

Э. Н. НАЗИРОВ, З. А. ХУДАЙБЕРГАНОВА, Н.Х. САФИУЛЛИНА

МЕХАНИКА ВА МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКАДАН ПРАКТИКУМ

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва Ўрта махсус
таълим вазирлиги университетларнинг физика,
астрономия ва бошқа табиий фанлар
мутахассисликлари талабалари учун ўқув қўлланма
сифатида рухсат этган*

ҚАЙТА ИШЛАНГАН ВА ТЎЛДИРИЛГАН ИККИНЧИ НАШРИ

**ТОШКЕНТ
“ЎЗБЕКИСТОН”
2001**

Тақризчилар: У. АБДУРАҲМОНОВ, М. ЖҲРАЕВ
Муҳаррир — Ю. МУЗАФФАРҲҲАЕВ

Қўлланма умумий физиканинг физикавий механика ва молекуляр физика бўлиmlарига оид 31 та лаборатория ишини ўз ичига олади.

Унда университетларнинг бакалавриат босқичи физика мутахассислиги ўқув режаларидан жой олган физика практикуми ўқув дастурларининг талаblарига мос тарзда ўлчаш усулларининг таҳлилига, ўлчаш натижаларини ишлашнинг замонавий усулларига алоҳида эътибор берилган. Хусусан, ишларни бажариш давомида талабалар хатоликлар назариясининг катталигининг ўртача қиймати, мутлақ хатолик, ўртача мутлақ хатолик, нисбий хатолик, тасодифий ва муттасил хатолик, ўлчаш натижасининг ишончлилиги, ишонч оралигининг чегараси, ўртача квадратик хатолик каби тушунчалар ва уларни аниқлаш усуллари билан танишадилар.

Талабаларнинг бу усулларни татбиқ қилишга онгли ёндашишларига ёрдам мақсадида қўлланмага махсус “Ўлчаш натижаларини математик ишлаш” деб номланган бўлим киритилди.

Қўлланма олий ўқув юртларининг физика, астрономия ва бошқа табиий фанлар мутахассисликлари талабалари ва ўқитувчиларига мўлжалланган.

ISBN 5-640-02966-8

Н $\frac{1603010000 - 31}{M351(04)2000}$ 2001

© “ЎҚИТУВЧИ” нашриёти, 1979,
© “ЎЗБЕКИСТОН” нашриёти, ўзгаришлар билан, 2001 й.

Физикани ўрганишда тажриба муҳим ўрин тутadi. Физик қонуниятлар тажрибада аниқланади ва тажриба орқали текширилади. Талабалар физика лабораторияларида асосий физик ҳодисаларни ўрганадилар ва уларни таҳлил қилиш усуллари билан танишадилар.

Умумий физика курсидан практикум ўтказишда қуйидаги мақсадлар кўзда тутилади:

а) бўлажак физикларга асосий физик қонунларни ва ҳодисаларни чуқурроқ ўзлаштиришларига ёрдамлаштириш;

б) талабаларни илмий текшириш ишларига ижодий ёндошишга, тажриба усулини тўғри танлаш билан, физик катталиклар қийматларини ўлчашга ва уларни формулалар воситасида текширишга ўргатиш;

в) замонавий асбоб-ускуналар ҳамда физик ўлчаш натижаларини математик жиҳатдан ишлаб чиқиш усуллари билан таништириш.

Бу умумий мақсад физика практикумида талабаларнинг билим даражасига ва практикумнинг асбоб-анжомлар билан таъминланганлик даражасига қараб, ҳар бир муайян ҳолда турлича йўللار билан амалга оширилади.

Физика практикумида талабалар олдига қўйиладиган масалалар умумий кўринишда қуйидаги уч хил вариантда бўлиши мумкин:

1. Физик катталиклари ўлчашнинг энг мақбул усули ва ўлчаш асбоблари комплекси талабага кўрсатиб берилади;

2. Ўлчаш усули кўрсатилади, лекин ўлчаш усули учун керакли асбобларни талабанинг ўзи танлайди;

3. Талабага муайян физик катталиклари кўрсатилган аниқлик билан ўлчаш тошпирилади. Қўйилган масалани энг яхши ҳал қилишга имкон берувчи усулни ва ўлчаш асбобларини талабанинг ўзи танлайди.

Ушбу қўлланма ўз ичига олган ишлар I-вариантга мансуб бўлиб, улар дастур талабларини қаноатлантиради ва талабалар уларни уддалай оладилар.

Қўлланма икки бўлимдан иборат бўлиб, биринчи бўлимда тажрибавий ўлчаш натижаларини математик ишлаш усуллари,

иккинчи бўлимда эса механика, молекуляр физика ва термодинамикага оид ишлар баёни берилади.

Физика практикумининг ўз олдига қўйган асосий мақсадларидан бири — муайян ўлчаш усулини ва ўлчаш натижаларини тўғри таҳлил ва талқин қилишга ўргатишдир.

Тажрибада олинган маълумотлар ҳамма вақт бирор хатоликка эга бўлади. Бу хатоликнинг юзага келишига асосан тажриба шароити, ўлчаш усулининг ва физик асбобларининг номукамаллиги сабаб бўлади. Ўлчаш хатолиги кўрсатиб берилгандагина ўлчаш натижаси, яъни олинган маълумотлар муайян маъно касб эта бошлайди. Мана шундай тарзда ишланган тажриба натижасини назарий маълумотлар ёки жадвал маълумотлари билан таққослаб кўриш мумкин

Хатоликларни аниқлашнинг қўлланмада баён қилинган усуллари ўзлаштириб олишнинг ўзи топпириқни муваффақиятли яқунлаш учун етарли эмас. Гап шундаки, хатоликни ҳисоблашнинг қатор усуллари ичидан муайян тажрибанинг физик моҳиятини тўғри ва яққол очиб берадиганини танлаб билиш жуда муҳимдир. Бу ижодий жараён талабадан муайян ўқувни, синчковликни, мантиқий таҳлил малакасини тақозо қилади. Дастлабки икки курс ўқуви давомида талабалар билим даражаларига кўра бундай масалани мустақил ҳал қилиш имконига эга эмаслар. Шунинг назарда тутиб, ушбу қўлланмага киритилган лаборатория ишларининг ҳар бирида ўлчаш натижаларини ишлашда ва уларнинг аниқлигини баҳолашда қўлланилиши лозим бўлган усул кўрсатилади. Баъзи ҳолларда бирор муайян ишда олинган ўлчаш натижаларини қўлланмада кўрсатилган усулда ишлаш билан бир қаторда, ўқитувчи томонидан кўрсатилган бирор бошқа усулда ҳам ишлаш мумкин. Шунинг билан бирга, баъзи ҳолларда муайян натижаларни у ёки бу мақбул усул билан ишлашнинг талаба томонидан тавсия қилиниши ҳам истисно қилинмайди.

Қўлланмага киритилган ишлар нуқтавий ва қаттиқ жисм динамикасига, қайишқоқ деформацияларга, тебранишларга, тўлқинларга, модданинг кинетик назариясига, газлар ва суюқликлардаги кўчиш ҳодисаларига, суюқликлардаги сирт ҳодисаларига, моддаларнинг фазавий ўтишларига, газ, суюқлик ва қаттиқ жисмларнинг иссиқлик хоссаларига ва термодинамикага таллуқлидир.

Ушбу қўлланманинг биринчи нашридан буён 20 йилдан ортиқ вақт ўтди. Бу йиллар давомида республикамызда олий таълим тузилмасида юз берган жиддий мазмуний ва тизимий ўзгаришлар, университетлар сонининг кескин кўпайиши, физик мутахассислар тайёрлаш кўламининг ортиши, уларнинг малакасига қўйилаётган юқори талаблар янги ўқув қўлланмаларига

булган эҳтиёжни оширди. Муаллифлар қўлланмани қайта нашрга тайёрлаш жараёнида ҳозирги замон физика практикуми дастурларининг талабларига мос равишда унга ўнга яқин янги ва анъанавий ишлар тавсифномаларини киритдилар, бир қатор ишларни қайта ишладилар. Қўлланманинг атамалари ва тилини ҳозирги кун талаблари нуқтаи назаридан қайта кўриб чиқиш зарурияти ҳам вужудга келган эди,— бу ишлар ҳам амалга оширилди.

Ушбу қўлланмани яратишда муаллифлар Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университетининг физика факультетида умумий физика практикумини ташкил қилиш ва ўтказиш борасида йиғилган кўп йиллик тажрибани акс эттиришга ҳаракат қилдилар.

ЎЛЧАШ НАТИЖАЛАРИНИ ИШЛАШ

1-§ ФИЗИК КАТТАЛИКЛАРИНИ ЎЛЧАШ

Физика фани бизни ўраб олган моддий дунёдаги ҳодисалар ҳақидаги маълумотларни тажриба воситасида йиғади. Лаборатория шароитида муайян ҳодисага у ёки бу омилнинг таъсирини ўрганиш мақсадида физикавий тажриба ўтказилади. Жисмлар хоссаларини ва ҳодиса табиатини тўла очиш учун шу хусусиятларни тавсифловчи муайян физик катталиклар киритиш ҳамда улар ёрдамида турли хил сифатий жиҳатларни миқдорий баҳолаш зарур. У ҳолда ҳодисанинг турли хоссалари орасидаги муносабат физик катталиклар орасидаги муносабат орқали акс этади. Физик катталик — бирор сифатни миқдорий тавсифловчи катталикдир. Физик катталиклар ёрдамида ҳар қандай жараёни математик ифодалаш мумкин. Шунинг учун физик жараёнларни кузатиш ва ҳар хил физик катталикларни ўлчаш алоҳида аҳамиятга эга. Физик катталикни ўлчаш уни эталон қилиб қабул қилинган бир жинсли миқдор билан ўзаро солиштириш жараёнидан иборатдир. Ўлчашларни иккига бўлиш мумкин:

- 1) бевосита ўлчаш,
- 2) билвосита ўлчаш.

Бевосита ўлчашда ўлчанаётган физик катталик тўғридан тўғри эталон билан ёки тегишли бирликларда даражаланган ўлчаш асбоблари билан солиштирилади. Бирор масофа оралиғини чизғич, штангенциркуль билан ўлчаш, термометр ёрдамида температурани ўлчаш, амперметр ва вольтметрлар ёрдамида мос равишда ток кучини ва кучланишни ўлчашлар бевосита ўлчашга мисол бўла олади. Ўлчанаётган катталикнинг қиймати бевосита асбобнинг шкаласи бўйича ҳисобланади ёки шкаладаги бўлимлар сони аниқланиб, уни бир бирликка тенг қилиб олинган қийматига кўпайтирилади.

Билвосита ўлчашда аниқланадиган катталик бевосита ўлчаниши мумкин бўлган катталиклар орасидаги функционал боғланишдан аниқланади. Масалан, текис ҳаракат тезлигини ўлчаш учун муайян вақт оралиғида босиб

ўтилган s йўл ва t вақтни бевосита ўлчаб, сўнгра тезлик улар орасидаги $v = \frac{s}{t}$ боғланишдан ҳисобланади. Шунин-

гдек, жисм зичлиги ρ ни аниқлаш учун бевосита жисмнинг m массасини ва V ҳажмини ўлчаб, сўнгра улар орасидаги $\rho = \frac{m}{V}$ боғланишдан зичлик ҳисобланади.

Физик катталиқни аниқлаш учун қуйидаги амаллар кетма-кет бажарилиши керак:

- 1) асбобларни ўрнатиш ва текшириш;
- 2) асбобларнинг кўрсатишини кузатиш ва ёзиб олиш;
- 3) ўлчашлар натижасидан фойдаланиб, аниқланиши керак бўлган физик катталиқни ҳисоблаш;
- 4) хатоликни ҳисоблаш.

Тажрибачи сезги аъзоларининг табиий ҳолда хатоликка йўл қўйиши ва ўлчов асбобларининг мукаммаллашмаганлиги туфайли ҳар қандай ўлчашда физик катталиқнинг тақрибий қиймати аниқланади. Демак, ҳар қандай ўлчашни маълум аниқликдагина бажариш мумкин. Масалан, агар пластинканинг қалинлиги штангенциркуль ёрдамида 0,1 мм аниқлик билан ўлчанса, пластинканинг ҳақиқий қалинлиги ўлчанган қалинликдан 0,1 мм дан ортиқ фарқ қилмайди. Ўлчаш аниқлиги, аввало, ўлчов асбобининг аниқлиги билан белгиланади. Физик катталиқни асбоб аниқлигидан катта аниқликда ўлчаш мумкин эмас.

Асбобнинг аниқлиги унинг шкаласининг энг кичик улуши билан тавсифланиб, у топилган қийматнинг ўлчанаётган катталиқнинг ҳақиқий қийматига яқинлашиш даражасини белгилайди. Асбоб аниқлиги асбобнинг синфи билан берилади ва унинг паспортида кўрсатилган бўлади.

Айрим ўлчашда асбоб хатолиги унинг аниқлигига боғлиқ. Бу хатолик асбоб шкаласидан ҳисоблаш мумкин бўлган энг кичик улушнинг $\pm 0,5$ га тенг. Масалан, агар термометр шкаласининг энг кичик улуши $0,2^\circ$ га тенг бўлса, унинг хатолиги $\pm 0,1^\circ$ га тенг бўлади, тарозида

ўлчашда энг кичик тош массаси 10 мг бўлса, тарозининг хатолиги деб ± 5 мг олинади. Асбоб қанчалик аниқроқ бўлса, хато шунчалик камроқ бўлади.

Ўлчов асбобининг шкаласидан олинадиган ҳисобнинг аниқлигини ошириш билан ўлчаш аниқлигини ўзгартира олмаймиз. Масалан, қалам узунлигини сантиметрга бўлинган шкалали чизғич ёрдамида ўлчанганда, унинг шкаласига лупа воситасида қараш билан чизғичнинг аниқлигини ўзгартира олмаймиз.

Ҳар бир лаборатория ишида ҳар хил физик катталиклар турли аниқликда ўлчанади. Бирор ўлчашнинг аниқлиги бошқаларининг аниқлигига таъсир қилади. Шунинг учун билвосита аниқланадиган физик катталиклари ўлчашдан олдин унинг аниқлигига энг катта таъсир кўрсатадиган ўлчаш хатолигини аниқ билиб олиш лозим.

Агар физик катталиклар ҳар хил аниқликда ўлчанса, айрим ўлчаш аниқлигини энг кам аниқлик билан ўлчанган катталик аниқлигидан оширишга интилишнинг ҳожа-ти йўқ. Масалан, калориметрик ўлчашларда сувнинг ва калориметрнинг массасини 0,1 мг аниқликда ўлчаш мумкин. Сувли калориметрнинг массаси 200 г бўлганда уни 0,00005% аниқликда ўлчаш имкони бор. Лекин бундай ўлчашларда температурани ўлчаш аниқлиги $0,1^\circ$ га ва ўлча-наётган температура 5°C га тенг бўлганда ўлчаш аниқли-ги 2% бўлади. Шунинг учун калориметрик ўлчашда сув-нинг массаси аниқлиги 100 мг га тенг бўлган тарози би-лан ўлчанса ҳам бўлади. Бунда ўша 200 г массани 0,1% аниқлик билан ўлчаган бўламиз.

Охирги натижа аниқлигини ошириш учун ҳар қандай физикавий катталиклари бир хил тажриба шароитида бир марта эмас, бир неча марта ўлчаш керак.

2-§. ХАТОЛИК ТУРЛАРИ

Ҳар қандай ўлчашлар ҳамма вақт қандайдир хатолик-лар билан бажарилади. Бу хатоликлар икки гуруҳга — *мут-тасил* ва *тасодиқий* хатоликларга бўлинади.

1. Муттасил хатолик — ҳамма вақт мавжуд бўладиган хатоликдир. Асбобнинг нотўғри ўрнатилишидан (асбобни тайёрлаш аниқлигига боғлиқ бўлган хатолик) ва ўлчаш усулининг нотўғри танланишидан келиб чиқадиган хатоликлар муттасил хатоликлардир. Бу хатоликлар баъзи ташқи омиллар таъсирида, масалан, чизғич шкаласининг нотекис даражаланишидан, термометр нолининг ҳақиқий ноль температурага мос келмаслиги, термометр капилляри кесим юзининг капилляр бўйича бир хил бўлмаслиги, амперметрдан электр ток ўтмаган вақтда унинг мили (стрелкаси)нинг шкала нолига мос келмаслиги ва бошқалар туфайли ҳам пайдо бўлади. Суюқлик ва газнинг ҳажмини ўлчашда температура ўзгариши сабабли уларнинг ҳажмий кенгайишини; массани ўлчаганда ўлчанаётган жисмга, тарози тошларига ҳаво томонидан таъсир этувчи итариб чиқариш кучи таъсир қилишини ва калориметрик ўлчашларда асбобнинг ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинишини ҳисобга олмаслик туфайли муттасил хатоликка йўл қўйилади.

Баъзи бир физик катталиклар қийматини жадвалдан олганда (зичлик, солиштирма иссиқлик сифими, қайишқоқлик модуллари ва бошқ.), уларни яхлитлаганда, шунингдек, формулага кирувчи баъзи доимийлар (π , e — натурал логарифмнинг асоси, g , $\sqrt{2}$ ва бошқ.)нинг тақрибий қийматларини олганда муттасил хатоликка йўл қўйилади. Масалан, $\pi = 3,14159265$ деб олиш ўрнига $\pi = 3$; $\pi = 3,1$; $\pi = 3,14$; $\pi = 3,142$ деб, сувнинг синдириш кўрсаткичи учун $n = 1,333$ деб олиш ўрнига $n = 1,3$; $n = 1,33$ деб олсак ҳам биз ҳар сафар муттасил хатоликка йўл қўйган бўламиз. Муттасил хатолик аниқ сабаблар туфайли юз бериб, унинг катталиги тақрорий ўлчашларда ўзгармай қолиши ёки муайян қонун бўйича ўзгариши мумкин. Ўлчаш усулини ўзгартириб, асбобнинг кўрсатишларига тузатишлар киритиб, муттасил равишда таъсир қилувчи ташқи омилларни ҳисобга олиш билан бу хатоликни камайтириш мумкин.

2. Тасодифий хатоликлар — олдиндан ҳисобга олинини қийин бўлган ва ҳар бир ўлчашга таъсири ҳар хил бўлган тасодифий сабабларга кўра юз берадиган хатоликлардир. Масалан, электр ўлчашларда электр тармоқдаги

кучланишнинг ўзгариши, пластинка қалинлигини ўлчаганда қалинликнинг ҳамма жойда бир хил бўлмаслиги, ўлчашларда асбоб шкаласининг етарлича ёритилмаслиги, асбобларнинг стол устида яхши жойлаштирилмаслиги, сезги аъзоларимизнинг табиий нокомиллиги оқибатида тасодифий хатоликка йўл қўямиз. Бу хатоликлар туфайли бирор физик катталикини бир неча марта ўлчаганда ҳар хил қиймат олинади.

Айрим ўлчашдаги тасодифий хатоликни йўқотиб бўлма-са-да, тасодифий ҳодисалар тўғрисидаги математик назариядан фойдаланиб, бу хатоликнинг ўлчаш натижасига таъсирини камайтириш ва хатолик катталигини ҳисоблаш учун маъқулроқ бўлган ифодани аниқлаш мумкин. Тасодифий хатоликни камайтириш учун аниқланаётган физик катталикини бир марта эмас, бир неча марта такрорий ўлчаш керак. Агар тасодифий хатолик муттасил хатоликдан катта бўлса, тасодифий хатоликни камайтириш ва унинг асбоб хатолиги билан бир хил даражада бўлиши учун ўлчашлар сонини орттириш лозим.

Муттасил ва тасодифий хатоликлардан ташқари яна *қўпол хатоликлар* ҳам бўлади. Қўпол хатолик кузатиш ва ўлчашлар нотўғри бажарилиши туфайли юз беради. Ҳисоблашда бундай натижалар ҳисобга олинмаслиги керак. Бу хатолик шкала бўйича бепарво ҳисоб олишдан, натижаларни пала-партиш ёзишдан келиб чиқади. Бундай қўпол хатоликни йўқотиш учун ёзилганларни қайта қараб чиқиб, ўлчашларни қайта бажариш керак. Ҳар қандай ўлчашда қўпол хатоликни йўқотишнинг бирдан-бир усули — ўлчашни жуда пухталиқ ва эътибор билан қайта бажаришдир.

Бевосита ўлчаш натижаларининг хатолиги

Ўлчаш давомида ўлчаш асбоби берадиган хатоликдан бошқа ҳар хил муттасил хатоликлар ва қўпол хатоликлар йўқотилган деб фараз қилиб, бевосита ўлчаш хатоликларини назариясининг асосий қоидаларини қараб чиқамиз. Қуйида келтириладиган хатоликлар назариясида тасодифий хатоликлар сон қиймат жиҳатидан муттасил хатоликлардан катта деб фараз қилинган.