

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы
ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

МЕХАНИКА

ЖАЛПЫ ФИЗИКАЛЫҚ ПРАКТИКУМ

жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы

Алматы

«Қазақ университеті»

2014

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің физика-техникалық факультетінің Ғылыми Кеңесі баспаға ұсынған

Авторлар:

С.И.Исатаев, Ә.С.Асқарова, И.В.Локтионова, С.А.Бөлегенова,
Ж.Ө.Өмірбеков, Г.Төлеуов, В.В.Кашкаров,
О.А.Лаврищев, И.Н.Корзун, М.С. Исатаев, Қ.А.Есеналина

П і к і р ж а з ғ а н д а р:

Физика-математика ғылымдарының докторы,
профессор **Рамазанов Т.С.**

Алматы мемлекеттік университетінің радиациялық физика
кафедрасының меңгерушісі, физ.-мат. ғылымдарының докторы,
профессор Мұқашев Қ.

Механика. Жалпы физикалық практикум. Жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған оқу құралы. /С.И.Исатаев, А.С.Асқарова, В.В.Кашкаров, И.В.Локтионова, С.А.Бөлегенова, Ж.Ө.Өмірбеков, Г.Төлеуов, В.В.Кашкаров, О.А.Лаврищев, И.Н.Корзун, М.С. Исатаев, Ж.Қ.Шортанбаева –Алматы: Қазақ университеті, 2014.-175 б.

ISBN 9965-489-25-4

Оқу құралы университеттердің жалпы физика курсы бойынша бағдарламасына сәйкес жазылған. Түзетілген және толықтырылған екінші басылым жалпы физика курсының «Механика. Жалпы физикалық практикум» бөлімі бойынша 17 жұмысты қамтиды. Әрбір жұмыста қысқаша теориялық материал, эксперименттік құрылым және жұмыс тапсырмалары мен әдістемесі, алынған эксперименттік деректерді өңдеу жолдары келтірілген.

Оқу құралын физика және физика-техника мамандықтары бар жоғары оқу орындарында пайдалануға болады.

ISBN 9965-489-25-4 © "Қазақ университеті", баспасы 2014ж.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	4
№1 ӨЛШЕУ НӘТИЖЕСİNДЕ ПАЙДА БОЛАТЫН СТАТИСТИКАЛЫҚ ЗАҢДЫЛЫҚТАР	19
№2 ҰЗЫНДЫҚТЫ, АУДАНДЫ ЖӘНЕ КӨЛЕМДІ ӨЛШЕУ	30
№3 ДИСКІНІҢ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІН АНЫҚТАУ	40
№4 ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ АЙНАЛМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС ДИНАМИКАСЫНЫҢ НЕГІЗГІ ЗАҢЫН ЗЕРТТЕУ	53
№5 ФИЗИКАЛЫҚ МАЯТНИКТИҢ ТЕРБЕЛІС ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫН ЗЕРТТЕУ	64
№6 КӨЛДЕНЕҢ ҚИМАСЫ АЙНЫМАЛЫ ТҮТІК ІШІНДЕГІ СҰЙЫҚТЫҢ СТАЦИОНАР ҚОЗҒАЛЫСЫ. БЕРНУЛЛИ ТЕОРЕМАСЫН ТЕКСЕРУ	76
№7 КӨЛБЕУ МАЯТНИКТИҢ ТЕРБЕЛІС ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫН ЗЕРТТЕУ	92
№8 АЙНАЛМА МАЯТНИКТИҢ КӨМЕГІМЕН ДЕНЕЛЕРДІҢ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІН АНЫҚТАУ	102
№ 9 ШАРЛАРДЫҢ СЕРПІМДІ СОҚТЫҒЫСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЮНГ МОДУЛІН АНЫҚТАУ	114
№10 БАЛЛИСТИКАЛЫҚ–АЙНАЛМА МАЯТНИКТИҢ КӨМЕГІМЕН ОҚТЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН АНЫҚТАУ	123
№11 СҰЙЫҚТЫҢ ТҮТҚЫРЛЫҒЫН СТОКС ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ	130
№12 АУДАРЫЛМАЛЫ МАЯТНИКТИҢ КӨМЕГІМЕН АУЫРЛЫҚ КҮШІНІҢ ҮДЕУІН АНЫҚТАУ	139
№13 СЫБАЙЛАС ЖҮЙЕЛЕР ТЕРБЕЛІСІН ЗЕРТТЕУ	147
№14 ДЕНЕЛЕРДІҢ АУЫРЛЫҚ ӨРІСІНДЕГІ ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ ІЛГЕРІЛЕМЕЛІ ҚОЗҒАЛЫС ЗАҢДАРЫН АТВУД МАШИНАСЫНДА ЗЕРТТЕУ	160
№ 15 ГИРОСКОП	166
№ 16 МАКСВЕЛЛ МАЯТНИГІНІҢ КӨМЕГІМЕН ЖАЗЫҚ ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ ДИНАМИКАСЫН ЗЕРТТЕУ	
№ 17 ЖЕРДІҢ АУЫРЛЫҚ ӨРІСІНДЕГІ ДЕНЕЛЕРДІҢ ЕРКІН ҚҰЛАУЫ ҚОСЫМША	173

К і р і с п е

Физикалық практикумның негізгі мақсаты – лекциялық курстарда алған теориялық білімнің негізінде физикалық құбылыстар мен процестерді және түрлі физикалық заңдылықтарды практика жүзінде жаңғыртып зерттеп, физикалық шамалардың арасындағы сандық қатынастарды іс жүзінде алу. Сонымен бірге, физикалық практикум сабақтарында студенттер түрлі мақсатта қолданылатын құрал-саймандар мен арнайы приборлармен жұмыс істеуді үйренеді және тәжірибе жүзінде алынған мәліметтерді математикалық өңдеудің айла-тәсілдерін меңгеріп, қорытынды нәтижеге сараптау жасауға дағдыланады.

Физикалық өлшеулер

Тәжірибе барысында алуан түрлі өлшеулер жасалынады.

Өлшеу деп белгілі бір физикалық шаманың мәнін тәжірибе жүзінде табу арқылы физикалық объектінің қасиеттерінің сандық сипатын анықтауды айтады. Физикалық практикумның негізгі өлшеулері екі немесе одан да көп физикалық шамалардың арасындағы функциялық тәуелділікті табуға бағытталған.

Өлшеулердің бірнеше түрі болады. Өлшеулерді өлшенетін шаманы уақытқа тәуелділік сипатына қарай, өлшеу мәліметінің дәлдігіне әсер етуші шарттарға байланысты және алынған мәліметті өңдеу әдістеріне қарай классификациялайды. Уақытқа тәуелділігіне байланысты өлшенетін шама *статистикалық* және *динамикалық* болып бөлінеді.

Уақыт бойынша физикалық шаманың мәні тұрақты болса, мұндай өлшеу-статистикалық деп аталады. Мысалы: денелердің геометриялық өлшемдерін, массасын, ыдыс ішіндегі тұрақты қысымды, т.б. өлшеу.

Егер уақыт бойынша өлшенетін шаманың мәні өзгеріп отыратын болса, онда мұндай өлшеуді динамикалық өлшеу деп атайды. Мысалы: өшетін тербелістің амплитудасын, жылдамдықтың лүпілін, т.б. өлшеу.

Өлшеулер мәліметтерін алу әдісі бойынша өлшеулер тікелей, жанама, жиынтықты және үйлесімді болып бөлінеді.

Тікелей өлшеу деп ізделініп отырған мәнді тәжірибе барысында өлшеу құралының көмегімен бірден анықтауды айтады. Бұл жағдайда физикалық шаманың мәні өлшегіш құралды объектіге жанастыру (тиістіру) арқылы табылады. Мысалы: дененің өлшемін микрометрмен, уақытты секундомермен табу т.б.. Тікелей өлшеуді

$$x=Q$$

формуласымен өрнектеуге болады, мұнда x -табылатын шаманың мәні, ал Q -тәжірибеден тікелей анықталған мәлімет. Тікелей өлшеулер машина жасау өндірісінде, технологиялық процестерді бақылауда кеңінен қолданылады.

Жанама өлшеу деп табылатын шаманың мәнін өлшегіш құралды объектіге жанастырмастан, тікелей өлшеу нәтижелері мен ізделініп отырған шамалардың арасындағы белгілі функциялық тәуелділіктің көмегімен табуды айтады. Жанама өлшеуді мынадай формуламен өрнектеуге болады

$$x=f(Q_1, Q_2, Q_3, \dots),$$

мұнда x - табылатын шаманың мәні,

Q_1, Q_2, Q_3, \dots -тікелей әдіспен табылған шамалар. Жанама өлшеулерге көптеген мысалдар келтіруге болады. Мысалы тікелей өлшеу әдісімен табылған денелердің геометриялық өлшемдерін пайдаланып, олардың көлемін есептеп табу, өткізгіштің кедергісін, ұзындығын және көлденең қимасының ауданын тікелей өлшеп, оның меншікті кедергісін табу, т.б..

Техника мен ғылымда жанама өлшеу әдісі кеңінен қолданылады. Себебі көп жағдайда тікелей өлшеу мүмкін болмайды. Мысалы, миллиметрлік немесе сантиметрлік өлшемдерді тікелей микрометр немесе штангенциркульдің көмегімен өлшеу оңай болса, астрономиялық қашықтықтарды, атом бөлшектерінің өлшемдерін тек жанама әдістермен өлшеу мүмкін.

Тікелей және жанама өлшеулер әдістерімен алынған мәліметтердің арасында айтарлықтай принциптік өзгешелік жоқ тек өлшеулер қателігін, алынған мәліметтердің дәлдігін анықтауда әртүрлі әдістер қолданылады.

Жиынтықты өлшеу деп бірнеше аттас шамаларды бір мезгілде өлшеуді айтады. Бұл жағдайда, осы шамаларды олардың әртүрлі терулері үшін тікелей өлшеп ізделетін шаманы теңдеулер жүйесін шешу арқылы табады. Жиынтықты өлшеуге мысал ретінде кір тастарының әртүрлі терулерін тікелей өлшеп, бір тастың массасын біле отырып, қалғандарының массасын анықтау жатады.

Айталық, 1, 2, 2*, 5, 10 және 20 кг тастардың массасын анықтау керек болсын (жұлдызшамен дәл сондай номиналды массасы бар тас белгіленген). 1 килограммдық тас үлгі тас болсын. Біздің мақсатымыз осы үлгі тас арқылы басқа тастарды калибрлеу. Ол үшін кір тастарының терулерін өзгерте отырып өлшеулер жасаймыз (цифрлар жеке тастың массасын көрсетеді; $1_{\text{үл}}$ килограммдық үлгі тастың массасын білдіреді):

$$1 = 1_{\text{үл}} + a$$

$$1 + 1_{\text{үл}} = 2 + b$$

$$2^* = 2 + c$$

$$1 + 2 + 2^* = 5 + d - \text{және т.б.,}$$

мұнда a, b, c, d әріптері кір тастарының массасына қосылатын немесе одан алынып тасталатын жүктерді білдіреді. Осы теңдеулер жүйесін шешсек, әр тастың мәнін анықтауға болады.

Үйлесімді өлшеу - екі немесе одан да көп әр аттас шамаларды бір мезгілде өлшеп, олардың арасындағы тәуелділікті табу. Үйлесімді өлшеуге мысал ретінде 20°C температурадағы өткізгіштің кедергісін және әртүрлі температурада өлшегіш резистордың температуралық коэффициентін өлшеуді келтіруге болады.

Алынған мәліметтің дәлдігіне байланысты өлшеулер үш классқа бөлінеді:

1. Ең жоғарғы дәлдікті өлшеулер. Бұларға эталондық өлшеулер, физикалық тұрақтыларды (әсіресе, универсал тұрақтыларды) өлшеу жатады.

2. Бақылау- сәйкестеу (контрольно-проверочные) өлшеулер.

Бұларға өлшеу техникасының жүйелік қателігінің белгілі мөлшерден асып кетпеуін және тағайындалған стандартқа сәйкес келуін қадағалайтын мемлекеттік бақылау лабораториялары жүргізетін өлшеулер жатады.

3. Техникалық өлшеулер. Олардың дәлдігі өлшеу құралдарының сипаттамаларымен анықталады. Техникалық өлшеуге ғылыми-зерттеу жұмыстарындағы, өндірістегі т.б. өлшеулер жатады.

Физикалық шамалардың өлшем бірліктері

Физикалық шамалар арасында функциялық байланыстар бар болғандықтан олардың өлшем бірліктерін еркін түрде тағайындауға болмайды.

Еркін түрде тек жеті физикалық шаманың өлшем бірліктері тағайындалған. Олар: ұзындық (метр), масса (килограмм), уақыт (секунда), температура (Кельвин), ток күші (Ампер), жарық күші (кандела). Негізгі бірліктерге қосымша бірліктер: жазық бұрыш (радиан), денелік бұрыш (стерадиан). Міне, осылар халықаралық (СИ) бірліктер жүйесінің негізгі өлшем бірліктері болып табылады. Қалған шамалардың бірліктері олардың негізгі шамалармен қатынастарының негізінде қорытып шығарылады. Бұл шамалар туынды шамалар, ал олардың бірліктері туынды бірліктер деп аталады.

Өлшеулер қателігі. Қандай да бір физикалық шаманың сандық мәнін абсолют дәл өлшеу мүмкін емес. Себебі, біріншіден, абсолют дәл өлшей алатын прибор болмайды, екіншіден, адамның сезім мүшелерінің мүмкіндіктері шектеулі. Сондықтан лабораториялық жұмыстардың немесе басқа да техникалық өлшеулердің қорытынды мәліметтерін есептегенде олардың қателіктерін көрсету міндетті. Пайда болу табиғатына қатысты өлшеулер қателігі

жүйелік, кездейсоқ және ағаттық болып үш түрге бөлінеді.

Жүйелік қателіктер *өлшегіш прибордың жетілмегендігінен, ақауынан, бастапқыда көрсеткіш жебесінің (стрелкасының) нөлде тұрмауынан және өңдеу әдістемесінің дұрыс қолданылмауынан пайда болады.* Бір шаманы бірнеше рет қайталап өлшегенде жүйелік қателіктің шамасы мен бағыты өзгермейді. Демек, жүйелік қателіктер прибор қателіктері, әдістемелік қателіктер және өңдеу қателіктері болып бөлінеді.

Прибор қателіктері.

Өлшеуге арналған қандай прибор болмасын белгілі бір дәлдікпен ғана өлшей алады. Өндірістік мақсатта шығарылатын электр өлшегіш приборлардың (амперметрлер, вольтметрлер, потенциометрлер т.б.) жүйелік қателіктері олардың дәлдік класымен анықталады. Дәлдік класы әдетте процентпен беріледі. Мысалы, дәлдік класы 0,2 % ке тең амперметр токтың мәнін толық шкалаға сәйкес 0,2 % тен аспайтын дәлдікпен өлшейді. Бұл қателік шкаланың кез келген жері үшін тұрақты. Әрине бұл максимал қателік. Ал ғылыми еңбектерге орташа квадраттық қателікті көрсету қалыптасқан. Себебі, көптеген өлшеулердің ішінде бірекі өлшеу қателігі басқаларынан артық (максимал) болуы мүмкін. Оны барлық өлшеулердің қателігі ретінде көрсетуге, әрине, болмайды. *Электр өлшегіш приборлардың орташа квадраттық қателігін бағалау үшін сол прибордың дәлдік класы беретін қателікті екіге бөлу қажет.*

Жоғарыда айтқандай, электр өлшегіш прибордың дәлдік класы прибордың стрелкасының шкаланың қай жерде тұрғанына қатыссыз максимал абсолют қателігін береді. Ал салыстырмалы қателік шкаладағы стрелканың орнына тікелей тәуелді, себебі, ол абсолют қателіктің стрелканың көрсету мәніне қатынасын білдіреді. Сондықтан өлшегенде, қандай прибор болмасын, шкаланың екінші жартысымен жұмыс істеген дұрыс.

Стрелканың көрсетуін көзбен көрудің де мәні бар. Өртүрлі бұрышпен қараса стрелка әр түрлі цифр көрсетеді. Прибордың көрсеткішін жазғанда, шкала жазықтығына перпендикуляр қарап, стрелка өз көленкесін жауып тұратындай жағдайда бақылау керек.

Әдістемелік қателіктер.

Мұндай қателіктерге, біріншіден, тәжірибе әдістемесінің қателіктері жатады. Мысалы, айталық, механика лабораториясындағы №3 жұмыста дискінің инерция моментін динамикалық әдіспен табуда валдың үйкеліс күшін ескермеу, №6 жұмыста идеал сұйық үшін қорытылып шығарылған Бернулли теңдеуін нақты сұйықпен тексеру т.б.

Өңдеу қателігі.

Өңдеу қателігіне өлшеу мәліметтерін пайдаланып, ізделініп отырған шаманы анықтау барысында жіберілетін қателіктер жатады.

Жүйелік қателіктерді өлшеу санын арттыру арқылы азайтуға болмайды, мұндай қателіктерді кеміту үшін, өлшегенде дәлірек прибор қолданады және мәліметтерді өңдеуде ең дұрыс әдістемені пайдаланады.

Кездейсоқ қателіктер

Кездейсоқ қателіктер өлшеу процесіне әсер ететін себептердің кездейсоқ (жүйесіз түрде) өзгеруіне байланысты пайда болады. Бұларға электр жүйесіндегі кернеудің ауытқуы, бөлмедегі температураның өзгеруі сияқты факторлармен қатар, бақылаушының дағдылық дәрежесі мен сезімталдығына қатысты факторлар жатады. Өлшеу барысында кездейсоқ қателіктердің шамасы мен бағыты тұрақты болмайды. Өлшеулер нәтижесіндегі кездейсоқ қателіктерді кеміту үшін, біріншіден, мұқият өлшеу қажет, екіншіден өлшеулер санын арттыру керек. Қазіргі заманда өлшегіш приборлар өте дәл болғандықтан көптеген өлшеулерде жүйелік қателіктер кездейсоқ қателіктерге қарағанда әлдеқайда аз болады.

Ағаттық.

Жүйелік және кездейсоқ қателіктерден басқа өлшеулер барысында *ағаттық (ақаулар)* кездеседі. Олар бақылаушының өлшеу процесіне қажетті көңіл бөлмеуінен пайда болады. Шама жағынан ақаулар басқа өлшемдерге қарағанда айрықша басым болады. Айталық бақылаушы 2.25 деген санның орнына дәптеріне 22.5 деген сан енгізді. Мұндай қателіктерді есептеу нәтижесіне енгізуге болмайды.

Тікелей өлшеу қателіктерін өңдеу жолдары №1-лабораториялық жұмыстың теориясында келтірілген. Сондықтан кіріспеде оны қайталамай, жанама өлшеу қателіктерін өңдеу әдістерін қарастырайық.

Жанама өлшеу қателіктерін өңдеу.

Бірнеше шаманың функциялық қатынастарының нәтижесінің қателіктерін қарастырайық.

Тікелей өлшенген екі шаманың қосындысын қарастырайық

$$A=B+C \quad (1)$$

Екі шаманың қосындысының ең анық мәні

$$A_{\text{анық}}=\langle B \rangle + \langle C \rangle \quad (2)$$

өрнегімен табылады. Бұрыш жақшалар шаманың орташа мәнін білдіреді.

A шамасының орташа квадраттық қателігі

$$S_A = \sqrt{S_B^2 + S_C^2}, \quad (3)$$

формуласымен табылады.

Демек, қателіктер квадратты түрде қосылады. Былайша айтқанда қателіктердің өздері қосылмайды, олардың дисперсиялары қосылады.

Екі шаманың көбейтіндісі немесе қатынасын қарастырайық

$$A=B \cdot C \text{ немесе } A=B/C. \quad (4)$$

$$A_{\text{анық}}=\langle B \rangle \cdot \langle C \rangle \text{ немесе } A_{\text{анық}}= \langle B \rangle / \langle C \rangle. \quad (5)$$

Тәуелсіз шамалардың көбейтіндісінің немесе қатынасының салыстырмалы орташа квадраттық қателігі

$$\frac{S_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{S_B}{\langle B \rangle}\right)^2 + \left(\frac{S_C}{\langle C \rangle}\right)^2} \quad (6)$$

формуласымен анықталады.

$$A = B^\alpha C^\beta E^\gamma \quad (7)$$

өрнегімен берілген A шамасының салыстырмалы орташа квадраттық қателігі былай табылады:

$$\left(\frac{S_A}{A}\right)^2 = \alpha^2 \left(\frac{S_B}{B}\right)^2 + \beta^2 \left(\frac{S_C}{C}\right)^2 + \gamma^2 \left(\frac{S_E}{E}\right)^2 + \dots \quad (8)$$

Енді анықтама үшін жалпылама есептеу формуласын келтірейік.

$$A = f(B, C, E, \dots) \quad (9)$$

болсын. Мұнда f – B, C, E шамаларының қайсібір функциясы болсын. Онда

$$A_{\text{анық}} = f(B_{\text{анық}}, C_{\text{анық}}, E_{\text{анық}}, \dots). \quad (10)$$

Айта кететін жағдай: соңғы формула $B_{\text{анық}}, C_{\text{анық}}$, т.б. шамалары тікелей өлшенген жағдай үшін де немесе өлшенген мәліметтерді пайдаланып есептеп табылған шамалар үшін де орынды.

A шамасының қателігі мына формуламен табылады:

$$S_A^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)^2 S_B^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C}\right)^2 S_C^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial E}\right)^2 S_E^2 + \dots \quad (11)$$

$\partial f / \partial B$ белгісі – f функциясының B бойынша кәдімгі дербес туындысы. $\partial f / \partial B$ шамасын есептегенде қалған шамалар (біздің жағдайымызда C және E) тұрақты деп есептелінеді. $\partial f / \partial C, \partial f / \partial E$ мәндері де сол секілді табылады. Дербес туындыларды $B_{\text{анық}}, C_{\text{анық}}, E_{\text{анық}}$, т.б. аргументтердің анық мәндері үшін есептеу керек.

Осы формулалардан шығатын кейбір салдарларға тоқталайық.

1. Бұл формулаларда ізделініп отырған шаманы екі үлкен шамалардың айырымы ретінде табу жағдайында қолдануға болмайды. Мысалы, түтіктің қабырғасының қалыңдығын оның сыртқы диаметрінен ішкі диаметрін алып екіге бөлу арқылы тапсақ, салыстырмалы қателік айрықша үлкен болып кетеді. Демек, түтіктің

қабырғасының қалыңдығын тікелей (штангенциркульдің көмегімен) тапқан дұрыс.

2. Көбейтіндінің қателігін есептегенде көбейгіштердің барлығы бір-біріне жуық орташа дәлдікпен анықталғаны мақұл.

Мысалы, айталық, дененің тығыздығын анықтау үшін, оның сызықтық өлшемдерін 1% дәлдікпен тапқанда, массасын 0,01% дәлдікпен табудың реті жоқ.

3. Дәрежелік функциялардың көбейтіндісінің қателігін есептегенде, формулаға енетін дәрежесі ең жоғары мүшеге көңіл бөлу керек. Жоғарыда келтірілген формулаға сәйкес салыстырмалы қателік дәреженің квадратына тура пропорционал. Дәреженің 1-ден көп немесе аздығына байланысты кейбір мүшелерді ескермеуге болады.

Толық қателікті есептеу.

Нақты тәжірибелерде жүйелік қателіктер мен кездейсоқ қателіктер қатар орын алады. Екеуінің қосындысы - толық қателікті мына формуламен анықтайды:

$$S^2_{\text{тол}} = S^2_{\text{кез}} + S^2_{\text{жүйе}} \quad (12)$$

Жуықтап есептеу және дөңгелектеу ережелері.

Әрбір лабораториялық жұмысты орындау барысында бірнеше шаманы әртүрлі дәлдікпен өлшеуге тура келеді. Сол өлшеулердің әрқайсысы басқаларының дәлдігіне әсерін тигізуі мүмкін. Сондықтан жұмыстың басында дәлдігі төмендеу шамаларды өлшеуге айрықша көңіл бөле отырып, барлық приборлардың дәлдік шегін анықтап алу қажет. Егер бір формулаға енетін бірнеше шаманың әрқайсысы әртүрлі дәлдікпен өлшенген болса, онда соңғы нәтиженің қателігін тапқанда ең төменгі дәлдікпен өлшейтін прибордың дәлдігінен көп асудың қажеті шамалы.

Есептеу дәлдігі өлшеу дәлдігіне сәйкес болуы тиіс. Есептеу дәлдігі өлшеу дәлдігінен әлдеқайда көп болып жатса, оны жұмыстың артықшылығы емес, кемшілігі деп санау керек. Сондықтан есептеу мәліметтерін

дөңгелектеп жаза білу керек. Ал өлшеу мәліметтерін формулаға қоярдан бұрын дөңгелектеген дұрыс.

Бірнеше орыннан тұратын жуық санды дөңгелектегенде соңында тұрған 0-ден 4-ке дейінгі сандарды алып тастайды, ал 5-тен 9-ға дейінгі сандар болатын болса, оларды алып тастап, алдында тұрған санды бірге ұлғайтады. Мысалы: $a=21,314\approx 21,31$; $\pi=3,141593\approx 3,1416$ немесе $\pi=3,141593\approx 3,14$.

Физикалық шаманың мәнін көрсететін санның қалай жазылғанына қарап, оның дәлдік дәрежесі туралы мағлұмат алуға болады. Шындығында, егер жазылған санның барлық мәнді цифрлары ақиқат болатын болса, онда осы санның ең соңында орналасқан цифрдың орнының бағасы өлшеу немесе есептеу дәлдігінің жобасын береді. Мысалы 5,02100 с деп берілген уақытты өлшеу дәлдігін 1мкс деп бағалауға болады.

Енді “мәнді цифрларға” тоқталайық. Мәнді цифрларға санның алдында (сол жағында) тұрған барлық нөлдерден кейін орналасқан цифрлар, оның ішінде, нөлден айрықша цифрлардың арасында және оң жағында тұрған барлық цифрлар жатады. Мысалы, 0,00025 санында екі мәнді (2 және 5) цифрлар, 1000 санында төрт мәнді цифрлар, 12,002 санында бес мәнді цифрлар, 2,300 санында төрт мәнді цифрлар бар. Өлшеу мәліметтерін өңдеу барысында бірнеше есептеулер жүргізіліп, соңғы мәліметті жуықтап жазуға тұра келген жағдайда, тәжірибе барысында анықталатын шамалардың дәлдігіне қарағанда мәнді цифрдың біреуін артық жазған дұрыс.

Лабораториялық жұмыстарды орындауға қажетті нұсқаулар.

Лабораториялық жұмысты орындау шартты түрде төрт бөлімнен тұрады:

1.Дайындық жұмыстары бөлімі. Физикалық практикум курсының әрбір жұмысының негізінде белгілі физикалық құбылыс немесе заңдылық жатады. Орындалатын жұмыстың тақырыбы белгілі болғаннан

кейін студент зерттелетін құбылыстың теориясымен танысады. Сонан кейін арнайы лабораториялық жұмыстарға арналған дәптеріне жұмыстың жазбасын (описание), оның ішінде, жұмыстың тақырыбы, мақсаты, қысқаша теориялық кіріспесі, қондырғының сипаттамасы, орындалу тәртібі және тәжірибе мәліметтерін математикалық өңдеу әдістері келтірілген бөлімдерінен қажетті шамада конспект жазады. Физикалық практикум сабағына студент жазу сызу құралдарын, миллиметрлік қағаз, негізгі математикалық функцияларды есептей алатын есептегіш мәшине т.б. ала келеді.

2. Эксперименттік бөлім, тәжірибе жүргізу жұмыстары. Оқытушы студенттің жұмысқа дайын екеніне көз жеткізген соң оған тәжірибе жұмыстарын жүргізуге рұқсат етеді. Қондырғы жұмысқа дайын болған кезден бастап, жұмысқа қажетті саймандар мен заттарды лаборанттан алып, студент барлық өлшеу жұмыстарын өзі жүргізеді. Өлшеу мәліметтерін, оларды өңдеуге қажетті эксперименттік қондырғының белгілі параметрлері мен физикалық тұрақтылардың кестелік мәндерін дәптерге мұқият жазады. Сабақ соңында оқытушы студенттің өлшеген мәліметтерін тексеріп, бәрі дұрыс болса дәптеріне қол қояды.

3. Математикалық өңдеу бөлімі. Тәжірибе жүзінде алынған мәліметтерді пайдаланып, ізделініп отырған физикалық шаманы табады және (немесе) графиктер тұрғызып, қарастырып отырған құбылыстың физикалық заңдылығын анықтайды, өңдеу барысында өлшенген және есептеп табылған физикалық шамалардың абсолют және салыстырмалы қателіктері келтіріледі. Соңында алынған мәліметтердің теориямен қаншалықты жанасатынын көрсетіп, өзгешелігі көп болатын болса, өлшеу және өңдеу процестеріне әсер ететін себептерді көрсетіп, жалпы жұмысқа талдау жасалынады.

4. Тапсыру бөлімі. Математикалық өңдеу жұмыстары аяқталған соң алынған мәліметтерді оқытушы тексеріп,

студентпен бірге талқылайды. Студент зерттелген құбылыстың теориясын айтып түсіндіреді және қажет болса, есептеу формулаларының қалай шыққанын дәлелдеп береді.

Мәліметтерді өңдеудің графиктік (сызба) тәсілі.

Эксперименттік физикада графиктер түрлі мақсаттарда қолданылады.

Мысалы:

кейбір шамаларды анықтау үшін;

мәліметтерді көрнекі түрде көрсету үшін;

екі шаманың арасындағы эмпирикалық қатынасты табу үшін;

эксперимент мәліметтерін теория мәліметтерімен немесе басқа авторлардың мәліметтерімен салыстыру үшін; т.б.

Графикті сызықтық немесе логарифмдік миллиметрлік қағазға сызады. Екі шаманың арасындағы функциялық қатынасты тапқанда абцисса осіне беріліп отырған шаманы (аргумент), ал ордината осіне табылған шаманы тағайындап алу керек. Бұл ретте салынатын шамалардың ең кіші және ең үлкен шектерін анықтап, координаттар остеріндегі тең бөліктерге 1; 2; 5- ке еселік сандар түсетіндей етуге тырысу керек. Сонда графикке нүктелер салу және сызықтың координаттарын анықтау анағұрлым жеңіл болады. Егерде абцисса осінің ұзындығын ординатаға қарағанда 1.5-2.0 есе үлкен етіп алса, график көрнекілеу болып көрінеді. Графикке эксперимент мәліметтерін әртүрлі таңбалармен белгілеу арқылы, ал теория жүзінде немесе санақ әдісімен алынған мәліметтерді тұтас сызықпен тұрғызу қалыптасқан. Әр түрлі режим үшін, бірақ бір текті процесті сипаттайтын сызықтардың бәрін бір графикте келтірсе, процестің өзгеру динамикасын режимдерге қатысты салыстыруға қолайлы болады.

Графиктерді салғанда масштабты дұрыс пайдалану арқылы өлшенген нүктелер қағаз бетіне біркелкі түсетіндей етуге (центріне жақын) тырысу керек.

Көптеген процестерде аргумент пен функциялардың бастапқы нүктелері координаттар осінің басына (нөлге) сәйкес келе бермейді. Сондықтан координаттар осін жылжыту арқылы нақты процестің бастапқы нүктелеріне жақындату керек.

Графиктегі нүктелердің орналасу тәртібі белгілі бір заңдылыққа бағынады. Қайсібір нүкте сол заңдылыққа бағынбай оқшау жатса, бұл жерде қызық құбылыс (эффект) бар деп немесе ол нүкте қате өлшенген деп түсіну керек. Нүкте дұрыс өлшенген болса, эксперименттің сол аймағын қайтадан мұқият өлшеп құбылыстың табиғатына көз жеткізеді. Зерттеу жұмысының мәнісі де осында.

Егер өлшенген шамалардың қателіктері белгілі болса, графиктегі таңбалардың өлшемдері қателіктерге сәйкес

$$(1/2)l = \pm S$$

салынады. Мұнда l таңбаның сызықты өлшемі. Демек, үлкен таңбалар (график масштабына сәйкес) қателіктерді көрсетеді.

Мәліметтерді график түрінде сипаттағанда тәжірибе нүктелері түзу сызық бойына орналасатындай етуге тырысу керек. Себебі түзу сызықтың функциялық тәуелділігі сызықсыз функциялардың тәуелділігінен анағұрлым көрнекі және формула түрінде оңай алынады. Мұның бірнеше әдісі бар.

1. Процесс квадраттық функциямен сипатталсын. Мысалы, дененің еркін түсуін тәжірибе жүзінде зерттегенде жүрілген жолдың уақытқа тәуелділігі $S=gt^2/2$ өрнегімен сипатталатынына көз жеткізуге болады. Нүктелерді $S=f(t)$ тәуелділігімен тұрғызатын болсақ, график парабола болады. Ал графикті $S=f(t^2)$ немесе $\sqrt{S} = f(t)$ қатынасымен салсақ, түзу сызық аламыз және сол сызықтың көлбеулік бұрышын анықтау арқылы $S=gt^2/2$ формуласындағы коэффициентін $g/2$ табуға болады.

2. Процесс дәрежелік тәуелділікпен сипатталсын:
 $y = ax^n$.

Бұл жағдайда теңдеудің екі жағын да логарифмдесек:
 $\ln y = n \ln x + \ln a$

Осыған $\ln y = f(\ln x)$ мәндерін тұрғызатын болсақ, сызықты график аламыз.

Ең кіші квадраттар әдісі.

Жалпы жағдайда көптеген күрделі байланысты

$$y = a + bx \quad (13)$$

сызықтық өрнекке келтіруге болады. Осы сызықтық байланыстың a және b параметрлерін тәжірибенің нәтижелерін пайдаланып аналитикалық әдіспен табуға болады. Айталық физикалық бір шаманың x_i мәніне сәйкес физикалық екінші шаманың y_i мәні ($i=1,2,3,\dots,n$) тәжірибеде алынған болсын.

Сонда (13) формулаға сәйкес y_i мен x_i шамалардың өзара түзу сызықты байланысын ең дұрыс көрсететін a және b параметрлерді есептеп табу әдісін “ең кіші квадраттар ережесі” деп атайды.

Әрбір тәжірибеден алынған y_i мен x_i мәндерін (13) формулаға қойсақ, осы шамаларды өлшегенде жіберілген қателіктердің арқасында (13) теңдік дәл орындалмайды, яғни

$$y_i - (a + bx_i) \neq 0 \quad (14)$$

Осы айырымды квадраттап, барлық өлшегенде алынған нәтижелер үшін олардың қосындысын табайық:

$$D = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (15)$$

“Ең кіші квадраттар” ережесі бойынша y_i мен x_i шамалардың түзу сызықтық байланысын ең дұрыс көрсететін “ a ” және “ b ” параметрлердің мәндері үшін, (15) бойынша D минимум мәніне, яғни ең кіші мәніне тең болады.

Сондықтан a және b параметрлердің осындай мәндерін табу үшін (15) теңдеуден a және b шамалар арқылы жекелеген туындылар алып, оларды нөлге теңестіруіміз керек:

$$\frac{\partial D}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)] = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial D}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n \{ [y_i - (a + bx_i)] \cdot x_i \} = 0 \quad (17)$$

Бұлардан:

$$\sum_{i=1}^n y_i - na - b \sum_{i=1}^n x_i = 0 \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i - a \sum_{i=1}^n x_i - b \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (19)$$

Осы теңдеулерден параметрлердің ең дұрыс мәндерін табуға болад:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (20)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i - n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (21)$$

Егер сызықтық байланыс координат өстерінің басынан өтетін түзу болса:

$$y = b \cdot x \quad (22)$$

онда

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (23)$$

(20), (21) формулалар бойынша анықталған сызықтықтәуелділіктің параметрлердің қателігі мына формулалар арқылы табылады:

$$S_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n-2} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n(n-2)} - \frac{\left(n\sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n(n-2)\left[n\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2\right]}, \quad (24)$$

$$S_a^2 = \frac{nS_0^2}{n\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}, \quad (25)$$

$$S_b^2 = \frac{S_0^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{n\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}, \quad (26)$$

мұндағы S_0 - жекелеген өлшеудің орташа квадраттық қателігі; S_a және S_b $y = ax + b$ сызықтық тәуелділігі параметрлерінің орташа квадраттық қателіктері.

№1 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС ӨЛШЕУ НӘТИЖЕСІНДЕ ПАЙДА БОЛАТЫН СТАТИСТИКАЛЫҚ ЗАҢДЫЛЫҚТАР

1.1. Жұмыстың мақсаты: тікелей өлшеу нәтижесін өңдеу әдістерімен танысу.

1.2. Қысқаша теориялық кіріспе

1.2.1. *Өлшеудің қателіктері және оны классификациялау.*

Физикалық бір шаманың шын мәні x_0 болсын. Бұл шаманы өлшесек, әдетте, x_0 - ден басқа нәтиже аламыз. Егер өлшеу саны көп болса, олардың нәтижесі тек қана x_0 -ден де емес, өзара да бөлек болады. Өлшеу нәтижелерін $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ деп белгілейік. Онда

$$\Delta x_i = |x_i - x_0| \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1.1)$$

айырмасы өлшеудің абсолюттік қателігі деп аталады. Оның өлшем бірлігі өлшеніп отырған шаманың өлшем бірлігімен сәйкес келеді. Қателікті қасиеттеріне байланысты *жүйелік*, *кездейсоқ* және *ағаттық* деп бөледі.

Бір шаманы қайталап өлшегенде тұрақты болып қалатын, немесе белгілі заңдылықпен өзгеретін қателіктің бөлігін – *жүйелік* қателік деп атайды. Мысалы, өлшегіш сызғыштың шкаласы біркелкі емес, термометр капиллярының әр бөлігіндегі диаметрі әртүрлі, таразының екі басы теңгерілмеген, ток жоқ кезде амперметрдің стрелкасы нөлде тұрмауы мүмкін. Кейде бұл қателіктерді ескеріп өлшеу нәтижесіне түзету енгізуге болады (мысалы, ток жоқ кездегі амперметрдің стрелкасының көрсетуінің нөлден айырмашылығын ескеруіміз керек).

Жүйелік қатені эксперимент арқылы анықтауға болады. Ол үшін берілген нәтижені басқа әдіспен алынған өлшеу нәтижесімен, немесе дәлірек өлшеу құралдарымен алынған нәтижемен салыстыру қажет. Әдетте жүйелік қателікті өлшеу құралдарының белгілі қасиеттеріне сүйеніп өлшеу шарттарын талдау арқылы теориялық түрде шамалауға болады.

Ағаттық – тәжірибе (өлшеу) жүргізуші адамның салақтығының салдары. Мысалы, өлшеу нәтижелері қате жазылуы мүмкін, прибордың көрсетуі дұрыс жазылмауы мүмкін

т.с.с. Егер ағаттық байқалса, оның өлшеу нәтижесін есептеуге енгізбеу керек.

Кездейсоқ қателіктер – өлшеу шарттарының кездейсоқ өзгеруі нәтижесінде пайда болатын қателіктер. Бұл жағдайда өлшеу нәтижелерінің бір-бірінен алшақтығын алдын-ала анықтауға болмайды, олар белгілі заңдылықпен өлшеу саны көп болғанда анықталады.

1.2.2. *Кездейсоқ қателіктері бар тікелей өлшеу нәтижелерін өңдеу әдістері.*

Бірдей жағдайда N рет өлшеу жүргізілсін және x_i i -ші өлшеудің нәтижесі болсын. Өлшеніп отырған шаманың ең ықтималды мәні оның *орташа арифметикалық мәніне* тең:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1.2)$$

$N \rightarrow \infty$ жағдайда $\langle x \rangle$ шамасы өлшеніп отырған шаманың шын мәні x_0 -ге ұмтылады.

Әрбір жеке өлшеу нәтижесінің *орта квадраттық қателігі* деп мына өрнекті айтады:

$$S_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\langle x \rangle - x_i)^2}{N-1}}. \quad (1.3)$$

Егер $N \rightarrow \infty$, онда S_N өзінің тұрақты σ шектік мәніне ұмтылады:

$$\sigma = \lim_{N \rightarrow \infty} S_N \quad (1.4)$$

σ^2 шамасы өлшеулер нәтижелерінің *дисперсиясы* деп аталады.

Практикада орта арифметикалық шаманың қателігін табу қажет болады.

Дисперсияның мәні бірдей болып келетін жекеленген өлшеулердің нәтижелері мынадай x_1, x_2, \dots, x_n болсын.

Бұлардың орта арифметикалық мәні мына формуламен анықталады:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1}{N} + \frac{x_2}{N} + \dots + \frac{x_n}{N}. \quad (1.5)$$

Демек шаманың дисперсиясы $\sigma_{\langle x \rangle}^2$ былай жазылады:

$$\sigma_{\langle x \rangle}^2 = \frac{\sigma^2}{N^2} + \frac{\sigma^2}{N^2} + \dots + \frac{\sigma^2}{N^2} = \frac{\sigma^2}{N} \quad (1.6)$$

яғни,

$$\sigma_{\langle x \rangle} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (1.7)$$

Осыған ұқсас:

$$S_{\langle x \rangle} = \frac{S_N}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{N(N-1)}}. \quad (1.8)$$

Сонымен *орта арифметикалық шаманың орта квадраттық қателігі* жеке нәтиженің орта квадраттық қателігін өлшеулер санының квадрат түбіріне бөлгенге тең. Бұл тұжырым өлшеулер санының артуына сәйкес дәлдіктің артуы туралы фундаменталды заңды айқындайды.

Шаманың шын мәнінің $\langle x \rangle - \Delta x \div \langle x \rangle + \Delta x$ интервалда жату ықтималдығын *сенімділік ықтималдығы (сенімділік коэффициенті, сенімділік)*, ал интервалдың өзін – *сенімділік интервалы* деп атайды. N -нің мәні жеткілікті үлкен болғанда

$\langle x \rangle \pm \sigma_{\langle x \rangle}$ интервалы үшін $\alpha = 0,68$, ал $\langle x \rangle \pm 2\sigma_{\langle x \rangle}$ интервалы үшін $\alpha = 0,95$, сонымен қатар $\langle x \rangle \pm 3\sigma_{\langle x \rangle}$ интервалы үшін $\alpha = 0,997$.

x -тің өлшенген мәнінің, оның шын мәні x_0 –ге жуықтау сипаттамасы σ өлшеніп отырған шаманың физикалық табиғатымен және өлшеу тәсілін анықтайтын физикалық және конструктивтік принциптермен анықталады. Сондықтан өлшеу санын шексіз көбейту дәлдікті көп арттырмайды.

Өлшеу санын шексіз арттырудың мағынасы болмағандықтан, эксперимент жүргізгенде тәжірибелер белгілі санмен шектелуі қажет. Алайда, бұл жағдайда берілген сенімділік α -ның мәні үшін σ -ның үлесімен (масштабымен) өлшенген сенімділік интервалының мәні аз болады. Демек, өлшеу санына бай-ланысты сенімділік қалай өзгереді деген

сұрақ туады? Бұл бай-ланыс күрделі және элементар функциялармен сипатталмайды.

Сенімділік интервалын ($S_{\langle x \rangle}$ масштабында) α және N -ге байланысты анықтайтын коэффициенттерді *Стюдент* коэффициенттері деп атайды. Бұл коэффициенттер $t_{\alpha,N}$ деп белгіленеді және арнаулы таблицалардан табылады. Сенімділік интервалын Δx мына формуламен анықтаймыз:

$$\Delta x = t_{\alpha,N} \cdot S_{\langle x \rangle} . \quad (1.9)$$

Бұл жағдайда, соңғы нәтиже мына түрде жазылады: α -нің белгілі мәні үшін

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x . \quad (1.10)$$

Егер $\alpha = 0,68$ болса $t_{\alpha,N} > 1$, ал $N \rightarrow \infty$ болса $t_{\alpha,N} \rightarrow 1$.

Эксперименттің нәтижесінің сенімділік интервалы әдетте $\alpha = 0,95$ сенімділік ықтималдықпен көрсетіледі.

Егер $\alpha = 0,95$ болса $t_{\alpha,N} > 2$, ал $N \rightarrow \infty$ болса $t_{\alpha,N} \rightarrow 2$.

Эксперименттің дәлдігін шамалау үшін оның салыстырмалы қателігін есептеу керек. Өлшенген шаманың шын мәнінің үлесімен өрнектелген шаманы *салыстырмалы қателік* деп атайды:

$$\varepsilon = \Delta x / \langle x \rangle .$$

Оны процент арқылы жазуға болады:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \cdot 100\% . \quad (1.11)$$

Өлшем санына және сенімділік ықтималдық мәніне сәйкес Стюдент коэффициенттері 1.1-кестеде көрсетілген.

Барлық өлшеулер нәтижелерін интервалдарға бөлейік. N өлшеулер нәтижелерінен x -тің минимум (x_{min}) және максимум (x_{max}) мәндерін бөліп алайық. Интервал саны K мына бөліндіге тең болады:

$$k = \frac{x_{max} - x_{min}}{L} ,$$

мұндағы L - интервал қадамы. Бұл жұмысты орындағанда интервал қадамын бүтін сан етіп және интервал саны 8-ден

көп, 20-дан аз болатындай етіп сайлап алу қажет. Интервалды мына тәртіппен нөмірлейік:

$$1 - \text{интервал} - [x_{\min} \div (x_{\min} + L)],$$

$$2 - \text{интервал} - [(x_{\min} + L) \div (x_{\min} + 2L)],$$

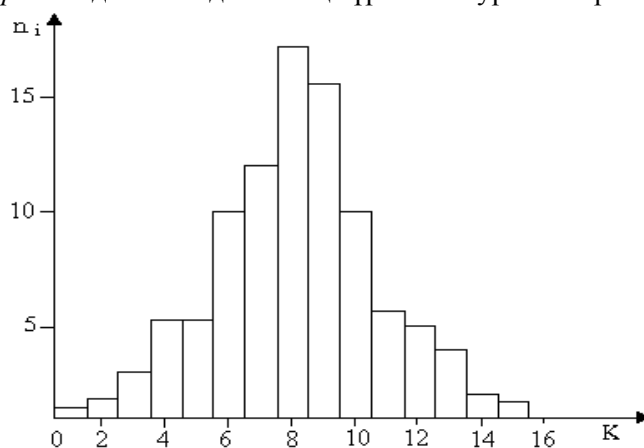
$$3 - \text{интервал} - [(x_{\min} + 2L) \div (x_{\min} + 3L)],$$

$$k - \text{интервал} - [(x_{\min} + (k-1)L) \div (x_{\min} + kL)].$$

Егер абсцисса өсінің бойына интервалдар нөмерін, ал ордината өсінің бойына нәтижелері берілген интервалдарға сәйкес келетін өлшеулер санын n_i -ді салсақ, онда 1.1-суретте көрсетілген *гистограмма* деп аталатын өлшеулер санының интервалдар бойынша таралуының тәжірибелік графигін аламыз. Өлшеулер саны көп болғанда n_i / N қатынасы өлшеніп отырған шама мәнінің қадамы L -ге тең берілген интервалда байқалу ықтималдығын сипаттайды. Егер n_i / N шамасын L -ге

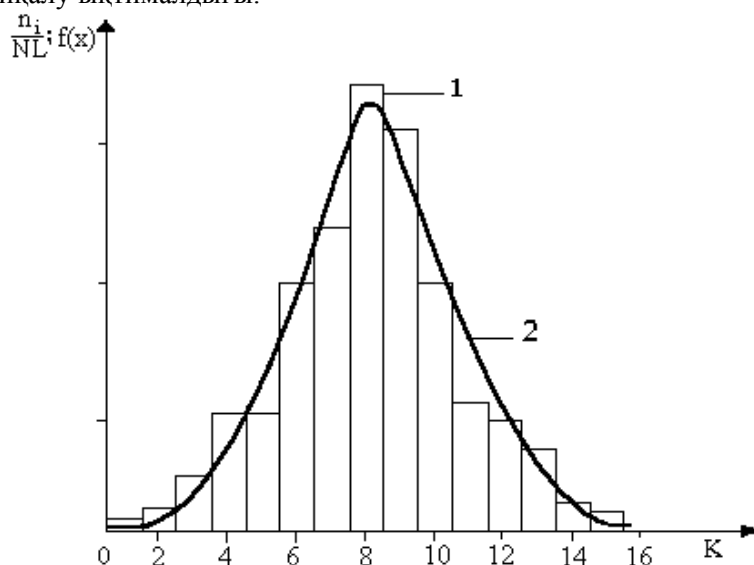
бөлсек, онда $y_i = \frac{n_i}{NL}$ шамасы бірлік интервалға сәйкес

келетін орайлы жағдайлардың салыстырмалы санын сипаттайды. y_i үшін тұрғызылған диаграмма *келтірілген гистограмма* деп аталады. Оның түрі 1.2 - суретте көрсетілген.



1.1-сурет. Өлшеулер санының интервалдар бойынша таралуы (гистограмма)

Енді өлшеулер саны өте көп болсын деп қабылдайық. Интервал қадамы L -ді аз етіп алуға болады (өлшеуіш прибордың сезімталдығы жеткілікті деп қабылдаймыз), бірақ бәрібір әрбір интервалға көп өлшеу саны сәйкес келеді. Бұл жағдайда y_i -ді x -тің үздіксіз функциясы ретінде қарастыруға болады. Егер келтірілген гистограмма орнына $y=f(x)$ тәуелділігі графигін тұрғызсақ, таралу қисығы деп аталатын біркелкі үздіксіз қисық (1.2-сурет) аламыз. Бұл қисық x үздіксіз өзгергенде бірлік интервалға сәйкес келетін n_i өлшеулер санының үлесін анықтайды. $f(x)$ функциясы таралу тығыздығы деп аталады. Оның мағынасы бойынша $f(x)dx$ көбейтіндісі (мұндағы dx - тәуелсіз айнымалының дифференциялы) $x \div x+dx$ интервалына сәйкес келетін n_i / N толық өлшеулер санының үлесін анықтайды. Басқаша айтсақ, $f(x)dx$ дегеніміз өлшеніп отырған шаманың жеке кездейсоқ мәнінің $x \div x+dx$ интервалында байқалу ықтималдығы.



1.2- сурет. Ықтималдық тығыздығының интервалдар бойынша таралуы: 1 – өлшеулер саны шекті (келтірілген гистограмма), 2 – Гаусс қисығы

Өлшеу саны аз болғанда, келтірілген гистограмманың формасын алдын ала анықтауға болмайды. Бірақ, өлшеу саны шексіз көбейген жағдайда ықтималдықтар теориясы бойынша шектік үздіксіз қисықтың формасын анықтауға болады. Бұл шектік қисық *Гаусс қисығы* деп аталады (1.2- сурет). Шектік қисыққа сәйкес келетін таралу қалыпты (Гаустық) таралу деп аталады және мына таралу функциясымен сипатталады:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_i - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.12)$$

мұндағы σ^2 жоғарыда айтылғандай дисперсия деп аталады, σ - өлшеу нәтижелерінің орта арифметикалық мәннен ауытқуын сипаттайды және стандартты ауытқу немесе орта квадраттық қателік деп аталады.

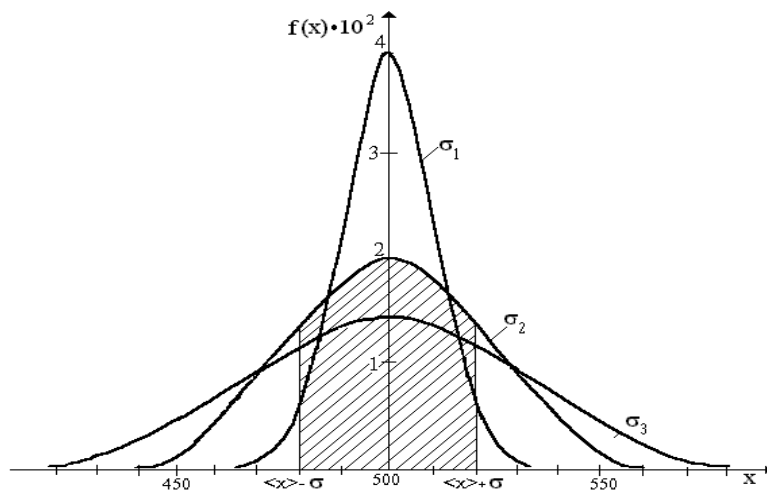
Гаусс функциясы нормаланған, яғни $f(x)$ мына теңдікті қанағаттандырады:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1. \quad (1.13)$$

Интеграл шексіздік бойынша алынады, себебі өлшеніп отырған шаманың мәнінің $-\infty \div +\infty$ аралықта жату ықтималдығы 1-ге тең, яғни бұл аралықта өлшенетін шаманың байқалуын міндетті түрде орындалатын оқиға деп алуға болады. Ықтималдықтың тығыздық функциясының мынадай қасиеттері бар (1.2-1.3 - суреттерді қараңыз):

- $\langle x \rangle$ мәні бойынша симметриялы;
- $\langle x \rangle$ нүктесінде максимум мәніне жетеді;
- $|x_i - \langle x \rangle|$ мәні σ -дан көп үлкен болғанда шұғыл нольге ұмтылады.

1.3-суретте σ -ның әр түрлі мәндеріне сәйкес келетін таралу қисықтары келтірілген. Суреттен көргендей σ -ның аз мәндерінде қисықтың формасы еңсіз, максимум биік болады, бұл дәлірек өлшеулерге сәйкес келеді.



1.3 - сурет. $\sigma_1=10$, $\sigma_2=20$ ж, не $\sigma_3=30$ мәндеріне сәйкес Гаусс қисықтары. $\langle x \rangle = 500$.

1.3. Жұмыстың орындалу әдістемесі

1.3.1. Керекті құралдар: СП-100 санағыш прибор, секундомер.

1.3.2. СП-100 приборы оның “ПРОВЕРКА” деп аталатын түймесін басқан уақыт мезетінен “СТОП” деп аталатын түймесін басқан уақыт мезетіне дейінгі аралықтағы приборға берілген импульс санын есептейді. СП-100 приборына, импульс, жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы кернеу генераторынан беріледі. Демек, орташа алғанда, 1 секунд ішінде тіркелетін импульс саны 50-дің аймағында болады. Бұл прибордың толық түсініктемесін 1.6.1 әдебиетінің 649 бетінен қараңыз. Бұл жұмысты орындау үшін 5 секунд ішіндегі импульстер саны есептелінеді. Өлшеу саны 100-ге тең болу керек.

1.4. Жұмысты орындау тәртібі

1.4.1. СП-100 приборын жұмысқа қосыңыз, ол қызғанша 15 минут күтіңіз.

1.4.2. $t = 5$ секунд үшін санағыш прибор тіркейтін импульстер санын өлшеңіз. Өлшеулерді 100 рет қайталаңыз. Өлшеу нәтижелерін кестеге жазыңыз. 1.2-кесте үлгісі:

1.2 кесте

5 секунд ішінде СП-100 приборының тіркейтін импульстерсаны

№	x_i	Δx_i	Δx_i^2	№	x_i	Δx_i	Δx_i^2	№	x_i	Δx_i	Δx_i^2
1				34				67			
2				.				.			
.				.				.			
.				.				.			
33				66				100			

1.4.3. Барлық нәтижеден $\langle x \rangle$ орта арифметикалық мән шамасын есептеңіз.

1.4.4. Жеке өлшеулердің ауытқуын (Δx_i -дің шамасын) және оның квадратын (Δx_i^2) есептеңіз, оларды кестеге енгізіңіз.

1.4.5. (1.3) – формуласы бойынша орта квадраттық қателікті есептеңіз. (1.8)-формуласы бойынша орта арифметикалық шаманың орта квадраттық қателігін есептеңіз.

1.4.6. Оқытушы көрсеткен сенімділік коэффициентінің мәні үшін сенімділік интервалын есептеңіз және соңғы нәтижені (1.10) формулаға сәйкес жазыңыз. (1.11) формуламен салыстырмалы қателікті есептеңіз.

1.4.7. x_{\min} және x_{\max} - шамаларын табыңыз, бұлардың аралығын интервалға бөліп, нөмірлеңіз.

1.4.8. Әрбір өлшеудің қай интервалға жататынын анықтаңыз.

1.4.9. Әрбір интервалға енетін өлшеулер санының қосындысын (n_i) табыңыз және бұл нәтижені 1.3 кестеге енгізіңіз. Кесте үлгісі:

1.3 кесте
 ГИСТОГРАММА ЖӘНЕ ГАУСС ҚИСЫҒЫН ТҰРҒЫЗУҒА
 КЕРЕКТІ ШАМАЛАР

Интервал нөмері (j): j=1...k	n_i	$\frac{n_i}{N}$	$\frac{n_i}{NL}$	$x_{\min} + (j - \frac{1}{2})L - \Delta x$ - $x \geq \Delta x$	$\xi = \frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}$	$e^{-\xi}$	$f(x)$
1							
2							
.							
.							

1.4.10. Гистограмманы тұрғызыңыз.

1.4.11. Келтірілген гистограмма тұрғызыңыз.

1.4.12. Келтірілген гистограмманың әр интервалының ортасы үшін өлшенген шаманың орташа мәнін есептеп $x_{\min} + (j-1/2)L$ белгілі масштабпен абсцисса өсіне қоса жазыңыз, абсцисса өсінде $\langle x \rangle$ мәніне және $\langle x \rangle - 2\sigma_{\langle x \rangle}$, $\langle x \rangle + 2\sigma_{\langle x \rangle}$ мәндеріне сәйкес нүктелерді көрсетіңіз.

1.4.13. Ықтималдық тығыздығы функциясының мәнін әр интервалдың ортасы үшін есептеңіз және оны соңғы кестеге енгізіңіз.

1.4.14. Келтірілген гистограмма салынған графикке Гаусс қисығын қосымша етіп тұрғызыңыз.

1.5. Пысықтауға арналған сұрақтар

1.5.1. Абсолюттік және салыстырмалық қателіктің анықтамасын келтіріңіз.

1.5.2. Қасиеттері бойынша қателіктерді қандай кластарға бөлуге болады?

1.5.3. Кездейсоқ қателіктердің қалыпты таралуының қандай қасиеттері бар?

1.5.4. Стандартты ауытқуға қандай сенімділік сәйкес келеді?

1.5.5. σ -ның екі мәнінің ($\sigma_1 > \sigma_2$) қайсына дәлірек өлшеулер сәйкес келеді?

1.6. Әдебиет

1.6.1. Лабораторные занятия по физике: Учебное пособие / Гольдин Л.Л., Игошин Ф.Ф., Козел С.М. и др.; Под ред. Гольдина Л.Л. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 704 с.

1.6.2. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин / Зайдель А.Н. – СПб.: Лань, 2005. – 106 с.

1.6.3. Кубышкина В.Д. Основные методы математической обработки результатов физического эксперимента/ Кубышкина В.Д. – Алма-Ата: КазГУ, 1974.

1.1-кесте

Стюдент коэффициенттері

Өлшем саны	Сенімділік ықтималдығы	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
Стюдент коэффициенттерінің мәндері													
2		0,16	0,33	0,51	0,73	1	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7
3		0,14	0,29	0,45	0,62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7	9,9
4		0,14	0,28	0,42	0,52	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8
5		0,13	0,27	0,41	0,57	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6
6		0,13	0,27	0,41	0,56	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0
7		0,13	0,27	0,4	0,55	0,72	0,9	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7
8		0,13	0,26	0,4	0,55	0,71	0,9	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5
9		0,13	0,26	0,4	0,54	0,71	0,9	1,1	1,4	1,8	2,3	2,9	3,4
10		0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3
11		0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,88	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2
12		0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1
13		0,13	0,26	0,4	0,54	0,7	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1
14		0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,0
15		0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,1	2,6	3,0
100		0,13	0,25	0,39	0,53	0,68	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,6