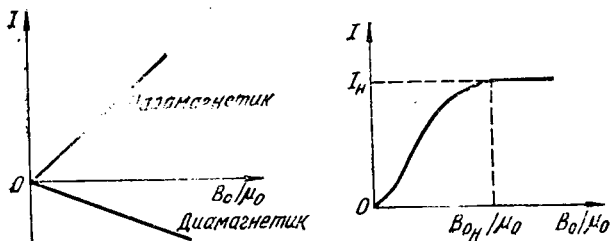
$$p_m = \frac{evr}{2}, \quad (2.94)$$

$r$ —электрон орбитасининг радиуси.

Атомнинг магнит моменти барча электронлари магнит моментларининг вектор йиғиндисига тенг, яъни

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^r \vec{p}_{mi}. \quad (2.95)$$

Демак, ҳар бир атом магнит диполидир. Магнитсиз муҳитда атомларнинг магнит диполлари тартибсиз жойлашиб, уларнинг магнит моментлари йиғиндиси ( $\vec{p} = 0$ ) нолга тенг бўлади. Бу ҳолда модданинг магнит хусусияти сезилмайди. Моддалар магнит майдонига қиритилганда, атомларда қўшимча магнит диполи  $\Delta \vec{p}$  ин-



90-расм.

дукцияланади. Бу қўшимча дипол магнит моменти йўналиши ва қийматиға кўра моддалар уч группага бўлинади: диамагнетиклар, парамагнетиклар ва ферромагнетиклар.

Ҳар қандай модда ташқи магнит майдонига жойлаштирилса унинг магнитланиш  $I$  интенсивлиги, ташқи магнит майдон ( $\vec{B}$  ёки  $\vec{H}$ ) га пропорционал равишда ўзгаради, яъни

$$\vec{I} = \chi_m \vec{H} \quad (2.96)$$

$\chi_m$ —модданинг магнит қабул қилиш ёки магнитланиш даражасидир. Бу катталиқ магнит сингдирувчанлик билан қуйидагича боғланишга эга:

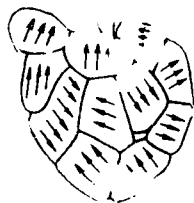
$$\mu = 1 + \chi_m.$$

Диамагнетик моддалар, масалан олтин, кумуш, мис, висмут, симоб ва бошқалар, ташқи магнит майдонга киритилганда ҳосил бўлган қўшимча магнит моментлари майдонга тескари жойлашиб, уни кучсизлантиради. Диамагнетиклар учун  $\chi_m < 0$  ва  $\mu < 1$  бўлади (9-расм)

Парамагнетик моддалар—алюминий, платина, ишқорий ва ишқорий ер металлари магнит майдонига киритилганда, атомларининг қўшимча магнит моментлари ташқи майдон бўйлаб жойлашиб, уни кучайтиради, парамагнетиклар учун  $\chi_m > 0$ ,  $\mu > 1$  бўлади.

Ферромагнетиклар деб ном олган темир, никель, кобальт ва уларнинг қотишмалари магнит майдонига киритилганда ҳосил бўлган ички майдон жуда кучли бўлиб, ташқи майдонни бир неча марта кучайтиради ва  $\mu \gg 1$  бўлади. Масалан, темир учун  $\mu = 500$ , темир-кремний учун 1000, чўян учун 2000, пермоллей учун 1000 га тенг.

Ферромагнетик материаллар пара ва диамагнетиклардан фарқли равишда магнит моментлари бир хил йўналган, бир неча миллион атомларни ўз ичига олган доменлардан ташкил топган (90-расм). Бу микроучасткаларнинг катталиги  $10^{-2}$ – $10^{-7}$  см атрофида бўлади. Магнитсиз муҳитда ҳар бир доменнинг магнит моменти тартибсиз жойлашган бўлиб, натижавий момент нолга тенг. Ферромагнит ташқи магнит майдонига киритилса, доменларнинг магнит моментлари майдон бўйлаб йўналади ва уни кучайтиради. Шунинг учун ферромагнитларнинг магнитланиш интенсивлиги ташқи майдон кучланганлигига пропорционал бўлиб, 91 расмдагидек боғланишга эга. Ташқи майдон кучланганлиги  $\frac{B_0 H}{\mu_0}$  га етганда, магнит тўйиниш ҳодисаси рўй бериб, ҳамма доменларнинг магнит моментлари майдон бўйлаб жойлашиб қолади ва ферромагнитларнинг магнитланиши тўхтади. Натижавий майдон индукцияси ташқи майдон билан доменлар ҳосил қилган ички майдонларнинг йиғиндисига тенг:



91- расм.

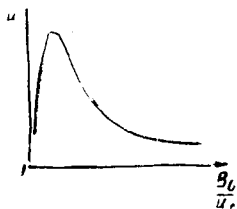
$$B = \mu_0 H + \mu_0 I = \mu_0 \mu H. \quad (2.98)$$

Ферромагнетиклар учун  $\mu$  ташқи майдон кучланганлигига боғлиқ бўлиб, боғланиш қонунияти 92-расмда келтирилган. Кучсиз майдонларда  $I$  катта бўлиб,  $\mu$  ҳам катта қийматларга эга бўлади. Кучли майдон учун  $I = \text{const}$ , унинг натижавий майдондаги улуши кичик ва бу майдон фақат  $H$  ҳисобига ошади. Шунинг учун

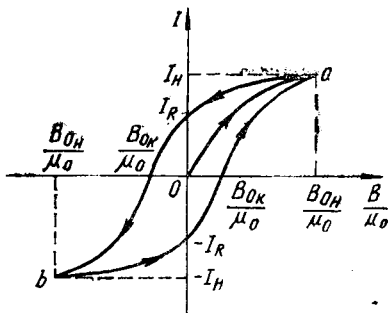
$$B = \mu_0 \mu H \rightarrow \mu_0 H.$$

бўлиб,  $\mu \rightarrow 1$  бўлади.

Ферромагнетикларнинг асосий хоссаларидан бири, ташқи магнит майдони йўқотилгандан кейин ҳам улар магнит хусусиятини сақлаб қолади. Масалан, бошланғич ҳолатда ферромагнит намунанинг магнитланиши  $Oa$  чизиқ билан содир бўлса, ташқи майдон камайтирилганда магнитланиш интенсивлигининг уз-



92- расм.



93- расм.

гариши  $Oa$  чизиқнинг юқори қисмида ётган эгрилик бўйлаб кузатилади.  $H=0$  бўлганда ферромагнетик  $I_K$  қолдиқ магнитланишга эга бўлади (93-расм). Демак ташқи майдон йўқотилгандан кейин ҳам бир қисм доменларнинг магнит моментлари ўз тартибли йўналишларини сақлаб қоладилар. Бу намунани қайта магнит-

лаш учун йўналишининг тескари миқдори  $H_K$  га тенг бўлган майдон ҳосил қилиш керак. Бу майдоннинг катталиги  $H_K$  коэрцитив куч дейилади. Тескари йўналишдаги майдон оширила борилса, яна тўйиниш содир бўлади. Бу нуқтадан секин-аста бошланғич ҳолатга қайтсак, 93-расмда келтирилган гистерезис сиртмоғи деган эгри чизиқ ҳосил бўлади. Коэрцитив куч ферромагнитнинг магнитланиш хусусиятини белгилайди. Бу куч катта бўлган ферромагнитлардан ўзгармас магнетиклар тайёрланади.

*Магнит майдонининг таъсирлари.* Биз юқорида магнит майдонига киритилган „синов контури“—токли рамка орқали магнит майдонини ўрганилиши ҳақида мулоҳаза юритган эдик. Бундан токли ўтказгичга ҳам майдон бирор куч билан таъсир этишини тушуниш мумкин. Бу куч ўтказгичнинг майдондаги узунлигига, майдон индукциясига, шу ўтказгичдан оқайётган токка боғлиқ бўлади:

$$d\vec{F} = I [d\vec{l} \cdot \vec{B}]. \quad (2.99)$$

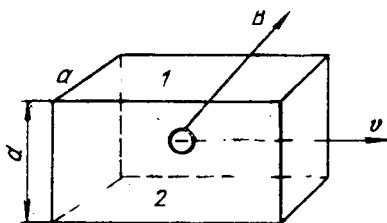
Шунингдек, зарядланган бирор заррача магнит майдонда ҳаракатланса, унга ҳам куч таъсир этади:

$$\vec{F} = q[\vec{v} \cdot \vec{B}], \quad (2.100)$$

$q$ —зарра заряди,  $\vec{v}$ —тезлиги,  $\vec{B}$ —майдон индукцияси вектори.

Ток ўтаётган металл ёки ярим ўтагичдан ясалган пластинка магнит майдонига киритилса ва майдон ин-

дукцияси ток йўналишига перпендикуляр бўлса, у ҳолда  $\vec{B}$  ва  $\vec{v}$  нинг йўналишларига перпендикуляр йўналишда, яъни 1 ва 2 (94-расм) қирралар орасида потенциаллар фарқи ҳосил бўлади. Бунга сабаб бир қиррада манфий зарядлар иккинчи қиррада мусбат заряд ортиқчалиги ҳосил бўлишидир. Холл эффекти деб атаувчи бу ҳодисада потенциаллар айирмаси қуйидагича аниқланади:



94- расм.

$$\Delta\varphi = \frac{1}{q \cdot n} j B d = R_x j B d, \quad (2.101)$$

$R_x = \frac{1}{qn}$  — Холл коэффициенти,  $d$  — пластинканинг қалинлиги  $j$  — ток зичлиги.

14- лаборатория иши. Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш

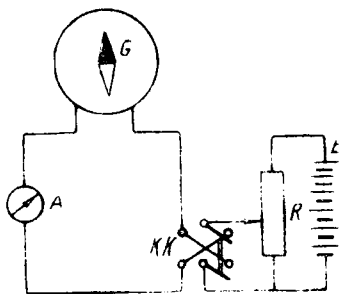
*Ишни бажаришдан мақсад:* Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма 160—165-бетлар, [1] IX боб, 1, 3, 4-§; [2] 40, 42-§; [3] 50, 51-§.

1. Схемаси 95-расмда келтирилган электр занжири йиғилсин. Бу ерда  $A$  — амперметр,  $R$  — реостат,  $E$  — ўзгармас ток манбаи,  $KK$  — қўш калит,  $G$  — тангенс гальванометр. Агар тангенс гальванометрнинг ўрамлар сони ( $n = 100 \div 200$ )

капта бўлса, занжирдан кичик ток ўтказилади ва бу токни ўлчаш учун амперметр ўрнига миллиамперметр қўлланилади.

2. Тангенс гальванометрни буриб, унинг текислиги магнит меридиани, яъни  $NS$  текислиги бўйича жойлаштирилади. Бунда магнит найзачаларининг учлари  $0^\circ$  ва  $180^\circ$  ни кўрсатади.



95- расм.

3. Қўш калит  $KK$  ни улаб, магнит найзачаси тахминан  $45^\circ$  ни кўрсатгунча реостат ёрдами билан занжирдаги ток ўзгартириб борилади ва амперметр кўрсатиши ёзиб олинади. Найзача тебраниши тўхтагандан кейин, унинг учлари кўрсатаётган  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  бурчаклар аниқланади.

4. Қўш калит ёрдами билан тангенс гальванометрдаги ток йўналиши ўзгартирилади ва  $\alpha'_1, \alpha'_2$  бурчаклар аниқланади.

5. Магнит найзачанинг  $25 \div 30^\circ$  ва  $35 \div 40^\circ$  оғишлари учун 3 ва 4-пунктлар такрорланади.

6.  $c = \frac{n}{2r}$  ифода билан тангенс гальванометр доимийси ва  $H_{\parallel} = \frac{cl}{\operatorname{tga}}$  ифода билан ер магнит майдон кучланганлиги горизонтал ташкил этувчиси аниқланади,  $r$ —тангенс гальванометрнинг радиуси, унинг қиймати қурилмада кўрсатилган.

7. Ўлчаш хатоликлари ҳисобланади ва ўлчанган ҳамда ҳисобланган катталиклар, жадвал тузилиб, ёзилади.

15-лаборатория иши. Торонднинг магнит майдон кучланганлигини аниқлаш

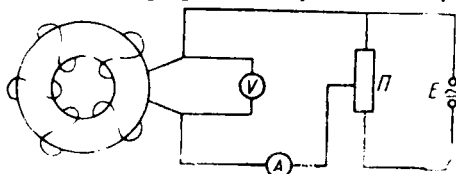
*Ишни бажаришдан мақсад:* Торонд ҳосил қилган майдон кучланганлигини тажрибада аниқлаш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма 160–164-бетлар, [1] IX боб, 1, 3, 4-§; [2] 40, 42-§; [3] 50, 51-§.

1. Схемаси 96-расмда келтирилган электр занжири йигилади. Бу ерда  $T$ —торонд ҳалқасимон шаклга келтирилган соленоид,  $V$ —вольтметр,  $A$ —амперметр,  $\Pi$ —потенциометр,  $E$ —ЭЮК манбаи.

2. Штангенциркуль ёрдами билан торонднинг ички ва ташқи радиусларини ўлчаб, ўртача радиуси аниқланади.

3. Амперметрнинг потенциометр жилгичи силжитишидаги  $I_1, I_2, \dots, I_l$  қийматлар ёзиб олинади.



96- расм.



4.  $H_i = \frac{Iin}{2\pi r}$  ифода ёрдами билан тороид ўқидаги магнит майдон кучланганлиги аниқланади,  $n$ —бирлик узунликдаги ўрамлар сони,  $i$ —ўлчашлар тартиби.

5 Токнинг турли қийматлари учун  $H = f(I)$  боғлавиш эгрилиги чизилади.

16-лаборатория иши. Токли ғалтакнинг магнит майдон энергиясини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* магнит майдон энергиясини тажрибада аниқлаш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 160–162-бетлар, [1] 12 боб, 4-§; [2] 67-§; [3] 69-§.

1. Схемаси 97-расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда  $R_1$ —100 Ом, 5 А ли реостат,  $R_2$ —30 см, 35 см, 40 см узунликларга эга бўлган диаметри 0,05 мм константадан ёки шунга ўхшаш металлдан ясалган қаршилик, 6 В ёки 10 В ЭЮК га эга бўлган манба,  $L$ —ғалтак,  $D$ —Д7Ж диод.

2. Занжирга 3) см узунликдаги сим уланиб, 1А ток ўтказилади. Ток ўтиш вақти ва гальванометрни кўрсатиши ёзиб олинади.

3. 35 ва 40 см ли симлар учун 2-пункт такрорланади.

4.  $W = Q = I^2 R_2 \tau$  ифодадан магнит майдон энергияси аниқланади.

17-лаборатория иши. Ферромагнит ҳодисасини ўрганиш.

а) Магнитометр ёрдами билан гистерезис сиртмоғини ҳосил қилиш.

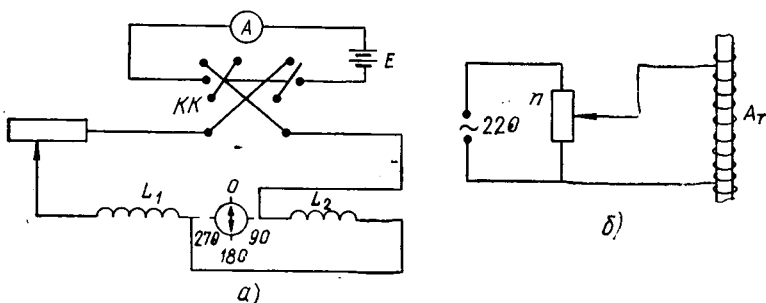
*Ишни бажаришдан мақсад:* Тажрибада ферромагнит ҳодисасини ўрганиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 165–168-бетлар, [1] X боб, 4-§; XI боб, 5-§, 6-§; XII боб, 1, 2. 3-§; [2] 59-§, 60–61, 62, 79-§; [3] 69, 74, 98-§.

Магнитометр—Ер магнит меридиани бўйича жойлаштирилган магнит найзачадир. Токли ўтказгич май-

97- расм.





98- расм.

дони таъсиридаги найзачанинг бурилиш бурчаги ушбу майдон кучланганлиги билан  $H=H_0 \operatorname{tg} \alpha$  ифода кўринишида боғланади, бинобарин, бурчак тангенси ўтказгичдан ўтувчи токнинг функциясидир, яъни  $\operatorname{tg} \alpha = f(I)$ .

1. Схемаси 98-а расмда келтирилган электр занжири йиғилади.

2. Ўзаксиз ғалтаклардан ток ўтказилиб, найзача ва ғалтак орасидаги масофани ўзгартириш ёрдами билан магнит стрелкасининг кўрсатиши нолга ўрнатилади.

3. Темир ёки пўлатдан тайёрланган ўзак 98-б расмда келтирилган усул билан магнитсизлантирилади. Ўзак ғалтаклардан бирига жойлаштирилади.

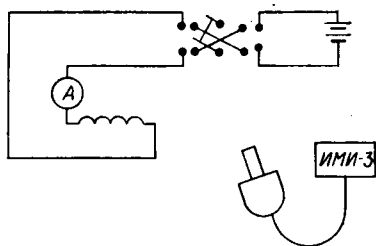
4.  $R$  реостат ёрдами билан ток кучи қиймати 0,2 А дан жуда оҳисталик билан ошириб борилади ва ҳар бир қиймати учун стрелканинг оғиш бурчаги аниқланади. Ток кучи  $I$  А га етгач, у худди шундай камайтирилиб оғиш бурчаги ёзиб олинади,  $КК$  қўш калит ёрдами билан ток йўналиши ўзгартирилиб, тажриба такрорланади.

5. Жадвал тузилиб, ўлчанган катталиклар унга ёзилади. Абсцисса ўқига ток кучининг, ордината ўқига эса  $\operatorname{tg} \alpha$  нинг қиймати қўйилиб  $\operatorname{tg} \alpha = f(I)$  функцияга мос ёпиқ эгрилик чизиғи ҳосил қилинади.

Эслатма: ушбу усул билан магнит майдони ўрганилганда, ток кучининг бир текисда ўзгаришига эътибор бериш керак, ток кучининг ҳар қандай сакраб ўзгариши олинган натижаларга таъсир қилади. Шундай ҳолат юз берганда тажриба тўхтатилиб, ўзак магнитсизлантирилади, ўлчашлар янги дан бошланади.

б) ИМИ-3 асбоби ёрдами билан ўзакли ғалтак магнит индукциясини ўлчаш.

1. Схемаси 99-расмда келтирилган электр занжири йиғилади. ИМИ-3 Холл эффекти асосида (169-бетга қаралсин) магнит индукциясини ўлчайдиган асбоб. Ўлчашлар асбоб индикатори кўрасишни нолга (ИМИ-3 асбоби инструкцияси ўқув лабораториясида бўлади) келтириш билан амалга оширилади.



99- расм.

2. Соленоиддаги ўзак магнитсизлантрилади. Бунинг учун тўғрилагичдан соленоидга 1,5 А ток бериб, қўш калит билан токнинг йўналиши бир неча марта ўзгартирилади. Бу ҳолда индикатор дастаси „грубо“ ҳолатига ўтказилади.

3. „Измерение—установка нуля“ тумблери, установка нуля“ ҳолатига қўйилиб, асбобнинг ноли ўрнатилади ва „измерение“ ҳолатига кўчирилади.

4. КК қўш калит ёрдами билан манба уланади.

5. Ток кучини 0 дан 2 А гача 0,25 А дан ошира бориб, В ўлчанади. Ток кучини худди шундай камайтириб, яна В ўлчанади.

6. Зонднинг ҳолати ўзгартирилади, яъни „+“ белги зонднинг ички томонида бўлиб, қўш калит билан ғалтакдаги ток йўналиши ўзгартирилади. 4 ва 5-пунктлар такрорланади.

7. Олинган натижалар жадвал тузиб ёзилади ва  $B = f(I)$  боғлиқлиги графиги чизилади.

#### Контрол саволлар

1. Магнит майдон нима? У қандай ҳосил қилинади?
2. Магнит майдон мавжуд эканлигини қандай усуллар билан аниқлаш мумкин?
3. Магнит майдон индукцияси ва кучланганлигини таърифланг.
4. Моддаларнинг магнит хусусиятлари ҳақида гапириб беринг.
5. Био-Савар-Лаплас қонунини айтинг. Бу қонун асосида соленоид ва доиравий тоқли ўтказгичларнинг магнит майдон индукцияларини аниқланг.
6. Ер магнит майдони нима ва уни қандай ўрганиш мумкин?
7. Тангенс гальванометр қандай асбоб? У қерларда қўлланилади?

8. Диамагнетиклар парамагнетиклардан қандай фарқ қилади?  
 9. Ферромагнетикларнинг магнитланиш хусусиятларини тушунириб беринг.

Гистерезис сиртмоғи қандай ҳосил бўлади? Унинг моҳиятини айтинг.

#### 4-§. Электромагнит индукция ҳодисаси. Электромагнит тебранишлар

*Назарий маълумотлар.* Магнит майдоннинг ўзгариши натижасида фазода электр майдон вужудга келади. Агар бу майдонга ўтказгич киритилса, ундаги эркин электронлар тартибли ҳаракатга келади. Бу билан боғлиқ бўлган ҳодисалар электромагнит индукция ҳодисалари деб юритилади.

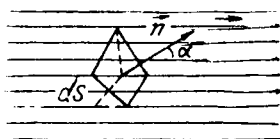
Маълумки, магнит майдон ҳаракатланувчи зарядли заррачалар, токли ўтказгичлар томонидан уйғотилар ва магнит индукцияси, майдон кучланганлиги каби катталар билан характерланар эди. Юқорида таърифланган электромагнит индукция ҳодисасини батафсилроқ тушуниш учун яна магнит оқими деб атаувчи катталик киритиш лозим бўлади. Магнит майдонига жойлаштирилган  $ds$  юз орқали перпендикуляр йўналишда ўтувчи (100-расм) магнит индукция чизиқларининг сонини, шу юз орқали ўтаётган магнит индукция векторининг оқими ёки, магнит оқими дейилади, яъни

$$d\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{ds}) = B ds \cos\alpha = B_n ds \quad (2.102)$$

бу ерда  $\alpha$ —юзга ўтказилган нормал билан  $\vec{B}$  орасидаги бурчак. Халқаро бирликлар системасида магнит оқимининг бирлиги қилиб вебер (Вб) олинган:

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

Демак, магнит индукцияси 1 тесла бўлган бир жинсли магнит майдон йўналишига перпендикуляр равишда жойлашган 1 м<sup>2</sup> юзни „тешиб“ ўтувчи магнит индукция чизиқларининг сонини 1 Вб деб қабул қилинган.



100- расм.

Магнит оқими таърифидан, ихтиёрий берк контур билан чегараланган берк сирт орқали ўтадиган оқим нолга тенг эканлиги кўриниб турибди, чунончи, бу сиртдан ўтувчи чизиқлар оқимига бир марта

мусбат (сиртга кириб) ва бир марта манфий (сиртдан чиқиб) ҳисса қўшади:

$$\Phi = \int d\Phi = \oint_s (\vec{B} \cdot d\vec{s}) = 0. \quad (2.103)$$

Берк контур билан чегараланган юзни кесиб ўтувчи магнит оқимининг ўзгариши натижасида контурда индукцион ток вужудга келади. Бу индукцион токнинг қиймати магнит оқимининг ўзгариш тезлигига боғлиқ. Индукцион ток шундай йўналган бўладики, унинг хусусий магнит оқими бу токни вужудга келтираётган магнит оқимининг ўзгаришига тўсқинлик қилади. Индукцион ток вужудга келишини индукцион электр юритувчи куч мавжудлиги билан боғлаш мумкин, у қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.104)$$

Бу ифодадаги минус ишора индукцион электр юритувчи куч ва  $\frac{d\Phi}{dt}$  нинг йўналишлари чап винт қондаси асосида боғланганлигини билдиради.

Контурдан оқиб ўтаётган ток кучи ўзгарса, Био-Савар-Лаплас қонунига кўра бу ток вужудга келтирган магнит оқими ҳам ўзгаради ва ушбу ўзгарувчан магнит оқими худди шу контурни тешиб ўтади. Электромагнит индукция ҳодисасига асосан контурда индукцион электр юритувчи куч ҳосил бўлади. Бу ҳодиса ўзиндукция ҳодисаси дейилади.

Контурдан ўтаётган ток туфайли вужудга келган магнит оқими ундан оқиб ўтаётган ток кучига тўғри пропорционал:

$$\Phi = LI, \quad (2.105)$$

бу ерда  $L$  индуктивлик коэффициенти бўлиб, контурнинг шакли, ўрамлар сони, ўлчамлари ва муҳитнинг магнит сингдирувчанлигига боғлиқдир. Халқаро бирликлар системасида индуктивлик коэффициенти Генри (Гн) билан ўлчанади:

$$1 \text{ Гн} = 1 \frac{\text{Вб}}{\text{А}}.$$

Масалан, узунлиги  $l$ , ўрамлар сони  $n$  бўлган соленоид индуктивлигини ҳисоблайлик. Соленоид чексиз

узун бўлса, унинг ичидаги майдон индукцияси  $B = \mu_0 n I$ , бир ўрама орқали ўтаётган магнит оқими  $\Phi = B \cdot s$  га тенг. Бу муносабат (2.105) ифода билан таққосланганда соленоид ғалтаги индуктивлиги:

$$L = \mu_0 n^2 \frac{s}{l}. \quad (2.106)$$

Ўзиндукция электр юритувчи куч эса қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$E_{\text{ўз}} = - \frac{d\Phi}{dt} = - L \frac{dI}{dt}. \quad (2.107)$$

Бундаги минус ишора индукцион ток ҳосил қилган магнит майдон билан, вақт бўйича ўзгарувчан магнит оқим ( $\Phi$ ) ини вужудга келтирувчи майдоннинг ўзаро қарама-қарши йуналганлигини кўрсатади.

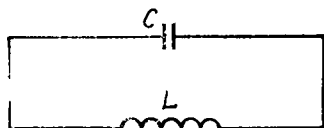
**Электромагнит тебранишлар.** Заряд миқдори, ток кучи, электр ва магнит майдонининг миқдорий характеристикаларининг ўзаро боғланган ҳолатдаги даврий ўзгаришлари електромагнит тебранишлари деб юритилади. Механикада энг содда тебраниш системалари пружинага осилган юк ёки математик маятник бўлганидек, электромагнит тебранишларини кузатиш мумкин бўлган энг содда системалар конденсатор ва индуктивлик ғалтагидан иборат тебраниш контуридир (101-расм). Бу контурда конденсатор қопламалари орасида ҳосил бўлган электр майдон энергияси (максимал қиймати  $W_E = \frac{Cu^2}{2}$ ) ва индуктивлик ғалтагидаги магнит

майдон энергиялари (максимал қиймати  $W_M = \frac{LI^2}{2}$ ) ўзаро боғланган ҳолда даврий ўзгариб боради. Контурдаги ўтказгичлар қаршилиги ҳисобга олинмаса, у идеал контур бўлиб, сўнмас тебранишларни кузатиш мумкин. Бундай тебранишлар қуйидаги тенглама билан ифодаланadi:

$$\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0, \quad (2.108)$$

бу ерда  $\ddot{q} = \frac{d^2q}{dt^2}$ ,  $\omega_0 = \frac{1}{LC}$

$L$  — ғалтак индуктивлиги,  
 $C$  — конденсатор сифими,  
 $\omega_0$  — контурнинг хусусий доиравий частотаси.



101- расм.

Маълумки, бундай дифференциал тенгламининг ечими

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (2.109)$$

кўринишидаги функциядир, бу ерда  $\alpha$  — бошланғич фаза.

Демак, контурдаги заряд миқдори косинус ёки синус даврий функцияси кўринишида ўзгаради. Худди шундай тарзда конденсатордаги кучланиш

$$u = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \alpha) = u_m \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (2.110)$$

ва контурдаги ток кучи ҳам косинус ёки синуслар қонуни бўйича ўзгаради:

$$\begin{aligned} I &= \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \alpha) = \\ &= I_m \cos\left(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \quad (2.111)$$

Келтирилган тенгламаларни солиштиришдан шу нарса аёнки, ток кучи кучланишдан фазаси бўйича  $\pi/2$  қадар илгарилаб кетади. Фазалар қиймати ноль бўлганда,  $q$ ,  $u$ ,  $I$  катталиклар максимал қийматга эришади, яъни

$$q = q_m, \quad u_m = \frac{q_m}{C} \quad \text{ва} \quad I_m = \omega_0 q_m.$$

Ушбу муносабатларни солиштириб,

$$u_m = \sqrt{\frac{L}{C}} I_m \quad (2.112)$$

муносабатни ҳосил қилиш мумкин.

Агар тебраниш контуридаги ўтказгичлар қаршилиги ҳисобга олинса, у ҳолда тебраниш дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$\ddot{q} + 2\beta \dot{q} + \omega_0^2 q = 0, \quad (2.113)$$

бу ерда  $\beta = \frac{R}{2L}$  электромагнит тебранишларнинг сўниши билан боғлиқ бўлган катталик. Аммо  $\beta^2 < \omega_0^2$  ёки  $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$  шarti бажарилганда (2.113) тенглик қуйидаги кўринишдаги

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.114)$$

ҳақиқий ечимга эга бўлади, бу ерда  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  ёки  $\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \beta^2}$ .

Шундай қилиб, бу контурда  $q_m \cdot e^{-\beta t}$  қонун бўйича сўнувчи тебранишлар ҳосил бўлиб, уларнинг частотаси  $\omega$  контурнинг хусусий частотаси  $\omega_0$  дан доимо кичик ва  $R = 0$  бўлса, аввалги ечимга эга бўламиз. Сўнувчи электромагнит тебранишларда контурдаги кучланиш ва контурдаги ток кучи мос равишда қуйидаги муносабатлар билан аниқланади:

$$u = \frac{q_m}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha) = u_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.115)$$

$$I = \dot{q} = \omega q_m e^{-\beta t} \sin(\omega t + \alpha + \psi), \quad (2.116)$$

бу ерда  $\psi$  катталиқ қуйидагича ифодаланади:

$$\cos \psi = -\frac{\beta}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} = -\frac{\beta}{\omega_0}; \quad \sin \psi = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \beta^2}} = \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (2.117)$$

$\cos \psi < 0$  ва  $\sin \psi > 0$  бўлганда  $\frac{\pi}{2} < \psi < \frac{\pi}{2}$  муносабат ўринли бўлади.

Шундай қилиб, контурда актив қаршилик мавжуд бўлса, у ҳолда ток кучи кучланишга қараганда  $\frac{\pi}{2}$  дан ортиқроқ фазада олдинга ўтиб кетар экан.

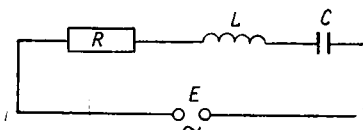
Юқорида тавсиф этилган тебраниш контурида мажбурий тебранишлар ҳосил қилиш учун уни даврий ўзгарувчан манбага улаш керак (102-расм). Бу ҳолда: тебраниш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{u_m}{L} \cos \omega t. \quad (2.118)$$

Бу бир жинсли бўлмаган иккинчи тартибли дифференциал тенгламанинг хусусий ечими қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$q = q_m \cos(\omega t - \psi), \quad (2.119)$$

бунда



102- расм.



$$q_m = \frac{u_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}. \quad (2.121)$$

Контурдаги ток кучи

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (2.121)$$

бу ерда  $\varphi = \psi - \frac{\pi}{2}$  катталиқ ток кучи ва кучланиш орасидаги фаза фарқи бўлиб, қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \left( \psi - \frac{\pi}{2} \right) = - \frac{1}{\operatorname{tg} \psi} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (2.122)$$

$\omega L > \frac{1}{\omega C}$  шарт бажарилганда ток кучидан кучланиш фаза бўйича олдинга кетади,  $\varphi > 0$  ва  $\omega L < \frac{1}{\omega C}$  да эса ток кучи фазаси бўйича олдинлаб кетади.

Ток кучи амплитудаси:

$$I_m = \omega q_m = \frac{u_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (2.123)$$

Актив қаршилиқдаги кучланиш:

$$u_R = IR = I_m R \cos(\omega t - \varphi). \quad (2.124)$$

Конденсатордаги кучланиш:

$$u_C = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t - \psi) = u_{Cm} \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.125)$$

бунда

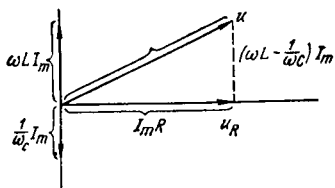
$$u_{Cm} = \frac{q_m}{C} = \frac{u_m}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{I_m}{\omega C}. \quad (2.126)$$

Индуктив ғалтакдаги кучланиш:

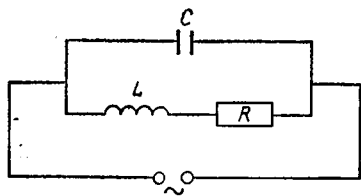
$$\begin{aligned} u_L &= -L \frac{dI}{dt} = -\omega L I_m \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= u_{Lm} \cos\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (2.127)$$

бу ерда

$$u_{Lm} = \omega L I_m. \quad (2.128)$$



103- расм.



104- расм.

$u_R$ ,  $u_C$ ,  $u_L$  учун ёзилган ифодалар диққат билан кузатилса, конденсатордаги кучланиш ток кучидан фаза бўйича  $\pi/2$  қийматга орқада қолади, индуктив ғалтагидаги эса шу қийматга олдин кетади, актив қаршиликда ток кучи ва кучланш бир хил фазада бўлади. Бу учала кучланиш йиғиндиси манба кучланишига тенг (103-расм). Агар мажбурий тебраниш ҳосил қилувчи кучланиш частотаси контурнинг хусусий частотасига тенг бўлса, у ҳолда ток кучи амплитудаси ўзининг максимал қийматига эришади, ток ва кучланиш орасидаги фаза фарқлари йўқолиб, контур актив қаршилик хусусиятига эга бўлиб қолади. Мажбурий тебранишнинг бу ҳоли кучланиш резонанси деб юритилади.

Худди шундай ҳодиса схемаси 104-расмда келтирилган тебраниш контурида ҳам кузатилади. Буни ток резонанси дейилади.

*Ўзгарувчан ток.* Техникада кўп ишлатиладиган ўзгарувчан ток мажбурий тебранишларга мисол бўлади.

Занжирдан ўтаётган токнинг кучи вақт ўтиши билан ўзгариб туриши мумкин. Масалан, ток манбаининг электр юритувчи кучи даврий равишда

$$E = E_m \cos \omega t \quad (2.129)$$

қонун бўйича ўзгарса, бу манбага уланган қаршиликдан ўтувчи ток кучининг қиймати

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t \quad (2.130)$$

ифода билан аниқланади. Демак, ўзгарувчан электр юритувчи куч таъсирида берк контурда ўзгарувчан ток ҳосил бўлади (105-расм). Ўзгарувчан токнинг айти мо-

$$q_m = \frac{u_m}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}. \quad (2.121)$$

Контурдаги ток кучи

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (2.121)$$

бу ерда  $\varphi = \psi - \frac{\pi}{2}$  катталиқ ток кучи ва кучланиш орасидаги фаза фарқи бўлиб, қуйидаги муносабатдан аниқланади:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \left( \psi - \frac{\pi}{2} \right) = - \frac{1}{\operatorname{tg} \psi} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (2.122)$$

$\omega L > \frac{1}{\omega C}$  шарт бажарилганда ток кучидан кучланиш фаза бўйича олдинга кетади,  $\varphi > 0$  ва  $\omega L < \frac{1}{\omega C}$  да эса ток кучи фазаси бўйича олдинлаб кетади.

Ток кучи амплитудаси:

$$I_m = \omega q_m = \frac{u_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (2.123)$$

Актив қаршилиқдаги кучланиш:

$$u_R = IR = I_m R \cos(\omega t - \varphi). \quad (2.124)$$

Конденсатордаги кучланиш:

$$u_C = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t - \psi) = u_{Cm} \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.125)$$

бунда

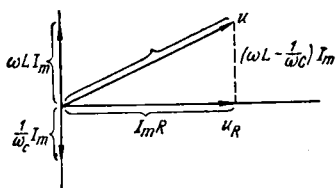
$$u_{Cm} = \frac{q_m}{C} = \frac{u_m}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{I_m}{\omega C}. \quad (2.126)$$

Индуктив ғалтакдаги кучланиш:

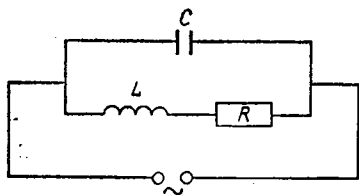
$$\begin{aligned} u_L &= -L \frac{dI}{dt} = -\omega L I_m \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= u_{Lm} \cos\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (2.127)$$

бу ерда

$$u_{Lm} = \omega L I_m. \quad (2.128)$$



103- расм.



104- расм.

$u_R$ ,  $u_C$ ,  $u_L$  учун ёзилган ифодалар диққат билан кузатилса, конденсатордаги кучланиш ток кучидан фаза бўйича  $\pi/2$  қийматга орқада қолади, индуктив ғалтагидаги эса шу қийматга олдин кетади, актив қаршиликда ток кучи ва кучланиш бир хил фазада бўлади. Бу учала кучланиш йиғиндиси манба кучланишига тенг (103-расм). Агар мажбурий тебраниш ҳосил қилувчи кучланиш частотаси контурнинг хусусий частотасига тенг бўлса, у ҳолда ток кучи амплитудаси ўзининг максимал қийматига эришади, ток ва кучланиш орасидаги фаза фарқлари йўқолиб, контур актив қаршилик хусусиятига эга бўлиб қолади. Мажбурий тебранишнинг бу ҳоли кучланиш резонанси деб юритилади.

Худди шундай ҳодиса схемаси 104-расмда келтирилган тебраниш контурида ҳам кузатилади. Буни ток резонанси дейилади.

*Ўзгарувчан ток.* Техникада кўп ишлатиладиган ўзгарувчан ток мажбурий тебранишларга мисол бўлади.

Занжирдан ўтаётган токнинг кучи вақт ўтиши билан ўзгариб туриши мумкин. Масалан, ток манбаининг электр юритувчи кучи даврий равишда

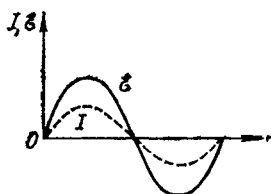
$$E = E_m \cos \omega t \quad (2.129)$$

қонун бўйича ўзгарса, бу манбага уланган қаршиликдан ўтувчи ток кучининг қиймати

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t \quad (2.130)$$

ифода билан аниқланади. Демак, ўзгарувчан электр юритувчи куч таъсирида берк контурда ўзгарувчан ток ҳосил бўлади (105-расм). Ўзгарувчан токнинг айни мо-

менгдаги қиймати унинг оний қиймати дейилади. Агар ўзгарувчан ток занжирини айрим қисмларидаги ток кучининг оний қийматлари амалда бир хил бўлса, бундай ўзгарувчан токни квазистационар ток деб аталади. Даврий ўзгарувчан токни характерловчи асосий катталиклардан бири даврдир. Ўзгарувчан токнинг даври деганда токнинг қиймати, бир марта тўлиқ тебраниб яна ўзининг аввалги қийматини ва йўналишини олиши учун кетган вақт тушунилади. Давр частота ёки доиравий частота билан қуйидагича боғланади:



105- расм.

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (2.131)$$

Иккинчи асосий катталик ток амплитудаси, учинчиси эса ток фазасидир.

Ўзгарувчан ток ва ЭЮК нинг қийматлари синус ёки косинус қонунлари бўйича ўзгариб тургани учун ўлчов асбоблари уларнинг эффектив қийматларини ўлчашга мослаштирилган. Бу қиймат токнинг иш бажариши билан белгиланади. Ўзгарувчан ток ўтказгичдан маълум вақт ичида қандай иссиқлик миқдори ажралган бўлса, шу вақт ичида шу ўтказгичдан ўшанча иссиқлик миқдори ажрата оладиган ўзгармас токнинг қиймати, ўзгарувчан токнинг эффектив қиймати дейилади. Ҳисоблашлар

$$I_{\text{эфф}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad u_{\text{эфф}} = \frac{u_m}{\sqrt{2}} \quad (2.132)$$

эканлигини кўрсатади.

Ўзгарувчан ток занжиридаги индуктив қаршилик

$$X_L = \omega L \quad (2.133)$$

ва сизим қаршилиги

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2.134)$$

ифодалар билан аниқланади. Бу икки қаршилик одатда реактив қаршилик деб аталади. Актив қаршилиги  $R$ , реактив қаршилиги  $X_L$  ва  $X_C$  бўлган ўзгарувчан ток занжирининг умумий қаршилиги

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (2.135)$$

га тенг бўлади.

Ток кучи ва кучланишнинг эффектив қийматлари орасида қуйидагича боғланиш мавжуд:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{u_{\text{эфф}}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}. \quad (2.136)$$

- Агар занжир актив қаршилик ва индуктив ғалтагидан иборат бўлса, у ҳолда (2.136) ифода қуйидаги кўри-нишда ёзилади:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{u_{\text{эфф}}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

18-лаборатория иши. Муҳитнинг магнит сингдирув-чанлигини аниқлаш.

*Ишни бажаришдан мақсад:* муҳитнинг магнит сингдирувчанлигини ўзгарувчан ток қонунларидан фойдаланиб тажрибада аниқлаш.

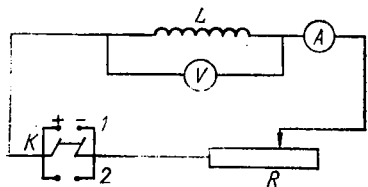
**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 165—178, 180—182-бетлар; [1], XIII боб, 4-§; [2], 92-§.

1. Схемаси 106-расмда келтирилган электр занжири тузилади. Бу ерда  $L$ —индуктивлик ғалтаги,  $A$ —амперметр,  $V$ —вольтметр,  $R$ —актив қаршилик,  $K$ —калит.

2.  $K$  калит 1 ҳолатга ўтказилади, амперметр ва вольтметр ёрдамида ток кучи ҳамда кучланиш ўлчаниб,  $R = \frac{u}{I}$  ифодадан ғалтакнинг актив қаршилиги аниқланади.

3. Ток кучининг бошқа қийматлари учун ҳам 2-пункт такрорланади.

4.  $K$  калитни 2 ҳолатга ўтказиб,  $z = \frac{u_{\text{эфф}}}{I_{\text{эфф}}}$  ифода-



106-расм.

дан ғалтакнинг тўла қаршилиги аниқланади. (Ўлчашлар камида 3 марта ўтказилади).

5.  $z$  ва  $R$  ларнинг ўртача қийматларини аниқ-

лаб  $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{z^2 - R^2}$  ифодадан ғалтакнинг индуктив-

лиги ҳисобланади.

6. Ғалтакка темир ўзак киритилади ва 2—5-пунктлар такрорланади.

7.  $\mu = \frac{L_{\text{узакли}}}{L_{\text{узаксиз}}}$  ифодадан магнит киритувчанлик аниқланади, жадвал тузилиб, унга ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар ёзилади.

19- лаборатория иши. Индуктивлик ва сизим қаршиликларни аниқлаш.

*Ишни бажаришдан мақсад:* индуктив ва сизим қаршиликларни тажрибада аниқлаш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 180—182-бетлар, [1] XIII боб, 4-§; [2] 92-§.

1. Схемаси 107-расмда келтирилган электр занжири тузилади.

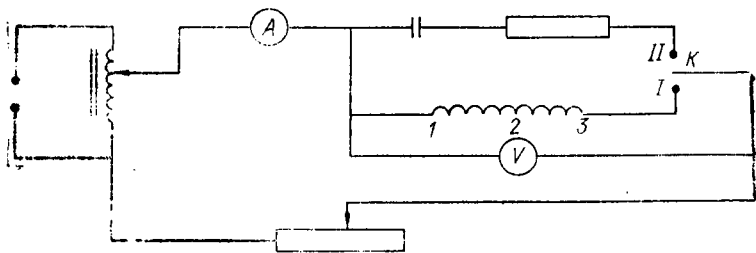
2. К калит I ҳолатга қўйилиб, индуктив ғалтагининг учта ҳолати (1, 2, 3) учун амперметр ва вольтметрнинг кўрсатишлари ёзиб олинади.

3.  $z = \frac{u_{\text{эфф}}}{I_{\text{эфф}}}$  ифода орқали занжирнинг тўла қаршиликлари ҳисобланади (занжирдаги омик қаршиликнинг 5, 10, 15 Ом га тенг бўлган қийматларида).

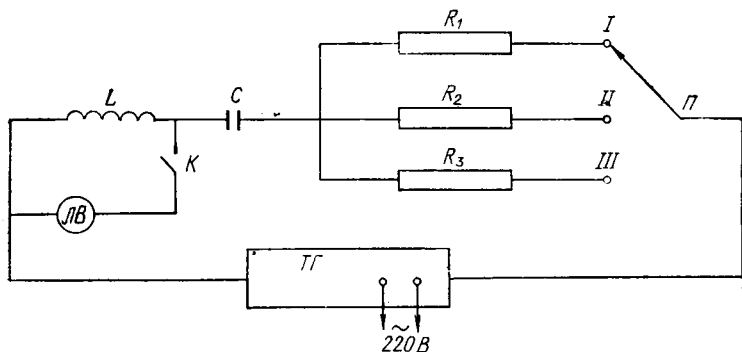
4.  $X_L = \omega L$  ифодадан индуктив ғалтак қаршилиги ҳисобланади. Бу ерда  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\nu = 50$  Гц деб олинади ( $L = \frac{\sqrt{z^2 - R^2}}{\omega}$ ).

5.  $\text{tg } \varphi = -\frac{\omega L}{R}$  ифодадан ток билан кучланишнинг фаза силжиши аниқланади.

6. К калит II ҳолатга қўйилиб, амперметр, вольтметр кўрсатишлари ёзиб олинади ва  $z = \frac{u_{\text{эфф}}}{I_{\text{эфф}}}$  ифода орқали занжирнинг тўла қаршилиги ҳисобланади.



107-расм.



108- расм.

7. Омик қаршилик  $R = 20$  Ом бўлгандаги сиғим қаршилиги  $X_C = \frac{1}{C\omega}$  ифодадан ва конденсатор сиғими  $C = \frac{1}{\omega\sqrt{Z^2 - R^2}}$  аниқланади.

8.  $\text{tg}\varphi = \frac{1}{\omega CR}$  ифода орқали конденсатордаги ток кучи ва кучланиш орасидаги фаза фарқлари аниқланади.

9. Жадвал тузилиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар унга ёзилади.

20- лаборатория иши. Кучланиш резонансини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* кучланиш резонансини тажрибада ўрганиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 178—180-бетлар, [1] XIII боб, 1, 2, 3- §; [2] 80, 90, 91- §.

1. Схемаси 108- расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда ЛВ — лампали вольтметр, ТГ — товуш частотасидаги ўзгарувчан ток генератори.

2. К калиб орқали лампали вольтметр тармоққа уланади ва унинг стрелкаси нолга келтирилади,

3. П улагич I ҳолатга қўйилиб, ТГ ўзгарувчи ток манбаига уланади.

4. Частотани ўзгартирувчи дастани бураб, вольтметр кўрсатишини ҳар 3 вольтга мос частота ёзиб олинади.

5. Олинган натижалар асосида абсцисса ўқига индуктив галтагидаги кучланишлар қийматини, ордината ўқига уларга мос частоталар қийматини қўйиб  $u = f(\nu)$  функция графиги чизилади.



6. *II* улагични *II* ва *III* ҳолатларга қўйиб 4 ва 5 пунктлар такрорланади.

7. Эгри чизиқ шаклига қараб энг кичик қаршилик қиймати топилади.

### *Контрол саволлар*

1. Электромагнит индукция ҳодисаси нима? Уни тажрибада ўрганиш усулларини айтинг.

2. Индукцион электр юригувчи кучи нималарга боғлиқ?

3. Соленоид ўқидаги магнит майдонини электромагнит индукция ҳодисаси ёрдамида ўрганиш мумкинми?

4. Индуктивлик нима, у қандай аниқланади?

5. Электромагнит индукция ҳодисасининг қўлланиш соҳаларини айтиб бериш,

6. Электромагнит тебранишлар нима? У қандай ҳосил қилинади?

7. Актив ва реактив қаршиликларни аниқлаш усулларини айтинг.

8. Актив қаршилиги маълум бўлган ғалтакнинг индуктивлигини аниқлаш учун қандай схемадан фойдаланиш мумкин?

9. Конденсатордан ўзгармас ток ўтади?

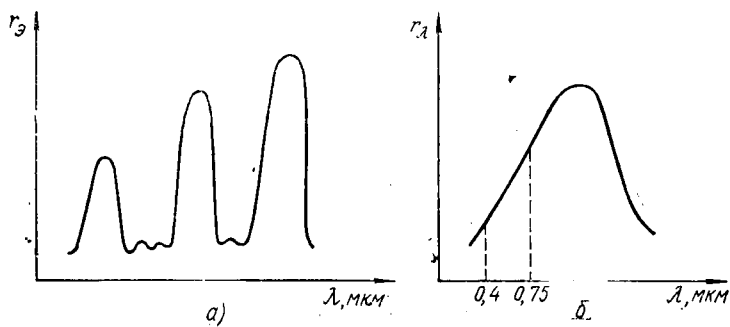
10. Конденсатор ва индуктив ғалтакнинг реактив қаршиликлари қачон нолга тенг бўлади?

**1-§. Оптика ва оптик асбоблар ҳақида умумий маълумотлар**

Физиканинг оптика бўлимида тўлқин узунлиги маълум диапазондаги электромагнит тўлқинларнинг ҳосил қилиниши, тарқалиши хусусиятлари, моддалар билан таъсирлашуви, табиати кенг ўрганилади. Нурланиш манбаларида электромагнит тўлқинлар модда таркибидagi зарядли зарраларнинг бир энергетик ҳолатдан иккинчисига ўтиши натижасида вужудга келади. Энергия сарфи ўрнини тўлдирилишига кўра табиати турлича бўлган нурланиш манбалари мавжуд. Жисмлардаги химиявий ўзгаришлар, ёруғлик ва электр майдони таъсирлари натижасида вужудга келадиган электромагнит нурланиш люминесценция дейилади. Турли инерт газлар билан тўлдирилган лампалар, ҳаводаги, металл буғларидаги электр разрядлари, баъзи моддаларнинг чириш жараёнлари, оксидланиши бундай нурланиш манбаларига мисол бўла олади. Нурланиш билан йўқолган энергия жисмга иссиқлик бериш воситасида тўлдирилиши билан боғлиқ бўлган нурланиш иссиқлик ёки температура нурланиш дейилади. Бунга абсолют ноль температурасидан фарқли температурада бўлган барча жисмлар, жумладан толали лампалар нурланиши мисол бўла олади.

Нурланиш манбалари ўзларининг спектрал ва фотометрик характеристикалари билан фарқланади. Улар спектрал характеристикаларига кўра 3 синфга бўлинади:

1) чизикли спектрга эга бўлган манбалар паст босимдаги металл буғлари ва инерт газлар атмосферасида содир бўлувчи газ разрядлари натижасида юзага келувчи электромагнит нурланиш манбалари (109-а расмда унинг спектрал характеристикаси берилган). Бундай манбалар нурланиши жуда кичик тўлқин узунликлари диапазонида кузатилади;



109- расм.

2) йўл-йўл спектрга эга бўлган манбалар—юқори босимдаги металл буғлари, инерт газлар атмосферасида содир бўлувчи газ разрядлари туфайли юзага келувчи электромагнит нурланиш манбалари. Бундай манбаларнинг нурланиш спектрлари бир-биридан қора чизиқлар билан ажратилган полосалардан иборат;

3) туташ спектрга эга бўлган манбалар (109- б расм, спектрал характеристикаси). Буларга иссиқлик нурланишига, суюқ ва қаттиқ жисмлар люминесценциясига асосланган барча нурланишлар кирди. Бундай нурланиш спектрлари бир-бирига туташиб кетган полосалардан иборат бўлади.

Ёруғлик оқими, ёруғлик кучи, равшанлик нурланиш манбаининг фотометрик характеристикаларидир. Ёруғлик оқими — бирор тўлқин узунлиги диапазони  $\Delta\lambda$  га мос келувчи электромагнит тебранишларнинг вақт бирлигида гарқатаётган энергияси, у люменларда ўлчанади. 1 люмен (*л.м*) 0,0016 Вт қувватга мос келувчи тўлқин узунлиги 0,555 мкм бўлган ёруғлик оқими. Ёруғлик кучи бирлик фазовий бурчакка мос келувчи ёруғлик оқими:  $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$ . У кандела (кд) ларда ўлчанади. 1 кандела

Халқаро бирликлар системасида ёруғлик оқимининг асосий ўлчов бирлиги бўлиб, у температураси 101325 Па босимдаги платинанинг эриш температурасига тенг бўлган нурланиш манбаининг 1600 000 м<sup>2</sup> сиртидан тарқалаётган ёруғлик кучи бирлигига тенг. Равшанлик нурланиш манбаининг юз бирлигидан тап-

қалаётган ёруғлик кучини характерлайди:  $B = \frac{dI_\alpha}{d\sigma}$ , бун-

да  $dI_\alpha$  —  $\alpha$  йўналишдаги ёруғлик кучи,  $d\sigma$  — нурланувчи юзнинг нурланиш йўналишига перпендикуляр текисликка проекцияси. Манбанинг равшанлиги кандела тақсим метр квадрат ( $\text{кд/м}^2$ ) ларда ўлчанади. Равшанлик ҳақида аниқроқ тасаввурга эга бўлиш учун баъзи рақамларни келтирамиз: Қуёшнинг зенитда тургандаги равшанлиги  $5,5 \cdot 10^6$   $\text{кд/м}^2$ , тиниқ осмонники —  $1,5 \cdot 10^3$   $\text{кд/м}^2$ , чўғланма лампа толасиники — (100 Вт, 220 Вт)  $5,5 \cdot 10^6$   $\text{кд/м}^2$ , ўта юқори босимдаги симоб лампасиники  $1,8 \cdot 10^9$   $\text{кд/м}^2$ .

Лазер (оптик квант генератори) кўпгина афзалликларга эга бўлган оптик диапазонда электромагнит тўлқинларни тарқатувчи манбалардан. Бу манбалар люминесценция ва иссиқлик манбаларидан фарқли равишда модда атом ва молекулаларининг мажбурий тебранишига асосланади.

Мажбурий тебранишлар юз берадиган моддалар лазернинг актив муҳитларини ташкил этади. Актив муҳитларига кўра лазерлар қаттиқ жисм ва суюқликдан тайёрланган лазер, газли лазер, ярим ўтказгичли лазер ва бошқа группаларга бўлинади.

Ўқув лабораторияларида когерент нурланиш манбаи сифатида газли лазер ЛГ—75 (гелий-неон) кўп ишлатилади. Бу лазер 632,8 нм ( $6,328 \cdot 10^{-7}$  м) тўлқин узунлигида электромагнит тўлқинларини нурлантиради. ЛГ—75 асбоби икки қисмдан: оптик квант генератори, кучланиш стабилизаторидан ташкил топган. Оптик квант генераторига ўриятилган ясси ва сферик кўзгулар оптик резонатор ва газоразряд трубкасига жойлаштирилган гелий ва неон газлари актив муҳит вазифаларини ўтайди.

Ёруғлик манбалари табиатини ўрганиш билан бир қаторда оптик асбобларнинг ишлаш принципи асосини ташкил қиладиган геометрик оптика қонунлари билан танишиш ҳам катта аҳамиятга эга.

Геометрик оптика қонунлари билан қисқача танишиб чиқамиз:

1. *Ёруғликнинг бир жинсли муҳитда тўғри чизик бўйлаб тарқалиш қонуни.* Нуқтавий ёруғлук манбалари ҳосил қиладиган сояларни кузатиш ёки кичик тирқишлар ёрдамида олинган тасвирлар ёруғликнинг тўғри чизик бўйлаб тарқалишини тасдиқлайди. Ёруғ-

лик жуда кичик тирқиш ва тўсиқлардан ўтганда бу қонун кузатилмайди.

2. *Ёруғлик дасталарининг мустақиллик қонуни.* Ёруғлик оқими диафрагмалар ёрдамида айрим-айрим дасталарга ажратилса, уларнинг мустақил таъсир этиб ҳосил қиладиган эффекти бошқаларининг ўша вақтдаги таъсирига боғлиқ эмас. Ушбу ёруғлик дасталарини тарқатувчи маъбалар ўзаро боғланган тақдирдагина бу қонундан четланишлар кузатилади.

3. *Ёруғликнинг қайтиш қонуни.* Тушаётган нур, қайтарувчи сиртга ўтказилган нормаль ва қайтган нур бир текисликда ётади (110-расм), бунда нурлар билан нормаль орасидаги бурчаклар ўзаро тенг.

4. *Ёруғликнинг синиш қонуни.* Тушаётган нур, синган нур ва икки муҳит чегарасига ўтказилган нормаль бир текисликда ётади (111-расм). Тушиш ва синиш бурчаклари орасида қуйидаги муносабат ўринли:

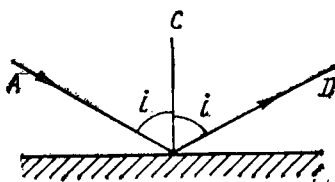
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (3.1)$$

бу ерда  $i$  ва  $r$  мос равишда тушиш ва синиш бурчаклари,  $n_{21}$ —иккинчи муҳитнинг биринчи муҳитга нисбатан синдириш кўрсаткичи,  $v_1$  ва  $v_2$ —мос равишда ёруғликнинг биринчи ва иккинчи муҳитдаги тарқалиш тезликлари. Агар биринчи муҳит ўрнида вакуум бўлса, у ҳолда иккинчи муҳитнинг вакуумга нисбатан синдириш кўрсаткичи шу муҳитнинг абсолют синдириш кўрсаткичи деб аташ қабул қилинган. Ушбу ҳол учун (3.1) муносабат қуйидагича ёзилади:

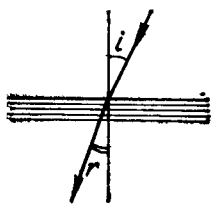
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{c}{v}, \quad (3.2)$$

$c$ —ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

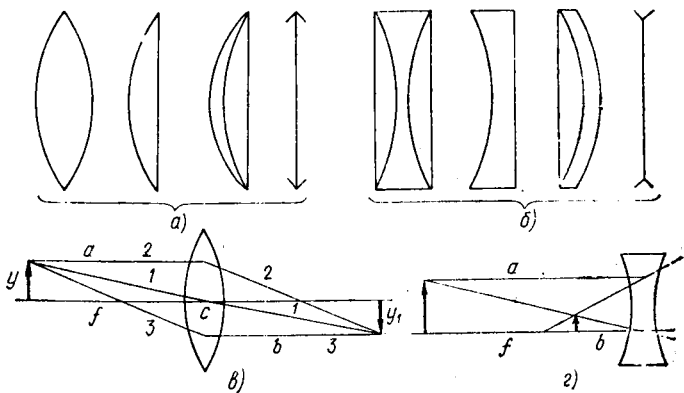
Ёруғликнинг қайтиш ва синиш қонунлари ҳам муайян шароитлардагина бажарилади. Агар қайтарувчи



110-расм.



111-расм.



112- расм.

муҳит ёки икки муҳит чегарасини ажратиб турувчи сирт ўлчами жуда кичик бўлса, тушаётган ёруғлик жуда катта қувватга эга бўлса, бу қонунлардан четланишлар кузатилади. Амалда қўлланиладиган барча оптик асбоблар асосида ёруғликнинг сферик сиртлардан қайтиши ва синиши ҳодисалари ётади. Сферик сиртларнинг марказлари бир тўғри чизиқда ётса, улар марказлаштирилган системалар дейилади. Икки сферик сирт билан чегараланган бундай шаффоф жисмлар линзалар деб юритилади. Ишлатилишига кўра уларни икки турга бўлиш мумкин: сферик сиртларидан бири ёки ҳар иккаласи қавариқ бўлган линзалар йиғувчи ва ботиқ бўлганлари сочувчи линзалар ҳисобланади. Бу таърифлар синдириш кўрсаткичи нур тушаётган муҳитни кидан катта бўлган шаффоф моддалардан ясалган линзалар учун ўринли.

112-расмда юпқа қавариқ (а) ва ботиқ линзалар (б), улардаги нур йўналишлари тасвирланган (в, г). „С“ нуқта оптик марказ деб юритилиб, ундан ўтувчи нурлар йўналишини ўзгартирмайди. Оптик марказдан ўтувчи ҳар қандай тўғри чизиқ оптик ўқ, эгрилик марказларидан ва оптик марказидан ўтувчиси бош оптик ўқ дейилади. Бош оптик ўққа параллел йўналишда тушиб, линзадан синиб ўтгандан кейин йиғиладиган нуқта линзанинг бош фокуси дейилади. Сочувчи линзанинг фокуси мавҳум нуқта бўлади.

Линзаларда предмет тасвирини ясаш учун қуйидаги учта нурнинг иккитасидан фойдаланиш кифоя: оптик марказдан ўтувчи (бу нур синмайди) — 1, бош оптик ўққа параллел (линзадан чиққандан кейин бош фокусдан ўтади) — 2, бош фокусдан ўтувчи (линзадан чиққандан кейин бош оптик ўққа параллел йўналишда тарқалади) — 3 (112-расм). Предметнинг тасвири унинг жойлашувига қараб, ё катталашади, ё кичиклашади.

Предметдан линзагача бўлган масофа  $a$ , линзадан тасвиргача бўлган масофа  $b$  ва фокус оралиғи  $f$  деб олинса, линзанинг асосий формуласи:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad (3.3)$$

линзанинг чизиқли катталаштириши:

$$k = \frac{y'}{y} = \frac{b}{a}. \quad (3.4)$$

Унинг оптик кучи

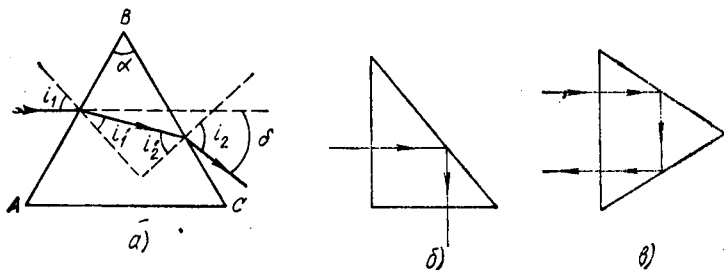
$$D = \frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.3 a)$$

кўринишга эга. Бу ерда  $D$  — линзанинг оптик кучи,  $R_1$ ,  $R_2$  — эгрилик радиуслари,  $n$  — линза ясалган модданинг синдириш кўрсаткичи,  $u$  — предметнинг,  $y'$  — тасвирнинг чизиқли ўлчамлари.

Ёруғлик нурининг синиш қонунига асосланган оптик системалардан бири призмадир (113-расм).

Призманинг бирор ( $AB$ ) томонига тушган нур икки марта синиб бошланғич йўналишидан  $\delta$  бурчакка оғган ҳолда чиқади:

$$\delta = i_1 + i_2 - \alpha, \quad (3.5)$$



113- расм.

$i_1$  — нурнинг призмага тушиш бурчаги,  $i_2$  — призмадан чиқиш бурчаги,  $\alpha$  — призманинг синдириш бурчаги. Агар  $i_1 = i_2 = i$  бўлса,  $i = \frac{\delta + \alpha}{2}$  бўлади ва синиш қонунига асосан ( $i'_1 = i'_2 = i'$ ,  $i' = \frac{\alpha}{2}$ ) қуйидаги ифодаларни ҳосил қилиш мумкин:  $n \sin i' = \sin \frac{\delta + \alpha}{2}$

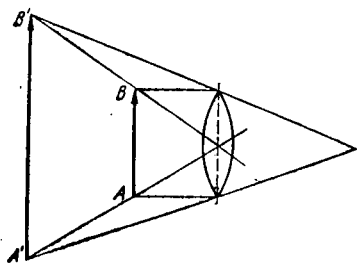
$$n \sin \frac{\alpha}{2} = \sin \frac{\delta + \alpha}{2}. \quad (3.6)$$

Призма спектраль асбобларда мураккаб ёруғликни таркибий қисмларга ажратувчи асосий элемент сифатида кенг ишлатилади. Ёруғликнинг призмадан ўтиб, турли нурлардан иборат спектрга ажрალიши унинг синдириш кўрсаткичининг тўлқин узунлигига боғлиқлиги натижасидир. Шунинг учун синдириш кўрсаткичи  $n$  га боғлиқ бўлган  $\delta$  бурчак тўлқин узунлигининг ҳам функцияси ҳисобланади. Призмада кузатиладиган ёруғлик дисперсияси  $\left(\frac{d\delta}{d\lambda}\right)$  қуйидаги муносабат билан характерланади:

$$\frac{d\delta}{d\lambda} = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}} \cdot \frac{dn}{d\lambda}. \quad (3.7)$$

Шунингдек, призмалардан нурларни 90, 180 ва бошқа бурчакларга оғдиришда ҳам фойдаланилади. Бу ҳодиса ёруғликнинг тўла ички қайтиш ҳодисасига асосланади (113-б, в расм).

Амалий оптиканинг баъзи масалаларини ҳал этилишида қўлланиладиган, геометрик оптика қонунларига



114- расм.

асосланган асбоблар билан танишиб чиқамиз. Механик мосламаларга ўрнатилган линзалар, призмалар, кўзгулар ва бошқалардан ташкил топган оптик системалар оптик асбоблар деб юритилади.

Луна қисқа фокусли йиғувчи линзадан иборат бўлиб, майда буюмларни



катталаштириб ўрганишда ишлатилади.  $AB$  буюм (114-расм) линза ва унинг фокуси орасига қўйилади. Нурлар линзадан ўтгандан кейин катталашган мавҳум тасвир  $A'B'$  ҳосил бўлади. Лупанинг катталаштириш коэффициенти

$$k = \frac{A'B'}{AB} = \frac{d}{f} \quad (3.8)$$

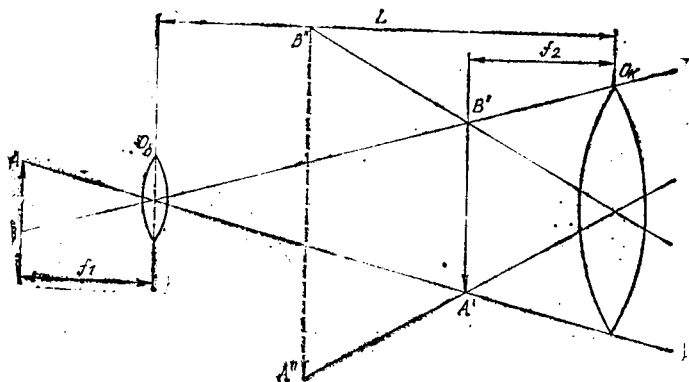
ифода билан аниқланади, бу ерда  $d$  — нормал кўзнинг энг яхши кўриш масофаси,  $f$  — фокус оралиғи.

*Микроскоп* (115-расм) қисқа фокусли линза объектив (Об) ва узун фокусли линза окуляр (Ок) дан иборат. Ўрганилаётган предмет (Об) линза фокусига яқинроқ жойлаштирилади ва (Ок) линза фокусининг яқинида ҳақиқий тўнгарилган тасвир  $A'B'$  ҳосил бўлади. Иккинчи линза луна каби кейинги тасвирни катталаштириб,  $A''B''$  ни ҳосил қилади. Микроскопнинг катталаштириши қуйидаги ифода билан аниқланади:

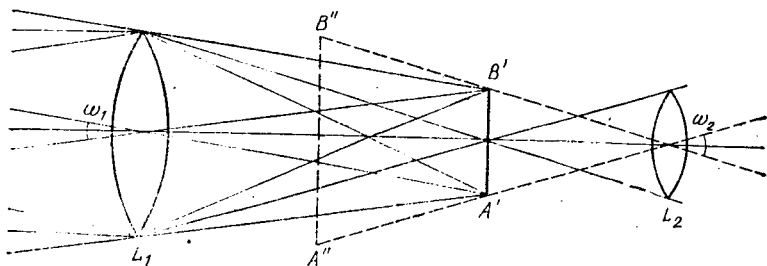
$$k = (L - f_2) \cdot d \cdot \frac{f_1}{f_2}, \quad (3.9)$$

бу ерда  $L$  — линзалар орасидаги масофа,  $f_1$  ва  $f_2$  — мос равишда объектив ва окуляр линзаларнинг фокус масофалари,  $d$  — энг яхши кўриш масофаси.

*Телескоплар* узоқдаги объектларни кузатиш мақсадида ишлатилади. У узун фокусли  $L_1$  (объектив) ва  $L_2$



115-расм.



116- расм.

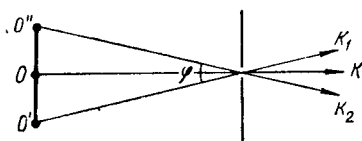
(окуляр) линзалардан ташкил топган (116- расм). Телескопнинг бурчак катталаштириши қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$k = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{f_1}{f_2}. \quad (3.10)$$

Халқ хўжалигида қўлланиладиган баъзи асбобларнинг физик асосини ёруғликнинг тўлқин табиати билан боғлиқ бўлган ҳодисалар ташкил қилади. Ёруғлик интерференцияси, дифракцияси, қутбланиши каби ҳодисалар унинг тўлқин табиати ҳақида батафсил маълумотлар беради. Икки ва ундан ортиқ ёруғлик тўлқинларининг қўшилиши натижасида унинг интенсивлиги ортиши (максимум) ва камайиши (минимум) мумкин, бўлган майдонлар кузатилади. Бу ҳодиса ёруғлик интерференцияси ва нурлар эса ўзаро когерент тўлқинлар деб аталади. Маълумки, уйғонган атомлар нурланиб стационар ҳолатга қайтади, бу вақт жуда кичик ( $10^{-10}$ — $10^{-8}$ ) с бўлиб, улар „косинусоиданинг жуда кичик бир қисмича“ ёруғлик тўлқини ҳосил қилади. Сўнг бошқа „бўлак“ нурланиш ҳосил бўлиб, у аввалгисига „боғлиқ“ бўлмайди. Шундай қилиб, ўзаро когерентлик атомнинг нурланиш давридан кичик бўлиб, у чегараланган.

Когерентлик вақти қуйидагича ифодаланади:  $t_{\text{ког}} \sim \frac{\pi}{\Delta\omega} = \frac{1}{\Delta\nu}$ , агар  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  боғланиш ҳисобга олинса,  $t_{\text{ког}} \sim \frac{\lambda^2}{c\Delta\lambda}$  кўринишига эга бўлади. Ёруғлик тўлқинларини когерентлик масофаси:

$$t_{\text{ког}} = ct_{\text{ког}} \sim \frac{\pi c}{\Delta\omega} \sim \frac{c}{\Delta\nu} \sim \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad (3.11)$$



117- расм.

Когерентлик шартларидан бири частота ўзгаришининг чегараланганлиги бўлса, у тўлқин вектори билан  $\vec{k} = \frac{\omega}{c}$  кўринишида боғланади. Шунинг

учун фазовий когерентлик тушунчаси ҳам киритилади (117- расм). Фазовий когерентлик узунлиги ёки когерентлик радиуси қуйидагича ифодаланади:  $R_{\text{ког}} \sim \frac{\lambda}{\varphi}$ ,  $\varphi$  — манбанинг кузатиш бурчаги ёки йўналишлар орасидаги бурчак.

Ёруғликнинг қутбланиш ҳодисаси, дисперсияси, кванг табиати кўпгина асбобларнинг физик асосларни ташкил қилади. Биз қуйида асосий оптик асбоблар рўйхатини келтирамиз.

1. Астрономик асбоблар. Бу тўр асбоблар группасига турли телескоплар, рефракторлар, гелиографлар, спектрогелиоскоплар киради.

2. Кичик объектларни ўрганишга мўлжалланган асбоблар—лупалар, турли микроскоплар, поляризацион ва интерференцион микроскоплар.

3. Геодезик асбоблар—теодолитлар, нивелирлар, угломерлар, аэрофотоаппаратлар.

4. Чизиқли ва бурчак катталикларни юқори аниқликда ўлчаш учун мўлжалланган оптик асбоблар—компараторлар, универсал микроскоплар, гониометрлар, интерферометрлар ва бошқалар.

5. Фотографик асбоблар—одатдаги ва катта тезликдаги съёмкалар учун мўлжалланган турли-туман фотоаппаратлар.

6. Илмий тадқиқотларда қўлланиладиган оптик асбоблар—призматик, дифракцион ва интерференцион спектрал аппаратлар, интерферометрлар, рефрактометрлар поляризацион асбоблар ва бошқалар.

7. Фотометрик асбоблар: фотометрлар, люксметрлар ва бошқалар.

8. Медицинада қўлланиладиган оптик асбоблар ҳам турли группаларни ташкил этади: кўзойнаклар, офталь-

москоплар, офтальмометрлар ва бошқалар. Шунингдек, тананинг ички органларини ўрганишда световодлар ва оптик диапазондаги электромагнит тўлқинлардан кенг фойдаланилади.

9. Кино, телевидение ва автоматикада ишлатиладиган оптик асбоблар ва бошқа аппаратуралар. Оптик ҳодисалар ҳамда оптик асбоблар киносъёмка ва фильмларни экранга кинопроекциялаш, тасвири узатиш ва ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш билан боғлиқ бўлган процессларда биринчи даражали аҳамиятга эга. Киносъёмка ва кинопроекция камералар кучли ёруғлик кучига эга бўлган оптик системалар ва объектларни тез съёмка қилишга ва экранга проекцияланадиган кадрларни тезлик билан алмаштиришга имкон берувчи махсус механик қурилмалардан иборат.

## 12- §. Оптик асбоблар билан танишув ишлари

### 1. Линзаларни ўрганиш

а) *Қавариқ линзалар фокус масофаларини аниқлаш.*

1. Манба, текширилаётган линза, предмет ва экран оптик скамьяга жойлаштирилиб, уларнинг марказлари бир тўғри чизиққа ўрнатилади.

2. Экранда буюмининг аниқ тасвири ҳосил қилиниб  $a$  ва  $b$  масофалар ўлчанади, линзанинг асосий формуласи (3.3) дан унинг фокус масофаси ҳисобланади.

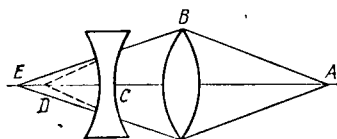
3. 1 ва 2- пунктлар бошқа предметлар учун ҳам bajarilib, ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар жадвалга ёзилади.

№	$a$	$b$	$f$	$\bar{f}$	$\Delta f$	$\Delta \bar{f}$	$\frac{\Delta f}{f} \cdot 100\%$
	м	м	м	м	м	м	

4. Тасвирларни  $a < f$ ,  $a = f$  ва  $a > f$  ҳоллар учун ҳосил қилиш лозим.

а) *Ботиқ линзалар фокус масофасини аниқлаш*

1. Манба, қавариқ линза, экран оптик таг-ликка жойлаштирилади ва экранда  $A$  нуқтанинг тасвири  $D$  ҳосил қилинади (118-расм).



118- расм.

2. Қавариқ линза орқасига сочувчи линза жойлаштирилади, (бунда  $CD$  масофа унинг фокус масофасидан кичик бўлсин). Бу ҳолда  $A$  нуқтанинг тасвири  $E$  нуқтага силжийди. Оптик ўзаро алмашиш принципига асосан  $E$  нуқта ёруғлик манбаи ҳисобланиб, ундан қарама-қарши томонга йўналмоқда, дейиш мумкин.  $D$  нуқта эса унинг мавҳум тасвири ҳисобланади.

3. Оптик тагликка ўрнатилган миллиметрли қоғозда  $E$  ва  $D$  нуқталар вазияти белгиланади ва  $EC=a$ ,  $DC=b$  масофалар ҳисобланади.

4.  $f = \frac{ab}{a-b}$  ифодадан сочувчи линзанинг фокус масофаси аниқланди.

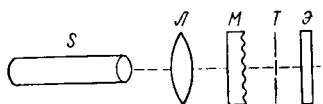
## 2. Шаффоф пластинкалар синдириш кўрсаткичини микроскоп ёрдами билан аниқлаш

1. Шаффоф пластинкадан унинг иккинчи (қарама-қарши) сиртига жойлаштирилган нуқтага қаралса, у юқорига силжиган каби кўринади. Ушбу ҳодиса тушунтирилади, пластинкада нурлар йўлини акс эттирувчи чизма чизилади.

Чизмада ҳосил бўлган учбурчаклардан фойдаланиб, пластинка синдириш кўрсаткичи  $n$  унинг қалинлиги  $d$  ва иккинчи сиртидаги нуқта силжиш баландлиги  $(d-a)$  орқали ифодаланади  $n = \frac{d}{d-a}$ .

3. Ҳар иккала сиртига белги қўйилган пластинка қалинлиги микрометр ёрдами билан 3—4 марта ўлчаниб, ўртача қиймати аниқланади.

4. Тубуси силжий оладиган микровинтли микроскоп предмет столига пластинкани қўйиб унинг устки сиртидаги белги тасвири, сўнг тубуси силжитилиб пастки сиртидаги белги тасвири ҳосил қилинади. Тубуснинг силжиш масофаси  $d-a$  катталиқ аниқланади.



119- расм.

5.  $n = \frac{d}{d-a}$  ифодадан  
пластинка синдириш кўрсаткичи ҳисобланади.

6. 3, 4 ва 5-пунктлар бошқа қалинликдаги пластинкалар учун ҳам такрорланади.

7. Ўлчаш хатоликлари ҳисобланади, ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар тузилган жадвалга ёзилади.

### 3. Ёруғлик манбаи ўлчами ва когерентликни ўрганиш

1. Ёруғлик манбаи (лазер), линза, хира шиша, икки тирқишли пластинка ва экран оптик скамьяга 119-расмдагидек жойлаштирилиб, экранда ёруғлик интенсивлиги тақсимоги ўрганилади (бетартиб донасимон манзара кузатилади, чунки экранга манбанинг турли нуқталаридан когерент бўлмаган тўлқинлар тушади).

2. Хира  $M$  шиша пластинкани  $L$  линзага нисбатан силжитиб  $E$  экранда мумкин қадар кўпроқ доначалар ҳосил қилинади ва линзадан шиша пластинкагача бўлган масофа ўлчанади (линзанинг фокус масофаси).

3. Линза ўрнига қоғоз қўйиб ёруғлик дастаси диаметри  $D$  ўлчанади ва линза жойига қайтадан қўйилади.

4.  $M$  пластинкани силжитиб экранда шундай ёруғлик „дона“си ҳосил қилинадики, экран ва пластинка орасига ўрнатилган икки тирқишли  $T$  пластинка ёруғлик конуси ичида қолсин. Линза ва  $M$  пластинка орасидаги масофа  $l$  ўлчанади.

5.  $M$  пластинкани айлантириб экрандаги ёруғлик манзараси кузатилади (интерференцион манзара ҳосил булади)

6.  $M$  ва  $T$  пластинкаларни силжитиб экрандаги интерференцион манзара йўқотилади ва бу пластинкалар орасидаги масофа ёзиб олинади.

7. Линза фокус масофаси  $f$ , даста диаметри  $D$  ва  $l$  масофалардан фойдаланиб, ёруғлик тарқатувчи манба диаметри аниқланади.

8. Тирқишлар орасидаги  $a$  масофа ва  $M$  пластинкадан тўсиққача бўлган  $h$  масофадан фойдаланиб когерентлик бурчаги  $2\alpha \approx \frac{h}{a}$  ҳисобланади.

9.  $\lambda \approx 633$  нм тўлқин узунлигидаги ёруғлик учун

назарий йўл билан ҳисобланган когерентлик шарти ( $2a \sin \alpha \approx \frac{\lambda}{2}$ ;  $2a \cdot \alpha \approx \frac{\lambda}{2}$ ) ёрдами билан тажриба натижалари текшириб кўрилади.

#### 4. Фотометрик катталикларни ўрганиш

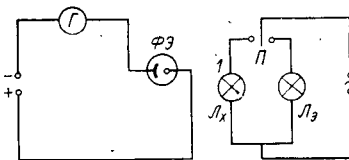
1. а) Схемаси 120-расмда келтирилган қурилма оптик скамьяга ўрнатилади, ФЭ фотоэлементни силжитиш билан ўрганувчи  $L_x$  лампа билан эталон  $L_3$  лампанинг ёритилганлиги тенглаштирилади.  $r_x$  ва  $r_3$  масофалар ўлчаниб,  $\frac{I_x}{I_3} = \frac{r_x^2}{r_3^2}$  нисбат аниқланади. Фотометрни  $180^\circ$  га буриб тажриба такрорланади.

б) Текширилувчи лампани 30, 60, 90, 120, 150, 180 бурчакларга буриб,  $\alpha$  пунктдаги ўлчашлар такрорланади ва натижалар жадвалга ёзилади.

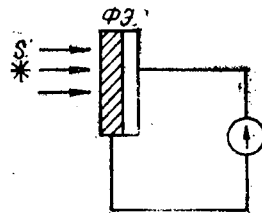
№	$r_3$ м	$r_x$ м	$I_x / I_3$	$\alpha$

Жадвалдан фойдаланиб,  $\frac{I_x}{I_3} = f(\alpha)$  боғланиш эгрилиги чизилади.

2. Текширилувчи лампа ва люксметр 121-расмдаги-дек ўрнатилади, улар орасидаги масофани 10 см дан ўзгартириб люксметр кўрсатиши ва масофалар жадвалга ёзиб борилади. (Ўлчашлар 6—8-марта ўтказилади.)



120-расм.



121-расм.

$r_x$	
$r_y$	

Жадвалдан фойдаланиб,  $E = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$  боғланиш эгрилиги чизилади.

3. Текширилаётган лампа ва люксметр фотоэлементи орасидаги масофа тахминан 30 см қилиб жойлаштирилади ва фотоелемент 0,15..., 90 бурчакларга буриб, люксметр кўрсатиши жадвалга ёзилади:

$\varphi$	
$E$	

Жадвалдан фойдаланиб,  $E = f(\cos\varphi)$  боғланиш эгрилиги ҳосил қилинади.

#### Контрол саволлар

1. Геометрик оптика қонунлари асосида ишлайдиган асбобларни айтиб беринг.
2. Линза турлари ҳақида маълумот беринг.
3. Табiiй ва сунъий ёруғлик манбаларининг ишлаш принципи ҳақида нима биласиз? Когерент манбалар ва уларни ҳосил қилиш усуллари ҳақида гапириб беринг.
4. Синдириш кўрсаткичи нима, у қандай ўлчанади?
5. Кичик буюмларни ва узоқ масофадаги объектларни кузатишда қандай оптик асбоблардан фойдаланилади?
6. Электронларни микроскоп ёрдами билан кузатиш мумкинми?
7. Тўлқин оптикиси ва ёруғликнинг квант табиатига асосланган асбоблар ҳақида маълумот беринг.
8. Фотометрик катталикларга таъриф беринг ва уларнинг аниқланиш усулларини, ўлчов бирликларини айтинг.

### 3-§. Ёруғликнинг тўлқин хусусиятлари

*Назарий маълумотлар.* Ёруғлик мураккаб ҳодиса бўлиб, баъзан унинг электромагнит тўлқин хусусияти,



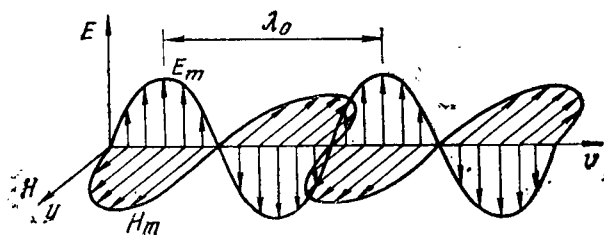
баъзан фотон деб аталувчи ўзига хос зарралар хусусияти намоён бўлади. Электромагнит тўлқин назариясига асосан, фазонинг ихтиёрний нуқтасида электр майдоннинг ҳар қандай ўзгариши қўшни нуқталарда ўзгарувчан магнит майдонни вужудга келтиради ва аксинча. Бундай ўзгаришлар фазонинг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига узатилади, натижада электромагнит тўлқиннинг ҳар томонга тарқалиши содир бўлади. Электромагнит тўлқин тарқалаётганда фазонинг ҳар бир нуқтасида электр ва магнит майдонлар даврий равишда ўзгариб туради. Бу ўзгаришлар  $\vec{E}$  ва  $\vec{H}$  векторларининг тебранишлари сифатида ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_m \cos(\omega t - kr + \alpha) \\ \vec{H} &= \vec{H}_m \cos(\omega t - kr + \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

$\vec{E}_m$  ва  $\vec{H}_m$  мос равишда электр ва магнит майдон кучланганлиги амплитуда қийматлари,  $\omega t - kr + \alpha$  — тебраниш фазаси,  $\alpha$  — бошланғич фаза,  $\omega = 2\pi\nu$  — циклик частота,  $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$  — тўлқин сони,  $r$  — тўлқин тарқалиш йўналиши бўйича ҳисобланган масофа.

$\vec{E}$  ва  $\vec{H}$  векторларнинг тебранишлари бир хил фазада ва ўзаро перпендикуляр текисликларда содир бўлади (122-расм). Кўйгина тажрибаларнинг кўрсатишича ёруғликнинг физиологик, фотохимик, фотоэлектрик ва бошқа шу каби таъсирларининг сабабчиси электр вектор тебранишлардир. Шунинг учун ёруғлик тўлқин дейилганда, электр вектор тебраниши тўғрисида гапираимиз. Аммо  $\vec{E}$  векторга перпендикуляр йўналишда  $\vec{H}$  вектор мавжудлигини унутмаслик керак.

Максвелл ҳисоблашлар асосида электромагнит тўлқинлар  $3 \cdot 10^8$  м/с тезлик билан тарқалиши лозим, деган



122- расм.

хулосага келди. Бу қиймат кейинчалик оптик усуллар билан аниқланган ёруғлик тезлигига тенг бўлиб чиқди. Бу эса ёруғлик электромагнит тўлқинлар деб талқин қилишга имкон берди. Ҳозирги вақтда энг замонавий тажрибалар асосида ёруғликнинг вакуумдаги тарқалиш тезлиги  $c = 299792456 \pm 1,1$  м/с эканлиги аниқланган.

Маълумки, электромагнит тўлқинларнинг турли қисмлари тўлқин узунликлари  $\lambda$  (частоталари  $\nu$ ) билан бир-бирларидан фарқ қилади. Булардан тўлқин узунликлари 2 мм дан  $10^{-7}$  мм, частоталари  $1,5 \cdot 10^{11}$  дан  $3 \cdot 10^{16}$  Гц гача бўлган тўлқинлар оптик диапазондаги электромагнит тўлқинлардир. Хусусан инсон кўзи сеза оладиган электромагнит тўлқинларнинг тўлқин узунлиги  $\lambda = (0,40 - 0,76)$  мкм ёки  $(4000 + 7600)$  Å, частоталари эса  $\nu = (0,75 + 0,40) \cdot 10^{15}$  Гц га тенгдир.

Оптик диапазондаги тўлқин узунликлари интервали ниҳоят кичик бўлган электромагнит тўлқинлар монохроматик ёруғлик ёки монохроматик ёруғлик тўлқин деб юритилади. Бундай ёруғлик инсон кўзига маълум бир рангда кўринади, Масалан, тўлқин узунликлари 0,55 мкм дан 0,56 мкм гача бўлган ( $\Delta\lambda \approx 0,01$  мкм) ёруғликни кўзимиз яшил ранг тарзида қабул қилади.

Ёруғлик нурларининг йўналишига перпендикуляр қилиб олинган хаёлий бирлик юздан вақт бирлигида ўтаётган ёруғлик оқими  $(I = \frac{\Phi}{S})$  ёруғлик оқимининг зичлиги ёки ёруғлик интенсивлиги деб юритилади. Ёруғлик интенсивлиги ёруғлик тарқалаётган муҳитнинг синдириш кўрсаткичига ва ёруғлик тўлқин амплитудасининг квадратига пропорционал:

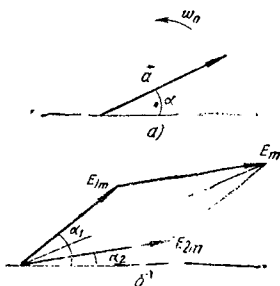
$$I \sim nE_m^2. \quad (3.13)$$

*Ёруғлик интерференцияси.* Фазонинг бирор нуқта-сида икки ёруғлик тўлқини  $E_1 = E_{1m} \cos(\omega_1 t - k_1 x_1)$ ,  $E_2 = E_{2m} \cos(\omega_2 t - k_2 x_2)$  (ёруғлик тарқалувчи муҳит—ҳаво ёки вакуум) учрашсин, у ҳолда бу нуқтадаги ёруғлик интенсивлиги:

$$I = \bar{E}_m^2 = (\bar{E}_{1m} + \bar{E}_{2m})^2 = I_1 + I_2 + I_{12} \quad (3.14)$$

ифода билан аниқланади. Бу ерда  $\bar{E}_m$ ,  $\bar{E}_{1m}$ ,  $\bar{E}_{2m}$  мос равишда натижавий, биринчи ва иккинчи ёруғлик тўлқинлар амплитудаларининг ўргача қийматлари,  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  интенсивликлар,  $I_{12}$  эса интерференцион ҳад бўлиб, ёруғлик дасталарининг таъсирлашишни характерлай-

ди. Бу ҳад ҳақида тўлиқроқ маълумотни вектор диаграммадан фойдаланиб олиш мумкин. Маълумки, бирор  $OX$  ўқ билан бурчак ҳосил қилувчи  $\vec{a}$  векторни олиб, уни  $\omega_0$  частота билан айлантирсак (123-а расм), унинг  $OX$  ўқига проекцияси  $X = a \cos(\omega_0 t + \alpha)$  қонунига асосида ўзгаришига ишонч ҳосил қилиш мумкин. Демак, гармоник тебранишни вектор кўринишида ҳам тасаввур қилиш мумкин. Ёруғлик ҳам электромагнит тебранишларининг тарқалиши кўринишида тушунтирилгани учун уни ҳам вектор кўринишида тасвирлаш мумкин. 123-б расмда  $E_{1m}$  ва  $E_{2m}$  тўлқинлар вектор кўринишида тасвирланган бўлиб, уларнинг қўшилишидан ҳосил бўлган натижавий тўлқиннинг амплитудаси қуйидаги ифодадан аниқланади:



123- расм.

$$E_m^2 = E_{1m}^2 + E_{2m}^2 + 2E_{1m} E_{2m} \cos(\alpha_2 - \alpha_1),$$

бу ифодадан интенсивликни аниқлаш мумкин:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\alpha_2 - \alpha_1), \quad (3.15)$$

$$I_{\max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2, \quad (3.15 \text{ а})$$

$$I_{\min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2, \quad (3.15 \text{ б})$$

яъни  $\alpha_2 - \alpha_1 = \delta > 0$  да  $I = I_{\max}$  ва  $\delta < 0$  да  $I = I_{\min}$  бўлади, фаза фарқларини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\delta = (\omega_1 t - k_1 x_1) - (\omega_2 t - k_2 x_2) \quad (3.16)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0} \text{ ва } \frac{\omega}{c} = 2 \frac{\pi}{\lambda_0} = \frac{2\pi\nu}{c}, \quad \omega_1 = \omega_2 \text{ ёки } \nu_1 = \nu_2$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (x_2 - x_1) \quad (3.17)$$

бўлади. Агар ёруғлик тўлқинлари оптик хусусиятлари гурлича бўлган муҳитларда тарқалса,

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 x_2 - n_1 x_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta \quad (3.17 \text{ а})$$

бўлади, бу ерда  $\Delta = n_2 x_2 - n_1 x_1$  оптик йўл фарқларидир. Агар

$$\Delta = m\lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ бўлса, } \delta = 2m\pi, \quad (3.18)$$

$$\Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ бўлса, } \delta = (2m + 1)\pi \quad (3.19)$$

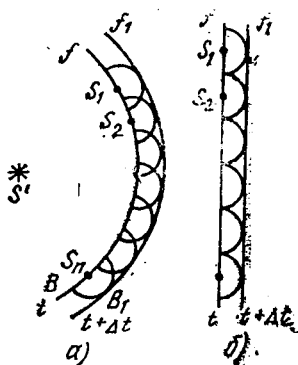
бўлади. (3.18) ифода интерференцион максимумлик ва (3.19) ифода эса интерференцион минимумлик шартни ҳисобланади.

Демак, ёруғлик интерференцияси ўзаро когерент ва йўл фарқлари (3.18) ва (3.19) шартларни қафоатлантирувчи ёруғлик тўлқинлари қўшилиши натижасида кузатилиб, ёруғлик оқимининг фазода қайта тақсимланиши рўй берар экан.

Ёруғлик интерференцияси ҳодисасидан саноатда ва илмий лабораторияларда кўп фойдаланилади. Жумладан, ярим шаффоф материаллар юзаси рельефини ўрганишда, эгрилик радиусларини аниқлашда, баъзи газсимон моддаларнинг синдириш кўрсаткичларини ҳисоблашда, модда таркибини унинг спектрлари орқали ўрганишда ёруғлик интерференцияси энг қулай воситадир.

**Ёруғлик дифракцияси.** Ёруғликнинг мутлақо бир жинсли бўлмаган муҳитдаги тарқалиши билан боғлиқ бўлган ҳодисалар ёруғлик дифракцияси деб юритилади. Дифракцион манзара ҳам интерференция каби ёруғлик тўлқинлари суперпозицияси натижасида интенсивликларнинг қайта тақсимланишидир. Тарихий сабабларга кўра ёруғликнинг дискрет когерент манбаларидан келаётган тўлқинлар суперпозицияси интерференция, узлуксиз когерент манбалариники эса дифракция деб аталади.

Умумий физика курсида ёруғлик дифракциясини бир оз соддароқ ҳисобланган Гюйгенс—Френель принципи асосида тушунтириш мақсадга мувофиқ. Бу принципга асосан (124-расм) тўлқин фронтининг ҳар бир нуқтаси иккиламчи тўлқин манбалари ҳисобланиб,



124- расм.

улар ўзаро когерентдир. Ушбу когерент манбалардан тарқалаётган тўлқинлар фазонинг бирор нуқтасида интерференцияланади.

Шундай қилиб ёруғлик дифракцияси назарияси асосини ташкил қилувчи Гюйгенс — Френель принципи қуйидагича таърифланади: 1) Бирор бир ёруғлик манбаини унга эквивалент бўлган (хаёлий) иккиламчи ёруғлик тарқатувчи  $S_1, S_2, \dots, S_n$  манбалар билан алмаштириш мумкин. 2) Иккиламчи ёруғлик тарқатувчи манбалар ўзаро когерент бўлиб, уларда тарқалувчи нурлар фазонинг бирор нуқтасида интерференцион манзара ҳосил қилади. 3) Иккиламчи манбалар жойлашган тўлқин fronti  $f$  нинг тенг соқалари тенг қувватга эга бўлган ёруғлик тўлқинлари тарқатади. 4) Иккиламчи манбалар  $f$  сиртга перпендикуляр йўналишда тарқатган нурлар энг юқори интенсивликка эга.

Френель  $f$  сиртнинг  $df$  элементи сочган нур

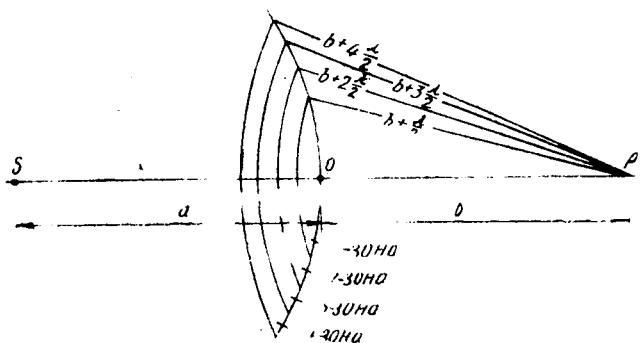
$$dE = k_0 \frac{A_0 df}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0) \quad (3.20)$$

ифода билан характерланишини аниқлаган, бу ерда  $\omega t - kr + \alpha_0$  — ёруғлик тўлқин фазаси,  $k$  — тўлқин сони,  $r$  — масофа,  $A_0$  — амплитудага боғлиқ бўлган катталиқ,  $k_0$  — нур йўналиши билан боғлиқ бўлган катталиқ. Бу катталиқ  $\varphi = 0$  да максимум қийматига ва  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  да нолга тенг бўлади.

$P$  нуқтада уйғотилган нагнжавий тўлқин эса қуйидаги ифода билан ҳисобланади:

$$E = \int_f dE = \int_f k_0 \frac{A_0}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0) df. \quad (3.21)$$

Бу ифодани ҳисоблаш анчагина мураккаб бўлгани учун янада соддароқ усулдан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. 125-расмдаги тўлқин сирги  $SP$  кесмага нисбатан симметрик ҳисобланади, бу сиртнинг Френель зоналари деб аталувчи ва ҳар бир қўшни зоналарнинг четки нуқталаридан  $P$  нуқтагача бўлган масофалар  $\frac{\lambda}{2}$  га фарқ қилувчи зоналарга бўлиб чиқайлик. Бинобарин, қўшни зоналар  $P$  нуқтада қарама-қарши фазаларда тебранувчи тўлқинларни уйғотади.



125- расм.

Тўлқин fronti чўққисидан  $P$  нуқтагача бўлган масофа  $b$  бўлса,  $m$ -зона  $P$  нуқтадан  $b_m = b + m \frac{\lambda}{2}$  масофада жойлашади.

Жуда мураккаб бўлмаган математик алмаштиришлардан фойдаланиб,  $m$  — Френель зонасининг сиртини ҳисоблаш мумкин:

$$\Delta S_m = \frac{\pi ab \lambda}{a + b}, \quad (3.22)$$

бу ерда  $a$  — ёруғлик манбаидан тўлқин фронтгача бўлган масофа.

Шунингдек,  $m$  — Френель зонасининг радиусини аниқлаш учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a + b} m \lambda}. \quad (3.23)$$

Бу ифодадан  $m$  нинг ортиши билан Френель зонаси радиуси аста-секин орта бориши кўриниб турибди. Бинобарин, Френель зоналари  $P$  нуқтада монотон камая борувчи амплитудали, яъни

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_{m-1} > A_m > A_{m+1} > \dots \quad (3.24)$$

кўринишдаги тебранишларни уйғотади. Натижавий амплитуда эса

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots$$

ифода билан аниқланади. Бу ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$A = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right) + \left(\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2}\right) + \dots$$

$A_m = \frac{A_{m+1} + A_{m-1}}{2}$  ўринли эканлиги ҳисобга олинса, натижавий амплитуда  $A = \frac{A_1}{2}$  кўринишга эга бўлади.

Шундай қилиб,  $m$  чексиз кўп бўлганда  $f$  тўлқин сиртининг  $P$  нуқтада уйғотган ёруғлик тўлқин амплитудаси биринчи зона амплитудаси ярмига тенг экан. Юқорида келтирилган ифодалардан  $m$  нинг чекли қийматлари учун

$$A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2} \quad (3.26)$$

ни ҳосил қилиш мумкин.  $m$  нинг тоқ қийматлари учун „+“ ва жуфт қийматлари учун „-“ ишора мос келади.

Ёруғлик дифракциясини тажрибада ўрганишда икки хил ҳолат кўрилади:

1. Сферик ёруғлик тўлқинлар (Френель)дифракцияси.

2. Ясси (параллел) ёруғлик тўлқинлар (Франгофер)дифракцияси.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, дифракция тури

$\frac{b^2}{l\lambda}$  нисбатга боғлиқ, бу ер-

да  $b$  — тўсиқ ёки тирқиншдан экрангача бўлган масофа,  $l$  — линза фокус оралиғи,  $\lambda$  тўлқин узунлиги

$\frac{b^2}{l\lambda} \ll 1$  бўлса, Фраунгофер

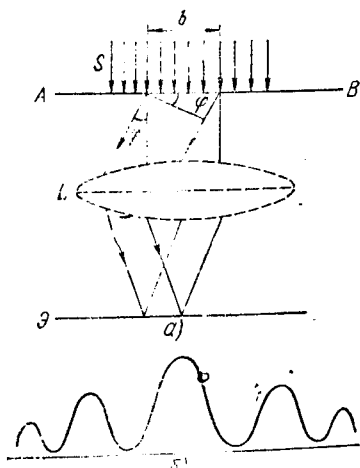
дифракцияси,  $\frac{b^2}{l\lambda} \approx 1$

да Френель дифракцияси

ва  $\frac{b^2}{l\lambda} \gg 1$  да эса геометрик

оптика қонуниятлари ўринли бўлади.

Ўқув лабораторияларида кузатиш қулай бўлган Фраунгофер дифракциясининг баъзи хусусий



126- расм.

ҳолларини кўриб чиқамиз. Ушбу дифракцияни амалда кузатиш учун ёруғлик дастаси (ясси тўлқин), кенглиги узунлигидан анча кичик бўлган  $AB$  тирқиш,  $L$  линза ва  $\mathcal{E}$  экрандан иборат қурилма йиғилади (126- $a$  расм).

$AB$  тирқишга етиб келган ясси тўлқин фронтини кенглиги  $\frac{\lambda}{2\sin\varphi}$  га тенг бўлган Френель зоналарига бўлиш мумкин. Маълумки, қўшни Френель зоналари бир хил амплитудали қарама-қарши фазада тўлқин уйғотади.  $\mathcal{E}$  экраннинг тоқ Френель зоналаридан нур тушувчи соҳаларида максимум ва жуфтларидан нур тушувчи соҳаларида минимум ёритилганлик кузатилади. 1 ва 2 нурларнинг йўл фарқлари  $\Delta = b\sin\varphi$  эканлигини назарда тутиб, интерференцион максимум

$$b \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3.27)$$

ва минимумлик

$$b \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = \pm m\lambda \quad (3.28)$$

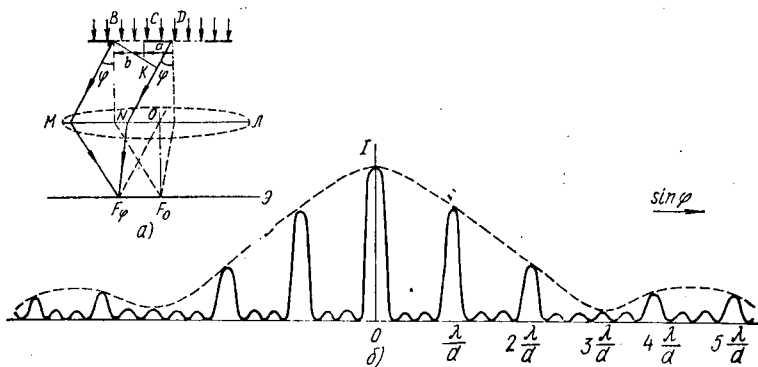
шартларини ёзиш мумкин. Бу ерда  $m = 1, 2, 3 \dots$  бўлиб,  $\pm$  ишора экран марказидан ўнг ва чан томонлардаги экстремумларга мос келади. 126- $b$  расмда экрандаги интерференцион максимумлар интенсивликларининг экран марказидан камайиб бориши тасвирланган. Бу ҳолни қуйидагича изоҳлаш мумкин. Бош максимум олмаган нурларга мос келади,  $\pm 1$  эса 3 та Френель зонасига мос келиб, улардан иккитаси бир-бирини компенсациялайди, интенсивлик бош максимумникидан кичик бўлади ва ҳоказо.

Экрандаги дифракцион манзара  $\frac{b}{\lambda}$  нисбатга боғлиқ.

Бу нисбатнинг жуда катта бўлмаган қийматларида максимумлар кенг ва кам контрастга эга бўлади, каттароқ қийматларида эса марказий максимум ингичка ва интенсив бўлади.

Дифракцион панжара дейилганда фазовий даврийликка эга бўлган ҳар қандай структура тушунилади. Структура фақат бир йўналишдагина даврий ўзгариб турса, бу панжара бир ўлчамли ёки чизиқли деб юритилади. Мос равишда икки ва уч йўналишда ўзгарса, икки ва уч ўлчамли панжаралар дейилади. Бир ўлчамли панжара модели бир-биридан  $a$  узоқликда жойлашган  $b$  кенгликдаги тирқишлар ёки шаффоф штрих-





127- расм.

ларни тушуниш мумкин.  $d = a + b$  кагталики дифракцион панжара даври ёки доимийси деб юритилади.

Бир ўлчамли дифракцион панжарага ясси монохроматик ёруғлик—тўлқин нормал тушаётган бўлсин (127-расм). Бу ҳолда юқорида кўрилган алоҳида тирқишлардаги дифракциядан ташқари қўшни тирқишлардан ўтаётган нурлар ҳам дифракцияланади. Натижада кўп нурлар интерференцияси кузатилади. Икки қўшни тирқишдан тарқалаётган иккиламчи ёруғлик тўлқинлари йўл фарқи  $\Delta = d \sin \varphi$  ва фаза фарқлари  $\delta = kd \sin \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi$  ифодалар билан аниқланади.

Кўп нурлар интерференцияси назариясига асосан экранда уйғотилган ёруғлик амплитудаси

$$A = A_1 \frac{\sin N \frac{\delta}{2}}{\sin \frac{\delta}{2}}$$

ва интенсивлиги

$$I = I_1 \left[ \frac{\sin \left( N \frac{\delta}{2} \right)}{\sin \frac{\delta}{2}} \right]^2$$

кўринишида бўлади. Бу ерда  $A_1$  ва  $I_1$ — битта тирқишдаги иккиламчи нурларнинг экранда уйғотган тўлқин амплитудаси ва интенсивлиги,  $N$ — тирқишлар сони.

Бу ифодалар дифракцион панжарадаги ёруғлик дифракцияси назариясининг асосий формулалари ҳисобланади:

$$\frac{b}{2} = m\pi \text{ ёки } d\sin\varphi = \pm m\lambda; m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3.29)$$

$$b\sin\varphi = \pm n\lambda; n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.30)$$

шаргини қаноатлантирувчи йўналишларда дастлабки минимумлар кузатилади. Булардан ташқари иккита бош максимум орасига

$$d\sin\varphi = \pm \frac{k}{N}\lambda, k = 1, 2, \dots, N-1, N+1, \dots \quad (3.31)$$

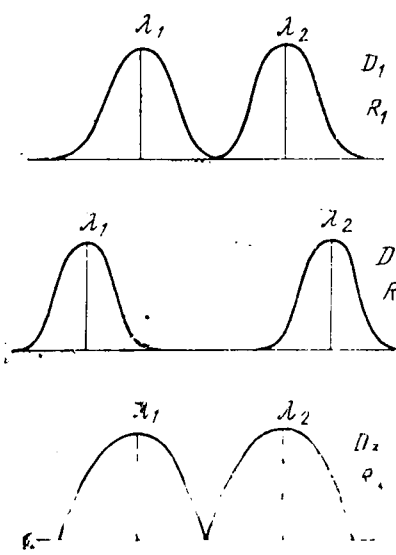
шаргини қаноатлантирувчи қўшимча минимумлар жойлашади.

Дифракцион панжарани спектрал аппарат сифатида ишлатиш мумкин. Ҳар қандай спектрал асбоблар каби дифракцион панжара ҳам асосий параметрлар — дисперсия ва ажрата олиш қобилияти катталиклари билан бир-биридан ажралиб туради. Иккита спектр чизиғи орасидаги бурчак ёки чизиқли масофаларни дисперсия катталиғи характерлайди. Бурчак дисперсияси:  $D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}$  ( $\delta\varphi$  — тўлқин узунлик ўзгаришига мос келувчи масофа ёки кузатиш бурчаги).

Бу ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:  $D_\varphi = \frac{\delta\varphi}{\delta x} = \frac{m}{d\cos\varphi}$  (бош максимумлик шар-

тини дифференциаллаб ҳосил қилинади).  $D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda}$  чизиқли дисперсия ифодаси бўлиб,  $\delta l$  экран ёки фотопластинкадаги қўшни чизиқлар орасидаги масофа. Бу катталиқлар орасида қуйидагича боғланиш мавжуд:  $D_l = fD_\varphi$ ,  $f$  — экран ёки фотопластинкага нурни йўналтирувчи линза фокус масофаси.

Ажрата олиш қобилияти деганда дифракцион панжаранинг тўлқин узунликлари бир-бирига яқин бўлган нурларни ажратиш хусусияти тушунилади ва у қуйидаги ифода билан аниқланади:  $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$ , бунда  $\delta\lambda$  — ажралиб кўриниши мумкин бўлган икки тўлқин узунлигининг фарқи. Юқорида тавсифланган физик катталиқларни яққолроқ тасаввур этиш учун иккита бир хил спектрал чизиқ ҳолатларини турли дифракцион панжарадаги кузатилиши акс эттирилган чизмаларни солиш-



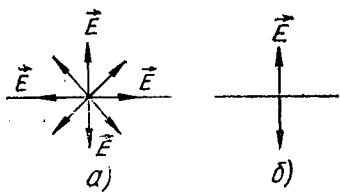
128- расм.

тириш мумкин. Дифракцион панжаларлар характеристикалари (128-расм) орасидаги муносабатлар қуйидагича:

$$D_1 \neq D_2 \ (d_1 = 2d_2) \ \text{ва} \ R_1 = R_2 \ (N_1 = N_2)$$

$$D_1 = D_3 \ (d_2 = d_3) \ \text{ва} \ R_2 \neq R_3 \ (N_2 = 2N_3)$$

**Ёруғликнинг қутбланиши.** Ёруғлик кўндаланг электромагнит тўлқин. Кўндаланг тўлқинлар қутбланиш, яъни тарқалиш йўналишига перпендикуляр ҳолдаги тартибланиш хусусиятига эга бўлади. Табиий ва сунъий ёруғлик манбаларидан тарқалаётган ёруғлик миллиардлаб зарраларнинг тартибсиз тебранишидан ҳосил бўлган электромагнит тўлқинларнинг йиғиндисидан иборат бўлиб, қутбланмаган ёки табиий ёруғлик деб юритилади (129-а расм). Агар улардан хаёлан биттаси ажратиб олинса, ундан нурланаётган электромагнит тўлқин, нур тарқалиш йўналишига перпендикуляр ҳамда ўзаро перпендикуляр бўлган  $\vec{E}$  ва  $\vec{H}$  век-



129- расм.

торларнинг тебранишлари сифатида тасвирланади. Бунда  $\vec{E}$  вектор тебранадиған текислик тебраниш текислиги,  $\vec{H}$  вектор тебранадиған текислик қутбланиш текислиги деб юритилади. Тасвирни соддалаштириш мақсадида ёруғликни фақат  $\vec{E}$  вектор тебраниши сифатида тасвирлаш мумкин. 129-б расмда тасвирланган тўлқиннинг  $\vec{E}$  векторларининг тебраниши фақат битта текисликда содир бўлади ва у ясси қутбланган ёруғлик деб аталади.

$\vec{E}$  векторнинг учлари қадами тўлқин узунлигига тенг бўлган эллиптик спираллар чизса, бундай ёруғлик эллиптик қутбланган ёруғлик дейилади.

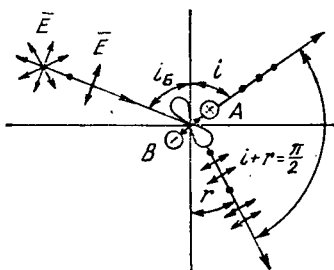
Табиий ёруғлик эса турлича қутбланган ёруғлик аралашмаси ёки  $\vec{E}$  вектори ихтиёрий йўналишда тебранувчи ёруғлик тўлқинидир.

Ёруғлик қутбланишнинг баъзи усуларини кўриб чиқамиз:

1. Ёруғлик оптик изотроп бўлган икки диэлектрик муҳит чегарасида синса ва қайтса, тушиш бурчагининг маълум қийматларида қутбланган нурни ҳосил қилиш мумкин. Тушиш бурчаги муносабатни қаноатлантира-

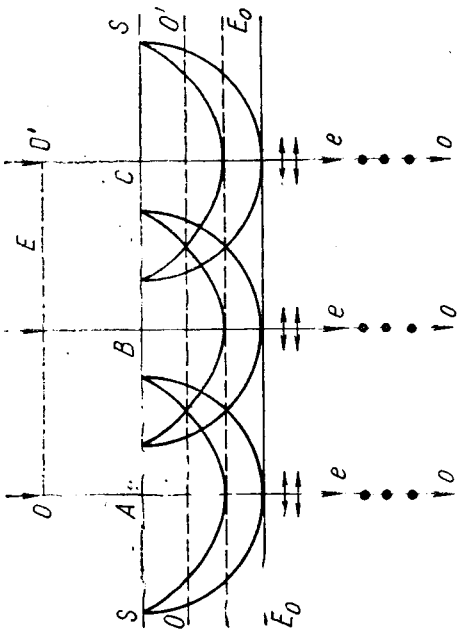
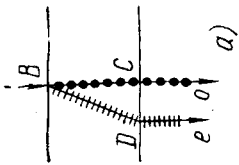
$$\operatorname{tg} i_B = n_{12} \quad (3.32)$$

диган қилиб танлаб олинса, қайтган нур тушиш текислигига перпендикуляр текисликда тўла қутбланган бўлади, синган нурнинг қутбланиш даражаси эса энг катта қийматга эришади.  $i_B$  — Брюстер бурчаги, (3.32) боғланиш эса Брюстер қонуни дейилади (130- расм). Брюстер бурчагида қайтган ва синган нурлар ўзаро перпендикуляр бўлади



130- расм.

2. Ёруғликнинг иккиланиб синишидаги қутбланиши. Ёруғлик баъзи бир анизотроп кристалларга тушганда унинг иккиланиб синиши кузатилади. Анизотроп кристаллар турли йўналишларда турли хусусиятларга эга. Жумладан, диэлектрик киритувчанлиги ҳар хил йўналишларда тур-

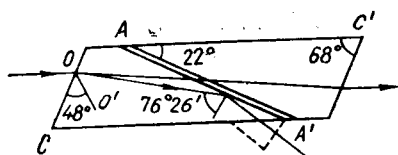


лича ( $\epsilon_x \neq \epsilon_y = \epsilon_z$  — бир ўқли кристаллар ва  $\epsilon_x \neq \epsilon_y \neq \epsilon_z$  икки ўқли кристаллар). Максвелл назариясига кўра муҳитнинг синдириш кўрсаткичи диэлектрик киритувчанлик билан  $n \sim \sqrt{\epsilon}$  ифода орқали боғланади. Шунинг учун диэлектрик киритувчанлиги турлича бўлган кристалларда ёруғлик иккиланиб синади ва икки хил тезлик билан тарқалади. Гюйгенснинг текширишларича, бу нурлардан бири оддий нур ( $O$ ) деб аталиб, унинг синдириш кўрсаткичи тушиш бурчагига боғлиқ эмас ( $n_0 = \text{const}$ ), иккинчиси ғайриоддий нур ( $e$ ) деб аталиб синдириш кўрсаткичи тушиш бурчаги ўзгариши билан ўзгара боради (131-а расм). Маълумки, ёруғликнинг тарқалиш тезлиги муҳитнинг синдириш кўрсаткичига боғлиқ, оддий нур анизотроп кристалларда бир хил тезликда, ғайриоддий нур турлича тезликларда тарқалади. Бир ўқли кристалларда шу ўқ йўналиши ( $OO'$ ) да иккала нур бир хил тезлик билан тарқалади ва бу ўқ кристаллнинг оптик ўқи ҳисобланади. 131-б расмда оддий ( $O$ ) ва ғайриоддий ( $e$ ) нурларнинг йўналишлари оптик ўқ  $OO'$  йўналишларига боғлиқлиги тасвирланган. Бу нурлар кристаллдан чиққандан кейин, бир-бирларидан ажралиб, тушувчи нурга параллел йўналишда, ўзаро перпендикуляр текисликда қутбланган ҳолда тарқалади. Ғайриоддий нур оптик ўқ ётган текисликда, оддий нур унга перпендикуляр текисликда қутбланган бўлади.

3. Қутблантиргич асбоблар—поляризаторлар ёрдамида қутбланган нурни ҳосил қилиш. Бу асбоблар юқорида баён этилган физик жараёнлардан бирига асосланади.

а) Тушаётган ёруғлик нури билан Брюстер бурчаги ҳосил қиладиган тарзда жойлаштирилган диэлектрикнинг ясси сиртидан поляризатор сифатида фойдаланиш мумкин. Шиша пластинка учун Брюстер бурчаги  $56^\circ$  га тенг. Бундай шароитда қайтган нур тўла қутбланади, синган нур максимал қутбланади. Агар ўзаро параллел пластинкалар дастасидан фойдаланилса, нур бу пластинкалардан кўп марта сингандан сўнг тўлиқ қутбланган бўлади.

б) Исланд шпатидан тайёрланган иккита призмадан иборат система—Николь призмаси (132- расм) ҳам поляризатор ҳисобланади. Призманинг оптик ўқи  $OO'$ ,  $AC$  қирра билан  $48^\circ$  бурчак ташкил қилади. Бу призмалар канада бальзами билан елимланган. Елим қатламнинг



132- расм.

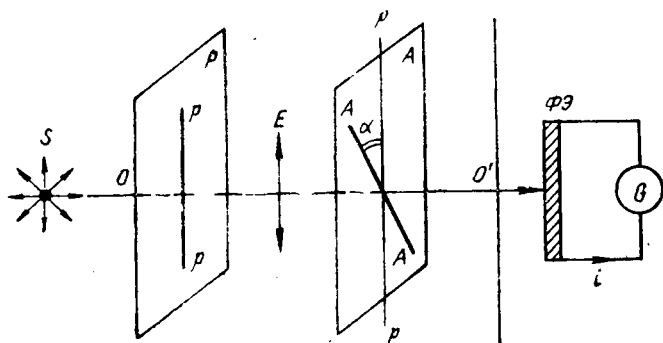
синдириш кўрсаткичи ( $n_o = 1,550$ ) исланд шпатининг оддий нур учун синдириш кўрсаткичи ( $n_o = 1,650$ ) дан кичик, ғайриоддий нур учун синдириш кўрсаткичи ( $n_e = 1,515$ ) дан катта. Табиий ёруғлик Николь призмасининг  $ACA'$  қисмида икки ясси қутбланган нурга ажралиб,  $AA'$  канада бальзамига оддий нур  $76,26^\circ$  бурчак остида тушиб, тўла қайтади, ғайриоддий нур белалол ўтади.

в) Анизотроп кристалларда иккиланиб синишида ҳосил бўлган оддий ва ғайриоддий нурлар турлича ютилади. Дихроизм деб аталувчи бу ҳодиса туфайли бирор қалинликдаги анизотроп кристалларда бу нурлардан бири тўлиқ ютилиб; ундан битта ясси қутбланган нур ўтиши кузатилади. Бундай кристаллардан поляризатор сифатида фойдаланиш мумкин. Масалан, қалинлиги 1 мм бўлган турмалин пластинкасида оддий нур тўлиқ ютилиб, ғайриоддий нур ўтади.

г) Герапатитнинг ингичка кристаллари киритилган юпқа полимер плёнкаси ҳам дихроизм ҳодисасига асосланган поляроид вазифасини ўтайди. Ҳозирги вақтда бундай поляроид плёнкалар кенг ленталар шаклида тайёрланмоқда.

Ясси қутбланган ёруғликларни турли йўллар билан қўшиш натижасида эллиптик (доиравий) қутбланган ёруғлик олиш мумкин.

Оддий кўз билан қутбланган ва қутбланмаган ёруғликни ажратиш мумкин эмас. Ёруғликнинг қутбланганлиги ёки қутбланиш даражасини аниқлаш учун Малюс қонунидан фойдаланилади. Бунинг учун юқорида баён этилган поляризаторлардан фойдаланилади. Поляризаторлардан бири ўзининг оптик ўқи йўналишида  $PP$  қутбланган нур ҳосил қилади (133-расм), иккинчиси — анализатор бу нурнинг ўз оптик ўқи  $AA$  йўналишидаги  $E_A = E_p \cos \sigma$  қисмини ўтказиб, унга перпендикуляр  $E = E_p \sin \alpha$  қисмини ютади, бу ерда  $E_p$  ва  $E_A$  — мос равишда поляризатор ва анализатордан ўтган нурлар-



133- расм.

нинг амплитудалари,  $\alpha$  — поляризатор ва анализатор қутбланиш текисликлари орасидаги бурчак.

Поляризатордан ўтган ёруғлик интенсивлиги  $I_P = kE_P^2$  ва анализатордан ўтган ёруғлик интенсивлиги  $I_A = E_A^2$  ифодалар билан аниқланади. Шундай қилиб,

$$I_A = kE_A^2 = kE_P^2 \cos^2 \alpha = I_P \cos^2 \alpha, \quad (3.33)$$

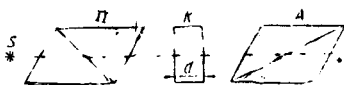
ёки табиий ёруғлик интенсивлиги орқали ёзсак:

$$I_A = \frac{1}{2} I \cos^2 \alpha, \quad (3.34)$$

$I$  — табиий ёруғлик интенсивлиги.

Демак, анализатордан ўтган ёруғлик интенсивлиги поляризатор ва анализатор оптик ўқлари орасидаги бурчак косинуси квадратига пропорционалдир, бу қонуният Малюс қонуни деб юригилади.

Поляризатор ва анализаторларни анализатордан чиққан нур интенсивлиги нолга тенг бўлган ҳолда, яъни ўзаро перпендикуляр жойлаштириб, улар орасига изотроп моддадан кесиб олинган пластинка жойлаштирилса, унинг таъсири сезилмайди. Агар анизотроп моддадан кесиб олинган



134- расм.

$K$  пластинка жойлаштирилса, у ҳолда анализатордан ўтган нурнинг интенсивлиги нолдан фарқ-



ли бўлади (134-расм), бунга сабаб анизотроп пластинкада нурнинг иккиланиб синишидир. Анализатордан чиқаётган бу нурлар ўзаро когерент, фаза фарқлари қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\sigma = \frac{2\pi d}{\lambda} (n_0 - n_e), \quad (3.35)$$

$d$  — пластинка қалинлиги,  $n_0$  ва  $n_e$  — мос равишда оддий ва ғайриоддий нурларнинг синдириш кўрсаткичи. Шунингдек, бу нурлар бир текисликда тебранади, чунки анализатор ўз текислигида тебранувчи нурларнигина ўтказиши. Демак, бу нурлар ўзаро интерференциялана олади, агар пластинканинг қалинлиги ҳар хил бўлса, интерференцион манзарадаги ёритилганлик ҳар хил бўлади.

Шаффоф жисмларнинг қисилиши (ёки чўзилиши) натижасида оптик ўқ қисилиш (ёки чўзилиш) йўналишида бўлган анизотроп моддалар хусусияти пайдо бўлади. Бундай механик деформация таъсирида иккиланиб синган нурларнинг синдириш кўрсаткичи қуйидаги ифодани қаноатлантиради:

$$n_0 - n_e = k\varepsilon \quad (3.36)$$

$\sigma = \frac{F}{S}$  — жисмнинг бирлик кўндаланг кесим юзасига таъсир этувчи куч бўлиб, жисмнинг хусусиятларига боғлиқ,  $k$  — пропорционаллик коэффициенти.

Суюқ ва газсимон шаффоф диэлектриклар электр майдонга жойлаштирилганда оптик ўқи майдон йўналиши билан мос тушувчи анизотроп муҳит хусусияти намоён бўлади. Бундай қурилмадан нур иккиланиб синиб ўтиб, уларнинг синдириш кўрсаткичлари қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$n_0 - n_e = B\lambda E^2, \quad (3.37)$$

$B$  — Керр доимийси деб аталувчи жисмнинг табиатига боғлиқ бўлган коэффициент,  $\lambda$  — тўлқин узунлиги,  $E$  — майдон кучланганлиги.

Керр эффекти деб аталадиган бу ҳодисанинг бир ажойиб хусусияти шундан иборатки, майдон таъсир этган дақиқада жисм анизотропик ҳолатга кирилади, майдон йўқотилиши билан худди шундай тезликда изотропик хусусияти тикланади. Бу хусусияти туфайли Керр эффекти техниканинг ёруғлик интенсивлигини ниҳоятда

тез ўзгартириш лозим бўлган соҳаларида кенг қўлланилмоқда.

Кучли магнит майдон таъсирида баъзи изотроп жисмларда (суюқлик, шиша, коллоидларда) оптик анизотропия вужудга келади. Бу ҳолда магнит майдон йўналишига перпендикуляр равишда тарқалаётган ғайриоддий ва оддий нурлар учун текширилаётган жисм синдириш кўрсаткичлари фарқи

$$n_o - n_e = C\lambda H^2 \quad (3.38)$$

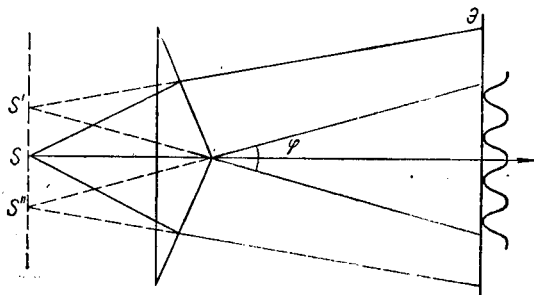
ифода билан аниқланади,  $C$  — пропорционаллик коэффициенти бўлиб, модда хусусиятларига боғлиқ,  $H$  — магнит майдон кучланганлиги.

1- лаборатория иши. Френель бипризмаси ёрдами билан ёруғлик интерференцияси ҳодисасини ўрганиш

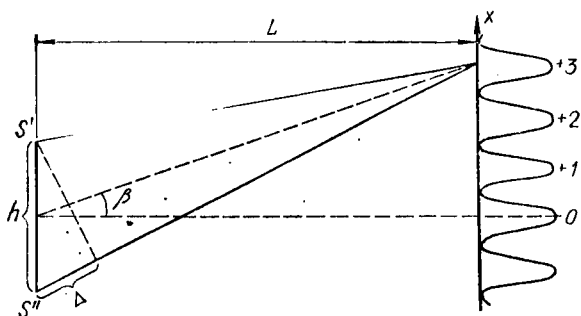
*Ишни бажаришдан мақсад:* Френель бипризмасидан фойдаланиб, ёруғлик интерференциясини ўрганиш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма 194—195, 198—199, 202—204-бетлар, [1] I боб, 1, 2, 3, 4- §. [2], 119, 121- §; [3] 26, 27- §.

Интерференция ҳодисасини кузатиш учун когерент ёруғлик тўлқин манбалари зарур. Маълумки, когерент ёруғлик тўлқин ҳосил қилиш учун бир манбадан келаётган нурни иккига бўлиб кузатилади. Бу ҳодисани кузатишга мўлжалланган қурилмалардан бири Френель бипризмаси бўлиб, у оғдирувчи бурчаклари жуда кичик ва асослари билан туташтирилган иккита призмадан тузилган (135- расм).  $S$  тирқишдан чиқаётган ёруғлик нури бипризмадан оғгандан кейин, худди иккита мавҳум  $S'$  ва  $S''$  манбалардан чиқаётгандек бир-бирини қопловчи икки нурга ажралади. Бу нурлар экранда



135- расм,



136- расм.

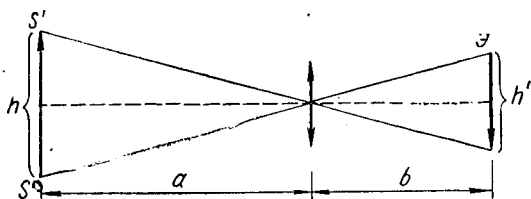
интерференцион манзара—тирқишнинг параллел қоронғи ва ёруғ йўллардан иборат тасвирини ҳосил қилади.  $S'$  ва  $S''$  мавҳум манбаларни ўзаро когерент нурлар тарқатувчи манбалар деб қараш мумкин. 136-расмдан  $h \ll L$  муносабатни ҳисобга олиб, интерференцияланувчи нурлар йўл фарқини аниқлаш имконини берувчи ифода ҳосил қилинади:

$$\Delta_k = l_2 - l_1 = \frac{h x_k}{L}, \quad (3.39)$$

бу ерда  $h$  — мавҳум манбалар орасидаги масофа,  $x_k$  —  $k$ - максимум (ёки минимум) нинг координатаси,  $L$  — манба ва экран орасидаги масофа. (3.18) ва (3.39) формулаларни солиштириб, ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш ифодаси ҳосил қилинади:

$$\lambda = \frac{h x_k}{kL}. \quad (3.40)$$

Мавҳум манбалар орасидаги  $h$  масофа қуйидагича аниқланади. Бипризма билан экран орасига фокус масофаси маълум бўлган линза ўрнаилади (137-расм), уни силжитиш билан экранда мавҳум манбаларнинг тасвири



137-расм.

ҳосил қилинади ва  $h$  ни аниқлаш учун қуйидаги муносабатлардан фойдаланилади:

$$a + b = L, \quad \frac{h'}{h} = \frac{b}{a}, \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

$a$  — бипризма ва линза орасидаги масофа,  $b$  — линза ва экран орасидаги масофа,  $h'$  — мавҳум манбалар тасвири орасидаги масофа, булардан

$$h = \frac{h'fL}{b^2} \quad \text{ва} \quad \lambda = \frac{x_k h' f}{k} \quad (3.41)$$

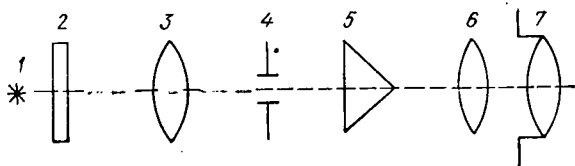
ифодалар ҳосил бўлади.

Ёруғлик интерференцияси тўлқин узунлигига боғлиқ бўлган ҳодиса. Шунинг учун интерференция ҳодисасини кузатиш имконини берувчи асбобларнинг ўзига хос спектрал интервали катталиги мавжуд. Интерференцион максимумларнинг марказдан четлашган сари хиралашиб бориши ҳам маълум спектрал интервал мавжудлигидан далолат беради. Агар  $\lambda + \Delta\lambda$  тўлқин узунлигига  $k$ -гартиб ва  $\lambda$  тўлқин узунлигига  $k+1$ -гартиб мос келса, йўллар йўқола бошлайди, бундан фойдаланиб, спектрал интервални аниқлаш учун

$$(k + 1)\lambda = k(\lambda + \Delta\lambda) \quad \text{ва} \quad |\Delta\lambda| = \frac{\lambda}{k} \quad (3.42)$$

ифодани ҳосил қилиш мумкин.

Ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш учун схемаси 138-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланилади. 1 — ёруғлик манбаи, 2 — ёруғлик фильтри, 3 — конденсор, 4 — тирқиш, 5 — бипризма, 6 — фокус масофаси маълум бўлган линза, 7 — окуляр микрометр. Бу асбоблар вертикал йўналишда силжий оладиган рейтерларга ўрнатилади ва улар орасидаги масофаларни ўлчаш имконини берувчи оптик асосга жойлаштирилади.



138- расм.

## Ишни бажариш тартиби

1. Қурилма билан танишилади, барча асбобларнинг оптик марказлари бир тўғри чизиқда жойлашганига ишонч ҳосил қилинади.

2. Оқ ёруғлик учун интерференцион манзара ҳосил қилинади. Светофилтр қўйиб, интерференцион манзара кузатилади, ҳар бир светофилтр учун 4—5 та максимум ҳолати белгиланиб, окуляр микрометрдан  $x_k$  ҳисобланади.

3. Тирқиш, бипризма ҳолатини ўзгартирмай, бипризма ва окуляр микрометр орасига фокус масофаси маълум бўлган линза ўрнатилади ва уни аста-секин силжитиб, мавҳум манбалар тасвири ҳосил қилинади,  $b$  масофа окуляр микрометр билан ўлчанади.

4. Ёруғлик тўлқин узунлигини (3.41) ифода ва спектрал интервални (3.42) ифода билан ҳисобланади ( $k$  — қурилмада кузатиш мумкин бўлган максимал тартиб).

5. Жадвал тузиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар ёзилади.

2-лаборатория иши. Ньютон ҳалқалари ёрдамида линзанинг эгрилик радиусини ва ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш

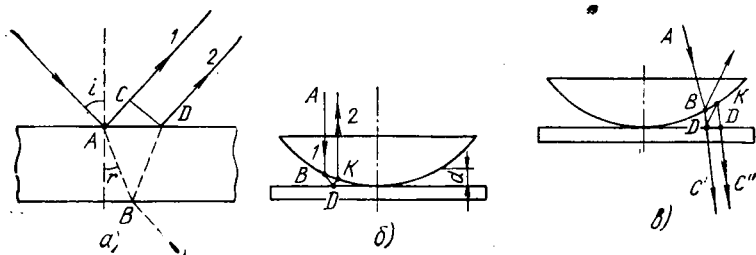
*Ишни бажаришдан мақсад:* Ньютон ҳалқалари ёрдамида ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма 202–204-бетлар, [1] I боб, 1, 4-§; [2] 119, 127-§; [8] 26, 27-§.

Монохроматик ёруғлик тўлқин бир-бирга жипс тегиб турувчи шиша пластинка ва қавариқ линза системасидан ўтганда (ёки қайтганда) навбатланиб келувчи қоронғи ва ёруғ ҳалқалар кўринишидаги интерференцион манзара кузатилади, улар Ньютон ҳалқалари деб аталади. Бу манзара юпқа шаффоф пластинкаларга нур тушиб қайтганда ҳосил бўладиган когерент нурларнинг кўшилиши натижасида ҳосил бўлади. I ва II нурларнинг йўл фарқи (139-а расм) ни аниқлаш учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$\Delta = (AB + BD)n - \left(AC + \frac{\lambda}{2}\right) = 2d\sqrt{n^2 + \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} \quad (3.43)$$

Ньютон ҳалқалари кузатиладиган қурилмада (139-б расм) ҳаво қатлами жуда кичик бўлгани учун



139- расм.

$BD \approx d$  муносабат ўринли. Интерференцияланувчи нурларнинг йўл фарқи қайтган нур учун:

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}, \quad (3.44)$$

қурилмадан ўтган нур учун:

$$\Delta = 2d + 2 \frac{\lambda}{2} = 2d + \lambda. \quad (3.45)$$

$d$  жуда кичик масофа, уни бевосита ўлчаш қийин. Уни 139-б расмдан фойдаланиб аниқлаб, (3.44) ва (3.45) муносабатларни мос равишда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}, \quad (3.44 \text{ a})$$

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \lambda, \quad (3.45 \text{ a})$$

бу ерда  $r$  — Ньютон ҳалқаларининг,  $R$  ( $r \ll R$ ) эса линзанинг эгрилик радиуси, (3.44) ва (3.45) ифодани (3.18) ва (3.19) билан солиштириб, қурилмадан қайтган нур қоронғу ҳалқалари радиуслари учун

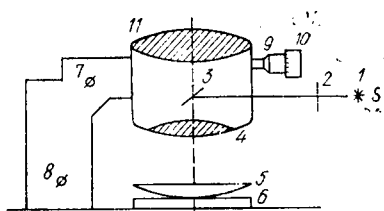
$$r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (3.46)$$

ва ёруғ ҳалқалари радиуслари учун эса

$$r_k = \sqrt{(2k+1) \frac{R\lambda}{2}} \quad (3.47)$$

ифодани ҳосил қилиш мумкин. Қурилмадан ўтган нурлар (139-в расм) учун бу ифодаларнинг ўрни алмаштирилади.

(3.46) ва (3.47) ифодалардан линзанинг эгрилик радиуси  $R$  ни ёки монохроматик ёруғлик тўлқин узунлиги  $\lambda$  ни аниқлаш мумкин. Бироқ шунча мўрт материаллардан бўлгани учун линза билан гипс жойлаштириш қийин (жуда кичик қалинликда бўлса ҳам ҳаво қатлами мавжуд бўлади). Ушбу ҳолат юзага келтирадиган (камчилик) хатоликни йўқотиш мақсадида  $R$  катталиқ икки ҳалқа радиуслари айирмасидан фойдаланиб аниқланади:



140- расм.

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} \quad (3.48)$$

Линзанинг эгрилик радиусини аниқлашда схемаси 140-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланиш мумкин, бу ёрда 1—ёруғлик манбаи, 2—ёруғлик фильтри, 3— ярим шаффоф пластинка, 4— микроскоп 5— линза, 6— пастки сирти қорайтирилган шиша пластинка, 7 ва 8— тасвирни созловчи микровинтлар, 9— Ньютон ҳалқалари радиусини ўлчаш учун ўрнатилган винт, 10— шкала, 11— окуляр линза. Микрометр барабанининг бўлим қиймати ва фильтр ўтказувчи ёруғлик тўлқин узунлиги берилган.

Ишни бажариш тартиби

1. Қурилмани ўрганиб, фильтрсиз, оқ ёруғликда Ньютон ҳалқалари кузатилади.

2. Фильтр қўйиб, 9 винтни шундай ўрнатиш кераки, қоронғу Ньютон ҳалқаларининг энг охиригиси кўринсин. Аста-секин марказга қараб силжитиб ва марказдан чапга силжитиб, ҳар бир ҳалқа радиуси ҳисобланади.

3. (3.48) ифодадан линзанинг эгрилик радиуси аниқланади.

4. Бошқа фильтрлар учун ҳам тажриба такрорланади.

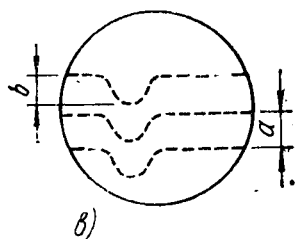
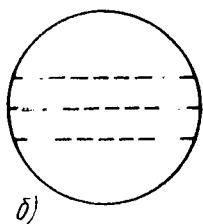
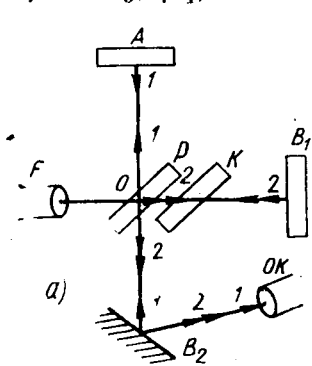
5. Жадвал тузиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталиқлар ёзилади.

6. Ўлчанган катталиклардан фойдаланиб,  $r_m^2$  нинг ҳалқалар сони  $m$  га боғланиш графиги чизилади ва ундан  $k$  ни аниқлаб, (3.48) ифода ёрдамида ҳисобланган қиймати билан таққосланади.

3- лаборатория иши. Линник интерферометри ёрдами билан яримшаффоф қаттиқ жисм сиртларини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Линник интерферометрининг ишлаши билан танишиш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 202—204-бетлар; [1] I боб, 1—4-§; [2], 119—121-§; [3], 26, 27-§.



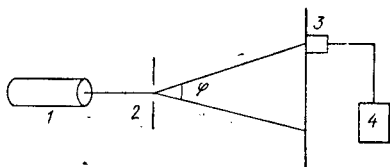
Ёруғлик интерференцияси ҳодисаси асосида ишлайдиган оптик асбоблар интерферометрлар дейилади. Схемаси 141-а расмда келтирилган Линник интерферометри ёрдамида металллар, ярим ўтказгичлар сиртининг сифати (нотекислиги) аниқланади.

Манбадан келаётган ёруғлик тўлқини  $P$  ярим шаффоф пластинкадан иккига ажралиб ўтади. 1 нур текшириляётган  $A$  юзага, 2 нур  $B_1$  эталон кўзгуга бориб қайтади ва бу ёруғлик тўлқинларининг қўшилишидан ҳосил бўлган манзара  $OK$  окулярда кузатилади. 1 нур  $P$  пластинкани уч марта, ва 2 нур эса бир марта ўтади, аниқланиши қийин бўлган нурларнинг бундай йўл фарқини йўқотиш учун  $P$  га параллел ва худди шундай  $K$  пластинка ўрнатилади. Агар текшириляётган  $A$  юз тоза бўлса, окулярда навбатлашиб келувчи (141-б расм) қоронғу ва ёруғ йўллар ҳосил бўлади,

• 141- расм.



аксинча  $A$  юзда нотекисликлар мавжуд бўлса, интерференцияланувчи ёруғлик тўлқинлари қўшимча йўл фарқига эга бўлиб, интерференцион манзара эгилади (141-в расм). Окулярда кузатиладиган интерференцион манзаранинг қўшни қора



142- расм.

йўллари орасидаги масофа  $a$ , йўлларнинг эгилиши  $b$  ва кузатилаётган ёруғлик тўлқин узунлиги  $\lambda$  билан белгиланса, текширилаётган юзда мавжуд бўлган нотекисликлар ўлчами қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$d = \frac{b}{a} \cdot \frac{\lambda}{2}. \quad (3.49)$$

Ишни бажариш тартиби

1. Текширилаётган жисм интерферометр (МИИ—4 ёки МИИ—5) қурилма столига жойлаштирилади ва асбобни сошлаб интерференцион манзара кузатилади.

2. Ёруғлик филтрини ўрнатиб, микрометрик винт ёрдамида  $a$  ва  $b$  масофалар бир неча марта ўлчанади ва ўртача қиймати аниқланади.

3. (3.49) ифода ёрдамида юз нотекислиги аниқланади.

4. Жадвал тузиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталар ёзилади.

4-лаборатория иши. **Фраунгофер** дифракциясидан фойдаланиб ёруғликнинг тўлқин узунлигини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Ёруғлик дифракциясини кузатиш ва ёруғликнинг тўлқин узунлигини аниқлаш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 204—208-бетлар, [1] II боб, 1, 2, 4-§; [2] 125, 126, 127, 129-§; [3] 39, 44-§.

Ушбу тажриба қурилмасининг оптик схемаси 142-расмда келтирилган. Бу ерда 1 — ёруғлик манбаи — лазер, 2 — тирқиш, 3 — фотоэлемент, 4 — фототокни ўлчовчи асбоб — Ш 68000 рақамли вольтметр.

Ёруғликнинг тўлқин узунлиги (3.27) ва (3.28) ифодаларда келтирилган шартлардан фойдаланиб аниқла-

нади.  $\varphi$  бурчак жуда кичик бўлгани учун  $\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi = \frac{x}{L}$  муносабат ўринлидир.

Ишни бажариш тартиби

1. Тирқиш ва фотоэлементлар Фраунгофер дифракциясини қаноатлантирадиган масофага жойлаштирилиб,  $L$  масофа аниқланади ва электр асбоблари манбага уланади.

2. Фототок миқдорига қараб максимум ва минимум ёритилганликлар кузатиладиган вертикал масофалар  $x_k$  аниқланади.

$$3. \lambda = \frac{2bx}{(2k+1)L} \text{ — тах ва } \lambda = \frac{bx}{kL} \text{ — мин ифодалардан}$$

ёруғлик тўлқин узунлиги аниқланади.

4. Жадвал тузиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар ёзилади.

5-лаборатория иши. Дифракцион панжара ёрдами билан ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Дифракцион панжара ёрдамида ёруғлик дифракциясини кузатиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 204—211-бетлар, [1] II боб, 1—5-§; [2] 125—130-§; [3] 39, 44, 45-§.

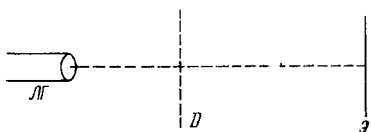
Схемаси 143-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланилади. Бу ерда ЛГ — гелий неон лазер ЛГ—75, ЛГ—68, D—дифракцион панжара, Э—шкала ўрнатилган экран.

Ишни бажариш тартиби

1. Тўлқин узунлиги маълум бўлган монохроматик ёруғлик тўлқин нурлантирувчи лазер манбага уланади ва Э экранда дифракцион манзарани кузатилади.

2. Экранда кузатилаётган ҳар бир максимумнинг вазияти ёзиб олинади ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ ).

$$3. d \sin \varphi = \pm k\lambda \text{ ифодадаги } \varphi \text{ бурчак жуда кичик бўлгани учун } \sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{L} \text{ муносабатни ҳисобга олиб, дифракцион панжара доимийси } d = \frac{k\lambda L}{x_k}$$



143- расм.

ҳисобланади.

4. Жадвал тузиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталар ёзилади.

5. Бу қурилмадан фойдаланиб яна қандай физик катталарни аниқлаш мумкин. Таклиф қилган тажрибангиз учун ишлаш плани тузинг.

6- лаборатория иши. Ёруғлик тўлқинининг қутбланиш ҳодисасини ўрганиш ва Малюс қонунини текшириш

*Ишни бажаришдан мақсад:* Ёруғлик тўлқинининг қутбланишини кузатиш.

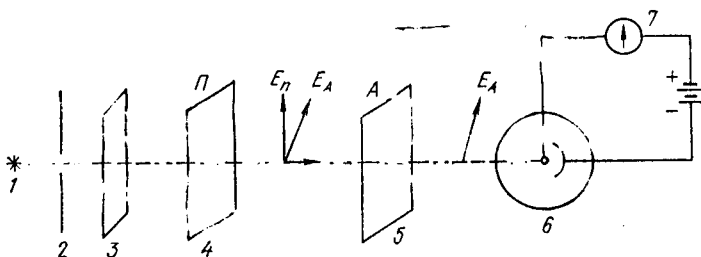
*Адабиёт:* Ушбу қўлланма 211—216-бетлар, [1], IV боб, 1—5-§; [2], 134—136-§; [3] 62-§.

Лаборатория иш қурилмасининг оптик схемаси 144-расмда келтирилган. Бу ерда 1—табиий ёруғлик манбаи, 2—тирқиш, 3—молибден шишасидан ясалган кўзгу, 4 ва 5—поляриодлар, 6—фотозлемент, 7—фототокни ўлчашга мўлжалланган асбоб. Бу асбоблар вертикал ва горизонтал йўналишларда силжий оладиган махсус рейтерларга ўрнатилиб, 1 м узунликдаги оптик скамьяга жойлаштирилади. 3 кўзгуга вертикал ва горизонтал текисликда бурилиш бурчакларини ҳисоблаш имкониятини берувчи шкалалар ўрнатилган.

Ишни бажариш тартиби

1. Оптик тагликка ёруғлик манбаи, тирқиш, кўзгу, поляриод ва фотозлемент жойлаштирилади.

2. Поляриодни нур йўналишида, кўзгунини вертикал ўқ атрофида бураб, фототокнинг минимал қийматига эришилади. Бунда кўзгуга нур Брюстер бурчаги остида тушиб, кўзгу ва поляриод системасидан ёруғлик ўтмайди.



144- расм.

3. Ёруғликнинг кўзгуга тушиш бурчаги—Брюстер бурчагини бир неча марта ўлчаб, тузилган жадвалга ёзилади.

4. Брюстер бурчагининг ўртача қийматидан фойдаланиб, молибден шишаси синдириш кўрсаткичини  $tg i_B = n$  ифодадан ҳисобланади.

5. Оптик тағлиққа ёруғлик манбаи, тирқиш, (поляроидлар, поляризатор ва анализатор), фотоэлемент ўрнатилади.

6. Иккинчи поляроид анализаторни бураб поляризатор ва анализаторнинг параллел жойлашган ҳолатига мос келувчи максимал фототок қиймати аниқланади.

7. Анализаторнинг ҳар  $15^\circ - 20^\circ$  ҳолати учун фототокнинг қиймати ёзиб олинади.

8.  $I = f(\alpha)$  ва  $I = \psi(\cos^2 \alpha)$  боғланишларнинг графиги қутб координат системасида тасвирланади.

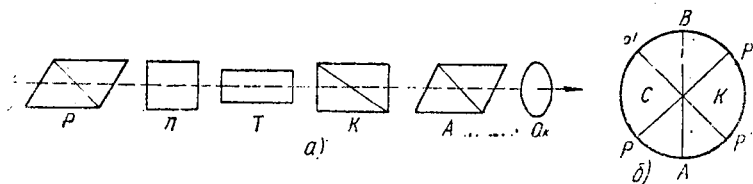
7-лаборатория иши. Шакар эритмаси концентрациясини поляриметр ёрдами билан аниқлаш.

*Ишни бажаришдан мақсад:* ёруғлик қутбланиши ва қутбланган ёруғлик хусусиятларидан фойдаланиб шакар эритмаси концентрациясини аниқлаш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма 204—211-бетлар, [1] IV боб, 1—6-§; [2] 134, 135, 136, 141-§; [3] 94, 95-§.

Поляриметр қутбланган ёруғлик тўлқин хусусиятларига асосланган оптик қурилма. Ярим сояли поляриметр ёки сахариметрнинг оптик схемаси 145-расмда келтирилган. Бу ерда  $S$  — ёруғлик манбаи,  $P$  — поляризатор,  $L$  — ярим сояли пластинка,  $T$  — ўрганилаётган эритма солиш учун мўлжалланган трубка,  $K$  — компенсатор,  $A$  — анализатор,  $Ok$  — окуляр.

Ярим сояли пластинка 145-б расмда келтирилгандек  $AB$  чегарага эга.  $C$  шиша ва  $K$  кварц бўлаклари шу чегарада бириктирилган. Агар пластинкага қутбланиш текислиги  $PP$  бўлган ясси қутбланган ёруғлик



145- расм.

туширилса, у шиша пластинкадан йўналишини ўзгартирмай ўтади, кварц эса қутбланиш текислиги  $P'P'$  текисликка буриб юборади. Қутбланиш текислиги  $PP$  билан мос тушувчи анализатордан ўтган нурни  $K$  кварц ютади ва унга мос кўриш майдонида қоронғулик қўзғатилади, шиша қисмдан ўзгармай ўтган нурдан кўриш майдонининг бу қисми ёруғ бўлади (аксинча бўлиши ҳам мумкин). Кўриш майдони (окулярнинг) нинг иккала қисми бир хил ёритилган ҳолати саноқ боши ҳисобланади. Шакар эритмаси яримсояли пластинка ва анализатор орасига қўйилади. Кўриш майдонининг ёритилганлиги ўзгаради, уни бир хил қилиш учун анализатор маълум бурчакка бурилади, бу бурчак шакар эритмасининг қутбланган ёруғликни буриш бурчагига тенг.

Тажриба оқ ёруғликда ўтказилганда  $K$  компенсатордан фойдаланилади. У иккита чапга бурувчи кварцдан ясалган понадан иборат бўлиб, бири  $K_1$  қўзғалмас, иккинчиси эса, қўзғалувчан. Уларни бир-бирига нисбатан силжитиб бурилиш бурчагини ўзгартириш мумкин. Шакар эритмаси ўнгга бурувчи бўлгани учун  $K$  пластинка қутбланиш текислигини чапга буриб компенсациялайди. Оқ ёруғлик учун шакар эритмаси ва кварцнинг солиштирма буриш бурчаклари бир хил.

Ишни бажариш тартиби

1. Кўриш майдони ва шкала окуляри кўриш майдонини чегараловчи чизиқ ва шкала аниқ кўринадиган қилиб ўрнатилади ва ноль нуқта аниқланади.

2. Маълум  $C_1$  концентрацияли шакар эритмаси солинган трубкани  $T$  камерага жойлаштириб,  $\varphi_1$  бурчак аниқланади. Концентрацияси маълум бўлган шакар эритмаси орқали қурилманинг доимийси  $\alpha_0 = \frac{\varphi_1}{Cl}$  ҳисобланади.

3. Яна ноль нуқта топилади.

4. Камерага номаълум  $C_x$  концентрацияли шакар эритмаси солинган трубка қўйиб, ўлчаш такрорланади.

5.  $\varphi = \alpha_0 C_x l$  ифодадан фойдаланиб, солиштирма буриш бурчаги ва номаълум концентрация  $C_x$  аниқланади.

6. Жадвал тузиб, ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар ёзилади.

1. Ёруғликнинг электромагнит тўлқин табиатини тушунтиринг.
2. Ёруғлик интерференция ҳодисаси ва уни лаборатория шароитида кузатиш усулларини айтинг.
3. Интерференция ҳодисаси қаерларда ва нима мақсадда қўлланилади?
4. Ёруғлик дифракциясини тушунтиринг, унинг турларини айтинг.
5. Френель дифракциясини кузатиш усуллари ва дифракцион максимумларнинг интенсивликлари ҳақида маълумот беринг.
6. Фраунгофер дифракцияси ва дифракцион максимумлар интенсивликларининг тақсимоги ҳақида маълумот беринг.
7. Дифракцион панжара ва унинг қўлланиш соҳаларини айтиб беринг.
8. Ёруғликнинг қутбланиши ва унинг кузатиш усуллари ҳақида гапиринг.
9. Қутбланган ёруғликнинг қўлланиш соҳалари ва поляриметрлар ҳақида маълумот беринг.
10. Анизотроп моддалар қандай моддалар, нима учун анизотроп моддаларда ёруғлик иккиланиб синади?

#### 4-§. Ёруғликнинг моддалар билан таъсири ва унинг квант табиати

*Назарий маълумотлар.* Ёруғликнинг моддалар билан ўзаро таъсири унинг қутбланиши, дисперсияси, ютилиши, сочилиши каби ҳодисаларда намоён бўлади. Амалда қутбланган ёруғликнинг қўлланиши катта аҳамият касб этганлигидан биз аввалги қисмда фақат шу хусусияти билан қисқа танишдик.

Ёруғликнинг модда билан ўзаро таъсирини тўла ўрганиш учун модда электронларининг тўлқин хусусиятларини ва ёруғликнинг квант табиатини ҳисобга олиш керак. Лекин дисперция, ютилиш, сочилиш каби ҳодисалар ҳақида умумий тушунча ҳосил қилиш учун ёруғликни электромагнит тўлқин, модда тузилишини эса классик электрон назария асосида тасаввур қилиш етарли.

Ёруғлик дисперсияси модда синдириш кўрсаткичи  $n$  нинг ёруғлик тўлқин частотаси  $\omega$  (тўлқин узунлиги  $\lambda$ ) га боғлиқлиги билан характерланади.  $\frac{\Delta n}{\Delta \omega}$  катталик дисперсия ўлчови вазифасини ўтайди  $\frac{\Delta n}{\Delta \omega} > 0$ , ( $\frac{\Delta n}{\Delta \lambda} < 0$ ) бўлган моддадаги дисперсия нормаль ва аксинча  $\frac{\Delta n}{\Delta \omega} <$

$< 0, \left( \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} > 0 \right)$  бўлган ҳолда эса аномаль дисперсия дейилади.

Модда атомининг оптик электронлари тушаётган ёруғликнинг электр майдони таъсирида тебранма ҳаракатга келади. Бу ҳолда атом системасини диполь деб тасаввур қилиш мумкин. Максимал силжиш ҳосил бўлгандаги диполнинг электр моменти  $p = ex_0$  га тенг. Модданинг бирлик ҳажмидаги атомлар сонини  $N$  деб белгиласак, қутбланиш вектори  $P$  қуйидаги кўринишга эга:

$$\vec{P} = N\vec{p} = Ne\vec{x}_0. \quad (3.50)$$

Шу тарзда ҳосил бўлган диполлар сони  $N_l$  ва силжишлари

$$x_l = \frac{F_m}{m_0 \sqrt{(\omega_{0l}^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma\omega^2}}, \quad (3.51)$$

ёки сўниш ҳисобга олинмаса,

$$x_l = \frac{F_m}{m_0(\omega_{0l}^2 - \omega^2)}, \quad (3.52)$$

у ҳолда қутбланиш вектори:

$$P = \sum_{i=1}^k eN_l \frac{r_m}{m_0(\omega_{0l}^2 - \omega^2)} = \sum_{i=1}^k eN_l \frac{eE_m}{m_0(\omega_{0l}^2 - \omega^2)}, \quad (3.50 a)$$

бу ерда  $e$  — электрон заряди,  $F_m$  — электронга таъсир этувчи электромагнит тўлқиннинг электр кучи амплитудаси,  $m_0$  — электрон массаси,  $\omega_0$  — электроннинг хусусий частотаси,  $\omega$  — ёруғлик тўлқин частотаси.

Электр майдон кучланганлиги  $E_0$  нинг шу майдондаги модда қутбланиш вектори  $P$  билан муносабатини, яъни  $P = (\epsilon - 1) \cdot \epsilon_0 E_0$  ни ёдга олсак, модданинг диэлектрик сингдирувчанлиги учун

$$\epsilon = 1 + \frac{e^2}{\epsilon_0 m_0} \sum_{i=1}^k \frac{N_l}{\omega_{0l}^2 - \omega^2} \quad (3.53)$$

ифодани ёзиш мумкин.

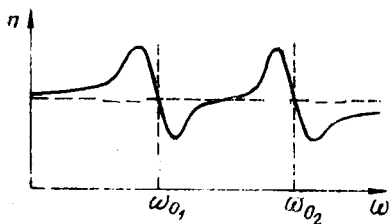
Максвелл назариясига асосан, диэлектрик сингдирувчанлиги  $\epsilon$ , магнит сингдирувчанлиги  $\mu$  бўлган му-

ҳитда электромагнит тўлқиннинг тарқалиш тезлиги  $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$  га тенг. Муҳитнинг синдириш кўрсаткичи эса қуйидаги муносабат билан аниқланади:  $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu}$ . Магнит хусусияти кучли бўлмаган моддалар учун  $\mu \approx 1$  ва (3.53) ни ҳисобга олсак, синдириш кўрсаткичи учун қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$n = \sqrt{1 + \frac{e^2}{\epsilon_0 m_0} \sum_{l=1}^N \frac{N_l}{\omega_{0l}^2 - \omega^2}}. \quad (3.54)$$

Бу ифода асосида ҳисобланган  $n$  нинг қийматларини ёруғлик тўлқин частотаси  $\omega$  га боғлиқлик графиги 146-расмда тасвирланган. 146-расмдаги эгриликнинг электроннинг хусусий тебраниш частоталарига мос келувчи ёруғлик тўлқин частоталари атрофида аномал дисперсия кузатилади. Демак, нурланишнинг бу қисмида ютилиш катта бўлиб уни амалда кузатиш қийинроқ. Графикнинг бошқа қисмлари нормаль дисперсияга мосдир. Модда синдириш кўрсаткичининг ёруғлик тўлқин частотасига боғлиқлиги мураккаб ёруғликни таркибий қисмларга ажралишига сабаб бўлади. Бунда ҳосил бўлган спектр дисперсион спектр деб юритилади ва модда таркибини анализ қилишда кенг ишлатилади.

*Ёруғликнинг ютилиши.* Ёруғлик — электромагнит тўлқин моддага тушганда, зарраларни, хусусан диполларни мажбурий тебранишга келтириб, модда ички энергиясини оширишга сабаб бўлади. Бунга сарфланган ёруғлик энергияси унинг ютилган қисми ҳисобланади. Ютилган энергия модда структурасига, ёруғлик частотасига, (тўлқин узунлигига) ҳамда ютувчи қатлам қалинлигига боғлиқ. Ёруғликнинг ютилишини харак-



146- расм.

терлаш учун унинг частотасига (тўлқин узунлигига) ва модда табиатига боғлиқ бўлган ютилиш коэффициентини деган катталик киритилади.

Интенсивлиги  $I_0$  бўлган монохроматик ёруғлик  $a$  қалинликдаги моддага тушаётган бўл-



син,  $I_x$  эса  $x$  қалинликка етиб борган ва  $dI_x$ ,  $dx$  қатламда ютилган ёруғлик интенсивлиги бўлсин. У ҳолда  $dI_x = -kI_x dx$  ва  $\frac{dI_x}{I_x} = -k dx$ , бу ифодани интеграллаб,  $\ln I_x = -kx + \ln c$  ёки  $\ln \frac{I_x}{c} = -kx$ ,  $\frac{I_x}{c} = e^{-kx}$  ифодани ҳосил қиламиз.

Агар  $x = 0$ , у ҳолда  $I_x = I_0$  бўлади,  $I_0 = c$  бўлса,

$$I_x = I_0 e^{-kx} \text{ ёки } I_0 = I_x e^{kx} \quad (3.55)$$

ифода ҳосил бўлади, бу Бугер қонунидир.

Ютилиш коэффициенти  $k = \frac{1}{a} \ln \frac{I_0}{I_a}$  ифодадан аниқланади.

Бугер қонуни ифодасини ёруғлик оқими учун ҳам ёзиш мумкин:

$$\Phi_a = \Phi_0 e^{-ka}, \quad (3.56)$$

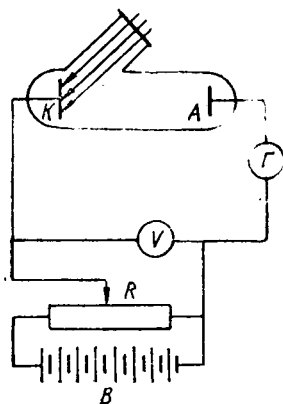
натурал логарифмдан ўн асосли логарифмга ўтилса,

$$\Phi_a = \Phi_0 10^{-m_\lambda a}, \quad (3.57)$$

бу ерда,  $m_\lambda = k_\lambda \operatorname{tg} e = 0,4343k_\lambda$ .

*Фотоэлектрик эффект.* Кузатишлар, тажриба ва назариялар асосида ёруғликнинг тўлқин ҳамда (квант) зарра табиатига эга эканлигига ишонч ҳосил қилинди. Квант табиатига асосланиб, ёруғликни „элементар зарра“ — фотонлар оқими сифатида тасаввур этилади. Фотоннинг энергияси  $E_\phi = h\nu$ , массаси  $m_\phi = \frac{h\nu}{c^2}$ , импульси  $P_\phi = \frac{h\nu}{c}$ , ифодалар ёрдамида аниқланади, бу ерда  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Ж·с — Планк доимийси,  $\nu$  — ёруғлик частотаси,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с — ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги. Фотоннинг тинч ҳолатдаги массаси нолга тенг, у ҳаракатдагина мавжуд бўлиб, тўхтаса йўқолади, яъни моддалар томонидан ютилади.

Ёруғлик таъсирида моддалардан эркин электронларнинг ажралиб чиқиши ёки электронлар энергетик сатҳининг ўзгариши фотоэффект дейилади. Икки хил фотоэффектни кузатиш мумкин: ташқи фотоэффект — ёруғлик таъсирида металл сиртидан электронларнинг учиб чиқиши, ички фотоэффект — ёруғлик таъсирида ярим ўтказгич ва диэлектрикларда электронларнинг



147- расм.

энергетик сатҳлар бўйича қайта тақсимланиш ҳодисаси.

Ташқи фотоэффект ҳодисаси

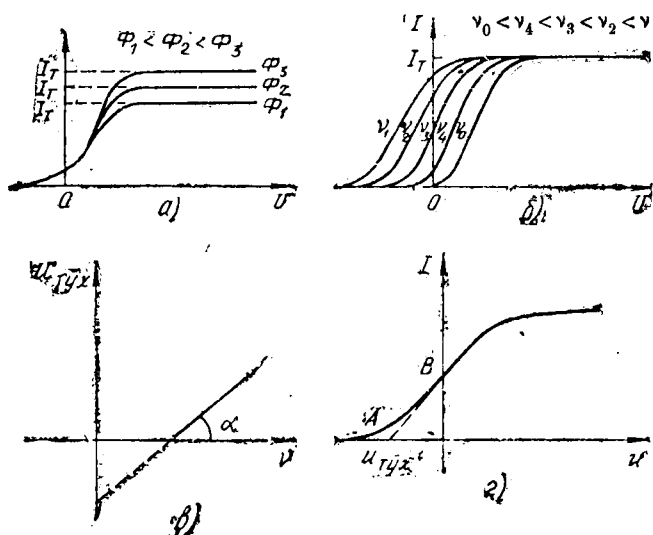
$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (3.58)$$

ифода билан тушунтирилади, бу ерда  $A$  — электроннинг металл сиртидан чиқиши учун сарфланадиган иш,  $m$  — электрон массаси,  $v_{\max}$  — учиб чиққан электронларнинг максимал тезлиги. Ташқи фотоэффект ҳодисаси 147-расмда келтирилган схема ёрдамида ўрганилади.  $K$  катод ёритилганда ундан фотоэлектронлар деб

аталувчи электронлар учиб чиқади ва  $K$  катод ҳамда  $A$  анод орасидаги майдон таъсирида ҳаракатлана олади ва фототок ҳосил бўлишига сабаб бўлади. Бу токнинг кучланишга боғлиқлиги вольтампер характеристикалари бўлиб, ёруғликнинг турли оқим ва частота қийматлари учун 148 а, б-расмда келтирилган. Бу ерда  $I_f$  — тўйиниш фототоки бўлиб, мазкур ҳолатда катоддан чиқаётган электронлар сонига пропорционал, у анодга бориб етган электронлар сони билан характерланади. Анод ва кагод орасидаги кучланиш нолга тенг бўлганда ҳам, ҳатто  $u \leq 0$  да ҳам фототок ҳосил бўлади (148-г расм). Бунда фотоэлектронлар кинетик энергиялари ҳисобига майдон кучларига қарши иш бажаради. Агар манфий электр майдони етарлича кучли бўлса, электронлар анодга етмай энергияларини йўқотади. У ҳолда фототок ноль бўлади. Шунга мос келувчи  $U_{\text{тўх}}$  тўхтатувчи кучланиш деб юритилади. 148 а, б-расмда фототок қийматининг ёруғлик оқимига, частотага боғлиқлик графиклари келтирилган.

Юқорида баён этилганлар асосида ташқи фотоэффект ҳодисасининг қонунлари келиб чиқади:

1. Нурланишнинг маълум тўлқин узунлигида вақт бирлигида сирт бирлигидан учиб чиқадиган электронлар сони нурланиш интенсивлигига тўғри пропорционал, бошқача айтганда, тўйиниш фототоки ёруғлик оқимига тўғри пропорционал.



148- расм.

2. Интенсивлик ўзгармас бўлганда вақт бирлигида бирлик юздан учиб чиқаётган фотоэлектронлар сони частота ортиши билан ортади. Бинобарин бир вақтда бир электроннинг иккита фотон ютиш эҳтимоллиги кичик, шунинг учун учиб чиққан бир электрон бир фотондан энергия олади, лекин ҳамма ютилган фотон ҳам электронни уриб чиқара олмайди. Частота ортиши билан фотон энергияси ортади, шунинг учун фотоэлектронлар сони ҳам ортади (148- б расм).

3. Фотоэлектронларнинг тезлиги ёруғлик интенсивлигига боғлиқ бўлмай, унинг частотасининг функциясидир. Ёруғлик частотаси ортиши билан фотоэлектронлар тезлиги орта боради. Агар  $\nu$  частота  $h\nu < A$  шартга бўйсунса, электронлар металлдан чиқа олмайди, фотоэлектронларнинг чиқиши тўхтайдиган чегара ( $h\nu = A$ ) фотоэффектнинг қизил чегараси дейилади.

Ташқи фотоэффект ҳодисасига асосланган асбоблар фотоэлементлар дейилади, улар икки хил бўлади: вакуумли фотоэлементлар, газ тўлдирилган фотоэлементлар. Вакуумли фотоэлементларнинг тузилиши қуйидагича: ҳавоси сўриб олинган баллон ички қисмининг ярми металл билан қопланган бўлиб, бу катод вазифа-

сини утайди. Аноди ҳалқа кўринишида ясалади, катод ва анод орасида ташқи батарея электр майдон ҳосил қилади. Бундай фотоэлементларнинг ажойиб хусусияти унинг инерциясизлигидир, ёритилгандан фототок ҳосил бўлунча  $10^{-9}$  с гина вақт ўтади.

Ички фотоэффект ҳодисаси ёруғлик кванти таъсирида электронларнинг валент зоналаридан ўтказувчанлик зоналарига ёки аралашма сатҳларига ўтиш ҳодисасидир. Ички фотоэффект ҳодисасига асосланган фотоэлементлар фотоқаршилиқлар дейилади. Фотоқаршилиқларнинг асосий характеристикалари — вольт-ампер, ёруғлик, спектрал частота характеристикалари ҳисобланади.

Вольт-ампер характеристикаси ўзгармас  $\Phi$  ёруғлик оқими таъсирида  $I_{\Phi}$  фототок миқдорининг электродлар орасидаги  $u$  кучланишга боғлиқлигидир. Ёруғлик характеристикаси ўзгармас кучланишда фототокнинг монохроматик ёруғлик оқимига боғлиқлиги, спектрал характеристикаси ўзгармас кучланиш ва ёруғлик оқимида фотоқаршилиқ сезгирлигининг ёруғлик тўлқин узунлигига боғлиқлигидир. Фотоқаршилиқларнинг солиштирма сезгирлиги  $K$  фототокнинг температураси  $285^{\circ}\text{K}$  бўлган манба нурланиши оқими ва кучланиш нисбатига тенг:

$$K = \frac{I_{\Phi}}{\Phi u} = \frac{I_{\Phi}}{ESu}, \quad (3.59)$$

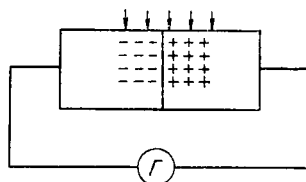
бу ерда  $I_{\Phi}$  фототок кучи,  $u$  — электродлар орасидаги кучланиш,  $E$  — манба ёритилганлиги,  $S$  — фотоэлемент катодининг юзи.

Вентилли фотоэффект ички фотоэффектнинг бир кўриниши бўлиб, ёруғлик таъсирида қаттиқ жисмларнинг вентилли (тўғрилагичли) қатламида ЭЮК ҳосил бўлади.  $p-n$  ўтишда юз берадиган вентилли фотоэффект амалда кўп ишлатилади. Тўғри токнинг бундай ўзгариши  $p-n$  ўтишнинг вольт-ампер характеристикаси дейилиб, қуйидаги қонуниятга бўйсунди:

$$I = I_T \left( e^{\mp \frac{eu}{kT}} - 1 \right), \quad (3.60)$$

бу ерда  $I_T$  —  $p-n$  ўтишдаги тўйиниш токи,  $k$  — Больцман доимийси,  $e$  — электрон заряди,  $T$  — абсолют температура.  $\pm$  ишора мос равишда тўғри ва тесқари токнинг ўзгаришини кўрсатади.

Агар ўзгарувчан қаршиликли  $p-n$  қатлам ёритилса (149-расм), ички фотоэффект ҳодисаси туфайли электрон ва тешиқлар концентрацияси ортиб кетади ва  $p-n$  ўтишда тескари токнинг қиймати ортади, бу ток фототок деб юритилади. Контакт потенциаллари фарқига тескари ишорага эга бўлган фото ЭЮК ҳосил бўлади. Бу ҳолда вольт-ампер характеристикаси қуйидаги ифодалар билан характерланади:



149- расм.

$$I_{\Phi} = I_{\tau} \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right), \quad (3.61)$$

$$U_{\Phi} = \frac{kT}{e} \ln \left( 1 + \frac{I_{\Phi}}{I_s} \right). \quad (3.62)$$

Шундай қилиб, вентилли фотоэлементлар ёруғлик энергиясини бевосита электр энергиясига айлантириб бериш хусусиятига эга. Уларнинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta = \frac{P}{\Phi} \psi = \frac{P}{ES} \psi \quad (3.63)$$

ифода билан аниқланади,  $P$  — қувват,  $\psi$  — ёруғлик бериш қобилияти бўлиб,  $\lambda = 555$  нм да 628 лм Вт га тенг.  $S$  — фотоэлементнинг ёритилувчи юзи,  $E$  — ёритилганлик.

*Иссиқлик нурланиши.* Оксидланаётган фосфорнинг нурланиши, газлардан электр токи ўтгандаги ва электронлар билан бомбардимон қилинган қаттиқ жисмларнинг нурланиши, қиздирилган жисмларнинг нурланиши ва бошқалар иссиқлик нурланишига мисол бўла олади. Ҳар қандай нурланишда ҳам энергиянинг бирор тури нурланиш энергиясига айланади. Хусусан, иссиқлик нурланишда нурланаётган жисм зарраларининг хаотик иссиқлик ҳаракат энергиясининг бир қисми электромагнит тўлқин тарзида нурланади. Бу нурланиш абсолют нолдан фарқли барча температураларда содир бўлиб, қуйидаги катталиклар билан характерланади.

Нурланишнинг интеграл сезгирлиги (ёритилганлиги ёки равшанлиги) вақт бирлигида бирлик юздан тўлқин

узунлигининг барча интервалида нурланаётган ёруғлик тўлқин энергиясидир:

$$R = \frac{E}{S}. \quad (3.64)$$

Нурланишнинг монохроматик дифференциал интенсивлиги бирор тўлқин узунлиги интервалида вақт бирлигида бирлик юздан нурланаётган энергиядир:

$$r_{\omega} = \frac{dE_{\omega}}{S}. \quad (3.65)$$

Баъзан бу катталик нур чиқариш қобилияти деб ҳам айтилади. Нурланишнинг интеграл ва монохроматик интенсивликлари орасида қуйидаги муносабат мавжуд:

$$R = \int_0^{\infty} r_{\omega} d\omega. \quad (3.66)$$

Жисмга  $\omega$ ,  $\omega + d\omega$  частота интервалида тушаётган нур энергиясини  $E_{\omega}$  билан, ютилган ва қайтган энергиялар мос равишда  $E'_{\omega}$  ва  $E''_{\omega}$  билан белгиланса, энергиянинг сақланиш қонунига асосан:

$$E_{\omega} = E'_{\omega} + E''_{\omega}. \quad (3.67)$$

Бу тенгламанинг иккала томонини  $E_{\omega}$  га бўлиб,

$$\frac{E'_{\omega}}{E_{\omega}} + \frac{E''_{\omega}}{E_{\omega}} = 1$$

ни ҳосил қиламиз. Бу тенгламада

$$a(\omega, T) = \frac{E'_{\omega}}{E_{\omega}} \quad (3.68)$$

катталик жисмнинг нур ютиш қобилияти бўлиб,  $\omega$ ,  $\omega + d\omega$  частоталар интервалида тушган нурнинг қанча қисми ютилганлигини кўрсатади.

$$r'(\omega, T) = \frac{E'_{\omega}}{E_{\omega}} \quad (3.69)$$

катталик қайтариш қобилияти деб аталувчи ўлчамсиз миқдор бўлиб,  $\omega$ ,  $\omega + d\omega$  частоталар интервалида тушган нурнинг қанча қисми қайтганлигини кўрсатади.

Тушаётган нурланиш энергиясини тўлиқ ютадиган жисм абсолют қора жисм деб аталади, бундай жисм учун  $E_{\omega}^* = 0$  ва  $a(\omega, T) = 1$  бўлади.

Адиабатик қобиқ билан ўралган ҳар хил температу-радаги жисмлар системаси маълум вақтдан кейин тем-пературалари тенглашиб мувозанат ҳолагини эгаллай-ди. Бу ҳолатдаги жисмлар учун Кирхгоф қуйидаги қонунни таърифлайди: нур чиқариш ва ютиш қобилият-ларининг ўзаро нисбати жисмларнинг табиатига боғлиқ бўлмай, ёруғлик тўлқин частотаси ҳамда температура-нинг универсал функциясидир:

$$\frac{r(\omega, T)}{a(\omega, T)} = f(\omega, T). \quad (3.70)$$

Бинобарин, жисм қандай нурни кучлироқ ютса, худди шундай нурни кўпроқ чиқаради ва аксинча. Абсолют қора жисм учун  $a(\omega, T) = 1$  бўлиб,  $r(\omega, T) = f(\omega, T)$  муносибат ўринли, демак,  $f(\omega, T)$  абсолют қора жисм-нинг нур чиқариш қобилияти. Бошқа жисмлар учун  $r(\omega, T) < f(\omega, T)$ ,  $a(\omega, T) < 1$ . Немис физиги М. Планк тажрибалар натижаларини анализ қилиб, нурланиш энергияси квант тарзда чиқади деган тахминга асос-ланган ҳолда нурланишнинг ҳажмий зичлиги учун

$$u(\omega, T) = \frac{h\omega^3}{4\pi^2c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\omega/kT}} \quad (3.71)$$

ифодани таклиф этди. Бундан абсолют қора жисм нур-ланиш қобилияти учун

$$f(\omega, T) = \frac{c}{4} u(\omega, T) \quad (3.72)$$

ифодани ёзиш мумкин. Бу ерда  $h$  — Планк доимийси,  $k$  — Больцман доимийси,  $c$  — ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги, (3.66), (3.70) ва (3.72) ифодаларга асосланиб,

$$R = \int_0^{\infty} f(\omega, T) d\omega = \sigma T^4 \quad (3.73)$$

ёки

$$R = \sigma T^4$$

ни ҳосил қилиш мумкин. Демак, абсолют қора жисм-нинг энергетик ёритувчанлиги абсолют температуранинг тўртинчи даражасига пропорционал экан. Бу Стефан-Больцман қонуни.  $\sigma = \frac{\pi^2 k^4}{60 c^2 h^3} = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$  кагга-

лик эса, Стефан-Больцман доимийси деб юритилади. Юқоридаги қонунга кўра, температураси  $T_1$  бўлган абсолют қора жисмнинг бирлик сиртидан вақт бирлигида  $T_2$  температурали муҳитга тарқатаётган энергия миқдори:

$$R = R_1 - R_2 = \sigma(T_1^4 - T_2^4). \quad (3.74)$$

Бошқа жисмларнинг нурланиши

$$R = A\sigma T^4 \quad (3.75)$$

ифода кўринишида ёзилади ( $A < 1$  ўлчамсиз катталиқ).

Кичик частоталар учун  $h\omega/kT \ll 1$  муносабат ўринли бўлиб, Планк формуласи (3.72) Рэлей ва Джинс ифодасига айланади:

$$f(\omega, T) = \frac{\omega^2}{4\pi^2c^2} kT. \quad (3.76)$$

Бу ифода классик статфизика назариясига кўра энергия, эркинлик даражалар бўйлаб тақсимланиши, чунончи ҳар бир электромагнит тўлқинга иккита ярим  $kT$  (электр вектори учун  $\frac{1}{2}kT$  ва магнит вектори учун  $-\frac{1}{2}kT$ ) тўғри келади дейилган принципга асосан ҳосил қилинган эди. Катта частоталар учун ( $h\omega/kT \gg 1$ ) (3.72) муносабат қуйидаги ифодага айланади:

$$f(\omega, T) = \frac{h\omega^3}{\pi^2c^2} e^{-h\omega/kT} \quad (3.77)$$

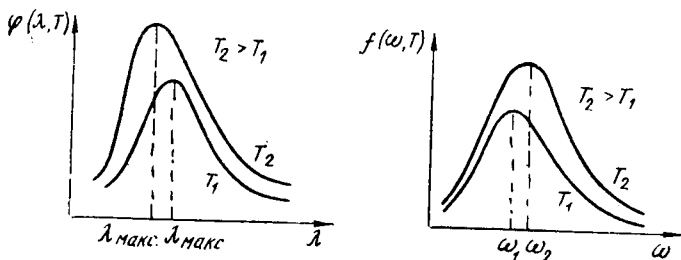
Бу ифоданинг амалдаги аҳамияти шундан иборатки, унча мураккаб бўлмаган математик алмаштиришлар қилингандан сўнг Виннинг силжиш қонуни

$$\lambda_m T = b \quad (3.78)$$

ифодасини ҳосил қилиш мумкин, яъни абсолют қора жисм нур чиқариш қобилиятининг максимумига мос келувчи  $\lambda_m$  тўлқин узунлиқнинг абсолют температурага кўпайтмаси ўзгармас катталиқ. Бу Вин доимийси ( $b = 2,898 \cdot 10^3$  м · К) деб юритилади. Бу қонун жисмнинг температураси ортиши билан нурланиш энергиясининг максимал қиймати қисқа тўлқин узунлиқлар ёки катта частоталар (150-расм) томон силжишини кўрсатади.

Иссиқлик нурланиш қонунларига асосланиб турли жисмларнинг ҳароратини ўлчаш учун оптик пирометр-





150-расм.

лар ясалади. Бундай асбобларнинг симоб термометрлар, термопараларга қараганда бирмунча афзалликлари мавжуддир — пирометрлар ёрдами билан ниҳоятда юқори температураларни ҳам, кузатувчидан жуда олисда жойлашган жисмларнинг температураларини ҳам ўлчаш мумкин.

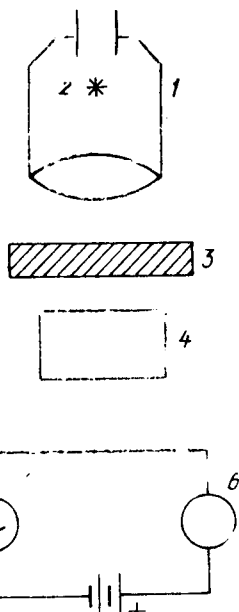
**8- лаборатория иши. Суюқликларда ёруғликнинг ютилиш коэффициентини аниқлаш**

*Ишни бажаришдан мақсад:* суюқликларда ёруғликнинг ютилиш коэффициентини тажрибада аниқлаш.

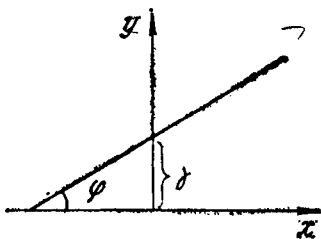
**Адабиёт:** Ушбу қўлланма, 232—233-бетлар.

Бу ишни бажаришда оптик схемаси 151-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланиш мумкин. 1—ёруғлик ўтказмайдиган мослама, 2—ёруғлик манбаи, 3—ёруғлик фильтри, 4—текширилагаётган суюқлик солинган идиш, 5—фотоэлемент, 6—фототок миқдорини аниқлаш учун қўйилган асбоб—гальванометр.

Ёруғликнинг идишдаги суюқлик томонидан ютилиши, ҳаво — суюқлик чегарасидан қайтиши, суюқлик-шиша чегарасида ва идиш тагининг юқо-



151- расм.



152- расм.

ри сиртидан қайтиши, идиш тубида ютилиши ва охирида идиш тубидаги шиша—ҳаво чегарасидан қайтиши ҳодисалари кузатилади.

Бу ҳодисалар туфайли текширилаётган суюқликдан ўтаётган ёруғлик оқими камаяди, бу камайиш (3.56) ифодага  $\gamma > 0$  бўлган қўшимча коэффициент кири-тиш билан ҳисобга олинади:

$$\Phi_a = \Phi_0 \cdot 10^{-(ma+\gamma)} \quad (3.79)$$

Ушбу ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\lg \frac{\Phi_0}{\Phi_a} = ma + \gamma,$$

бу  $y = mx + b$  кўринишдаги тўғри чизиқ тенгламаси бўлиб,  $\lg \frac{\Phi_0}{\Phi_a} = y$ ;  $a = x$ ,  $\gamma = b$  ва  $m = \lg \varphi$ —тўғри чизиқнинг бурчак коэффициенти ( $\varphi$ —тўғри чизиқнинг  $x$  ўқи билан ҳосил қилган бурчаги) (152-расм). Тажрибада ёруғлик оқимларининг нисбати фотоэлементга уланган гальванометр ёрдамида аниқланади:

$$\frac{I_0}{I_a} = \frac{c\Phi_0}{c\Phi_a} = \frac{in_0}{in_a} = \frac{n_0}{n_a} \text{ ёки } \frac{\Phi_0}{\Phi_a} = \frac{n_0}{n_a},$$

$I_a$  ва  $I_0$ —мос равишда  $a$  қалинликдаги суюқликдан ўтган ва унга тушаётган ёруғлик оқимларига мос келувчи фототок катталиклари,  $c$ —фотоэлементнинг сез-гирлиги,  $i$ —гальванометрнинг ток бўйича бўлим баҳо-си,  $n_0$  ва  $n_a$ —гальванометр стрелкасининг оғиши.

Ишни бажариш тартиби

1. Қурилма манбага уланиб суюқликка тушаётган ёруғлик оқимига (суюқлик солинган идишни қўймай туриб) мос келувчи гальванометр стрелкасининг оғиш шкаласи  $n_0$  ёзиб олинади.

2. Идишга ҳар хил  $x$  қалинликдаги суюқлик қуйиб, мосламага жойлаштирилади ва уларга мос гальванометр стрелкаси оғиши қийматлари ёзиб олинади.

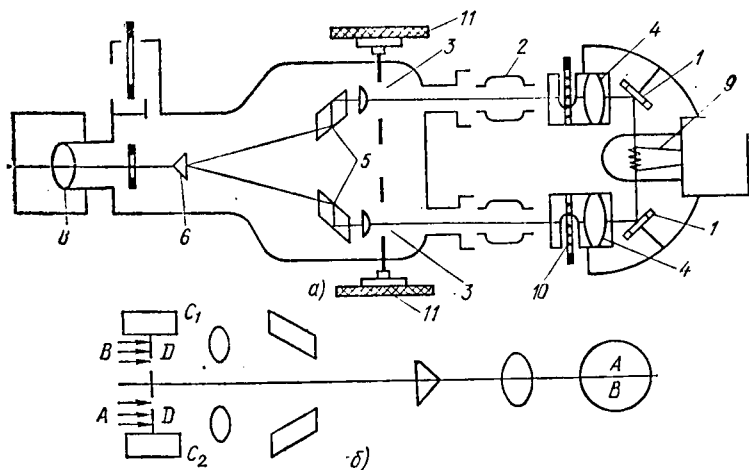
3.  $\lg \frac{n_0}{n_a} = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi_a}$  катталикларни ҳисоблаб,  $y = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi_a} = f(x)$  графиги чизилади ва ютилиш коэффициентлари ( $m_\lambda = \lg \varphi$ ) аниқланади.

9-лаборатория иши. Ёруғлик ютилиш ҳодисасини фотометр ёрдами билан ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* фотометр иши билан танишиш ва ютилиш коэффициентини тажрибада аниқлаш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 232—233-бетлар.

Фотометр асбобининг оптик схемаси 153-расмда келтирилган. 9 ёруғлик манбаидан чиққан ёруғлик дастаси 1 кўзгуларда иккига ажралиб, 4 объектив ва 10 хира шишадан ташкил топган конденсордан ўтади ва текшириляётган 2 моддадан, 3 сурилмали диафрагма, 5 оптик системалардан ўтиб, 6 бипризма орқали 8 окулярга тушади ва кузатувчи икки қисмдан иборат ёруғлик майдонини кўради. Чунки кўриш майдонини ёригаётган А ва В ёруғлик дасталари  $C_1$ ,  $C_2$  ҳисоблаш барабанлари ўрнатилган D диафрагмалар орқали ўтаётган эди. Кўриш майдонининг чап қисми ўнг диафрагмадан тушаётган ёруғлик оқими билан ёритилади. Агар дасталар йўлига бирор ютувчи молда қўйилса, диаф-



153-расм.

рагмалар орқали кўриш майдонининг иккала қисми бир хил ёритилмай қолади.

Ишни бажариш тартиби

1. Фотометр ёриткичи манбага уланиб, диафрагмаларни навбат билан ёпиб, уларнинг ёруғлик ўтказиши текширилади.

2. Барабанлардан бирининг шкаласини 100 га ўрнатиб, иккинчисини айлангириш йўли билан кўриш майдонида бир хил ёритилганлик ҳосил қилинади, тажрибани 5—10 марта такрорлаб, ўртача қиймати ёзилади ( $100 \pm 2$ ).

3. Ёруғлик дасталарининг йўлига текширилувчи пластинка, иккинчисиникига қайтишидаги йўқолишини компенсацияловчи худди шундай қалинликдаги шаффоф пластинка ўрнатилади.

4. № 1 фильрни ўрнатиб, текширилаётган пластинкага мос чап ёки ўнг томондаги барабан шкала (100) га ўрнатилади ва иккинчисини бураб, кўриш майдонида бир хил ёритилганлик ҳосил қилинади. Бир неча ўлчов ўтказиб,  $k_\lambda$  ва  $D$  ёруғлик ўтказувчанликнинг ўртача қиймати ( $D = \frac{\Phi_l}{\Phi}$ ) ёзилади.

5. Бошқа фильтрлар учун ҳам 4-пункт такрорланади.

6. Тажриба суюқлик учун ҳам кузатилади.

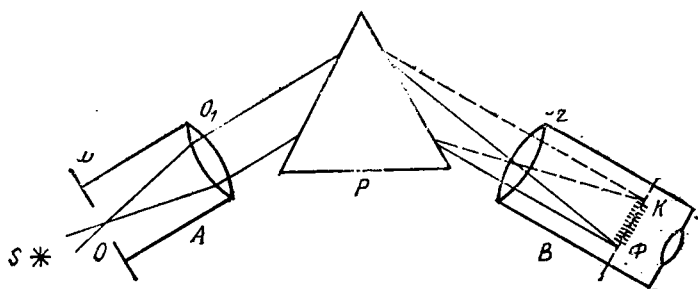
10-лаборатория иши. Спектрал аппаратлар ишини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* монохроматор иши билан танишиш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 230—232-бетлар.

Спектрларни ҳосил қилиш, уларни ўрганиш учун ишлатиладиган асбоблар спектрал аппаратлар деб аталади. Улардан бири ёруғлик дисперсиясига асосланган монохроматордир. Бу асбобнинг оптик схемаси 154-расмда келтирилган. Бунда  $S$  — ёруғлик манбаи,  $D$  — диафрагма,  $O_1$  — объектив,  $P$  — дисперсияловчи призма,  $O_2$  — окуляр.

Монохроматор шкаласини даражалаш унга мос ёруғлик тўлқин узунликларини аниқлаш демакдир. Даражалаш учун паст босимли неон ва гелий трубкаларидан фойдаланиш мумкин.



154-расм.

### Ишни бажариш тартиби

1. Чизиқли спектр берувчи ёруғлик манбаи — гелий трубкаси монохроматор жойлаштирилган рельсга ўрнатилади ва таъминлаш блокига уланади.

2. Окуляр ёрдами билан кўриш мумкин бўлган барча спектрал чизиқлар кузатилади (гелийда 11 та, неонда 9 та чизиқ).

3. Ёритгич лампаси улашиб, спектрнинг сариқ чизиғи окуляр индексига тўғриланади ва асбобнинг ишлаши кузатилади.

4. Қизил чизиқдан бинафшагача бўлган барча спектрлар окуляр индексига тўғриланиб, ҳар бири учун баърабанининг кўрсатиши  $N$  ёзиб олинади.

5. Неон трубка билан тажриба такрорланади.

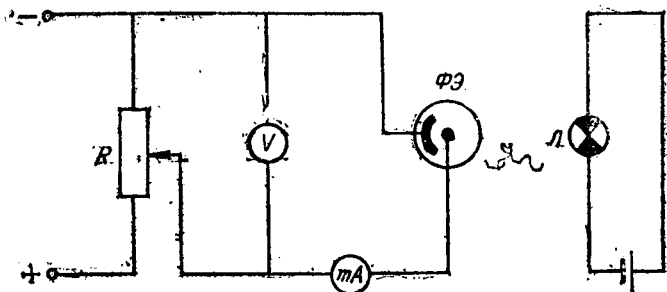
6. Жадвалдан гелий ва неон спектрлари учун мос келувчи тўлқин узунликлари ёзиб олинади ва ордината ўқига  $N$  абсцисса ўқига тўлқин узунлиги  $\lambda$  қўйилиб, даражалаш эгрилиги миллиметрли қозоғга чизилади.

7.  $\beta = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}$  ифодадан монохроматорнинг бурчак дисперсияси аниқланади.  $\delta\lambda$  ўқитувчи томонидан таклиф қилинади,  $\delta\varphi$  даражалаш графигидан фойдаланиб ҳисобланади.

11-лаборатория иши. Ташқи фотоэффект ҳодисасини ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* ФЭ—СЦВ фотоэлемент характеристикаларини аниқлаш

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 233—236-бетлар.



155- расм.

1. Схемаси 155-расмда келтирилган электр занжири тузилади.

2.  $L$  ёритгич улашиб, ФЭ—СЦВ типидagi фотоэлементдан  $l_1$  масофага жойлаштирилади, кучланишни 5 В дан (50—60 гача) ошириб, унга мос фототок қиймати гальванометрдан ёзиб олинади.

3.  $l_2, l_3, l_4, l_5$  масофалар учун 2-пункт такрорланади.

4. Жадвал тузиб, ўлчанган катталиклар ёзиб қўйилади ва миллиметрли қоғозга ҳар бир масофа учун  $i_\phi = f(u)$  графиги чизилади, улар бир-бирлари билан таққосланади (ёритгич ва фотоэлемент орасидagi масофа ўзгариши фотоэлементга тушаётган ёруғлик оқими ўзгаришига пропорционал).

5.  $\gamma = \frac{iI^2}{IS}$  ифодадан фотоэлементнинг интеграл сезгирлиги аниқланади,  $i$  — фототок,  $l$  — масофа,  $I$  — манбанинг ёруғлик кучи,  $S$  — катод сирти.  $I$  ва  $S$  нинг қиймати лаборатория столида келтирилган.

6. Кучланишни ўзгартирмаган ҳолда масофани 5 см дан ўзгартириб, уларга мос бўлган фототоклар ўлчанади. Фототокнинг масофага боғлиқ графиги  $i_\phi = f(l)$  чизилади. Масофа ортиши билан ёруғлик интенсивлиги камайиши кузатилади.

12-лаборатория иши. Планк доимийсини аниқлаш

*Ишни бажаришдан мақсад:* ташқи фотоэффект ҳодисасидан фойдаланиб Планк доимийсини аниқлаш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 233—236-бетлар.

1. Схемаси 155-расмда келтирилган электр занжири йиғилади.

2. Ёруғлик манбаи уланмасдан  $u = 0$  бўлган кучланиш текширилади.

3. Ёруғлик манбаи улашиб,  $R$  потенциометр ёрдами билан микроамперметр шкаласи 60—70 бўлимга оғдирилади.

4. Турли частотали ёруғликлар учун фотоэлементнинг вольт-ампер характеристикаси (148-г рasm,  $AB$  қисми) олинади. Ёруғлик частотаси филтрлар ёрдами билан ўзгартирилади (бинафша,  $\lambda_{\phi} = 0,42$  мкм; яшил,  $\lambda_{я} = 0,48$  мкм; зарғалдоқ  $\lambda_{з} = 0,62$  мкм ва частотаси  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  нфодадан аниқланади).

5. Вольт-ампер характеристиканинг тўғри чизиқли қисмидан фойдаланиб, ҳар бир частота учун  $u_{тўх}$  аниқланади.

6.  $u_{тўх} = f(\nu)$  эгрилик чизилади,  $\varphi$  бурчак топилади,  $u_{тўх} = \frac{h}{e} \nu - \frac{A}{e}$  боғланишга асосан  $\lg \varphi = \frac{h}{\nu}$  муносабатдан  $h$  аниқланади.

13- лаборатория иши. Вентилли фотоэлемент ишини ўрганиш

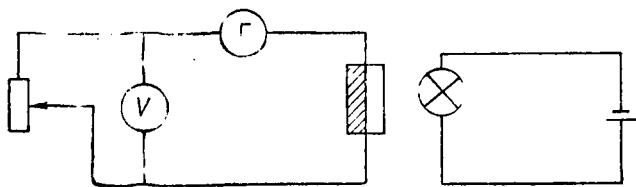
*Ишни бажаришдан мақсад:* вентилли фотоэффект ҳодисаси билан танишиш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма, 151—153, 236—237- бетлар.

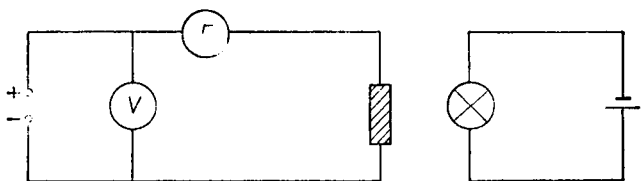
1. Схемаси 156- рasmда келтирилган тажриба қурилмаси йиғилади.

2. Фотоэлемент ёритилганлигининг турли қийматлари учун ток кучи ва кучланиш қийматлари асбоблардан ёзиб олинади ва улар орасидаги боғланиш графиги миллиметрли қоғозга чизилади.

3. График изоҳланади.



156- рasm.



157- расм.

14- лаборатория иши. Фотоқаршилиқларнинг ёруғлик характеристикалари ни ўрганиш

*Ишни бажаришдан мақсад:* фотоқаршилиқлар характеристикаларини ўрганиш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 236–237-бетлар

1. Схемаси 157- расмда келтирилган электр занжири тузилади.

2. Фотоқаршилиқ ёритилмаган ҳолда ток кучи ва кучланиш қийматлари ёзиб олинади ва омик қаршилиқ ҳисобланади.

3.  $L$  ёруғлик манбаини фотоқаршилиқдан  $l_1$  масофага жойлаштириб,  $I_1$  ток кучи қиймати ёзиб олинади.

4.  $l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$  масофалар учун  $I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$  ток кучи қийматлари асбобдан ёзиб олинади ва  $I = f(l)$  боғланиш графиги чизилади.

5. Турлича ёритилган фотоқаршилиқ қиймати  $R = \frac{u}{I}$  ифодадан аниқланади.

15- лаборатория иши. Стефан-Больцман доимийсини аниқлаш

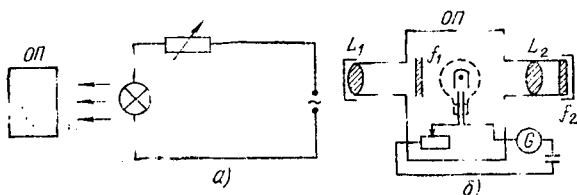
*Ишни бажаришдан мақсад:* Стефан-Больцман доимийсини аниқлаш.

*Адабиёт:* Ушбу қўлланма, 237–241-бетлар.

1. Схемаси 158 а- расмда келтирилган қурилма йиғилади ва ток манбаи уланиб, токнинг минимал қиймати аниқланади, ток кучи ва қаршилиқ қийматлари ёзиб олинади.

2. Минимал ток кучи  $I$  га мос келувчи лампа толаси температураси оптик пирометр (158 б- расм) ёрдами билан аниқланади.





158- расм.

3. Ток кучини ошира бориб, унга мос  $R$  ва  $T$  аниқланади, лампа толасининг бирлик юзига тўғри келувчи электр қуввати ифодаси (3.74) муносабат билан солиштириб,  $\sigma$  ни аниқлаш формуласи 
$$\sigma = \frac{I^2 R_0}{A \cdot S(T_1^4 - T_2^4)}$$
 ҳосил қилинади.  $A$  ва  $S$  катталиклар лаборатория столида ёзиб қўйилган.

4. Ўлчанган ва ҳисобланган катталиклар учун жадвал тузилади ва у тўлдирилади.

#### Контрол саволлар

1. Ёруғликнинг моддалар билан таъсирлашини қандай ҳодисаларда кузатилиши мумкин?
2. Ёруғликнинг ютилиш ва сочилиш ҳодисаларини айтиб беринг.
3. Ёруғликнинг ютилиш коэффициенти қандай аниқланади?
4. Фотометрнинг ишлаш принципини тушунтиринг.
5. Ёруғликнинг квант табиати қандай ҳодисаларда намоён бўлади?
6. Фотон нима? Фотоннинг энергияси, импульси ва массаси нимага тен?
7. Иссиқлик нурланиши нима? Абсолют қора жисм нурланиш қонунигагарини айтинг.
8. Пирометр қандай асбоб? Унинг ишлаш принципини тушунтиринг.
9. Фотоэффект ҳодисаси нима? Ташқи ва ички фотоэффект ҳодисаларининг кузатилиши ва қўлланишини айтинг.
10. Ташқи фотоэффект қонуларини айтинг.
11. Фотоэффект ҳодисаларини қандай тажрибаларда кузатиш мумкин?
12. Фотоэлементлар ва уларнинг қўлланиш соҳаларини айтинг.

#### АТОМ ФИЗИКАСИ

*Назарий маълумотлар.* Атом мусбат зарядли ядро ва унинг атрофида ҳаракатланувчи электронлардан иборат. Электронлар ҳаракати квант механикаси қону-

ниятлари асосида тушунтирилади. Электрон массаси водород атоми массасидан 1837 марта кичик. Унинг электр заряди жуда кичик. Атомнинг ички энергияси электронларнинг ядро майдонидаги ҳаракати ҳамда уларнинг ўзаро таъсири билан вужудга келадиган потенциал ва кинетик энергиялари йиғиндисидан иборат.

Атом тузилиши ва унинг хусусиятлари нурланиш, фотоэффект, радиоактивлик ҳодисалари ва уларни тажрибада кузатиш ёрдамида ўрганилади.

Атомлар ўзига хос частотали электромагнит тўлқинларни чиқариши (нурланиши) ва ютиши мумкин. Бир-бири билан ўзаро таъсирлашмайдиган атомлар чиқарган нурланиш алоҳида-алоҳида спектрал чизиқлардан иборат. Спектрларни атомар ҳолатидаги газ ва буғ атомлари вужудга келтиради. Бу спектрлар спектрал сериялар деб аталувчи гуруҳларга бўлинади ва улар маълум бир қонунят асосида тушунтирилади. Водород атоми энг содда спектрал чизиқларга эга бўлгани учун, уни ўрганиш ҳам қулай. Водород атоми спектрал серияларидаги чизиқлар тўлқин узунлиги Бальмер формуласи билан ифодаланувчи қуйидаги қонуниятга бўйсунди:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (3.80)$$

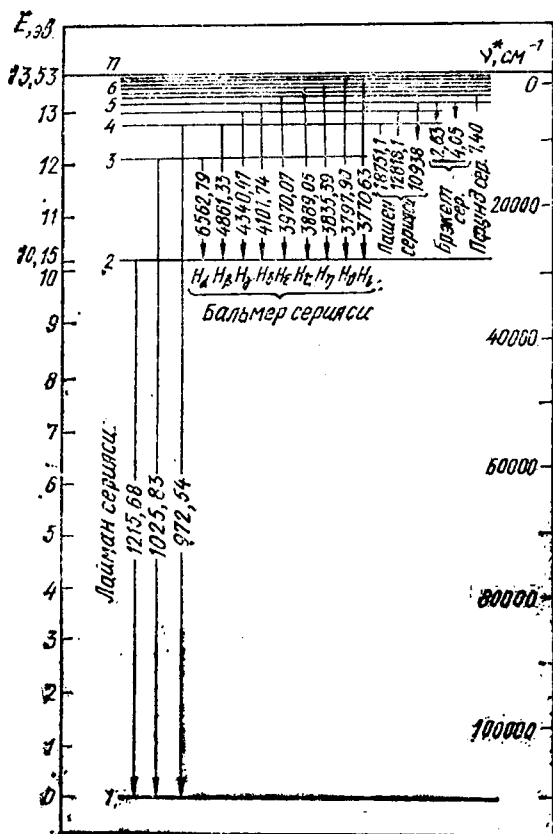
$$\nu = cR \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (3.80 \text{ а})$$

бу ерда  $\lambda$ —спектрал чизиқларнинг тўлқин узунлиги,  $\nu$ —спектрал чизиқларнинг частотаси,  $R$ —Ридберг доимийси,  $n$ —атом нурлангандан кейинги электроннинг энергетик сатҳи,  $m$ —нурланишдан аввалги электроннинг энергетик сатҳи;  $c$ —ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.

Водород спектрининг ҳар бир сериясига мос  $n$  нинг қийматлари мавжуд бўлиб  $m$ ,  $n + 1$  дан  $\infty$  гача ўзгаради. Бальмер формуласига асосан водород атоми нурланиш спектрини қуйидаги серияларга бўлиш мумкин (1:5-расм).

Лайман серияси спектрнинг ультрабинафша қисми ( $n = 1$ ):

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$



159- расм.

Бальмер серияси спектрнинг кўринувчи қисми ( $n=2$ ):

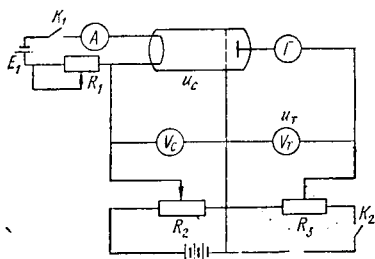
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Пашен серияси спектрнинг инфрақизил қисми ( $n=3$ ):

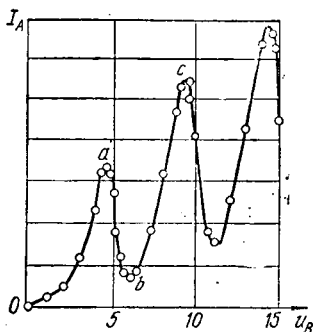
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Брэкетт серияси спектрнинг инфрақизил қисми ( $n=4$ ):

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$



160- расм.



161- расм.

Пфунд серияси спектр-  
нинг инфрақизил қисми  
( $n=5$ ):

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Атомларнинг нурла-  
ниш (ютиш) спектрла-  
рининг бундай чизиқли  
табиати атом исталган  
миқдордаги энергияни  
ютмай, балки аниқ квант-  
ланган қийматлардаги  
энергияни чиқариши ёки  
ютишини билдиради. Де-  
мак, атом дискрет энер-  
гетик ҳолатлардагина бў-  
ла олади.

Атомларнинг дискрет  
энергетик ҳолатларда бў-  
ла олишини уларнинг  
энергияси маълум қий-  
матларга ортирилганда,  
бу энергияга мос часто-  
тада нурлана олиши ҳам  
тасдиқлайди. Бу ҳодиса  
Франк ва Герцнинг клас-

сик тажрибасида яхши тасдиқланди. (160- расм).  
Франк ва Герц тажрибасининг моҳияти қуйидагича:  
текшириляётган газ атом ва молекулалари паст босим-  
да энергиялари маълум бўлган электронлар дастаси  
билан бомбардимон қилинади. Агар электронлар энер-  
гияси атомнинг бир энергетик ҳолатдан иккинчисига  
ўтиш учун зарур бўлган энергиядан кичик бўлса, у  
ҳолда электрон ўз энергиясини йўқотмайди, акс ҳолда  
электрон энергиясининг бир қисми атомни уйғонган  
ҳолатга ўтиши учун сарфланади. Электронларнинг  
бундай энергияларига мос келувчи потенциални кў-  
пинча критик потенциал деб юритилади. Шундай қи-  
либ критик потенциал аниқланса, бу атомнинг энерге-  
тик ҳолатларига мос келувчи уйғотувчи энергия бўла-  
ди. Франк ва Герц тўхтатувчи потенциал методида  
фойдаланиб, критик потенциални аниқлади.

Босими 1 мм сим уст бўлган симоб буғлари билан:

тўлдирилган уч электродли электрон лампа катоди ва тўри орасида электронлар тезлаштирувчи потенциаллар фарқи, тўр - анод орасида тўхтатувчи потенциаллар фарқи ҳосил қилинади. Катод ва тўр орасидаги потенциаллар фарқи  $U_T$  аста-секин орттирила Сориши билан анод токи ҳам орға боради, электрон ва атом орасидаги тўқнашиш эластик бўлади.  $U_T$  нинг бирор қийматида атом ва электроннинг тўқнашуви эластик бўлмай, электрон энергиясини атомга беради ва анод токи кескин камаяди (161- расм). Бу энергия ионизация энергияси ҳам деб юритилади.

15-лаборатория ишн. Водород атоми спектрини ўрганиш.

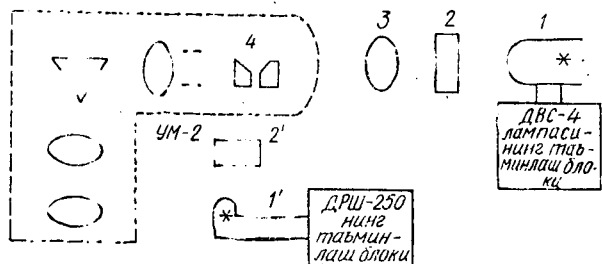
*Ишни бажаришдан мақсад:* водород спектри қонунятларини кузатиш.

*Адабийёт:* [1] VIII боб, 1, 2-§; [2] 12-§; Ушбу қўлланмада, 249—252-бетлар.

Бу лаборатория ишини бажариш учун оптик схемаси 162-расмда келтирилган қурилмадан фойдаланилади. Бунда 1—ДВС—4 водород лампа; 1'—ДРШ—250—симоб лампа, 2, 2' муҳофазаловчи шиша пластинкалар, 3—конденсор, 4—солиштириш призмаси, УМ—2—спектроскопнинг оптик схемаси.

Ишни бажариш тартиби.

1. УМ—2 спектроскоп шкаласи симоб лампаси ёрдамида даражаланади ва миллиметрли қоғозга даражалаш эгрилиги чизилади. Бунда ордината ўқига спектрал чизиқларининг тўлқин узунликлари, абсцисса ўқи-



162- расм.

га спектроскоп барабанига мос келувчи шкалалар қўйилади.

2. Водород атом спектрининг Бальмер сериясига мос келувчи  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  лар учун барабан шкаласи ва даражалаш эгрилигидан тўлқин узунликлари аниқланади.  $H_\alpha$ —юқори интенсивликка эга бўлган қизил чизиқ,  $H_\beta$ — яшил ҳаворанг чизиқ,  $H_\gamma$ — бинафша кўк чизиқ:  $H_\alpha$  ва  $H_\beta$  орасида нисбаган кучсиз бўлган бир қанча қизил-сарик ва яшил молекуляр спектрга мос келувчи чизиқлар жойлашади.

3. Водород атомининг ҳар бир спектр чизиғи учун (3.80) ёки (3.80 а) ифодалардан Ридберг доимийси аниқланади.

#### 16- лаборатория иши. Франк ва Гарц тажрибаси

*Ишни бажаришдан мақсад:* Бор постулатларини кузатиш, критик потенциал қийматини аниқлаш.

**Адабиёт:** Ушбу қўлланма, 252—253-бетлар, [2], 15-§.

1. Схемаси 160- расмда келтирилган электр занжири тузилади.

2. Симоб буғлари тўлдирилган уч электродли лампа тўйинтирилган симоб буғларининг босимини ўзгартириш учун электр печкага киритилади ва  $120^\circ\text{C}$  гача қиздирилади.

3.  $K_1$  калит улашиб, катодни чўғлантирувчи ток лампада кўрсатилган қийматига етказилади.

4.  $R_3$  потенциомерт ёрдамида тўхтатувчи потенциаллар фарқи (тахминан 0,5 В) ўрнатилади.

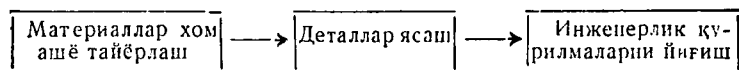
5. Катод-тўр занжири улашиб: тўхтатувчи потенциаллар фарқи ( $U_T$ ) нинг ўзгармас қийматлари учун анод токининг тезлантирувчи потенциаллар ( $U_C$ ) фарқига боғлиқ бўлган қийматлари ўлчанади.

6.  $I_a = f(U_C)$  боғланиш эгрилиги чизилади (161- расм) ва критик потенциал қийматлари аниқланади.

## КАСБИЙ ВА ИЖОДИЙ ХАРАКТЕРДАГИ ЛАБОРАТОРИЯ ИШЛАРИ

### 1-§. Касбий ишлар ҳақида тушунча

Инженер-техник ходимларнинг ҳал қилишлари лозим бўлган вазифалари қуйидагилар бўлиши мумкин:



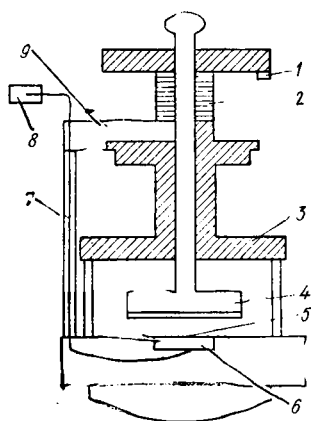
Қурувчи-инженерларнинг вазифаси қурилиш материалларини танлаш, қурилиш элементларини тайёрлаш, бино, кўприк, йўл каби ишшоотларни қуришдан иборат. Автоматика инженерлари коллективлари вазифаси, материаллар тайёрлаш (ўтказгич, ярим ўтказгич, диэлектрик), автоматика элементлари ясаш (диодлар, транзисторлар, микросхемалар) ва бу элементларни махсус қурилмалар тарзида йиғишдан иборат.

Юқорида келтирилган схеманинг ҳар бир қисми бир неча масалаларнинг ҳал қилинишини ўз ичига олади: лойиҳалар тайёрлаш, танланган материаллар сифатини текшириш, уларнинг ишлаш жараёнига зарур бўлган хусусиятларини ўрганиш ва тегишли параметрларини ўлчаш ва бошқалар. Бу масалаларни ҳал қилишда бир неча усуллар қўлланилади. Умумфизика қонунлари асосида ҳал қилинадиган, мураккаб бўлмаган эксперименталь масалаларни касбий характердаги лаборатория ишлар деб аташ мумкин. Қуйида шундай ишлардан намуналар келтирилган.

### 2-§. Касбий характердаги ишлар<sup>1</sup>

1-лаборатория иши. Ультратовуш тўлқин узунлигини ўлчаш усули билан суюқликларнинг эластиклик коэффициентини аниқлаш

<sup>1</sup> Ушбу қўлланманинг I бобидаги № 11, 12, 13; II бобидаги 7, 10, 11, 12, 13; III бобидаги № 3, 7, 8-ишларни касбий характердаги ишлар қаторига киригиш мумкин.



163- расм.

Ультратовушнинг тарқалиш тезлиги:

$$v = \sqrt{1/\beta \cdot \rho}, \quad (4.1)$$

бу ерда  $\rho$ —муҳитнинг зичлиги,  $\beta$ —эластиклик коэффициенти. Ультратовуш тезлиги тўлқин узунлиги билан қуйидагича боғланган:

$$\omega = \frac{2\pi v}{\lambda}, \quad (4.2)$$

$\omega$ —ультратовуш частотаси. 163- расмда суюқликларда ультратовушнинг тўлқин узунлигини аниқлаш имконини берувчи интерферометр схемаси тасвирланган. У товуш генератори, интерферометр боши ва термостатдан иборат. Товуш генераторидан келаётган сигнал, 7 трукба ичидан ўтувчи сим орқали электродга уланган 6 кварц пластинкага берилади. Иккинчи электрод, суюқлик солинадиган камерада ажратиб турувчи 5 фольга орқали корпусга уланади. Бу камера 2 микрометрик винт ёрдамида силжий оладиган товуш қайтаргич жойлаштирилади. Кварц пластинкада уйғотилган ультра товуш суюқликдан ўтиб, 4 пластинкадан қайтади, кварц пластинкадан  $n \cdot \frac{\lambda}{2}$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) масофада интерференцион максимум кузатилади, уни қайтаргичга уланган асбоб ёрдамида кузатиш мумкин.



Ишни бажариш тартиби

1. 8 винт бўшатилиб, ўтказгич узилади, 7 трубкадаги 9 тутқични олиб интерферометр камерасига текшириляётган суюқлик қўйилади.

2. Лаборатория столида келтирилган инструкциядан фойдаланиб генератор уланади.

3. Товуш қайтаргич силжитилиб унга уланган асбоб ёрдами билан интерференцион максимумга мос келувчи нуқталар ёзиб олинади.

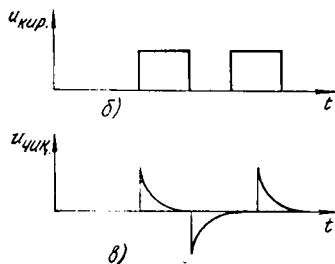
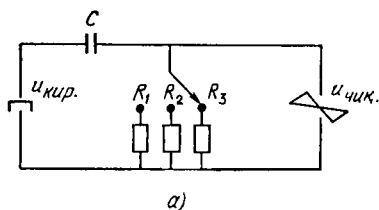
4.  $\lambda = \frac{l}{n/2} = \frac{2l}{n}$  ифодадан тўлқин узунлиги ва

$$\beta = \frac{4\pi^2}{\omega^2 \lambda^2 \rho} \quad (4.3)$$

ифодадан муҳитнинг эластиклик коэффиценти аниқланади.  $n$ —максимумлар тартиби,  $\rho$ —муҳитнинг зичлиги бўлиб, жадвалдан олинади.

2-лаборатория иши. Дифференциалловчи ва интегралловчи қурилмалар иши билан танишиш

Математик амаллар бажарувчи қурилмаларнинг асосий қисмларини дифференциалловчи ва интегралловчи занжирлар ташкил қилади. Бундай занжирларнинг ишлаш принциплари билан қисқача танишиб чиқамиз. Электр занжиридан чиқувчи кучланиш унга кирувчи кучланишнинг вақт бўйича олинган ҳосиласига пропорционал бўлса, бундай занжирлар дифференциалловчи занжирлар дейилади. Энг содда дифференциалловчи занжирнинг схемаси 164-а расмда, унинг таъминловчи генератор сигнали 164-б расмда келтирилган. Таъминловчи кучланиш омик қаршилиқда ва конденсаторда потенциаллар фарқи ҳосил қилади:



164- расм.

$$U_{\text{кир.}} = U_R + U_c = IR + \frac{dq}{C}. \quad (4.4)$$

Омик қаршиликдан олинаётган чиқувчи сигнал (164-в расм)

$$U_{\text{чик.}} = IR \quad (4.5)$$

ифода билан аниқланади. (4.4) ифодадан:  $dq = Idt$ ; бундан:

$$q = \int Idt. \quad (4.6)$$

(4.5); (4.6) ифодаларни (4.4) га қўйиб, дифференциалловчи занжирнинг дифференциал тенгламасини ҳосил қиламиз:

$$U_{\text{кир.}} = U_{\text{чик.}} + \frac{1}{C} \int Idt. \quad (4.7)$$

Бу тенгламани вақт бўйича дифференциаллаб,

$$\frac{dU_{\text{кир.}}}{dt} = \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt} + \frac{I}{C} + \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt} + \frac{U_{\text{чик.}}}{RC} \quad (4.8)$$

муносабат ҳосил қилинади. Агар  $\frac{dU_{\text{чик.}}}{dt} \gg \frac{U_{\text{чик.}}}{RC}$  бўлса, у ҳолда  $R_{\text{чик.}} = R_{\text{кир.}} + R_0$  бўлади ва кирувчи сигнал  $U_0$

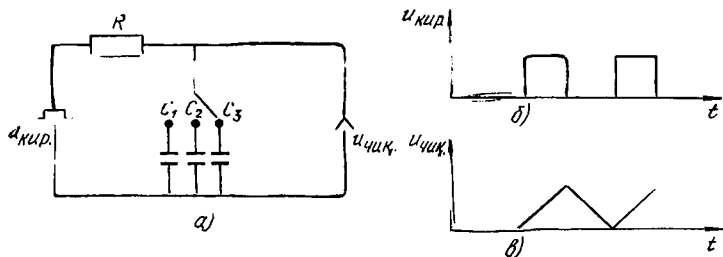
аниқлик билан такрорланади.  $\frac{dU_{\text{чик.}}}{dt} \ll \frac{U_{\text{чик.}}}{RC}$  бўлса,

$U_{\text{чик.}} = RC \frac{dU_{\text{кир.}}}{dt}$  муносабат ўринли бўлади ва занжир дифференциалловчи занжир бўлиб хизмат қилади.

Дифференциалловчи занжирдан чиқаётган сигнал шаклини кўриб чиқамиз:  $t_1$  вақтда мусбат импульс кираётган бўлсин,  $C$  конденсатор  $R$  қаршилик орқали зарядланади ва қаршиликдаги кучланиш

$$U_{\text{чик.}} = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4.9)$$

қонуният билан ўзгаради, ўткир учли импульс ҳосил бўлади.  $t_2 = t_1 + \Delta t$  вақтда импульс минимумга эришиб, киришдаги кучланиш қиймагидан сакраб камаяди, конденсатор разрядлана бошлайди, чиқишда ўткир учли тесқари йўналган импульс ҳосил бўлади. Шундай қилиб, тўғри бурчакли импульс иккита экспоненциал импульсга айланади.



165- расм.

Электр занжиридан чиқувчи кучланиш кирувчи кучланиш интегралига пропорционал бўлса, бундай электр занжирлар интегралловчи занжирлар (Из) деб аталади. Энг содда интегралловчи занжир схемаси 165-а расмда келтирилган. Бу занжирдаги таъминловчи кучланиш

$$U_{\text{кир.}} = U_{\text{чик.}} + IR. \quad (4.10)$$

$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt}$  эканлигини ҳисобга олсак,

$$U_{\text{кир.}} = U_{\text{чик.}} + RC \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt} \quad (4.11)$$

ифода ҳосил бўлади. Агар  $U_{\text{чик.}} \gg RC \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt}$  бўлса, у ҳолда  $U_{\text{чик.}} \approx U_{\text{кир.}}$  бўлиб кирувчи сигнал ўзгармайди.

$U_{\text{чик.}} \ll RC \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt}$  тенгсизлик бажарилганда  $U_{\text{кир.}} = RC \frac{dU_{\text{чик.}}}{dt}$ ,  $dU_{\text{чик.}} = \frac{1}{RC} U_{\text{кир.}} dt$  ёки  $\int dU_{\text{чик.}} \approx U_{\text{чик.}} \approx \frac{1}{RC} \int U_{\text{кир.}} dt$  бўлади ва занжир интегралловчи ҳисобланади.

Интегралловчи занжирдаги кирувчи ва чиқувчи сигналларнинг вақтга боғланиш графиги 165-б, в расмда келтирилган.

Дифференциалловчи занжир ишини ўрганиш учун схемаси 164-расмда келтирилган занжир йиғилади ва қаршилиқнинг турли қийматлари учун ҳосил бўлган сигналлар, занжирнинг чиқишидаги сигнал шакллари кузатилади.

### 3 лаборатория иши. Ёруғлик диапазонидаги сигнал-ларни толали ёруғлик ўтказгичлари ёрдамида узатиш

Энг содда толали ёруғлик ўтказгичлари ўзак ва қобигидан иборат бўлиб, ҳар хил геометрик шаклларга эга. Унинг ўзаги ёруғлик диапазонидаги электромагнит тўлқинларни узатишга ва қобиги ёруғликнинг тўла ички қайтишини таъминлаш билан бир қаторда ташқи муҳит таъсиридан муҳофаза қилишга мўлжалланган. Қобигининг синдириш кўрсаткичи ўзакниқидан кичик.

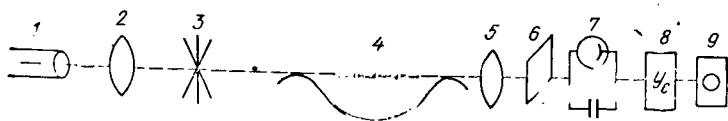
Ёруғлик ўтказгичлари кўндаланг кесими юзининг ўлчамларига кўра икки гурпуага бўлинади: 1) кўндаланг кесим ўлчамлари ёруғлик тўлқин узунлигидан анчагина катта бўлган ўтказгичлар кўп моддали деб аталади, бундай ёруғлик ўтказгичларидан ўтувчи сигналлар геометрик оптика қонунларига асосланади. 2) кўндаланг кесим ўлчамлари ёруғлик тўлқин узунлиги билан бир тартибда бўлган ёруғлик ўтказгичлар, булар бир моддали деб аталиб, уларнинг ишлаш принципи ёруғликнинг электромагнит назариясига асосланади.

Ушбу лаборатория ишида биринчи гурпуага кирувчи ёруғлик ўтказгичлари билан танишамиз. Бундай ўтказгичлардан ўтган ёруғлик интенсивлиги, уларнинг узунлигига амалда боғлиқ бўлмайди, фақат уларнинг диаметрларига ва эгрилик радиусларига боғлиқ бўлади. Бу хусусиятларини ўрганишга мўлжалланган оптик қурилманинг схемасм 166-расмда келтирилган. Бунда 1—ЛГ-75 лазер, 2. ва 5—қисқа фокуси йиғувчи линза, 3—модулятор, 4—толали ёруғлик ўтказгич, 6—экран, 7—фотозэлемент, 8—кучайтиргич, 9—осциллограф.

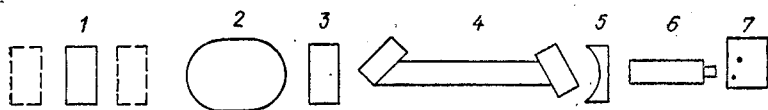
1. Лазернинг таъминлаш блоки ва осциллограф манбага уланади.

2. Маълум диаметрли ёруғлик ўтказгичи ўрнатилиб, ундан ўтувчи сигнал интенсивлиги белгиланади.

3. Ёруғлик ўтказгичининг эгрилик радиусининг бир



166- расм.

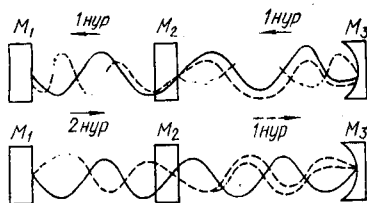


167- расм.

неча қийматлари учун ундан ўтувчи сигнал интенсивликлари аниқланади.

4. Интенсивликнинг эгрилик радиусига боғлиқлик графиги чизилди.

5. Бошқа диаметрли ёруғлик ўтказгичлари учун ҳам 3 ва 4-пункт такрорланади.

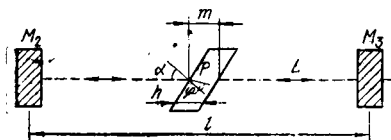


168- расм.

4-лаборатория и ш. Ҳаракатланаётган моддалар синдириш кўрсаткичини лазер-интерферометр ёрдамида аниқлаш

Лазер-интерферометрнинг ишлаш принципи 167-расмда тасвирланган схемага асосланган. Бу ерда 1, 3, 5—кўзгулар, 2—ўрганилаётган модда, 4—лазер труба-си, 6—фото кўпайтиргич, 7—осциллографлар.

Интерференцион максимум ва минимумлар ҳосил бўлиш шартларини кўриб чиқамиз (168-расм). 1 нур трубкада уйғотилган бўлиб, унинг бир қисми  $M_3$  кўзгудан қайтади ва бир қисми эса  $M_1$  кўзгуга бориб (2 нур) қайтади ва  $M_2$  дан қайтган нур билан қўшилиб интерференцион манзара ҳосил қилади (бу манзара  $M_1$  дан кўринади).  $M_3$  кўзгу 1 ва 2 нурларнинг йўл фарқлари  $\Delta = k \frac{\lambda_0}{2}$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) шартни қаноатлантирадиган қилиб жойлаштирилса,  $M_1$  кўзгудан чиқувчи нур интенсивлиги максимум агар  $\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}$  шартни қаноатлантирса, минимум, бўлади.  $M_2$  ва  $M_3$  кўзгу орасига бирор модда—плазма жойлаштирилса, унинг синдириш кўрсаткичи туфайли йўл фарқи ўзгаради ва интерференцион чизиқлар сони



169- расм.

$$N = \frac{2\Delta n L}{\lambda} \quad (4.12)$$

қийматга ўзгаради,  $L$  — модда узунлиги.

Ушбу лаборатория ишида  $M_3$  кўзгу кичик громкоговоритель диффузорига ёпиштирилган бўлиб, уни силжитиш қу-

лай. Кўзгунинг силжиш масофаси

$$2\Delta x = N \frac{\lambda}{2}, \quad (4.13)$$

$$\Delta x = N \frac{\lambda}{2 \cdot 2}.$$

$N$  интерференцион йўллар сони. Ёруғлик тўлқини 2 ўрганилаётган моддани икки марта ўтади, бунда ҳосил бўладиган фаза фарқи:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\lambda_0} (n - 1)L.$$

$(n-1)L$  ни ўзгартириш билан фаза фарқининг турли қийматларини ҳосил қилиш мумкин. Айлана оладиган  $P$  пластинка  $M_3$  ва  $M_2$  кўзгулар орасига жойлаштирилганда (169- расм), қуйидаги йўл фарқи ҳосил бўлади:

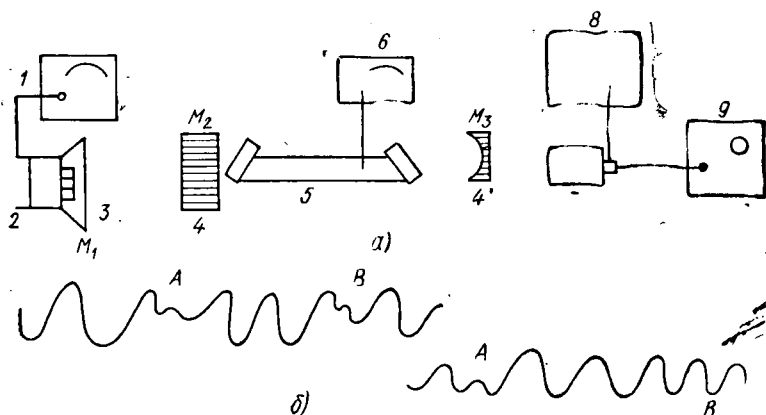
$$H = l - m + pn = l - \frac{h \cos(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} + \frac{nh}{\cos \varphi}. \quad (4.14)$$

169- расмдаги схемага асосланиб, баъзи математик амаллар ёрдамида шиша пластинка синдириш кўрсаткичинини аниқлаш имконини берувчи қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$n = \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{1}{4} \cdot \frac{\sin^2 2\alpha}{\left(\frac{1}{n} \cdot \frac{v \lambda_0}{v_m \cdot 4\pi} - \sin \alpha\right)}}. \quad (4.15)$$

Тажриба қурилмасининг блок схемаси 170-а расмда келтирилган. Бу ерда 1—товуш генератори, 2—ҳаракатланувчи кўзгу, 3, 4, 4'—кўзгулар, 5—ЛГ—75—лазер трубаси, 6—лазер таъминот блоки, 8—ФЭУ—таъминот блоки, 7—фото кўпайтиргич, 9—осциллограф.

Лазер ва осциллографни улаш тартиби лаборатория хонасида келтирилган. ФЭУ га 600—650 В, товуш ге-



170- расм.

нераторига 200—300 Гц частотага эга бўлган 0,5—0,7 мВ кучланиш берилади.

1. Осциллограф экранда амплитуда модуляциясига мос (170-б расм) шакл ҳосил бўлади. Ҳаракатланувчи кўзгу (диффузор) га берилган кучланишни ўзгартириб, интерференцион йўллар силжишини кузатиш мумкин.

3. Экспозиция вақти  $1/20$  с, диафрагмаси 2,8—4,0 бўлган фотоаппаратдан фойдаланиб, осциллограф экранда ҳосил бўлган манзаранинг расми олинади.

4. Очилтирилган фотопластинкадаги интерференцион йўллар компаратор ёрдамида ҳисобланади ва  $M_3$  кўзгунинг тебраниш амплитудаси қуйидаги ифодадан фойдаланиб аниқланади:

$$\Delta x = A_0 = N \frac{\lambda_0}{4}. \quad (4.16)$$

5.  $M_3$  кўзгуни қўзғалмас қилиб ўрнатиб  $M_2$  ва  $M_3$  кўзгу орасига, ўқига яси параллел пластинка ўрнатилган моторчали рейтер жойлаштирилади.

6. Осциллограммадан қуйидагилар ҳисобланади:  
 а) синусоида частотаси тахминан бир хил бўлган вазиятда  $B$  нуқта топилади,  $A$  нуқта бурчакнинг кичик қийматларига мос келадиган частота билан тебраниб, у кескин ўзгаради.

б)  $A$  ва  $B$  нуқта орасидаги  $s$  масофани ўлчаб,  $t = s \cdot \tau_p$  вақт оралиғидаги пластинканинг бурилиш бурчаги  $\alpha = 2\pi \nu_m \tau$  аниқланади.

в)  $B$  нуқта атрофида 1 см оралиқда ётувчи интерференцион йўллар ҳисобланади ва фаза модуляция частотаси аниқланади:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{\tau_p} \quad (4.17)$$

г) (4.15) ифодадан шиша пластинканинг синдириш кўрсаткичи аниқланади,  $\lambda$ ,  $h$ ,  $\nu_m$  катталиклар лаборатория столида ёзилган бўлади.

5- лаборатория иши. Голограмма ҳосил қилиш ва униклаш

Ёруғликнинг бирор бир предмет ҳақидаги маълумотларни йиға олиши, узатиши каби хусусиятлари бизга маълум. Бироқ кўз, фотоэмульсия, фотометр ва бошқа шу каби асбоблар ёруғлик интенсифлигининг ўртача қийматини сеза олади. Ёруғлик тўлқин фазаси ва амплитудасининг фазодаги оний вазиятини юқоридаги асбоблар қайд қила олмайди. Голография усули ёруғлик тўлқин фазаси ва амплитудасининг оний қийматларини қайд қилишга асосланган усулдир.

Ўрганилаётган предметдан қайтган, тўғрироғи сочилган ва у билан когерент бўлган таянч тўлқинларнинг ўзаро учрашиб интерференцияланиш натижасида ҳосил бўлган манзарани олиш голография дейилади. Интерференцион манзаранинг контрастлиги предметдан сочилган нур интенсифлиги, интерференцион йўллар шакли ва зичлиги, тўлқин фазаларининг ўзгариши билан белгиланади.

Ҳосил қилинган голография фотоматериаллар, термопластинкалар, суюқ кристаллар, фотохром кристаллар, ярим ўтказгич шишалар, фоторезисторлар каби муҳитлардан фойдаланиб ёзилади. Голограмма ёзиладиган муҳитларни қайд қилиш усулларига кўра қуйидаги турларга бўлиш мумкин: термопластик плёнкалар, фоторезисторлар ва сегнетоэлектрик кристаллар, бир неча марта ишлатишга мўлжалланган янги муҳитлар, электрооптик кристаллар, фототермикпластинкалар, суюқ кристаллар, магнито оптик материаллар, халькогенид ярим ўтказгичлар. Ҳозирги кунда рақамли голографияни яратиш ва такомиллаштириш масалалари турибди.

Голографиянинг амалда қўлланиш имкониятлари шу вақтгача ишлаб турган оптик асбобларининг қўлланиш чегараларини мислсиз даражада кенгайтиради. Хусу-



сан, жисмлар деформациясини ўрганишда, газ оқимлари структурасини аниқлашда, дифракцион панжаралар ясашда, ҳисоблаш техникасида, турли маълумотларни сақлаш ва шунга ўхшаш кўпгина соҳаларда муваффақиятли қўлланилмоқда. Илмий информация тез суръатлар билан ўсиб бораётган ҳозирги кунда хотира сифими  $10^9 - 10^{10}$  бит/см<sup>3</sup> (бит—машина хотирасига туширилган информация ўлчов бирлиги) бўлган ва уларни 1 микросекунд давомида танлаб бера олиш қобилиятига эга бўлган ҳисоблаш техникалари зарур. Голографик хотира сифими анча кенг бўлиб ( $10^{12}$  бит/см<sup>3</sup>), инсон хотираси хусусиятларига яқин бўлганидан ҳозирги кун талабига жавоб бера олади.

Ҳозирги кунда голография асосида бир қанча асбоблар ясалган бўлиб, улардан баъзиларининг қўлланиш соҳалари билан танишамиз.

1. Стационар ва секин ўзгарувчан процессларни қайд қилувчи УИГ—2 сериясидаги бир-бирдан ўлчамлари ва баъзан элементлари билан фарқланувчи 5 хил турдаги асбоб яратилган. Бу сериядаги асбоблар билан а) 20 мкм хатолик билан бир неча микрометрдан 0,3 мм гача (УИГ—2 М) · 0,5 метргача (УИГ—2Г—1) га 1,0 метргача (УИГ—2Г—2) б) 0,2 мкм хатолик билан 0,3 дан 90 мкмгача бўлган оптик диапазондаги оптик йўл фарқларини, в) 0,2 мкм хатолик билан сиртларнинг 0,15 дан 40 мкм гача силжишларини, г)  $2 \cdot 10^{-6}$  дан  $5 \cdot 10^{-3}$  гача бўлган синдириш кўрсаткичларини аниқлаш мумкин.

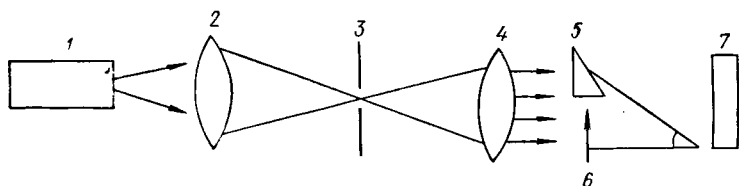
2. Стационар ва ҳаракатланувчи микрообъектларни ўрганишда уларнинг параметрларини аниқлашда қўлланиладиган МГИ—1 голографик интерференцион микроскоп ҳам давлат синовидан ўтиб, СССР давлат ўлчови ва ўлчов асбоблари реестрига топширилган.

3. КГ—100, КГ—250 голографик қурилмалари ёрдами билан ихтиёрий шаклдаги жисмлар деформацияси ва симметрик бўлмаган фазовий объектларнинг синдириш кўрсаткичлари тақсимоти ўрганилади.

4. МГИ—3 голографик интерференцион микроскопи ўлчамлари 1 мм дан кичик бўлган микрообъектларни ўрганишда қўлланилади.

Голограммани ёзиш ва уни қайта тиклашнинг энг содда усули билан танишиб чиқамиз. Бу усул схемаси 171-расмда келтирилган.

5 призмадан 7 фотокасетага келаётган ёруғлик таянч



171- расм.

тўлқин,  $b$  объектдан келаётгани предмет тўлқин деб юритилади, улар ўзаро когерент ва фотокаседада интерференцияланади. Бундай усулда ёритилган ва очилтирилган фотопластинка голограмма дейилади. Уни тиклашда ана шу усулда ҳосил қилинган параллел лазер нурларидан фойдаланилади. Голограммани дифракцион панжара тарзида тасаввур қилиш мумкин. Ёруғликнинг асосий қисми оғмай ўтиб нолинчи тартибли максимумнинг бир қисми 1-тартибли максимумни ҳосил қилади.

Таянч тўлқин амплитудаси  $A_0$  предмет тўлқининики  $A_n(x, y)$  бўлса, фотопластинкада уйғотилган ёруғлик тўлқин интенсивлиги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$I(x, y) = A_0^2 + [A_n(x, y)]^2 + 2A_0A_n(x, y)\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}y\sin\theta - \varphi(x, y)\right], \quad (4.18)$$

$\lambda$ —лазер нурнинг тўлқин узунлиги,  $\varphi$ —предмет ва таянч тўлқинларнинг фаза фарқлари,  $\theta$ —таянч тўлқинининг предмет тўлқинга нисбатан олинган пластинкага тушиш бурчаги.

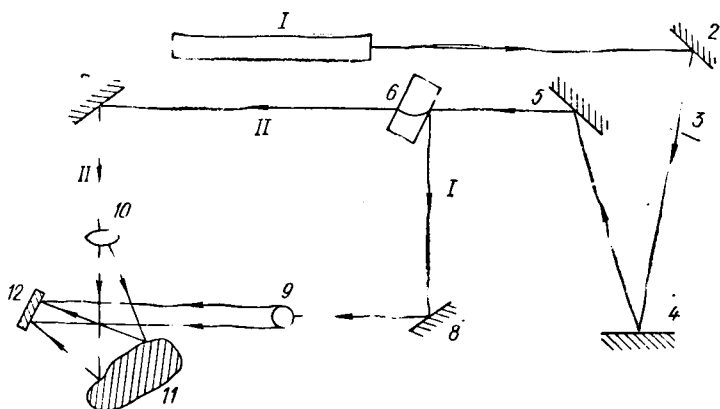
$\frac{2\pi}{\lambda}y_{\max}\sin\theta - \varphi(x, y) = 2\pi n$  да қуйидаги ёруғликлар интенсивлиги максимум, яъни

$$I_{\max} = [A_0 + A_n(x, y)]^2, \quad (4.19)$$

$\frac{2\pi}{\lambda}y_{\min}\sin\theta - \varphi(x, y) = (2m+1)\pi$  да эса минимум, яъни

$$I_{\min} = [A_0 - A_n(x, y)]^2 \quad (4.20)$$

бўлади. Интерференцион йўлларнинг фотопластинкадаги контрастлиги



172- расм.

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2A_0 A(x, y)}{[A_0^2 + A_n^2(x, y)]^2} \quad (4.21)$$

кўринишида ифодаланади.

Голограммада ҳосил бўлган интерференцион йўллар ораси жуда кичик, тахминан 2 мкм бўлганидан эмульсиянинг ажрата олиш қобилияти жуда катта бўлиши керак. Фотографияда ишлатиладиган эмульсиянинг ажрата олиш қобилияти 60 чизиқ/мм бўлса, голографияда 1000, 2000, 3000 чизиқ/мм бўлиши керак.

Оддий голографик қурилма схемаси 172-расмда келтирилган. Бу ерда 1—ЛГ 36 А лазери, 2, 4, 5, 7, 8—вертикал ўқ атрофида айлана оладиган кўзгулар, 3—диафрагма, 6—ёруғликни иккига ажратувчи пластинка, 9, 10—микроскопик объективлар, 11—ёруғликни диффузион сочувчи предмет, 12—фотокассета.

Голографик тасвир ҳосил қилиш вақтидаги ўрғанилувчи жисмнинг  $0,2 \cdot 10^{-7}$  м силжиши ҳам ҳосил қилинаётган интерференцион манзарага жуда қаттиқ таъсир қилади, предмет тўлқин таянч тўлқинга нисбатан вазиятини ўзгартирмаслиги учун бу қурилма амортизаторга ўрнатилган массив пўлат плита устига жойлаштирилади. Ёруғлик 2, 4, 5 кўзгулар орқали ярим шаффоф 6 пластинкага йўналтирилади, нур пластинкадан I таянч ва II предмет нурларга ажралади, бу нурлар 9 ва 10 объективлар ёрдами билан кенгайтирилиб таянч

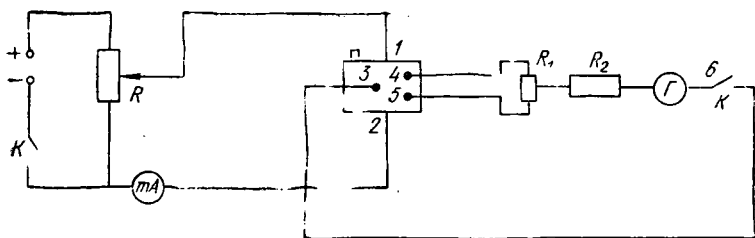
нур тўғри, предмет нур II жисмдан сочилиб, фотопластинкага тушади. Бу ишда  $6328 \text{ \AA}$  тўлқин узунлигида сезгирлиги 3 бирлик бўлган 1000 чизиқ/мм ажрата олиш қобилиятига эга ВР—П фотопластинкалар қўлланилади.

Голограмма ҳосил қилиш учун II предмет столига кенгайтирилган лазер нур ичида қола оладиган катталикдаги ўргашилувчи жисм қуйилади. Қурилма созилиб фотопластинка текис ёритилади. Голографияси ҳосил қилинаётган жисмнинг қайтариш қобилиятига қараб экспозиция вақти белгиланади ва тажриба ўтказилади. Голография туширилган пластинка худди оддий фотопластинка каби 4—5 минут давомида очилтирилади. Бу усул билан мавҳум тасвир ҳосил қилинади. Ҳақиқийси микроскоп объективидан ўтказилган лазер билан ёритилиб, ёзилаётган вақтдаги таянч нури тушаётган йўналишда қаралганда кузатилади. Голограмма жуда кичик қолдиқ деформацияларни аниқлаб бера олади. Бунинг учун жисм голограммаси деформацияланмасдан аввал ва кейин ҳосил қилинади ва ҳар иккаласи солиштирилади.

**6- лаборатория иши. Ярим ўтказгичларда асосий ток ташувчиларнинг концентрациясини аниқлаш**

Ярим ўтказгичлар электрон—оптик асбоблар тайёрлашда асосий ўринни эгаллайди, уларнинг физик хусусиятларини ўрганиш, электр параметрларини аниқлаш катта аҳамиятга эга. Бу лаборатория ишида зарядли зарралар, хусусан электроннинг электр ва магнит майдонидаги ҳаракатларига асосланиб, уларнинг концентрациясини аниқлаш назарда тутилади.

Металл ёки ярим ўтказгич пластинкаси электр майдонига киритилганда ундаги эркин ток ташувчиларга электр майдони кучи  $\vec{F} = q\vec{E}$  таъсир этади ва улар бир йўналишли ҳаракатга келади. Агар электр майдонига перпендикуляр бўлган йўналишда магнит майдони ҳосил қилинса, у ҳолда бу майдон кучи ток ташувчи зарядли зарралар йўналишини ўзгартиради, яъни  $\vec{F} = q[\vec{v} \cdot \vec{B}]$  кучи ҳар икки майдон йўналишига перпендикуляр бўлган заряд тезлигини вужудга келтиради. Ўз навбатида ўрганилаётган пластинкадаги зарядларнинг бу ҳаракати Холл майдони деб аталувчи янги электр майдонини ҳосил қилади. Бу майдон кучланиши



173- расм.

$$u_x = \frac{1}{nq} \cdot \frac{I \cdot B}{b}$$

ифода билан аниқланади, бу ерда  $I$ —ток кучи,  $n$ —зарядли зарралар концентрацияси,  $b$ —пластинка қалинлиги,  $q$ —зарра заряди,  $B$ —магнит майдон индукцияси вектори.

#### Ишни бажариш тартиби

1. Схемаси 173-расмда келтирилган электр занжири йиғилади. Бу ерда  $P$ —ўрганилаётган пластинка.

2. Электромагнит магнитсизлантирилади ва унинг орасига текширилувчи пластинка ўрнатади.

3. Пластинкадан бирор катталиқдаги ток ўтказилиб,  $R_1$  қаршилик ёрдами билан гальванометр кўрсатиши нолга келтирилади.

4. 3–6 участкадаги қаршилик ўлчанади.

5. Электромагнит уланиб, унинг ўрамларидаги ток кучи аста-секин ошира борилади.

6. Гальванометр ток мавжудлигини кўрсатиш билан унинг бир неча қийматлари учун  $U_x = IR$  ифолани Холл кучланиши ҳисобланади. Бу ерда  $R = R_{3,4} + R_1 + R_2 + R_q$ .

7. Миллиамперметрдаги ток кучининг бошқа қийматлари учун 3, 4, 5, 6-пунктлар такрорланади.

8.  $n = \frac{IB}{u_x qb}$  ифода ёрдами билан электронларнинг концентрацияси аниқланади. Магнит майдон индукция вектори қиймати қурилмага ёзиб қўйилган бўлади.

### 3-§. Ижодий характердаги лаборатория ишлари ҳақида тушунча

Ижодий характердаги лаборатория ишларини бажариш бирор физик катталикни аниқлаш, физик қонуният ёки ҳодисани тажрибада ўрганиш билан бир қаторда студентларни турли конфликтли экспериментал масалаларни ечишга ўргатади. Ижодий характердаги лаборатория ишлари қўйидаги экспериментал масалалардан бирини ўз ичига олмоғи керак.

1. Масала қўйилади, тажриба схемаси ва элементлари берилади, экспериментал масалани ҳал этиш усуллари аниқланади.

2. Бирор физик ҳодисани ўрганиш масаласи қўйилиб, лаборатория иш схемаси таклиф этилади. Схема ва таклиф этилган тема бўйича физик ҳодиса ўрганилади.

3. Бирор физик ҳодисани миқдорий параметрлари орқали ўрганишга асосланган экспериментал масала қўйилади. Ушбу экспериментал масалани ҳал қилиш йўли ишлаб чиқилади.

### 4-§. Ижодий характердаги ишлар

7-лаборатория иши. Эритма сирт таранглиги коэффициентининг унинг концентрациясига боғлиқлигини ўрганиш

1. „Суюқликларнинг сирт таранглик коэффициентини аниқлаш“ лаборатория иши қурилмасидан фойдаланиб, турли миқдордаги спиртнинг дистирланган сувдаги эритмаси сирт таранглик коэффициенти  $\sigma$  ўлчанади.

2.  $\sigma = f(c)$  боғланиш графиги чизилади.

3. Концентрацияси номуайим бўлган эритма концентрациясини аниқлаш усули айтилади.

Бу лаборатория иши бир дарсга мўлжалланган бўлиб, „Суюқликнинг сирт таранглигини аниқлаш“ ишига қўшимча машқ тарзида берилади.

8-лаборатория иши. Электростатик майдоннинг миқдорий характеристикаларини аниқлаш

1. Электростатик майдоннинг миқдорий характеристикаларини айгиб беринг.

2. Электростатик майдон кучланганлиги ва потенциали орасида қандай боғланиш бор?

3. Бир жинсли электростатик майдон қандай ҳосил қилинади? Бир жинсли электростатик майдондаги куч-

ланганлик ва потенциаллар фарқи орасидаги боғланиш ифодасини ёзиб беринг.

4. „Электростатик майдонни ўрганиш“ лаборатория машғулоти қурилмасидан фойдаланиб, бир жинсли электростатик майдон кучланганлигини аниқлаш қурилмаси схемасини чизинг ва тажриба планини тузинг.

Лаборатория столида керакли асбоблар берилган. Машғулот икки дарсга мўлжалланган: биринчи дарсда тажриба плани тузилиб, керакли асбоблар танланади, иккинчи машғулотда тажриба ўтказилади ва ҳисобот тайёрланади.

9- лаборатория иши. Соленоид ўқидаги ва айлана ток марказидаги магнит майдонини ўрганиш

Бу лаборатория ишида студентлар асбоблардан ва йўналтирувчи саволлардан фойдаланиб, тажриба қурилмаси схемасини, иш планини тузадилар.

1. Магнит майдони қандай миқдорий катталиклар билан характерланади?

2. Магнит майдон индукциясини қандай аниқлаш мумкин?

3. Электромагнит индукция ҳодисаси нима? Бу ҳодисани тажрибада қандай кузатиш мумкин?

4. Индукцион электр юритувчи кучи қандай катталикларга боғлиқ.

5. Берилган асбоблардан фойдаланиб, соленоид ўқидаги магнит майдонини ўрганиш схемасини чизинг.

6. Магнит майдон индукциясининг соленоиддан ўтаётган ток кучига ва ўрганилаётган нуқта координаталарига боғлиқлигини аниқланг.

7.  $B = f(l)$  ва  $B = f(I)$  боғланиш графигини чизинг.

8. Тажриба айланасимон ўтказгич учун ҳам такролансин.

Бу лаборатория иши икки дарс (4 соат) га мўлжалланган бўлиб, биринчи дарсда иш плани чизилиб, қурилма схемаси тайёрланади, иккинчи дарсда қурилма электр занжири йиғилиб тажриба ўтказилади.

10- лаборатория иши. Токли ғалтак магнит майдонини ўрганиш

Бу лаборатория иши аввалги бажарилган ишларга асосланиб, янги ҳодисаларни тажрибада кузатишга мўлжалланган.

1. „Токли ғалтак магнит майдон энергиясини аниқлаш“ ва „Идеал газ қонунларидан фойдаланиб, ҳавонинг олган иссиқлик миқдорини ҳисоблаш“ лаборатория ишлари асосида токли ғалтак магнит майдонини ўрганиш иши плани тузилади.

2. Ғалтак магнит майдони энергиясининг ток кучи ва ғалтак индуктивлигига боғлиқлиги ўрганилади.

3. Аниқланган магнит майдон энергияси  $\frac{LI^2}{2}$  ифода билан ҳисобланган қиймати билан солиштирилади ва фарқи изоҳланади.

4. Диоднинг вазифаси, капиллар трубкадаги суюқликнинг горизонтал жойлаштирилиши сабаби тушунтирилади.

5. Таклиф қилинган тажриба қурилмасидаги  $R_2 \gg \gg R_L + R_{\text{прд.}}$  ва  $R_2 \ll R_L + R_{\text{прд.}}$  ҳолатлар тушунтирилади. Бу ерда  $R_{\text{прд.}}$  — диоднинг тўғри йўналишдаги қаршилиги.

Лаборатория столида керакли асбоблар берилган. Тажриба икки дарсга (4 соат) мўлжалланган. Биринчи дарсда иш плани, қурилма схемаси тайёрланади, иккинчи дарсда электр занжири йигилиб ўлчашлар ўтказилади ва ҳисобот тайёрланади.

#### 11-лаборатория иши. Электроннинг солиштирма зарядини аниқлаш

Бу лаборатория иши қурилмаси (электр занжири схемаси) ни студентлар таклиф қилишади ва тажриба ўтказиш плани тузади. Студентларга қуйидаги йўналтирувчи саволлар таклиф қилинади:

1. Термоэлектрон эмиссия ҳодисасини тушунтиринг ва қўлланиш соҳаларини айтинг.

2. Уч электродли электрон лампаларнинг ишлаш принципи қандай физик ҳодисаларга асосланади?

3. Катод ва тўр орасида ҳаракатланаётган электрон тезлиги қандай аниқланади?

4. Электрон траекториясини қандай қилиб ўзгартириш мумкин?

5. Қандай ҳолларда анод токи нолга тенг бўлади?

6. Соленонда ҳосил бўлган магнит майдон индукцияси қандай аниқланади?

7. Юқоридаги саволларга берилган жавобларнинг оптимал вариантлари асосида электроннинг солиштирма



зарядини катод тўр орасидаги кучланиш ва масофа, магнит майдон индукциясининг функцияси кўринишидаги ифодаси ҳосил қилинади.

Тажриба столида керакли асбоблар, кучланиш манбалари, уч электродли лампа реостатлар, ўлчов асбоблари, ўтказгичлар келтирилган. Лаборатория иши учта дарсга (6 соат) мўлжалланган: биринчи дарсда савол-жавоб ўтказилади, иккинчисида иш схемаси ва бажариш плани тайёрланади, учинчи дарсда электр занжири йиғилиб, тажриба ўтказилади ва натижалар ҳисобланади.

И Л О В А

## ЛАБОРАТОРИЯ МАШҒУЛОТЛАРИДА ЭЛЕКТРОН ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШ

Маълумки, ҳозирги замон ЭҲМ лари бир секундда миллиондан ортиқ арифметик операцияларни етарлича юқори аниқлик билан бажара олиш имкониятига эга. Халқ хўжалигида қўлланилаётган ЭҲМ ларни махсус ва универсал ЭҲМ ларга ажратиш мумкин. Универсал ЭҲМ лар ҳақида қисқача фикрлашамиз. Ҳозирги замон ЭҲМ лари жуда кўп электрон, электромеханик ва механик қурилмалардан таркиб топган мураккаб асбоб. Ушбу машиналарда маълум бир функцияларни бажара олувчи қуйидаги қисмлар мавжуд: хотира, бошқариш қурилмаси, турли амаллар бажаришга мосланган арифметик қурилма, информацияларни қабул қилиш ва узатиш мосламалари.

ЭҲМ лар хотира қурилмаси машина ишлатиши керак бўлган барча информацияларни ўзида сақлайди ва ички оператив, ташқи хотира қурилмасига бўлинади.

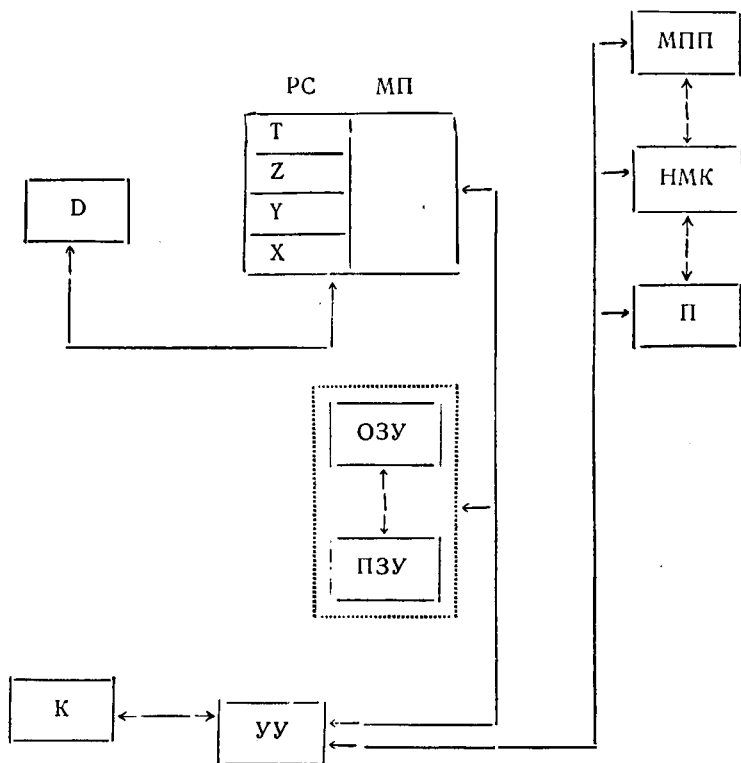
Ички оператив хотира бир неча минглаб, миллионлаб ячейкага эга бўлиб, уларнинг сифим бирлиги К деб юритилади 1 К 10<sup>24</sup> ячейкага тенг. Масалан БЭСМ — 6 ЭҲМ 32.68 ячейкага эга бўлиб, у 32 К деб юритилади. Кўпгина машиналарда байт-хотира сифими бирлиги қўлланилади. 1 байт 8 та иккилик разряд (бит) га эга. Символ информациялар билан ишланганда байтлардан фойдаланиш қулай. Ички операцияно хогирадаги ҳар бир белги, рақам бажарилаётган операцияда ишлатилиши мумкин.

Ташқи хотира қурилмаси магнит ленталар, диск, барабанлар кўришишида бўлади. Ундаги информациялардан фойдаланиш учун ички оператив хотира қурилмасига ўтказилади.

Бошқариш қурилма эса ЭҲМ нинг бутун иш жараёнини программа асосида бошқаради ва бошқа қурилмалар ишини текшириб боради. Машина ўзига берилган ҳар бир сигнал-командани ўқиб, уни бажариш қурилмаларига узатади. Арифметик қурилма деб аталувчи блокда барча амаллар рақамли, мантикий операциялар бажарилиб, натижалар хотира қурилмасига юборилади ёки ўзида сақланади. Қабул қилиш қурилмаси машина ишлаши учун зарур бўлган барча информация-программа рақамларни ўқийди. Булар албатта машина ўқий оладиган ҳолатда бўлиши керак. Машинага берилган барча информация қайта ишлангандан сўнг, улар махсус команда ёрдами билан чиқариш қурилмасига узатилади. Бу ерда электр сигналлари рақам, график каби белгиларга айлантирилиб қоғоз, ленталарга ёзилади ёки экранга чиқарилади. Информациyani қайта ишлаш учун машинага бериш ва қайта ишланган информацияларни чиқаришда дисплей деб аталувчи қурилмалардан фойдаланилади.

**ЭХМ ва лаборатория машғулоти.** Лаборатория машғулотида турли ЭХМ лардан фойдаланиш тажриба натижаларини ҳисоблаш ва уларни анализ қилишнинг самарали усулларидан асосийси ҳисобланди. Ушбу усулдан фойдаланиш: 1) тажриба натижаларини ўрганишда математик статистиканинг юқори аниқликка эга бўлган усулларини қўлланиш, 2) асосий ўқув материаллари қўламини математик амаллар бажаришга кетадиган вақтни тежаш ҳисобига кенгайтириш, 3) ўқув лабораторияларини илмий тадқиқот лабораторияларига яқинлаштириш каби имкониятларни беради. Бироқ ЭХМ „ҳамма ишни уддалайди“ дейиш ногўғри бўлади. ЭХМ ишлашига бериладиган масала тўғри қўйилиб, машинанинг барча имкониятларини ўзида мужассамлаштирган математик моделга келтирилган ҳолдагина ундан яхши натижалар кутиш мумкин.

**МикроЭХМ лар ҳақида.** Ўзининг соддалиги, ихчам ва қулайлиги билан ажралиб турувчи микрокалькулятор — микроЭХМ ни уч гурпуга бўлиш мумкин: 1) содда микрокалькуляторлар — арифметик амаллар ва даражага кўтариш операцияларини бажариш имкониятини берувчи микроЭХМлар; 2) илмий инженерлик ҳисобларига мўлжалланган микрокалькуляторлар бу ном нисбий бўлиб, содда микрокалькуляторлардан фарқли равишда кўнгина элементар



функциялар ( $e^x$ ,  $y^x$ ,  $\ln x$ ,  $\lg x$  ва бошқалар) қийматини тез аниқлаш имкониятини беради; 3) программа билан ишловчи микрокалькуляторлар — бу турдаги микрокалькуляторлар юқорида эслатилган операцияларни бажариш билан бир қаторда программа асосида мураккаб хисобларни ҳам бажара олиш, шунингдек информацияни ички ёки ташқи хотира регистори (ячейкаси) га жойлаб, керак вақтда ундан фойдаланиш имкониятларини ҳам беради. Микрокалькуляторларнинг функционал схемаси 275-бетда берилган кўринишга эга.

Бу ерда МП — микропроцессор — мантикий ва арифметик операцияларни бажариш қурилмаси; РС — стек регистори, яъни операцияда иштирок этаётган тўртта қийматни ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $T$ ) сақлаб турувчи регисторлар; D — дисплей, сон ва натижаларни „ёзиб“ берувчи мослама, ПЗУ ва ОЗУ мос равишда донмий ва оператив эслаб қолувчи мосламалар; УУ — бошқариш қурилмаси; К — клавишлар пульти; МПП, НМК, П — ташқи хотира вазифасини ўтайдиган қўшимча элементлар. Программа асосида ишлайдиган микрокалькуляторлар қаторига қуйидагиларни киритиш мумкин: БЗ-21, МК-46, БЗ-34, МК-54 — ўрта авлод, МК-61 оралик, МК-51, МК-62, МК-64 лар такомиллашган авлод ЭХМ лари ҳисобланади. Булар бир-бирларидан регисторлар сони, ташқи хотира қурилмасига мослашганлиги ва баъзи команда символлари билан фарқ қилади.

БЗ-34, МК-56, МК-54 ва МК-61 микрокалькуляторлар операция блокда 4 та регистор бўлиб, улардан иккитаси бевосита ҳисоблашда иштирок этади, қолган иккитаси ҳисоблаш тугагунча, кейинроқ ишлатиладиган қийматларни „эсда“ сақлаб туради. Адреслари 0, 1, ..., 9, A, B, C ва D бўлган 14 та қўшимча регистор мавжуд бўлиб, 98 қадамли программа билан ишлай олади. (МК-61 да адреслари 0, 1, ..., 9, a, b, c, d ва e бўлган 15 та қўшимча регистор бўлиб, 104 қадамли программа билан ишлайди). Бошқариш пултида 30 та клавиш, D — дисплей — ёригилувчи экран, калит ўрнатилган. Ҳар бир клавиш уч хил командани бажаришга мўлжалланган. МК-61 да клавишнинг ўзига ёзилган белгилар бевосита босилганда ишлайди, сариқ ранг билан ёзилганлари F командасидан кейин ишлайди, занори рангдагилари K командасидан кейин ишлайди. Масалан 7 ёзилган клавиш босилганда дисплейда ва регисторда 7 ҳосил бўлади, F клавишдан кейин синус функция бажарилади, K дан сўнг каср соннинг бутун қисмини ажратиб, дисплейга чиқарилади.

Программа тузиш ва ҳисоблашда қўлланиладиган баъзи символларнинг функциялари (вазифалари) жадвалда келтирилган.

Клавишлар	Клавишлар функцияси	Изоҳ
$\boxed{0}$ , ..., $\boxed{9}$	0 дан 9 гача бўлган рақамларни X регисторига киритиш	
$\boxed{\uparrow}$	Стек регисторидида информацияни юқорига силжитиш	
$\boxed{\times}$	X регисторидидаги информацияни ўчириш	
$\boxed{\leftrightarrow}$	X ва Y регисторидидаги ин-	

Клавишлар	Клавишлар функцияси	Изоҳ
$\boxed{/=}$	формацияларини алмаштириш	
$\boxed{ВП}$	Сон ва даража кўрсаткичларининг ишораларини ўзгартириш	
$\boxed{F}$	Даража кўрсаткичини ёзишга тайёрлаш	
$\boxed{F}$   $\boxed{\pi}$	Функция ёзишга ўтиш ёки 2-символга ўтиш	
$\boxed{F}$   $\boxed{\pi}$	Ўзгармас кагталик $\pi = 3,1415926$ ни чиқариш	
$\boxed{F}$   $\curvearrowright$	Стек регисторида информацияни айлантириш	Т дан Х га ўтади, қолганлари юқорига кўтарилади
$\boxed{X - П}$   $\boxed{0}$ , ...	Х регистордаги информацияни қўшимча регисторларга ўтказиш	
$\boxed{П - X}$   $\boxed{0}$ , ...	Регистордаги информацияни Х га чиқариш	
$\boxed{F}$   $\boxed{ПРГ}$	Программа режимига ўтказиш	
$\boxed{F}$   $\boxed{АВТ}$	Автоматик ҳисоблаш режимига ўтказиш	
$\boxed{ВП}$	Шартсиз ўтиш	
$\boxed{F}$   $\boxed{X < 0}$	Шартларга асосан ўтиш	
$\boxed{F}$   $\boxed{X = 0}$		
$\boxed{F}$   $\boxed{X > 0}$		
$\boxed{F}$   $\boxed{X \neq 0}$		
$\boxed{ПП}$	Программа режимда оралиқ программага ўтиш; Автоматик режимда қадамлаб ҳисоблаш	
$\boxed{В/О}$	Оралиқ программдан асосийсига қайтиш; Автоматик режимда О-адресга қайтиш	
$\boxed{С/П}$	Программа ёзишни тўхтатиш	

Кўпгина ҳисоблаш марказларида Искра-226, Искра-227 туридаги ЭХМ лар мавжуд бўлиб, улар БЭЙСИК тилида тузилган прог-

рамма билан ишлайди. Бу машина тили ўзининг соддалиги, ҳамда программа тузиш ва уни редакция қилишнинг қулайлиги билан ажралиб туради. Шунинг учун олий ўқув юртрларида ЭХМ нинг бу туридан фойдаланиш мумкин.

Лаборатория ишлари натижасини ўрганишда ЭХМ дан фойдаланиш учун қуйидагиларни бажариш зарур.

1. Ҳисоблаш формуласини мумкин қадар содда ҳолга келтириш, хусусан ўрганилаётган тажриба учун математик ифоданинг доимий қисмини ажратиш.

2. Ўлчанган ва жадвалдан олинган катталикларни битта ўлчов бирликлар системасига келтириш ва уларнинг асосий характеристикалари номи, белгиланишини ёзиш.

3. Ҳисоблашда ишлатиладиган катталикларни аниқлаш.

4. Ҳисоблаш алгоритмини: а) аналитик ва б) график — блок-схема тузиш.

5. Программалаш, яъни ўрганилаётган ҳодиса ёки аниқланаётган катталиқ ифодасини бирор машина тилида ёзиш.

6. Программани ва ўлчанган катталикларни машинага киритиш.

7. Программа тўғрилигини текшириб кўриш.

8. Машинада ҳисоблаш.

9. Программа ва ҳисоблаш натижаларини ташқи хотира қурилмасига ўтказиш.

Мисол тариқасида „Қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини аниқлаш“ лаборатория иши натижаларини Искра-226 ЭХМ ва МК-61 микрокалькуляторида, „Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш“ лаборатория иши натижаларини МК-61 микрокалькуляторида ҳисоблаш усулларини кўриб чиқамиз.

## Қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини аниқлаш

Ишни бажаришдан мақсад:  $\chi = \frac{(m_1c_1 + m_2c_2)X}{S\tau} \ln \frac{T_n - T_0}{T_n - T} = \frac{A}{\tau} \ln \frac{T_n - T_0}{T_n - T}$  ифода ёрдамида бир неча қаттиқ жисм намуналарининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини аниқлаш.

А. Ҳисоблаш алгоритми.

1. Берилган биринчи намуна учун тажриба доимийси  $A = \frac{(m_1c_1 + m_2c_2)X}{S}$  ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\chi = \frac{A}{\tau} \ln \frac{T_n - T_0}{T_n - T}$  ҳисоблансин.

2. „ $\chi$ “ нинг ўртача арифметик қиймати

$$\bar{\chi} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i}{n}$$

ҳисоблансин.

3. Қуйидаги ифодалардан фойдаланиб, тажриба ҳатоликлари ҳисоблансин:

$$\overline{\Delta\chi} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\chi} - \chi_i)}{n} \quad S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\chi} - \chi_i)^2}{n-1}$$

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$t_{\alpha n} = \frac{\overline{\Delta\chi} \sqrt{n}}{S_n}$$

### Б. Ўлчанган ва ҳисобланган катталикларнинг асосий характеристикалари

№№	Физик катталикнинг номи	Ифола (формула) да белгиланиши	Программада белгиланиши	Ўлчов бирликлари
1.	Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	$\chi_i$	K (1)	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
2.	Сув ва калориметр массаси	$m_1, m_2$	M1, M2	кг
3.	Сув ва калориметрнинг солиштирма иссиқлик сифими	$C_1, C_2$	C1, C2	$\frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
4.	Намунанинг қалинлиги	$x$	x	м
5.	Намунанинг кўндаланг кесим юзи	$S$	S	м <sup>2</sup>
6.	Иссиқлик энергиясининг узатилиш вақти	$\tau_i$	T <sub>2</sub> (1)	с
7.	Буғ температураси	$T_n$	T1	К
8.	Бошланғич температура	$T_{0i}$	T3 (1)	К
9.	Охириги температура	$T_i$	T4 (1)	К
10.	Ўртача қиймат	$\chi$	M	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
11.	Абсолют ҳатолик	$\Delta\chi$	D1 (1)	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
12.	Абсолют ҳатоликнинг ўртача қиймати	$\overline{\Delta\chi}$	D	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
13.	Танланган дисперсия	$S^2$	D2	м <sup>2</sup>
14.	Ўртача квадратик ҳатолик	$S$	D3	м
15.	Стъюдента коэффициенти	$t_{\alpha n}$	F	
16.	Ўлчашлар сони	$n$	N	

### В. Программа

10 REM „Қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти аниқлаш“

```

20 INPUT M1, M2, C1, C2, X, S, T1, N
30 DIM T2(N), T3(N), T4(N), K(N), D1(N)
40 MAT INPUT T2(N), T3(N), T4(N)
50 A = ((M1 * c1 + M2 * c2) * X) / S
60 FOR I = 1 TO N: K(I) = A / T2(I) * log((T1 - T3(I)) / (T1 - T4(I)))
70 NEXT I: S1 = 0: FOR I = 1 TO N
80 S1 = S1 + K(I): NEXT I: M = S1 / N
90 FOR I = 1 TO N: D1(I) = ABS(K(I) - M)
100 S1 = 0: S1 = S1 + D1(I): NEXT I
110 D = S1 / N: FOR I = 1 TO N
120 S1 = 0: S1 = S1 + (K(I) - M) * T2(I): NEXT I: D2 = S1 / (N - 1)
130 D3 = D2 * 1/2: F = (D * SQR(N / D3))
140 PRINT "M =", M; "D =", D; "D2 =", D2; "D3 =", D3; "F =", F
150 FOR I = 1 TO N: PRINT "K(I) =", D1(I)
160 NEXT I
170 PRINT "Тажрибани ўтказиш, ўлчаш ва ҳисоблаш ҳатоликлари, ишонч интервали ҳақида тушунча беринг"
180 END

```

### Программадан фойдаланиш

1. Машина манбага уланади, экранда 174-а расмдаги тасвир ҳосил бўлади.

2. L O A D R (ёки F) # 1 CR/LF символли клавишлар кетма-кет босилиши билан экранда 174-б расмдаги тасвир пайдо бўлади.

3. RUN CR/LF клавишларининг босилиши билан машина программани қабул қилишга тайёрланади, яъни экранда 174-в расмдаги тасвир ҳосил бўлади. ... Юқорида келтирилган программа қаторма-қатор киритилади (агар программа магнит дискка ёзилган бўлса, у ҳолда экранга чиқарилади ва текшириб кўрилади). Программа сўнгида савол белгиси ҳосил бўлади, яъни машина ҳисоблашга тайёр эканлигини билдиради (ERROR симболи пайдо бўлса ўқитувчи ёки лаборантга мурожаат қилиб хатони тўғрилаш лозим бўлади).

4. Тажриба давомида ўзгармайдиган катталиклар  $m_1, m_2, C_1, C_2, x, S_1, n, N$  қиймати ва узғариб боровчи  $\tau(I); T_0(I), T(I)$  катталиклар кетма-кет киритилади (киритилаётган қийматлар кетма-кетлигининг бузилиши нотўғри натижага олиб келади), бунда  $I$  — ўлчов тартибига мос келувчи сон. Бир неча секунддан кейин машина ҳисоблаган катталиклар экранда пайдо бўлади, яъни  $\chi, \Delta\chi, S^2, t_{ан}, x(I), \Delta x(I)$  катталикларни кузатиш дафтарига ёзиб олиб, саволларга жавоб тайёрланади.

МК-61 микрокалькуляторига тузилган программа намунаси билан танишайлик.

Загрузчик  
:-

а)

BASIC <N версия> <год>  
:-

б)

READY  
:-

в)

174- расм.



Лаборатория иши. Қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини аниқлаш.

Ишни бажаришдан мақсад, „Ҳисоблаш алгоритми“, „Ўлчанган ва ҳисобланган катталикларнинг характеристикалари“ (программада белгиланиш устуни зарур эмас) юқорида келтирилган.

### Программа

Программа қадами	Клавишлар	Код	Программа қадами	Клавишлар	Код
00	$\boxed{I}$	01	25	$\boxed{C/P}$	50
01	$\boxed{5}$	05	26	$\boxed{P \rightarrow P} \boxed{2}$	62
02	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{0}$	40	27	$\boxed{+}$	10
03	$\boxed{Cx}$	0Г	28	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{2}$	42
04	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{I}$	41	29	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{I}$	61
05	$\boxed{X \cdot P} \boxed{2}$	42	30	$\boxed{I}$	01
06	$\boxed{C/P}$	50	31	$\boxed{+}$	10
07	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{4}$	44	32	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{I}$	41
08	$\boxed{F} \boxed{\bigcirc}$		33		
09	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{5}$	45	34	$\boxed{-}$	11
10	$\boxed{F} \boxed{\bigcirc}$		35	$\boxed{F} \boxed{X > 0}$	59
11	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{6}$	46	36	$\boxed{06}$	
12	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{7}$	67	37	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{2}$	62
13	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{6}$	66	38	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{I}$	61
14	$\boxed{\div}$	13	39	$\boxed{\div}$	13
15	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{3}$	63	40	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{2}$	42
16	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{4}$	64	41	$\boxed{C/P}$	50
17	$\boxed{-}$	11	42	$\boxed{0I}$	
18	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{3}$	63	43	$\boxed{05}$	
19	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{5}$	65	44	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{0}$	40
20	$\boxed{-}$	11	45	$\boxed{C/P}$	50
21	$\boxed{\div}$	13	46	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{3}$	43
22	$\boxed{F} \boxed{\ln}$	18	47	$\boxed{X \rightarrow P} \boxed{4}$	44
23	$\boxed{X}$	12	48	$\boxed{P \rightarrow X} \boxed{2}$	62
24	$\boxed{K} \boxed{X \rightarrow P} \boxed{0}$	0	49	$\boxed{K} \boxed{P \rightarrow X} \boxed{0}$	60

1	2	3	1	2	3
50	$\boxed{\bar{=}}$	11	67	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{6}$	46
51	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{5}$	45	68	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{4}$	64
52	$\boxed{\Pi X} \boxed{3}$	63	69	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{1}$	61
53	$\boxed{+}$	10	70	$\boxed{1}$	01
54	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{3}$	43	71	$\boxed{\bar{=}}$	11
55	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{5}$	65	72	$\boxed{\div}$	13
56	$\boxed{x^2}$	22	73	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{7}$	47
57	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{4}$	64	74	$\boxed{F} \boxed{V}$	21
58	$\boxed{+}$	10	75	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{5}$	45
59	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{4}$	44	76	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{6}$	66
60	$\boxed{1}$	5	77	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{1}$	61
61	$\boxed{48}$		78	$\boxed{F} \boxed{V}$	21
62	$\boxed{7}$		79	$\boxed{X}$	12
63	$\boxed{X \rightarrow \Pi} \boxed{1}$	41	80	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{5}$	65
64	$\boxed{\Pi \rightarrow X} \boxed{3}$	63	81	$\boxed{\div}$	13
65	$\boxed{\longleftrightarrow}$	14	82	$\boxed{C/\Pi}$	50
66	$\boxed{\bar{=}}$	13			

1 ва 3 устун белилари клавишлар босилганда дисплейда пайдо бўлади; 1 устун дисплейнинг ўнг томонида, 3—эса чапдан 3 та белгигача кўринади, сўнг хогирага ўтади. (Программадан фойдаланиш 283-бетда берилган.)

Лаборатория иши. Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш.

Ишни бажаришдан мақсад: Ер магнит майдон кучланганлиги горизонтал ташкил этувчисини  $H = \frac{nI}{r \operatorname{tg} \alpha}$  ифода билан аниқлаш.

#### А. Ҳисоблаш алгоритми

1. Тажриба доимийси ва Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчиси  $H = c \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha}$ ;  $c = \frac{n}{r}$  ҳисобланади.

2.  $H$  нинг ўртача арифметик қиймати  $H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$  ҳисобланади.

## Программалан фойдаланиш

Бажариладиган операциялар	Клавишлар
1. Машина электр манбаига уланади.	
2. А катталик калькулятор режимида ҳисобланади ва 6- регисторга жойланади, $T_n = 100$ К 3- регисторга жойланади	$\overline{X} \rightarrow \overline{П}$   $\overline{6}$ $\overline{X} \rightarrow \overline{П}$   $\overline{3}$
3. Машина программа режимида ўтказилади	$\overline{F}$   $\overline{ПРГ}$
4. Программа киритилади, 33 ва 62 қадамлар 7 тадан ортиқ бўлмаган ўлчашлар сони	
5. Ҳисоблаш режимида ўтказилади	$\overline{F}$   $\overline{АВТ}$   $\overline{В/О}$   $\overline{С/П}$
6. Биринчи тажриба натижалари қуйидаги тартибда киритилади: $\tau$ $T$ $T_0$	$\overline{=}$   $\overline{В\uparrow}$ $\overline{=}$   $\overline{В\uparrow}$ $\overline{=}$   $\overline{С/П}$
7. Бир неча секунддан сўнг экранда Н нинг биринчи қиймати пайдо бўлади	
8. Кейини ўлчанган катталиклар 6 пунктдагича киритилади.	
9. Ҳисобланган натижалар қуйидаги тартибда чиқарилади:	
$\chi_1$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{e}$
$\chi_2$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{d}$
$\chi_3$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{c}$
$\chi_4$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{в}$
$\chi_5$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{a}$
$\chi_6$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{9}$
$\chi_7$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{8}$
$\overline{\chi}$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{2}$
$\overline{\Delta\chi}$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{6}$
$S^2$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{7}$
$S$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{5}$
$t_{an}$	$\overline{П} \rightarrow \overline{X}$   $\overline{4}$
10. Барча катталиклар кузатиш дафтарида ёзиб олингандан сўнг машина ток (тармоқ) дан узилади.	

Қуйидаги ифодалардан фойдаланиб, тажриба хатоликлари ҳисобланади.

$$\overline{\Delta H} = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{H} - H_i|}{n}; \quad S = \sqrt{S^2};$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{H} - H)^2}{n - 1}; \quad t_{an} = \frac{\overline{\Delta H} \sqrt{n}}{S_n}$$

Б. Ўлчанган ва ҳисобланган катталикларнинг асосий характистикалари

Физик катталикларнинг номи	Белгиланиши	Ўлчов бирликлари
1. Ер магнит майдон кучланганлигининг горизонтал ташкил этувчиси	$H$	А/м
2. Тангенс-гальванометр ғалтагидаги симларнинг ўрамлар сони	$n$	
3. Тангенс-буссол ғалтаги радиуси	$r$	м
4. Ток кучи	$I$	А
5. Магнит стрелкасининг оғиш бурчаги	$\alpha$	градус
6. Ўртача қиймат	$\bar{H}$	А/м
7. Абсолют хатолик	$\Delta H$	А/м
8. Абсолют хатоликнинг ўртача қиймати	$\overline{\Delta H}$	А/м
9. Танлаган дисперсия	$S^2$	
10. Ўртача квадратик хатолик	$S$	
11. Стьюдент коэффиценти	$t_{an}$	

### В. Программа

Программа қадами	Клавишлар	Код	Программа қадами	Клавишлар	Код
1	2	3	1	2	3
00	$\overline{11}$	05	25	$\overline{11}$	01
01	$\overline{5}$	05	26	$\overline{+}$	10
02	$\overline{X \rightarrow 11}$ $\overline{0}$	40	27	$\overline{X \rightarrow 11}$ $\overline{11}$	41
03	$\overline{C X}$	0Г	28	$\overline{81}$	
04	$\overline{X \rightarrow 11}$ $\overline{11}$	41	29	$\overline{-}$	11
05	$\overline{X \rightarrow 11}$ $\overline{12}$	42	30	$\overline{F}$ $\overline{X > 0}$	19

1	2	3	1	2	3
06	$\overline{C/\Pi}$	50	31	$\overline{0}$	
07	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{4}$	44	32	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{2}$	62
08	$\overline{\leftarrow \rightarrow}$	14	33	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{1}$	61
09	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{5}$	45	34	$\overline{\cdot}$	13
10	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{6}$	66	35	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{2}$	42
11	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{4}$	12	36	$\overline{C/\Pi}$	50
12	$\overline{X}$	12	37	$\overline{01}$	
13	$\overline{2}$	02	38	$\overline{05}$	
14	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{3}$	63	39	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{0}$	40
15	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{5}$	65	40	$\overline{C/\Pi}$	50
16	$\overline{F}$   $\overline{tg}$	1E	41	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{3}$	43
17	$\overline{*}$	12	42	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{4}$	44
18	$\overline{*}$	12	43	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{2}$	62
19	$\overline{\cdot}$	13	44	$\overline{K}$   $\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{0}$	ГO
20	$\overline{C/\Pi}$	50	45	$\overline{=}$	13
21	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{2}$	62	46	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{5}$	45
22	$\overline{\cdot}$	13	47	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{3}$	62
23	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{2}$	45	48	$\overline{\cdot}$	13
24	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{1}$	61	49	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{3}$	43
50	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{5}$	65	65	$\overline{11}$	01
51	$\overline{x^2}$	22	66	$\overline{=}$	11
52	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{4}$	64	67	$\overline{\cdot}$	13
53	$\overline{+}$	10	68	$\overline{X - \Pi}$   $\overline{3}$	43
54	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{4}$	44	69	$\overline{F}$   $\overline{\sqrt{3}}$	21
55	$\overline{11}$	5	70	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{5}$	45
56	$\overline{43}$		71	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{5}$	66
57	$\overline{8}$		72	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{1}$	61

1	2	3	1	2	3
58	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{1}$	41	73	$\overline{F}$   $\overline{V}$	21
59	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{3}$	63	74	$\overline{*}$	12
60	$\overline{\leftarrow \rightarrow}$	14	75	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{5}$	65
61	$\overline{\cdot}$	13	76	$\overline{\cdot}$	13
62	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{6}$	46	77	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{4}$	44
63	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{4}$	64	78	$\overline{C/\Pi}$	50
64	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{1}$	61			

### Г. Программадан фойдаланиш

Бажариладиган операциялар	Клавишлар
1. Машина манбага уланади.	
2. $h$ ва $r$ катталиклар қийматлари мос равишда 6 ва 4-регисторга юборилади	$\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{6}$ $\overline{X \rightarrow \Pi}$   $\overline{3}$
3. Машина программа режимига ўтказилади	$\overline{F}$   $\overline{\Pi P \Gamma}$
4. Программа киритилади, 28 ва 57 қадамлар ўлчашлар сони бўлиб, 8 тадан ошмаслиги керак	
5. Ҳисоблаш режимига ўтказилади	$\overline{F}$   $\overline{ABT}$   $\overline{B/O}$   $\overline{C/\Pi}$
6. Тажриба натижалари қуйидаги тартибда киритилади; 1	$\square$   $\overline{B \uparrow}$
$\alpha$	
7. Бир неча секунддан сўнг экранда $N$ нинг биринчи қиймати пайдо бўлади	
8. Кейинги ўлчанган катталиклар ҳам 6 пунктдаги тартибда киритилади.	
9. Ҳисобланган катталиклар қуйидаги тартибда чиқарилади $H_1$	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{e}$
$H_2$	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{a}$
$H_3$	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{c}$
$H_4$	$\overline{\Pi \rightarrow X}$   $\overline{b}$

Бажариладиган операциялар	Клавишлар
$H_5$	$\overline{ \Pi \rightarrow X }$ $\overline{ a }$
$H_6$	$\overline{ \Pi \rightarrow \bar{X} }$ $\overline{ 9 }$
$H_7$	$\overline{ \bar{\Pi} \rightarrow \bar{X} }$ $\overline{ 8 }$
$\bar{H}$	$\overline{ \Pi \rightarrow \bar{X} }$ $\overline{ 2 }$
$\Delta \bar{H}$	$\overline{ \Pi \rightarrow X }$ $\overline{ 6 }$
$S^2$	$\overline{ \Pi \rightarrow \bar{X} }$ $\overline{ 7 }$
$S$	$\overline{ \Pi \rightarrow X }$ $\overline{ 5 }$
$\alpha_n$	$\overline{ \Pi \rightarrow \bar{X} }$ $\overline{ 4 }$
<p>10. Барча катталиклар ҳисоблаш дафтарига ёзиб олинади ва машина тоқдан узилади.</p>	

## АДАБИЁТ

1. Ахмаджонов О. И. Физика курси. Т., Ўқитувчи 1981. 1984, 1985.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. М., Наука, 1986 — 1987, 1 — 3 т.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. М., Наука, 1977—1980, 1 — 4 т.
4. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. М., Высшая школа, 1978—1979, 1—3 қисм.
5. Зисман Г. А ва Тодес О. М. Курс общей физики, М., Наука, 1972—1974, 1—3 т.
6. Гершензон Е. М. ва бошқ. Курс общей физики, М., Просвещение, 1980—1982, 1—4 т.
7. Бекжонов Р. Ядро физикаси Т., Ўқитувчи, 1975.
8. Физический практикум. Иверонова В. И таҳрири остида, М., Наука, 1968.
9. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Гольдин Л. Л. таҳрири остида. М., Наука, 1983.
10. Назиров Э. Н. ва бошқ. Механика ва молекуляр физикадан практикум. Т., Ўқитувчи, 1979.
11. Андреев И. С. ва Султанова К. Электр ва магнетизмдан практикум. Т., Ўқитувчи, 1978.
12. Лабораторный практикум по физике. Ахматов А. С. таҳрири остида. М., Высшая школа, 1980.
13. Лабораторный практикум по физике. Солоухин Р. И, таҳрири остида. Новосибирск, 1976, 1, 2-қисм.
14. Е в г р а ф о в а Н. Н. Руководство к лабораторным работам по физике. М., Высшая школа, 1970.
15. Майсова Н. Н. Практикум по курсу общей физики. М., Высшая школа, 1970.
16. Кортнев А. В. ва бошқ. Практикум по физике. М., 1965.
17. Лабораторный практикум по общей физике. Гершензон Е. М. Малов Н. Н. таҳрири остида. М., Просвещение, 1985.
18. Физикадан практикум. Электр ва оптика. Ҳабибуллаев П. Қ. таҳрири остида. Т., Ўқитувчи, 1982.
19. Агапов В. Т. ва бошқ. Лабораторный практикум по физике, М., Высшая школа, 1982.



20. Горский Ф. К., Сакевич Н. М. Физический практикум с элементами электроники. Минск. Высшая школа, 1980.
21. Портис А. Физическая лаборатория. М., Наука, 1978.
22. Краткий словарь по радиоэлектронике. Попов Г. П. таҳрири остида. М. Воениздат, 1982.
23. Кетков Ю. Л. Программирование на языке БЭЙСИК. М., Наука, 1984.
24. Салтыков А. И. Семашко Г. И. Программирование для всех. М., Наука, 1986.

## М У Н Д А Р И Ж А

### Сўз боши

#### Лаборатория ишлари ва уларни бажариш ҳақида

1-§. Лаборатория машғулоти, уларни ташкил қилиш усуллари . . . . .	6
2-§. Ўлчашлар ва ўлчаш натижаларини ҳисоблаш. Хатоликлар ҳақида тушунча . . . . .	8
3-§. Лаборатория машғулотида контроль ўтказиш . . . . .	16
4-§. Студентлар учун методик кўрсатмалар . . . . .	19
5-§. Ҳитувчилар учун методик кўрсатмалар . . . . .	20

#### I боб. Механика, молекуляр физика ва термодинамика асослари

1-§. Содда ўлчов асбоблари ҳақида тушунчалар . . . . .	22
2-§. Температура ва уни ўлчаш усуллари . . . . .	27
3-§. Асбоблар билан танишиш . . . . .	30
1. Жисмларнинг чизиқли ўлчамларини аниқлаш . . . . .	30
2. Жисм массаларини ўлчаш ва зичликларини аниқлаш . . . . .	31
3. Музнинг эриш ва сувнинг қайнаш температурасини ўлчаш . . . . .	31
4. Қиздирилган жисмларнинг олган иссиқлик миқдорини ҳисоблаш ва суюқликларнинг со.иштира иссиқлик сифимларини аниқлаш . . . . .	32
5. Жисмларнинг иссиқликдан кен айишларини ўрганиш . . . . .	34
6. Азотнинг буғланиш иссиқлигини аниқлаш . . . . .	34
4-§. Механика бўлимига доир лаборатория ишлари . . . . .	35
1- лаборатория иши. Обербек маятнини ёрдами билан қаттиқ жисмларнинг айланма ҳаракат қонунларини кузатиш . . . . .	38
2- лаборатория иши. Маховик ғилдиракнинг инерция моментини аниқлаш . . . . .	44
3- лаборатория иши. Эркин тушиш тезланишини аниқлаш . . . . .	45
4- лаборатория иши. Тебранма ҳаракат қонунларини ўрганиш. Математик маятник ёрдамида эркин тушиш тезланишини аниқлаш . . . . .	51
5- лаборатория иши. Физик маятнининг инерция моментини аниқлаш . . . . .	55

6- лаборатория иши. Буралма тебранма ҳаракат усули билан ҳар хил жисмларнинг инерция моментларини ҳисоблаш . . . . .	57
5- §. Молекуллар физика ва термодинамика асосларини ўрганишга доир лаборатория ишлари . . . . .	62
7- лаборатория иши. Идеал газ қонунларини ўрганиш . . . . .	62
8- лаборатория иши. Ҳаво ёки газлар моляр иссиқлик сифмлари нисбатини аниқлаш . . . . .	66
9- лаборатория иши. Ҳаво ички ишқаланиш коэффициентини ўлчаш орқали молекулаларнинг ўртача эркин юриш йўл узунлиги ва эффе́ктив диаметрларини аниқлаш . . . . .	71
10- лаборатория иши. Идеал газ қонунларида фойдаланиб ҳавонинг олинган иссиқлик миқдорини ҳисоблаш . . . . .	75
11- лаборатория иши (ток усули билан суюқликларнинг ички ишқаланиш коэффициентини аниқлаш . . . . .	76
12- лаборатория иши. Қаттиқ жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини аниқлаш . . . . .	79
13- лаборатория иши. Суюқликларнинг сирт таранглик коэффициентини аниқлаш . . . . .	82

## II боб. Электр ва магнетизм

### Электр асбоблари ва уларнинг қўлланиши

1- §. Электр заңжирлари ва схемалари ҳақида тушунчалар . . . . .	86
2- §. Асосий физик катталикларни аниқловчи асбоблар . . . . .	88
3- §. Ўлчов асбобларининг сезгирлиги, бўлим қиймати ва хатоликлари . . . . .	93
4- §. Электр ўлчов асбобларининг ишлаш принципи ҳақида тушунчалар . . . . .	94
5- §. Рақамли ўлчов асбоблари . . . . .	96
6- §. Электр ўлчов асбобларининг қўшимча элементлари . . . . .	98
7- §. Электр катталиқларини ўлчашдаги баъзи хатоликлар . . . . .	98
8- §. Интеграл микросхемалар ҳақида тушунчалар . . . . .	99
9- §. Электр ўлчов асбоблари билан танишиш ва содда электр заңжирларини йиғишга доир ишлар . . . . .	102
1. Амперметр ва вольтметрни даражалаш . . . . .	102
2. Амперметрга шунт танлаш . . . . .	104
3. Вольтметрга қўшимча қаршилик танлаш . . . . .	105
4. Қаршиликларни амперметр ва вольтметр билан аниқлаш . . . . .	106
5. Гальванометрнинг ток ва кучланиш бўйича бўлим қийматини аниқлаш . . . . .	107
6. Ток манбаининг фойдали иш коэффициентини аниқлаш . . . . .	108
7. Авометрнинг қўлланиш усуллари билан танишиш . . . . .	109
8. Ўтказгич қаршиликларини турли усуллар билан аниқлаш . . . . .	109
9. Ғалтак индуктивлигини аниқлаш . . . . .	110
10. Осциллограф ишини ўрганиш . . . . .	110
11. Рақамли ўлчов асбоблари ишини ўрганиш . . . . .	112
10- §. Электростатика . . . . .	113
1- лаборатория иши. Электростатик майдон ўрганиш . . . . .	120
2- лаборатория иши. Кондензатор сифмларини куприк усули билан аниқлаш . . . . .	123

3-	лаборатория иши. Каттиқ жисмларнинг нисбий ди- электрик сингдирувчанлигини аниқлаш . . . . .	124
11- §	Узгармас ток қонуни . . . . .	126
4-	лаборатория иши. Ҳўтказгичлар қаршилигини Уит- тон кўприги ёрдами билан аниқлаш . . . . .	135
5-	лаборатория иши. Гальваник элементнинг электр юритувчи кучини компенсация усули билан аниқлаш	136
6-	лаборатория иши. Электр иситгич асбобларининг фойдали иш коэффициентини аниқлаш . . . . .	137
7-	лаборатория иши. Чўғланма лампа ишини ўрганиш	138
12- §	Турли муҳитларда электр токи контакт ҳодисалари	139
8-	лаборатория иши. Термопарани даражалаш, унинг донийсини аниқлаш . . . . .	153
9-	лаборатория иши. Термисторни даражалаш ва та- қиқлаш ан зона энергиясини аниқлаш . . . . .	154
10-	лаборатория иши. Диоднинг вольтампер характе- ристикасини ўрганиш ва унинг параметрларини аниқ- лаш . . . . .	155
11-	лаборатория иши. Тройднинг характеристикала- рини ўрганиш ва унинг параметрларини аниқлаш	157
12-	лаборатория иши. $p-n$ -ўтиш характеристикалари- ни ўрганиш . . . . .	158
13-	лаборатория иши. Транзисторнинг характеристика- ларини ўрганиш ва унинг параметрларини аниқлаш	159
13- §	Магнит майдон ва магнетиклар	160
14-	лаборатория иши. Ер магнит майдон кучланганлиги- нинг горизонтал ташкил этувчисини аниқлаш	169
15-	лаборатория иши. Тороиднинг магнит майдон куч- ланганлигини аниқлаш . . . . .	170
16-	лаборатория иши. Токли ғалтак магнит майдони энергиясини аниқлаш . . . . .	171
17-	лаборатория иши. Ферромагнит ҳодисасини ўрганиш	171
14- §	Электромагнит индукцияси ҳодисаси. Электромагнит тебранишлар	174
18-	лаборатория иши. Муҳитнинг магнит сингдирувчан- лигини аниқлаш . . . . .	182
19-	лаборатория иши. Индуктивлик ва сизим қаршилиқ- ларини аниқлаш . . . . .	183
20-	лаборатория иши. Кучланиш резонансини ўрганиш	184
<b>III боб. Оптика. Атом физикаси</b>		
1- §	Оптика ва оптик асбоблар ҳақида умумий маълумот- лар . . . . .	186
2- §	Оптик асбоблар билан танишув ишлари . . . . .	196
1.	Линзаларни ўрганиш . . . . .	196
2.	Микроскоп ёрдами билан шаффоф пластинкаларнинг синдириш кўрсаткичини аниқлаш . . . . .	197
3.	Ёруғлик манбаи ўлчами ва когерентлигини аниқлаш	198
4.	Фотометрик катталикларни ўрганиш . . . . .	199
3- §	Ёруғликнинг тўлқин хусусиятлари . . . . .	200
1-	лаборатория иши. Френель биризмаси ёрдами би- лан ёруғлик интерференциясини ўрганиш	218
2-	лаборатория иши. Ньютон ҳалқалари ёрдамида лин- занинг эгрилик радиуслари ва ёруғлик тўлқин узун- лигини аниқлаш . . . . .	221

3-	лаборатория иши. Линник интерферометри ёрдами билан яримшаффоф қаттиқ жисмлар сиртини ўрганиш . . . . .	224
4-	лаборатория иши. Фраунгофер дифракциясидан фойдаланиб ёруғлик тўлқин узунлигини аниқлаш . . . . .	225
5-	лаборатория иши. Дифракцион панжара ёрдами билан ёруғлик тўлқин узунлиги ва панжара доимийсини аниқлаш . . . . .	226
6-	лаборатория иши. Ёруғликининг тўлқиннинг қутбланиш ҳодисасини ўрганиш. Малюс қонунини текшириш . . . . .	227
7-	лаборатория иши. Шакар эритмаси концентрациясини поляриметр ёрдами билан аниқлаш . . . . .	228
4-§	Ёруғликининг моддалар билан таъсири ва унинг квант табиати Назарий маълумотлар . . . . .	230
8-	лаборатория иши. Суюқликларда ёруғликининг ютилиш коэффициентини аниқлаш . . . . .	242
9-	лаборатория иши. Ёруғликининг ютилиш ҳодисасини фотометр ёрдамида ўрганиш . . . . .	243
10-	лаборатория иши. Спектраль аппаратлар ишини ўрганиш . . . . .	244
11-	лаборатория иши. Ташқи фотоэффект қонуларини текшириш . . . . .	245
12-	лаборатория иши. Планк доимийсини аниқлаш . . . . .	245
13-	лаборатория иши. Вентилли фотоэлемент ишини ўрганиш . . . . .	247
14-	лаборатория иши. Фотоқаршиликларнинг ёруғлик характеристикаларини ўрганиш . . . . .	248
15-	лаборатория иши. Стефан-Больцман доимийсини аниқлаш . . . . .	248
5-§	Атом физикаси . . . . .	249
16-	лаборатория иши. Водород атоми спектрини ўрганиш . . . . .	253
17-	лаборатория иши. Франк ва Герц тажрибасини текшириш . . . . .	254

**IV боб. Касбий ва ижодий характердаги лаборатория ишлари**

1-§.	Касбий ишлар ҳақида тушунчалар . . . . .	255
2-§.	Касбий характердаги ишлар . . . . .	255
1-	лаборатория иши. Суюқликларда ультратовуш тўлқин узунлигини ўлчаш усули билан суюқликларнинг эластиклик коэффициентларини аниқлаш . . . . .	255
2-	лаборатория иши. Дифференцияловчи ва интегралловчи қурилмалар иши билан танишиш . . . . .	257
3-	лаборатория иши Ёруғлик диапазондаги сигналларни толали ёруғлик ўтказгичлари ёрдамида узатиш . . . . .	260
4-	лаборатория иши, Ҳаракатланаётган моддалар синдириш кўрсаткичинин лазер интерферометр ёрдамида аниқлаш . . . . .	261
5-	лаборатория иши. Голограмма ҳосил қилиш ва унинг тиклаш . . . . .	264
6-	лаборатория иши. Ярим ўтказгичлардаги асосий ток ташувчилар концентрациясини аниқлаш . . . . .	268
3-§.	Ижодий ишлар ҳақида тушунчалар . . . . .	270

4- §. Ижодий характердаги ишлар . . . . .	270
7- лаборатория иши. Эригма сирт таранглик коэффициентини унинг концентрациясига боғлиқлигини ўрганиш . . . . .	270
8- лаборатория иши. Электростатик майдоннинг миқдорий характеристикаларини аниқлаш . . . . .	270
9- лаборатория иши. Соленоид ўқидаги ва айланма ток марказидаги магнит майдонини ўрганиш . . . . .	271
10- лаборатория иши. Токли ғалтак магнит майдонини ўрганиш . . . . .	271
11- лаборатория иши. Электроннинг солишгирма зарядини аниқлаш . . . . .	272
И л о в а	
Лаборатория машғулотларида ЭҲМ дан фойдаланиш . . . . .	274
Адабиёт . . . . .	288

*На узбекском языке*

**Мамлакат Хайдарова**  
**Уткир Назаров**

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ**

*Учебное пособие для студентов технических Вузов*

*Ташкент „Ўқитувчи“ 1989*

**Махсус редактор Х. Ризаев**

**Редактор Б. Холлиев**

**Расмлар редактори С. Соин**

**Техредакторлар Н. Комиссарова, С. Турсунова**

**Корректор З. Содиқова**

**ИБ № 4387**

Геришга берилди 17.07.87. Босишга рухсат этилди 10.10.88. Формати 84 × 108/32. Тип. қоғози № 2. Кегли 10,8 шпонсиз. Гарнитура литературная. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л. 15,54. Шартли кр.-отт. 15,70. Нашр. л. 13,0. Тиражи 5000. Зак. 2776. Баҳоси 60 т.

„Ўқитувчи“ нашриёти. 700129. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома 18—276—87

Область газеталарининг М. В. Морозов номидаги босмаҳонаси ва бирлашган нашриёти. Самарқанд, У. Турсунов кўчаси, 82. 1988.

Объединенное издательство и типография областных газет имени М. В. Морозова Самарқанд, ул. У. Турсунова, 82.

X 18 Ҳайдарова М., Назаров Ў.  
Физикадан лаборатория ишлари: Техника  
олий ўқув юрт. студ. учун ўқув қўлланма.  
— Т.: Ўқитувчи, 1989.—296 б.

1. Автордош.

Ҳайдарова М., Назаров У. Лабораторные работы по  
физике: Учеб. пособие для студ. техн. вузов.

22.3я7